

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

La aplicación reiterada de las cargas de tráfico a través de las ruedas puede originar una falla estructural o funcional del pavimento. Las cargas ambientales son inducidas por las condiciones climáticas, como por ejemplo las variaciones en la temperatura o la humedad en la subrasante, que pueden causar irregularidades superficiales o deterioros estructurales del pavimento.

Los defectos que presenta un pavimento y que disminuyen la comodidad del usuario o la vida de servicio de la estructura, frecuentemente corresponden a efectos que son causantes de la sobre carga que soporta directamente el pavimento, comúnmente se puede observar que se manifiesta a través de deformaciones.

En la actualidad el uso de los geosintéticos, que son materiales fabricados a partir de polímero sintético o natural y se entrega en forma de rollo, en las construcciones de ingeniería vial se ha visto incrementado en las últimas décadas debido a las múltiples ventajas que ofrecen como la facilidad de puesta en obra o instalación, el reducido coste que conlleva su adquisición y principalmente como elemento de refuerzo de la carpeta asfáltica del pavimento debido a su característica fundamental mejora la resistencia y deformación provocada por el continuo soporte de cargas de tráfico.

En varios casos los geosintéticos han sido una de las soluciones más exitosa, en ciertos casos pero la falta de conocimiento y de una mejor metodología de diseño que permita definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo a las condiciones particulares que se necesite para los diferentes proyectos, no se ha permitido que los beneficios de esta tecnología sean aprovechados en su total magnitud.

La aplicación eficaz de los geosintéticos, promueve sus capacidades y fórmulas de diseño preliminares que permitan definir requerimientos técnicos que se necesite de acuerdo al tipo de obra.

En el presente trabajo se pretende demostrar de una forma técnica, que tanto podemos distribuir los recursos a la hora de construir una carretera, en este caso con el uso de

geosintéticos. Este trabajo se centra en la descripción del análisis experimental que se presenta al momento de colocar geosintético a una capa de rodadura con el fin de reforzar y dar a conocer las ventajas de su aplicación en base a la resistencia del pavimento de las cagas que se aplican sobre él, aplicado a diferentes tramos de carretera del departamento de Tarija, se realizará una comparación entre geosintéticos y tramos para llegar a conocer cuál es el más recomendable utilizar para subsanar las fallas y deterioro que presenta la carretera.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Al transcurrir los años, a menudo en la construcción de carreteras nos encontramos con problemas tales como en suelos y en la capa de rodadura, para los cuales existen soluciones que no son económicamente las más favorables; pues tenemos que tener en cuenta el sitio donde se construirá el pavimento.

Pero hoy en día, en base a lo anterior, se usa, materiales muy económicos y duraderos, como es el uso de geosintéticos, pues estos, en nuestro medio están enfocados a obras de estabilización de taludes, subdrenajes y algunas obras especiales como los pasos a nivel, muros estabilizados y reforzamiento de pavimentos. Sin embargo, en nuestro medio poco se conoce acerca de que estos materiales pueden utilizarse en la estructura del pavimento para ayudar a mejorar las propiedades de suelos y carpeta asfáltica de baja capacidad de soporte o reducir espesores estructurales, servir como una separación para evitar la mezcla de las diferentes capas del pavimento mejorando la vida útil de los mismos. Además, el uso de geosintéticos permite lograr un mejor aprovechamiento de suelos; por esto se propone la aplicación de los geosintéticos no como estabilizadores, sino como sistema estructural que nos ayudara a la reducción de base y subbase en la construcción de pavimentos, y reducir costos y tiempo de ejecución e indirectamente conlleva a la reducción de la explotación de canteras y minimizar el impacto ambiental.

Los geosintéticos tienen propiedades físico-mecánicas muy excelentes que son duraderas además de ello, los geosintéticos son elaborados por diferentes tipos de polímeros que estos a su vez llegan a hacer económicos y de fácil uso, no requiriendo mano calificada para su aplicación de construcción de carreteras.

Con la aplicación de geosintéticos, la construcción de pavimento se hace más económico menos horas máquina, menos explotación de canteras, menos tiempo y además de ello los geosintéticos son económicos.

El tema de la aplicación de geosintéticos en general, es un tema muy amplio, pues existen diferentes tipos de geosintéticos que actúan estructuralmente, así como también existe métodos en estudio para aplicar en diseño de pavimentos flexibles, muchas veces mejorando y así reduciendo la capas base y subbase y también la capa de rodadura, el cual debe ser un motivo de estudio.

Al aplicar los geosintéticos en un pavimento, surge indirectamente la reducción de explotación de canteras, y esto beneficia a la sociedad, por el simple hecho de lograr un menor impacto ambiental. También en la aplicación de geosintéticos, genera el uso de mano de obra no calificada, la aplicación puede hacer cualquier personal obrero de la zona.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Situación problemática**

Los pavimentos asfálticos son aquéllos cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings.

Las capas de un pavimento flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto, la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base.

Las capas de un pavimento flexible suelen ser: capa superficial o capa superior que es la que se encuentran en contacto con el tráfico rodado y que normalmente ha sido elaborada con varias capas asfálticas. La capa base es la capa que está debajo de la capa superficial y está, normalmente, construida a base de agregados y puede estar estabilizada o sin estabilizar. La capa subbase es la capa o capas que se encuentra inmediatamente debajo de la capa base.

Claramente se puede observar las fallas de la estructura de un pavimento en su capa de rodadura, ya sean agrietamientos, hundimientos, piel de cocodrilo etc. impidiendo que los vehículos circulen de manera confortable. Es por eso que nos vemos en la obligación de encontrar alternativas para mejorar y reforzar el pavimento deteriorado existente, para ello se analiza el uso de geosintéticos en dicho pavimento como una buena alternativa en el área vial debido a su aporte estructural.

### **1.3.2. Determinación del problema**

Los problemas e inquietudes ya mencionadas nos conducen a hacernos una pregunta:

¿Al aplicar materiales geosintéticos a un pavimento flexible ya deteriorado, se produce un pavimento reforzado?

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Analizar de manera experimental el diseño de pavimento reforzado con tres tipos de geosintéticos a objeto de evaluar el comportamiento de los mismos al aplicarlos en recapamiento.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Realizar los ensayos de la caracterización de los agregados pétreos y del cemento asfáltico, mediante la norma AASHTO.
- Determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico de una mezcla convencional por el Método Marshall
- Diseñar el espesor del refuerzo por el Método AASHTO 93 en base a información del pavimento existente.
- Determinar el contenido de asfalto residual de las muestras extraídas, en base a la norma de la ABC lavado centrífugo.
- Analizar la utilización del tipo de geosintético para cada tramo de estudio según diversas comparaciones.
- Analizar y determinar qué geosintético favorece a cada tramo seleccionado en función de la resistencia del esfuerzo.
- Analizar precios unitarios en función al geosintético recomendado.

## **1.5. HIPÓTESIS**

Mediante la presente investigación se pretende analizar de manera experimental, la viabilidad del uso de geosintéticos como refuerzo para evitar y detener agrietamientos y fallas de todo tipo, en las capas de rodamiento de las estructuras de pavimento flexible. También mostrar que un recapamiento de la capa de rodadura sin el uso de geosintético implicaría agrietamientos a corto plazo, reflejándose así las falencias de la capa base y subbase.

## **1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES**

### **Variables**

Las variables en la investigación, representan un concepto de vital importancia dentro de un proyecto. Las variables, son los conceptos que forman enunciados de un tipo particular denominado hipótesis.

### **Variable independiente**

Fenómeno a la que se le va a evaluar su capacidad para influir, incidir o afectar a otras variables. Su nombre lo explica de mejor modo en el hecho que de no depende de algo para estar allí: Es aquella característica o propiedad que se supone ser la causa del fenómeno estudiado. En investigación experimental se llama así, a la variable que el investigador manipula. Que son manipuladas experimentalmente por un investigador.

En el desarrollo de la investigación la variable independiente es

Analizar el comportamiento del tipo de geosintético para el reforzamiento del pavimento flexible.

### **Variable dependiente**

Cambios sufridos por los sujetos como consecuencia de la manipulación de la variable independiente por parte del experimentador. En este caso el nombre lo dice de manera explícita, va a depender de algo que la hace variar.

Propiedad o característica que se trata de cambiar mediante la manipulación de la variable independiente. Las variables dependientes son las que se miden.

Las variables dependientes por la acción de reforzar con son:

Pavimento con geosintético

Pavimento sin geosintético

## **1.7. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **1.7.1. Componentes**

#### **Unidad de estudio**

La unidad de estudio del presente trabajo de investigación experimentalmente es pavimento flexible.

#### **Población**

La población del trabajo de estudio es pavimento flexible reforzado.

#### **Muestra**

Pavimento flexible reforzado con materiales geosintéticos.

#### **Muestreo**

Para la obtención de muestras se realizara a través del método de los tres bolillos, mediante extractor de núcleos extrayendo de cada tramo designado por SEDECA, 10 núcleos que nos permitirán analizar el comportamiento y aporte en el pavimento flexible deteriorado con fallas permisibles que nos lleva a buscar una alternativa de solución para que circulen los vehículos de manera confortable.

## **1.8. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS**

### **Definición y selección y/o elaboración de los métodos y técnicas en función del objeto y los objetivos**

El método utilizado para este trabajo de investigación ser en método inductivo experimental, mediante el cual estudiaremos, caracterizaremos y experimentaremos las propiedades mecánicas del pavimento flexible reforzando con materiales geosintéticos, así poder mejorar sus características de resistencia.

### **Técnicas de muestreo**

Las técnicas empleadas en este trabajo serán probabilísticas, estadísticas y analíticas debido a que todas las muestras tendrán las mismas probabilidades.

Para la extracción de núcleos se aplicará el método de los tres bolillos en los tramos determinados, este método consiste en extraer muestra de manera que los elementos sean repartidos en al menos dos filas paralelas, y formen un triángulo equilátero entre ellos, se tomarán muestras de los tres tramos elegidos para el trabajo de investigación.

### **Ensayos previos a realizar**

Se realizarán ensayos de caracterización a todos los materiales, tales como:

#### **Ensayos a realizarse para los agregados**

Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM E40 – AASHTO T27-99)

Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D2419 – AASHTO T176)

Método para determinar el Desgaste de Los Ángeles (ASTM E 131 – AASHTO T96)

Método para determinar el peso específico del agregado grueso ASTM C-127 (Grava, Gravilla)

Método para determinar el peso específico del agregado fino (ASTM C-128)

Método para determinar los límites de Atterberg (ASTM D4318 AASHTO T89)

#### **Ensayos a realizarse para el cemento asfáltico**

Ensayo para determinar la ductilidad (ASTM D113 – AASHTO T51)

Ensayo de penetración (ASTM D5 - AASHTO T49)

Ensayo para determinar del peso específico (ASTM D71 – AASHTO T229)

Ensayo para determinar el punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310 – AASHTO T79)

Ensayo de punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D36 AASHTO T53-96)

Ensayo para determinar la viscosidad Saybolt Furol (ASTM D244)

### **Determinación el contenido óptimo de cemento asfáltico**

Se aplicará el Método Marshall para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla en caliente que se realizará, se logrará aplicando diferentes porcentajes de asfalto partiendo de 4.5%, 5%, 5.5%, 6% 6.5% y 7% de esta manera se logrará determinar el óptimo.

### **Ensayo para analizar el comportamiento del geosintético como refuerzo**

Para analizar el comportamiento de los geosintéticos se realizará a través del ensayo de compresión inconfina en la prensa de CBR a través de la ecuación del anillo determinar el esfuerzo al que soporta el pavimento reforzado.

## **1.9. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El alcance de investigación para esta tesis se refleja en un trabajo netamente de laboratorio y de campo, ya que se procura valorar la influencia principalmente de refuerzo aplicando un geosintético y realizar una comparación entre los materiales usados, representados en briquetas sometidas al ensayo de compresión inconfinado a través de la prensa del equipo CBR.

Para llevar a cabo esto se pretende primeramente realizar la caracterización correspondiente de los agregados de la mezcla, también el cemento asfáltico y se dará a conocer las características y especificaciones de los geosintéticos que se utilizarán para tener mayor conocimiento sobre su aplicación, sus ventajas y desventajas del mismo.

Este trabajo de investigación se organizará de la siguiente manera:

Inicialmente, en el Capítulo I, contiene una breve introducción de generalidades sobre “Análisis experimental sobre el diseño de pavimento reforzado con geosintéticos”, en donde se define la situación problemática sobre la que se basa el presente trabajo, justificación, los objetivos, la metodología que se desean alcanzar con la investigación.

Posteriormente, en el Capítulo II se menciona el marco teórico referente a todo relacionado con el tema de estudio, fundamentalmente sobre pavimento flexible debido a que es el estudio que se realiza está orientado al mismo, se expondrá también sobre geosintéticos con fundamento de refuerzo, para sustentar el trabajo de investigación.



En el Capítulo III, incluye la parte la aplicación donde se describirá de manera clara y concisa los métodos, medios y criterios para obtener los datos de caracterización de los agregados, cemento asfáltico y materiales geosintéticos que luego serán procesados y analizados. También se expondrá todo el procedimiento de la incorporación del Geosintético en la mezcla asfáltica, que resultados se obtienen y como beneficia su aplicación del mismo.

Finalmente, en el Capítulo IV, se expondrá las recomendaciones y las conclusiones a las que se lograron llegar realizando todo lo mencionado anteriormente.

## CAPÍTULO II

### PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOSINTÉTICO

En los últimos años la construcción de carreteras ha demandado la utilización de nuevas tecnologías, que proporcionen mejoras en el desempeño estructural del pavimento, que permitan prolongar la vida útil de los mismos, que sean amigables con el ambiente y además resulten rentables económicamente.

La aplicación de los geosintéticos en la ingeniería vial, surge como una alternativa viable ya que cumple con todas las características antes mencionadas, adicionalmente se obtiene con estas otras ventajas entre las que se pueden mencionar: facilidad de colocación, ahorro en los tiempos de ejecución, utilización de mano de obra no calificada para su instalación, etc.

Los geosintéticos son elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos tales como el polietileno, polipropileno, poliéster y PVC (policloruro de vinilo), también pueden ser utilizadas otros tipos de fibras como la fibra de vidrio y algunas fibras naturales. Los geosintéticos han sido utilizados desde hace varios años en diferentes de obras de ingeniería civil cumpliendo las funciones de refuerzo, filtración, drenaje, separación y barrera de fluidos.

A cada función están asociados requisitos del geotextil que serán mecánicas, hidráulicas y de durabilidad. El concepto de reforzar suelos con diferentes materiales ha permanecido vigente desde los orígenes de los caminos. Desde hace más de 3000 años se registran antecedentes de la aplicación del concepto de suelo reforzado, que consiste en colocar algún elemento en el suelo para mejorar sus características mecánicas. Esto se lograba antiguamente a través de la utilización de ramas trenzadas o colocando troncos en forma perpendicular, siendo hoy en día la utilización de los materiales geosintéticos los cuales, brindar confinamiento lateral y resistencia a tracción. Otro método constructivo anteriormente empleado era la utilización de pieles de animales para separar el suelo blando de la estructura superior, a la vez que mediante capas de arena o grava se lograba un drenaje adecuado para evitar el estancamiento de agua y disminuir la presión intersticial.

A lo largo de la historia, ha sido de interés para la humanidad aumentar la capacidad soporte de los suelos blandos. Uno de los métodos para lograr esto, consiste en confinar lateralmente el material y suministrarle resistencia a tracción. Hoy en día, las geomallas y los geotextiles proveen características controladas, comportamiento uniforme, gran durabilidad, lo que los convierte en materiales ideales para el refuerzo de suelos.

## **2.1. PAVIMENTO FLEXIBLE**

Los pavimentos flexibles son los que se emerge con los materiales butiminosos (o asfalto), estos tipos de pavimentos se llaman “flexibles” puesto que la estructura total del pavimento “se doble “o “desvía” debido a las cargas de tráfico. Una estructura de pavimento flexible se compone generalmente de varias capas de materiales que pueden acomodarse.

Los pavimentos flexibles juegan un papel muy importante en el mundo y en nuestro país especialmente. El volumen de tráfico cada vez mayor en las carreteras y la creciente demanda de los pavimentos más fuertes, más duraderos y más seguros han llevado a la búsqueda de nuevos materiales para pavimentos, procedimientos de diseño y soluciones más rentables. En su mayoría son pavimentos flexibles, la capa superior de estos, son capas asfálticas y están construidas con materiales pétreos y productos asfálticos.

Una característica importante del agregado es su resistencia al desgaste o a la trituración. Los materiales usados en los pavimentos deben resistir al efecto del paso de los vehículos continuo, así como el efecto de cargas de manera repetida sobre el asfalto.

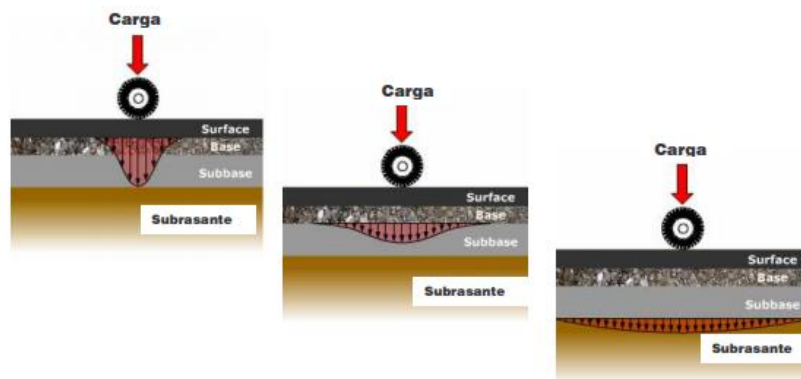
Un número de factores que incluyen el clima y la carga de tráfico influyen en el rendimiento de pavimento flexible. Hay una necesidad urgente de contar con la especificación basada en el desempeño y el uso de innovadores materiales de alto rendimiento para la construcción de pavimentos bituminosos. Al mejorar la resistencia y durabilidad de las mezclas, la reducción del espesor de la capa y el aumento de la vida media puede ser conseguida.

Una carpeta constituida por una mezcla asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas de los vehículos se distribuyen

hacia las capas inferiores por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa.

Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y subbase, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

**Gráfico 2.1.** Distribución de cargas en las capas de un pavimento flexible



**Fuente:** Muench, Stephen; Mahoney, Joe; Pierce, Linda. PAVEMENT TYPES - FLEXIBLE PAVEMENT

### 2.1.1. Elementos estructurales básicos

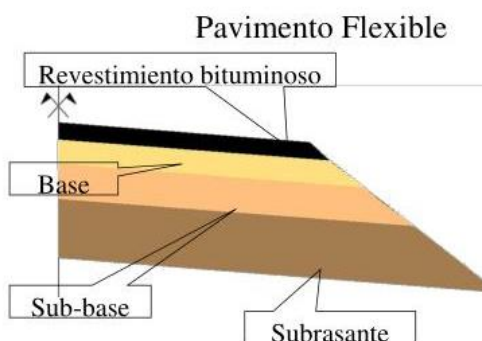
Las capas de materiales se arreglan generalmente dentro de la estructura de pavimento en orden descendente de capacidad a recibir una carga, con el material con la más alta fuerza de sustentación de carga y el más caro, arriba y el material con la más baja fuerza de sustentación de carga y lo más barato posible, en el fondo.

Como se mencionó anteriormente, los pavimentos flexibles se identifican por tener una carpeta asfáltica, capa base, subbase y subrasante, a continuación, serán descritas.

La base y subbase son capas de material pétreo adecuadamente seleccionadas para traspasar las cargas de la carpeta de rodadura a la subrasante (infraestructura). Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, la ubicación de estos materiales dentro de la estructura de un pavimento, está dada por las propiedades mecánicas de cada una de ellas.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MUENCH, Stephen; MAHONEY, Joe; PIERCE, Linda. Pavement types - Flexible Pavement. 06 de Mayo del 2011

**Gráfico 2.2:** Estructura clásica de un pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

### 2.1.1.1. Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiente del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el agregado pétreo son las siguientes:

Un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada.

Deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuaran los ensayos de desgaste de Los Ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.

La forma de la partícula deberá ser lo más cubica posible, recomandaos no usar material en forma de laja o agujas pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán prueba de equivalentes de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo, ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tráfico y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómico puede provocar una perdida en la estabilidad de la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbaloso la superficie, para calcular este optimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frio, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem.

Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, perdidas de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés, en el caso de que las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros.

El tipo de espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a circular por ese camino, tomando en cuenta el siguiente criterio

En tabla 2.1 se muestran los espesores mínimos para carpetas asfálticas y bases granulares, sugeridos en función del tránsito.

**Tabla 2.1:** Espesores mínimos, en pulgadas, en función de los ejes equivalentes

Tránsito (esal's) en ejes equivalentes	Carpetas de concreto asfáltico	Bases granulares
Menos de 50000	1,0 ó T.S.	4,0
50001 - 150000	2,0	4,0
150001 - 500000	2,5	4,0
500001 - 2000000	3,0	6,0
2000001 - 7000000	3,5	6,0
Mayor de 7000000	4,0	6,0

T.S. = Tratamiento superficial

**Fuente:** AASHTO, Gríde for Design of Pavement Structures 1993

### 2.1.1.2. Capa base

De acuerdo con el artículo INVIAS 330-07 “Se denomina base granular a la capa granular localizada entre la subbase granular y las capas asfálticas en los pavimentos asfálticos, sin perjuicio de que los documentos del proyecto le señalen otra utilización”.

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos, proporciona la distribución de carga adicional y contribuye al drenaje.

La carpeta asfáltica es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa

además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transitarlas en forma adecuada a las capas inferiores.

El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un valor relativo de soporte (VRS) y una plasticidad mínima, además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor a su límite plástico.

### **Materiales**

Los materiales a utilizar en la base deberán estar libre de residuos orgánicos, suelo vegetal, arcilla u otros materiales perjudiciales. Además, es de material clasificado como roca triturada, escoria triturada o no. Pueden ser mejorados mediante estabilizaciones mecánicas (compactación) y químicas.

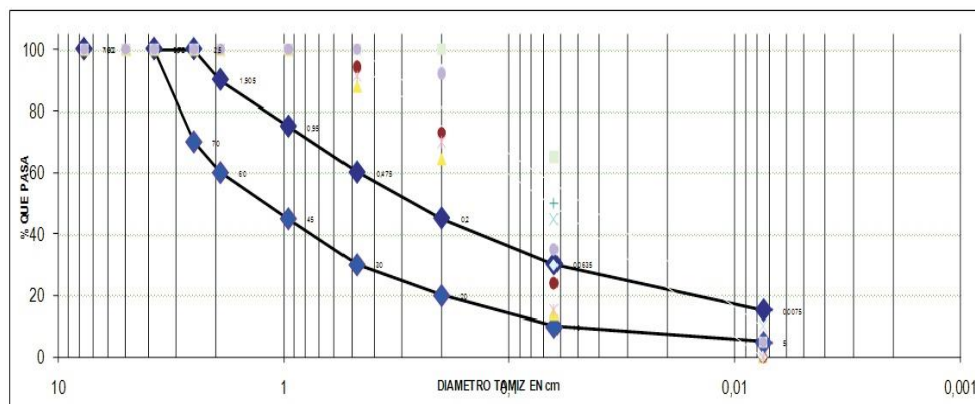
Los agregados utilizados para la construcción de la base granular solo provendrá de canteras y es obligación el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica, deberán satisfacer los requisitos indicados en las especificaciones del proyecto.

Las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin excesos de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales.

En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igualo mayor que su límite plástico.

Los materiales que se utilicen como base granular deben cumplir con las siguientes granulometrías.

**Gráfico 2.3:** Límites granulométricos para base granular



Fuente: INVIAS 330-07 - INVIAS BG-1 / INVIAS BG-2

**Tabla 2.2:** Porcentaje de aceptación de base granular

Porcentaje admisible				
Tamiz		Base granular (INVIAS SG-1/INVIAS SBG2)		
Nº	cm.	Opciones		
3'	7,62	100	100	100
2'	5,00	0	0	0
1 1/2'	3,75	100	100	100
1'	2,50	70	100	85
3/4'	1,91	60	90	75
3/8'	0,95	45	75	60
Nº4	0,48	30	60	45
Nº10	0,20	20	45	32,5
Nº40	0,06	10	30	20
Nº200	0,01	5	15	10

Fuente: INVIAS SBG-1 / INVIAS SBG-2

### 2.1.1.3. Capa subbase

De acuerdo con el artículo INVIAS 320-07 “se denomina subbase granular a la capa granular localizada entre la subrasante y la base granular en los pavimentos asfálticos o la que sirve de soporte a los pavimentos de concreto hidráulico, sin perjuicio de que los documentos del proyecto le señalen otra utilización”. En las especificaciones IDRD, además de los usos mencionados se usa como material de soporte de sardineles y bordillos y de otros elementos que no estarán sometidos a tráfico vehicular, tales como



escaleras; también se utiliza como capa subyacente a la capa de base granular en pavimentos con adoquines.

## Materiales

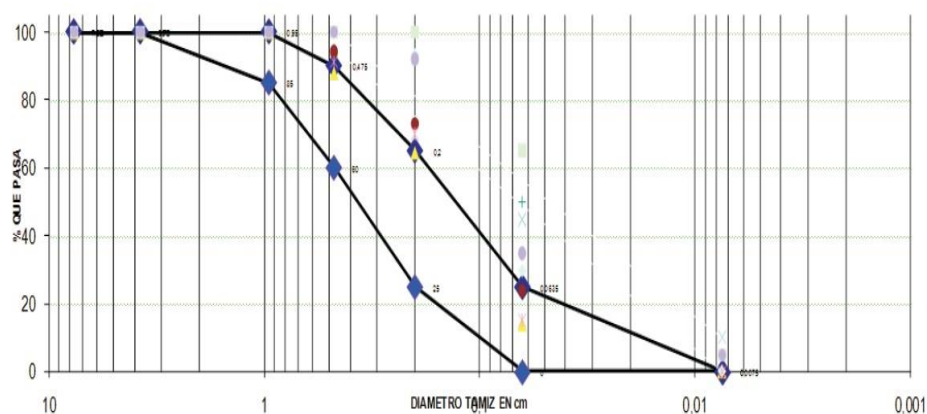
Los materiales para subbase y base estarán sujetas a los tratamientos mecánicos que llegue a requerir para cumplir con las especificaciones adecuadas, siendo los más usuales: la eliminación de desperdicios, el disgregado, el cribado, la trituración y en algunas ocasiones el lavado, los podemos encontrar en cauces de arroyos de tipo torrencial, en las partes cercanas al nacimiento de un río y en los lugares o montañas constituidos por rocas andesificas, basálticas y calizas.

Es de gran importancia conocer estos tipos de terrenos ya que en base a esto se elige el tipo de maquinaria y el personal para trabajar en forma adecuada. El material que se manda del banco para efectuar el análisis correspondiente, deberá traer las etiquetas adecuadas y al llegar al laboratorio se le efectuará un secado, su disgregación y se le cuarteará.

En pavimentos se realizan básicamente 3 tipos de ensayos que serán para clasificar el suelo, para controlar la obra y para proyectar el espesor y los porcentajes óptimos de aglutinante de las diferentes capas.

Los materiales que se utilicen como subbase granular deben cumplir con las siguientes granulometrías.

**Gráfico 2.4:** Límites granulométricos para base granular



Fuente: INVIAS SBG-1 / INVIAS SBG-2

Si los materiales utilizados no cumplen con las granulometrías especificadas, se podrá corregir la granulometría mediante la ayuda de cálculo. La fracción que pasa el tamiz N°40, debe presentar un límite líquido menor o igual que 40% y un índice de plasticidad menor o igual que 6%. En caso que el material de la cantera disponible no cumpla estos requisitos, será responsabilidad del constructor, proponer los tratamientos especiales a que se debe someter el material para lograr el cumplimiento de los requisitos de plasticidad, como por ejemplo agregar cemento al material granular

**Tabla 2.3:** Porcentajes admisibles para la copa subbase

Porcentaje admisible				
Tamiz		Subbase granular (INVIAS SG-1/INVIAS SBG2)		
N°	cm.	Opciones		
3'	7,62	100	100	100
2'	5,00	100	100	100
1 1/2'	3,75	70	95	82,5
1'	2,50	60	90	75
1/2'	1,27	45	75	60
3/8'	0,95	40	70	55
N°4	0,48	25	55	40
N°10	0,2	15	40	27,5
N°40	0,06	6	25	15,5
N°200	0,01	0	15	8,5

Fuente: INVIAS SBG-1 / INVIAS SBG-2

#### 2.1.1.4. Capa subrasante

La sub-rasante o también llamado terreno de fundición es la capa de cimentación, la estructura que debe soportar finalmente todas las cargas que corren sobre el pavimento.

En algunos casos, esta capa estará formada solo por la superficie natural del terreno o sino de la parte superior de un relleno debidamente compactado. En otros casos más usuales, será el terreno el que se compacte una vez que se ha cortado el necesario o la capa superior en donde ha requerido terraplén.

En el concepto fundamental de la acción de los pavimentos flexibles, el espesor combinado de la subbase (si se usa), de la base y de la superficie de rodamiento debe ser lo suficientemente grande para que se reduzcan los esfuerzos que concurren en la sub-rasante a valores que no sean tan grandes como para que produzcan una distorsión o desplazamiento excesivos de la capa de suelo de la sub-rasante.

Frecuentemente, las deficiencias en la construcción debidas a problemas de la subrasante no se detectan por encontrarse “ocultas” en el pavimento final; sin embargo pueden aparecer en el pavimento después de la exposición al tráfico y al medio ambiente.

### **Principales características que debe tener una sub-rasante:**

Si el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse el material que lo compone siempre que sea posible, y sustituirse este por un suelo de mejor calidad.

Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub base de material seleccionado antes de colocar la base.

Si el terreno de fundación es regular o bueno, podría prescindirse de la sub – base.

Las propiedades fundamentales eran la clasificación de suelos, plasticidad, resistencia al corte, susceptibilidad a las heladas y drenajes. Desde las postrimerías de la década del 50, se puso más énfasis en las propiedades fundamentales de la subrasante y se idearon ensayos para caracterizar mejor a estos suelos. Ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR, compresión simple son reemplazados por ensayos dinámicos y de repetición de cargas tales como el ensayo del módulo resiliente, que representan mucho mejor lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a tensiones y deformaciones.

La función de la subrasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación de pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son:  $f_y$  máximo de 3 cm para caminos de bajo tránsito y de 50 cm en caminos con un TPDA > de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la subrasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que se absorba por las terracerías.<sup>2</sup>

### **2.1.2. Deterioración de la estructura**

Todos los pavimentos, independientemente del tipo y de los materiales utilizados, es sujeto a ciertas capas de tráfico y factores ambientales. Esto da lugar a varios modos de deterioración de la estructura bajo condiciones en servicio. Los modos de deterioración y

---

<sup>2</sup> Manual de carreteras ABC sección 3. Bases y sub-bases de pavimentos

el nivel de susceptibilidad el pavimento a varios factores exteriores dependen del tipo de pavimento y de los materiales utilizados. Generalmente, se debe considerar la deterioración del pavimento en uno o dos modos: deterioración superficial o deterioración estructural.

En el caso de pavimento de asfalto, las deterioraciones se presentan bajo las formas siguientes:

### **Deterioración superficial**

Perdida de fricción

Deformación permanente de la estructura asfáltica (generalmente en la capa superficial): aparición de roderas.

Aparición de grietas superficiales

Aparición de ranuras

### **Deterioración estructural**

Deformación permanente de la subrasante

Grietas estructurales

Es importante entender estas diferencias por necesidad de mantenimiento y la durabilidad del pavimento (o de la vida de diseño). La deterioración superficial es un defecto de la superficie del pavimento y mejorarla puede consistir en un mantenimiento de la capa superficial solamente. La deterioración estructural es un defecto de la estructura entera y mejorarla necesita una rehabilitación más extensa del pavimento.

### **Principales causas**

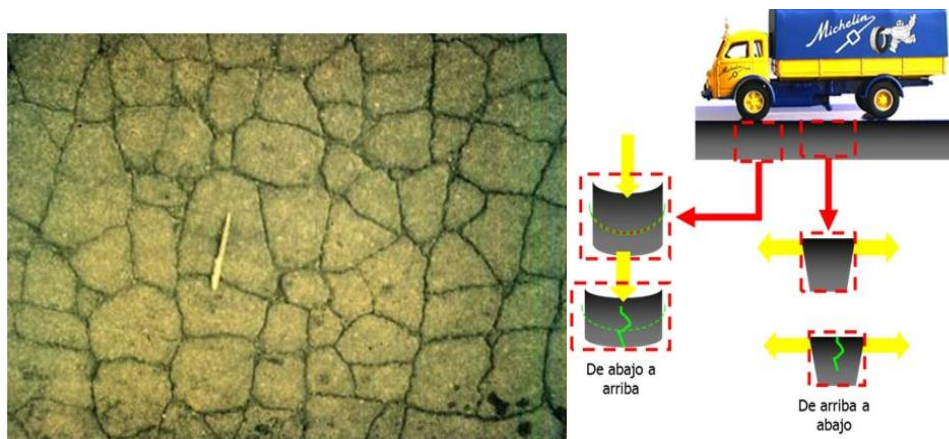
A grandes rasgos, podemos resumir en 5 los principales fallos que se pueden dar en un pavimento:

#### **Fatiga**

La fatiga del pavimento es principalmente debida a la modificación de la estructura interna causada por las deformaciones repetidas del material (bajas temperaturas), fallo del betún.

Ocurre en áreas sujetas a cargas de tráfico repetidas. Pueden ser una serie de grietas interconectadas en estado temprano de desarrollo que se desarrollan en formas poligonales con aristas en ángulo, generalmente de menos de 0,3 m en el lado largo y con la característica "piel de cocodrilo" en etapas posteriores.

