

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Las estructuras de pavimentos son fundamentales para el desarrollo de cada país se basan primordialmente a las vías de comunicación, porque a través de ello la interacción entre pueblos es más rápido y a la vez menora el consumo de combustible, mientras menos sea el consumo de combustible ayuda a conservar las reservas naturales que tenemos, las carreteras con superficies de pavimento flexible ayudan más a la accesibilidad y movilidad entre pueblos lo cual trae beneficios con mayor flujo de mercancías, visitantes, práctica de nuevas actividades relacionadas con el comercio y la generación de más recursos económicos.

La restauración de pavimentos flexible es un proceso importante por varias razones entre las cuales podemos mencionar:

- a) Proceso esencial para mantener la seguridad y la funcionalidad de las superficies de las carreteras, calles y otros espacios públicos. Los pavimentos dañados o irregulares llegan a ser peligrosos para los que lo utilizan, especialmente para los motorizados, ciclistas y peatones.

La restauración de pavimentos flexibles, nos sirve para eliminar grietas, baches y otros defectos que pueden causar algún accidente.

- b) Prolonga la vida útil de la estructura del pavimento flexible. Esto implica la reparación y el mantenimiento de las superficies del asfalto, que esto puede haber sido dañado por, la exposición al sol, la lluvia y el tráfico de vehículos, desgasta la superficie del asfalto con el tiempo, cambios de temperatura y envejecimiento del mismo. La restauración del pavimento flexible permite reparar y mantener estas superficies, lo que nos ayuda a evitar su deterioro.

- c) Ayuda a mejorar la apariencia de las carreteras y otras superficies públicas.

La superficie de asfalto dañado y desgastado es antiestética y da mala imagen de la ciudad donde se encuentren.

Un geosintético es un producto a base de polímero sintético o natural, y se presenta en diferentes formas como ser: filtro, manto, lámina o tridimensional, usada en contacto con

el suelo o con otros materiales dentro del campo de la ingeniería civil. Los geosintético más utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, y los geos redes. Estos geosintético se utilizan como sistema de inter capa en la construcción y rehabilitación de pavimentos flexibles, mejorando la adherencia entre capas y reduciendo el riesgo de fisuración temprana de la carpeta de rodamiento. El uso de geosintético se lo utiliza para mayor durabilidad en las estructuras viales, reduciendo los costos de mantenimiento.

El riego de liga es un término utilizado en la construcción para referirse a la aplicación de una capa delgada de emulsión asfáltica por medio de riego a presión sobre una superficie ya sea bituminoso o losa de concreto. El riego de liga es el proceso importante en la restauración de pavimentos flexibles, porque esto proporciona la adherencia entre capas del pavimento, la cual es importante para la transferencia de los esfuerzos producidos por las cargas de tránsito a la estructura del pavimento.

En el presente trabajo el objetivo principal es evaluar la estructura de un pavimento con y sin la incorporación de un geosintético y el riego de liga entre capas, en la restauración de un pavimento flexible. La estructura de un pavimento debe trabajar asociados, para esto la relación entre los componentes es de fundamental importancia, de esta manera las sollicitaciones generadas por el tránsito y las climáticas sean dispersadas en toda la estructura y no a través del comportamiento individual de cada capa. La incorporación de los geosintético entre capas de un pavimento se lo realiza con el objeto de mejorar la absorción las tensiones generadas por cargas externas, posteriormente en trabajo se plantea utilizar el riego de liga para la adherencia entre capas de la estructura de pavimento e interponiendo el geosintético, de forma de analizar en comportamiento de la estructura del pavimento flexible.

1.2 Antecedentes

El presente trabajo se realizó en base algunas tesis de titulación e investigaciones realizadas:

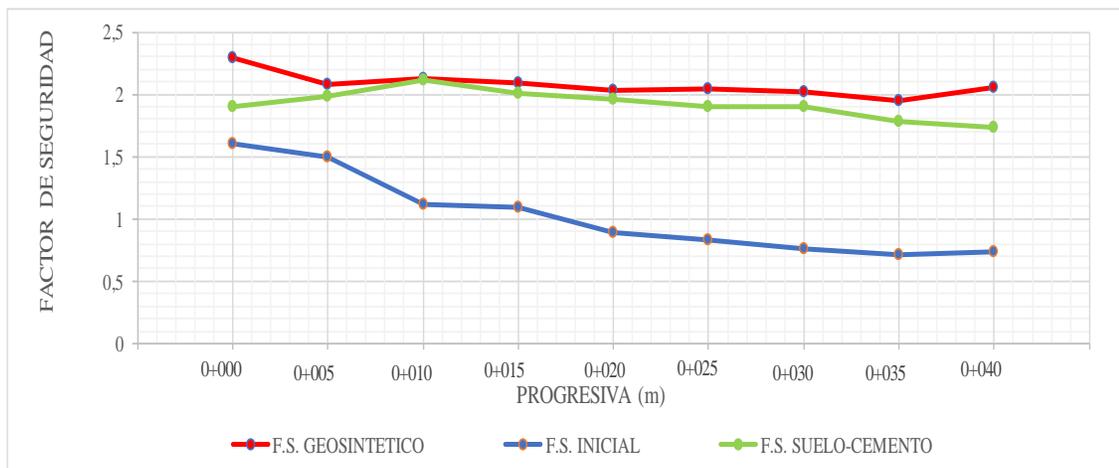
“COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LA APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICO Y USO DE ADITIVO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD EN LA URBANIZACIÓN MAGISTERIO SASARI”, el proyecto se enfoca en el análisis comparativo de

estabilización del talud de la urbanización, mediante 2 métodos de refuerzo del material del talud; que son la aplicación de geosintético y uso de aditivo, tiene el objetivo de comparar las propiedades físico-mecánicas y resistencia de corte alcanzadas mediante el empleo de ambos métodos. Se analiza la estabilidad del talud natural bajo condiciones de carga y se determinan los factores de seguridad inicial, posteriormente utilizando el geosintético y el aditivo (cemento Portland IP).

Comparadas la estabilidad y los factores de seguridad de ambas propuestas, se concluyó que el talud reforzado con geosintético, proporciona mayores factores de seguridad.

Tabla 1.1. Tabla de valores

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD DE AMBOS MÉTODOS					
PROGRESIVA	F.S. INICIAL	F.S. GEOSINTÉTICO	F.S. SUELO-CEMENTO	F.S. SISMO GEOSINTÉTICO	F.S. SISMO SUELO-CEMENTO
0+000	1,60	2,29	1,90	1,96	1,70
0+005	1,50	2,08	1,98	1,79	1,77
0+010	1,12	2,13	2,11	1,78	1,76
0+015	1,09	2,09	2,01	1,75	1,71
0+020	0,89	2,03	1,96	1,69	1,68
0+025	0,83	2,04	1,90	1,67	1,64
0+030	0,76	2,02	1,90	1,65	1,63
0+035	0,71	1,95	1,78	1,62	1,54
0+040	0,74	2,05	1,73	1,56	1,50



Fuente: Cuevas Wilson – Jove Ramos

(Autores del proyecto de grado: Cuevas Gutiérrez Wilson-Jove Ramos Jhimy, Bolivia-2020)

“APLICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICO PARA LAS VÍAS TERRESTRES”

Básicamente, este documento se centrará en lo que son los geosintético, usos, ventajas y facilidades que brindan para la construcción y/o rehabilitación de una carretera. (Autor: Carol Lizethe Chuquiruna Moreno, Peru-2018)

“ESTUDIO DE RIEGOS ASFÁLTICOS DE LIGA ENTRE CAPAS ASFÁLTICAS PARA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES FRESADOS”

La investigación es cuando un pavimento asfáltico es sometido, durante su etapa de explotación, a una rehabilitación mediante la aplicación de una nueva capa asfáltica superpuesta, elaborada en caliente, es requisito extender sobre éste un riego asfáltico de liga en una dotación dada, lo cual genera una interfase entre las capas. Si al pavimento existente se le realizan, además, operaciones previas de fresado superficial, las texturas resultantes pueden ser variadas y diferentes a la que presentaría si se tratara de una superficie sin fresar; lo cual incide en esa dotación de riego de liga a aplicarse en la interfase.

Tabla 1.2. Resultados de las probetas dobles con interfase fresada

Dotacion	CIR	Probeta	S_{max_i} (Mpa)	S_{max} (Mpa)	TD_i (mm)	TD (mm)
I	1,000	2	0,838	0,847	1,69	1,67
		3	0,855		1,65	
II	1,211	4	0,851	0,804	1,29	1,82
		5	0,715		1,99	
		6	0,845		2,17	
III	1,618	7	0,655	0,742	1,71	1,48
		9	0,829		1,25	

Fuente: José Julián Rivera

Los resultados obtenidos permiten deducir que el contenido óptimo de riego de liga debería ubicarse entre la Dotación I y la Dotación II, más cerca de la primera. De todos modos, se observa que estos valores logrados sólo deben ser tomados de manera indicativa, dado lo limitado de las muestras analizadas; razón por la cual se deduce la necesidad de profundizar los conocimientos en tal sentido en futuros estudios asociados.

La conclusión más relevante el modelo desarrollado que relaciona el coeficiente de incremento de riego a ser aplicado en función del diámetro de parche de arena resultante al analizar la superficie fresada y se elaboran recomendaciones para futuros análisis

relacionados con la temática. (Autor: José Julián Rivera. Doctor Ingeniero de leMAC, Argentina- 2019).

“DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS”

Este trabajo de titulación incluye una descripción de los tipos de pavimentos existentes para la construcción de caminos, mostrarlos diferentes tipos de deterioros que se presentan en un pavimento, sus diferentes causas a través de su construcción o a lo largo de los años, se plantea además los tipos de técnicas de reparación aplicadas en obras de pavimentación, mostrando sus procesos constructivos acompañado de un registro fotográfico para la mayor comprensión del proceso. (Ricardo Javier Miranda Rebolledo, Chile-2010)

1.3 Justificación del proyecto de aplicación

El trabajo se lo escogió, porque en los últimos tiempos se ve que los problemas más frecuentes en los pavimentos flexibles son los desprendimientos entre capas en la estructura del pavimento y esto se debe que al estar expuestas a fuerzas externas, como ser los vehículos, que recibe el pavimento al ser utilizado y también esto se debe que el pavimento está expuesto al sol, lluvia y también por el envejecimiento del mismo.

Por las razones expuestas anteriormente se propone el siguiente trabajo, que es evaluar la influencia del geosintético y el riego de liga en la restauración de pavimentos flexibles, como bien sabemos es muy importante que las superficies del pavimento estén en buen estado, esto para poder garantizar la transitabilidad y seguridad tanto de los vehículos y personas, de esta manera evitamos accidentes de todo índole, por ese motivo se propone usar el geosintético, a ser puesto entre capas del pavimento flexible en las restauraciones de las vías aumenta la vida útil de toda la estructura del pavimento, el geosintético al ser utilizado, en trabajos realizados en diferentes países se ve que hace trabajar de manera solidaria a la estructura del pavimento, porque el geosintético al ser puesto entre capas ayuda a repartir uniformemente las cargas expuestas al pavimento.

Por otra parte, el riego liga se lo realiza para poder adherir entre capas del pavimento y esta manera evitar el desprendimiento entre ellos, el riego de liga radica en que es un proceso fundamental en la construcción, restauración y reparación de pavimentos flexibles. Consiste en la aplicación de una capa de emulsión asfáltica sobre la superficie

de la capa subbase antes del colocado de la capa de rodadura, la acción mencionada anteriormente ayuda a mejorar la adherencia entre las capas y también colabora en mejorar la resistencia al deslizamiento y la deformación permanente del pavimento, además el riego de liga también ayuda a sellar la superficie y a proteger de la humedad y otros agentes externos, el riego de liga prolonga la vida útil del pavimento y reduce el costo de mantenimiento, el riego de liga es esencial para garantizar la durabilidad y la resistencia del pavimento. Varios estudios y fuentes respaldan la importancia del riego de liga.

Por ejemplo, el **Manual de Diseño de Pavimentos Flexibles de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México**, establece que el riego de liga es crucial para prolongar la vida útil del pavimento y reducir los costos de mantenimiento.

Asimismo, la **Universidad de Valencia** ha realizado estudios que demuestran que el riego de liga mejora la resistencia al corte y la fatiga del pavimento. Por lo mencionado en los párrafos anteriores, el uso de geosintético y el riego de liga son dos técnicas fundamentales para la restauración de pavimentos flexibles. La combinación de estas técnicas puede mejorar significativamente la calidad y durabilidad de los pavimentos flexibles, lo que es especialmente importante en carreteras y calles de alta circulación. Además, el estudio de esta combinación puede ayudar a identificar las mejores prácticas para la restauración de pavimentos, lo que puede tener un impacto positivo en la seguridad y la eficiencia del transporte.

1.4 Planteamiento del problema

1.4.1 Situación problemática

Los pavimentos se deben conservar en buen estado para poder dar seguridad y confianza para que puedan circular los motorizados los cuales transitan con alta velocidad por la vía, una vía en mal estado puede ocasionar algún accidente. En este caso más que todo nos enfocaremos en los pavimentos flexibles, las estructuras del pavimento sufren diversos problemas en su deterioro, estos se pueden presentar por:

- Influencia de cargas que son sometidos contantemente, y en ocasiones a sollicitaciones de sobre cargas que no son tomadas en cuenta en el diseño.
- Descuido de mantenimiento constante de los pavimentos.

- Propiedades físicas y químicas que no fueron tomados en cuenta.
- Proceso de construcción que fue puesto el pavimento flexible.
- Exposición de la estructura al sol, lluvias.
- Cambios climáticos de la naturaleza.

Mientras más tiempo este el pavimento en malas condiciones, por los motivos, que algunos ya mencionamos el deterioro del pavimento se sigue expandiendo más cada día, y esto significa más inversión en la restauración de la estructura del pavimento flexible.

1.4.2 Problema

¿Será que, en una restauración de pavimento, al incorporar un geosintético y el riego de liga entre las capas de la estructura del pavimento, da mayor vida útil al pavimento flexible?

1.5 Objetivos del proyecto de aplicación

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la influencia que genera un geosintético y el riego de liga en las mejoras de las propiedades de estabilidad y deformación en la restauración de pavimentos flexibles.

1.5.2 Objetivos específicos

- Examinar los documentos bibliográficos sobre el uso de geosintético y riego de liga.
- Realizará la caracterización de los materiales, cómo ser la caracterización de los agregados, caracterización del cemento asfáltico, estos ensayos de laboratorio se lo hará con los equipos que nos proporcione el laboratorio en uso.
- Dosificación de la mezcla del pavimento.
- Realizar las probetas en laboratorio de la mezcla asfáltica sin usar el geosintético y el riego de liga
- Realizar las probetas en laboratorio de la mezcla asfáltica implementando el geosintético y el riego de liga, para unir las capas del pavimento.
- Examinar el comportamiento de la estructura del pavimento, entre la capa base y la rodadura, capa sub base y capa de rodadura, con un geosintético y con el riego de liga.

- Analizar los resultados de los ensayos de rotura de laboratorio, para determinar el aporte en la estabilidad y deformación sobre el pavimento restaurado.
- Establecer las conclusiones y recomendaciones a partir de la investigación realizada con geosintético y el riego de liga.

1.6 Hipótesis

Si en la restauración de la estructura del pavimento flexible incorporamos un geosintético y el riego de liga, **entonces** nos proporcionará el comportamiento de la estructura del pavimento flexible restaurado con geosintético y el riego de liga, en comparación de las propiedades de un pavimento que no se utilizó geosintético y el riego de liga.

1.7 Variables

Una variable es un factor o una característica que puede medirse, manipularse o analizarse para determinar su relación con otras variables o con el resultado de la investigación. Las variables pueden ser cuantitativas (medibles numéricamente) o cualitativas (descripciones verbales), y se utilizan para formular hipótesis, diseñar experimentos, recopilar datos y analizar resultados.

1.7.1 Variable independiente

La variable independiente es el factor o característica que se manipula o controla para observar su efecto sobre otra variable, llamada variable dependiente.

Restauración de la estructura de pavimento flexible.

1.7.2 Variable dependiente

La variable dependiente, en otras palabras, es aquella cuya variación en su valor viene motivada por fluctuaciones en las variables independientes.

En otras palabras, la variable dependiente, o explicada, es entorno a la cual gira la investigación, buscándose determinar cómo impactan en ella las variables dependientes o explicativas.

Comportamiento de la estructura del pavimento flexible, restaurado con geosintético y riego de liga.

1.7.3 Conceptualización y operacionalización de las variables

Tabla 1.3. Variables del tema

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTO	MEDICIÓN	UNIDAD	RELACIÓN
Restauración de la estructura de pavimento flexible	Es la restauración de la estructura del pavimento flexible, con sus respectivas capas (capa sub base, capa base, capa de rodadura), y estos dimensionarlos. Para poder ver el comportamiento de los mismos se lo añade cargas externas y de esta manera poder medir la estabilidad, y la deformación.	Espesor de la capa sub base	m	Espesor
		Espesor de la capa base	m	Espesor
		Espesor de capa de rodadura	m	Espesor
		Estabilidad	Kg/cm ²	Peso
		Deformación	mm	Deformación

VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTO	MEDICIÓN	UNIDAD	RELACIÓN
Comportamiento de la estructura del pavimento flexible, restaurado con geosintético y riego de liga.	Es la capacidad y el comportamiento de la estructura restaurado, incorporado con el geosintético y el riego de liga, estos puestos entre las capas del pavimento (capa sub base, capa base, capa de rodadura). Añadiendo cargas externas se lo podrá medir la estabilidad y la deformación.	Geosintético	m ²	Área
		Riego de liga	Porcentaje (%)	Cantidad de asfalto diluido
		Estabilidad	Kg/cm ²	Peso
		Deformación	mm	Deformación

Fuente: Elaboración propia

1.8 Alcance

El problema fundamental de los pavimentos flexibles son los desprendimientos de las capas de la estructura del pavimento, y para esto se propone incorporar el geosintético y el riego de liga entre las capas del pavimento flexible (capa sub base, capa base y capa de rodadura), esto con el objeto de ver que estabilidad y deformación que proporciona al incorporar el geosintético y el riego de liga en las restauraciones de pavimentos. Para poder ver este comportamiento se realizará ensayos de probetas simulando un pavimento flexible, y a las mismas se incorporará el geosintético y el riego de liga entre las capas ya mencionadas, y para poder ver ese comportamiento se aplicará cargas sobre las probetas. Con los ensayos realizados tendremos resultados y estas podremos analizarlo y tener conclusiones y recomendaciones sobre el tema propuesto. Las estructuras de pavimentos son fundamentales para el desarrollo de cada país primordialmente en las vías de comunicación, por lo cual los pavimentos deben estar en buen estado, y para esto se lo realiza las restauraciones del pavimento, y este proceso es importante porque nos ayuda en mantener la seguridad y la funcionalidad de las carreteras, esto alargar la vida útil de la carretera, ayuda a mejorar la apariencia de las carreteras.