**Imagen 2.1:** Falla por fatiga



**Fuente:** Carlos Serrano, ICCP, A. Bianchini Ingeniero S.A.

### Tensiones superficiales

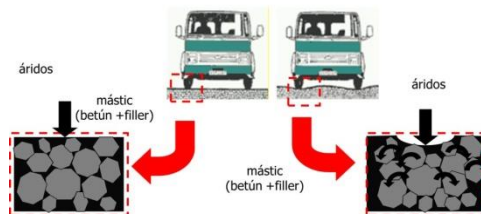
Una rodera es una depresión longitudinal en superficie en la zona de paso de las ruedas. Estas roderas pueden tener desplazamientos transversales.

**Imagen 2.2:** Falla por tensiones superficiales



**Fuente:** Carlos Serrano, ICCP, A. Bianchini Ingeniero S.A.

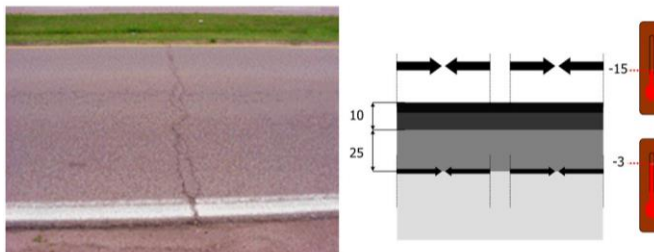
La principal causa de la formación de roderas es la reordenación de los áridos, a alta temperatura, con deformaciones permanentes bajo cargas repetidas de tráfico.

**Gráfico 2.5:** Falla por tensiones superficiales

**Fuente:** Carlos Serrano, ICCP, A. Bianchini Ingeniero S.A.

### Grietas térmicas

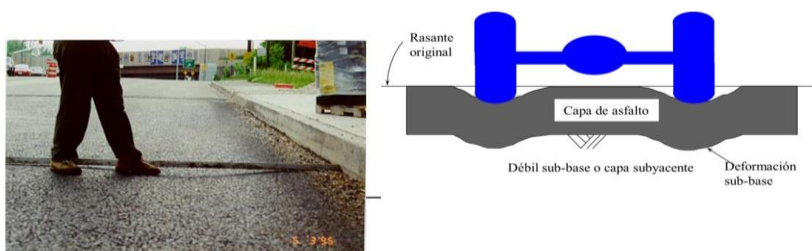
Aparecen como consecuencia de un determinado gradiente térmico entre las capas superiores e inferiores (bajas temperaturas). Acostumbran a ser grietas regulares y equidistantes reflejo de las distintas amplitudes térmicas a las que se ve expuesto el pavimento.

**Imagen 2.3:** Falla por grietas térmicas

**Fuente:** Carlos Serrano, ICCP, A. Bianchini Ingeniero S.A.

### Falta de capacidad portante

Aparece este tipo de defecto debido a un mal diseño del paquete de firmes respecto a la capacidad portante del suelo. Este tipo de agrietamiento también se puede dar por asentamientos diferenciales en las capas que conforman el núcleo del terraplén.

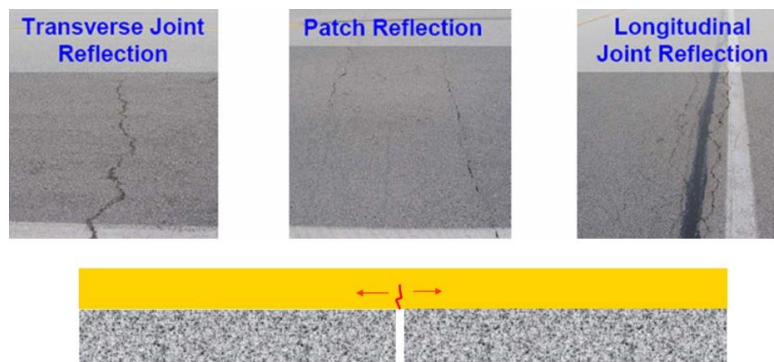
**Imagen 2.4:** Falla por falta de capacidad portante

**Fuente:** Carlos Serrano, ICCP, A. Bianchini Ingeniero S.A.

## Discontinuidades existentes

También llamadas grietas de ensanche. Son grietas longitudinales de reflejo que se manifiestan en la capa asfáltica superpuesta, en juntas y nuevas ampliaciones. Los mayores problemas en capas de refuerzo de asfalto de mezcla en caliente, con transmisión prematura de fisuras dentro del primer o segundo año desde su colocación.<sup>3</sup>

**Imagen 2.5:** Falla por discontinuidades existentes



**Fuente:** Carlos Serrano, ICCP, A. Bianchini Ingeniero S.A.

### 2.1.3. Rehabilitación de pavimentos

Éste es el proceso por medio del cual la estructura de pavimento es restaurada a su condición original de soporte. Se obtiene de la recuperación con o sin estabilización del pavimento existente en combinación con material de aporte, si es necesario. En este proceso los materiales provenientes de los pavimentos existentes formarán parte de la nueva estructura.

En pavimentos flexibles la rehabilitación se efectúa por medio de los siguientes procedimientos:

- Escarificación
- Reconformación
- Compactación
- Imprimación

<sup>3</sup> Carlos Serrano, ICCP, A. Bianchini Ingeniero S.A.

### **Recapeo en pavimentos flexibles**

Las sobrecarpetas o recapeos consisten en la colocación de mezcla asfáltica en frío o mezcla asfáltica en caliente, en espesor menos de 5 centímetros, sobre la capa de rodadura existente (exceptuando en adoquines), a fin de rehabilitar zonas con problemas de muchos baches o con superficies con daños severos. Este espesor corresponde a la mezcla debidamente compactada.

Esta actividad estará en función de los resultados de deflexiones en los pavimentos existentes. Como condición indispensable para la ejecución de esta actividad, se requiere que en el tramo donde se colocará la mezcla asfáltica en caliente, haya deflexiones mayores a las permisibles en el pavimento, debiendo realizar este control por medio de la Viga Benkelman método AASHTO T-256, o por la aplicación de otro método técnico, reconocido y aceptado profesionalmente.

El valor máximo de dicha deflexión respecto a un punto dado, a una distancia no mayor de 3.68 metros en cualquier dirección, para la capa de superficie de mezcla asfáltica. Previo a su ejecución, se debe efectuar una prueba de campo para determinar la deflexión por cada 400 metros cuadrados, en la superficie de la capa de concreto asfáltico compactada, previamente a su ejecución.

#### **2.1.4. Mezcla asfálticas en caliente – Método Marshall**

##### **Metodología**

La práctica de diseño de mezclas asfálticas ha utilizado diferentes métodos para establecer un diseño óptimo en laboratorio; los comúnmente más utilizados son el método Marshall y el Hveem. Siendo el Marshall el más común en la práctica que se realizan.

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrolló un criterio de diseño de mezclas.



El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1') o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5'). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 1/2') y 102 mm (4') de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559).

Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.<sup>4</sup>

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100') que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

### **Granulometría**

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica. La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior). Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. La tabla 2.6 presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515.

---

<sup>4</sup> ASPECTOS DEL DISEÑO VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Paul Garnica Anguas Horacio Delgado. Técnica No 246 Sanfandila, Qro, 2004 Certificación ISO 9001:2000 Laboratorios acreditados por EMA

**Tabla 2.4:** Graduaciones propuestas para mezclas asfálticas

Abertura de malla	Mezclas cerradas								
	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2 in (50 mm)	1 ½ in (37,5 mm)	1 in (25,0 mm)	¾ in (19,0 mm)	½ in (12,5 mm)	3/8 in (9,5 mm)	No. 4 (4,75 mm)	No. 8 (2,36 mm)	No. 16 (1,18 mm)
Graduaciones para mezclas de agregados (grueso, fino y filler)									
2 ½ in. (63mm)	100	...	...	...	...	...	...	...	...
2 in. (50mm)	90 - 100	100	...	...	...	...	...	...	...
1 ½ in. (37,5mm)	...	90 - 100	100	...	...	...	...	...	...
1 in. (25,0 mm)	60 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...	...	...
¾ in. (19,0 mm)	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...	...
½ in. (12,5 mm)	36 - 66	...	66 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...
3/8 in. (9,5 mm)	...	...	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...
No. 4 (4,75mm)	17 - 47	23 - 53	29 - 59	36 - 66	44 - 74	55 - 85	80 - 100	...	100
No. 8 (2,36mm)	10 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	...	95 - 100
No. 16 (1,18mm)	...	...	...	...	...	...	40 - 80	...	65 - 100
No. 30 (600 µm)	...	...	...	...	...	...	35 - 65	...	70 - 95
No. 50 (300 µm)	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	...	45 - 75
No. 100 (150 µm)	...	...	...	...	...	...	3 - 20	...	20 - 40
No. 200 (75 µm)	0 - 6	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 - 8	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

Fuente: Manual ASTM D3515

### Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios que se mostraran a continuación. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (Tabla 2.7). Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

**Tabla 2.5:** Criterios de diseño de mezclas Marshall

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base	
Criterios de mezcla	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Compactación, número de golpes en casa uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750		1200		1800	
Flujo (0,25 mm) (0,01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver Tabla 2.2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas Paul Garnica Anguas

**Tabla 2.6:** Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VAM)

Máximo tamaño de partículas nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño de vacíos de aire		
mm	in	3,0	4,0	5,0
1,18	N° 16	21,5	22,5	23,5
2,36	N° 8	19,0	20,0	21,0
4,75	N° 6	16,0	17,0	18,0
9,5	3/8	14,0	15,0	16,0
12,5	1/2	13,0	14,0	15,0
19	3/4	12,0	13,0	14,0
25	1,00	11,0	12,0	13,0
37,5	1,50	10,0	11,0	12,0

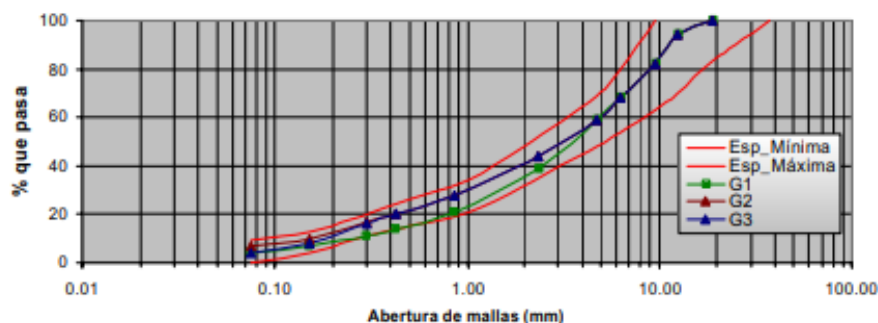
**Fuente:** Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas Paul Garnica

### Elaboración de la mezcla asfáltica

Después de haber realizado las pruebas correspondientes al material granular y verificar que cumple con las especificaciones mínimas se procedió a separarlo por tamaños; el máximo nominal del agregado, fue de 12.57 mm (1/2'), que es un tamaño común en carpetas asfálticas.

### Determinación de la granulometría

La granulometría se seleccionó teniendo en cuenta que debería cumplir con las dos especificaciones de diseño; gráfica en escala semilogarítmica (Método Marshall). Para esto se propusieron tres curvas granulométricas: corresponden a una granulometría gruesa (G1) y dos granulometrías finas (G2 y G3). Las curvas granulométricas se pueden observar en el Gráfico 2.6

**Gráfico 2.6:** Granulometría Marshall

**Fuente:** Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas Paul Garnica Anguas

Como se observa en la gráfica 2.6, la única restricción de la granulometría Marshall es que las curvas granulométricas deben estar dentro de la zona establecida por las curvas de especificación máxima y mínima.

### **Contenido de asfalto inicial**

Después de separar el material y definir las granulometrías, se determinó el porcentaje de asfalto inicial, que para fines de diseño es más apropiada que la propuesta en la metodología Marshall, dando como resultado un porcentaje de 5.1 % para la mezcla gruesa (G1) y 5.0 % para las mezclas finas (G2 y G3).<sup>5</sup>

## **2.2. GEOSINTÉTICOS**

Durante décadas ha sido ampliamente reconocido el uso de geosintéticos en varios campos que permiten su aplicación para solucionar posibles situaciones problemáticas. Aunque el uso de estos materiales constituye una práctica común en la ingeniería; aún en la actualidad, se sigue haciendo uso de criterios de diseño empíricos, que, en muchas ocasiones, desconocen el efecto de la interacción suelo-geotextil. Diversas investigaciones han dado lugar a múltiples metodologías de diseño, las cuales coinciden en la definición de los dos criterios que gobiernan el desempeño de un geotextil. Los geotextiles o geosintéticos se pueden definir como un material textil plano, permeable y polimérico, que se emplea en contacto con suelos y otros materiales para aplicaciones geotécnicas en ingeniería civil.

El concepto de reforzar suelos ha permanecido vigente ante las crecientes necesidades de la humanidad, tanto que en 1926 se dio el primer intento de uso de fibras sintéticas en el refuerzo de una estructura de pavimentación. El propulsor de dicho experimento fue el Departamento de Vías de Carolina del Sur en Estados Unidos (Koerner, 1997). El ensayo consistió en disponer una gruesa capa de algodón sobre la capa de base del pavimento flexible para luego verter asfalto caliente sobre la fibra y protegerlo con una delgada capa de arena. Los resultados del experimento fueron publicados en 1935, mostrando una reducción de las fallas localizadas y el agrietamiento en la estructura y buenas condiciones de servicio antes de que la fibra se deteriorara completamente. Este

---

<sup>5</sup> Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas Paul Garnica Anguas Horacio Delgado. Técnica No 246 Sanfandila, Qro, 2004 Certificación ISO 9001:2000 ‡ Laboratorios acreditados por EMA

proyecto demostró la relevancia de usar cuerpos ajenos al material, que cumplan las funciones de mejoramiento del material natural propias de las fibras sintéticas que conocemos hoy en día.

El desempeño general de los geosintéticos permite proveer soluciones eficientes a la ingeniería en diversas escalas. Su amplio uso se ha alcanzado gracias a las ventajas comparativas frente a otros métodos de mejoramiento de condiciones in-situ dentro de las cuales se destacan: a) un mejor desempeño de la función específica: por su estricto control de calidad y desarrollo tecnológico están calificados en el cumplimiento de funciones específicas y b) economía en su uso: Ya sea por menor inversión inicial o por prolongación de la vida útil de la estructura.

Un momento clave en la historia de estos materiales fue la aparición de la palabra “geotextil” en el año 1977. En un Simposio Internacional sobre el empleo de textiles en la Geotecnia celebrado en París, J.P. Giroud bautizó a estos productos con ese nombre. A partir de entonces, se organizan conferencias y congresos para avanzar en el desarrollo tecnológico y la normativa a aplicar sobre estos materiales.

**Imagen 2.6.** Geosintético



**Fuente:** [www.huesker.es/productos/geosinteticos/composites/samigrd.html](http://www.huesker.es/productos/geosinteticos/composites/samigrd.html)

### **2.2.1. Definición de geosintético**

Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos mezclados con fibras naturales, las cuales poseen propiedades Físico-Mecánicas e Hidráulicas, que hacen que su utilización sea apropiada en diferentes obras civiles.

Otra definición proporcionada por la ASTM D - 4439-97: Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos usados en suelos, roca, tierra y otros materiales geotécnicos similares, como una parte integral de proyectos de ingeniería civil, estructuras u otras construcciones elaboradas por el hombre.

Los geosintéticos generalmente son identificados por:

Polímero componente.

Proceso de fabricación.

Tipo primario de geosintético.

Masa por unidad de área.

Cualquier otra información adicional o propiedades físicas necesarias para describir el material en relación a sus aplicaciones específicas.

### **2.2.2. Componentes de los geosintéticos**

Los geosintéticos poseen dentro de su estructura diferentes elementos dentro de los cuales se encuentran los polímeros y algunas fibras naturales como el algodón, el yute y juncos. Los polímeros más utilizados son el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliéster (PS), el poliuretano (PU) y el policloruro devinilo (PVC).

#### **Polietileno (PE)**

El polietileno es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes.

Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados.

Algunas de las propiedades que hacen del polietileno una materia prima tan conveniente para su utilización en los geosintéticos entre otras podemos mencionar, poco peso, flexibilidad, tenacidad, alta resistencia química y propiedades eléctricas sobresalientes.

#### **Polipropileno (PP)**

El polipropileno es un plástico muy duro y resistente, es opaco y con gran resistencia al calor pues se ablanda a una temperatura más elevada de los 150° C. Es muy resistente a los golpes aunque tiene poca densidad y se puede doblar muy fácilmente, resistiendo múltiples doblados por lo que es empleado como material de bisagras. También resiste muy bien los productos corrosivos. Es un material inerte, compatible con todo tipo de cementos y aditivos, por lo que se utiliza para armar morteros de cemento y en la construcción de materiales geosintéticos.

Tiene muy buenas propiedades mecánicas, algunas de las propiedades más importantes que podemos mencionar de este material son: que es de muy baja densidad, es más rígido que la mayoría de los termoplásticos, posee una gran capacidad de recuperación elástica, tiene una excelente compatibilidad con el medio, es un material fácil de reciclar, alta resistencia al impacto, buena resistencia superficial, tiene buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

### **Poliéster (PS)**

El poliéster es uno de los materiales más empleados en el campo de los geotextiles, son las fibras que, junto a las de vidrio, más se utilizan en la arquitectura textil combinadas con una matriz termoplástica, normalmente policloruro de vinilo (PVC).

Las propiedades del poliéster son elevada estabilidad dimensional, insignificante contracción posterior al moldeo, alta resistencia al calor y cambios bruscos de temperatura, elevada resistencia a la fisuración.

### **Policloruro de vinilo (PVC)**

Es una resina termoplástica obtenida a partir de la polimerización de dos materias primas naturales, el cloruro de sodio o sal común (NaCl) y gas natural.

Las propiedades del PVC son: una elevada resistencia a la abrasión, baja densidad (1,4 g/cm<sup>3</sup>), buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción. Es dúctil y tenaz; presenta estabilidad dimensional y resistencia a la mayoría de agentes químicos.

### **Poliuretano (PU)**

Es una resina sintética que se presenta la mayoría de las veces como una espuma rígida y se utiliza mayormente en la fabricación de georedes debido que presenta una alta resistencia a la deformación por compresión mecánica.

El poliuretano se caracteriza por su alta resistencia a la abrasión, al desgaste, al desgarre, al oxígeno, al ozono y a las temperaturas muy bajas.

### **2.2.3. Clasificación de los geosintéticos**

## Geotextiles

Llamamos geotextil al material textil plano, permeable, de apreciable deformabilidad, formado por fibras poliméricas termoplásticas de diversos orígenes, entre las más utilizadas podemos mencionar a las polioléfinas, poliésteres y poliuretanos. Los geotextiles se clasifican en dos grandes grupos: tejidos y no tejidos; los primeros están formados por dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos u otros elementos entrecruzados perpendicularmente entre sí, formando estructuras bidimensionales; los segundos están constituidos por filamentos repartidos aleatoriamente cuya cohesión, está asegurada por procedimientos mecánicos, térmicos o químicos. En la mayoría de los casos los geotextiles cumplen con varias funciones, aunque siempre hay alguna de ellas que es la principal. Entre las funciones hidráulicas están la de filtración y drenaje. Entre las funciones mecánicas se pueden destacar la de separación, la de refuerzo y la de protección.

**Imagen 2.7:** Geotextil



**Fuente:** Elaboración propia

## Geomallas

Las geomallas son mallas de material polimérico con espacios abiertos (dimensionados para ser compatibles con la granulometría del relleno) llamados “aperturas”, los cuales están delimitados por “costillas”. Las funciones principales que cumple son de refuerzo y estabilización, se puede usar para trabajos de refuerzo de terraplenes pudiendo así diseñarse taludes más verticales, y para incremento de la capacidad de soporte de bases y subbases de carreteras. También se utilizan en fundaciones, en diques, gaviones, obras marinas y otros. Las características de las geomallas varían mucho según su composición química, tecnología de fabricación y según las diferentes patentes existentes en el mercado. Así, se pueden encontrar geomallas de diferentes materiales y

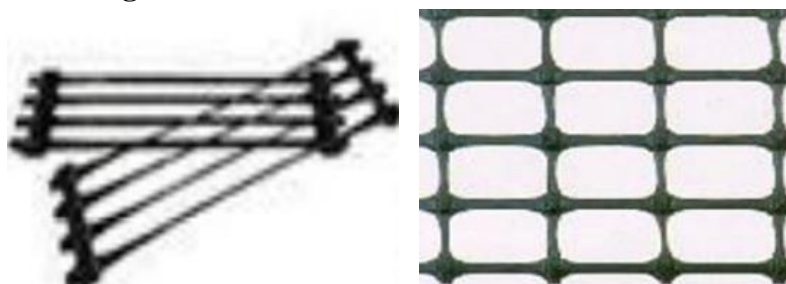


formas, con diferentes tecnologías de unión en las juntas, con distintas aperturas de malla, con distintos espesores.

Todas estas variaciones, obviamente, dan como resultado diferentes propiedades mecánicas y diferentes comportamientos, lo que deberá tenerse en cuenta a la hora de seleccionar la malla más adecuada para una aplicación determinada. Independientemente de la patente, existen dos tipos básicos de geomallas: las uniaxiales y las biaxiales. Las primeras son producidas a base de polietileno de alta densidad en un proceso de extrusión siguiendo un estiramiento en un solo sentido; poseen toda su capacidad alineada en una única dirección, con juntas transversales, y se utilizan en aplicaciones donde se conoce a ciencia cierta la dirección de aplicación de la carga (por ejemplo en el refuerzo de taludes o muros). Las segundas poseen capacidad dos direcciones, aproximadamente perpendiculares entre sí, y se utilizan para refuerzos con carga de dirección variable (fundaciones, caminos, plataformas).

Por otro lado, dentro de las geomallas biaxiales, pueden diferenciarse otros dos grupos: las geomallas rígidas y las geomallas flexibles. Las geomallas rígidas son aquéllas fabricadas en polipropileno, químicamente inerte y con características de uniformidad y homogeneidad, producidas en un proceso de extrusión siguiendo un estiramiento longitudinal y transversal, con juntas integrales conformando un sistema monolítico. Las segundas son fabricadas generalmente con fibras de poliéster unidas en los puntos de encuentro mediante diferentes métodos de tejido con un revestimiento de PVC por lo general.<sup>6</sup>

**Imagen 2.8:** Geomalla uniaxial - Geomalla biaxial



**Fuente:** Elaboración propia

---

<sup>6</sup> Koerner, 1997; PAVCO, 2002; Tensar, 2002; Da Silva, 1994; FAO, 2001

## **Georedes**

Las georedes están compuestas por una estructura de dos y tres dimensiones de capas y filamentos paralelos entrelazados que crean canales de gran capacidad de flujo y drenaje. Se construyen por extrusión de Polietileno de Alta Densidad (High-Density Polyethylene, HDPE) y son resistentes a agentes químicos y biológicos que normalmente presentan el suelo y los desechos. También se utilizan para resistir la degradación de rayos ultravioleta (UV).

Las georedes biplanares incorporan 2 nervaduras superpuestas en ángulo respecto a la dirección del flujo de los líquidos. Estas uniones se dirigen en la dirección del flujo.

Sus nervaduras aumentan significativamente la capacidad de tensión y resistencia a la compresión de la geored. Estas nervaduras están también soportadas por estructuras planas que reducen la intrusión y pérdida de flujo de la sección de drenaje. El conjunto permite obtener altos índices de flujo en la vida útil de la estructura, y no solo por algunas horas. En la geored biplanar, por tanto, el flujo es igual en todas las direcciones mientras que en el triplanar es mucho mayor.

Las georedes sustituyen a los materiales naturales como arena y grava, y resuelven gran parte de los problemas asociados a los materiales naturales. De hecho, el uso de materiales naturales crea limitaciones de construcción y calidad tales como: estabilidad de taludes laterales, daños a las geomembranas y consistencia en la calidad y los espesores de los rellenos.

**Imagen 2.9:** Geored



**Fuente:** Elaboración propia

## Geomembranas

Son láminas de impermeabilización, cuya función principal es evitar el paso de agua y que se emplean en sistemas de impermeabilización tales como: túneles, vertederos, depósitos, almacenamiento de agua o cubiertas planas de edificación.

Están fabricadas por diferentes tipos de resinas: caucho sintético, polipropileno, clorosulfonado, cloruro de polivinilo, polietileno de alta, media y de baja densidad.

La aplicación principal de las geomembranas es la impermeabilización en obras civiles, geotécnicas y ambientales en trabajos de manejo de desechos sólidos, rellenos sanitarios, lagunas de oxidación, minería, riego, acuicultura, agricultura, proyectos hidráulicos, canales de conducción, almacenamiento, lagunas de tratamiento de desechos de crudo, etc.

**Imagen 2.10:** Geomenbrana



**Fuente:** [www.google.com/geomembranas](http://www.google.com/geomembranas)

## Geoceldas

Un material ideal para utilizar en aplicaciones de ingeniería civil ha de ser aquél que proporcione una buena compactación y que permita el drenaje del agua con libertad. Con frecuencia nos encontramos que los terrenos con una buena capacidad de drenaje son difíciles de confinar in situ. La geocelda proporciona la solución para conseguir un confinamiento del terreno o de materiales granulares, con un buen drenaje.

La solución que planteaban era un producto en el cual se sueldan tiras de plástico de forma que, cuando se produce una dilatación, las tiras soldadas forman un panel rectangular compuesto de celdas individuales similares a un panal de abeja.

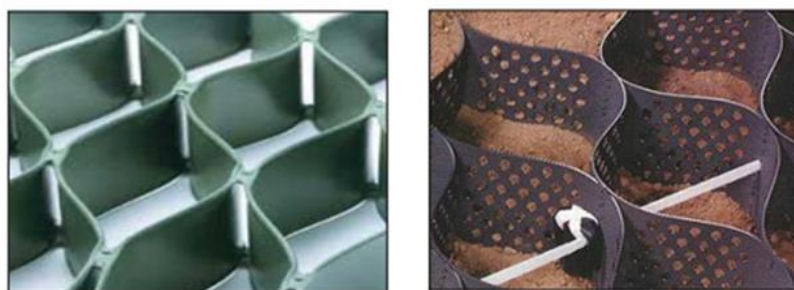
Hoy en día, ingenieros civiles de todo el mundo emplean este mismo concepto para conseguir confinamiento del material in situ. El nombre genérico de este producto desarrollado en el USACE es la geocelda.

En situaciones donde la pendiente del talud es tan pronunciada que no resulte factible colocar los paneles de geoceldas sobre la superficie del talud, se puede retener el terreno mediante una estructura de contención construida con el sistema de confinamiento celular.

Una ventaja adicional de este tipo de construcción es que las celdas exteriores pueden rellenarse con tierra vegetal, lo que va a proporcionar a la pared exterior del muro un aspecto agradable, reduciéndose asimismo el flujo de agua en la cara exterior.

Un muro de contención celular se utiliza en situaciones tanto de relleno como de recorte. Las geoceldas no sólo retienen el terreno en su sitio, sino que además proporcionan el drenaje de toda la estructura.

**Imagen 2.11:** Geoceldas

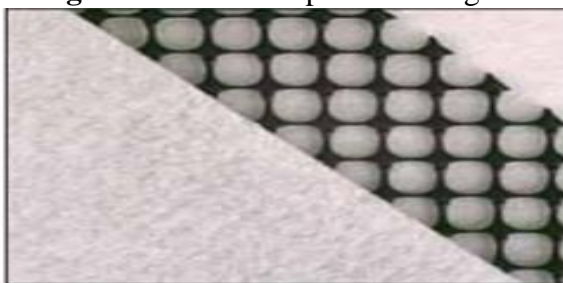


**Fuente:** [www.google.com/geomembranas](http://www.google.com/geomembranas)

### **Geocompuestos**

Están formados por una geored que es un material formado por dos hilos superpuestos de polietileno de alta densidad (HDPE) que forman canales con alta capacidad de evacuación de agua, incluso cuando se colocan horizontalmente y se someten a grandes cargas y por uno o dos geotextiles no tejidos (según la aplicación), que actúan como elementos separadores, protectores, filtrantes y anticontaminantes de finos.

Los geotextiles son normalmente de polipropileno (PP), aunque también pueden ser de poliéster (PS). Además, existen geocompuestos que llevan incorporada una geomembrana, con lo que la función impermeabilizante se suma a las anteriores.

**Imagen 2.12:** Geocompuestos con geomalla

Fuente: [www.google.com/geocompuestos](http://www.google.com/geocompuestos)

#### **2.2.4. Funciones principales de los geosintéticos en pavimentos**

El uso de los geosintéticos en las construcciones de ingeniería vial se ha visto incrementado en las últimas décadas debido a las múltiples ventajas que ofrecen como la facilidad de puesta en obra o instalación, el reducido coste que conlleva su adquisición, la poca complejidad que supone su instalación, la generación de un menor impacto en el medio ambiente, así como la más que probada calidad del producto y los beneficios directos que reporta su instalación en la durabilidad de los pavimentos.

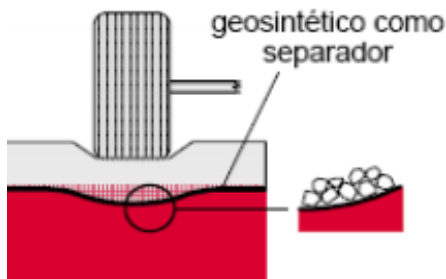
Recordemos que el papel de los distintos geosintéticos tienen cabida en muchas de las áreas dentro del sector de la construcción: obras hidráulicas, obras viales, sistemas para el control de la erosión. Los geosintéticos son materiales fabricados a partir de procedimientos de extrusión, es decir, uno de sus componentes es a base de un polímero sintético o natural y se entrega en forma de rollo.

##### **Separación**

Se puede usar los geosintéticos (geotextiles), para separar las capas de la estructura de soporte de la vía, con diferentes propiedades y de agregados (Ver gráfico 2.7). El paso de los vehículos sobre la capa de rodamiento, causa el movimiento de las partículas de las capas inferiores, como resultado de esto, los finos de la subrasante pueden ser bombeados hacia arriba, dentro de las capas granulares, reduciendo la resistencia y la capacidad de drenaje de esas capas. Además, los geosintéticos pueden reducir la penetración de las partículas granulares dentro de una subrasante blanda, manteniendo de esta manera el espesor y la integridad de las capas granulares, incrementando además la vida de servicio de la vía. Para cumplir con esta función, el Geosintético debe ser

resistente a los esfuerzos concentrados (tracción y punzonamiento) y tener aberturas compatibles con los tamaños de las partículas del material a ser retenido.

**Gráfico 2.7:** Función de separación del geosintético



**Fuente:** Preparado por Richard J. Bathurst

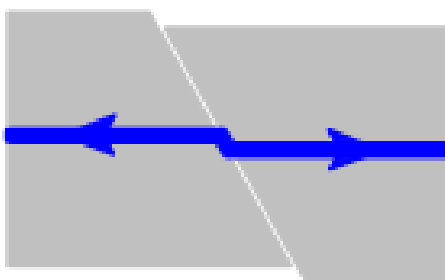
### Refuerzo

Los geosintéticos (geotextiles, geomallas y geoceldas) instalados sobre subrasantes inestables, pueden eliminar la necesidad de reemplazar estos suelos, incrementando la capacidad de carga del sistema, debido a una mejor distribución de esfuerzos. Cuando se instalan dentro de las capas de base o subbase, los geosintéticos pueden ayudar a reducir los asentamientos asociados con la dispersión lateral de los materiales de base y subbase.

Las características principales que deben considerarse para esta función son la interacción entre geosintético-suelo, resistencia al daño mecánico, módulo de rigidez tensional y resistencia tensional.

Los refuerzos permiten la construcción de terraplenes al borde de taludes con mayores ángulos que los posibles con suelo no reforzado. Los geosintéticos (generalmente geomallas) han sido usados para cubrir cavidades que se pueden generar debajo de camadas granulares sometida a carga (carreteras y vías ferrocarriles).

**Gráfico 2.8:** Función de refuerzo

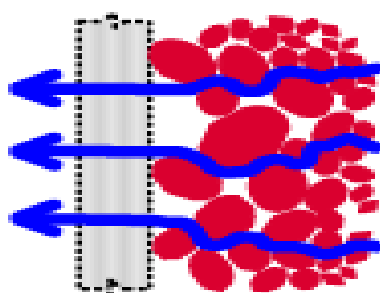


**Fuente:** Preparado por Richard J. Bathurst

## Filtración

El flujo de agua de la subrasante hacia las capas granulares superiores puede transportar los finos de la misma. Esto puede ocurrir debido al incremento en los niveles de esfuerzos en la subrasante debido al tráfico. En este caso, un geotextil puede actuar como un filtro, permitiendo el paso libre del agua al mismo tiempo que retiene las partículas sólidas de la subrasante. Para cumplir este rol, el geotextil debe tener propiedades de retención y permeabilidad adecuadas y ser resistente a la colmatación y reducción de permeabilidad debido a la acumulación de finos.

**Gráfico 2.9:** Función de filtración



**Fuente:** Preparado por Richard J. Bathurst

## Barrera Impermeable

Los geosintéticos actúan como una barrera impermeable para fluidos entre las capas de los pavimentos y/o encapsulación de suelos expansivos entre otros. Por ejemplo, geomembranas, películas finas de geotextil y geotextiles impregnados con asfalto, elastómeros u otro tipo de mezclas poliméricas son usados como barreras que impiden el flujo de líquidos.<sup>7</sup>

**Imagen 2.13:** Aplicación de geosintético como barrera impermeabilizante



**Fuente:** Preparado por Richard J. Bathurst

<sup>7</sup> Preparado por Richard J. Bathurst Traducido por R. D. F. Durand (\*)

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL DISEÑO DE PAVIMENTO REFORZADO CON GEOSINTÉTICO

Este capítulo está conformado con la parte práctica del trabajo de investigación que se está realizando, se indicará la procedencia de los materiales que se están utilizando.

A su vez estará dividido por varias partes, inicialmente está constituida por la descripción detallada del procedimiento para la caracterización de los materiales pétreos, material grueso, material intermedio y material fino, como contenido de humedad, granulometría, peso específico, equivalente de arena y desgaste de Los Ángeles.

Lo que continúa, constituye al análisis del cemento asfáltico como ductilidad, penetración, punto de inflamación, punto de ablandamiento y peso específico del que se utilizó.

Una vez realizados los ensayos de caracterización de agregados y cemento asfáltico, se determina el contenido óptimo del cemento asfáltico para la mezcla convencional, según la metodología de Diseño Marshall.

La otra parte estarán las especificaciones de los geosintéticos que se utilizó para la práctica, esta información será brindada por el mismo fabricante.

Se caracterizará los núcleos extraídos de los tramos de estudio

Finalmente, se mostrará el diseño de la mezcla convencional del pavimento reforzado con el geosintético.

#### 3.1. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue necesario la extracción de muestras de núcleos que correspondan a diferentes situaciones de falla que presente un pavimento flexible, se realizó en tres tramos significativos de Tarija las cuales son las siguientes:

**TRAMO 1:** Puente Tomatitas carretera a San Lorenzo

**TRAMO 2:** Puerta del Chaco – Puente Jarcas

**TRAMO 3:** Piedra Larga – Canaletas

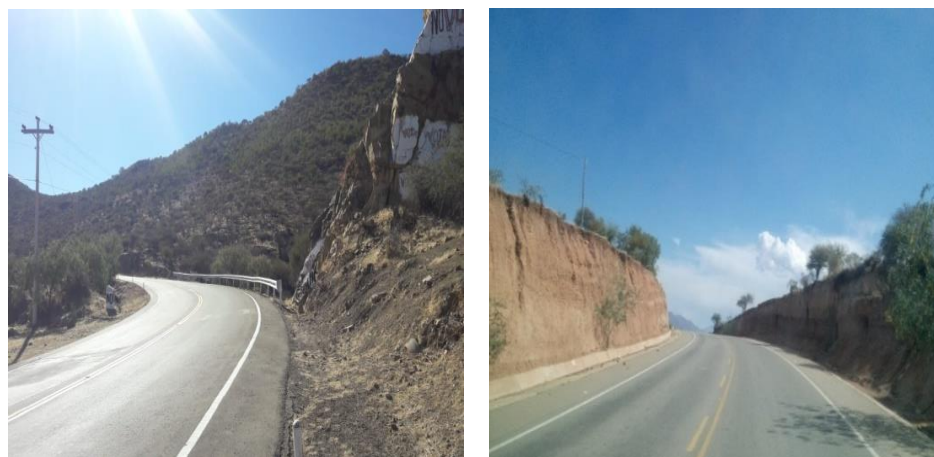


**Imagen 3.1:** Tramo Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.2:** Tramo Puerta del Chaco- Puente Jarcas



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.3:** Tramo Piedra Larga – Canaletas



Fuente: Elaboración propia

### 3.2. PROCEDENCIA DE GEOSINTÉTICOS

Los geosintéticos que se utilizara para la realización de este proyecto de investigación fueron proporcionados por la empresa importadora Geomallas con ubicación en la ciudad de Tarija, Barrio 6 de Agosto, avenida Circunvalación N° 867, entre calles Santa Cruz y Segundino Ugarte.

Los geosintéticos proporcionados son los siguientes.

**NOMBRE:** Geotextiles tejidos Marv

**EMPRESA PROVEEDORA:** Geosistemas PAVCO

**ORIGEN:** MÉXICO

**PROPIEDADES MECÁNICAS:** Ver en Anexo 4

**Imagen 3.4:** Geotextil utilizado



**Fuente:** Elaboración propia

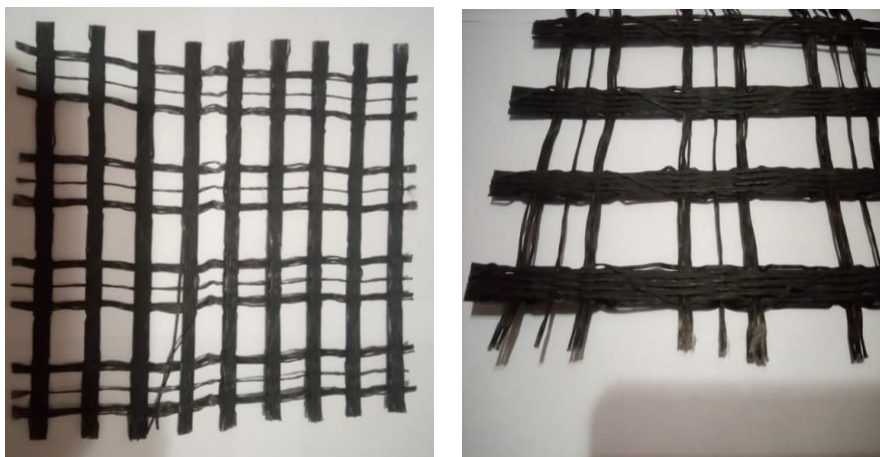
**NOMBRE:** Geomalla tejida de poliéster MacGrid WG

**EMPRESA PROVEEDORA:** MACCAFERRI DE MÉXICO S.A

**ORIGEN:** MÉXICO

**PROPIEDADES MECÁNICAS:** Ver en Anexo 4

**Imagen 3.5:** Geomalla tejida de poliéster utilizada



**Fuente:** Elaboración propia

**NOMBRE:** Geomalla biaxial MacGrid EG S

**EMPRESA PROVEEDORA:** MACCAFERRI DE MÉXICO S.A

**ORIGEN:** MÉXICO

**PROPIEDADES MECÁNICAS:** Ver Anexo 4

**Imagen 3.6:** Geomalla biaxial utilizada



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.3. UBICACIÓN Y PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES**

Los materiales que se utilizarán deben cumplir ciertas especificaciones bajo las normativas vigentes para toda Bolivia, como ser las Normas ASTM Y AASHTO. Para el presente proyecto se utilizó materiales existentes en la Ciudad de Tarija donde cumplen ya con las normas vigentes.

El material pétreo, está situado en la Comunidad de San José de Charajá, municipio de Uriondo de la provincia Avilés, donde se encuentra ubicada la planta para la provisión de material para la institución de SEDECA.

El cemento asfáltico que se utilizó fue C.A. 85 – 100 PROBISA de procedencia Chilena, proporcionado también por el Servicio Departamental de Caminos – SEDECA de Tarija.

**Imagen 3.7:** Ubicación de la planta de SEDECA



Fuente: Google earth

**Imagen 3.8:** Agregado pétreo de planta



Fuente: Elaboración propia



**Imagen 3.9:** Cemento asfáltico 85-100



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.3. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**

Para la caracterización de los agregados utilizados en la elaboración de las mezclas asfálticas de este proyecto, se utilizó las instalaciones del Laboratorio de Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se realizaron los ensayos de:

Peso específico de agregado grueso ASTM C127

Peso específico del agregado intermedio ASTM C127

Peso específico del agregado fino ASTM C128

Absorción de agregado grueso (%) ASTM C127

Absorción de agregado intermedio (%) ASTM C127

Absorción de agregado fino (%) ASTM C128

Desgaste de los ángeles de agregado grueso (%) ASTM C131

Desgaste de los ángeles de agregado intermedio (%) ASTM C131

Equivalente de arena (%) ASTM D2419

#### **3.3.1. Granulometría (ASTM E40 AASHTO T27-99)**

La granulometría, permite determinar experimentalmente la distribución cuantitativa y gradación del tamaño de las partículas de los suelos, con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Para el ensayo de granulometría para las tres diferentes muestras, Grava de 3/4', Grava de 3/8' y Arena.

**Imagen 3.10:** Tamizado de los agregados pétreos



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.11:** Peso retenido en cada tamiz



Fuente: Elaboración propia

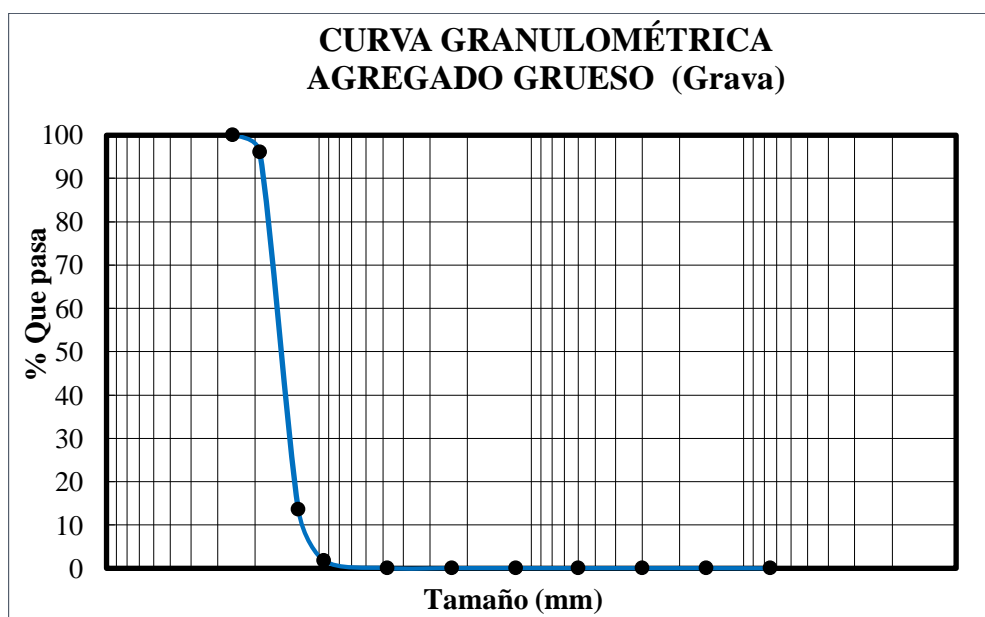
Los resultados de este ensayo de granulometría realizado en el Laboratorio de Materiales y Hormigones de la Universidad se pueden ver a continuación.

**Tabla 3.1:** Granulometría de material grueso

<b>Peso Total: 5000 gr.</b>					
<b>Tamices</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Ret. (gr)</b>	<b>Ret. Acum (gr)</b>	<b>% Ret.</b>	<b>% que pasa del total</b>
<b>1"</b>	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
<b>3/4"</b>	19,0	195,40	195,40	3,91	96,09
<b>1/2"</b>	12,5	4123,70	4319,10	86,38	13,62
<b>3/8"</b>	9,50	588,30	4907,40	98,15	1,85
<b>N°4</b>	4,75	88,60	4996,00	99,92	0,08
<b>N°8</b>	2,36	0,20	4996,20	99,92	0,08
<b>N°16</b>	1,18	0,30	4996,50	99,93	0,07
<b>N°30</b>	0,60	0,10	4996,60	99,93	0,07
<b>N°50</b>	0,30	0,10	4996,70	99,93	0,07
<b>N°100</b>	0,15	0,20	4996,90	99,94	0,06
<b>N°200</b>	0,075	1,20	4998,10	99,96	0,04
<b>BASE</b>	-	1,30	4999,40	99,99	0,01
	<b>SUMA</b>	4999,4 gr.			
	<b>PÉRDIDAS</b>	0,6 gr.			

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.1:** Curva granulométrica de material grueso

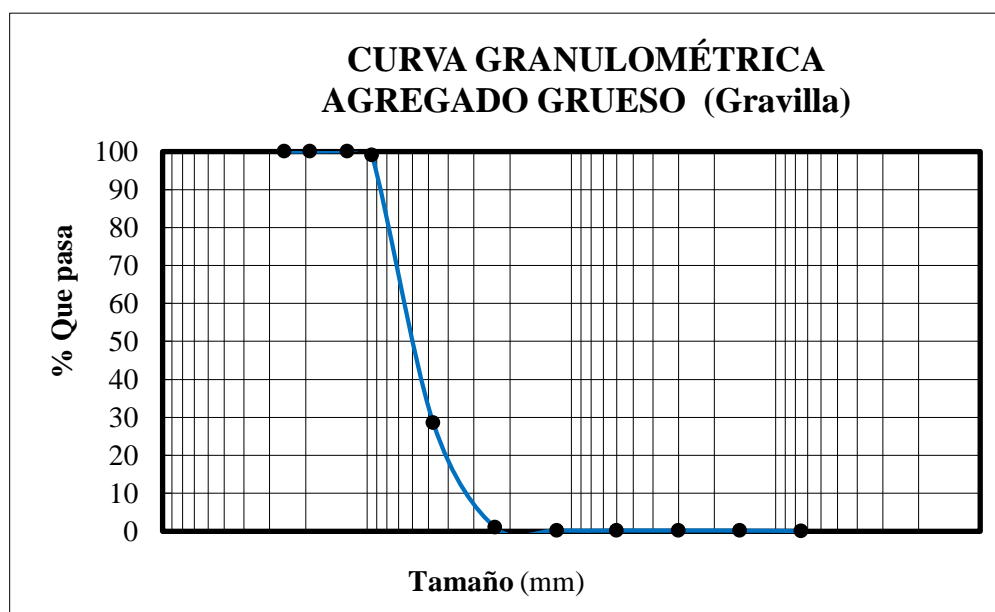


Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.2:** Granulometría de material intermedio

<b>Peso Total: 5000 gr.</b>					
<b>Tamices</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Ret. (gr)</b>	<b>Ret. Acum (gr)</b>	<b>% Ret</b>	<b>% que pasa del total</b>
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	45,00	45,00	0,90	99,10
N°4	4,75	3523,50	3568,50	71,37	28,63
N°8	2,36	1380,90	4949,40	98,99	1,01
N°16	1,18	37,60	4987,00	99,74	0,26
N°30	0,60	0,80	4987,80	99,76	0,24
N°50	0,30	0,50	4988,30	99,77	0,23
N°100	0,15	0,60	4988,90	99,78	0,22
N°200	0,075	5,40	4994,30	99,89	0,11
BASE	-	4,70	4999,00	99,98	0,02
	<b>SUMA</b>	4999,0			
	<b>PÉRDIDAS</b>	1,0			

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.2:** Curva granulométrica de agregado intermedio

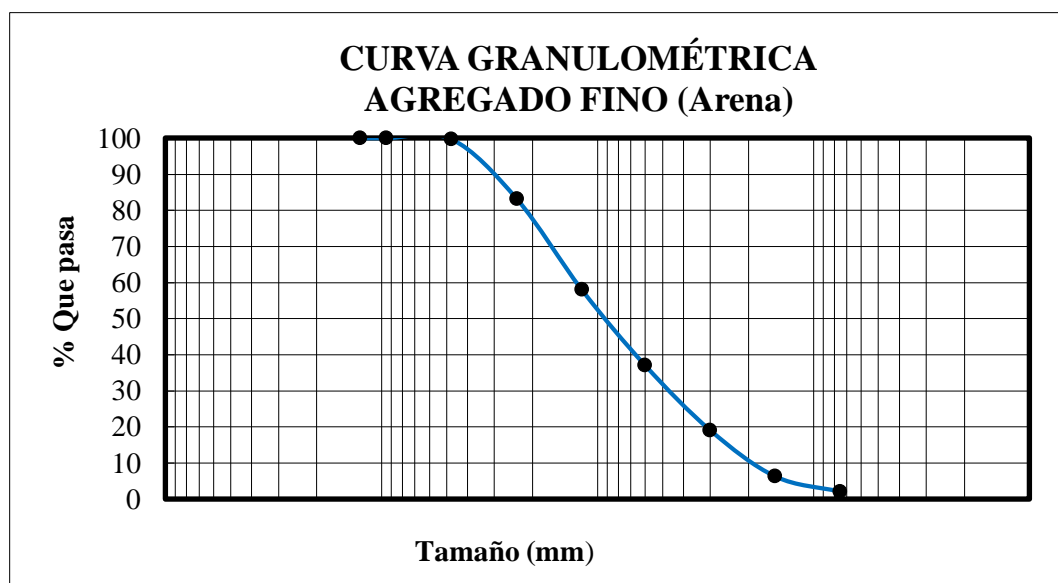
Fuente: Elaboración propia



**Tabla 3.3:** Granulometría de material fino

<b>Peso Total : 5000 gr.</b>					
<b>Tamices</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Ret. (gr)</b>	<b>Ret. Acum (gr)</b>	<b>% Ret</b>	<b>% que pasa del total</b>
<b>1/2</b>	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
<b>3/8</b>	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
<b>N°4</b>	4,75	13,00	13,00	0,26	99,74
<b>N°8</b>	2,36	830,00	843,00	16,86	83,14
<b>N°16</b>	1,18	1258,50	2101,50	42,03	57,97
<b>N°30</b>	0,60	1049,00	3150,50	63,01	36,99
<b>N°50</b>	0,30	897,50	4048,00	80,96	19,04
<b>N°100</b>	0,15	638,50	4686,50	93,73	6,27
<b>N°200</b>	0,075	210,50	4897,00	97,94	2,06
<b>BASE</b>	-	99,50	4996,50	99,93	0,07
	<b>SUMA</b>	4996,5 gr.			
	<b>PÉRDIDAS</b>	3,5 gr.			

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.3:** Curva granulométrica de material fino

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2. Peso específico del agregado grueso ASTM C-127 (Grava, Gravilla)

Se define como, la relación del peso al aire de un volumen unitario de un material permeable a una temperatura establecida, el cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones agregadas, asfalto y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

**Imagen 3.12:** Muestra saturada durante 24 hs.



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.13:** Tamizado de la grava



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.14:** Muestra colocada en la canastilla



Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

### Datos obtenidos de agregado grueso

PSSS = Peso Saturado con Superficie Seca 5000 gr.

Psum = Peso Sumergido 3080 gr.

Psec = Peso seco 4917.6 gr.

Peso Específico Bruto Seco (PEBS)

$$PEBS = \frac{Psec}{PSSS - Psum}$$

$$PEBS = \frac{4917.6}{5000 - 3080} \rightarrow PEBS = 2.56 \text{ gr.}$$

Peso Específico Aparente (PEA)

$$PEA = \frac{Psec}{Psec - Psum}$$

$$PEA = \frac{4917.6}{4917.6 - 3080} \rightarrow PEA = 2.68 \text{ gr.}$$

Peso Específico Bruto Saturado con Superficie Seca (PEBSSS)

$$PEBSSS = \frac{PSSS}{PSSS - Psum}$$

$$PEBSSS = \frac{5000}{5000 - 3080} \rightarrow PEBSSS = 2.60 \text{ gr.}$$

Porcentaje de Absorción (% D)

$$\%D = \frac{PSSS - Psec.}{Psec.} * 100$$

$$\%D = \frac{5000 - 4917.6}{4917.6} * 100 \rightarrow \%D = 1.68 \%$$

NOTA: Se realizó tres veces el ensayo y se sacó un promedio para determinar el que se utilizará.

**Tabla 3.4:** Resultados de peso específico del agregado grueso

Material	Características	Peso específico	Observaciones
Grava de 3/4'	Peso Específico Bruto Seco PEBS	2.43	
	Peso Específico Bruto con Superficie Seca PEBSSS	2.48	
	Peso Específico Aparente PEA	2.55	
	% de Absorción %D	1.98 %	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.5:** Resultados de peso específico del agregado intermedio

Material	Características	Peso específico	Observaciones
Gravilla de 3/8'	Peso Específico Bruto Seco PEBS	2.46	
	Peso Específico Bruto con Superficie Seca PEBSSS	2.52	
	Peso Específico Aparente PEA	2.61	
	% de Absorción %D	2.36%	

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3. Peso específico del agregado fino (ASTM D-128)

El ensayo tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, los mismos que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

Los cálculos y resultados se mostrarán a continuación en la siguiente tabla mostrada a continuación.

## CÁLCULOS

### Datos obtenidos de la arena

VM = Volumen del Matraz 500 ml.

PAF = Peso del Agua añadida al Frasco 293.80 gr.

Psec = Peso Seco 487.50 gr.

Peso Específico Seco (PEsec)

$$PEsec = \frac{Psec}{VM - PAF}$$

$$PEsec = \frac{487.50}{500 - 293.80} \rightarrow PEsec = 2.36 \text{ gr.}$$

Peso Específico Aparente (PEA)

$$PEA = \frac{Psec}{(VM - PAF) - (VM - Psec)}$$

$$PEA = \frac{487.50}{(500 - 293.80) - (500 - 487.50)} \rightarrow PEA = 2.50 \text{ gr.}$$

Peso Específico Saturado con Superficie Seca (PESSS)

$$PESSS = \frac{VM}{VM - PAF}$$

$$PESSS = \frac{500}{500 - 293.80} \rightarrow PESSS = 2.42 \text{ gr.}$$

Porcentaje de Absorción (% D)

$$\%D = \frac{VM - Psec.}{VM} * 100$$

$$\%D = \frac{500 - 487.50}{500} * 100 \rightarrow \%D = 2.43 \%$$

NOTA: Se realizó tres veces el ensayo y se sacó un promedio para determinar el que se utilizar.

**Imagen 3.15:** Muestra saturada por 24 hs. y verificación de la condición de saturación



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.16:** Muestra colocada con agua en el matraz y pesada



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.17:** Muestra pesada y sacada del matraz



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.6:** Resultados de peso específico del agregado fino

<b>Material</b>	<b>Características</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Arena</b>	Peso Específico Bruto Seco PEBS	2.36	
	Peso Específico Bruto con Superficie Seca PEBSSS	2.42	
	Peso Específico Aparente PEA	2.50	
	% de Absorción %D	2.43%	

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.4. Desgaste de Los Ángeles (ASTM E131 AASTHO T96-99)

El ensayo de desgaste de Los Ángeles, determina básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o abrasión irreversible, para la determinación de su aplicabilidad en las mezclas asfálticas, durante la producción, colocación y compactación de las obras civiles de pavimentación, sobre todo durante toda la vida de servicio del pavimento cuando estas son sometidas a los efectos del tráfico vehicular.

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso a continuación se muestra el método de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos.

#### **Para material grueso de 3/4'**

En función a la granulometría, se determinó que el material correspondía al Tipo B en base a estos resultados que continuo con el procedimiento del ensayo.

**Tabla 3.7:** Tabla de pesos de agregado grueso y N° de esferas para el desgaste de Los Ángeles.

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2'	1'	1250 ± 25			
1'	3/4'	1250 ± 25			
3/4'	1/2'	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2'	3/8'	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8'	1/4'			2500 ± 10	
1/4'	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
<b>Peso total</b>		<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>
<b>Numero de esferas</b>		12	11	8	6
<b>N° de revoluciones</b>		500	500	500	500
<b>Tiempo de rotación</b>		15	15	15	15

Fuente: Norma ASSHTO -96

Finalmente se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 3.8:** Datos de desgaste de Los Ángeles de agregado grueso

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
PASA	RETENIDO				
3/4'	1/2'		2500		
1/2'	3/8'		2500		
<b>Peso Total Inicial (gr.)</b>			5000		
<b>Numero de esferas</b>			11		
<b>N° de revoluciones</b>			500		
<b>Tiempo de rotación</b>			15		
<b>Peso Final (gr.)</b>			3863.5		

Fuente: Elaboración propia



## CÁLCULOS

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{\text{P. Inicial} - \text{P. Final}}{\text{P. Inicial}}$$

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{5000 - 3863.5}{5000} * 100 \rightarrow \% \text{ DESGASTE} = 22.73\%$$

**Tabla 3.9.:** Resultados de desgaste de Los Ángeles de agregado grueso

Material	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificaciones ASTM
<b>A</b>				35% MAX
<b>B</b>	5000	3863.5	22.73	35% MAX
<b>C</b>	-	-	-	35% MAX
<b>D</b>	-	-	-	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

En función a los resultados se establece que son satisfactorios y el agregado es apto para la elaboración de la mezcla asfáltica según especificaciones del valor máximo de 35%.

**Imagen 3.18:** Máquina de desgaste Los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

### Para material intermedio

En función a la granulometría, se determinó que el material correspondía al Tipo C en base a estos resultados que continuo con el procedimiento del ensayo.

Finalmente se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 3.10:** Desgaste de Los Ángeles para material intermedio

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
PASA	RETENIDO				
3 / 8'	1 / 4'			2500	
1 / 4'	N° 4			2500	
Peso total inicial (gr.)				5000	
Numero de esferas				8	
N° de revoluciones				500	
Tiempo de rotación				15	
Peso final (gr.)				3825.2	

Fuente: Elaboración Propia

**CÁLCULOS**

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{\text{P. Inicial} - \text{P. Final}}{\text{P. Inicial}}$$

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{5000 - 3825.5}{5000} * 100 \rightarrow \% \text{ DESGASTE} = 23.49 \%$$

**Tabla 3.11:** Resultados de desgaste de Los Ángeles para material intermedio

Material	Peso inicial	Peso final	%de desgaste	Especificaciones ASTM
A	-	-	-	35% MAX
B	-	-	-	35% MAX
C	5000	3825.2	23.49	35% MAX
D	-	-	-	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

En función a los resultados se establece que son satisfactorios y el agregado es apto para la elaboración de la mezcla asfáltica según especificaciones como se observa en los resultados.

### 3.3.5. Equivalente de arena (ASTM D2419 AASTHO T176)

El principal objetivo del ensayo de equivalente en arena es determinar un valor empírico a la cantidad relativa, finura característica del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa por el tamiz N° 4 (4.75 mm). Proporciones de arena y arcilla presentes para la elaboración de mezclas asfálticas.

**Imagen 3.19:** Muestra en las tres probetas y colocación de solución



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.20:** Lectura de las alturas de separación de los finos



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.12:** Datos de equivalente de arena

N° de muestra	H1 (cm)	H2 (cm)
1	9.60	12.00
2	9.20	11.60
3	9.50	11.80

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

$$\text{Equivalente de Arena} = \frac{\text{lectura del Nivel Superior (H1)}}{\text{Lectura de Nivel Inferior (H2)}} * 100$$

$$\text{Equivalente de Arena} = \frac{9.60}{12.00} * 100 \rightarrow \text{Eq. Arena} = 80.00 \%$$

$$\text{Equivalente de Arena} = \frac{9.20}{11.60} * 100 \rightarrow \text{Eq. Arena} = 79.31 \%$$

$$\text{Equivalente de Arena} = \frac{9.50}{11.80} * 100 \rightarrow \text{Eq. Arena} = 80.51 \%$$

$$\text{Promedio de Eq. Arena} = \frac{(80 + 79.31 + 81.51)}{3} = 79.94\%$$

**Tabla 3.13:** Resultados de equivalente de arena

Ensayo	Lecturas de probetas			Media %	Especif.
	1	2	3		
Lectura del nivel superior de la arcilla (cm)	11,2	11,5	11,4		
Lectura del nivel superior de la arena (cm)	10,6	10,9	10,8		
% de arena	80.00	79.31	79.31	79.94	> 45

Fuente: Elaboración propia

El resultado final obtenido del ensayo fue satisfactorio y el agregado es apto para la elaboración de la mezcla asfáltica según las especificaciones se puede observar en la tabla anterior el valor es mayor al 45%.

**Tabla 3.14:** Resultados de caracterización de agregados y comparación con la norma  
ASTM

Ensayos	Especificación		Resultados de ensayo	Norma
	Mínimo	Máximo		
Peso específico de agregado grueso 3/4'	2	3	2.55	ATM C127
Peso específico del agregado intermedio 3/8'	2	3	2.61	ATM C127
Peso específico del agregado fino	2	3	2.50	ATM C128
Absorción de agregado grueso 3/4' (%)	-----		1.98	ATM C127
Absorción de agregado intermedio 3/8' (%)	-----		2.36	ATM C127
Absorción de agregado fino (%)	-----		2.42	ATM C128
Desgaste de Los Ángeles de agregado grueso 3/4' (%)		35	22.73	ASTM C131
Desgaste de Los Ángeles de agregado intermedio 3/8' (%)		35	23.49	ASTM C131
Equivalente de arena (%)	45		79.94	ASTM D2419

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

En base a condiciones de disponibilidad con los equipos necesarios para realizar los ensayos correspondientes de caracterización del cemento asfáltico, se llevó a cabo en el Laboratorio de Asfaltos de la Universidad, los ensayos de:

Ensayo de penetración (ASTM D5 AASHTO T49-97)

Punto de inflamación por el vaso abierto de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO 79-96)

Punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D36 AASHTO T53-96)

Ensayo de ductilidad (ASTM D113 AASHTO T51-00)

Peso específico (ASTM D71-94 AASHTO T229-97)

Ensayo de viscosidad Saubolt Furol (ASTM D88 – AASHTO 172)

### 3.4.1. Ensayo de penetración (ASTM D5 AASHTO T49-97)

El presente método de ensayo abarca la determinación de la penetración de los materiales butiminosos semi-sólidos. Los materiales que tienen penetración debajo de 350 pueden ser probados por el aparato normal. Para materiales que tienen penetración entre 350 y 500 se debe usar un aparato especial.

**Imagen 3.21:** Muestra calentada y vertida en los recipientes de ensayo



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.22:** Ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.23:** Aguja del penetrómetro

Fuente: Elaboración propia

El reporte de resultado obtenido por este procedimiento indicara la base del ensayo.

**Tabla 3.15:** Resultados de punto de penetración

ENSAYO		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Prom.	Especific.	
						MIN	MAX
Penetración a 25°C Tiempo 5 seg.	Lectura 1 mm	95	90	95	----	----	----
	Lectura 2 mm	100	89	95			
	Lectura 3 mm	95	91	96			
	Promedio	96,7	90	95,3			

Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.2. Punto de inflamación por el vaso abierto de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO 79-96)

Este método comprende la determinación del punto de inflamación, de productos provenientes de petróleo y otros líquidos, con excepción de los aceites de combustible y esos materiales que tienen un punto de inflamación de vaso abierto debajo de 79 °C.

**Imagen 3.24:** Equipo de punto de inflamación

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.25:** Aumento de temperatura y verificar su punto de inflamación

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.16:** Resultados de punto de inflamación

Ensayo	Unidad	Lecturas			Promedio	Especificaciones	
		1	2	3		Min.	Max.
Punto de inflamación	°C	285	280	294	286	232	-

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3. Punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D36 AASHTO T53-96)

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de ablandamiento de betún en el rango de 30 a 200°C, usando el aparato del anillo y esfera sumergido en agua destilada.

**Imagen 3.26:** Cemento asfáltico en los anillos

Fuente: Elaboración propia



**Imagen 3.27:** Punto de ablandamiento del cemento asfáltico

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.17:** Resultados de punto de ablandamiento

Ensayo	Unidad	Lecturas			Promedio	Especificaciones	
		1	2	3		Min.	Max.
Punto de ablandamiento	°C	44	43	45	44	43	53

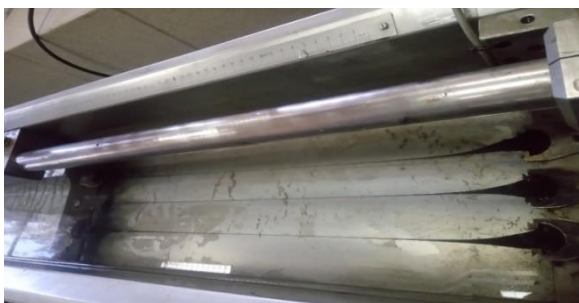
Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.4. Ensayo de ductilidad (ASTM D113 AASHTO T51-00)

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm, la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de la forma descrita en 1 se traccionan a la velocidad y temperatura especificada. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de  $25 \pm 0.5$  °C y a una velocidad de 5 cm/min  $\pm$  5%. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

**Imagen 3.28:** Muestra vertida en los moldes

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.29:** Ensayo de ductilidad

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.18:** Resultados de ensayo de ductilidad

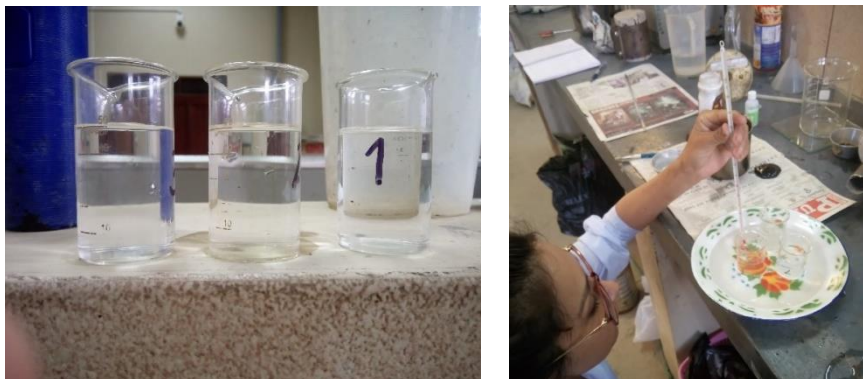
Ensayo	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Especif. mínimo
Ductilidad a 25°C	cm	104	107	110	107	>100

Fuente: Elaboración propia

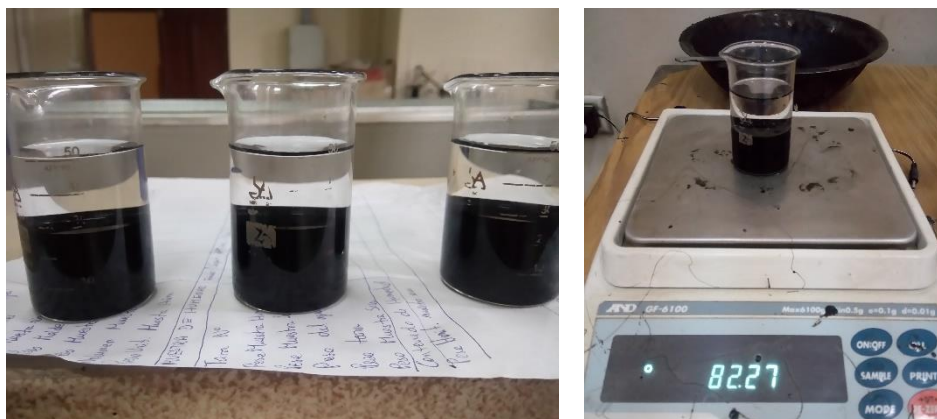
### 3.4.5. Peso específico (ASTM D71-94 AASHTO T229-97)

Este método cubre la determinación de la gravedad específica y la densidad de los ligantes asfálticos y parafina mediante el uso de un pienómetro.