Los geosintético se utilizan como sistema de intercapas en la construcción y rehabilitación de pavimentos, mejorando la adherencia entre capas y reduciendo el riesgo de fisuración tempranas de la carpeta de rodadura.

El riego de liga proporciona la adherencia entre capas del pavimento, lo cual es importante para la transferencia de los esfuerzos producidos por las cargas externas.

El trabajo que se escogió es porque en los últimos tiempos se ve que los problemas más frecuentes son los desprendimientos entre capas del pavimento, esto debido al uso, a las cargas expuestas, al sol, lluvias, también al envejecimiento del mismo. Por lo tanto, se propone el uso del geosintético y el riego de liga entre capas del pavimento, esto nos ayuda a repartir uniformemente entre las capas las cargas expuestas, el riego de liga se lo realiza para poder adherir entre las capas del pavimento y de esta manera evitar el desprendimiento entre ellos. Varios estudios y fuentes respaldan la importancia del riego de liga.

El objetivo principal es evaluar la influencia del pavimento utilizando un geosintético y el riego de liga en la restauración de pavimentos flexibles, pero también como otros objetivos tenemos, analizar documentos bibliográficos sobre nuestro tema, usar el laboratorio para poder caracterizar el agregado, cemento asfáltico, realizar la dosificación de la mezcla del pavimento, realizar las probetas de la estructura del pavimento con y sin geosintético y el riego de liga, analizar el comportamiento de las probetas, y también establecer las conclusiones y recomendaciones a partir de la investigación realizada con geosintético y el riego de liga.

A la hipótesis que se quiere alcanzar es (sí en la restauración de la estructura del pavimento flexible incorporamos un geosintético y el riego de liga, entonces nos proporcionara el comportamiento de la estructura del pavimento flexible restaurado con geosintético y el riego de liga, en comparación de las propiedades de un pavimento que no se utilizó geosintético y el riego de liga).

Este capítulo da el fundamento teórico para realizar el tema, este fundamento teórico, es para de los conceptos del pavimento, las mezclas, la composición de la mezcla, los geosintético, y el riego de liga.

El alcance que se va tener en este capítulo es la aplicación práctica, por lo tanto, recitamos saber la ubicación de donde se obtendrá los agregados, se caracterizará los materiales esto mediante la granulometría de los agregados, caracterizar el cemento asfáltico, esto se lo realiza con los ensayos de: ensayo de penetración, viscosidad, ductilidad, punto de inflamación, punto de ablandamiento, peso específico, ensayo de pérdida de masa. La caracterización del geosintético no se lo puede realizar en laboratorio porque no tenemos los equipos adecuados, pero usaremos la tabla obtenida de la planilla del geosintético proporcionado por el fabricante. Luego se hará la dosificación de las probetas, elaborar la probeta, romper la misma y tener un resultado. El procesamiento de las probetas es preparar los materiales a usarse, mezclar los materiales y elaborar las probetas. Después de eso podremos realizar el análisis de los resultados.

El capítulo de conclusiones y recomendaciones aun no lo se puede realizar por que aún no sabemos los resultados que obtendremos de la investigación.

CAPÍTULO II

**ASPECTOS GENERALES SOBRE
PAVIMENTOS FLEXIBLES CON
GEOSINTÉTICO Y EL RIEGO DE
LIGA EN LA RESTAURACIÓN DE
PAVIMENTOS**

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON GEOSINTÉTICO Y EL RIEGO DE LIGA EN LA RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1 Pavimento

El pavimento es una estructura vial constituida por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen con materiales seleccionados, adecuadamente compactados, y que se apoyan sobre la subrasante.

El pavimento debe ser capaz de resistir los esfuerzos que las cargas impuestas por el tránsito y la acción del medioambiente le imponen durante el período de diseño, así como soportar las deformaciones máximas admisibles por los materiales que lo conforman (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007); además de proporcionar circulación de los vehículos con rapidez, comodidad, seguridad y economía (Fernández Ordoñez H.O., 1985).

De acuerdo con Montejo (2006), algunas de las características que debe tener el pavimento para satisfacer adecuadamente sus funciones son:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adecuada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto esta tiene una influencia decisiva en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permita una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Ser durable y económico.
- Presentar condiciones adecuadas de drenaje.
- Poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos y ofrecer una adecuada seguridad del tránsito.

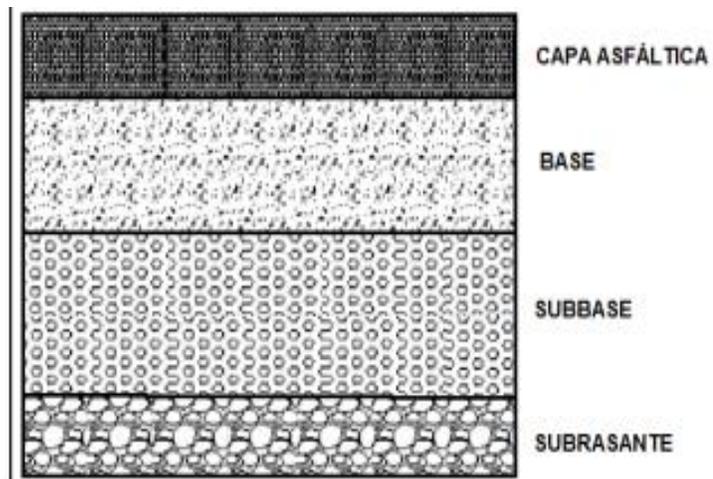
- El ruido generado por el paso de los vehículos en la vía debe ser moderado tanto en el interior de los vehículos como en el exterior, de tal forma que no se vea afectado el entorno.

Los pavimentos han sido clasificados en flexibles, rígidos, semi-rígidos, en afirmado y articulado.

2.1.1 Pavimento flexible

“Pavimento formado por una o varias capas asfálticas y/o materiales seleccionados o tratados, de módulos elásticos decrecientes con la profundidad. Normalmente, la capa de rodadura corresponde a una mezcla asfáltica o a una capa asfáltica de protección y las capas profundas, a materiales granulares de tipo base o sub base. En este caso, las cargas de ruedas son resistidas principalmente por la capacidad del sistema de absorber deformaciones, que le es conferida por las características de sus capas constitutivas y del suelo de fundación”. (Manual de Carretera, Volumen 7, 2016)

Figura 2.1. Composición pavimento flexible



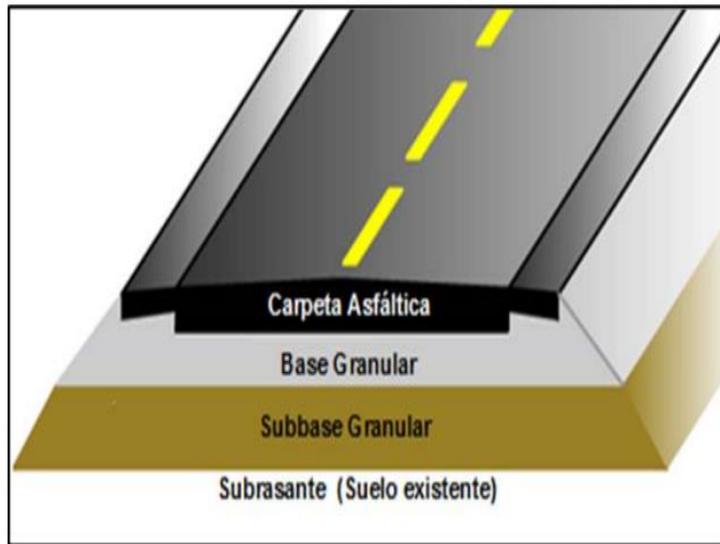
Fuente: Daniel Eduardo González Morgado

Las ventajas de realizar un pavimento flexible, es que, debido a su gran cantidad de asfalto, tiene la propiedad de ser:

- Un pavimento impermeable, es un buen impedimento a factores adversos a ser penetrado, evitando así daños en sus bases inferiores.

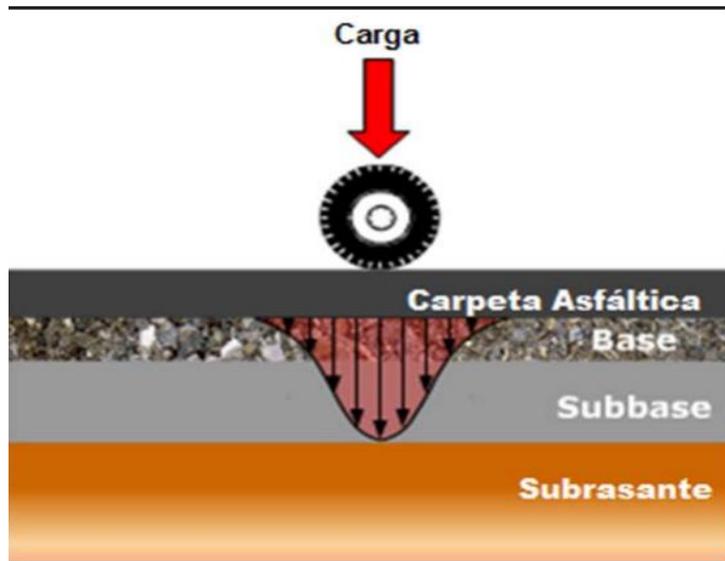
- Posee propiedades adherentes y cohesivas que le permiten formar una única estructura. Otorgando resistencia mecánica y al desgaste.
- Al ser un material flexible, es elástico por lo que tiende a sufrir deformaciones y volver a su estado original, siempre que sean cargas para lo cual fue diseñado.

Figura 2.2. Estructura pavimento flexible



Fuente: Stephen T. Muench (2010)

Figura 2.3. Diagrama de distribución de carga en un pavimento flexible



Fuente: Stephen T. Muench (2010)

2.1.1.1 Capas de un pavimento flexible

Previo a caracterizar las capas que componen el paquete estructural de un pavimento flexible, es necesario conocer términos que se asocian a este, como:

- **Paquete estructural:** Conjunto de capas estructurales que forman un pavimento; desglose de un paquete estructural asfáltico: Capa asfáltica, Base, Sub base.
- **Rasante:** Es la última cota del paquete estructural, cota a nivel de paquete terminado.
- **Subrasante:** Es la cota de inicio del paquete estructural, a su vez, es la cota de término del movimiento de tierra previo a la construcción del paquete estructural.

Definido estos conceptos básicos de pavimentos, las capas del paquete estructural se dividen en:

- **Capa asfáltica:** Es la capa de rodado que consiste en una mezcla de agregados pétreos y asfalto, siendo este último la base de este tipo de pavimento.
El asfalto es un material que se puede encontrar en varias consistencias, caracterizado por ser de color oscuro, uno de los componentes más importantes del asfalto es un derivado del petróleo, el bitumen, con función aglutinante.
- **Base:** Su función principal es transmitir y repartir las cargas a la que es sometido el pavimento a las capas inferiores: subbase y subrasante.

La base es un elemento fundamental desde el punto de vista estructural, su función consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a las capas inferiores, los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar. - desde el punto de vista económico, la base permite reducir el espesor de la carpeta que es más costosa.

Las bases pueden construirse de diferentes materiales como:

- a) Piedra triturada o grava de depósito de aluvión (base hidráulica).
- b) Materiales estabilizados con cemento, asfalto o cal.
- c) Macadán (pavimento de piedra machacada aglomerada por un rodillo compresor).

Tipos de Base. Actualmente puede considerarse dos tipos de bases:

- **Base granular:** De grava triturada y mezcla natural de agregado y suelo.

- **Base estabilizada:** Suelos con cemento Pórtland, cal o materiales bituminosos.

En la base granulares la estabilidad del material depende de la fricción interna y de su cohesión. Una base granular de buena calidad requiere unos materiales fracturados con granulometría continua, el conjunto de la capa debe estar correctamente compactado, drenado e impermeabilizado.

Principales funciones de la Base. Las principales funciones de la base son: - Soportar adecuadamente las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta y transmitir los esfuerzos a la subrasante, por medio de la subbase, de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en el pavimento.

- Drenar el agua que se introduce por medio de grietas en la carpeta o por los hombros evitando también la ascensión capilar.

- **Sub base:** Es una capa granular que actúa como filtro para que partículas de material fino no se introduzcan dañando la subrasante, es la última capa previo a la subrasante, la subbase debe transmitir aún más disipadas las cargas que están accionando el pavimento.

Una de las funciones principales de la sub base es de carácter económico, ya que se usa para disminuir el espesor del material de base (material más costoso).

Su función desde el punto de vista estructural es similar a la base. Otra función consiste en servir de transición entre el material de base generalmente más o menos grueso y la propia subrasante, generalmente formada por materiales finos.

La sub base, más fina que la base, actúa como filtro de esta e impide su incrustación en la subrasante.

La sub base se coloca para observar deformaciones perjudiciales de las terracerías, por ejemplo: cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento. Otra función de la sub base es la de actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de las terracerías.

De lo anterior se desprende que, en general, un pavimento está formado por diversas capas de mejor calidad y mayor costo cuando más cercanas se encuentren

a la superficie de rodamiento; ello es principalmente, por la mayor intensidad de los esfuerzos que le son transmitidos.

El diseño en pavimentos flexibles se emplea el principio de que una carga de cualquier magnitud, puede disiparse con la profundidad a través de capas sucesivas de material, o sea que la intensidad de carga disminuye en proporción geométrica al ser transmitida hacia abajo de la superficie, ya que se va repartiendo en un área mayor.

La resistencia de los materiales que forman los pavimentos interesa desde el punto de vista.

a.- En cuanto la capacidad de carga que puede desarrollar las capas constituyentes del pavimento para soportar adecuadamente las cargas del tránsito.

b.- En cuanto a la capacidad de carga de la capa subrasante, que constituyen el nexo de unión entre el pavimento y la terracería, para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir, a su vez, esfuerzos a la terracería a niveles convenientes. En resumen, la resistencia de estos pavimentos, es el resultado de la acción conjunta del sistema de capas, de manera que, en este caso, el espesor del pavimento es afectado grandemente por la resistencia de la subrasante.

Al diseñar un pavimento flexible se debe ir analizando capa por capa, buscando que la resistencia de cada una sea compatible con el nivel de esfuerzos a que estará sometida, haciendo el análisis para toda la estructura del camino.

La finalidad de cada capa descrita anteriormente tiene por finalidad disipar las cargas a las que será sometido el paquete estructural. Para así lograr un menor CBR en la capa más inferior.

El espesor de cada capa y la utilización de ella dependerán de diseños previos.

2.2 Clasificación de los pavimentos flexibles

El concepto de pavimento flexible nace del hecho de que una superficie bituminosa es plástica y fluye bajo cargas repetidas y sostenidas (repetitivas y temporales) dentro de Los límites, la superficie bituminosa, se ajustan a la consolidación de las capas inferiores. La mezcla bituminosa es una combinación de agregados pétreos, de calidad y características especificadas y asfaltos líquidos o cementos asfálticos funcionando como aglutinante.

Los pavimentos flexibles se pueden clasificar por el tipo de mezcla bituminosa que lo compone, estas mezclas pueden ser:

- Mezclas asfálticas en frío
- Mezclas asfálticas en caliente
- Tratamiento superficial
- Macadam Asfáltico

2.2.1 Mezcla asfáltica en frío

Es la combinación de agregados y un ligante bituminoso que pueden mezclarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. En alguna ocasión el agregado puede llegar a calentarse ligeramente. Estas mezclas emplean en su fabricación ligantes bituminosos con menor viscosidad que Las mezclas en caliente, betunes fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas. El mezclado se puede efectuar —In Situ o en plantas mezcladoras fijas.

2.2.2 Mezcla asfáltica en caliente

Es una mezcla completa de agregados gruesos, finos y un ligante bituminoso. Estos materiales son combinados en una planta de mezclado, donde son calentados, proporcionados y mezclados para producir una mezcla homogénea.

2.2.3 Tratamiento superficial

Los tratamientos superficiales con asfalto pueden utilizarse para cumplir las siguientes funciones:

- Proveer una superficie de bajo costo para toda condición del tiempo atmosférico, en caminos de categoría ligera y mediana.
- Sellar una superficie de rodamiento existente.
- Ayudar a un revestimiento sobrepuesto a adherirse al revestimiento previo.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento.
- Rejuvenecer las superficies existentes deterioradas por el intemperismo.

- Proveer una cubierta temporal para una nueva base granular que no va a recibir su cubierta final por un amplio período.
- Cubrir los pavimentos existentes y proveer cierto aumento en resistencia.
- Servir como paliativo para el polvo.
- Guiar el tráfico y mejorar la visibilidad en la noche; por ejemplo, a través de agregados con contraste en colores.

Los tipos de tratamientos para superficies con asfalto incluyen los siguientes: tratamientos de superficie simple, que consiste en una aplicación de material asfáltico cubierta con una capa de agregado, estos tratamientos asfálticos también llamados en monocapa se usan como capas de protección sobre bases flexibles o semi rígidas para tráfico liviano o como pavimento provisional sobre bases destinadas a soportar tráfico pesado mientras se construye la carpeta asfáltica definitiva, y también existe el tratamiento superficial múltiple que resulta de repetir dos o más veces el procedimiento constructivo de los tratamientos de una capa.

Generalmente se disminuye el tamaño del agregado a medida que la capa se construye es más superficial.

El tipo más empleado es el de las dos capas, que se conoce también como tratamiento superficial de doble riego y tiene su aplicación más frecuente como pavimento provisional en carreteras para tráfico mediano o pesado que se construye por etapas.

Es un término que cubre en general todas las aplicaciones del asfalto, con o sin agregados a cualquier tipo de camino o superficie de pavimentos, pero cuyo espesor final es por lo general inferior a 25mm. (1 pulgada).

También existen otros tipos de tratamientos superficiales como: las lechadas asfálticas, que sirven para proteger contra la infiltración del agua superficial a la carpeta si está agrietada o porosa, proporcionar un revestimiento antideslizante al pavimento antiguo u obtener una superficie de un color determinado.

En todos los casos el proceso constructivo es el mismo y consiste en regar sobre la superficie existente una pequeña cantidad de material asfáltico de acuerdo con dosificaciones establecidas previamente.

2.2.4 Macadán asfáltico

Es el tipo más antiguo de los pavimentos para carreteras actualmente en uso. El Macadam Asfáltico, por penetración consiste en una base o una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño en la que los fragmentos están ligados con asfalto.

Se emplea como capa superficial para caminos de tránsito medio a pesado, pero para caminos de tránsito pesado ha sido sustituido por el concreto asfáltico. Para su construcción puede ser utilizado cemento asfáltico y asfalto emulsionado o uno de los grados más pesados de los alquitranes para caminos.

2.3 Ventajas y desventajas de un pavimento flexible

2.3.1 Ventajas

- Fácil financiamiento por su bajo costo inicial.
- La construcción como las operaciones de mantenimiento se realizan en un tiempo mucho más corto.
- La marcha de los vehículos automotores es más suave por no tener juntas de unión.
- Pueden utilizarse nuevamente como base los pavimentos existentes cuando se coloque una nueva capa de rodaje.

2.3.2 Desventajas

- Ocasionan mayores gastos en el mantenimiento.
- En época de invierno los daños son considerables y más costosas las operaciones de mantenimiento.

2.4 Aspectos importantes de pavimentos flexibles

Entre los aspectos más importantes de un pavimento tenemos: la vida de un pavimento y los efectos de uso del pavimento (mecanismos de transición).

2.4.1 Vida de un pavimento flexible

El deterioro continuo y permanente de una vía comienza en el momento en que finaliza su construcción.

Al examinar el comportamiento de los pavimentos flexibles, se puede dividir su vida en tres fases:

a. Fase de Consolidación:

Esta es la fase inicial en la vida de un pavimento flexible, donde sus diversas capas sufren cierta consolidación, debido a las cargas transmitidas por las ruedas de los vehículos.

Es una fase relativamente corta que tiende a estabilizarse rápidamente.

Depende de la compactación que reciben las diversas capas durante la construcción y no debe ocurrir si ésta ha sido suficiente.

b. Fase Elástica:

Inicia inmediatamente después de la fase anterior y corresponde a la vida útil del pavimento. Si ocurre la fase de consolidación, cada carga provoca una deformación de tipo permanente, que luego tiende a transformarse en deformación transitoria de recuperación instantánea de tipo elástico, provocando cada rueda un movimiento vertical hacia abajo (deflexión), que se recupera después de pasar el vehículo (rebote).

Durante la fase elástica no se presentan fallas generalizadas en el pavimento, salvo deformaciones o fallas locales por defectos de materiales, exceso de humedad, etc. En esta fase, las deformaciones elásticas causadas por las cargas, producen esfuerzos de tensión en las capas asfálticas y de compresión en las capas granulares.

La vida de un pavimento depende de esta fase, de su duración, lo cual está íntimamente ligado a las deflexiones que pueda sufrir el pavimento.

Los estudios de los pavimentos en servicio han demostrado que aquellos que presentan deflexiones reducidas, tienen generalmente una vida larga, aconteciendo lo inverso cuando estas son elevadas.

c. Fase de Fatiga:

Es la fase final en la vida de la estructura.

Las deflexiones causadas por el constante paso de las ruedas de los vehículos provocan tensiones de tracción en los revestimientos asfálticos, que vienen acumulándose desde la fase elástica hasta que la capa se rompe por fatiga después de cierto número de pasadas,

momento a partir del cual comienza un colapso gradual en toda la vía requiriéndose prácticamente una reconstrucción de la misma.

La rotura por fatiga se inicia con la aparición de grietas longitudinales las cuales con el paso repetido del tránsito y la penetración de las aguas superficiales al interior del pavimento provocan el colapso de la estructura llegando al pavimento al final de su vida útil.

2.4.2 Mecanismos de deformación

Toda carga vehicular sobre un pavimento produce una deformación, la cual puede ser transitoria o permanente.

- **Transitorias:** Es aquella que desaparece cuando se retira la carga. Si la recuperación es instantánea se dice que la deformación es elástica. Si, por el contrario, transcurre cierto tiempo desde que se retira la carga hasta recuperar la condición inicial se dice que ésta es visco elástico.

- **Permanente:** Es aquella que se mantiene aun después de haber retirado la carga. Dentro de este tipo se encuentran las deformaciones: por consolidación, plásticas y por expansión.

- **Por consolidación:** Consiste en la reducción en el espesor de algunas de las capas del pavimento. Con un cambio correspondiente de volumen. Generalmente esta deformación se debe a una compactación insuficiente de la capa que falla y se caracteriza por no presentar grietas, pero produce incomodidad al tránsito.

- **Plástica:** Consiste en una falla por esfuerzo de corte debido a que las cargas aplicadas exceden la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. Se caracteriza por una alteración en la superficie del pavimento sin que ocurra cambio en su volumen.

- **Por expansión:** Consiste en un cambio de volumen del pavimento debido a variaciones en el contenido de humedad del suelo de fundación. Se produce por el empleo de materiales inadecuados trabajados incorrectamente durante la construcción.

2.5 Proceso constructivo de pavimentos flexibles

- Preparación de la subrasante.
- Compactación de la subrasante.
- Barrido de la superficie.
- Imprimación del ligante bituminoso sobre la superficie.
- Colocación del asfalto sobre la superficie, con la ayuda de una maquina terminadora (Finisher).
- Controles de calidad.
- Compactación de la superficie con compactadora neumático o rodillo liso.
- Realización de juntas transversales. (En caso de ser necesario)
- Realización de juntas longitudinales. (En caso de ser necesario)

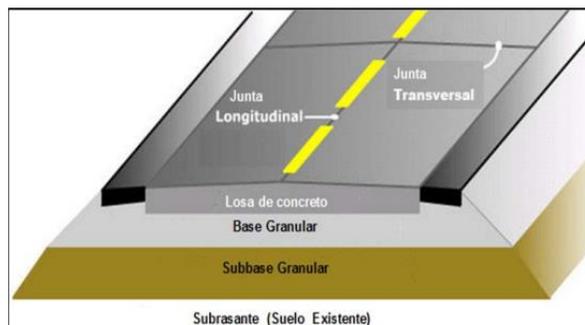
2.6 Pavimentos rígidos

El pavimento rígido (Figura 2.4.) está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyado sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase granular.

En este tipo de pavimentos, la alta rigidez del concreto y el elevado coeficiente de elasticidad hacen que la distribución de esfuerzos se produzca en una zona muy amplia (Figura 2.5.); además, el concreto tiene la capacidad de resistir en cierto grado los esfuerzos a tensión.

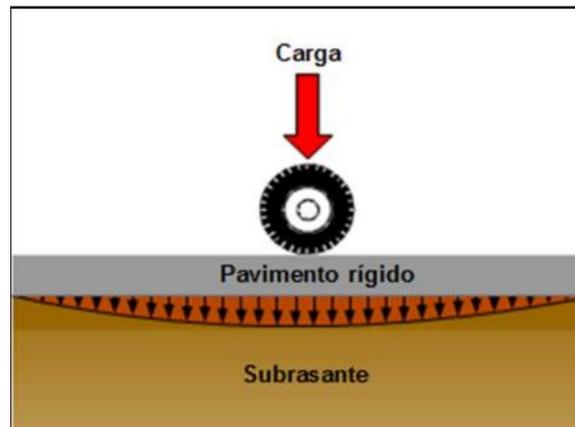
El comportamiento de un pavimento rígido es satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2007).

Figura 2.4. Estructura pavimento rígido



Fuente: Stephen T. Muench (2010)

Figura 2.5. Diagrama de distribución de carga en un pavimento rígido



Fuente: Stephen T. Muench (2010)

2.7 Pavimentos semi rígidos

En las últimas décadas se ha usado un nuevo tipo de estructura conocida como “pavimento mixto” o “semi rígido”, que es, esencialmente un pavimento flexible en el cual, a alguna de sus capas granulares se ha mejorado su rigidez mediante tratamientos específicos con materiales como asfalto, cemento, cal, u otros para este fin.

La transmisión de los esfuerzos a la subrasante se hace en parte por disipación y otra por repartición; por eso se asume que un pavimento semi rígido tiene un comportamiento mixto (Higuera Sandoval C.H., 2010).

2.8 Pavimentos en afirmado

Los pavimentos en afirmado son estructuras constituidas por una o más capas de material granular seleccionado, colocadas, extendidas y compactadas sobre una subrasante, para resistir y distribuir las cargas y los esfuerzos ocasionados por el paso de los vehículos, y así mejorar las condiciones de comodidad y seguridad del tránsito (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2007).

2.9 Pavimentos articulados

Este tipo de pavimento está formado por elementos prefabricados (bloques o adoquines) de pequeñas dimensiones. Posee importantes ventajas que se demuestran con soluciones técnicas y decorativas para todo tipo de tránsito.

El pavimento articulado se caracteriza por soportar grandes cargas, conservando un aspecto estético y económico.

Los adoquines o bloques se asientan sobre una capa de arena, que se comporta a su vez como una junta de sellado.

Esta capa de arena se apoya sobre la subbase o directamente sobre la subrasante, dependiendo de sus calidades, como se muestra en la (Figura 2.6.) (Higuera Sandoval C.H., 2010).

Figura 2.6. Estructura pavimento articulado



Fuente: adoquines de hormigón

2.10 Daños en pavimentos

El Manual del IDU para la Inspección de Pavimentos clasifica en cuatro categorías los daños que puede presentar una estructura de pavimento, tanto par flexibles como rígidos. Para un pavimento flexible, estas categorías son: fisuras, deformaciones, pérdida de capas estructurales, y daños superficiales; en el (Figura 2.7.) se presentan los tipos de daños encontrados en los pavimentos flexibles según su categoría.

Para un pavimento rígido, las categorías son: grietas, deterioro de las juntas, deterioro superficial y otros deterioros. En el (Figura 2.8.) se presentan los tipos de daños encontrados en los pavimentos rígidos según su categoría.

Figura 2.7. Tipos de daños en pavimentos flexibles

Categoría	Tipo de daños
Fisuras	Fisuras longitudinales y transversales Fisuras en juntas de construcción Fisura por reflexión de juntas o grietas en placas de concreto Fisuras en medialuna Fisuras de borde Fisuras en bloque Piel de cocodrilo Fisuración por deslizamiento de capas Fisuración incipiente
Deformaciones	Ondulaciones Abultamiento Hundimiento Ahuellamiento
Daños superficiales	Descascaramiento. Pérdida de capa de rodadura (peladuras) Baches Parches Desgaste superficial Pérdida de agregado Pulimiento del agregado Exudación Surcos
Otros daños	Corrimiento vertical de la berma Separación de la berma Afloramiento de la berma Afloramiento de finos Afloramiento de agua

Fuente: (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007)

Figura 2.8. Tipos de daños en pavimentos rígidos

Categoría	Tipo de daño
Grietas	Grietas de esquina Grietas longitudinales Grietas transversales Grietas en los extremos de los pasadores Grietas en bloque o Fracturación múltiple Grietas en pozo y sumideros Piel de cocodrilo
Daños en juntas	Separación de juntas longitudinales Deterioro sello
Deterioros superficiales	Desportillamiento de juntas Descascaramiento Desintegración Baches Pulimento Escalonamiento de juntas longitudinales y transversales Parches Hundimientos y asentamientos
Otros daños	Fisuración por retracción o Tipo malla Fisuras ligeras de aparición temprana Fisuración por durabilidad Bombeo sobre junta transversal Bombeo sobre junta longitudinal Ondulaciones Separación entre la berma y el pavimento

Fuente: (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2007).

Los daños en los pavimentos flexibles se deben a múltiples causas, entre las cuales se encuentran las debidas a la mala calidad de las mezclas asfálticas debidas a fallas en los procesos de producción o a la calidad de los materiales usados, y por los procesos constructivos; es por esto que para este tipo de pavimento se exige un mayor control de calidad, el cual se debe aplicar desde su diseño hasta su construcción (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2007).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), la infraestructura vial conformada por pavimentos rígidos en Colombia presenta un alto deterioro notable en algunas zonas del país (Instituto Nacional de Vías INVÍAS, 2007).

La degradación progresiva de estas estructuras parece estar asociada al aumento de cargas de los vehículos comerciales que superan las cargas de diseño, y a la generalizada ausencia de actividades de mantenimiento rutinario y periódico.

El bajo nivel servicio de un pavimento se da conforme a la pérdida estructural, funcional, y de drenaje de la estructura, evidenciándose fisuras, deformaciones, pérdida de las capas estructurales, y daños superficiales, entre otros.

Ante las deficiencias que puede presentar una estructura de pavimento, se selecciona el tipo de obra de rehabilitación como técnica de mejoramiento funcional o estructural del mismo, las cuales dan lugar tanto a una extensión de su vida de servicio, como a la provisión de una superficie de rodamiento más cómoda y segura (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2008).

Figura 2.9. Red vial de carreteras, pavimentos rígido y flexible



Fuente: Instituto Nacional de Vías (2009)

Existen diferentes métodos para la evaluación de los defectos en los pavimentos, y que sirven para caracterizar su nivel de severidad, siendo estos: alto, medio o bajo.

Entre los más utilizados en el mundo se encuentran el Manual de Condición del Pavimento (PCI) desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros, y el programa estratégico de Investigación de carreteras, conocido por sus siglas en inglés como SHRP (Strategic Highway Research Program); en Colombia, para este fin, predomina el Manual para la Inspección de Pavimentos realizado por el INVIAS (Vásquez Torres L.C., 2000).

El manual para la evaluación de los defectos en los pavimentos del INVIAS se basa en el estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras, el cual contiene herramientas prácticas a fin de obtener un informe de los daños encontrados durante una inspección visual, permitiendo identificar el tipo, magnitud y severidad de los mismos.

Sin embargo, el documento solo describe los diferentes tipos de daños que se presentan en los pavimentos flexibles y rígidos, ya que la red vial nacional de carreteras se encuentra construida solo con estos dos tipos de estructuras (Figura 2.9.).

Existen varios métodos para rehabilitar pavimentos o corregir las deficiencias en determinados tramos de la vía; según las condiciones en las que ésta se encuentre, se puede presentar dos tipos de rehabilitación: superficial o estructural.

2.11 Categorías de mantenimiento

Los trabajos de conservación vial están agrupados en las siguientes cinco categorías generales:

- Mantenimiento rutinario
 - Mantenimiento periódico
 - Mantenimiento preventivo
 - Mantenimiento a costo más porcentaje por administración / administración delegada
 - Mantenimiento de emergencia.
- a. El mantenimiento rutinario:** Comprende todas aquellas actividades requeridas para conservar una vía de regular a buen estado, las cuales se repiten una o más

veces al año. También, incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar elementos menores dañados, deteriorados o destruidos, tal como los barandales de puentes, obras de drenaje menores, señalización vertical y horizontal, muros de retención y actividades afines.

- b. El mantenimiento periódico:** Abarca las obras de conservación vial que se repiten en períodos de más de un año para mantener la vía a un nivel de servicio de regular a buen estado. Asimismo, abarca las mejoras geométricas requeridas para una sección puntal, conforme a los requisitos estipulados en la última versión del manual Centroamericano de Especificaciones para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.

También, está considerada la colocación de sobre capas, sobre pavimentos deteriorados existentes.

El mantenimiento periódico se refiere a las obras de mantenimiento programadas con una frecuencia superior a un año.

Las obras de mantenimiento periódico incluyen:

- Reposición de balasto en carreteras no pavimentadas.
- Aplicación de sellos sobre pavimentos asfálticos.
- Aplicación de tratamientos especiales tales como lechada Asfáltica.
- Colocación de sobre capas de asfalto (reapeo) sobre el pavimento existente con el objeto de restaurarla a su estado original.
- Aplicación de tratamientos especiales tales como el reciclaje de pavimentos existentes.

Dichas obras por lo general se contratan basándose en precios unitarios y, por ende, no forman parte de contratos de mantenimiento por estándares.

- c. El mantenimiento preventivo:** Consiste en actividades y obras de mantenimiento destinadas a prevenir fallas en la vía antes de que ocurra.

Tratamientos aplicados a la superficie de pavimentos existentes con capacidad estructural suficiente, con el propósito de mantener su estructura y prolongar su vida útil sin incrementar su valor estructural.

Actualmente el mantenimiento vial en Centroamérica está enfocado a la reparación de fallas mediante la programación de mantenimiento rutinario. Se debe cambiar al enfoque hacía el mantenimiento preventivo mediante, lo cual se aplican las providencias necesarias para evitar que las fallas ocurran. Las experiencias en otros países han comprobado que la implantación de programas de mantenimiento preventivo con lleva economías sustanciales. El programa de mantenimiento preventivo abarca intervenciones tales como:

- Lechada Asfáltica (Slurry Seals)
- Tratamientos Superficiales - Micro-Superficies
- Sobre capas asfálticas delgadas - Sello de grietas y juntas en pavimentos de concreto hidráulico.
- Reparación parcial y entera de losas de concreto
- Fresado y reciclaje de pavimentos bituminosos
- Reciclaje de pavimentos asfálticos

Algunas de estas intervenciones han sido aplicadas en el ámbito Centroamericano desde hace muchos años. Otras son de recién aplicación o desconocidas. La mayoría de dichas intervenciones pueden considerarse como mantenimiento periódico dado que su aplicación se extiende a intervalos mayores de un año.