El ligante podrá estar en condición no envejecida, o en condición envejecida n horno para una película delgada vertical o dispositivo de envejecimiento a presión o ser el producto de una recuperación de ligante asfáltico a partir de una mezcla asfáltica.

**Imagen 3.30:** Recipientes con agua destilada mantenidos en baño maría a 25°C

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.31:** Recipientes con cemento asfáltico y agua destilada para pesar

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.19:** Datos de ensayo de peso específico

Peso	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del pienómetro ( A )	34.3	33.77	32.86
Peso pienómetro + agua ( B )	81.64	81.75	78.83
Peso pienómetro + asfalto ( C )	57.86	58.67	56.54
Peso pienómetro + asfalto + agua ( D )	82.27	82.06	80.08

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULOS

$\rho_w$  = Peso específico del agua a la temperatura del ensayo (0.997077)

$\rho_b$  = Peso específico del asfalto

$$\text{Peso Esp. del C. A.} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} * \rho_w$$

$$\text{Peso Esp. del C. A.} = \frac{57.86 - 34.3}{(81.64 - 34.3) - (82.27 - 57.86)} * 0.997077$$

$$\text{Peso Esp. del C. A.} = 1.024 \text{ gr/cm}^3$$

Se debe realizar para los tres ensayos el mismo cálculo para luego determinar el promedio

$$\text{Promed. Peso Esp. del C. A.} = \frac{(1.024 + 1.010 + 1.053)}{3}$$

$$\text{Promed. Peso Esp. del C. A.} = 1.029 \text{ gr/cm}^3$$

**Tabla 3.20:** Resultados de ensayo de peso específico

<b>Peso</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
<b>Peso Específico Promedio ( gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.024	1.010	1.053
<b>Peso Específico de C.A. (gr / cm<sup>3</sup>)</b>	1.029		

**Fuente:** Elaboración propia

#### 3.4.6. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol (ASTM D88- AASHTO T72)

Viscosidad Saybolt Furol – Es el tiempo en segundos, corregido, durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio Furol calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Furol (SSF) a una temperatura especificada.

**Tabla 3.21:** Resultados del ensayo de viscosidad Saybolt Furol

<b>Temperatura:</b>	135 °C	
<b>Vasos de llenado:</b>	60 ml	
<b>Ensayo N°:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Tiempo (sFS)</b>	130.2	128.6
<b>Resultado (sFS)</b>	129.4	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3.22:** Resultados de caracterización de cemento asfáltico y comparación con la norma ASTM

Ensayos	Especificación		Resultado	Norma
	Min	Max		
<b>Penetración a 25°C, 100 gr.; 5 seg.</b>	85	100	94	ASTM D5
<b>Peso específico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.000	1.05	1.029	ASTM D71
<b>Ductilidad (cm)</b>	100	---	107	ASTM D113
<b>Punto de inflamación (°C)</b>	232	---	286	ASTM D92
<b>Punto de ablandamiento (°C)</b>	43	53	44	ASTM D36
<b>Viscosidad Saybolt Furol (sFS)</b>	85	-	129.4	ASTM D88

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO DE MARSHALL PARA OBTENER EL CONTENIDO ÓPTIMO

El siguiente procedimiento será aplicado para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico que será utilizado para el diseño de asfálticas en caliente, este se realizará a través del Método Marshall de acuerdo a la norma ASTM D15-59 que es empleado también para proyectos en laboratorio y comprobación en obra de las mezclas que contienen cemento asfáltico y áridos cuyo tamaño no deberá exceder 3/4'.

Se trata de un ensayo mecánico que consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4') de diámetro y 63.5 mm (2 1/2') de altura, compactadas mediante un martillo de peso y altura de caída normalizada. Posteriormente se calientan a 60°C y se rompen en la prensa Marshall para determinar su estabilidad y deformación mediante la aplicación de una carga vertical a través de una mordaza perimetral y una velocidad de deformación constante de 50.8 mm/min. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente las gravedades específicas de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura, de acuerdo con las normas correspondientes. Es importante saber que este ensayo es uno de los más conocidos y utilizados tanto para la dosificación de mezclas butiminsas como

para su control en planta mediante la verificación de los parámetros de diseño de las muestras tomadas. Usualmente se preparan tres probetas para cada contenido de asfalto.

Como ya mencionamos el procedimiento se inicia con la preparación de briquetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto bajo las normas ya establecidas. Además, se deberá determinar previamente la gravedad específica de los agregados, así como la gravedad específica del asfalto, y se deberá efectuar un análisis de densidad vacío de las probetas compactadas. Para determinar el contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados dada o preparada, se deberá elaborar una serie de probetas con distintos porcentajes de asfalto, de tal manera que, al graficar los diferentes valores obtenidos después de ser ensayadas, permitan determinar ese valor óptimo.

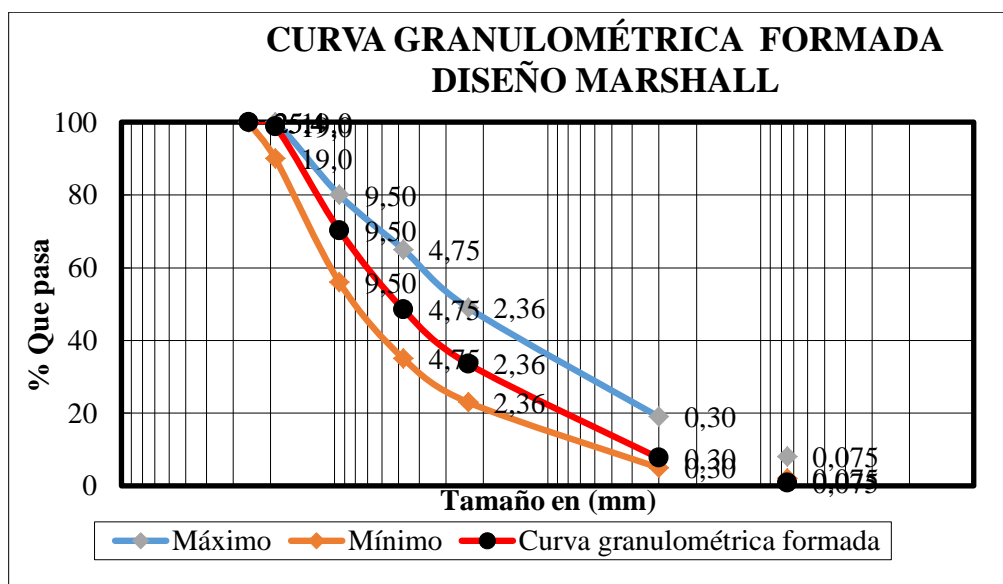
### 3.5.1. Granulometría formada de la mezcla

Para el diseño de dicha faja se utilizó los materiales que se disponía, tanto para el agregado grueso, intermedio y fino, lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 30% de agregado grueso de 3/4', 30% de agregado intermedio de 3/8' y 40% de agregado fino.

**Tabla 3.23:** Granulometría formada y especificaciones del Instituto del Asfalto

Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa	Especificaciones	
		(g)	(g)		del total	Mínimo	Máximo
1'	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4'	19,00	58,62	58,62	1,17	98,83	90	100
1/2'	12,50	1237,11	1295,73	25,92	74,08	-	-
3/8'	9,50	189,99	1485,72	29,72	70,28	56	80
Nº4	4,75	1088,83	2574,55	51,49	48,51	35	65
Nº8	2,36	746,33	3320,88	66,42	33,58	23	49
Nº16	1,18	514,77	3835,65	76,72	23,28	-	-
Nº30	0,60	419,87	4255,52	85,11	14,89	-	-
Nº50	0,30	359,18	4614,70	92,30	7,70	5	19
Nº100	0,15	255,64	4870,34	97,41	2,59	-	-
Nº200	0,08	87,66	4958,00	99,16	0,84	2	8
BASE	-	41,82	4999,82	100	0,00	-	-
	<b>SUMA</b>	5000,00					

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.4:** Granulometría final formada

Fuente: Elaboración propia

**3.5.2. Determinación de las cantidades de agregado y cemento asfáltico**

Peso total de briquetas 1200 gr.

Ponderación de grava 25%

Ponderación de gravilla 25%

Ponderación de arena 50%

**Tabla 3.24:** Pesos de los agregados y cemento asfáltico para diferentes %

	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO EN LA MEZCLA					
	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%	7,00%
<b>Porcentaje de agregado (%)</b>	95,50%	95,00%	94,50%	94,00%	93,50%	93,00%
<b>Peso del cemento asfáltico (gr)</b>	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00	84,00
<b>Peso de grava (gr)</b>	286,50	285,00	283,50	282,00	280,50	279,00
<b>Peso de gravilla (gr)</b>	286,50	285,00	283,50	282,00	280,50	279,00
<b>Peso de arena (gr)</b>	573,00	570,00	567,00	564,00	561,00	558,00
<b>Peso total de la briqueta (gr)</b>	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Las anteriores tablas muestran las cantidades de agregado y cemento asfáltico a utilizar para realizar las briquetas y obtener los diferentes puntos, de esta manera mediante las gráficas encontrar un porcentaje óptimo de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla asfáltica.

### 3.5.3. Procedimiento del Método Marshall

De acuerdo a las cantidades de agregados y cemento asfáltico que se determinaron anteriormente se debe pesar lo más preciso posible con la cantidad de 1200 gramos que se debe colocar en los moldes de Marshall.

El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas e agregado estén revertidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en planta.

**Imagen 3.32:** Preparación de la dosificación para realizar una briketa



**Fuente:** Elaboración propia

Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfrié la superficie de mezcla al golpearla.

Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35,50 o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briketa reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente un total de 75 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos.



**Imagen3.33:** Compactación de la mezcla a 160° C en los moldes de Marshall



**Fuente:** Elaboración propia

Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes con el desmoldador de manera cuidadosa para evitar que estas se rompan.

Luego de sacar las briquetas de los moldes se debe medir con un vernier la altura de cada una de las briquetas, se recomienda realizar en 4 puntos diferentes de la misma y sacar un promedio.

Después es necesario determinar el peso seco de cada una de las briquetas, pesando las mismas en una balanza de gran precisión y registrar ese valor encontrado.

**Imagen 3.34:** Medición de alturas y determinación de peso seco de las briquetas



**Fuente:** Elaboración propia

Para determinar el peso superficialmente seco se coloca en una fuente llena de agua a 25° las briquetas que estén completamente cubiertas pasado un tiempo de 10 minutos se

las saca para secarlas superficialmente con un trapo limpio y se debe pesar en una balanza de gran precisión registrando así es valor importante para el cálculo. Luego se procede a determinar el peso sumergido a través de una balanza especialmente para este ensayo con gran precisión, este valor es registrado.

**Imagen 3.35:** Peso superficialmente seco y peso específico sumergido



Fuente: Elaboración propia

### **Determinación de la estabilidad y fluencia**

Se colocan las probetas en un baño de agua durante 30 o 40 minutos o en el horno durante 2 horas, manteniendo el baño o el horno a  $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{ C}$  ( $140^{\circ} \pm 1.8^{\circ} \text{ F}$ ). Se limpian perfectamente las barras guías y las superficies interiores de las mordazas de ensayo antes de la ejecución de éste, y se lubrican las barras guías de tal manera que la mordaza superior se deslice libremente. La temperatura de las mordazas se deberá mantener entre  $21.1^{\circ} \text{ C}$  y  $37.8^{\circ} \text{ C}$  ( $70^{\circ} \text{ F}$  a  $100^{\circ} \text{ F}$ ), empleando un baño de agua cuando sea necesario.

Se retira una probeta del baño de agua u horno y se coloca centrada en la mordaza inferior; se monta la mordaza superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa. Se coloca el medidor de flujo en posición, se ajusta a cero, y se mantiene su vástago firmemente contra la mordaza superior mientras se aplica la carga de ensayo.

Se aplica, a continuación, la carga sobre la probeta con la prensa a una tasa de deformación constante de 50.8 mm (2') por minuto, hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye, según se lea en el dial respectivo. Se anota el valor máximo de carga registrado en la máquina de ensayo o, si es el caso, la lectura de deformación del dial indicador, la cual se convierte a carga, multiplicándola

por la constante del anillo. El valor total en Newton (kgf) que se necesite para producir la falla de la muestra se registrará como su valor de estabilidad Marshall.

Se anota la lectura en el medidor de flujo en el instante de alcanzar la carga máxima. Éste será el valor del "flujo" para la probeta, expresado en mm, e indica la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura.

El procedimiento completo, a partir de la sacada de la probeta del baño de agua, se deberá completar en un período no mayor de 30 segundos. Esto se deberá repetir con todas las probetas elaboradas.

**Imagen 3.36:** Determinación de estabilidad y fluencia de las briquetas



Fuente: Elaboración propia

#### 3.5.4. Desarrollo de la planilla del Método Marshall

Se desarrollará un cálculo demostrativo para la briqueeta con porcentajes de cemento asfáltico de 4.5%

##### 1. Identificación

Briqueetas 1-2-3 son las que se analizaran en el desarrollo del documento.

##### 2. Altura de briqueeta

Identificación de briqueeta	Altura de briqueeta
1	6.78
2	7.01
3	6.98

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 4.5% sus alturas correspondientes son las siguientes :

### 3. Porcentaje de asfalto

#### 3.1. Base de la mezcla

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 4.5%.

#### 3.2. Base de agregado

$$\text{Base de agregado} = \frac{\text{Base de la mezcla} * 100}{100 - \text{Base de la mezcla}}$$

$$\text{Base de agregado} = \frac{4.5 - 100}{100 - 4.5} \rightarrow \text{Base de agregado} = 4.71$$

### 4. Peso de briketa

#### 4.1. Peso de la briketa en el aire (Peso seco)

Identificación	Peso de briketa en el aire (gr.)
1	1202.2
2	1193.7
3	1199.2

El peso de la briketa en el aire se lo calcula cuando se desmolda la briketa cuyos datos son los siguientes:

#### 4.2. Peso de la briketa en el aire saturado superficialmente seco (SSS)

El peso de la briketa SSS se lo calcula saturando la briketa en el agua durante 30 minutos a 25°C y secándola superficialmente

Identificación	Peso briketa en el aire S.S.S (gr.)
1	1203.2
2	1194.1
3	1200.1

### Peso de la briqueta sumergida en agua

El peso sumergido se lo calcula cuando se sumerge la briqueta en el agua a 25°C durante 30 minutos cuyos datos de la briqueta son los siguientes:

Identificación	Peso de briqueta sumergida (gr.)
1	665
2	655
3	660

### 5. Volumen de briqueta

Cálculo para la briqueta de Identificación 1

$$\text{Vol. de Briq.} = \text{Peso Briq. en el aire SSS} - \text{Peso Briq. Sumergida}$$

$$\text{Vol. de Briq.} = 1203.2 - 665 \rightarrow \text{Vol. de Briq.} = 538.2 \text{ m}^3$$

### 6. Densidad de briqueta

#### 6.1. Densidad real de briqueta

Cálculo para la briqueta de Identificación 1

$$\text{Densidad Real} = \frac{\text{Peso Briq. en Aire}}{\text{Volumen de Briq.}}$$

$$\text{Densidad Real} = \frac{1202.3}{538.2} \rightarrow \text{Densidad Real} = 2.23 \text{ gr/cm}^3$$

#### 6.2. Densidad promedio

Se debe sumar la densidad real de cada número de briquetas por cada porcentaje y dividir entre los tres para obtener un valor promedio de densidad.

Cálculo para las briquetas de Identificación 1-2-3

$$\text{Densidad promedio} = \frac{\text{Briq. 1} + \text{Briq. 2} + \text{Briq. 3}}{3}$$

$$\text{Densidad promedio} = \frac{2.23 + 2.21 + 2.22}{3}$$

$$\text{Densidad promedio} = 2.22 \text{ gr/cm}^3$$

#### 6.3. Densidad máxima teórica de briqueta

$$D. \text{ max. teor.} = \left( \frac{\% \text{ de Asfalto}}{\text{Pes. Espec. Asphalt.}} \right)^{100} + \left( \frac{100 - \% \text{Asfalto}}{\text{Peso Espec. Total}} \right)$$

$$D. \text{ max. teor.} = \left( \frac{4.5}{1.029 \text{ gr/cm}^3} \right)^{100} + \left( \frac{100 - 4.5}{2.54 \text{ gr/cm}^3} \right)$$

$$D. \text{ max. teor.} = 2.38 \text{ gr/cm}^3$$

## 7. Porcentaje de vacíos

### 7.1. Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$Vv = \left( \frac{\text{Dens. Briq. máx. Teórica} - \text{Dens. Briq. Promedio}}{\text{Densidad Briqueta Maxima Teorica}} \right) * 100$$

$$Vv = \left( \frac{2.38 - 2.22}{2.38} \right) * 100 \rightarrow Vv = 6.73\%$$

### 7.2. Porcentaje de vacíos de los agregados minerales (V.A.M.)

$$V. A. M. = \left( \frac{\% \text{ de Asfalto} * \text{Densidad Briq. Promedio}}{\text{Peso Especifico de Asfalto}} \right) + \% \text{ de Vacios (Vv)}$$

$$V. A. M. = \left( \frac{4.5 * 2.22}{1.029 \text{ gr/cm}^3} \right) + 6.73\% \rightarrow V. A. M. = 16.45\%$$

### 7.3. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (R.B.V)

$$R. B. M. = \left( \frac{V. A. M. - Vv}{V. A. M.} \right) * 100$$

$$R. B. M. = \left( \frac{16.45 - 6.73}{16.45} \right) * 100 \rightarrow R. B. M. = 59.11\%$$

## 8. Estabilidad y fluencia

La estabilidad y fluencia se determina después de realizar el ensayo en la prensa Marshall.

Identificación	Lectura del dial	
	Estabilidad (mm.)	Fluencia 1/100
1	845	190
2	836	210
3	772	200

### Para estabilidad

Se realiza con la corrección con la fórmula de calibración de la prensa Marshall

$$\text{Lectura Dial Estabilidad 1} = 845 \text{ mm.}$$

$$\text{Carga Anillo MARSHALL 1} = ((0.012 * 845) - 0.0812) * 102 * 2.2$$

Factor Corrección Altura 1 = 0.903

Estabilidad <sub>1</sub> = 2037.118 libras

Estabilidad Promedio

$$\text{Estabilidad Promedio} = \frac{2037.118 + 1912.083 + 1776.254}{3}$$

Estabilidad Promedio = 1908.49 libr

### Para fluencia

Identificación	Fluencia lectura dial del flujo
1	190
2	210
3	200

Fluencia real para briqueta 1 lo mismo realizar para las tres biquetas

$$\text{Fluencia Real} = \frac{190}{(25.4 * 100)} \rightarrow \text{Fluencia Real} = 0.075$$

Fluencia promedio

$$\text{Fluencia Promedio} = \frac{0.075 + 0.083 + 0.079}{3}$$

Fluencia Promedio = 7.874 pulg.

### 3.5.5. Resultado de la práctica

**Tabla 3.25:** Resultados del contenido óptimo de cemento asfáltico

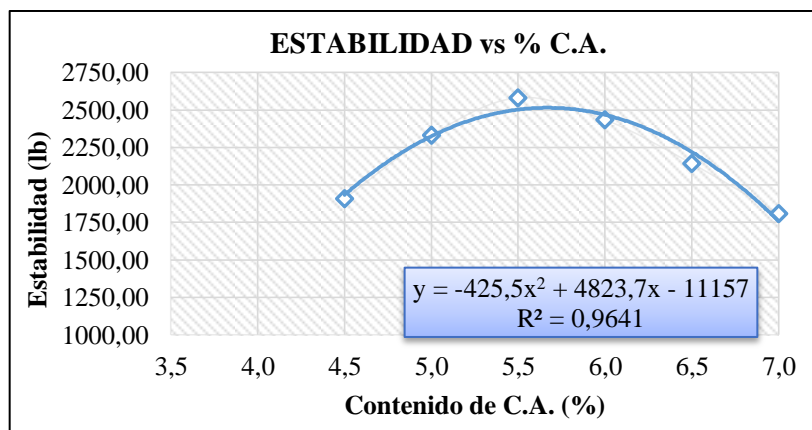
N° de probeta		% de Asfalto		Peso Briqueta		Volumen		Densidad Briqueta		% de Vacíos		Estabilidad Marshall		Fluencia									
		Base Mezcla	Base Agregados	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua	Probeta	Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teorica	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacíos)	Lectura del dial	Carga	Factor de correcion de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia real	Fluencia promedio		
1	6,78	4,50	4,71	1199,2	1203,2	665	538,2	2,23	2,22	6,80	16,52	58,81	845	2257,195	0,903	2037,118	190	0,075	190	0,075	0,01	7,874	
2	7,01	4,50	4,71	1193,7	1194,1	655	539,1	2,21	2,22	6,80	16,52	58,81	836	2232,960	0,856	1912,083	1908	0,083	210	0,083	0,083	7,874	
3	6,98	4,50	4,71	1199,2	1200,1	660	540,1	2,22	2,22	6,80	16,52	58,81	772	2060,620	0,862	1776,255	200	0,079	200	0,079	0,079	7,874	
4	7,10	5,00	5,26	1186,6	1192,2	666	526,2	2,26	2,24	5,31	16,20	67,23	987	2639,572	0,839	2215,657	200	0,0787	200	0,0787	0,0787	8,27	
5	7,21	5,00	5,26	1189,9	1192,8	665	527,8	2,25	2,24	5,31	16,20	67,23	1080	2890,003	0,823	2377,027	2333	0,0866	220	0,0866	0,0866	8,27	
6	7,16	5,00	5,26	1193,7	1197,2	658	539,2	2,21	2,24	5,31	16,20	67,23	1085	2903,467	0,829	2406,393	210	0,0827	210	0,0827	0,0827	8,27	
7	7,00	5,50	5,82	1190,0	1191,5	666	525,5	2,26	2,24	4,57	16,56	72,39	1095	2930,395	0,858	2514,572	230	0,0906	230	0,0906	0,0906	8,40	
8	6,94	5,50	5,82	1197,1	1198,3	662	536,3	2,23	2,24	4,57	16,56	72,39	1100	3105,427	0,869	2699,858	2582	0,0906	200	0,0787	0,0787	8,40	
9	6,99	5,50	5,82	1184,2	1195,3	665	530,3	2,23	2,24	4,57	16,56	72,39	1100	2943,859	0,860	2531,718	230	0,0906	200	0,0787	0,0787	8,40	
10	7,10	6,00	6,38	1206,5	1207,3	664	543,3	2,22	2,24	4,17	17,22	75,76	1050	2809,219	0,839	2358,058	220	0,0866	210	0,0827	0,0827	8,66	
11	6,98	6,00	6,38	1188,4	1189,3	665	524,5	2,27	2,24	4,17	17,22	75,76	1005	2688,043	0,862	2317,093	2435	0,0906	220	0,0866	0,0866	8,66	
12	6,94	6,00	6,38	1200,0	1201,2	662	539,2	2,23	2,24	4,17	17,22	75,76	1130	3024,643	0,869	2629,624	230	0,0906	230	0,0906	0,0906	8,66	
13	6,97	6,50	6,95	1188,0	1189,2	655	534,2	2,22	2,22	4,24	18,27	76,80	950	2539,939	0,864	2193,999	220	0,0866	220	0,0866	0,0866	9,06	
14	7,09	6,50	6,95	1195,5	1195,9	658	537,9	2,22	2,22	4,24	18,27	76,80	922	2464,540	0,841	2073,418	2143	0,0906	230	0,0906	0,0906	9,06	
15	7,00	7,00	7,53	1201,8	1202,3	660	542,3	2,22	2,20	4,42	19,40	77,20	942	2518,396	0,858	2161,036	240	0,0945	240	0,0945	0,0945	9,06	
16	7,12	7,00	7,53	1190,2	1191,1	650	541,1	2,20	2,20	4,42	19,40	77,20	770	2055,235	0,836	1717,560	1809	0,0984	250	0,0984	0,0984	9,97	
17	7,04	7,00	7,53	1188,0	1189,3	647	542,3	2,19	2,20	4,42	19,40	77,20	812	2168,332	0,851	1844,600	1809	0,0984	260	0,1024	0,1024	9,97	
18	6,98	7,00	7,53	1192,6	1193,4	655	538,4	2,22	2,20	4,42	19,40	77,20	810	2162,947	0,862	1864,460	1809	0,0984	250	0,0984	0,0984	9,97	
ESPECIFICACIONES				minimo	1192,6	655	538,4	2,22	2,20	3	13	75	810	2162,947	0,862	1864,460	750	0,0984	250	0,0984	0,0984	8	
				maximo						5	-	82					-					16	
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO		Ensayo		Valor de Diseño		% de C.A.																	
		Estabilidad Marshall (Lb)		2514,023		5,67																	
		Densidad máxima (gr/cm3)		2,242		5,46																	
		% Vacíos de la mezcla (%)		4,000		5,57																	
		% Porcentaje óptimo de C.A.		Promedio =		5,57																	

Fuente: Elaboración propia



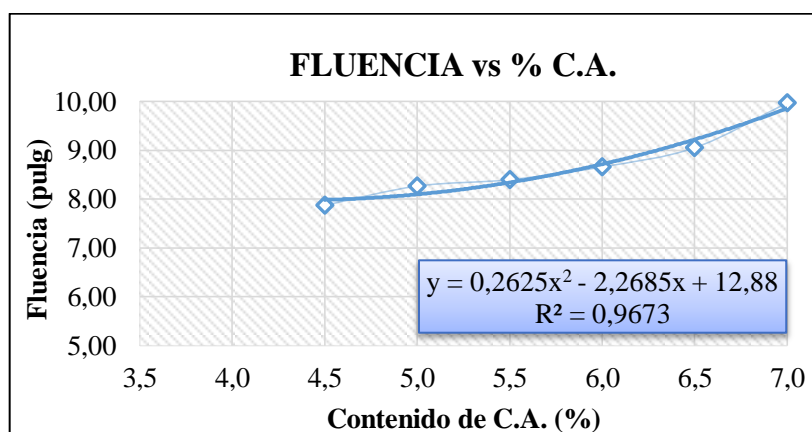
### 3.5.6: Gráficas de curvas de diseño de la mezcla asfáltica Método Marshall

**Gráfico 3.5:** Contenido de cemento asfáltico vs estabilidad corregida



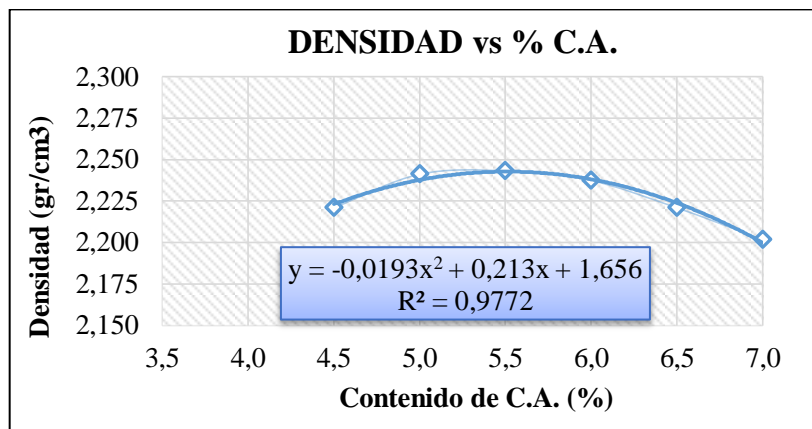
Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.6:** Fluencia vs contenido de cemento asfáltico

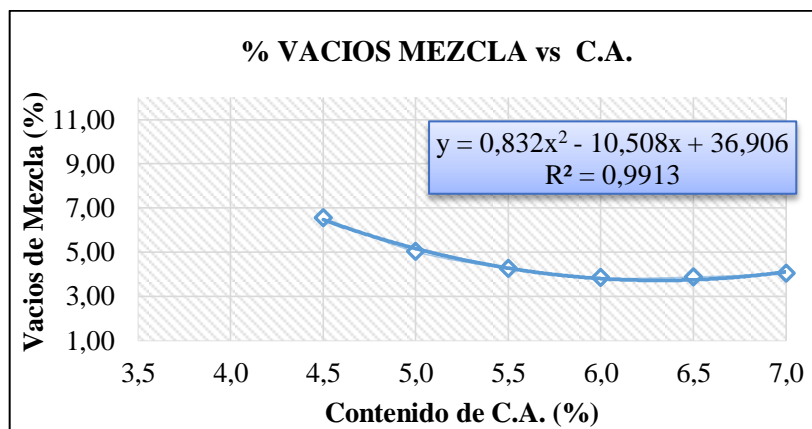
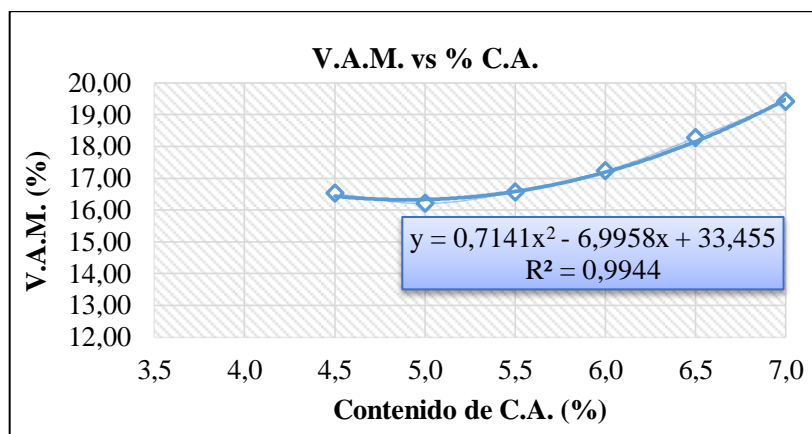
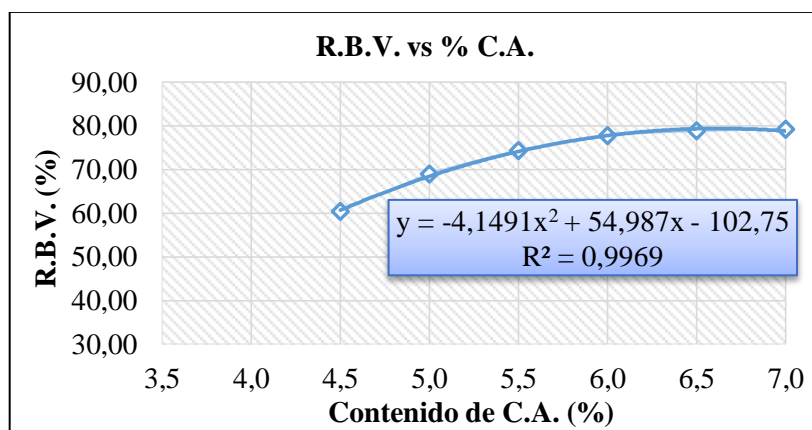


Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.7:** Contenido de cemento asfáltico vs densidad de las briquetas



Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.8:** Contenido de cemento asfáltico vs porcentaje de vacíos de la mezcla**Gráfico3.9:** Contenido de cemento asfáltico vs porcentaje de vacíos de agregado mineral**Gráfico 3.10:** Contenido de cemento asfáltico vs relación betum en vacíos

Para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico se basó en la teoría del Método Marshall que plantea sacar un promedio de los porcentajes analizando tres parámetros fundamentales, de la gráfica de Estabilidad vs Contenido de asfalto, encontrando a la estabilidad máxima un determinado porcentaje, de la gráfica Densidad vs Contenido de asfalto encontramos a la densidad máxima un cierto porcentaje de asfalto, y finalmente para el tercer parámetro nos asumimos un porcentaje de contenido de asfáltico, analizando el % de vacíos de la mezcla cumpliendo con el rango de 3% a 5% , entonces asumimos un 4% y encontramos el tercer porcentaje de asfalto.

Realizamos el promedio de los valores encontrados los cuales se observa en la tabla a continuación.

**Tabla 3.26:** Resultado del contenido óptimo del cemento asfáltico

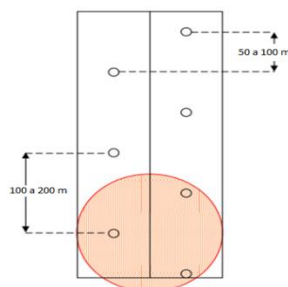
Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Ensayo	Valor de diseño	% de C.A
	Estabilidad Marshall (lb)	2514,02	5,67
	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,242	5,46
	Vacíos de la mezcla (%)	4	5,57
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio	<b>5,57</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO

El método por el cual se extrajo las muestras de los tramos mencionados fue a través del conocido método de los tres bolillos que consiste en extraer muestras de manera que los elementos sean repartidos en al menos dos filas paralelas y formen un triángulo equilátero entre ellos a una distancia dentro del rango de 3 a 5 metros.