La clave en cada caso es de aplicar los tratamientos mientras que el pavimento todavía esté en regulares condiciones sin fallas mayores que comprometan la capacidad de soporte del pavimento. Afortunadamente, existen procedimientos tales como la rugosidad cuando combinado con programas de administración de pavimentos, permitan predecir cuándo se debe aplicar dichas intervenciones y hasta cierto punto define la intervención más adecuada para el caso.

El problema estriba en que existe cierta renuencia por parte de las autoridades competentes de asignar los fondos necesarios para aplicar dichos tratamientos sobre carreteras que todavía están en bueno o regular estado cuando la mayor parte de la red está todavía en malas o pésimas condiciones. No es sino hasta que la deterioración del pavimento ha fallado que se piensa en rehabilitarla. Para ese entonces el mantenimiento preventivo ya no es una opción viable.

- d. El mantenimiento por administración a costo más porcentaje:** Habrá casos para los cuales los trabajos de mantenimiento a realizarse no se pueden cuantificar, no exista una partida de pago en el contrato para cubrirlos o son para ejecutar obras de emergencia o no previstas. En estos casos es necesario proceder con la modalidad de trabajos por administración mediante el cual el pago por todos los trabajos realizados y mano de obra o materiales provistos se efectúa sobre una base de costo más porcentaje.
- e. El mantenimiento de emergencia:** Son las actividades y las intervenciones aplicadas en forma urgente que se realizan como consecuencia de fuerza mayor, tal como el caso de desastres naturales, con el propósito de habilitar la vía permitiendo así el paso vehicular.

2.12 Tratamientos para pavimentos fisurados por reflexión

La manera para evitar el reflejo de fisuras en la estructura del pavimento consiste en mitigar los movimientos horizontales de las fisuras del pavimento existente causados por los cambios de temperatura y los movimientos verticales generados por el paso de los vehículos.

Una vez que se produce la fisura en el pavimento rígido, ésta se propaga y aumenta su extensión, severidad e intensidad, ocasionando deterioro en la sobre carpeta de rehabilitación.

Por esa razón se recurre a la implementación de diferentes tratamientos para contrarrestar el fenómeno de reflexión, retardando el reflejo de las fisuras y disminuyendo la severidad del deterioro de la estructura.

Entre estos tratamientos se encuentran el uso de geo-sintéticos y de sistemas de membranas anti fisura (S.A.M.I.).

2.12.1 Geo-sintéticos

El uso de Geo-sintéticos, en el ámbito internacional, se empezó a implementar desde la década de 1970, y en Colombia sólo diez años más tarde. La incursión y el posicionamiento de estos materiales en el mercado colombiano han sugerido la

posibilidad de innovar en las metodologías tradicionales de diseño y construcción de obras de pavimentación.

Por esta razón se ha generado el interés en estudiar, analizar, y cuestionar el óptimo uso de estos materiales dentro del contexto regional, con el fin de satisfacer las necesidades de contar con una infraestructura vial que sea segura y de alta calidad.

En la literatura se encuentra un sin número de recomendaciones sobre su uso, las experiencias, las ventajas y desventajas de los materiales geo-sintéticos en proyectos geotécnicos (Da Silva L.F., 1994; FAO, 2001; Korner R., 1997; PAVCO, 2002; TENSAR, 2002, entre otros).

En términos generales se puede afirmar que estos materiales han sido partícipes de la revolución en el diseño y construcción de obras civiles alrededor del mundo.

Su importancia radica en su eficiencia para la solución de problemas tradicionales que involucran suelos naturales con dificultades en baja capacidad portante, presencia de agua libre, contaminación de las capas granulares por los suelos finos de soporte con baja calidad, entre muchas más.

La implementación de geo-sintéticos en la ingeniería vial ha tenido un auge significativo en los últimos años, ya que estos productos presentan una serie de ventajas entre las que cabe destacar su facilidad de colocación, economía del producto, ahorros de tiempos de ejecución de obra, posibilidad de soluciones medioambientales correctas, posible empleo de mano de obra no calificada, y la utilización de materiales de calidad verificable.

Los principales geo-sintéticos empleados en este tipo de proyecto son los geotextiles, las geomallas, los geo-bloques, y los geo-drenes.

En el (Figura 2.10.) se resumen las principales aplicaciones de estos geo-sintéticos dentro de los proyectos de pavimentación (Mejía Flores L.E. y Caro Spinel S., 2008).

En la mayoría de los casos, los geo-sintéticos que se utilizan como tratamientos para pavimentos fisurados por reflexión, se colocan directamente sobre la superficie del pavimento fisurado previo a la aplicación de un riego de liga.

Existen evidencias de que esta metodología presenta un mejor comportamiento cuando los geo-sintéticos se colocan entre una capa asfáltica de nivelación y la capa de refuerzo estructural, con el fin de evitar el contacto directo del producto con la superficie fisurada, permitiendo una mayor inhibición de la propagación de las fisuras.

Figura 2.10. Uso de los geo-sintéticos en proyectos de pavimentación

MATERIAL	FUNCIONES
GEOTEXTILES	<ul style="list-style-type: none"> • Impedir contaminación entre capas de la estructura por el efecto de las cargas dinámicas y el arrastre del agua. • Resistir los esfuerzos de tensión del material disminuyendo los espesores de diseño y los volúmenes de movimiento de tierras. • Evitar el taponamiento por colmatación de estructuras de drenaje. • Evitar la aparición de grietas por reflexión en la capa de rodadura al actuar como una interfase de separación entre la capa de rodadura nueva y la capa antigua fisurada.
GEOMALLAS	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el espesor de las capas estructurales del pavimento o mejorar las especificaciones de las mismas. • Reducir la formación de huellas y fallas por esfuerzo cortante y asentamientos diferenciales en el pavimento. • Conferir mayor durabilidad de la estructura de pavimento. • Mejorar la capacidad portante, resistencia a movimientos y deformaciones laterales de la estructura de pavimento. • Evitar la aparición de grietas por reflexión al absorber esfuerzos cortantes y tensiones causadas por efecto de las cargas actuantes sobre el área de influencia de las fisuras del pavimento anterior.
GEOBLOQUES	<ul style="list-style-type: none"> • Lograr independencia térmica entre la estructura del pavimento y el medio ambiente. • Facilitar métodos constructivos por medio de sus facilidades de instalación y su versatilidad. • Reducir empuje sobre estructuras de contención: a) amortiguando cargas y b) reduciendo la densidad del relleno. • Absorber deformaciones por efecto de las cargas estáticas y dinámicas en la estructura de pavimento.
GEODRENES	<ul style="list-style-type: none"> • Captar y conducir agua intersticial de la estructura dirigiéndola hacia los elementos de conducción superficiales. • Captar fluidos a grandes profundidades.

Fuente: (Mejía Flores L.E. y Caro Spinel S., 2008).

Muchos autores han reportado retrasos en el inicio de la reflexión al emplear este tratamiento; sin embargo, también cuestionan su efectividad cuando la abertura de las fisuras es mayor de nueve milímetros, y donde se presentan movimientos horizontales y verticales importantes.

La mayoría de los geo-sintéticos utilizados en Colombia, en obras de infraestructura vial, tienen el mismo uso que en el resto del mundo, salvo en algunos tipos de obra en los que geo-sintéticos como geotextiles y geomallas son utilizados en repavimentación.

Es común en muchos países la rehabilitación de las estructuras de pavimento por medio de geotextiles y geomallas impregnadas con emulsión asfáltica.

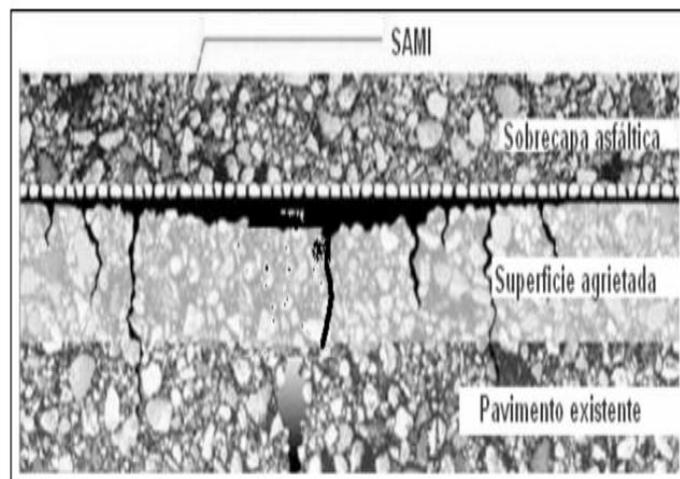
Esta práctica se considera relevante para evitar la aparición de fisuras por reflexión.

2.12.2 Sistema de membranas anti fisura S.A.M.I.

Una de las técnicas más exitosas para prolongar la vida útil de los pavimentos fisurados por reflexión, retardando la aparición de fisuras en la superficie de rodadura, es introducir una inter capa como membrana absorbente de los esfuerzos mecánicos concentrados en las fisuras de los pavimentos existentes deteriorados (Figura 2.11.).

Esta técnica se le conoce como S.A.M.I. (por las siglas en inglés de Stress Absorbing Membrane Interlayer).

Figura 2.11. S.A.M.I. para controlar el reflejo de grietas



Fuente: (Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2008)

Las S.A.M.I. actúan redireccionando localmente las fisuras ascendentes del pavimento envejecido, permitiendo absorber parte de la energía de propagación. Sin un sistema S.A.M.I. en un pavimento fisurado, los esfuerzos de corte continúan actuando en los extremos de la fisura, propagándola hacia la superficie rápidamente.

Todos los sistemas S.A.M.I. requieren un apropiado tratamiento de las fisuras previo a su aplicación. Los pasos a seguir para un tratamiento adecuado del pavimento fisurado son: limpiar la superficie y el interior de grietas y fisuras, sellar las grietas con un material apropiado, regar la superficie agrietada y sellada con un riego de liga, colocar la capa S.A.M.I. con la recomendación particular para cada caso, y por último colocar la nueva capa de refuerzo.

Los sistemas S.A.M.I. producen una mejor distribución de los esfuerzos, de tal forma que la falla ante la acción de las cargas cíclicas de los vehículos se produce a través de un conjunto de fisuras uniformemente distribuidas y de menor magnitud que las que se puedan presentar sin este sistema incorporado.

Es por esto que en esta investigación se tiene como objetivo establecer la eficiencia que tiene los sistemas de membranas anti fisura S.A.M.I. empleados como elementos inter capa en rehabilitaciones con sobre carpetas asfálticas. En este caso se buscará establecer la eficiencia que tiene la combinación de los geo-sintéticos y el asfalto modificado con caucho como membranas anti fisuras.

Los geo-sintéticos comúnmente utilizados como elemento inter capa son el geotextil no tejido, la geomalla en fibra de vidrio, y la geomalla en fibra de poliéster.

2.12.3 Geotextil no tejido

Los geotextiles que se emplean en obras de pavimentación y repavimentación deben ser de tipo no tejido punzonado con agujas, fabricados en polipropileno o poliéster, los cuales deberán tener la capacidad de absorber la cantidad suficiente de ligante asfáltico.

Los geotextiles fabricados con polipropileno se caracterizan por tener mayor número de fibras por unidad de área; de ahí su capacidad de retener gran cantidad de ligante. Se ha evidenciado que durante el proceso de instalación se reduce muy poco su tamaño; sin embargo, y por tener un punto de fusión bajo, podrían generarse daños en la instalación al colocarse la mezcla asfáltica en caliente.

Caso contrario ocurre con los geotextiles en poliéster, que, aunque tienden a encogerse, por presentar un punto de fusión mayor a los de polipropileno, los hace más resistentes a los daños de instalación.

Se conocen cuatro tipos de acabado en los geotextiles no tejidos (ver Figura 2.12.) punzonados por agujas, del cual depende su desempeño durante la instalación: los punzonados sin fijación por calor, los punzonados con fijación por calor por un solo lado, los punzonados con fijación por calor en ambos lados, y los punzonados con fijación mediante resinas.

Entre estos acabados, el que muestra mejor desempeño, y el implementado en esta investigación, fue el segundo tipo de fijación (los punzonados por agujas con fijación por calor por un solo lado), ya que por el lado termo-fijado se provee mejor resistencia a la tracción, y por el otro lado se presenta una superficie fibrosa de gran adherencia debida a la absorción del ligante asfáltico (Rodríguez Peralta J.A., 2004).

Figura 2.12. Geotextil no tejido referencia (PAVCO REPAV 450)



Fuente: Forero Rondón, Ana María. (2012).

Debido a las condiciones de mejora que se requiere para la estructura de pavimento, existe una amplia gama de referencias de geotextiles no tejidos que, de acuerdo a su campo de aplicación, se emplean para control de drenaje, como refuerzo, separación, y/o repavimentación.

En la gran mayoría de los casos, las especificaciones de estos materiales no son tenidas en cuenta, lo que conlleva a su incorrecto uso.

Figura 2.13. Especificaciones técnicas del geotextil no tejido. (PAVCO REPAV 450)

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	VALOR TÍPICO
Elongación medida	ASTM D 4632	≥50 %
Resistencia a la tensión (Grab)	ASTM D 4632	600 N
Retención de Asfalto	ASTM D 6140	1.0 L/m ²
Resistencia al punzonamiento.	ASTM D 4833	280 N
Resistencia al rasgado	ASTM D 4533	230 N
Punto de fusión	ASTM D 276	150° C

Fuente: Ficha técnica (PAVCO, 2011)

Durante el proceso de instalación del geotextil en obras de pavimentación y repavimentación, éste puede estar sometido a esfuerzos que pueden afectarlo; es por esto que los geotextiles deben cumplir con las propiedades que se relacionan en la (Figura 2.13.), por otro lado, y en ciertas circunstancias, el uso de geotextiles con una función distinta a la pavimentación (por ejemplo separación de capas en la estructura del pavimento), deben cumplir las propiedades que se relacionan en la (Figura 2.14.).

Figura 2.14. Especificaciones técnicas del geotextil no tejido (PAVCO NT1800)

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	VALOR TÍPICO
Elongación medida	ASTM D 4632	≥50 %
Resistencia a la tensión (Grab)	ASTM D 4632	470 N
Retención de Asfalto	ASTM D 6140	N.A
Resistencia al punzonamiento.	ASTM D 4833	265 N
Resistencia al rasgado	ASTM D 4533	210 N
Punto de fusión	ASTM D 276	N.A

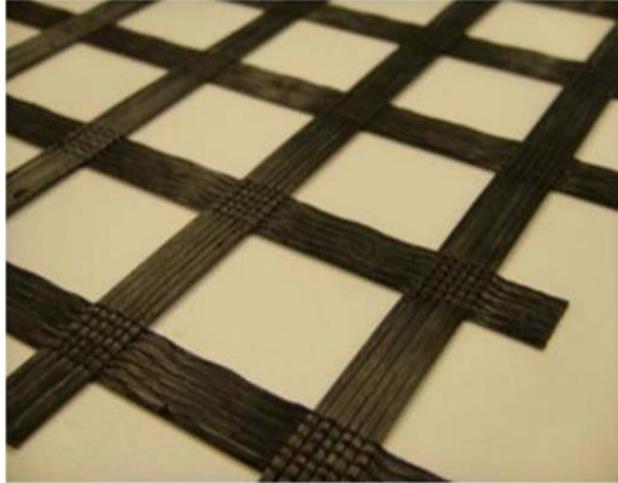
Fuente: Ficha técnica (PAVCO, 2011)

2.12.4 Geomalla de fibra de polipropileno y geomallas de fibra de poliéster

Entre las propiedades de las geomallas de polipropileno se encuentran su alta rigidez axial y su gran resistencia, lo que las hace poco flexible. Debido a su rigidez, presenta

dificultades al momento de adherirlas a la superficie a rehabilitar, ya que ésta tratará de recuperar la forma de enrollado que traía antes de ser colocada.

Figura 2.15. Geomalla de poliéster, Geomatrix fortgrid® BX



Fuente: Forero Rondón, Ana María. (2012)

Las geomallas de poliéster (ver Figura 2.15.), tienen similar resistencia axial y propiedades de rigidez que las de polipropileno, con la ventaja de que se pueden flexionar con más facilidad. En su mayoría están fabricados en forma de malla y revestidas para mejorar las propiedades de liga. Las principales características de la geomalla son las que se presentan en la (Figura 2.16.).

Figura 2.16. Requerimientos de la geomalla de poliéster. (FORTGRID BX65)

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	VALOR TÍPICO
Elongación máxima a la rotura	ASTM D-6637	10.4%
Resistencia a la tensión última	ASTM D-6637	62 KN/m
Resistencia disponible a Creep	ASTM D 5262	41.46 KN/m
Tamaño de abertura de la malla	Medido	22 x 22
Punto de Fusión	ASTM D 276	240° C

Fuente: Ficha técnica (FORTGRID, 2007)

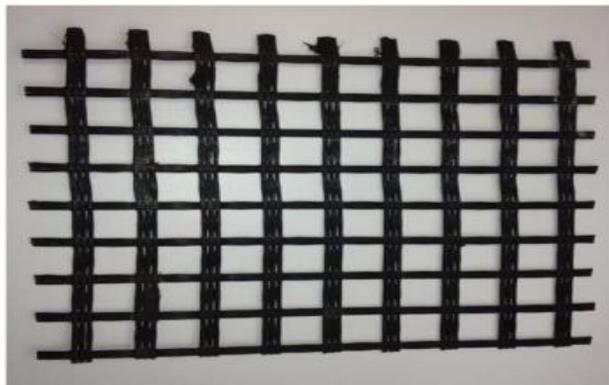
2.12.5 Geomalla de fibra de vidrio

Las geomallas de fibra de vidrio, son geomallas flexibles que se utilizan entre capas de concreto asfáltico con el fin de controlar agrietamientos por reflexión, agrietamientos por fatiga y deformaciones plásticas.

Los refuerzos de carpetas asfálticas con geomallas de fibra de vidrio son ideales para los pavimentos asfálticos nuevos y en obras de rehabilitación, ya que, debido a sus propiedades mecánicas como alta resistencia a la tensión, alto módulo de elasticidad y baja elongación, son ideales para controlar la reflexión de fisuras en este tipo de pavimento, disminuyendo los costos de mantenimiento a largo plazo e incrementando la vida útil.

La geomalla de fibra de vidrio (ver Figura 2.17.), es fabricada por un proceso de tejido de punto, usando una serie de filamentos de fibra de vidrio que forman una estructura de rejilla.

Figura 2.17. Geomalla fibra de vidrio referencia (PAVCO R100)



Fuente: Forero Rondón, Ana María. (2012).

Estos filamentos están recubiertos con un polímero que permite que la geomalla posea una buena adherencia a las capas asfálticas. Estos filamentos poseen alta resistencia a la tensión y alto módulo de elasticidad (69,000 MPa) para elongaciones bajas (PAVCO, 2002), sin embargo, al poseer una rigidez alta axial y gran resistencia, en la mayoría de los casos hay dificultades en la forma de adherirlas a la superficie fisurada pues tienden a desprenderse al buscar conservar su forma de enrollado que es como se dispone el producto en fábrica para transportarlo.

Las principales características de la geomalla son las que se resumen en la (Figura 2.18.).

Figura 2.18. Especificación técnica de la geomalla de fibra de vidrio (PAVCO R-100)

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	VALOR TIPICO
Elongación máxima a la rotura	ASTM D-6637	< 3 %
Resistencia a la tensión última	ASTM D-6637	100/100 kN/m
Propiedades de retracción	CRDEG01	Menos de 0.5% - 200° C después de 15 min
Tamaño de abertura de la malla	Medido	18/18 mm
Resistencia a la temperatura	Mínimo	Hasta 200° C
Punto de Fusión	ASTM D 276	>300° C

Fuente: Especificaciones técnicas (PAVCO, 2002).

2.12.6 Funciones, uso y campos de aplicación del geosintéticos

El uso de los geotextiles Tejidos y No Tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existirá una principal que determine la elección del tipo de geotextil que se debe utilizar. A continuación, se describen las distintas funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los geotextiles, así como las exigencias mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo.

2.12.6.1 Función de separación

Esta función, desempeñada por los geotextiles consiste en la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades geomecánicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente la mezcla de material.

A continuación, se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro “Designing With Geosynthetics”- Quinta Edición.

- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados.
- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje pavimentados.

- Entre la subrasante y el balasto en vías férreas
- Entre rellenos y capas de base de piedra.
- Entre geomembranas y capas de drenaje de piedra.
- Entre cimientos y terraplenes de suelos como sobrecargas.
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos para rellenos de caminos.
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos para presas de tierra y roca.
- Entre la cimentación y capas de suelo encapsuladas.
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención rígidos.
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención flexibles.
- Entre los suelos de cimentación y pilas de almacenamiento.
- Entre taludes y bermas de estabilidad de aguas abajo.
- Debajo de áreas de sardineles.
- Debajo de áreas de estacionamiento.
- Debajo de campos deportivos y de atletismo.
- Debajo de bloques prefabricados y paneles para pavimentos estéticos.
- Entre capas de drenaje en masas de filtros pobremente gradado.
- Entre diversas zonas de presas de tierra.
- Entre capas antiguas y nuevas de asfalto.

2.12.6.2 Función refuerzo

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras. El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales.

Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.

A continuación, se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro “Designing With Geosynthetics”- Quinta Edición.

Refuerzo de suelos débiles y otros materiales

- Sobre suelos blandos para caminos no pavimentados.

- Sobre suelos blandos para campos de aterrizaje.
- Sobre suelos blandos para vías férreas.
- Sobre suelos blandos para rellenos.
- Sobre suelos blandos en campos deportivos y de atletismo.
- Sobre suelos heterogéneos.
- Sobre rellenos inestables como sistemas de cerramiento.
- Para confinamiento lateral de balasto en vías férreas.
- Para envolver suelos en sistemas de telas encapsuladas.
- Para construir muros en suelo reforzado.
- Para reforzar terraplenes.
- Para ayudar en la construcción de taludes pronunciados.
- Para reforzar presas de tierra y roca.
- Para estabilización temporal de taludes.
- Para detener o disminuir la reptación en taludes de suelo.
- Para reforzar pavimentos flexibles conjuntas.
- Como refuerzo basal en áreas cársticas.
- Como refuerzo basal entre cabezotes de pilotes de cimentación.
- Para hacer un efecto de “puente” entre rocas agrietadas y diaclasas.
- Para mantener colchones de filtro de piedra gradada.
- Como sustrato de bloques articulados de concreto.
- Para estabilizar patios de almacenamiento no pavimentados y áreas de descanso.
- Para anclar paneles frontales en muros de tierra reforzada.
- Para anclar bloques de concreto en muros de retención pequeños.
- Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por suelos.
- Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por materiales de relleno o base de piedra.
- Para crear taludes laterales más estables debido a la alta resistencia friccionante.
- Para retener suelos blandos en la construcción de presas de tierra.
- Como membranas en suelos encapsulados.
- Para la compactación y consolidación in-situ de suelos marginales.

- Para hacer un efecto de "puente" sobre rellenos irregulares durante el cerramiento del sitio.
- Para ayudar en la capacidad portante de cimentaciones superficiales.

2.12.6.3 Función de drenaje

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil.

La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido.

Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el geotextil debe impedir el lavado ó transporte de partículas finas, las cuales, al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además, debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión.

A continuación, se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics"- Quinta Edición.

- Como un dren chimenea en una presa de tierra.
- Como una galería de drenaje en una presa de tierra.
- Como un interceptor de drenaje para lujo horizontal.
- Como una cubierta de drenaje debajo de un relleno de sobrecarga.
- Como un dren detrás de un muro de retención.
- Como un dren detrás del balasto de vías férreas.
- Como un dren de agua debajo de geomembranas.
- Como un dren de gas debajo de geomembranas.
- Como un dren debajo de campos deportivos.
- Como un dren para jardines de techo.
- Como un dissipador de presión de poros en rellenos de tierra.
- En reemplazo de drenes de arena.
- Como una barrera capilar en áreas sensibles al congelamiento.
- Como una barrera capilar para la migración de sales en áreas áridas.
- Para disipar el agua de filtración de las superficies de suelo o roca expuestas.

2.12.6.4 Función filtro

Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases. En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje. En los embalses con sistema de drenaje en la base, a fin de localizar posibles fugas, se utiliza como filtro en los tubos de drenaje a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje de dichos tubos.

A continuación, se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro “Designing With Geosynthetics”- Quinta Edición.

- En lugar de filtro de suelo granular.
- Debajo de base de piedras para caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados.
- Debajo de base de piedras para caminos y pistas de aterrizaje pavimentados.
- Debajo de balasto en vías férreas.
- Alrededor de piedra picada que rodea los sub drenes.
- Alrededor de piedra picada sin sub drenes (Drenes franceses).
- Alrededor de piedra y tubería perforada en pisos de adoquines.
- Debajo de rellenos sanitarios para los lixiviados.
- Para filtrar rellenos hidráulicos.
- Como protección contra los sedimentos.
- Como cortina a los sedimentos.
- Como barrera contra la nieve.
- Como un encofrado flexible para contener arena, inyección o concreto en sistemas de control de erosión.
- Como un encofrado flexible para reconstruir pilotes deteriorados.
- Como un encofrado flexible para restaurar la integridad en la minería subterránea.
- Como un encofrado flexible para restaurar la capacidad portante de pilares socavados de puentes.
- Para proteger el material de drenaje en chimeneas.
- Para proteger el material de drenaje en galerías.
- Entre el suelo de relleno y vacíos en muros de retención.

- Entre el suelo de relleno y muros de gaviones.
- Alrededor de núcleos moldeados en geo drenes.
- Alrededor de núcleos moldeados en drenes de zanja.
- Contra geo redes para prevenir la intrusión del suelo.

2.12.6.5 Función protección

Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico.

En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el geotextil y la geomembrana.

El geotextil protege a la geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc. También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante.

De igual forma, protege a la Geomembrana del rozamiento con el soporte que se produce durante las sucesivas dilataciones y contracciones que experimenta por efecto de las variaciones térmicas.

La lámina impermeabilizante se adapta a las irregularidades del terreno.

Las irregularidades pronunciadas implican una tensión en la lámina la cual a su vez causa una pérdida de espesor en la misma dando origen a puntos débiles en los que se podrían producir posibles perforaciones o roturas causadas por objetos punzantes del terreno.

La interposición del geotextil evitará la pérdida de estanqueidad que se produciría por todas estas causas.

2.12.6.6 Función de impermeabilización

Esta función se consigue desarrollar mediante la impregnación del geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético.

El geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas.

2.12.6.7 Uso de geotextiles en Norte América por aplicación

La Tabla 1.1 registra el crecimiento que ha tenido la utilización de geotextiles en Norteamérica hasta el año 2.000.

Actualmente se estima que el mercado de los geotextiles al año se debe acercar a los 500 millones de metros cuadrados; similar a las cifras que se deben manejar en Europa.

En el resto del mundo se calcula que se tiene un consumo aproximado del 50% del mercado de Norteamérica.

Tabla 2.1. Utilización de los geotextiles en Norte América por área de aplicación

Aplicaciones	1987	1990	1992	1995	2000
Separación/Estabilización	65	85	87	115	130
Refuerzo	12	16	18	25	35
Filtración/ Drenaje	31	35	37	55	62
Protección de geomembranas	14	30	58	85	90
Control de erosión	12	15	16	20	35
Cortina para sedimentos	12	15	17	23	30
Cubiertas asfálticas	75	88	88	77	60
Mercado total	221	284	321	400	442

* En millones de metros cuadrados

Fuente: Design With Geosynthetics, Quinta Edición.

(Geo sistemas PAVCO S.A. 2019) (Manual de diseño con geo sintéticos – Octava edición departamento de ingeniería, Colombia).

2.13 Riego de liga

El Riego de Liga es una actividad que se realiza aplicando material bituminoso sobre la superficie de capa base imprimada o pavimento antiguo, que ha superado la cantidad de días establecidos antes de ser protegida con la capa de recubrimiento. La aplicación es una capa delgada por medio de riego a presión. (Administradora Boliviana De Carreteras Volumen 7, Especificaciones Técnicas).

El riego de liga proporciona una adecuada adherencia entre las capas del pavimento, la cual es crítica para transferir los esfuerzos inducidos por las cargas de tránsito a la estructura de pavimento. (Elizondo-Arrieta Fabian, Torres-Linares Pablo Alberto, Rodríguez-Castro Ellen, Aguiar-Moya José Pablo, Loría-Salazar Luis Guillermo. 2017- Evaluación de la adhesión de emulsiones asfálticas utilizada en riegos de liga para pavimentos asfálticos LM-PI-UMP-066-R1- LanammeUCR, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica).

Para el riego de liga se puede utilizar, diluidos asfálticos y emulsiones asfálticas.

El manejo en obra de las emulsiones y de los diluidos es diferente, ya que el uso del camión regador requiere cuidados distintos, esto implica que el operador del camión debe estar muy bien instruido para el tipo de material que tiene que usar.

2.13.1 Diluidos asfálticos

Los Diluidos Asfálticos son fabricados mezclando cementos asfálticos de penetración media o baja con solventes adecuados.

Se denomina tiempo de curado al período de tiempo necesario para que quede el asfalto residual, durante este proceso de curado los solventes que contienen los diluidos se evaporan.

La velocidad de evaporación está influenciada por el tipo de solvente empleado, por la temperatura ambiente, por la velocidad del aire y por la superficie del ligante en contacto con el ambiente.

La pérdida de solvente no es nunca total, con lo cual el producto que queda después del curado posee siempre una penetración superior a la del asfalto de origen.

La eliminación total del solvente solo puede realizarse mediante destilación, proceso que no se verifica en obra.

La clasificación de los diluidos se realiza básicamente según el tiempo de curado en:

a) RC-Curado Rápido (Rapid Curing) el solvente es del rango de destilación de las naftas.

b) MC-Curado Medio (Medium Curing) el solvente es del rango de destilación del kerosén.

c) SC-Curado Lento (Slow Curing) el solvente del rango de destilación de hidrocarburos de baja volatilidad.

Los diluidos asfálticos generalmente se aplican a temperaturas del orden de los 70 °C.

2.13.2 Emulsiones asfálticas

Las emulsiones son dispersiones estables de un líquido en otro líquido no miscibles entre sí (por ejemplo, asfalto y agua) que se mantiene separados con un emulsificante o emulgente.

El asfalto se divide en pequeñas gotitas, las cuales son rodeadas por un emulsificante que las mantiene separadas por repulsión eléctrica es la fase dispersa o discreta en un medio acuoso fase continua o dispersante.

La composición de las emulsiones asfálticas está basada en la mezcla de un producto no polar (el cemento asfáltico) y otro polar (el agua).

Están compuestas por cemento asfáltico, agua y un emulsificante en las siguientes proporciones aproximadas:

- a) Cemento asfáltico: 50% a 63%
- b) Agua: 35% a 50%
- c) Emulsificante: 0,5% a 2 %

Generalmente el tamaño de los glóbulos de asfalto es de un diámetro mayor a 2 micras. (Evaluación de su capacidad de penetración - José Sapei, Mario Larizzate y Rubén González- José Sapei. 2008).

2.13.3 Riego de la liga en Bolivia

La aplicación del riego de liga en nuestro medio se lo realiza según especificaciones técnicas para cada proyecto en particular, su uso se lo hace generalmente después de la aplicación del riego de imprimación, se aplica el riego de liga si después de la imprimación de la capa base a transcurrido un tiempo mayor a 7 días y no sea colocado la carpeta asfáltica entonces se procede a colocar un riego de liga generalmente de curado rápido (RC), ya que la superficie pudo sufrir deterioros durante ese tiempo por la circulación de vehículos. El riego de liga se lo aplica para generar una mejor adherencia entre capas y se lo hace generalmente con una dotación de 0.5 litros por metro cuadrado.

2.13.4 Componentes del riego de liga

El riego de liga puede hacerse con emulsión asfáltica como la CSS-1h, con una composición de 60 % de asfalto, 40 % de agua y emulgente, este tipo de emulsión se

empezó a utilizar en nuestro país a partir del año 1993 y cuya práctica se mantiene hasta la fecha. El objetivo de esta capa es llenar los vacíos y ligar sobre la totalidad de la superficie, como resultado de la experiencia práctica la dosificación de emulsión asfáltica varía de 0.15 a 0.70 l/m². Para el riego de liga se pueden utilizar asfaltos rebajado como el RC- 250, que fue muy utilizado, cuando no se usaban las emulsiones asfálticas; Pero hoy con los nuevos convenios de medio ambiente se prohíbe su uso, por tener un elevado grado de contaminación ambiental y su alto costo para colocarlo ha provocado que ya no se utilice. El asphalt institute define a la emulsión asfáltica para uso vial, como aquella “emulsión de betún asfáltico en gasolina o diésel que contiene pequeñas cantidades de agente emulsificante; es un sistema heterogéneo que contiene dos fases normalmente inmiscibles (asfalto y agua), en el que el agua forma la fase continua de la emulsión y la fase discontinua está constituida por pequeños glóbulos de asfalto.

Los asfaltos emulsificados pueden ser de tipo aniónico o catiónicos, según el tipo de agente emulsificante empleado.”

2.13.5 Propiedades del riego de liga

El riego de liga al ser una combinación de cemento asfaltico con un emulsificante para que este tenga una propiedad importante que es la adherencia, que es capacidad de generar una unión entre dos capas diferentes de un pavimento flexible como son la capa base y la capa de rodadura. Otra propiedad es su baja viscosidad que se opone al movimiento del líquido y no se generen charcos de riego de liga en la superficie. (Bustos, G. & Pérez, E., Pliego de Preinscripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, Orden circular 533: Tratamientos Superficiales mediante Riegos de liga, Madrid 2004)

La emulsión comúnmente usada para trabajos es la emulsión de tipo catiónico de ruptura rápida lo que hace que una vez colocado en la superficie esta se evapore y penetre de manera más rápida en la superficie de colocado.

2.13.6 Importancia del riego de liga

La literatura internacional señala la utilización del riego de liga como material adherente para la colocación de sobrecapas.

La interfaz de adherencia entre la capa existente y la nueva capa colocada influye considerablemente en la distribución de los esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento.

Estudios realizados sobre la interfaz de adherencia del pavimento (Shanin et al., 1987 y Chen, 1992) han indicado que el riego de liga proporciona una adecuada unión entre las capas del pavimento, la cual es crítica para transferir los esfuerzos cortantes y radiales de tensión a la estructura de pavimento.

Por otro lado, si la interfaz de adherencia entre la capa nueva y la existente no puede proveer la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de tránsito, puede ocurrir una falla por cortante. La insuficiencia de adherencia entre la capa existente y la nueva capa, puede causar además que los esfuerzos de tensión se concentren en la fibra inferior de la nueva capa de rodadura. Esta concentración de esfuerzos acelera la aparición del agrietamiento en la superficie de la vía por fatiga en la superficie y el deterioro del resto de la estructura del pavimento.

2.13.7 Aplicación del riego de liga

La cantidad de ligante asfáltico residual sobre la superficie del pavimento es el factor más importante en la obtención de un vínculo adecuado entre la superficie del pavimento existente y la nueva capa de mezcla en caliente de asfalto. En consecuencia, la tasa de aplicación de una emulsión o asfalto diluido utilizada como riego de liga deberá basarse en la cantidad deseada del residuo asfáltico estipulado por las especificaciones particulares de la obra.