**Gráfico 3.11: Representación** del método de tres bolillos



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1. Tramo Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo

En el tramo de Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo se extrajo del pavimento que presentaba deterioro en su carpeta asfáltica, muestras con el extractor de núcleos en dos partes.

Se observa también que en este tramo no contiene las capas que corresponden a un paquete estructural de una carretera, es decir no contiene capa base, capa subbase. El pavimento se encuentra sobre un empedrado de la capa subrasante.

**Imagen 3.37:** Identificación del sitio de la extracción de núcleos- Tramo 1



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.38:** Extracción de núcleo del sitio

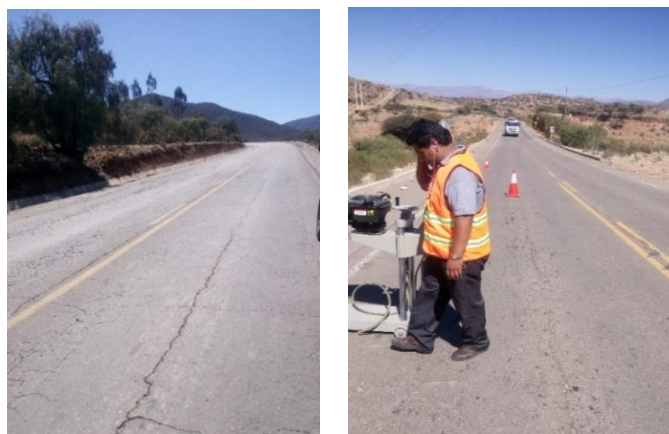


Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2. Tramo Puerta del Chaco – Puente Jarcas

En el tramo Puerta del Chaco – Puente Jarcas se extrajo de dos partes diferentes ya que es un tramo largo. Se observa también que presenta fallas de gran magnitud y deterioro en la carpeta del pavimento.

**Imagen 3.39:** Identificación del sitio de la extracción de núcleo- Tramo 2



**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen 3.40:** Extracción de muestras de los dos tramos



**Fuente:** Elaboración propia



### 3.6.3. Tramo Piedra Larga – Canaletas

En el tramo Piedra Larga – Canaletas se extrajo de dos partes diferentes ya que es un tramo largo. Se observa también que presenta un deterioro en la carpeta del pavimento que fue construido relativamente hace poco tiempo.

**Imagen 3.41:** Identificación del sitio y extracción de núcleo- Tramo 3



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.27:** Resultados de la extracción de núcleos

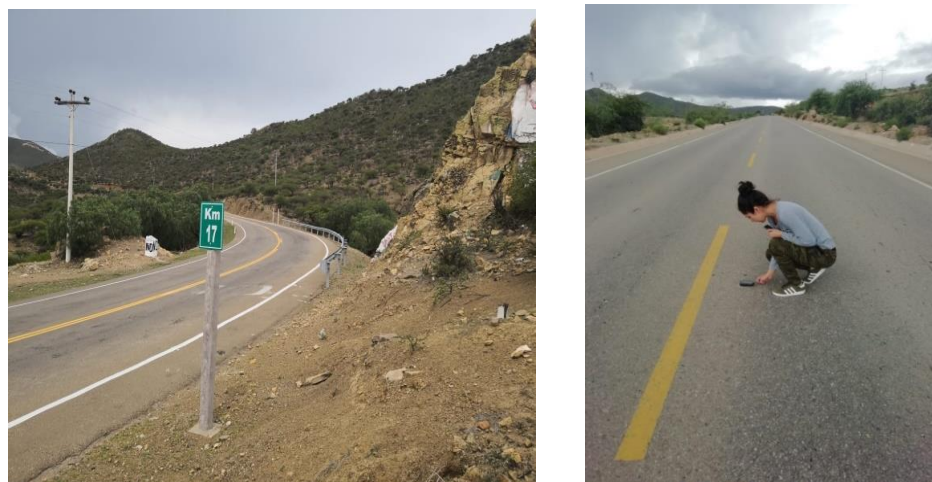
Tramo		N° de núcleos extraídos
<b>Tramo 1</b>	Puente Tomatitas carretera a San Lorenzo	10
<b>Tramo 2</b>	Puerta del Chaco – Puente Jarcas	10
<b>Tramo 3</b>	Piedra Larga – Canaletas	10
<b>Total</b>		30

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.28:** Coordenadas de los núcleos extraídos

<b>Tramo 1 : Puente de Tomatitas Carretera a San Lorenzo</b>				
<b>N° de núcleo</b>	<b>Zona - Unidad</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Altura</b>
		<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>msnm</b>
1	20 K- UTM	317636	7621646	1936
2	20 K- UTM	317635	7621649	1924
3	20 K- UTM	317636	7621655	1925
4	20 K- UTM	317614	7621731	1927
5	20 K- UTM	317629	7621671	1925
6	20 K- UTM	342887	7623522	1920
7	20 K- UTM	317611	7621742	1921
8	20 K- UTM	317606	7621748	1926
9	20 K- UTM	317607	7621753	1925
10	20 K- UTM	317605	7621763	1926
<b>Tramo 2 : Puerta del Chaco- Puente Jarcas</b>				
<b>N° de núcleo</b>	<b>Zona -Unidad</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Altura</b>
		<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>msnm</b>
1	20 K- UTM	341786	7620861	2167
2	20 K- UTM	341797	7620865	2171
3	20 K- UTM	341813	7620869	2172
4	20 K- UTM	342857	7623765	2249
5	20 K- UTM	342873	7623510	2250
6	20 K- UTM	342864	7623486	2251
7	20 K- UTM	344288	7624968	2216
8	20 K- UTM	344287	7624976	2220
9	20 K- UTM	344287	7624985	2220
10	20 K- UTM	344291	7624991	2218
<b>Tramo 3 : Piedra Larga – Canaletas</b>				
<b>N° de núcleo</b>	<b>Zona -Unidad</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Altura</b>
		<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>msnm</b>
1	20 K- UTM	356556	7628328	2346
2	20 K- UTM	356575	7628333	2347
3	20 K- UTM	356583	7628335	2347
4	20 K- UTM	356598	7628341	2342
5	20 K- UTM	356610	7628339	2349
6	20 K- UTM	358658	7626745	2172
7	20 K- UTM	358659	7626748	2174
8	20 K- UTM	358670	7626762	2174
9	20 K- UTM	358668	7626769	2176
10	20 K- UTM	358689	7626783	2173

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.42: Lectura de coordenadas de los núcleos extraídos****Tramo 1: Puente e Tomatitas Carretera A San Lorenzo****Tramo 2: Puerta del Chaco – Puente Jarcas****Tramo 3: Piedra Larga - Canaletas**

**Fuente:** Elaboración propia



### 3.7. DISEÑO DE REFUERZO DEL PAVIMENTO POR EL MÉTODO AASHTO

#### 3.7.1. Cálculo del espesor del refuerzo

A continuación se describe en detalle los procedimientos seguidos por el método de la AASHTO – 93, Diseño de sobrecarpeta-Capitulo 3, "Refuerzo de concreto asfáltico sobre pavimento de concreto asfáltico" (ver metodología en Anexo 9-a)

El refuerzo que requiera el pavimento para prolongar el periodo de análisis hasta 20 años se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$SN_{ref} == a_{fer} * D_{ref} = SN_{req} - SN_{eff}$$

Donde:

$SN_{ref}$  = Número estructural requerido para el refuerzo

$a_{fer}$  = Coeficiente estructural para el refuerzo

$D_{ref}$  = Espesor del refuerzo

$SN_{req}$  = Número estructural requerido para el transito futuro

$SN_{eff}$  = Número estructural efectivo del pavimento existente

Se recabó la siguiente información del pavimento existente

**Tabla 3.29:** Datos del pavimento existente donde se colocara el refuerzo (Ver texto en Anexo 9)

Espesores de capa	Datos
Carpeta asfáltica	6 cm
Capa base	20 cm
Capa subbase	25 cm
CBR terreno natural	2.7%
CBR terreno mejorado	18%
ESAL's 50%	1631718
Módulo resiliente terreno natural	27923778 KPa
Módulo resiliente terreno mejorado	8787198 KPa
SN (Numero estructural)	3.22 in 82 mm

Nota: Ejes Equivalentes (EE1): 3263436 (100%)

Fuente: Jefe de Mantenimiento de SEDECA

### **Determinación del número estructural efectivo $SN_{ef}$ del pavimento**

Existen diversos métodos de cálculo recomendados por la AASHTO 93 es que se utilizó es el siguiente:

$$SN_{eff} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde:

$SN_{eff}$  = Número Estructural efectivo del pavimento existente

$a_1, a_2, a_3$  = Coeficientes de capa, adicionales

$m_2, m_3$  = Coeficiente de drenaje

$D_1, D_2, D_3$  = Espesores de carpeta asfáltica, capa base, capa subbase

Los valores de  $a_1, a_2$  y  $a_3$  serán menores que los que se consideran en un diseño nuevo debido al deterioro que presentan las capas. A continuación en la siguiente tabla se muestran los valores a adoptar para cada capa en función de su grado de deterioro recomendados por la ASSHTO.

### **CÁLCULOS**

Los valores de los parámetros referentes son los mismos adoptados e indicados para el diseño de la carpeta asfáltica, estos son los siguientes:

Ejes Equivalentes Acumulados de Diseño ESAL's: 1631718

Serviciabilidad: 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante: 8787198 KPa

Desviación Estándar: 0.49

Serviciabilidad Inicial  $P_o$ : 4.2

Serviciabilidad Final  $P_f$ : 2.5

Nivel de Confiabilidad: 92.2 % (indica debido a que se proyectó en dos etapas)

Numero Estructural  $SN_{req}$ : 82 mm (3.24 in)

Coeficientes de drenajes  $m_2, m_3$ : 1

**Tabla 3.30:** Valores sugeridos del coeficiente estructural para capas de pavimentos deteriorados

<b>Material</b>	<b>Condiciones de superficie</b>	<b>Coeficiente</b>
<b>Concreto asfáltico</b>	Muy poca piel de cocodrilo y/o fisuras transversales de baja severidad	0,35-0,40
	< 10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o < 5% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,25-0,35
	>10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o < 10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o 5-10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,20-0,30
	>10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o < 10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,14-0,20
	>10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de alta severidad	0,20-0,35
<b>Base estabilizada</b>	Muy poca piel de cocodrilo y/o fisuras transversales de baja severidad	0,20-0,35
	< 10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o < 5% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,15-0,25
	>10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o < 10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o 5-10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,15-0,20
	>10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o < 10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,10-0,20
	>10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de alta severidad	0,08-0,15
<b>Base o subbase granular</b>	sin evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos	0,10-0,14
	alguna evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos	0,0-0,10

**Fuente:** Diseño de sobrecarpeta AASHTO – 93, Capitulo 3

Determinación de los coeficientes de capa:

### **Carpeta asfáltica $a_1$ : 0.30**

Se asume una reducción del coeficiente estructural de la capa de asfalto, por efecto de oxidación y rigidización del concreto asfáltico colocado de baja severidad y/o menos del 5% de fisuras transversales de media y alta severidad.

### **Capa base triturada antigua $a_2$ : 0.12**

Se considera una reducción en la calidad de los materiales de la capa base por el efecto de degradación y contaminación a lo largo del periodo de vida indicado, estimándose que este efecto correspondería a una reducción en el valor del C.B.R. de la capa de 80 % (valor inicial) a 60 % (cuando se quiere rehabilitar).

### Capa subbase triturada antigua $a_3$ : 0.10

Por las mismas razones indicadas anteriormente, se considera una reducción del valor del C.B.R. de la capa sub base de 40 % (valor inicial) a 30% (cuando se quiere rehabilitar).

Reemplazando en la ecuación para encontrar  $SN_{eff}$

$$SN_{eff} = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

$$SN_{eff} = 0.30*60 + 0.12*1*200 + 0.10*1*250 \rightarrow SN_{eff} = 67$$

Determinación del Espesor del Refuerzo

$$D_{ref} = \frac{SN_{req} - SN_{eff}}{a_{rf}}$$

$$D_{ref} = \frac{82 - 67}{0.43} \rightarrow D_{ref} = 32.56 \text{ mm} \rightarrow D_{ref} = 3.5 \text{ cm}$$

Luego de realizar el cálculo los cálculos correspondientes el espesor del refuerzo calculado es de 32.56 mm asumiendo un valor de 35 mm es decir 3.5 cm

### Imagen 3.43: Deterioros presentes en los tramos de estudio

Puente de Tomatitas Carretera a San Lorenzo



Puerta del Chaco – Puente Jarcas



Piedra Larga – Canaletas



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las imágenes tomadas en la observación visual realizada a cada uno de los tramos se observó que el Tramo 1 que corresponde al Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo tiene fallas considerables de tensiones superficiales, de fatiga, de ahuellamiento, de capacidad portante, debido a que en esa área de la extracción los vehículos tienden a frenar y realizar cambios de velocidades lo que provoca este tipo de fallas en el pavimento flexible.

En el Tramo 2 que corresponde a Puerta del Chaco-Puente Jarcas en este tramo predomina las fallas de piel de cocodrilo y fisuras transversales, falta de capacidad portante entre otras, se debe alto tráfico que transitan por esa carretera y las condiciones del suelo donde se construyó no son de buena calidad. Al pasar de los años tampoco se realizó un mantenimiento lo cual nos lleva a buscar alternativas para rehabilitar el pavimento. En cuanto al Tramo 3 Piedra Larga-Canaletas este pavimento relativamente se encuentra en mejores condiciones que los otros tramos para evitar futuros deterioros se debe analizar una alternativa de reforzamiento.

Para eso se realizó un diseño del espesor del refuerzo en función a información del pavimento existente para este caso se tomó como referencia de diseño a Tramo Puerta del Chaco-Canaletas de progresivas KM 9+504.60 a 24+840.60, la cual fue proveída por el Encargado de Mantenimiento de SEDECA, Richard Reinoso.

### 3.8. CARACTERÍSTICAS DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS

En esta parte de la investigación se pretende conocer las características que tienen los núcleos extraídos de los diferentes tramos de elegidos, se determinara el contenido de cemento asfáltico y la granulometría de la mezcla para verificar si cumple con las especificaciones.

**Tabla 3.31:** Identificación de los núcleos analizados

Tramo		Designación
Tramo 1	Puente Tomatitas carretera a San Lorenzo	Núcleo 1
		Núcleo 2
Tramo 2	Puerta del Chaco – Puente Jarcas	Núcleo 3
		Núcleo 4
Tramo 3	Piedra Larga – Canaletas	Núcleo 5
		Núcleo 6
Total de núcleos		6

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.8.1. Determinación de la estabilidad y fluencia de los núcleos

Para continuar con la presente investigación es necesario analizar el material que utilizaremos, en este caso analizamos la estabilidad y la fluencia a través del Método de Marshall se mostrara a continuación el procedimiento y los resultados obtenidos.

#### Procedimiento

Aplicando la misma metodología del Método de Marshall

Una vez identificadas los núcleos que analizaremos, se determinó el peso seco de los mismos.

Con ayuda de un trapo y una fuente con agua se coloca los núcleos a una temperatura de 25°C durante un tiempo, luego retirarlas para secarlas superficialmente y pesarlas

**Imagen 3.44:** Núcleos superficialmente secos pesados



**Fuente:** Elaboración propia

Luego de realizar los pesajes correspondientes de encuentra el promedio de las alturas de las briquetas que analizaremos

Luego se determinó el peso sumergido con ayuda de una balanza especial ubicada en laboratorio.

Para la determinación de la estabilidad y fluencia los núcleos son colocados en una fuente con agua a una temperatura de 60°C de manera contante durante 30 minutos cada una. Luego colocar en la mordaza y realizar el ensayo en la prensa de Marshall.

Realizar las lecturas que marcan el dial de estabilidad y fluencia.

**Tabla 3.32: Resultados de estabilidad y fluencia de los núcleos**

N° de probeta	Altura de probeta	% de Asfalto		Peso Briqueta			Volumen Probeta	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Marshall						Fluencia				
		Base Mezcla	Base Agregados	Seco	Sat. Sup. Seca	sumergida en agua		Densidad real	Densidad promedio	Densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V.(relacion betumen vacíos)	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/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	grs/cm <sup>3</sup>	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	libras	-	0,01 pulg		
1	7,21	5,91	6,28	1518,50	1520,80	849,00	671,80	2,26	2,26	2,26	2,26				2098	5631,27	0,82	4631,72	4631,7	390,00	0,15	15,35		
2	7,21	5,47	5,79	1447,90	1449,20	843,00	606,20	2,39	2,39	2,39	2,39				2007	5386,23	0,82	4430,17	4430,2	210,00	0,08	8,27		
3	6,55	5,29	5,59	1049,10	1051,40	577,00	474,40	2,21	2,21	2,21	2,21				810	2162,95	0,95	2060,21	2060,2	195,00	0,08	7,68		
4	6,50	5,65	5,99	1151,90	1152,90	678,00	474,90	2,43	2,43	2,43	2,43				781	2084,86	0,96	2006,67	2006,7	180,00	0,07	7,09		
5	6,03	5,57	5,90	1059,10	1060,30	613,00	447,30	2,37	2,37	2,37	2,37				414	1096,60	1,09	1198,58	1198,6	200,00	0,08	7,87		
6	6,30	5,36	5,66	1083,90	1084,90	629,00	455,90	2,38	2,38	2,38	2,38				587	1562,45	1,01	1582,76	1582,8	180,00	0,07	7,09		
ESPECIFICACIONES												Mínimo		3	13	75							750	8
												Maximo		5	-	82							-	16

**Fuente:** Elaboración propia

En la anterior tabla se puede apreciar la estabilidad y fluencia de las 6 probetas analizadas que corresponden a los tramos, llegando a observar que el valor de la Estabilidad de todas las probetas es alto, el valor mínimo registrado es 1198.6 libras que equivale a 543.67 kg de resistencia de la mezcla a la deformación.

En cuanto a la fluencia de las probetas analizadas se observa que 4 de las 6 de ellas se encuentra por debajo del rango mínimo de establecido por la norma, lo que indica que a bajos valores de fluencia y altos valores de estabilidad la mezcla es considerada demasiada frágil y rígida para el pavimento en servicio.

Sólo se pudo analizar estos factores que son importantes conocerlo, debido a la disposición de equipos que se tiene en laboratorio de asfaltos.

**Imagen 3.45:** Rotura de los núcleos en la prensa de Marshall



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.8.2. Determinación del contenido de cemento asfáltico**

Para determinar el porcentaje de cemento asfáltico de las carpetas asfálticas de los tramos seleccionados, se seleccionó dos núcleos que corresponden a cada uno de ellos, y mediante el extractor centrifugo que consiste en un recipiente semiesférico montado en el extremo superior de un eje vertical con tapa que se ajusta al bowl-rotor por medio de un embudo a un tornillo que sirve a la vez para introducir el solvente durante el ensayo.

Un disco de papel de filtro especial permite la extracción del solvente durante el centrifugado. Cuerpo base de metal fundido con soportes de goma para apoyar sobre el piso otorgándole a la máquina gran estabilidad. Accionamiento eléctrico con motor monofásico ubicado externamente para evitar posibles contactos con derrames del



producto a centrifugar. En el arranque va incrementando gradualmente su velocidad hasta 3600 r.p.m, (Ver guía de laboratorio Anexo 8)

### Procedimiento

Una muestra de 500gr aproximadamente, calentada, se pesa y se coloca en la tasa del extractor.

Se le vierte un disolvente adecuado como el tetracloruro de carbono, sulfuro de carbono, benzol o cloroformo, en este caso vertimos gasolina, en la tasa mediante un embudo, se cubre la tasa con un papel filtro, se tapa en forma segura, y se le hace girar hasta que el disolvente se haya salido por el orificio de descarga.

**Imagen 3.46:** Muestra calentada en horno y colocada en la tasa del extractor



**Fuente:** Elaboración propia

Esta operación de lavado se repite hasta que se haya desaparecido todos los restos de cementos asfáltico, lo cual se nota cuando el disolvente se salga del color claro, limpio, entonces se quita la tapadera y se poner a secar la muestra.

Cuando la muestra se haya secado, se pesa junto con el material fino que haya quedado adherido al papel filtro.

En el caso de que el papel filtro siga teniendo aumento de peso sobre el peso original, este aumento se debe a la impregnación del polvo por lo que debe ser sumado al peso de la muestra seca y la cantidad total se resta al peso original de la muestra, obteniéndose de esa manera el peso de cemento asfáltico extraído.

**Imagen 3.47:** Ensayo de extracción centrifuga

Fuente: Elaboración propia

Dividiendo el peso de cemento asfáltico entre el peso del agregado pétreo y multiplicándolo por 100 da el porcentaje de cemento asfáltico presente en la mezcla ensayada.

**Tabla 3.33:** Resultados del contenido de asfalto de los núcleos extraídos

Tramo	Núcleo	Peso antes del ensayo (gr.)	Peso después del ensayo (gr.)	Contenido de asfalto	
				gr	%
Tramo 1	1	1518.50	1419.20	89.10	5.91 %
	2	1447.90	1366.90	79.10	5.47 %
Tramo 2	3	1049.10	994.40	55.60	5.29 %
	4	1151.90	1085.70	65.00	5.65 %
Tramo 3	5	1059.10	998.30	58.90	5.57 %
	6	1083.90	1024.80	58.00	5.36 %

Fuente: Elaboración propia

En la anterior tabla se puede apreciar el porcentaje de contenido de asfalto de las 6 probetas analizadas se determinó por diferencia de pesos de antes de realizar el ensayo de lavado centrifugo y multiplicado por 100, obteniendo un porcentaje dentro del rango que establece la norma que es de 5% - 7% de asfalto.

### 3.8.3. Granulometría de los núcleos

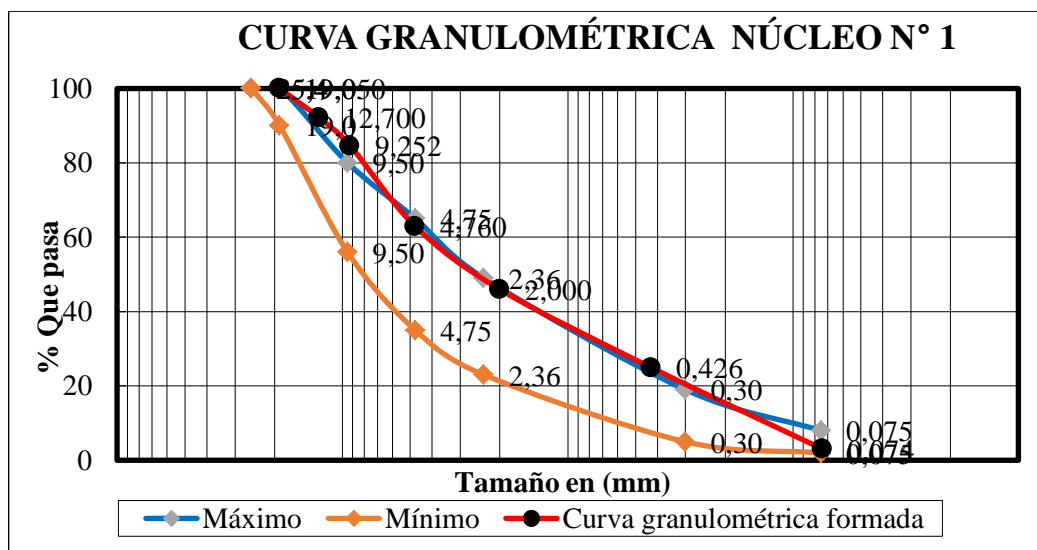
Después de realizar ensayo para determinar el contenido de asfalto de cada uno de los núcleos extraídos de los tres tramos, se realizó la granulometría de los mismos para analizarla y verificar si cumple con las especificaciones.

**Tabla 3.34:** Granulometría del núcleo N°1

Núcleo 1		Peso total = 1419,2 gr.					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. ASTM	
			(gr)	(%)			
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	100,0	90	100
1/2"	12,700	112,20	112,20	7,91	92,1	-	-
3/8"	9,252	106,60	218,80	15,42	84,6	56	80
N°4	4,760	307,10	525,90	37,06	62,9	35	65
N°10	2,000	241,30	767,20	54,06	45,9	-	-
N°40	0,426	297,90	1065,10	75,05	25,0	-	-
N°200	0,074	310,70	1375,80	96,94	3,1	2	8
BASE	-	43,10	1418,90	99,98	0,0	-	-
	Suma =	1418,90					
	Pérdidas =	0,30					

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.12:** Curva granulométrica de núcleo N°1



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.35: Granulometría del núcleo N°2

Núcleo 2		Peso total = 1366,9 gr.					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Retenido acumulado		% que pasa del total	% que pasa s/g Especific. ASTM	
			(gr)	(%)			
3/4'	19,050	0,00	0	0	100	90	100
1/2'	12,700	275,7	275,70	20,17	79,80	-	-
3/8'	9,252	93,0	368,70	26,97	73,00	56	80
N°4	4,76	222,40	591,10	43,24	56,80	35	65
N°10	2,000	163,70	754,80	55,22	44,80	-	-
N°40	0,426	246,50	1001,30	73,25	26,70	-	-
N°200	0,074	312,80	1314,10	96,14	3,90	2	8
BASE	-	51,80	1365,90	99,93	0,00	-	-
	Suma =	1365,90					
	Pérdidas =	1					

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.13: Curva granulométrica del núcleo N°2

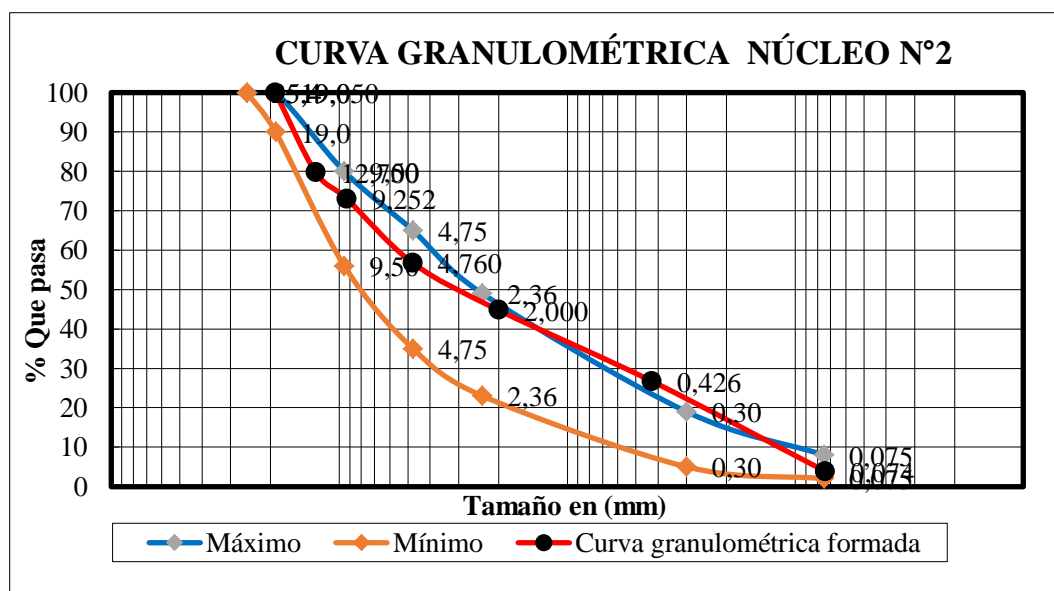
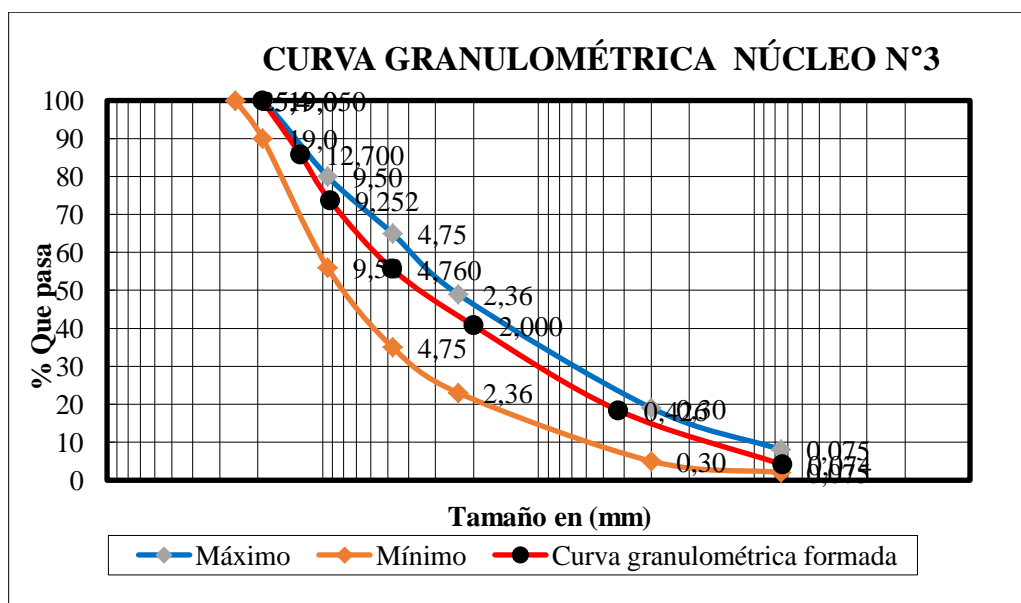


Tabla 3.36: Granulometría del núcleo N° 3

Núcleo 3			Peso total = 994,4 gr.				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Retenido acumulado		% que pasa del total	% que pasa s/g Especific. ASTM	
			(gr)	(%)			
3/4'	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00	90	100
1/2'	12,7	141,10	141,10	14,19	85,80	-	-
3/8'	9,252	121,20	262,30	26,38	73,60	56	80
N°4	4,76	179,10	441,40	44,39	55,60	35	65
N°10	2	148,00	589,40	59,27	40,70	-	-
N°40	0,426	222,60	812,00	81,66	18,30	-	-
N°200	0,074	141,80	953,80	95,92	4,10	2	8
BASE	-	40,10	993,90	99,95	0,00	-	-
	<b>Suma =</b>	993,90					
	<b>Pérdidas =</b>	0,50					

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.14: Curva granulométrica del núcleo N°3



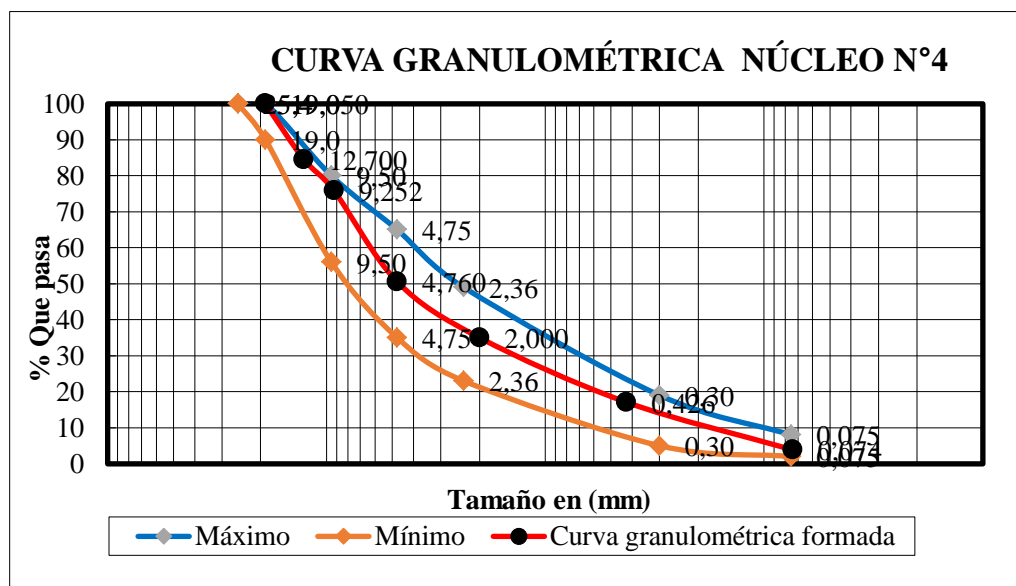
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.37: Granulometría del núcleo N° 4

Núcleo 4			Peso total = 1085,7 gr.				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Retenido acumulado		% que pasa del total	% que pasa s/g Especific. ASTM	
			(gr.)	(%)			
3/4'	19,05	0	0	0	100	90	100
1/2'	12,70	167,80	167,80	15,46	84,50	-	-
3/8'	9,25	93,90	261,70	24,10	75,90	56	80
N°4	4,76	274,60	536,30	49,40	50,60	35	65
N°10	2,00	169,00	705,30	64,96	35,00	-	-
N°40	0,43	194,80	900,10	82,91	17,10	-	-
N°200	0,07	143,60	1043,70	96,13	3,90	2	8
BASE	-	41,10	1084,80	99,92	0,00	-	-
	<b>Suma =</b>	1084,80					
	<b>Pérdidas =</b>	0,90					

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.15: Curva granulométrica del núcleo N°4