La cantidad de aplicación para riegos de liga recomendados por el Instituto de Asfalto es normalmente de 0.25 a 0.70 litros por metro cuadrado, tanto para emulsiones y asfaltos líquidos, generalmente de curado rápido. La aplicación de riego de liga debe ser uniforme, sobre toda la superficie que quedará en contacto con el refuerzo.

La aplicación del riego de liga es generalmente mediante camiones distribuidores. Por lo cual se deberá tener pleno conocimiento del caudal de erogación de la bomba dispersora y un adecuado control de la velocidad de avance del camión regador.

El camión regador posee en su parte posterior una barra pulverizadora dónde se alojan las boquillas dispersoras. La altura de la barra dispersora debe ser la adecuada para brindar una correcta y uniforme cobertura de la superficie.

2.13.8 Procedimiento de puesta en obra del riego de liga

Previa aplicación del riego de liga, la superficie de apoyo debe ser regular y no debe exhibir deterioros. Asimismo, debe estar libre de manchas o huellas de suelos cohesivos, los que deben eliminarse totalmente de la superficie.

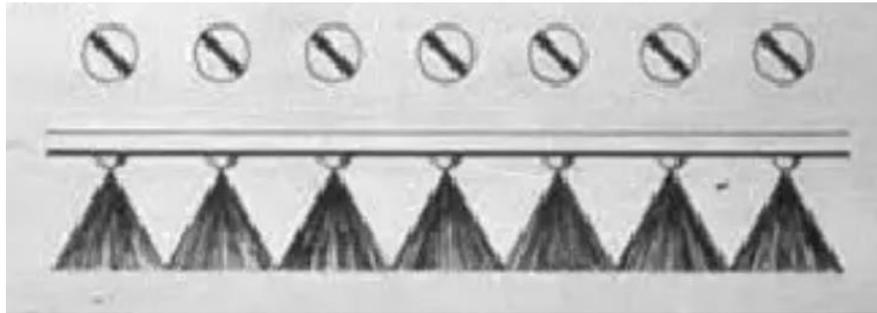
Inmediatamente antes de proceder a la aplicación de la emulsión, la superficie a regar se debe limpiar de materiales sueltos o perjudiciales y secos. Para ello se deben utilizar barredoras mecánicas o máquinas de aire a presión, u otro método.

Asimismo, si la superficie a regar fuera un pavimento asfáltico en servicio, se deben eliminar, mediante fresado, los excesos de ligante asfáltico que hubiera y se deben reparar los deterioros que pudieran impedir una correcta adherencia del riego de liga. Cuando la superficie a regar se encuentre en las condiciones fijadas anteriormente, se debe aplicar el riego de liga, con la dotación y la temperatura definida en la obra. La distribución del riego de liga se debe efectuar de manera uniforme, evitando duplicarla en las juntas transversales de trabajo. Donde fuera preciso regar por franjas, se debe procurar una ligera superposición del riego en la unión de las mismas. Se debe garantizar la aplicación del riego de curado de manera uniforme, sin la formación de estrías ni acumulaciones en superficie, garantizando la dotación especificada. El control para la puesta en obra del riego de liga se reduce a una mera inspección visual del riego efectuado y al control de la dotación del mismo.

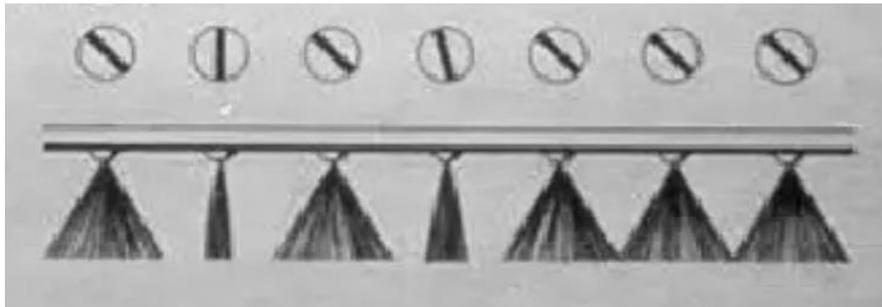
Vehículo distribuidor. - Varios ajustes relacionados con vehículos son fundamentales para lograr la colocación de riego de adherencia uniforme. Esencialmente, los patrones de rociado, altura de la barra de spray y de la presión de distribución deben trabajar juntos para producir la aplicación uniforme de riego de liga. En general, las mejores aplicaciones de los resultados de un "doble vuelta" o la cobertura de "triple vuelta". "doble / triple de vuelta" significa que los patrones de rociado de la boquilla se solapan entre sí de tal manera que cada porción de la zona recibe aerosol de exactamente dos / tres boquillas, figura 2.9.

Figura 2.19. Patrones de rociado

Correcto



Incorrecto



Fuente: Departamento de transporte de Texas, Estados Unidos de América. Boletín técnico, correcta aplicación de riego de liga (2011)

La altura de la barra de spray debe permanecer constante cuando se aplica una capa ligante. La barra de spray excesivamente baja da lugar a rayas, mientras que las barras de spray excesivamente altas causan solapamiento que se produce en una tasa de aplicación excesiva.

La presión dentro del distribuidor debe ser capaz de forzar el material de riego de liga a cabo las boquillas de spray a una velocidad constante. Presión inconsistente dará lugar a tasas de aplicación no uniforme.

Temperatura dentro del distribuidor debe mantenerse entre aproximadamente 24° C (75° F) y 54° C (130° F). El exceso de calor puede causar que la emulsión se rompa cuando aún estaba en el distribuidor. La adherencia final conseguida entre capas depende no sólo de cómo se haya realizado el riego, de que la dosis sea la apropiada, de que se haya adherido bien a la capa inferior, o de que el tráfico de obra no lo haya levantado, sino también de cómo se ha ejecutado la nueva capa. Sin embargo, durante la fase de construcción, esta propiedad apenas se controla.

Figura 2.20. Boquillas de distribución del camión distribuidor de riego de liga



Fuente: Junta de Investigación del Transporte, Consejo Nacional de Investigación.
Washington, DC

Figura 2.21. Proceso de aplicación del riego de liga



Fuente: Junta de Investigación del Transporte, Consejo Nacional de Investigación.
Washington, DC

2.13.9 Condiciones que debe tener la superficie para recibir el riego de liga

La superficie del pavimento de la recepción de la capa ligante, debe estar limpia y seca para promover la máxima unión. Los materiales para capa ligante se pueden aplicar a pavimento fresco y / o húmedo. La superficie debe estar libre de impurezas como polvo, hojas de plantas, plásticos y otros objetos que afecten al riego de liga.

La superficie debe estar debidamente compactada de acuerdo a especificaciones técnicas requeridas para cada capa que compone la estructura del pavimento flexible. La superficie debe ser uniforme sin presentar desniveles a lo largo de toda su longitud. La Aplicación de riego de liga debe resultar en una capa fina y uniforme de material ligante ya se emulsión asfáltica o asfalto rebajado, que cubre aproximadamente el 90% de la superficie del pavimento. Para lograr este resultado, la tasa de aplicación variará sobre la base de la condición del pavimento de la recepción de la capa ligante; Demasiado o poco riego de

liga puede dar lugar a la unión inadecuada entre capas; El exceso de riego de liga puede crear un plano de deslizamiento lubricado entre capas, o puede hacer que el material de riego de liga que se introduce en una superposición, lo que afecta negativamente a las propiedades de la mezcla.

2.13.10 Errores más frecuentes que se comete con los riegos de liga

Dentro de las fallas o errores que se dan a la hora de colocar el riego de liga podemos mencionar los siguientes:

Tasa de aplicación del riego de liga. - Con respecto a este punto se han llevado a cabo diversos estudios los cuales señalan tanto que un exceso de riego de liga, una cantidad insuficiente de ésta conduce a una pérdida de adherencia entre capas, por el contrario, algunos estudios demuestran que en algunos casos el riego de liga es innecesario.

Es importante señalar que la tasa de aplicación óptima dependerá de las condiciones de la superficie de las capas de asfalto, las cuales pueden variar según el tipo de mezcla empleado o si se trata de un pavimento envejecido, nuevo o fresado.

Basándose en los antecedentes revisados se observa que en general las dosis óptimas se encuentran en el rango de 0.1 [l/m²] hasta los 0.75 [l/m²].

Figura 2.22. Tasa insuficiente de aplicación del riego de liga



Fuente: Departamento de Transporte de California, 2009.

Tiempo de curado del riego de liga. - La mayoría de los estudios señalan que el riego de liga debe encontrarse como película asfáltica ligante (haber alcanzado su quiebre), en el caso de las emulsiones, previo a la colocación de la siguiente capa asfáltica, mientras

que otros estudios realizados sobre el riego de liga indican que no es aconsejable dejar curar demasiado tiempo, ya que el riego puede perder sus propiedades adherentes.

Se recomienda en nuestro medio que una vez se hace el colocado del riego de liga, en nuestro caso convencional se lo debe dejar entre 3 a 5 días para luego realizar la colocación de la carpeta de pavimento flexible. Existen estudios que sugieren que no es necesario curar el riego de liga, ya que esta quiebra inmediatamente gracias a la elevada temperatura de la nueva capa de asfalto, evaporándose el agua y emulsificante y escapando a través de la mezcla suelta a la superficie.

Figura 2.23. Curado del riego de liga



Fuente: LanammeUCR, 2016

Condición de superficie de la interfaz.- La condición de la superficie de un pavimento nuevo o antiguo incluyendo textura, limpieza y presencia de agua son uno de los factores de mayor importancia que influyen en la adherencia entre capas, ya que en la mayoría de las construcciones no se tiene el trabajo necesario de limpieza de la superficie donde se colocara el riego de liga, ni el cuidado ante la presencia de agua en la capa base ya que tanto el agua, polvo y otras sustancias son perjudiciales para la adherencia entre capas.

Temperatura de confección y compactado. - La temperatura es un factor muy importante no es recomendable trabajar a temperaturas de ambiente menores a los 15 grados ya que influirá de manera negativa en la adherencia, pero vemos que en nuestro medio no se toma con seriedad este tema ya que se trabaja a menores temperaturas de las

recomendadas y no se toman las provisiones necesarias para contrarrestar estos efectos. Existen estudios que demuestran que tanto una elevada temperatura de la capa inferior, capa superior y temperatura ambiente, resultan beneficiosos para la obtención de una buena adherencia, esto podría deberse a que a mayores temperaturas el cemento asfáltico de la capa superior logra fusionarse mejor con el asfalto de la capa inferior o residuo del ligante empleado como riego de liga, para conformar una unión continua y homogénea en la interfaz.

2.13.11 Maquinaria y equipo utilizado para la aplicación del riego de liga

Tanques de almacenamiento. - Los tanques de almacenamiento de la emulsión asfáltica deben ser, idealmente, cilíndricos y verticales y estar térmicamente aislados del medio ambiente.

El tanque de almacenamiento debe tener un sistema que permita mantener la temperatura de almacenamiento de la emulsión asfáltica y debe disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras. Para evitar la rotura de la capa de la emulsión en contacto con el aire y la formación de espuma, el caño de alimentación debe llegar hasta el fondo del tanque.

El sistema de bombeo empleado debe ser tal que no ingresen aire a la emulsión. Todas las tuberías directas y bombas, preferiblemente rotativas, utilizadas para el traspaso de la emulsión asfáltica desde la cisterna de transporte al tanque de almacenamiento, y de éste al equipo de aplicación en obra o mezclado, deberán estar dispuestos de modo que se puedan limpiar fácil y perfectamente después de cada jornada de trabajo.

Camión distribuidor. - El equipo de distribución del riego debe tener un sistema que regule la dotación en función de la velocidad de avance, de manera de obtener un riego uniforme, cumpliendo con la dotación definida en el correspondiente tramo de prueba (Evaluación de la adherencia entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones asfálticas Ing. Leticia Ontiveros Rojas Enero, 2013).

El mismo debe ser capaz de mantener la emulsión a la temperatura prescrita y aplicar la dotación de emulsión asfáltica especificada.

La bomba debe generar una presión suficiente en la barra de distribución, de manera que los picos rieguen de forma pareja y deben estar fijados a una sola altura de la superficie.

Figura 2.24. Camión distribuidor del riego de liga



Fuente: Junta de Investigación del Transporte, Consejo Nacional de Investigación.
Washington, DC

2.13.12 Limitaciones de la ejecución, puesta en obra y habilitación al tránsito

No se permite la puesta en obra del riego de liga en las siguientes situaciones (salvo autorización expresa del inspector de calidad): Cuando la temperatura ambiente a la sombra resulte inferior a diez grados Celsius (10°C). Dicho límite se puede bajar a cinco grados Celsius (5°C), a juicio del Inspector de Calidad, si la temperatura tiende a aumentar. Cuando haya probabilidad o se produzcan precipitaciones atmosféricas.

La aplicación del riego de liga deberá estar coordinada con la puesta en obra de la capa superpuesta a él, de manera que el ligante no haya perdido su efectividad como elemento de unión. Cuando el Interventor lo estime necesario, se aplicará otro riego de liga.

Los trabajos de aplicación del riego de liga se deberán realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público.

Está prohibida la circulación de cualquier tipo de vehículo hasta que se haya producido la rotura de la emulsión en toda la superficie aplicada y siempre que no se verifique que parte del riego de liga se adhiere a los neumáticos de los vehículos.

2.13.13 Presión y temperatura de aplicación del riego de liga

El camión distribuidor deberá tener la capacidad de desarrollar la presión para que el material asfáltico salga expulsado a presión constante y uniforme por cada una de las

boquillas de la barra rociadora en forma de abanico hacia la superficie. Otro aspecto a considerar es la velocidad de bombeo del material durante la operación en orden de asegurar el patrón de rocío.

Una presión baja dará como resultado un riego discontinuo por la descarga desigual del material en las boquillas individuales. Mientras que una presión demasiada alta deformará el abanico de riego. El camión distribuidor debe tener la capacidad de mantener la temperatura de la emulsión para asegurar una adecuada viscosidad y flujo del material a través de las boquillas de barra rociadora. La temperatura a la que debe mantenerse la emulsión dependerá del tipo de emulsión que se desea aplicar, la literatura sugiere rangos de aplicación de temperatura para emulsiones de rompimiento rápido entre los 21° C y los 60 °C y en emulsiones de rompimiento lento entre los 21°C y 70°C. Un exceso de calentamiento sobre el material bituminoso podría causar el rompimiento de la emulsión estando aún dentro del tanque del camión dosificador.

2.13.14 Consideraciones básicas en la aplicación y puesta en obra del riego de liga

La rugosidad de la superficie del pavimento al recibir el riego de liga. -

Las superficies rugosas requieren más riego de liga que las superficies lisas. Por ejemplo, el fresado produce una, superficie ranurada áspera, lo que aumentará el área de superficie de pavimentos existentes en comparación con una superficie lisa.

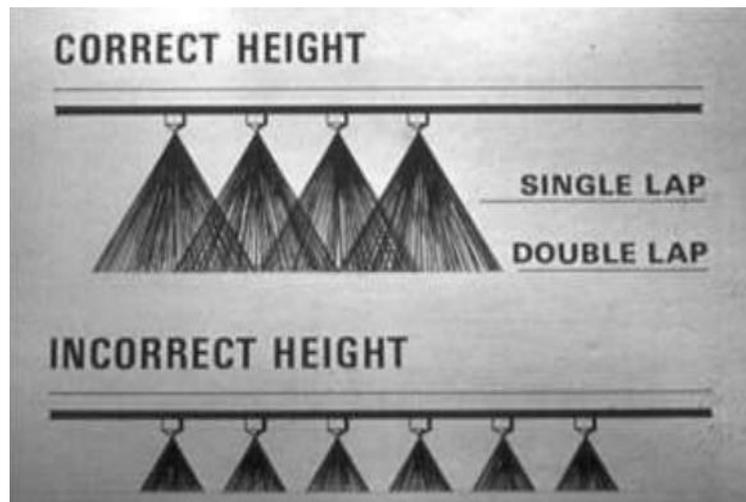
Figura 2.25. Superficie no uniforme



Fuente: Departamento de Transporte de Texas (TxDOT). (2001)

Vehículo Distribuidor. - Varios ajustes relacionados con vehículos son fundamentales para lograr la colocación de riego de adherencia uniforme. Esencialmente, los patrones de rociado, altura de la barra de spray y de la presión de distribución deben trabajar juntos para producir la aplicación uniforme de riego de liga. En general, las mejores aplicaciones de los resultados de un "doble vuelta" o la cobertura de "triple vuelta". "Doble / triple de vuelta" significa que los patrones de rociado de la boquilla se solapan entre sí de tal manera que cada porción de la zona recibe aerosol de exactamente dos / tres boquillas.

Figura 2.26. Incorrecta y correcta aplicación de riego de liga por las boquillas



Fuente: Departamento de transporte de Texas, Estados Unidos de América. Boletín técnico, correcta aplicación de riego de liga (2011)

La altura de la barra de spray debe permanecer constante cuando se aplica una capa ligante. La barra de spray excesivamente baja da lugar a rayas, mientras que las barras de spray excesivamente altas causan solapamiento que se produce en una tasa de aplicación excesiva.

La presión dentro del distribuidor debe ser capaz de forzar el material de riego de liga a cabo las boquillas de spray a una velocidad constante. Presión inconsistente dará lugar a tasas de aplicación no uniforme.

Temperatura dentro del distribuidor debe mantenerse entre aproximadamente 24 °C (75°F) y 54°C (130°F). El exceso de calor puede causar que la emulsión se rompa cuando aún estaba en el distribuidor.

2.14 Restauración de pavimentos flexibles

Restauración consiste en la ejecución de trabajos que mejoran la condición superficial del pavimento, pero no aumentan su capacidad estructural.

Renovación completa de la estructura del camino, previa demolición parcial o completa de la estructura existente, que generalmente se efectúa usando la explanación y el alineamiento regulares del camino.

El objetivo de esta actividad es remediar las consecuencias provocadas por el descuido prolongado, y se realiza cuando la rehabilitación ya no es posible.

La restauración puede tener dos causas: una deficiente construcción, o bien, la ausencia de una adecuada conservación.

La restauración como está expresada en este inciso, no corresponde a una intervención de conservación. (Manual de carreteras volumen V), manual de diseño de conservación vial (2011), (Administradora Boliviana De Carreteras).

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON GEOSINTÉTICO Y EL RIEGO DE LIGA EN LA RESTAURACIÓN

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON GEOSINTÉTICO Y EL RIEGO DE LIGA EN LA RESTAURACIÓN

3.1 Ubicación de los materiales

Para el presente trabajo se utilizó materiales existentes dentro de nuestro departamento de Tarija, los cuales se encuentran en 3 diferentes provincias, los cuales se ajustan de acuerdo a lo requerido en las especificaciones técnicas de las normas ASSHTO y ASTM, a las normas mencionadas se rige la (ABC) Administradora Boliviana de Carreteras, los cuales de detalla a continuación:

Figura 3.1. Ubicación de los materiales departamento de Tarija



Fuente: Elaboración propia

3.1.1 Ubicación del agregado para la capa sub base

El agregado de capa sub base se encuentra ubicado dentro de la provincia José María Avilés sobre la carretera Tarija- Padcaya a lado de la comunidad la Choza en las coordenadas:

Latitud: 21°40'46.49" S

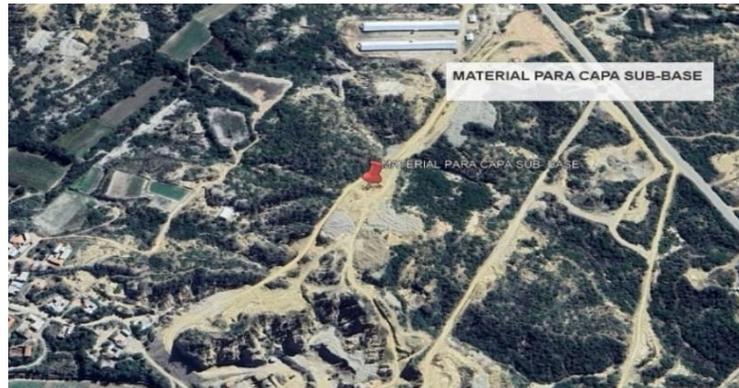
Longitud: 64°36'43.94" O

Zona: 20 k

Coordenada este: 333190.00 m E

Coordenada Norte: 7601769.00 m S

Figura 3.2. Ubicación del material de capa sub base



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Ubicación del agregado para la capa base

El agregado de capa base se encuentra ubicado dentro de la provincia Gran Chaco, en el municipio de Villa Montes, sobre la carretera Villa Montes – La Vertientes – Palo Marcado a 2.12 km de Villa Montes en las coordenadas:

Latitud: 21°15'50.69" S

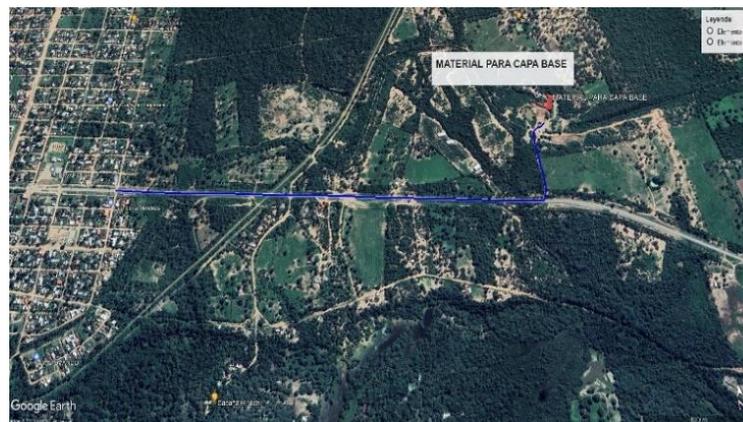
Longitud: 63°25'6.65" O

Zona: 20 k

Coordenada este: 456581.00 m E

Coordenada Norte: 7648568.00 m S

Figura 3.3. Ubicación del material de capa base



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Ubicación de los materiales de la capa de rodadura

Los agregados para la capa de rodadura, se utilizaron materiales provenientes de la planta de almacenamiento de la alcaldía, de donde se extrajo la grava, gravilla, arena y el cemento asfáltico, la planta se encuentra ubicado dentro de la provincia Cercado, en el municipio de Tarija, comunidad La Pintada sobre la carretera Tarija - Padcaya en las coordenadas:

Latitud: 21°36'13.49" S

Longitud: 64°38'27.01" O

Zona: 20 k

Coordenada este: 330148.10 m E

Coordenada Norte: 7610136.88 m S

Cabe mencionar que el banco de agregados se encuentra en la comunidad de San Mateo del cual extraer la chancadora Garzón y proporciona los agregados a la alcaldía de Tarija.

El cemento asfáltico es de origen colombiano de la marca MULTINSA (C.A. 85-100), el mismo que usa la alcaldía en las pavimentaciones de nuestra ciudad.

Figura 3.4. Ubicación de la planta de almacenamiento de la alcaldía



Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Obtención del geotextil no tejido

Se solicitó mediante un oficio a la Dirección Departamental de Administración Vial (D.A.V.).

La oficina del D.A.V. se encuentra en la ciudad de Tarija en las coordenadas:

Latitud: 21°325'18.40" S

Longitud: 64°44'57.62" O

Zona: 20 k

Coordenada este: 318832.73 m E

Coordenada Norte: 7617243.88 m S

Figura 3.5. Ubicación de las oficinas del D.A.V.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6. Geotextil no tejido



Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Obtención de malla de fibra de vidrio

La malla de fibra de vidrio se obtuvo mediante la supervisión de la ABC del proyecto: construcción y rehabilitación tramo carretero Villa Montes – La Vertiente – Palo Marcado, el material se encontraba en la planta de almacenamiento de la entidad ejecutora: Empresa Estratégica Boliviana de Construcción y Conservación de Infraestructura Civil, en las coordenadas:

Latitud: 21°20'55.66" S

Longitud: 63°12'7.99" O

Zona: 20 k

Coordenada este: 479032.83 m E

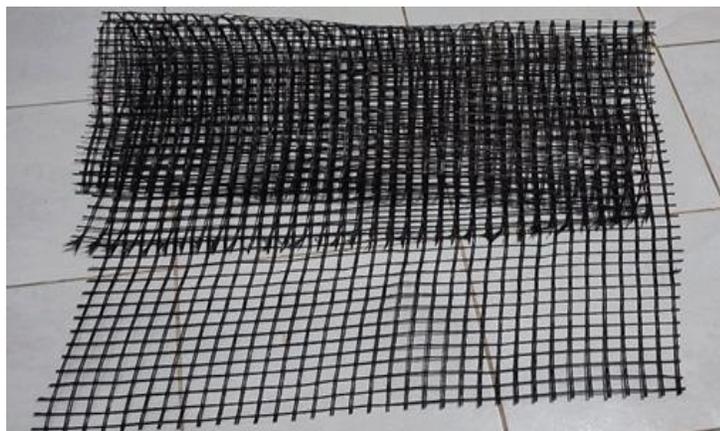
Coordenada Norte: 7639235.98 m S

Figura 3.7. Ubicación de la planta de almacenamiento de la entidad ejecutora



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8. Malla de fibra de vidrio



Fuente: Elaboración propia

3.1.6 Obtención de cemento asfáltico MC-30 para el riego liga

Se obtuvo de la misma planta de almacenamiento que de la malla fibra de vidrio ya mencionado anteriormente.

Figura 3.9. MC-30

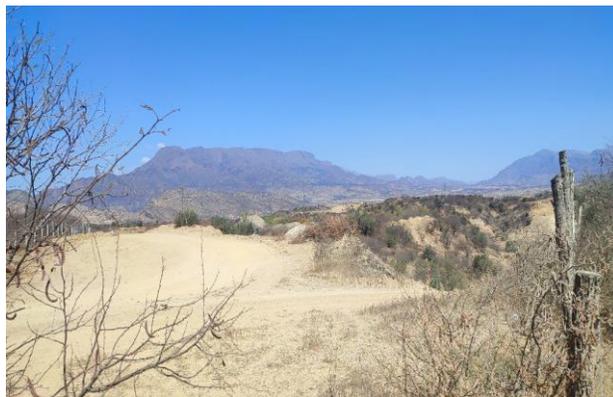


Fuente: Elaboración propia

3.2 Características de la zona de materiales

La Chozza es una comunidad de zona rural en desarrollo, donde existe una población a lado que se dedican a la agricultura y al desarrollo urbano, también pasa a lado el rio Camacho, en este lugar trabaja la clasificadora y chancadora de áridos “El Chapaquito” en el mismo lugar clasifica los agregados gruesos y finos.

Figura 3.10. Banco material de capa sub base



Fuente: Elaboración propia

El banco de agregado del material de la capa base, se encuentra en una zona rural y una distancia de 2.12 km de la ciudad de Villa Montes, en lugar se aprecia que hay pocas casas los cuales de dedican a la agricultura y ganadería.

Figura 3.11. Banco de capa base



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12. Extracción muestra de capa base de los camellones puestos en obra



Fuente: Elaboración propia

El banco de agregados de capa de rodadura, se encuentra en la comunidad de San Mateo, ubicado en la zona rural en desarrollo, tiene una población que se dedica a la agricultura, criaderos de vacas lecheras y al desarrollo urbano, en este lugar trabaja la chancadora de áridos Garzón, donde obtiene los agregados del rio Guadalquivir y rio Sella y los mismos son clasificados en el mismo lugar con sus equipos de trabajo y es de este lugar que proporciona los agregados a la alcaldía de Tarija.

Figura 3.13. Cemento asfáltico almacenado planta La Pintada



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14. Acopio de agregados (grava, gravilla y arena) La Pintada



Fuente: Elaboración propia

3.3 Caracterización de los materiales

3.3.1 Caracterización de agregados

3.3.1.1 Caracterización de agregados de capa base y sub base

Los ensayos de laboratorio para la caracterización físicas, químicas y mecánicas de los materiales se efectuó de acuerdo al manual de ensayos de suelos y materiales de la ABC (administradora boliviana de carreteras).

3.3.1.1.1 Análisis granulométrico

El proceso se realizó en función a la norma ASTM C-136 y AASHTO T-27.

Para tomar la muestra primeramente se realizó el cuarteo del material, posteriormente se puso al horno para su secado hasta ver que la muestra no presente humedad y se pueda desmenuzar los pequeños terrones que tenía el material, posteriormente se realizó el respectivo tamizaje de los materiales, el material retenido en los tamices se pesó para poder hacer la respectiva planilla y poder ver el comportamiento de gradación del mismo.

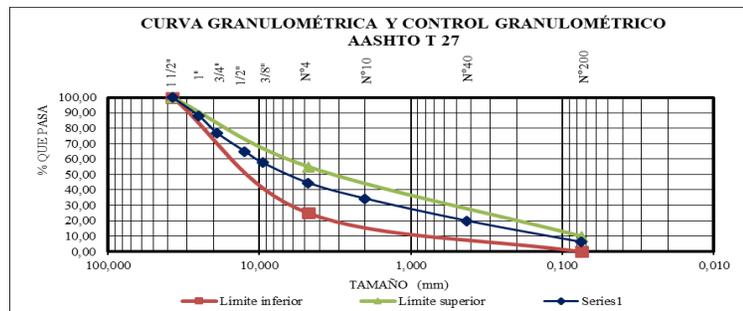
Figura 3.15. Retenido en los tamices, agregado de capa sub base



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.1. Muestra 1 de granulometría del agregado de capa sub base

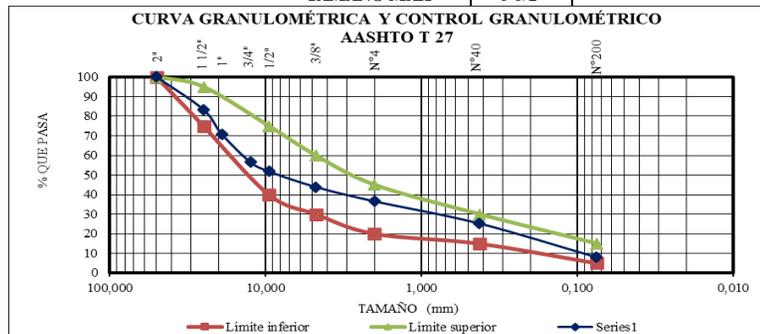
Peso Total (gr.) = 10056,300							
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. AASHTO T-27	
			(gr)	(%)			
1 1/2"	37,500	0,000	0,000	0,000	100,000	100,00	100,00
1"	25,000	1232,800	1232,800	12,259	87,741	-	-
3/4"	19,000	1095,400	2328,200	23,152	76,848	-	-
1/2"	12,500	1194,300	3522,500	35,028	64,972	-	-
3/8"	9,500	740,700	4263,200	42,393	57,607	-	-
N°4	4,750	1313,100	5576,300	55,451	44,549	25,00	55,00
N°10	2,000	1020,500	6596,800	65,599	34,401	-	-
N°40	0,425	1451,000	8047,800	80,027	19,973	-	-
N°200	0,075	1377,800	9425,600	93,728	6,272	0,00	10,00
BASE	0,000	630,700	10056,300	100,000	0,000	GRADACIÓN TIPO C	
SUMA =		10056,300					
				TAMAÑO MAX =		1 1/2"	



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2. Muestra 1 de granulometría del agregado de capa base

Peso Total (gr.) = 10000,900							
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. AASHTO T-27	
			(gr)	(%)			
2"	50,000	0,000	0,000	0,000	100,000	100	100
1 1/2"	37,500	0,000	0,000	0,000	100,000	-	-
1"	25,000	1665,200	1665,200	16,651	83,349	75	95
3/4"	19,000	1264,000	2929,200	29,289	70,711	-	-
1/2"	12,500	1413,300	4342,500	43,421	56,579	-	-
3/8"	9,500	480,000	4822,500	48,221	51,779	40	75
N°4	4,750	794,000	5616,500	56,160	43,840	30	60
N°10	2,000	728,800	6345,300	63,447	36,553	20	45
N°40	0,425	1128,000	7473,300	74,726	25,274	15	30
N°200	0,075	1723,100	9196,400	91,956	8,044	5	15
BASE	0,000	804,500	10000,900	100,000	0,000	GRADACIÓN TIPO B	
SUMA =		10000,900					
				TAMAÑO MAX =		1 1/2"	



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3. Resultados de granulometría

N°	Procedencia	Referencia	Utilización	Granulometría del (% que pasa del total)									
				2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
1	La Choza	Muestra 1	Capa sub base		100	87,741	76,848	64,972	57,607	44,549	34,401	19,973	6,272
2	La Choza	Muestra 2	Capa sub base		100	87,596	78,098	68,170	62,429	50,904	40,080	22,794	6,659
3	La Choza	Muestra 3	Capa sub base		100	87,900	75,625	61,814	52,830	38,252	28,792	17,240	5,992
4	Villa Montes	Muestra 1	Capa base	100	100	83,349	70,711	56,579	51,779	43,840	36,553	25,274	8,044
5	Villa Montes	Muestra 2	Capa base	100	100	83,159	71,553	57,896	51,722	42,756	36,973	26,750	6,855
6	Villa Montes	Muestra 3	Capa base	100	100	82,969	70,395	57,214	49,667	39,673	35,396	24,227	7,267

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.1.2 Límites de Atterberg

Todo el procedimiento se realizó a base de la norma ASTM D4318 / AASHTO T89 Y T90.

Primeramente, se tomó la muestra virgen y el cual se tamizó en el tamiz N°40 una muestra representativa de aproximado de 1000 gramos el cual se utilizó aproximadamente 200 gramos para cada ensayo de límite líquido y límite plástico.

Para los ensayos se tomó un plato de porcelana y una espátula para poder mezclar la muestra con agua, para el límite líquido se utilizó el aparato de Casa Grande, verificando que está bien calibrado, verificado el mismo se fue añadiendo poco a poco agua a la muestra en el plato de porcelana, hasta que presente una pasta homogénea, para poder sacar más puntos se fue añadiendo pequeñas cantidades de agua, cabe destacar en el ensayo de Casa Grande, al girar la manivela y con los golpes accionados, las paredes de la ranura entren en contacto en el fondo, esta unión debe tener aproximadamente 1.27cm.

Para el límite plástico se utilizó la misma muestra del límite líquido pero en este caso se le añadió más material seco y el mismo se mezcló homogéneamente, hasta adquirir una consistencia más plástica, en seguida se dispuso una base de vidrio liso, en el cual se realizó rollitos rodando sobre la base de vidrio, hasta que el mismo tenga un diámetro de aproximado de 3mm y observar que tenga pequeñas rajaduras en ese diámetro, y para sacar la muestra se utilizó la espátula con el cual se cortó pequeños trocitos del rollito, en el lugar donde presente agrietamientos.

Para el agregado de capa base no se puede realizar esta práctica porque es un material No Plástico.