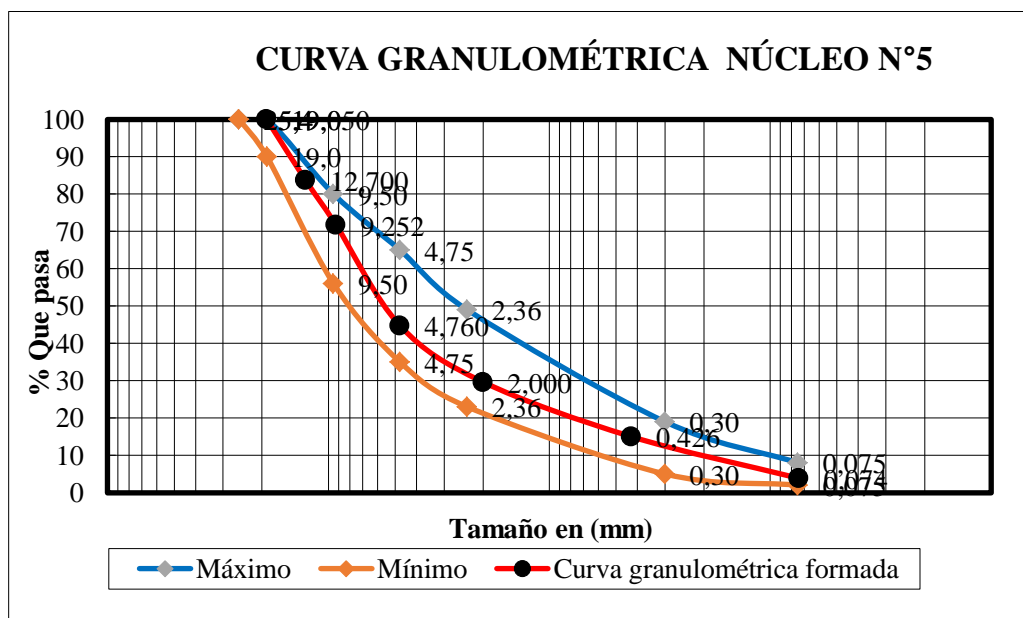
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.38:** Granulometría del núcleo N°5

Núcleo 5			Peso total = 998,3 gr.				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Retenido acumulado		% que pasa del total	% que pasa s/g Especific. ASTM	
			(gr)	(%)			
3/4'	19,05	0	0	0	100	90	100
1/2'	12,70	162,90	162,90	16,32	83,70	-	-
3/8'	9,25	119,50	282,40	28,29	71,70	56	80
N°4	4,76	268,80	551,20	55,21	44,80	35	65
N°10	2,00	151,20	702,40	70,36	29,60	-	-
N°40	0,43	146,20	848,60	85,00	15,00	-	-
N°200	0,07	111,60	960,20	96,18	3,80	2	8
BASE	-	37,40	997,60	99,93	0,00	-	-
	Suma =	997,60					
	Pérdidas =	0,70					

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.16:** Curva granulométrica del núcleo N°5



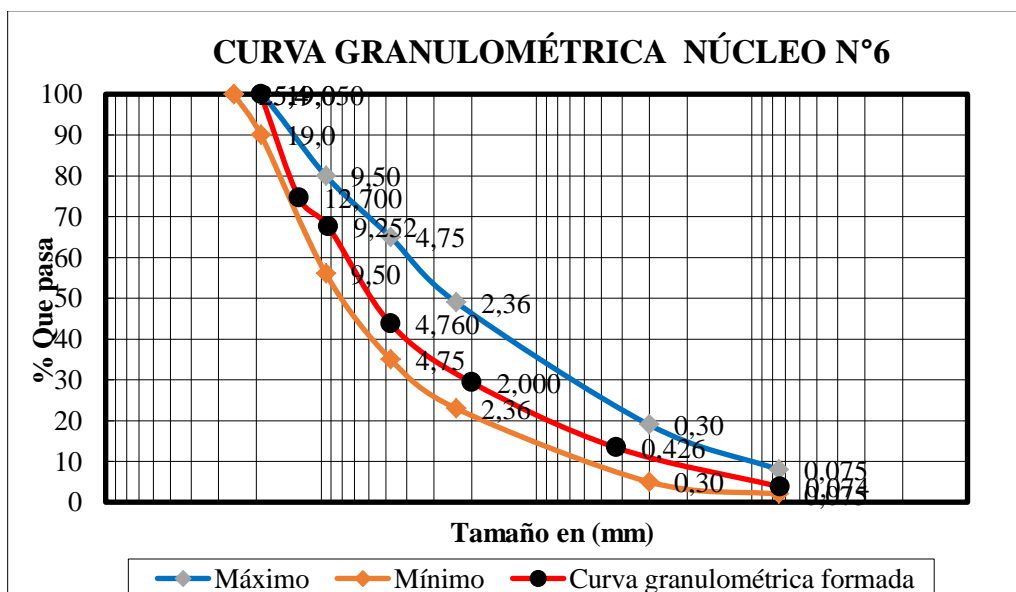
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.39:** Granulometría del núcleo N°6

Núcleo 6			Peso total = 1024,8 Gr.				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido acumulado		% que pasa del total	% que pasa s/g especific. ASTM	
			(gr)	(%)			
3/4'	19,05	0	0	0	100	90	100
1/2'	12,70	259,40	259,40	25,31	74,70	-	-
3/8'	9,25	73,50	332,90	32,48	67,50	56	80
N°4	4,76	243,50	576,40	56,25	43,80	35	65
N°10	2,00	147,20	723,60	70,61	29,40	-	-
N°40	0,43	164,00	887,60	86,61	13,40	-	-
N°200	0,07	98,30	985,90	96,20	3,80	2	8
BASE	-	38,10	1024,00	99,92	0,00	-	-
	Suma =	1024,00					
	Pérdidas =	0,80					

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.17:** Curva granulométrica del núcleo N°6





**Imagen 3.48:** Tamizado de los núcleos

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.40:** Observaciones de las curvas granulométricas

NUCLEO	OBSERVACIONES
<b>Núcleo 1</b>	Se encuentra en el límite máximo de la faja de las especificaciones ASTM
<b>Núcleo 2</b>	se encuentra en la parte intermedia de la faja de las especificaciones ASTM
<b>Núcleo 3</b>	Se encuentra dentro de la faja de las especificaciones ASTM
<b>Núcleo 4</b>	Se encuentra dentro de la faja de las especificaciones ASTM
<b>Núcleo 5</b>	Se encuentra dentro de la faja de las especificaciones ASTM
<b>Núcleo 6</b>	Se encuentra dentro de la faja de las especificaciones ASTM

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar las granulometrías de los núcleos extraídos y observar las gráficas de las mimas, en la tabla anterior se puede apreciar las observaciones que se llegó a tener en comparación a las graduaciones propuestas para mezclas asfálticas cerradas (ASTM-D3515) de la cuarta columna con diámetro nominal de 3/4'.

Observamos que el agregado de la carpeta asfáltica que corresponde al tramo del Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo, de los dos núcleos se encuentra al límite de la especificación máxima de la norma ASTM. Lo cual es un indicador que los agregados no están cumpliendo con la norma y esto podría ser un posible causante de las fallas que se observan en el pavimento.

En cuanto a los demos núcleos se aprecia que sus granulometrías se encuentran dentro de la faja de especificaciones lo que indica que los agregados cumplen con la misma.

### **3.9. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA BRIQUETAS REFORZADAS CON GEOSINTÉTICO**

Para el diseño de la mezcla asfáltica que utilizaremos para el recapamiento se utilizarán los materiales que fueron caracterizados en los anteriores puntos tanto de los agregados pétreos como del cemento asfáltico.

A través del método de diseño de mezclas en caliente Marshall se determinó el contenido óptimo de cemento asfáltico dando un valor de 5.57% que conformara de la mezcla que utilizaremos.

**Tabla 3.41:** Porcentajes de cemento asfáltico y agregados para la mezcla diseñada

<b>Muestra total</b>		<b>540 gr.</b>
<b>Materiales</b>	<b>Porcentajes</b>	<b>Pesos</b>
<b>Cemento asfáltico</b>	5.57 %	30.079 gr.
<b>Grava 3/4'</b>	28.33%	152.98 gr.
<b>Gravilla 3/8'</b>	28.33%	152.98 gr.
<b>Arena</b>	37.77%	203.97 gr.
<b>Total</b>	100%	540 gr.

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3.49:** Designación de los geosintéticos en función al tipo y el tramo de estudio



Fuente: Elaboración propia

### 3.9.1. Procedimiento

Determinando los porcentajes correspondientes para la dosificación de la mezcla asfáltica de la nueva carpeta que se colocara sobre el núcleo extraído y el geosintético se continúa con el proceso de compactación.

Primeramente, se deberá adecuar los moldes para lograr una computación adecuada, colocar los núcleos dentro de ellos de manera que se ajuste lo necesario para compactar carpeta que colocaremos.

**Imagen 3.50:** Núcleos imprimados y colocados en los moldes



Fuente: Elaboración propia

Después de la imprimación se colocó los geosintéticos dentro de los moldes, después dejarlo por unas 5 horas en reposando para que se adhiera de mejor manera y colocar encima del mismo otra capa de imprimación.

**Imagen 3.51:** Colocación de los geosintéticos



Fuente: Elaboración propia

Realizar el pesaje correspondiente de los agregados de la mezcla y el cemento asfáltico. Calentar los agregados y el asfalto una temperatura entre  $140^{\circ}$  -  $160^{\circ}\text{C}$ , mezclar hasta lograr una mezcla homogénea para luego colocar en los moldes preparados anteriormente, para luego compactarla con el martillo

**Imagen 3.52:** Mezcla calentada y colocada en los moldes para compactar



Fuente: Elaboración propia

Luego de finalizar la compactación de todas briquetas recapadas 6 de cada geosintético y 6 sin geosintético, realizamos el corrido de la prensa de CBR aplicando el ensayo inconfinado y determinamos la deformación y el esfuerzo capaz de soportar la briqueta que realizamos.



**Imagen 3.53:** Briquetas desmoldadas

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.2. Ensayo de compresión inconfinado de los núcleos con geosintético y sin geosintético

#### Procedimiento

Se colocó la muestra en la base del equipo de C.B.R., para que al encender la máquina el pistón que tiene el equipo penetre, hasta su valor máximo de capacidad de soporte de la mezcla asfáltica, llegue a su ruptura y este valor marcado en el dial en unidades de (mm), sea el que se registre para su posterior cálculo de resistencia o capacidad de soporte en unidades de ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ).

La ecuación calibrada determinada para el anillo del equipo de CBR es  $Y = 0.0004X - 0.0068$  con un correlación de  $R^2 = 0.9999$ , donde Y corresponde a la deformación en milímetros (lectura del extensometro del anillo del equipo C.B.R) y X a la carga puntual en kilogramos.

**Imagen 3.54:** Ensayo de compresión inconfinado de las briquetas

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.3. Resultados obtenidos del ensayo de compresión inconfinado

Luego de realizar el ensayo mencionado en el punto anterior se realizó los cálculos correspondientes para determinar el esfuerzo de cada una de las briquetas con geosintético o sin geosintético.

**Tabla 3.42:** Identificación de los núcleos analizados

N° de núcleo	Procedencia	Carril	Tipo de geosintético
1	Piedra Larga- Canaletas	Derecho	Geotextil
2	Piedra Larga- Canaletas	medio	
3	Puerta de Chaco - Puente Jarcas	Derecho	
4	Puerta de Chaco - Puente Jarcas	Medio	
5	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo	Derecho	
6	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo	Medio	
7	Piedra Larga- Canaletas	Izquierdo	Geomalla tejida de poliéster
8	Piedra Larga- Canaletas	Medio	
9	Puerta de Chaco - Puente Jarcas	Izquierdo	
10	Puerta de Chaco - Puente Jarcas	Medio	
11	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo	Izquierdo	
12	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo	Medio	
13	Piedra Larga- Canaletas	Derecho	Geomalla biaxial
14	Piedra Larga- Canaletas	Medio	
15	Puerta de Chaco - Puente Jacas	Derecho	
16	Puerta de Chaco - Puente Jacas	Medio	
17	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo	Derecho	
18	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo	Medio	
19	Piedra Larga- Canaletas	Izquierdo	Sin geosintético
20	Piedra Larga- Canaletas	Medio	
21	Puerta de Chaco - Puente Jarcas	Izquierdo	
22	Puerta de Chaco - Puente Jarcas	Medio	
23	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo	Izquierdo	
24	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo	Medio	

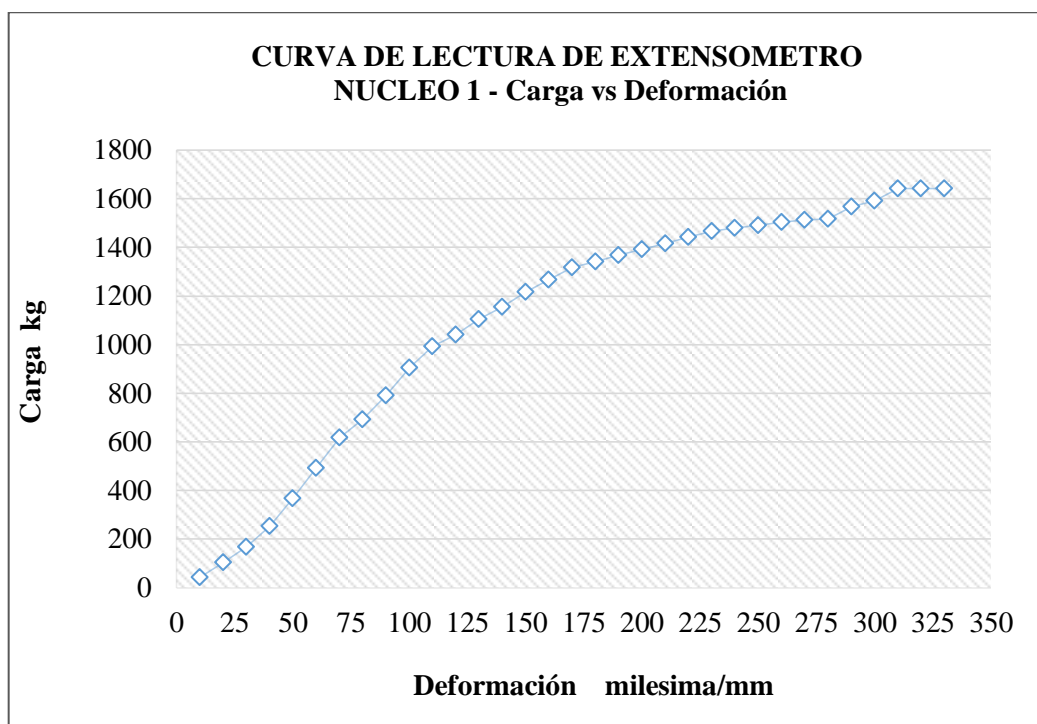
**Fuente:** Elaboración propia

A continuación se muestran las tablas de las lecturas del extensómetro para cada 10 mm de deformación: (Ver Anexo 7)

**Tabla 3.43:** Lectura del extensómetro y deflexión del núcleo N°1

<b>Geosintético: geotextil</b>					
<b>Núcleo :1</b>					
<b>Procedencia: Piedra Larga - Canaletas</b>					
<b>N° de lectura</b>	<b>Lectura del dial de deformación</b>		<b>Lectura de extensómetro mm</b>	<b>Carga puntual kg</b>	<b>Esfuerzo kg/cm<sup>2</sup></b>
	<b>mm</b>	<b>plg</b>			
1	10	0,0039	0,010	42,00	0,52
2	20	0,0079	0,035	104,50	1,29
3	30	0,0118	0,060	167,00	2,06
4	40	0,0157	0,095	254,50	3,14
5	50	0,0197	0,140	367,00	4,53
6	60	0,0236	0,190	492,00	6,07
7	70	0,0276	0,240	617,00	7,61
8	80	0,0315	0,270	692,00	8,54
9	90	0,0354	0,310	792,00	9,77
10	100	0,0394	0,355	904,50	11,16
11	110	0,0433	0,390	992,00	12,24
12	120	0,0472	0,410	1042,00	12,85
13	130	0,0512	0,435	1105,00	13,62
14	140	0,0551	0,455	1155,00	14,24
15	150	0,0591	0,480	1217,00	15,01
16	160	0,063	0,500	1267,00	15,63
17	170	0,0669	0,520	1317,00	16,25
18	180	0,0709	0,530	1342,00	16,55
19	190	0,0748	0,540	1367,00	16,86
20	200	0,0787	0,550	1392,00	17,17
21	210	0,0827	0,560	1417,00	17,48
22	220	0,0866	0,570	1442,00	17,79
23	230	0,0906	0,580	1467,00	18,10
24	240	0,0945	0,585	1480,00	18,25
25	250	0,0984	0,590	1492,00	18,40
26	260	0,1024	0,595	1505,00	18,56
27	270	0,1063	0,598	1512,00	18,65
28	280	0,1102	0,600	1517,00	18,71
29	290	0,1142	0,620	1567,00	19,33
30	300	0,1181	0,630	1592,00	19,64
31	310	0,122	0,650	1642,00	20,25
32	320	0,126	0,650	1642,00	20,25
33	330	0,1299	0,650	1642,00	20,25

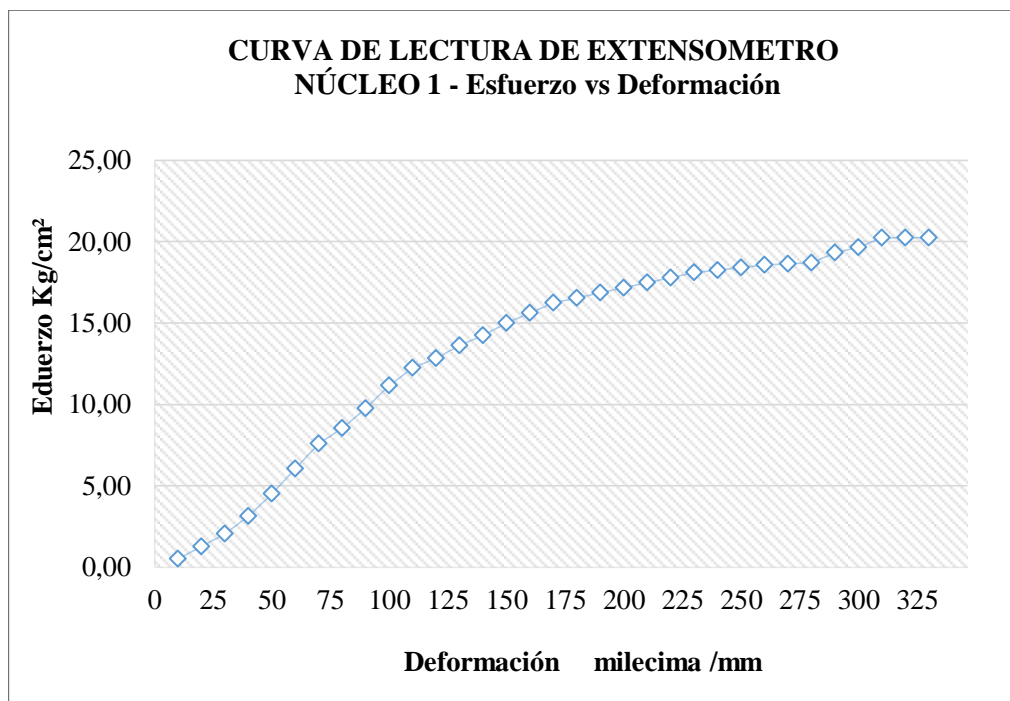
**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfico 3.18:** Curva de lectura del extensómetro carga vs deflexión del núcleo N°1

**Fuente:** Elaboración propia

El gráfico 3.18 corresponde al núcleo N°1 con lugar de procedencia tramo Piedra Larga – Canaletas, se analiza el comportamiento del geosintético seleccionado en este caso el geotextil para su refuerzo debido a los problemas de fallas que presenta el pavimento de los tramos designados. En el eje de las abscisas se encuentra la deformación cada 25 milésimas de milímetro y en el eje de las ordenadas la carga puntual cada 500 kilogramos, dicha carga corresponde al que está siendo sometida la briqueta analizada. De la ecuación calibrada ya mostrada anteriormente se determina que para encontrar la carga puntual, la lectura del extensómetro (Y) ubicado en el anillo del equipo de C.B.R en milímetros se debe colocar en la ecuación  $X = (Y + 0.0068) / (0.0004)$  y obtener el valor de carga correspondiente al que está sometida la briqueta. El comportamiento de la curva carga vs deformación tiende a ser ascendente hasta llegar a un punto máximo de carga y luego tiende a ser asíntota nos indica que los valores determinados son aceptables.



**Gráfico 3.19:** Curva de lectura del extensometro esfuerzo vs deflexión del núcleo N°1

**Fuente:** Elaboración propia

El gráfico 3.19 corresponde al Núcleo N° 1 con lugar de procedencia tramo Piedra Larga – Canaletas. Analizando el comportamiento del pavimento con geotextil en función a la carga que se aplica y su deformación que se produce, se observa que en el eje de las abscisas se encuentra la deformación en milésimas de milímetros cada 25 milésimas de milímetros y en el eje de las ordenadas el esfuerzo cada 5 en kilogramos por centímetro cuadrado, área que corresponde a la briqueta analizada (81.07 cm<sup>2</sup>) donde se aplica la carga puntual los valores se puede observar en la tabla 3.43.

En la curva de esfuerzo vs deformación se puede apreciar que su comportamiento es ascendente hasta llegar a un punto donde se mantiene constante lo que nos indica que es un punto máximo de deformación para un respectivo esfuerzo. Cabe resaltar que no excede la deformación máxima de un pavimento de 0.2 plg que equivale a 5,08 milésimas de milímetro.

El análisis es el mismo para todos los núcleos analizados por el ensayo de compresión inconfinado (ver en Anexo 7).

### 3.10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La extracción de los núcleos se realizó por el método de los tres bolillos de 100 a 200 metros de diferencia entre ellos, de los siguientes tramos: Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo, Puerta del Chaco-Puente Jarcas y Piedra Larga-Canaletas, los cuales fueron pavimentados por el SEDECA, Servicio Departamental de Caminos.

Se realiza una comparación entre briquetas reforzadas con geosintético y sin geosintético, los gráficos mostraran como es el comportamiento del esfuerzo en función a la deformación, en base a las lecturas del extensometro corridas por la prensa de CBR utilizando la ecuación calibrada mostrada anteriormente.

También se realizara una comparación de según el tipo de geosintético aplicado en los diferentes tramos, y viceversa, con los gráficos se pretende mostrar de qué manera influye en la resistencia los geosintéticos que se usaron.

#### 3.10.1. Comparación del esfuerzo según el tipo de geosintético aplicado en los tramos de estudio.

##### 3.10.1.1. Geotextil

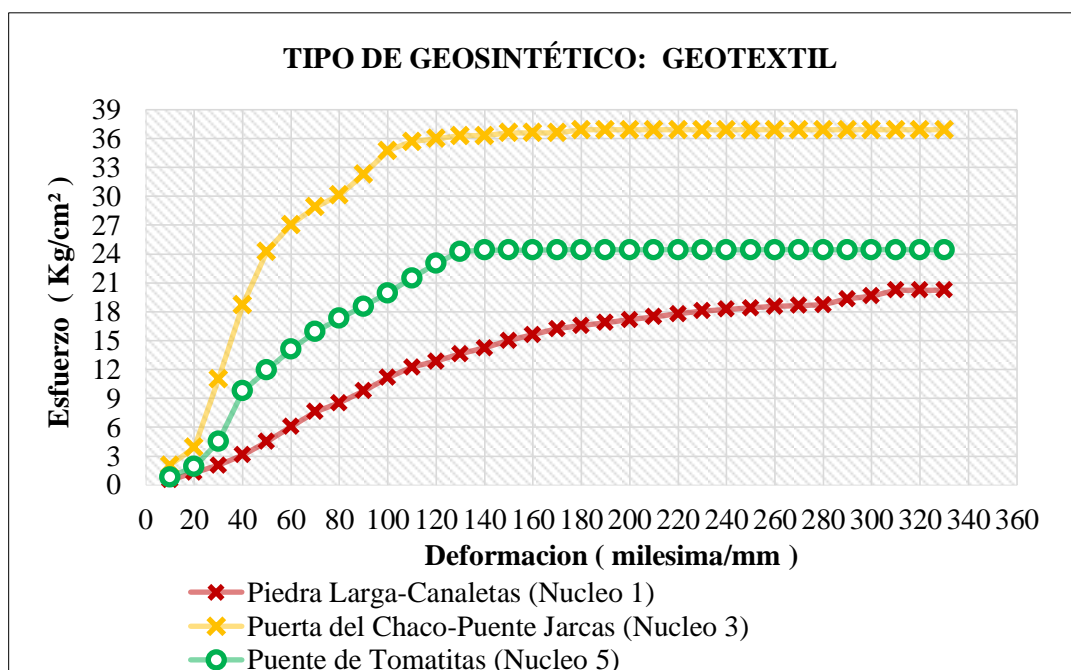
**Tabla 3.44:** Esfuerzo y deformación aplicando geotextil en diferentes tramos

Tipo de geosintético	Geotextil		
Tramo	Piedra Larga-Canaletas	Puerta del Chaco - Puente Jarcas	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo
Núcleo	1	3	5
Deformación mm	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>		
10	0,52	2,06	0,83
20	1,29	3,91	1,91
30	2,06	11,00	4,53
40	3,14	18,71	9,77
50	4,53	24,26	11,93
60	6,07	27,04	14,09
70	7,61	28,89	15,94
80	8,54	30,12	17,32
90	9,77	32,28	18,56
100	11,16	34,75	19,95
110	12,24	35,67	21,49
120	12,85	35,98	23,03

130	13,62	36,29	24,26
140	14,24	36,29	24,42
150	15,01	36,91	24,42
160	15,63	36,91	24,42
170	16,25	36,91	24,42
180	16,55	36,91	24,42
190	16,86	36,91	24,42
200	17,17	36,91	24,42
210	17,48	36,91	24,42
220	17,79	36,91	24,42
230	18,10	36,91	24,42
240	18,25	36,91	24,42
250	18,40	36,91	24,42
260	18,56	36,91	24,42
270	18,65	36,91	24,42
280	18,71	36,91	24,42
290	19,33	36,91	24,42
300	19,64	36,91	24,42
310	20,25	36,91	24,42
320	20,25	36,91	24,42
330	20,25	36,91	24,42

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.20: Curva de esfuerzo y deformación aplicando geotextil



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 3.20 esfuerzo vs deformación corresponde al análisis del comportamiento del geosintético en este caso es geotextil, aplicando en los diferentes tramos Piedra Larga-Canaletas (núcleo N°1), Puerta del Chaco- Puente Jarcas (núcleo N°3) y Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo (núcleo N°5), estos núcleos corresponden al carril por donde pasa la huella del vehículo como así también en la zona más afectada por el deterioro que presenta a lo largo de su vida útil.

En el eje de las abscisas se encuentra la deformación cada 20 milésimas de milímetro y en el eje de las ordenadas cada 3 kg/cm<sup>2</sup>, en el gráfico se puede apreciar que el geotextil tiene mejor resistencia al esfuerzo aplicado sobre la briqueta que está representada con color amarillo que corresponde a Puerta del Chaco-Puente Jarcas con un esfuerzo máximo de 36.91 kg/cm<sup>2</sup> a 150 milésimas de milímetro, seguido por el color verde que corresponde al tramo Puente de Tomatitas resistiendo a un esfuerzo de 24.91 kg/cm<sup>2</sup> a 140 milésimas de milímetro y por último de color rojo representa al tramo de Piedra Larga - Canaletas donde se observa que resiste 20.25 kg/cm<sup>2</sup> de esfuerzo a 310 milésimas de milímetro, las curvas tienden a tener un comportamiento similar de ascendente de manera relativamente suave hasta llegar a un punto máximo y continuar asintóticamente.

Haciendo un análisis comparativo en función a esfuerzo que resisten las briquetas incorporando el geotextil (briqueta), se observa que la briqueta del tramo del Puerta del Chaco-Puente Jarcas resiste un 36.91 kg/cm<sup>2</sup>, seguido del tramo del Puente de Tomatitas con 24.42 kg/cm<sup>2</sup> y por último el tramo Piedra Larga - Canaletas con un valor de 20.25 kg/cm<sup>2</sup>. En función a la deformación máxima que se produce al esfuerzo aplicado observamos que la briqueta del Puente de Tomatitas tiene una deformación menor de 140 milésimas de milímetro, la briqueta de Puerta del Chaco – Puente Jarcas tiene una deformación de 150 milésimas de milímetro y la briqueta de Piedra Larga - Canaletas su deformación es de 310 milésimas de milímetro.

Finalmente el geotextil es muy favorable aplicarlo en el tramo de Puerta del Chaco – Puente Jarcas y menos favorable en el tramo de Piedra Larga- Canaletas esto debido a que en primer tramo mencionado presenta un deterioro significativo lo cual tiene un buen aporte a su resistencia colocar el geotextil mencionado.

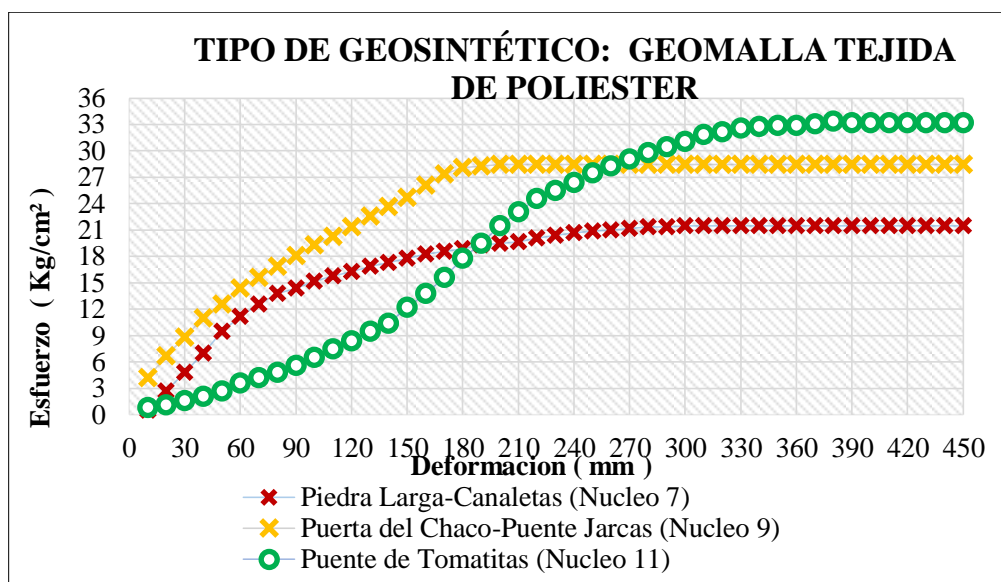
### 3.10.1.2. Geomalla tejida de poliéster

**Tabla 3.45:** Deformación y esfuerzo aplicando geomalla tejida de poliéster

Tipo de geosintético	Geomalla tejida de poliéster		
Tramo	Piedra Larga- Canaletas	Puerta del Chaco - Puente Jarcas	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo
Núcleo	7	9	11
Deformación mm	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>		
10	0,52	4,22	0,83
20	2,68	6,69	1,13
30	4,84	8,84	1,6
40	6,99	11,00	2,06
50	9,46	12,54	2,68
60	11,16	14,39	3,60
70	12,54	15,63	4,22
80	13,78	16,86	4,84
90	14,39	18,1	5,61
100	15,17	19,33	6,53
110	15,78	20,25	7,46
120	16,25	21,33	8,38
130	16,86	22,57	9,46
140	17,32	23,65	10,39
150	17,79	24,73	12,24
160	18,25	26,11	13,78
170	18,56	27,35	15,63
180	18,87	28,12	17,79
190	19,33	28,27	19,48
200	19,48	28,43	21,49
210	19,64	28,43	23,03
220	20,10	28,43	24,57
230	20,41	28,43	25,50
240	20,72	28,43	26,42
250	20,87	28,43	27,50
260	21,03	28,43	28,27
270	21,18	28,43	29,04
280	21,33	28,43	29,81
290	21,33	28,43	30,43
300	21,49	28,43	31,05
310	21,49	28,43	31,82
320	21,49	28,43	32,13
330	21,49	28,43	32,59
340	21,49	28,43	32,74
350	21,49	28,43	32,90
360	21,49	28,43	32,90
370	21,49	28,43	33,05
380	21,49	28,43	33,36
390	21,49	28,43	33,21
400	21,49	28,43	33,21
410	21,49	28,43	33,21
420	21,49	28,43	33,21
430	21,49	28,43	33,21
440	21,49	28,43	33,21
450	21,49	28,43	33,21
460	21,49	28,43	33,21

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.21:** Curva de esfuerzo y deformación aplicando geomalla tejida de poliéster



El gráfico 3.21 esfuerzo vs deformación corresponde al análisis del comportamiento de la geomalla tejida de poliéster, aplicando en los diferentes tramos Piedra Larga-Canaletas (núcleo N°7), Puerta del Chaco- Puente Jarcas (núcleo N°9) y Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo (núcleo N°11), estos núcleos corresponden al carril por donde pasa la huella del vehículo como así también en la zona más afectada por el deterioro que presenta a lo largo de su vida útil.

En el eje de las abscisas se encuentra la deformación cada 30 milésimas de milímetro y en el eje de las ordenadas cada 3 kg/cm<sup>2</sup>, en el gráfico se puede apreciar que la geomalla tejida de poliéster tiene mejor resistencia al esfuerzo aplicado sobre la briqueta que está representada con color amarillo que corresponde a Puerta del Chaco-Puente Jarcas con un esfuerzo máximo de 28.43 kg/cm<sup>2</sup> a 200 milésimas de milímetro, seguido por el color verde que corresponde al tramo Puente de Tomatitas resistiendo a un esfuerzo de 33.21 kg/cm<sup>2</sup> a 390 milésimas de milímetro y por último de color rojo representa al tramo de Piedra Larga - Canaletas donde se observa que resiste 21.49 kg/cm<sup>2</sup> de esfuerzo a 300 milésimas de milímetro, las curvas tienden a tener un comportamiento similar de ascendente de manera relativamente suave hasta llegar a un punto máximo y continuar asintóticamente.

Haciendo un análisis comparativo en función a esfuerzo que resisten los núcleos incorporando el geosintético (briqueta), se observa que la briqueta del tramo del Puente de Tomatitas resiste un 33.21 kg/cm<sup>2</sup>, seguido del tramo de Puerta del Chaco – Puente Jarcas con 28.43kg/cm<sup>2</sup> y por último el tramo Piedra Larga - Canaletas con un valor de 21.49 kg/cm<sup>2</sup>. En función a la deformación máxima que se produce al esfuerzo aplicado observamos que la briqueta de Puerta del Chaco- Puente Jarcas tiene una deformación menor de 200 milésimas de milímetro, la briqueta de Piedra Larga – Canaletas tiene una deformación de 300 milésimas de milímetro y la briqueta del Puente de Tomatitas su deformación es de 350 milésimas de milímetro.

Finalmente la geomalla tejida de poliéster es muy favorable aplicarlo en el tramo de Puerta del Chaco – Puente Jarcas y menos favorable en el tramo de Piedra Larga- Canaletas esto debido a que en primer tramo mencionado presenta un deterioro significativo lo cual tiene una un buen aporte a su resistencia colocar el geosintético mencionado.

### 3.10.1.3. Geomalla biaxial

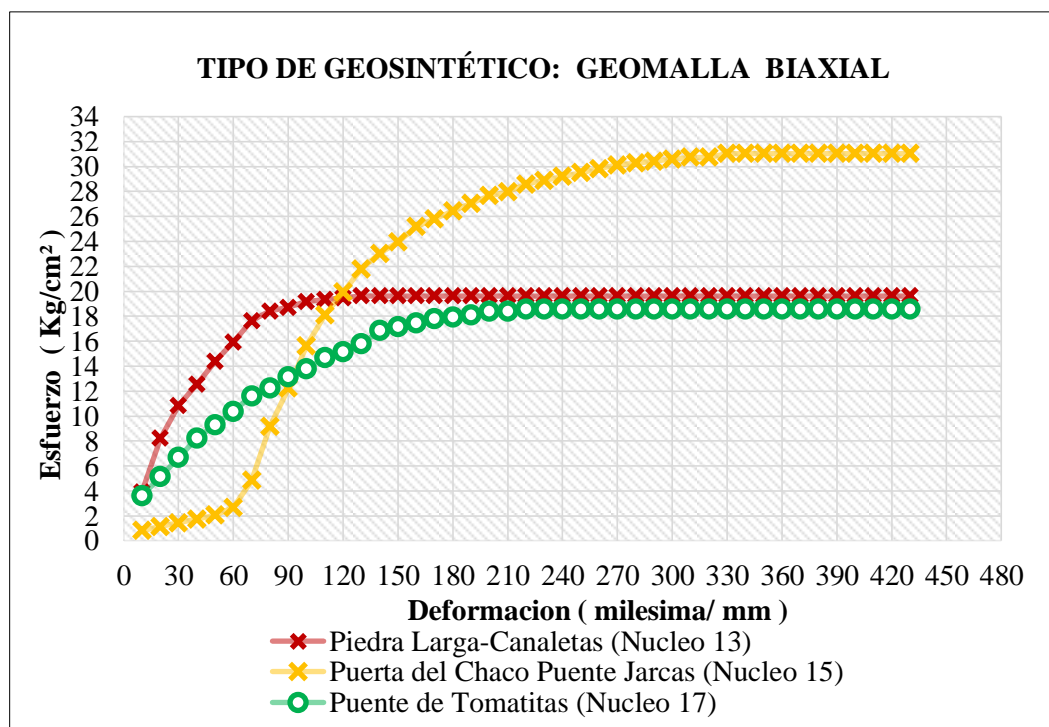
**Tabla 3.46:** Esfuerzo y deformación aplicando geomalla biaxial

Tipo de geosintético	Geomalla biaxial		
Tramo	Piedra Larga- Canaletas	Puerta del Chaco - Puente Jarcas	Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo
Núcleo	13	15	17
Deformación mm	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>		
10	3,91	0,83	3,60
20	8,23	1,13	5,14
30	10,85	1,44	6,69
40	12,54	1,75	8,23
50	14,39	2,06	9,31
60	15,94	2,68	10,39
70	17,63	4,84	11,62
80	18,40	9,15	12,24
90	18,71	12,24	13,16
100	19,17	15,63	13,78
110	19,33	18,10	14,70
120	19,48	19,95	15,17
130	19,64	21,80	15,78
140	19,64	23,03	16,86
150	19,64	23,95	17,17
160	19,64	25,19	17,48
170	19,64	25,80	17,79

180	19,64	26,42	17,94
190	19,64	27,04	18,10
200	19,64	27,66	18,40
210	19,64	27,96	18,40
220	19,64	28,58	18,56
230	19,64	28,89	18,56
240	19,64	29,20	18,56
250	19,64	29,51	18,56
260	19,64	29,81	18,56
270	19,64	30,12	18,56
280	19,64	30,28	18,56
290	19,64	30,43	18,56
300	19,64	30,58	18,56
310	19,64	30,74	18,56
320	19,64	30,74	18,56
330	19,64	31,05	18,56
340	19,64	31,05	18,56
350	19,64	31,05	18,56
360	19,64	31,05	18,56
370	19,64	31,05	18,56
380	19,64	31,05	18,56
390	19,64	31,05	18,56
400	19,64	31,05	18,56
410	19,64	31,05	18,56
420	19,64	31,05	18,56
430	19,64	31,05	18,56

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.22: Curva de esfuerzo y deformación aplicando geomalla biaxial



Fuente: Elaboración propia



El gráfico 3.22 esfuerzo vs deformación corresponde al análisis del comportamiento de la geomalla biaxial aplicando en los diferentes tramos Piedra Larga- Canaletas (núcleo N°13), Puerta del Chaco- Puente Jarcas (núcleo N°15) y Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo (núcleo N°17), estos núcleos corresponden al carril por donde pasa la huella del vehículo como así también en la zona más afectada por el deterioro que presenta a lo largo de su vida útil.

En el eje de las abscisas se encuentra la deformación cada 30 milésimas de milímetro y en el eje de las ordenadas cada 2 kg/cm<sup>2</sup>, en el gráfico se puede apreciar que la geomalla biaxial tiene mejor resistencia al esfuerzo aplicado sobre la briqueta que está representada con color amarillo que corresponde a Puerta del Chaco-Puente Jarcas con un esfuerzo máximo de 28.43 kg/cm<sup>2</sup> a 200 milésimas de milímetro, seguido por el color rojo que corresponde al tramo Piedra Larga – Canaletas resistiendo a un esfuerzo de 19.64 kg/cm<sup>2</sup> a 130 milésimas de milímetro y por último de color verde representa al tramo del Puente de Tomatitas donde se observa que resiste 18.56 kg/cm<sup>2</sup> de esfuerzo a 220 milésimas de milímetro, las curvas tienden a tener un comportamiento similar de ascendente de manera relativamente suave hasta llegar a un punto máximo y continuar asintóticamente.

Haciendo un análisis comparativo en función a esfuerzo que resisten los núcleos incorporando la geomalla biaxial (briqueta), se observa que la briqueta del tramo Puerta del Chaco – Puente Jarcas resiste un 31.05 kg/cm<sup>2</sup> de esfuerzo, seguido del tramo Piedra Larga – Canaletas con 19.64 kg/cm<sup>2</sup> y por último el tramo del Puente de Tomatitas con un valor de 18.56 kg/cm<sup>2</sup>. En función a la deformación máxima que se produce al esfuerzo aplicado observamos que la briqueta de Piedra Larga - Canaletas tiene una deformación menor de 130 milésimas de milímetro, la briqueta del Puente de Tomaticas tiene una deformación de 220 milésimas de milímetro y la briqueta de Puerta del Chaco su deformación es de 330 milésimas de milímetro.

Finalmente la geomalla biaxial es muy favorable aplicarlo en el tramo de Puerta del Chaco – Puente Jarcas y menos favorable en el tramo del Puente de Tomatitas esto debido a que en primer tramo mencionado presenta un deterioro significativo lo cual tiene una un buen aporte a su resistencia colocar el geosintetico mencionado.

## 3.10.1.4. Sin geosintético

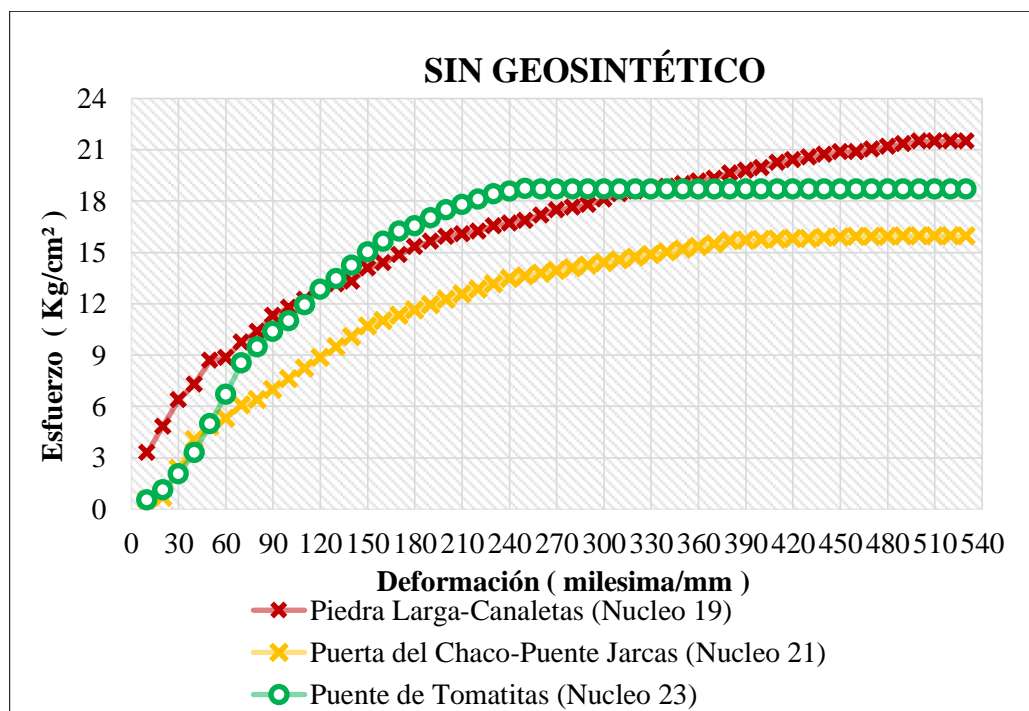
Tabla 3.47: Esfuerzo y deformación sin geosintético en diferentes tramos

<b>Tipo de geosintético</b>	<b>Sin geosintético</b>		
<b>Tramo</b>	<b>Piedra Larga-Canaletas</b>	<b>Puerta del Chaco - Puente Jarcas</b>	<b>Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo</b>
<b>Núcleo</b>	19	21	23
<b>Deformación mm</b>	<b>Esfuerzo Kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>10</b>	3,29	0,52	0,52
<b>20</b>	4,84	0,67	1,13
<b>30</b>	6,38	2,37	2,06
<b>40</b>	7,30	4,06	3,29
<b>50</b>	8,69	4,84	4,99
<b>60</b>	8,84	5,30	6,69
<b>70</b>	9,77	6,07	8,54
<b>80</b>	10,39	6,38	9,46
<b>90</b>	11,31	6,99	10,39
<b>100</b>	11,77	7,61	11,00
<b>110</b>	12,24	8,23	11,93
<b>120</b>	12,85	8,84	12,85
<b>130</b>	13,16	9,46	13,47
<b>140</b>	13,32	10,08	14,24
<b>150</b>	14,09	10,69	15,01
<b>160</b>	14,39	11,00	15,63
<b>170</b>	14,86	11,31	16,25
<b>180</b>	15,32	11,62	16,55
<b>190</b>	15,63	11,93	17,02
<b>200</b>	15,94	12,24	17,48
<b>210</b>	16,09	12,54	17,79
<b>220</b>	16,25	12,85	18,10
<b>230</b>	16,55	13,16	18,40
<b>240</b>	16,71	13,47	18,56
<b>250</b>	16,86	13,62	18,71
<b>260</b>	17,17	13,78	18,71
<b>270</b>	17,48	13,93	18,71
<b>280</b>	17,63	14,09	18,71
<b>290</b>	17,79	14,24	18,71
<b>300</b>	18,10	14,39	18,71
<b>310</b>	18,40	14,55	18,71
<b>320</b>	18,56	14,70	18,71
<b>330</b>	18,71	14,86	18,71

340	18,87	15,01	18,71
350	19,02	15,17	18,71
360	19,17	15,32	18,71
370	19,33	15,47	18,71
380	19,64	15,66	18,71
390	19,79	15,69	18,71
400	19,95	15,72	18,71
410	20,25	15,75	18,71
420	20,41	15,78	18,71
430	20,56	15,81	18,71
440	20,72	15,88	18,71
450	20,87	15,91	18,71
460	20,87	15,94	18,71
470	21,03	15,94	18,71
480	21,18	15,94	18,71
490	21,33	15,94	18,71
500	21,49	15,94	18,71
510	21,49	15,94	18,71
520	21,49	15,94	18,71
530	21,49	15,94	18,71

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.23: Curva de esfuerzo y deformación sin geosintético en diferentes tramos



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 3.23 esfuerzo vs deformación corresponde al análisis del comportamiento del diseño del refuerzo sin geosintético, aplicando en los diferentes tramos Piedra Larga-Canaletas (núcleo N°19), Puerta del Chaco- Puente Jarcas (núcleo N°21) y Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo (núcleo N°23), estos núcleos corresponden al carril por donde pasa la huella del vehículo como así también en la zona más afectada por el deterioro que presenta a lo largo de su vida útil.

En el eje de las abscisas se encuentra la deformación cada 30 milésimas de milímetro y en el eje de las ordenadas cada 3 kg/cm<sup>2</sup>, en el gráfico se puede apreciar que la briqueta sin geosintético tiene mejor resistencia al esfuerzo aplicado sobre ella está representada con color rojo que corresponde a Piedra Larga – Canaletas con un esfuerzo máximo de 21.49 kg/cm<sup>2</sup> a 470 milésimas de milímetro, seguido por el color verde que corresponde al tramo Puente de Tomatitas resistiendo a un esfuerzo de 18.71 kg/cm<sup>2</sup> a 250 milésimas de milímetro y por último de color amarillo representa al tramo de Puerta del Chaco – Puente Jarcas donde se observa que resiste 15.94 kg/cm<sup>2</sup> de esfuerzo a 460 milésimas de milímetro, las curvas tienden a tener un comportamiento similar de ascendente de manera relativamente suave hasta llegar a un punto máximo y continuar asintóticamente.

Haciendo un análisis comparativo en función a esfuerzo que resisten los núcleos sin geosintético (briqueta), se observa que la briqueta del tramo de Piedra Larga – Canaletas resiste un 21.49 kg/cm<sup>2</sup>, seguido del tramo del Puente de Tomatitas con 18.71 kg/cm<sup>2</sup> y por último el tramo Puerta del Chaco – Puente Jarcas con un valor de 15.94 kg/cm<sup>2</sup>. En función a la deformación máxima que se produce al esfuerzo aplicado observamos que la briqueta del Puente de Tomatitas tiene una deformación menor de 250 milésimas de milímetro, la briqueta de Puerta del Chaco – Puente Jarcas tiene una deformación de 460 milésimas de milímetro y la briqueta de Piedra Larga – Canaletas su deformación es de 500 milésimas de milímetro.

Finalmente el refuerzo sin geosintético es favorable aplicarlo en el tramo del Puente de Tomatitas y menos favorable en el tramo de Puerta del Chaco- Puente Jarcas esto debido a que en primer tramo mencionado presenta un deterioro significativo lo cual el diseño del refuerzo sin geosintético puede resistir objetivamente.

### 3.10.2. Comparación del esfuerzo según el tramo de aplicación

#### 3.10.2.1. Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo

**Tabla 3.48:** Esfuerzo y deformación de diferentes geosintéticos aplicados en el tramo

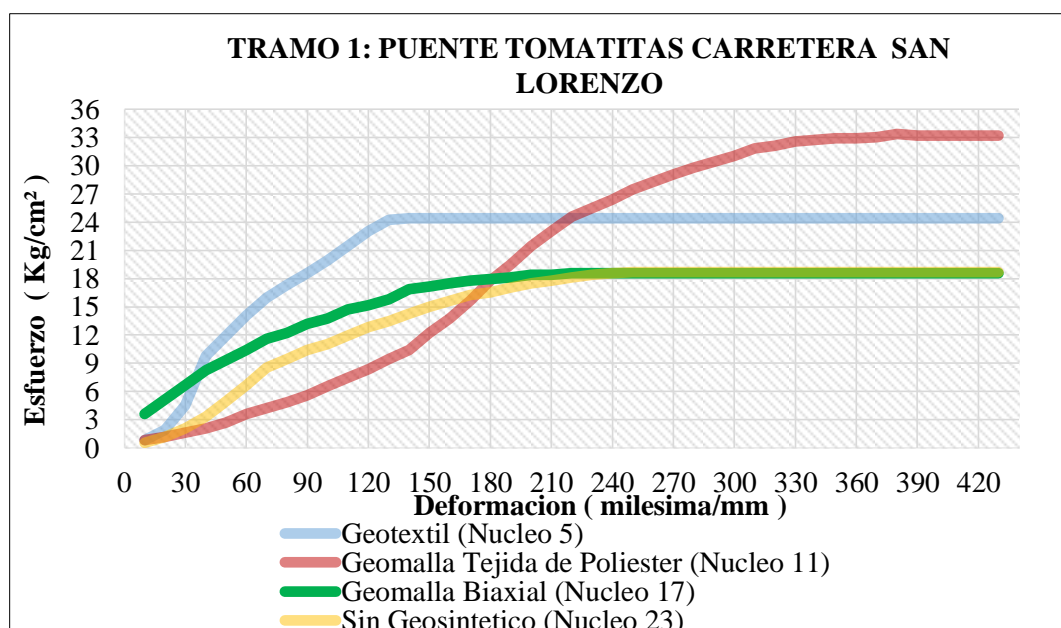
Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo

Tramo		Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo			
Tipo de geosintético	Geotextil	Geomalla tejida de poliéster	Geomalla biaxial	Sin geosintético	
Núcleo	5	11	17	23	
Deformación mm	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>				
10	0,83	0,83	3,60	0,52	
20	1,91	1,13	5,14	1,13	
30	4,53	1,6	6,69	2,06	
40	9,77	2,06	8,23	3,29	
50	11,93	2,68	9,31	4,99	
60	14,09	3,60	10,39	6,69	
70	15,94	4,22	11,62	8,54	
80	17,32	4,84	12,24	9,46	
90	18,56	5,61	13,16	10,39	
100	19,95	6,53	13,78	11,00	
110	21,49	7,46	14,70	11,93	
120	23,03	8,38	15,17	12,85	
130	24,26	9,46	15,78	13,47	
140	24,42	10,39	16,86	14,24	
150	24,42	12,24	17,17	15,01	
160	24,42	13,78	17,48	15,63	
170	24,42	15,63	17,79	16,25	
180	24,42	17,79	17,94	16,55	
190	24,42	19,48	18,10	17,02	
200	24,42	21,49	18,40	17,48	
210	24,42	23,03	18,40	17,79	
220	24,42	24,57	18,56	18,10	
230	24,42	25,50	18,56	18,40	
240	24,42	26,42	18,56	18,56	
250	24,42	27,50	18,56	18,71	
260	24,42	28,27	18,56	18,71	
270	24,42	29,04	18,56	18,71	
280	24,42	29,81	18,56	18,71	
290	24,42	30,43	18,56	18,71	

300	24,42	31,05	18,56	18,71
310	24,42	31,82	18,56	18,71
320	24,42	32,13	18,56	18,71
330	24,42	32,59	18,56	18,71
340	24,42	32,74	18,56	18,71
350	24,42	32,90	18,56	18,71
360	24,42	32,90	18,56	18,71
370	24,42	33,05	18,56	18,71
380	24,42	33,36	18,56	18,71
390	24,42	33,21	18,56	18,71
400	24,42	33,21	18,56	18,71
410	24,42	33,21	18,56	18,71
420	24,42	33,21	18,56	18,71
430	24,42	33,21	18,56	18,71

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.24:** Curva de esfuerzo y deformación en el tramo Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo aplicados por diferentes geosintéticos



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 3.24 esfuerzo vs deformación corresponde al análisis del tramo Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo, en el eje de las abscisas se encuentra la deformación cada 30 milésimas de milímetro y en el eje de las ordenadas el esfuerzo cada 3 kilogramos por centímetro cuadrado. Se puede observar 4 curvas que representan a los tres geosintéticos usados y sin geosintético, geotextil (Núcleo 5) representado por el

color celeste, geomalla tejida de poliéster (Núcleo 11) identificado por el color rojo, geomalla biaxial (Núcleo 17) de color verde y sin geosintético (Núcleo 23) representado por el color amarillo, se seleccionaron debido a que corresponden a un área más deteriorada que es por donde circulan los vehículos.

Se puede apreciar que el geosintético con mayor eficiencia en el presente tramo es el geotextil ya que tiene una mayor resistencia a un esfuerzo de  $24.42 \text{ kg/cm}^2$  a una deformación pequeña de 140 milésimas de milímetro está representado por el color celeste.

Se observa que la incorporación de geosintéticos al refuerzo tiene un mayor aporte en cuanto a la capacidad de resistir a la carga aplicada que tiene el pavimento está reflejada en los colores del gráfico, la curva de color amarillo que corresponde a la briqueta sin geosintético, tiende a ascender relativamente suave hasta llegar a un punto máximo de esfuerzo  $18.71 \text{ kg/cm}^2$  a 250 milésimas de milímetro y convertirse a asintótica se encuentra por debajo de las otras curvas que tiene un comportamiento similar que corresponden a briquetas con material geosintético.

Haciendo una comparación en función al esfuerzo que resiste hasta su deformación el material que mejor aporte tiene a este tramo es la briqueta con geomalla tejida de poliéster resistiendo a un esfuerzo de  $33.21 \text{ kg/cm}^2$ , seguido por la briqueta con geotextil con un esfuerzo de  $24.42 \text{ kg/cm}^2$ , briqueta sin geosintético  $18.71 \text{ kg/cm}^2$  y la briqueta con geomalla biaxial con  $18.56 \text{ kg/cm}^2$ .

Realizando una comparación en función a la deformación la briqueta con geotextil tiene una menor deformación de 140 milésimas de milímetro, seguido de la briqueta con geomalla biaxial con 220 milésimas de milímetro, continuado por la briqueta sin geosintético con 250 milésimas de milímetro y por último la geomalla tejida de poliéster con 390 milésimas de milímetro.

### **3.10.2.2. Puerta del Chaco – Puente Jarcas**

**Tabla 3.49:** Esfuerzo y deformación de diferentes geosintéticos aplicados en el tramo

Puerta del Chaco – Puente Jarcas

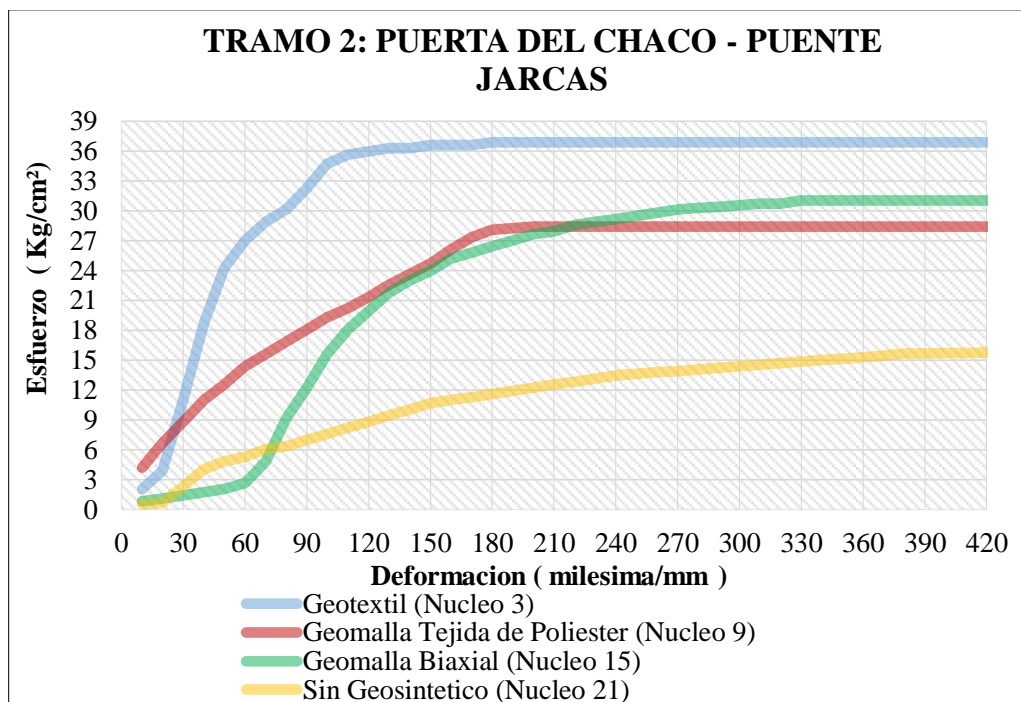
TRAMO	Puerta del Chaco - Puente Jarcas			
Tipo de geosintético	Geotextil	Geomalla tejida de poliéster	Geomalla biaxial	Sin geosintético
Núcleo	3	9	15	21
Deformación mm	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>			
10	2,06	4,22	0,83	0,52
20	3,91	6,69	1,13	0,67
30	11,00	8,84	1,44	2,37
40	18,71	11,00	1,75	4,06
50	24,26	12,54	2,06	4,84
60	27,04	14,39	2,68	5,30
70	28,89	15,63	4,84	6,07
80	30,12	16,86	9,15	6,38
90	32,28	18,10	12,24	6,99
100	34,75	19,33	15,63	7,61
110	35,67	20,25	18,10	8,23
120	35,98	21,33	19,95	8,84
130	36,29	22,57	21,80	9,46
140	36,29	23,65	23,03	10,08
150	36,60	24,73	23,95	10,69
160	36,60	26,11	25,19	11,00
170	36,60	27,35	25,80	11,31
180	36,91	28,12	26,42	11,62
190	36,91	28,27	27,04	11,93
200	36,91	28,43	27,66	12,24
210	36,91	28,43	27,96	12,54
220	36,91	28,43	28,58	12,85
230	36,91	28,43	28,89	13,16
240	36,91	28,43	29,20	13,47
250	36,91	28,43	29,51	13,62
260	36,91	28,43	29,81	13,78
270	36,91	28,43	30,12	13,93
280	36,91	28,43	30,28	14,09
290	36,91	28,43	30,43	14,24
300	36,91	28,43	30,58	14,39
310	36,91	28,43	30,74	14,55
320	36,91	28,43	30,74	14,70
330	36,91	28,43	31,05	14,86
340	36,91	28,43	31,05	15,01
350	36,91	28,43	31,05	15,17
360	36,91	28,43	31,05	15,32



370	36,91	28,43	31,05	15,47
380	36,91	28,43	31,05	15,66
390	36,91	28,43	31,05	15,69
400	36,91	28,43	31,05	15,72
410	36,91	28,43	31,05	15,75
420	36,91	28,43	31,05	15,78
430	36,91	28,43	31,05	15,81
440	36,91	28,43	31,05	15,88
450	36,91	28,43	31,05	15,91
460	36,91	28,43	31,05	15,94
470	36,91	28,43	31,05	15,94
480	36,91	28,43	31,05	15,94

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.25:** Curva de esfuerzo y deformación en el tramo Puerta del Chaco – Puente Jarcas aplicados por diferentes geosintéticos



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 3.25 esfuerzo vs deformación corresponde al análisis del tramo Puerta del Chaco- Puente Jarcas, en el eje de las abscisas se encuentra la deformación cada 30 milésimas de milímetro y en el eje de las ordenadas el esfuerzo cada 3 kilogramos por centímetro cuadrado. Se puede observar 4 curvas que representan a los tres geosintéticos usados y sin geosintético, geotextil (Núcleo 3) representado por el color celeste,

geomalla tejida de poliéster (Núcleo 9) identificado por el color rojo, geomalla biaxial (Núcleo 15) de color verde y sin geosintético (Núcleo 21) representado por el color amarillo, se seleccionaron debido a que corresponden a un área más deteriorada que es por donde circulan los vehículos.

Se puede apreciar que el geosintético con mayor eficiencia en el presente tramo es el geotextil ya que tiene una mayor resistencia a un esfuerzo de  $36.91 \text{ kg/cm}^2$  a una deformación pequeña de 180 milésimas de milímetro está representado por el color celeste.

Se observa que la incorporación de geosintéticos al refuerzo tiene un mayor aporte en cuanto a la capacidad de resistir a la carga aplicada que tiene el pavimento está reflejada en los colores del gráfico, la curva de color amarillo que corresponde a la briqueta sin geosintético, tiende a ascender relativamente suave hasta llegar a un punto máximo de esfuerzo  $15.94 \text{ kg/cm}^2$  a 460 milésimas de milímetro y convertirse a asintótica se encuentra por debajo de las otras curvas que tiene un comportamiento similar que corresponden a briquetas con material geosintético.

Haciendo una comparación en función al esfuerzo que resiste hasta su deformación el material que mejor aporte tiene a este tramo es la briqueta con geotextil resistiendo a un esfuerzo de  $36.91 \text{ kg/cm}^2$ , seguido por la briqueta con geomalla biaxial con un esfuerzo de  $31.05 \text{ kg/cm}^2$ , por la briqueta con geomalla biaxial  $31.05 \text{ kg/cm}^2$  y por último la briqueta sin geosintético con  $15.47 \text{ kg/cm}^2$ .

Realizando una comparación en función a la deformación la briqueta con geotextil tiene una menor deformación de 200 milésimas de milímetro, seguido de la briqueta con geomalla biaxial con 330 milésimas de milímetro, continuado por la briqueta sin geosintético con 460 milésimas de milímetro y por último la geomalla tejida de poliéster con 390 milésimas de milímetro.

### **3.10.2.3. Piedra Larga – Canaletas**

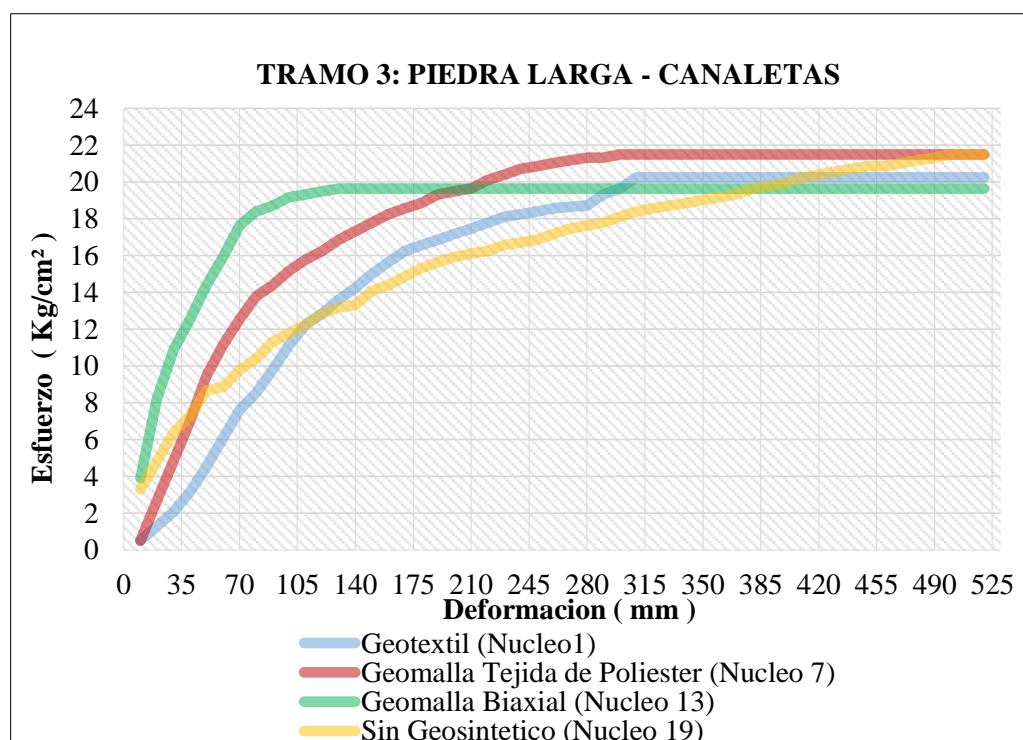
**Tabla 3.50:** Esfuerzo y deformación de diferentes geosintéticos aplicados en el tramo  
Piedra Larga - Canaletas

Tramo	Piedra larga- canaletas			
Tipo de geosintético	Geotextil	Geomalla tejida de poliéster	Geomalla biaxial	Sin geosintético
Núcleo	1	7	13	19
Deformación mm	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>			
10	0,52	0,52	3,91	3,29
20	1,29	2,68	8,23	4,84
30	2,06	4,84	10,85	6,38
40	3,14	6,99	12,54	7,3
50	4,53	9,46	14,39	8,69
60	6,07	11,16	15,94	8,84
70	7,61	12,54	17,63	9,77
80	8,54	13,78	18,4	10,39
90	9,77	14,39	18,71	11,31
100	11,16	15,17	19,17	11,77
110	12,24	15,78	19,33	12,24
120	12,85	16,25	19,48	12,85
130	13,62	16,86	19,64	13,16
140	14,24	17,32	19,64	13,32
150	15,01	17,79	19,64	14,09
160	15,63	18,25	19,64	14,39
170	16,25	18,56	19,64	14,86
180	16,55	18,87	19,64	15,32
190	16,86	19,33	19,64	15,63
200	17,17	19,48	19,64	15,94
210	17,48	19,64	19,64	16,09
220	17,79	20,1	19,64	16,25
230	18,1	20,41	19,64	16,55
240	18,25	20,72	19,64	16,71
250	18,4	20,87	19,64	16,86
260	18,56	21,03	19,64	17,17
270	18,65	21,18	19,64	17,48
280	18,71	21,33	19,64	17,63
290	19,33	21,33	19,64	17,79
300	19,64	21,49	19,64	18,1
310	20,25	21,49	19,64	18,4
320	20,25	21,49	19,64	18,56
330	20,25	21,49	19,64	18,71
340	20,25	21,49	19,64	18,87
350	20,25	21,49	19,64	19,02
360	20,25	21,49	19,64	19,17
370	20,25	21,49	19,64	19,33
380	20,25	21,49	19,64	19,64
390	20,25	21,49	19,64	19,79
400	20,25	21,49	19,64	19,95
410	20,25	21,49	19,64	20,25

420	20,25	21,49	19,64	20,41
430	20,25	21,49	19,64	20,56
440	20,25	21,49	19,64	20,72
450	20,25	21,49	19,64	20,87
460	20,25	21,49	19,64	20,87
470	20,25	21,49	19,64	21,03
480	20,25	21,49	19,64	21,18
490	20,25	21,49	19,64	21,33
500	20,25	21,49	19,64	21,49
510	20,25	21,49	19,64	21,49
520	20,25	21,49	19,64	21,49

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 3.26:** Curva de esfuerzo y deformación en el tramo Piedra Larga - Canaletas aplicados por diferentes geosintéticos



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 3. 26 esfuerzo vs deformación corresponde al análisis del tramo Piedra Larga- Canaletas, en el eje de las abscisas se encuentra la deformación cada 35 milésimas de milímetro y en el eje de las ordenadas el esfuerzo cada 2 kilogramos por centímetro cuadrado. Se puede observar 4 curvas que representan a los tres geosintéticos usados y sin geosintético, geotextil (Núcleo 1) representado por el color celeste, geomalla tejida de poliéster (Núcleo 7) identificado por el color rojo, geomalla biaxial (Núcleo 13) de

color verde y sin geosintético (Núcleo 19) representado por el color amarillo, se seleccionaron debido a que corresponden a un área más deteriorada que es por donde circulan los vehículos.

Se puede apreciar que el geosintético con mayor eficiencia en el presente tramo es el geomalla biaxial ya que tiene una mayor resistencia a un esfuerzo de  $19.64 \text{ kg/cm}^2$  a una deformación pequeña de 130 milésimas de milímetro está representado por el color verde.

Se observa que la incorporación de geosintéticos al refuerzo tiene un mayor aporte en cuanto a la capacidad de resistir a la carga aplicada que tiene el pavimento está reflejada en los colores del gráfico, la curva de color amarillo que corresponde a la briqueta sin geosintético, tiende a ascender relativamente suave hasta llegar a un punto máximo de esfuerzo  $21.49 \text{ kg/cm}^2$  a 500 milésimas de milímetro y convertirse a asíntota se encuentra por debajo de las otras curvas que tiene un comportamiento similar que corresponden a briquetas con material geosintético.

Haciendo una comparación en función al esfuerzo que resiste hasta su deformación el material que mejor aporte tiene a este tramo es la briqueta con geomalla tejida de poliéster resistiendo a un esfuerzo de  $21.49 \text{ kg/cm}^2$ , seguido por la briqueta si geosintético con un esfuerzo de  $21.49 \text{ kg/cm}^2$ , por la briqueta con geotextil  $20.25 \text{ kg/cm}^2$  y por último la briqueta con geomalla biaxial con  $19.64 \text{ kg/cm}^2$ .

Realizando una comparación en función a la deformación la briqueta con geomalla biaxial tiene una menor deformación de 130 milésimas de milímetro, seguido de la briqueta con geomalla tejida de poliéster con 300 milésimas de milímetro, continuado por la briqueta con geotextil a 310 milésimas de milímetro y por último la briqueta sin geosintético con 500 milésimas de milímetro.

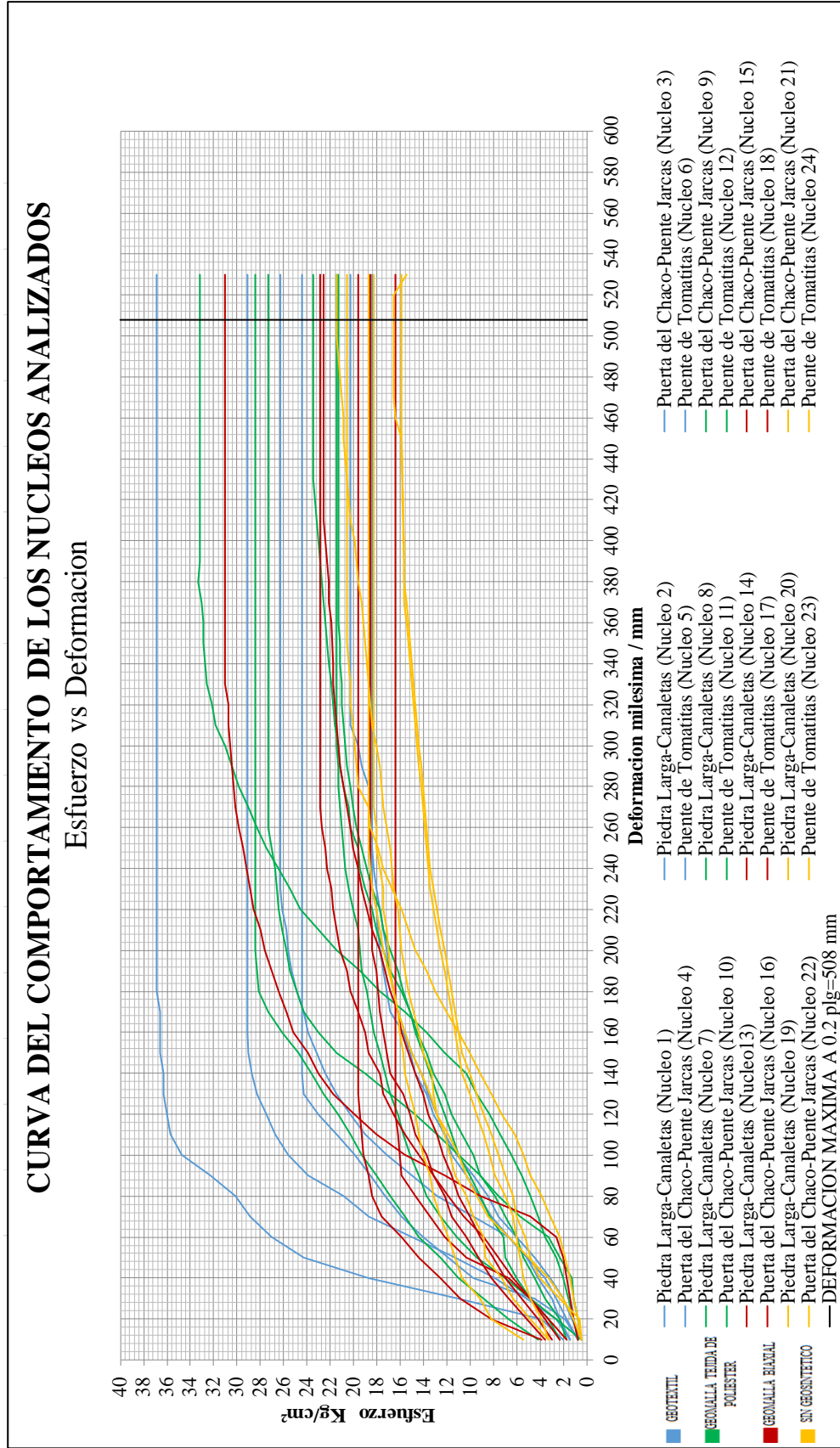
### **3.10.3: Comparación del comportamiento del total de los núcleos analizados**

La colocación de los geosintéticos en las briquetas tiene un aporte en función a la resistencia que soporta al aplicar diversas cargas. En este caso se analizará el comportamiento de todos los núcleos en conjunto para observar y analizar la tendencia que tienen el aplicar o no geosintético.

**Tabla 3.51: Comportamiento del esfuerzo y deformación de los núcleos analizados**

Tipo de geosintético	Geotextil					Geomalla tejida de poliéster											Geomalla biaxial											Sin geosintético				
	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>																															
Deformación mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24								
Núcleo 10	0.52	0.83	2.06	1.44	0.83	1.44	0.52	1.75	4.22	0.52	0.83	2.37	3.21	1.75	0.83	2.99	3.60	2.37	3.29	3.29	0.52	5.45	0.52									
20	1.29	1.75	3.91	2.68	1.91	2.37	2.68	3.69	6.69	0.83	1.13	3.29	8.23	3.29	1.13	4.22	5.14	3.60	4.84	3.91	0.67	8.23	1.13	0.83								
30	2.06	2.68	11.00	5.14	4.53	2.99	4.84	3.60	8.84	1.13	1.60	4.84	10.85	4.84	1.44	5.61	6.69	4.84	6.38	4.84	2.06	9.15	2.06	1.13								
40	3.14	3.60	18.71	7.92	6.99	4.22	6.99	4.53	11.00	1.29	2.06	6.07	12.54	6.09	1.75	6.99	8.23	6.38	7.30	6.09	3.29	10.69	3.29	1.44								
50	4.53	5.14	24.26	11.31	11.93	5.14	9.46	5.45	12.54	2.37	2.68	6.99	14.39	10.39	2.06	8.07	9.31	7.61	8.69	5.76	4.84	11.31	4.99	1.91								
60	6.07	6.69	27.04	15.01	14.09	6.69	11.16	6.07	14.39	3.29	3.60	7.15	15.94	12.24	2.68	9.15	10.39	8.84	8.84	6.07	5.30	11.93	6.69	2.37								
70	7.61	9.77	28.89	18.71	15.94	8.23	12.54	6.99	15.63	5.76	4.22	8.38	17.63	13.47	4.84	10.08	11.62	10.54	9.77	6.38	6.07	12.54	8.54	3.14								
80	8.54	12.85	30.12	20.87	17.32	9.31	13.78	7.92	16.86	7.61	4.84	9.15	18.40	14.70	9.15	11.00	12.24	11.93	10.39	6.99	6.38	13.16	9.46	3.91								
90	9.77	15.01	32.28	23.95	18.56	10.39	14.39	9.15	18.10	9.15	5.61	10.08	18.71	15.94	12.24	11.62	13.16	13.16	11.31	7.92	6.99	13.47	10.39	4.84								
100	11.16	17.17	34.75	26.65	19.95	11.62	15.78	10.69	20.25	12.85	7.46	11.62	19.33	16.25	15.63	12.39	13.78	14.39	11.77	8.84	7.61	14.09	11.00	5.45								
110	12.24	19.02	35.67	26.63	21.49	12.24	15.78	10.69	20.25	12.85	7.46	11.62	19.33	16.25	15.63	12.39	13.78	14.39	11.77	8.84	7.61	14.09	11.00	5.45								
120	13.62	20.25	35.98	27.50	23.03	13.16	16.86	12.24	21.37	14.70	8.38	12.24	19.48	16.40	19.80	13.62	15.17	16.55	12.85	9.46	8.84	14.70	12.85	7.30								
130	14.24	21.49	36.29	28.27	24.26	13.78	16.86	12.24	22.57	16.86	9.46	12.85	19.64	16.40	21.80	14.09	15.78	17.48	13.16	10.08	9.46	15.17	13.47	8.23								
140	15.01	23.18	36.60	29.04	24.42	14.70	17.32	13.16	23.65	19.02	10.39	13.47	19.64	16.40	23.03	14.70	16.86	17.79	13.32	10.69	10.08	15.63	14.24	9.15								
150	15.63	23.95	36.60	29.14	24.42	15.17	17.79	13.78	24.73	21.49	12.24	14.09	19.64	16.40	23.95	15.32	17.17	18.71	14.09	11.00	10.69	15.78	15.01	10.08								
160	16.25	24.88	36.60	29.14	24.42	16.86	18.56	15.17	27.35	24.26	15.63	15.17	19.64	16.40	25.19	15.94	17.48	19.02	14.39	11.31	11.00	16.09	15.63	11.00								
170	16.55	24.88	36.91	29.14	24.42	17.17	18.87	15.94	28.12	24.88	17.79	15.78	19.64	16.40	26.42	16.86	17.94	20.25	15.32	11.93	11.62	16.55	16.55	13.01								
180	16.86	25.34	36.91	29.14	24.42	17.79	19.48	17.48	28.27	25.50	19.48	16.25	19.64	16.40	27.04	17.32	18.10	20.56	15.63	12.24	11.93	16.86	17.02	13.78								
190	17.17	25.65	36.91	29.14	24.42	17.79	19.48	17.48	28.27	25.50	19.48	16.25	19.64	16.40	27.04	17.32	18.10	20.56	15.63	12.24	11.93	16.86	17.02	13.78								
200	17.48	25.80	36.91	29.14	24.42	17.79	19.48	17.48	28.27	25.50	19.48	16.25	19.64	16.40	27.04	17.32	18.10	20.56	15.63	12.24	11.93	16.86	17.02	13.78								
210	17.79	26.11	36.91	29.14	24.42	17.79	19.48	17.48	28.27	25.50	19.48	16.25	19.64	16.40	27.04	17.32	18.10	20.56	15.63	12.24	11.93	16.86	17.02	13.78								
220	18.10	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	20.10	18.40	28.43	26.42	24.57	17.79	19.64	16.40	28.58	18.87	18.56	21.49	16.09	12.85	12.54	17.17	17.79	15.32								
230	18.40	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	20.41	19.02	28.43	26.58	25.50	18.40	19.64	16.40	28.89	19.33	18.56	21.95	16.55	13.47	13.16	17.48	18.40	16.71								
240	18.40	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	20.72	19.48	28.43	26.73	26.42	18.87	19.64	16.40	29.20	19.64	18.56	22.26	16.71	13.62	13.47	17.79	18.56	17.48								
250	18.40	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	20.87	19.64	28.43	27.04	27.50	19.33	19.64	16.40	29.51	20.10	18.56	22.41	16.86	13.78	13.62	18.10	18.71	17.94								
260	18.56	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.03	20.25	28.43	27.35	28.27	19.79	19.64	16.40	29.81	20.56	18.56	22.72	17.17	13.93	13.78	18.10	18.71	18.56								
270	18.65	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.18	20.41	28.43	27.35	29.04	20.10	19.64	16.40	30.12	20.56	18.56	22.88	17.48	14.09	13.93	18.25	18.71	18.71								
280	18.71	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.33	20.87	28.43	27.35	29.81	20.25	19.64	16.40	30.28	20.87	18.56	22.88	17.63	14.24	14.09	18.25	18.71	19.64								
290	19.33	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.33	21.18	28.43	27.35	30.43	20.56	19.64	16.40	30.43	21.18	18.56	22.88	17.79	14.39	14.24	18.25	18.71	19.95								
300	19.64	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	21.33	28.43	27.35	31.05	20.72	19.64	16.40	30.58	21.49	18.56	22.88	18.10	14.55	14.39	18.25	18.71	19.95								
310	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	21.64	28.43	27.35	31.82	20.87	19.64	16.40	30.74	21.49	18.56	22.88	18.40	14.70	14.55	18.25	18.71	20.10								
320	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	21.80	28.43	27.35	32.13	21.03	19.64	16.40	30.74	21.64	18.56	22.88	18.56	14.86	14.86	18.25	18.71	20.25								
330	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	21.95	28.43	27.35	32.59	21.03	19.64	16.40	31.05	21.64	18.56	22.88	18.71	15.01	14.86	18.25	18.71	20.32								
340	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	22.10	28.43	27.35	32.74	21.18	19.64	16.40	31.05	21.80	18.56	22.88	18.87	15.17	15.01	18.25	18.71	20.41								
350	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	22.26	28.43	27.35	32.90	21.18	19.64	16.40	31.05	21.86	18.56	22.88	19.02	15.32	15.17	18.25	18.71	20.56								
360	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	22.41	28.43	27.35	32.90	21.33	19.64	16.40	31.05	21.95	18.56	22.88	19.17	15.47	15.32	18.25	18.71	20.56								
370	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	22.57	28.43	27.35	33.05	21.33	19.64	16.40	31.05	22.10	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
380	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	22.72	28.43	27.35	33.36	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
390	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	22.88	28.43	27.35	33.21	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
400	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	23.03	28.43	27.35	33.21	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
410	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	23.18	28.43	27.35	33.21	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
420	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	23.34	28.43	27.35	33.21	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
430	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	23.49	28.43	27.35	33.21	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
440	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	23.65	28.43	27.35	33.21	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
450	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	23.81	28.43	27.35	33.21	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
460	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	23.99	28.43	27.35	33.21	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
470	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	24.19	28.43	27.35	33.21	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	20.56								
480	20.25	26.27	36.91	29.14	24.42	18.40	21.49	24.39	28.43	27.35	33.21	21.33	19.64	16.40	31.05	22.17	18.56	22.88	19.33	15.66	15.47	18.25	18.71	2								

Gráfico 3.27: Curva del comportamiento del esfuerzo y deformación de los núcleos analizados



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 3.27 esfuerzo vs deformación corresponde al análisis comparativo de todos los núcleos estudiados de los tres tramos, Puente de Tomatitas Carretera a San Lorenzo, Puerta del Chaco-Puente Jarcas y Piedra Larga-Canaletas. En el eje de las abscisas se encuentra la deformación cada 20 milésimas de milímetro y en el eje de las ordenadas el esfuerzo en  $\text{kg/cm}^2$ .

Se observan 24 curvas con diferentes colores los cuales representan a las briquetas con geosintético incorporado y sin geosintético la tendencia que presentan es de manera ascendente relativamente suave hasta llegar a un punto máximo hasta convertirse asintóticamente. Los de color celeste corresponden a las briquetas con geotextil, las de color verde son briquetas con geomalla tejida de poliéster, las curvas de color rojo corresponden a las briquetas con geomalla biaxial y por último las curvas de color amarillo corresponden a las briquetas sin geosintético.

El gráfico señala que las briquetas sin geosintético se encuentra por debajo de las demás curvas eso quiere decir que de acuerdo al diseño del refuerzo soporta menor esfuerzo que colocando materiales geosintéticos para reforzar un pavimento. El de mayor aporte en cuanto a la resistencia para soportar cargas es el geotextil (color celeste). El núcleo con el esfuerzo máximo corresponde a la briketa con geotextil con un valor de  $36.91 \text{ kg/cm}^2$  a 180 milésimas de milímetro.

#### **3.10.4. Análisis de precios unitarios**

Para realizar el análisis de precios unitarios, en función a los resultados de los ensayos realizados durante la investigación el geosintético que mejor aporte tiene en el refuerzo de un pavimento es el geotextil por lo cual se consideró en el precio unitario de la carpeta asfáltica.



### 3.10.4.1. Análisis de precios de la carpeta de concreto asfáltica convencional

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad :	Carpeta de Concreto Asfáltico convencional				
Unidad :	m <sup>3</sup>				
Moneda :	Bolivinos				
Fecha :	Diciembre 2018				
Descripcion	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total	
<b>1 Materiales</b>					
1	Cemento Asfáltico	TON	0,154	8900,00	1370,60
2	Grava Triturada 3/4'	m <sup>3</sup>	0,750	162	121,50
3	Grava Triturada 3/8'	m <sup>3</sup>	0,750	162	121,50
4	Arena Triturada (Finos)	m <sup>3</sup>	0,500	145	72,50
5	Kerosene	l	2,400	3,74	8,98
6	Diesel	l	1,5	3,75	5,63
<b>Total Materiales</b>					<b>1700,70</b>
<b>2 Mano de Obra</b>					
1	Distribuidor de Asfalto	hr	0,05	22,50	1,13
2	Ayudante de Equipo Pesado	hr	0,08	11,50	0,92
3	Operador Compresora	hr	0,01	11,81	0,12
4	Operador de Barredora Mecánica	hr	0,02	15,00	0,30
5	Chofer	hr	0,08	15,00	1,20
6	Especialista	hr	0,50	20,00	10,00
7	Peón	hr	1,98	12,5	24,75
Subtotal de Mano de Obra					38,41
Cargas Sociales 55% del sub total M. O.					21,13
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)					8,90
<b>Total Mano de Obra</b>					<b>68,44</b>
<b>3 Equipo, Maquinaria y Herramientas</b>					
1	Compactador Rodillo Lizo Vibrador	hr	0,003	300,00	0,90
2	Compactadora de Neumaticos 165 HP	hr	0,004	200,00	0,80
3	Volqueta de 10 m <sup>3</sup>	hr	0,08	300,00	24,00
4	Terminadora de Concreto Asfáltico	hr	0,01	800,00	8,00
5	Barredora Mecánica	hr	0,02	80,00	1,60
6	Planta de Calentamiento de Asfaltos	hr	0,03	560,00	16,80
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					3,42
<b>Total Eq, Maq. y Herr.</b>					<b>55,52</b>
<b>4 Gastos Generales y Administrativos</b>					
Gastos Generales 10% (1+2+3)					182,47
<b>5 Utilidad</b>					
Utilidad 10% (1+2+3+4)					200,71
<b>6 Impuestos</b>					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					68,22
<b>Total Item Precio Unitario</b>					<b>2276,06</b>

### 3.10.4.2. Análisis de precios de la carpeta asfáltica de concreto asfáltico con geotextil

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad : Carpeta de Concreto Asfáltico con geotextil					
Unidad : m <sup>3</sup>					
Moneda : Bolivinos					
Fecha : Diciembre 2018					
Descripcion	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total	
<b>1 Materiales</b>					
1	Cemento Asfáltico	TON	0,154	8900,00	1370,60
2	Grava Triturada 3/4'	m <sup>3</sup>	0,750	162	121,50
3	Grava Triturada 3/8'	m <sup>3</sup>	0,750	162	121,50
4	Arena Triturada (Finos)	m <sup>3</sup>	0,500	145	72,50
5	Kerosene	l	2,400	3,74	8,98
6	Diesel	l	1,5	3,75	5,63
7	Geotextil tejido Marv (PAVCO)	m <sup>2</sup>	1	25,00	25,00
<b>Total Materiales</b>					1725,70
<b>2 Mano de Obra</b>					
1	Distribuidor de Asfalto	hr	0,05	22,50	1,13
2	Ayudante de Equipo Pesado	hr	0,08	11,50	0,92
3	Operador Compresora	hr	0,01	11,81	0,12
4	Operador de Barredora Mecánica	hr	0,02	15,00	0,30
5	Chofer	hr	0,08	15,00	1,20
6	Especialista	hr	0,50	20,00	10,00
7	Peón	hr	1,98	12,5	24,75
Subtotal de Mano de Obra					38,41
Cargas Sociales 55% del sub total M. O.					21,13
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)					8,90
<b>Total Mano de Obra</b>					68,44
<b>3 Equipo, Maquinaria y Herramientas</b>					
1	Compactador Rodillo Lizo Vibrador	hr	0,003	300,00	0,90
2	Compactadora de Neumaticos 165 HP	hr	0,004	200,00	0,80
3	Volqueta de 10 m <sup>3</sup>	hr	0,08	300,00	24,00
4	Terminadora de Concreto Asfáltico	hr	0,01	800,00	8,00
5	Barredora Mecánica	hr	0,02	80,00	1,60
6	Planta de Calentamiento de Asfaltos	hr	0,03	560,00	16,80
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					3,42
<b>Total Eq. Maq. y Herr.</b>					55,52
<b>4 Gastos Generales y Administrativos</b>					
Gastos Generales 10% (1+2+3)					184,97
<b>5 Utilidad</b>					
Utilidad 10% (1+2+3+4)					203,46
<b>6 Impuestos</b>					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					69,16
<b>Total Item Precio Unitario</b>					<b>2307,24</b>

### 3.10.4.3. Análisis de precios del riego de liga

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad : Riego de Liga					
Unidad : m <sup>2</sup>					
Moneda : Bolivinos					
Fecha : Diciembre 2018					
Descripcion	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total	
<b>1 Materiales</b>					
1	Asfalto Diluido	1	1,20	11,00	13,20
<b>Total Materiales</b>					13,20
<b>2 Mano de Obra</b>					
1	Operador de Asfalto	hr	0,001	17,50	0,02
2	Operador de Barredora Mecánica	hr	0,010	15,00	0,15
3	Ayudante Operador	hr	0,010	11,25	0,11
4	Operador Tanque de Almacenamiento	hr	0,001	15,00	0,02
Subtotal de Mano de Obra					0,30
Cargas Sociales 55% del sub total M. O.					0,16
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub Total de M. O. + Cargas Sociales)					0,07
<b>Total Mano de Obra</b>					0,53
<b>3 Equipo, Maquinaria y Herramientas</b>					
1	Distribuidor de asfalto	hr	0,001	200,00	0,20
2	Barredora mecánica	hr	0,01	80,00	0,80
3	Tanque de almacen. asfalto diluido	hr	0,001	70,00	0,07
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					0,03
<b>Total Eq, Maq. y Herr.</b>					1,10
<b>4 Gastos Generales y Administrativos</b>					
Gastos Generales 10% (1+2+3)					1,48
<b>5 Utilidad</b>					
Utilidad 10% (1+2+3+4)					1,63
<b>6 Impuestos</b>					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					0,55
<b>Total Item Precio Unitario</b>					18,49

En el análisis de precios unitarios se observa que el costo de la carpeta de concreto asfáltico convencional es de 2276.06 Bs por metro cuadrado y 2307.24 Bs para un metro cuadrado de carpeta asfáltica con material geotextil. Para el riego de liga RC-250 que se utilizó tiene un costo de 18.49 Bs por metro cuadrado, se observa que él se muestra una variación considerable en el precio de las carpetas convencional y geotextil.

La selección del geosintético considerado para el análisis de precios es el geotextil debido a que se observa en los gráficos de comparaciones este material tubo mayor eficiencia para reforzar un pavimento que presenta deterioro en su carpeta.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización de los agregados y cemento asfáltico dando como conclusión que cumplen con las especificaciones de los ensayos desarrollados en los manuales de la Administradora Boliviana de Carreteras, con un valor de peso específico de agregado grueso de 2.55 gr, de agregado fino 2.50 gr valores admisibles según la norma, en cuanto al desgaste de Los Ángeles que es un ensayo de suma importancia para el agregado grueso la resistencia del desgaste de contacto entre ellos es de 22.73% y 23.49% corresponde al agregado intermedio.
- En cuanto a los ensayos del cemento asfáltico se concluye que el peso específico del CA 85/100 es de 1.029 gr/cm<sup>3</sup>, el valor de penetración determinado es de 94 mm, el punto de inflamación es de 286° C, la ductilidad del cemento asfáltico 107 cm, su punto de ablandamiento es de 44 °C y finalmente el ensayo de viscosidad Saybolt Furol es de 129.4 sFA, los cuales cumplen con las especificaciones del asfalto ensayado y es apto para el diseño del refuerzo para el recapamiento.
- Luego de caracterizar a los materiales componentes de la mezcla asfáltica se establece que la dosificación óptima de la mezcla tiene la siguiente proporción de materiales en la mezcla, agregado grueso 28.33%, agregado intermedio 28.33% agregado fino 37.77% y cemento asfáltico 5.57% este último se determinó a través del Método Marshall.
- Para el análisis de la estabilidad y fluencia de las muestras evaluadas se concluye que de las 6 probetas analizadas que corresponden a los tres tramos seleccionados, el valor de la estabilidad de todas las probetas es alto como máxima registrada es de 718.037 libras equivale a 2101.04 kg y el valor mínimo registrado es 1583 libras que equivale a 718.037 kg de resistencia de la mezcla a la deformación cumpliendo con la norma de 750 libras mínimo.

- En cuanto a la fluencia de las probetas analizadas se observa que 4 de las 6 de ellas se encuentra por debajo del rango mínimo de establecido por la norma con un valor máximo de fuera del rango es de 7.874 pulg y mínimo 7.087 pulg, lo que indica que a bajos valores de fluencia y altos valores de estabilidad la mezcla es considerada demasiada frágil y rígida para el pavimento en servicio. Las dos muestras restantes se encuentran dentro del rango de mínimo 8 pulg y máximo 16 pulg. Estos valores son núcleo 15.35 pulg y núcleo 28.27 pulg.
- Observamos que el agregado de la carpeta asfáltica que corresponde al tramo del Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo, de los dos núcleos se encuentra al límite de la especificación máxima de la norma ASTM. Lo cual es un indicador que los agregados no están cumpliendo con la norma y esto podría ser un posible causante de las fallas que se observan en el pavimento. En cuanto a los demás núcleos se aprecia que sus granulometrías se encuentran dentro de la faja de especificaciones lo que indica que los agregados cumplen con la misma.
- Se concluye que el porcentaje de contenido de asfalto de las 6 muestras evaluadas, se determinó por diferencia de pesos de antes de realizar el ensayo de lavado centrifugo y multiplicado por 100, obteniendo un porcentaje dentro del rango que establece la norma que es de 5% - 7% el valor máximo encontrado de asfalto es de 5.91% que corresponde al tramo del puente de Tomaticas carretera a San Lorenzo. y corresponde un valor mínimo de 5.29% al tramo Puerta del Chaco-Piedra Larga.
- Después de realizar el cálculo correspondiente del espesor del refuerzo a través de método establecido por la norma ABC de determino un espesor de 32.56 mm, asumiendo un valor constructivamente de 3.5 cm.
- En función a la comparación del esfuerzo según el tipo de geosintético aplicado a los tres tramos se concluye que el geotextil tiene mayor aporte en el tramo 2 Puerta del Chaco – Puente Jarcas resistiendo a un esfuerzo de 36.91 kg/cm<sup>2</sup> a 180 milésimas de milímetro mostrado en el gráfico 3.20, colocando como refuerzo la geomalla tejida de poliéster tiene mayor eficiencia en el tramo 2 Puerta del Chaco – Puente Jarcas con un esfuerzo de 28.43kg/cm<sup>2</sup> a 200 milésimas de milímetro representado en el gráfico 3.21, la geomalla biaxial tiene mejor aporte

en el Tramo 3 Piedra Larga – Canaletas con  $19.64 \text{ kg/cm}^2$  a 130 milésimas de milímetro y el diseño del refuerzo sin geosintético tiene mayor eficiencia en el tramo 1 Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo representado en el gráfico 3.23, la selección de estos esfuerzos a una determinada deformación se tomó en cuenta la tendencia de las curvas de los gráficos.

- Para la comparación del esfuerzo según el tramo de aplicación se concluye que para el Tramo 1 Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo representado en el gráfico 3.24 se puede reforzar colocando geotextil con un esfuerzo máximo de  $24.42 \text{ kg/cm}^2$  a 140 milésimas de milímetro, mientras que el Tramo 2 Puerta del Chaco-Puente Jarcas mostrado en el gráfico 3.25, tiene mayor aporte en la resistencia utilizando geotextil con un valor de  $36.91 \text{ kg/cm}^2$  para una deformación de 180 milésimas de milímetro y Finalmente para el Tramo 3 Piedra Larga-Canaletas representado en el gráfico 3.36, con el uso de geomalla biaxial se puede reforzar el pavimento que presenta un deterioro notable, la colocación de este geosintético nos muestra un valor de  $19.64 \text{ kg/cm}^2$  de esfuerzo para una deformación de 130 milésimas de milímetro.
- De acuerdo a las comparaciones entre todas las briquetas analizadas en el gráfico 3.27, se concluye que el geotextil tiene mayor aporte alcanzado estabilidad de  $36.91 \text{ kg/cm}^2$  a una deformación de 180 milésimas de milímetro, siendo superior al resto de las briquetas investigadas con otro geosintético y sin geosintético. Se llega a la conclusión que el recapamiento sin geosintético para un espesor de 3.5 cm, se determina que con la dosificación de la carpeta asfáltica en el Tramo 1 Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo tiende a tener mayor resistencia a la aplicación de cargas sobre el pavimento, y el que menos resiste es en el Tramo 2 Puerta del Chaco-Puente Jarcas como se observa en el gráfico 3.27 la curva de color amarillo núcleos 23 y 24.
- En el análisis de precios unitarios de la carpeta de concreto asfáltico convencional de espesor 3.5 cm tiene un costo de 2276.06 Bs por metro cuadrado y de la carpeta de concreto asfáltico con geotextil tiene un costo de 2307.24 Bs por metro cuadrado, presentando una variación en el costo de 0.2% lo cual es un indicador favorable para considerar colocar este material al momento de

construir un pavimento y evitar fallas considerables en él y alargar su tiempo de vida útil. En cuanto al costo del riego de liga RC-250 se tiene un costo de 18.49 Bs por metro cuadrado.

- Finalmente en función a todos los ensayos realizados y resultados analizados se verifica la hipótesis dando viable al uso de geosintéticos como material para reforzar y evitar agrietamientos en la capa de rodadura a futuro.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Es importante realizar los ensayos de caracterización, de los agregados y cemento asfáltico, para determinar si el material es apto para ser utilizado en la elaboración de mezclas asfálticas cumpliendo con las especificaciones establecidas en las normas vigentes en Bolivia.
- Se debe tener conocimiento del procedimiento de los ensayos que se realizará para evitar accidentes y fallas al momento de determinar el valor que se requiere.
- Tener en cuenta las normas de seguridad que rigen en los laboratorios, especialmente cuando se manipula asfalto caliente debido a la exposición de gases tóxicos, provocadas por las altas temperaturas.
- Al momento de realizar la rotura por el Método Marshall, el ensayo de compresión inconfinado y tabulación de datos para evitar lecturas erróneas
- Si bien el uso de geosintéticos no es una alternativa reciente se debe tomar en cuenta que está evolucionando constantemente, es por eso que se recomienda al momento del uso de estos materiales utilizar una base a sus últimos estudios.
- Tomando como aspecto técnico el uso de geosintéticos es el más recomendado para este caso de acuerdo con nuestro criterio.