Figura 3.16. Muestra Casa Grande del agregado de capa sub base



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17. Realización de rollitos para límite plástico



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18. Muestras para capa base para límite líquido

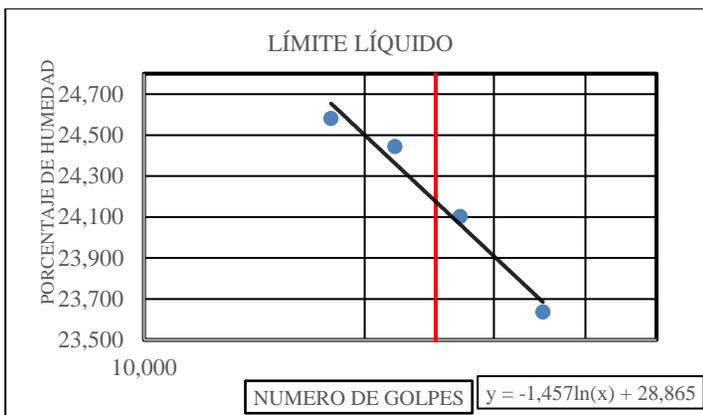


Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4. Muestra 1 de límites de Atterberg para agregado de capa sub base

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO:

Capsula N°	1	2	3	4
N° de golpes	18,000	22,000	27,000	35,000
Suelo Húmedo + Cápsula	34,900	35,100	36,800	39,900
Suelo Seco + Cápsula	30,500	30,700	32,100	34,700
Peso del agua	4,400	4,400	4,700	5,200
Peso de la Cápsula	12,600	12,700	12,600	12,700
Peso Suelo seco	17,900	18,000	19,500	22,000
Porcentaje de Humedad	24,581	24,444	24,103	23,636

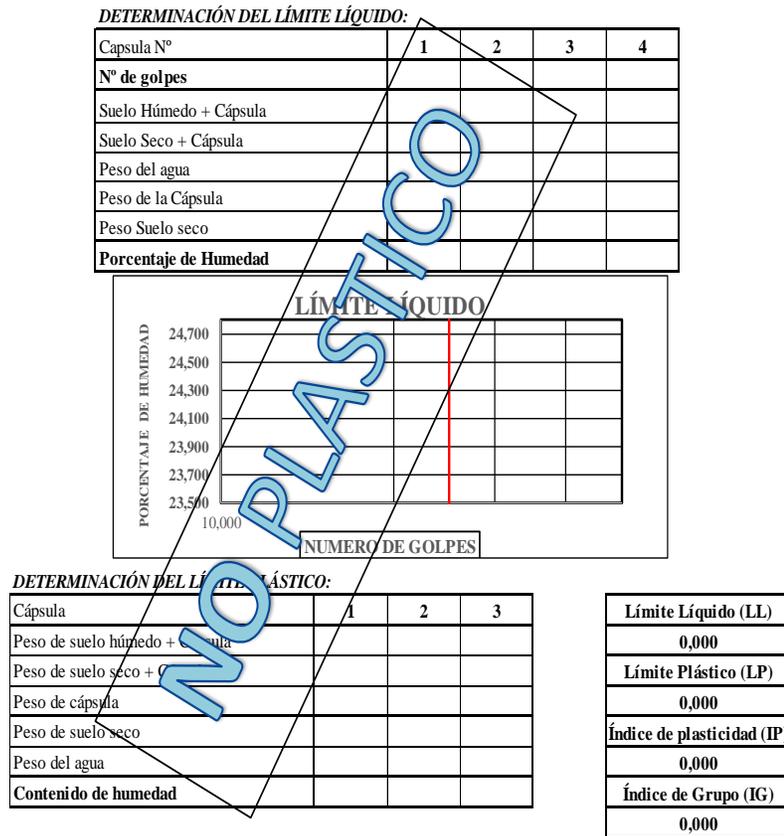


DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO:

Cápsula	1	2	3	Límite Líquido (LL)
Peso de suelo húmedo + Cápsula	16,700	15,600	21,900	24,175
Peso de suelo seco + Cápsula	16,300	15,100	21,300	Límite Plástico (LP)
Peso de cápsula	13,800	12,600	18,500	19,143
Peso de suelo seco	2,500	2,500	2,800	Índice de plasticidad (IP)
Peso del agua	0,400	0,500	0,600	5,032
Contenido de humedad	16,000	20,000	21,429	Índice de Grupo (IG)
				0,000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5. Muestra de límites de Atterberg para agregado de capa base



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6. Resultados de límites de Atterberg

N°	Procedencia	Referencia	Utilización	LÍMITES		
				L.L.	L.P.	IP.
1	La Choza	Muestra 1	Capa sub base	24,175	19,143	5,032
2	La Choza	Muestra 2	Capa sub base	23,916	19,956	3,960
3	La Choza	Muestra 3	Capa sub base	23,976	20,171	3,805
4	Villa Montes	Muestra 1	Capa base	NO PLÁSTICO		
5	Villa Montes	Muestra 2	Capa base	NO PLÁSTICO		
6	Villa Montes	Muestra 3	Capa base	NO PLÁSTICO		

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.1.3 Contenido de humedad y clasificación

El proceso se realizó en función a las normas:

Para el contenido de humedad se realizó a base de la norma (ASTM D2216).

Para este ensayo me apoyé a la granulometría para poder separar la muestra necesaria.

La clasificación se realizó a base de la norma (ASTM D-3282 / ASSHTO M145).

Para clasificar el material mediante ASSHTO y SUCS, se utilizó la granulometría de los agregados y los límites de Atterberg.

Tabla 3.7. Muestras y resultados humedad nat. y clasif. de capa sub base

HUMEDAD NATURAL			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	229,600	232,360	229,900
Peso de suelo seco + Cápsula	227,320	230,640	227,580
Peso de cápsula	124,600	125,800	122,700
Peso de suelo seco	102,720	104,840	104,880
Peso del agua	2,280	1,720	2,320
Contenido de humedad	2,220	1,641	2,212
PROMEDIO	2,024		
CLASIFICACIÓN DEL SUELO	SUCS: GW-GC AASHTO: A - 2 - 4 (0)		
DESCRIPCIÓN	Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8. Muestras y resultados humedad nat. y clasif. de capa base

HUMEDAD NATURAL			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	714,940	755,500	724,450
Peso de suelo seco + Cápsula	707,710	749,640	717,700
Peso de cápsula	125,270	121,200	122,300
Peso de suelo seco	582,440	628,440	595,400
Peso del agua	7,230	5,860	6,750
Contenido de humedad	1,241	0,932	1,134
PROMEDIO	1,102		
CLASIFICACIÓN DEL SUELO	SUCS: GP-GM AASHTO: A -1-a (0)		
DESCRIPCIÓN	Grava mal graduada con limo y arena		

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.1.4 Compactación

La compactación se hizo mediante la compactación del Proctor modificado T – 180, este método se realiza para suelos de agregado grueso, el procedimiento se realizó a base de la norma ASTM D422 y AASHTO T-180, y el apoyo de la guía de laboratorio de suelos del Ingeniero Luis Alberto Yurquina Flores.

Primeramente se tamizó la muestra en el tamiz 3/4", para el material del agregado de la capa sub base se vio que no le faltaba suelo granular a la muestra y esto también se vio en

el ensayo de granulometría, que el material retenido en el tamiz 3/4" es menos del 25% por lo tanto no se hizo una compensación, pero en el caso de la capa base si se hizo la compensación por que en la muestra que paso por el 3/4" se vio la falta de agregado grueso y eso también se comprobó con la ayuda del ensayo de granulometría y el cual demuestra que más del 25% del material grueso es retenido en el tamiz 3/4 , por tal motivo se hizo la compensación, esta compensación se lo realizó tomando una muestra sin alterar que fue tamizada, que pasa el tamiz 3/4 y retenido en el tamiz N°4.

Para el contenido de humedad del agregado de sub base se utilizó los siguientes porcentajes de humedades 4%,6%,8%,10% y 12% y para el agregado de capa base se utilizó los porcentajes de 3%, 5%,6%,7% y 8% estos porcentajes son recomendados para suelos aluviales y coluviales.

Con lo mencionado anteriormente se calculó la cantidad de agua que se va añadir a la muestra, y para tal calculo se utilizó los porcentajes de humedades ya mencionados, el porcentaje de humedad natural de la muestra y la cantidad de muestra a utilizar para los ensayos este proceso se lo realizo para cada contenido de humedad ya menciona los cuales son nuestros puntos de estudio.

Los ensayos se realizaron con el molde y martillo especificado en el T – 180, y también se siguió el proceso de disponer el suelo por capas dentro el molde en 5 capas y cada se compacto con 56 golpes.

Una vez sé que hizo el proceso de compactación se procedió a enrasar quitando el collarín del molde, una vez enrasado se pesó la muestra más molde y seguidamente se extrajo la muestra del molde compactado esta muestra se lo saco del corazón del de la muestra, este mismo sirvió para realizar el contenido de humedad real del suelo compactado, seguidamente esta muestra extraída se pesó y se puso a secar en el horno a 105°C.

Este proceso se realizó para todos los porcentajes de humedad mencionados, de esta manera encontramos el contenido de humedad optima y la densidad máxima seca, de los suelos ensayados.

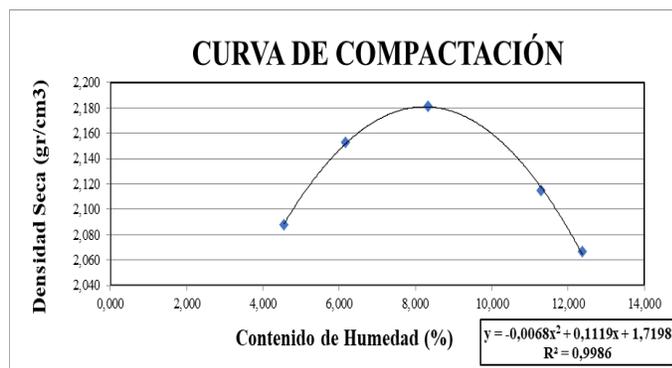
Figura 3.19. Proceso de compactación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9. Muestra 1 del ensayo de la capa sub base

N° de ensayo	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + molde	11000	11214	11376	11357	11291
Peso del molde	6445,100	6445,100	6445,100	6445,100	6445,100
Peso suelo húmedo compactado	4554,900	4768,900	4930,900	4911,900	4845,900
Volumen de la muestra	2086,772	2086,772	2086,772	2086,772	2086,772
Peso suelo húmedo + capsula	93,200	129,700	87,300	69,900	78,500
Peso suelo seco + capsula	89,700	122,900	81,700	64,100	71,200
Peso de la capsula	12,800	12,600	14,400	12,700	12,200
Peso de suelo húmedo	80,400	117,100	72,900	57,200	66,300
Peso suelo seco	76,900	110,300	67,300	51,400	59,000
Peso del agua	3,500	6,800	5,600	5,800	7,300
Contenido de húmedo (%)	4,551	6,165	8,321	11,284	12,373
Densidad del suelo húmedo (gr/cm3)	2,183	2,285	2,363	2,354	2,322
Densidad del suelo seco (gr/cm3)	2,088	2,153	2,181	2,115	2,067

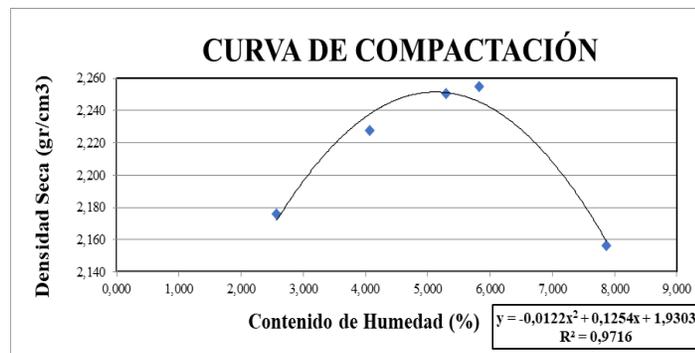


Densidad Máxima (gr/cm ³)	2,180
Humedad Optima (%)	8,228

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. Muestra 1 del ensayo de la capa base

N° de ensayo	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + molde	11192	11375	11484	11520	11392
Peso del molde	6451,200	6451,200	6451,200	6451,200	6451,200
Peso suelo húmedo compactado	4740,800	4923,400	5032,600	5068,840	4941,000
Volumen de la muestra	2124,037	2124,037	2124,037	2124,037	2124,037
Peso suelo húmedo + capsula	108,970	127,710	127,040	135,930	181,690
Peso suelo seco + capsula	106,700	123,450	121,640	129,460	169,820
Peso de la capsula	18,490	18,660	19,610	18,420	18,940
Peso de suelo húmedo	90,480	109,050	107,430	117,510	162,750
Peso suelo seco	88,210	104,790	102,030	111,040	150,880
Peso del agua	2,270	4,260	5,400	6,470	11,870
Contenido de húmedo (%)	2,573	4,065	5,293	5,827	7,867
Densidad del suelo húmedo (gr/cm3)	2,232	2,318	2,369	2,386	2,326
Densidad del suelo seco (gr/cm3)	2,176	2,227	2,250	2,255	2,157



Densidad Máxima (gr/cm³)	2,253
Humedad Óptima (%)	5,139

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11. Resultados del Proctor

N°	Procedencia	Referencia	Utilización	Proctor	
				Densidad Máxima (gr/cm3)	Humedad Óptima (%)
1	La Choza	Muestra 1	Capa sub base	2,180	8,228
2	La Choza	Muestra 2	Capa sub base	2,164	8,196
3	La Choza	Muestra 3	Capa sub base	2,155	8,202
4	Villa Montes	Muestra 1	Capa base	2,253	5,139
5	Villa Montes	Muestra 2	Capa base	2,259	5,298
6	Villa Montes	Muestra 3	Capa base	2,189	4,632

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.1.5 California Bearing Ratio (CBR)

El procedimiento para el ensayo de índice resistencia de los suelos conocido como Razón de Soporte de California (CBR), se realizó a base de la norma ASTM D1883 y AASHTO

T193. También me apoyé en la guía de laboratorio de suelos de la Ing. Laura Karina Soto Salgado.

El ensayo se lo realizó a partir del ensayo del Proctor modificado con el cual se calculó el contenido de humedad óptimo, este dato se utilizó para calcular la cantidad de agua a utilizarse en el ensayo.

Se tamizó el material en el tamiz 3/4", en el caso del agregado de capa sub base se descartó en material retenido en dicho tamiz, porque el material retenido fue menos de 25%, pero para el agregado de capa base se efectuó el reemplazo de material retenido en el tamiz 3/4", en dicho tamiz se retuvo más del 25% del total de muestra ensayada. El reemplazo se lo efectuó tomando una muestra sin alterar y este se tamizado en el tamiz 3/4" y retenido en el tamiz N°4.

Se preparo la muestra para el ensayo, con la cantidad de agua calculada con el contenido de humedad óptimo, se compacto 3 moldes a diferentes energías de compactación, a 12 golpes, 25 golpes y 56 golpes, ya preparados los moldes se sumergió al agua durante 96 horas, durante el tiempo de sumersión se hizo lecturas de expansión cada 24 horas.

Figura 3.20. Muestras y moldes para en ensayo de CBR



Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de la resistencia a la penetración se hizo el cambio de anillo de la máquina de ensayo, ya que para el agregado grueso es otro tipo de anillo, con el proceso de la determinación de resistencia tuve la lectura de carga y penetración del ensayo, para finalizar esta práctica al momento retirar la muestra del molde se extrajo muestras de la parte superior, medio e inferior del molde.

Figura 3.21. Muestras antes de ser sumergidas al agua



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12. Muestras 1 del ensayo de capa sub base

CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICIÓN DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	11421		11625	11955		12015	12809		12906
Peso Molde	7278,300		7278,300	7240,200		7240,200	7879,300		7879,300
Peso muestra húmeda	4142,700		4346,700	4714,800		4774,800	4929,700		5026,700
Volumen de la muestra	2112,280		2112,280	2126,835		2126,835	2112,280		2112,280
Peso Unit. Muestra Húm.	1,961		2,058	2,217		2,245	2,334		2,380
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	Medio	Fondo	Superf.	Medio	Fondo	Superf.	Medio
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	145,000	91,400	93,800	102,400	87,700	100,500	111,100	109,700	103,200
Peso muestra seca + tara	131,800	79,950	84,980	95,820	78,650	92,850	103,920	98,240	95,450
Peso del agua	13,200	11,450	8,820	6,580	9,050	7,650	7,180	11,460	7,750
Peso de tara	22,190	18,480	17,860	18,520	17,360	16,650	18,940	20,600	18,600
Peso de la muestra seca	109,610	61,470	67,120	77,300	61,290	76,200	84,980	77,640	76,850
Contenido humedad %	12,043	18,627	13,141	8,512	14,766	10,039	8,449	14,760	10,085
Promedio cont. Humedad	15,335		13,141	11,639		10,039	11,605		10,085
Peso Unit.muestra seca	1,700		1,819	1,986		2,040	2,091		2,162

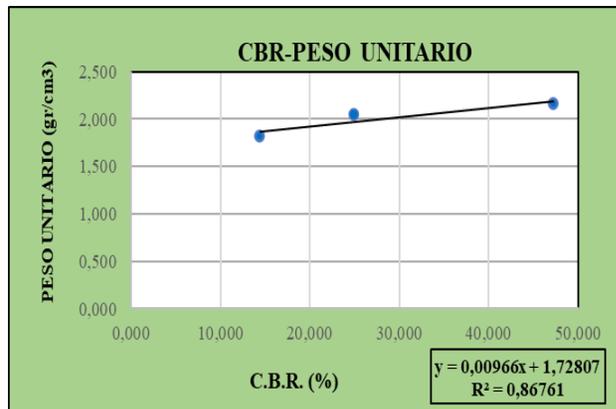
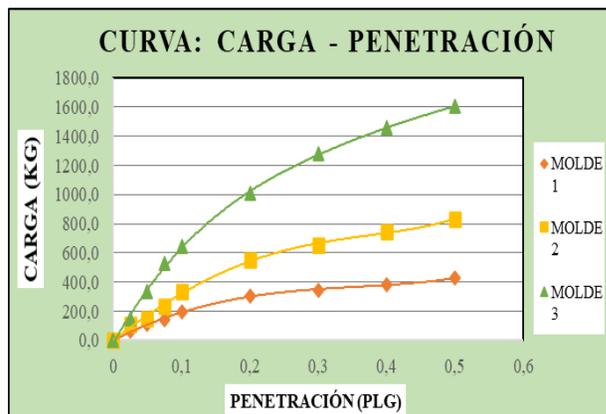
Hum.	Peso
Opt.	Unit.
%	gr/cm³
8,209	2,166

C.B.R.	Peso
%	Unit.
14,436	1,819
24,912	2,040
47,261	2,162

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO EN DÍAS	MOLDENº 1			MOLDENº 2			MOLDENº 3		
			LECT.	EXPANSIÓN		LECT.	EXPANSIÓN		LECT.	EXPANSIÓN	
			EXTENS.	cm	%	EXTENS.	cm	%	EXTENS.	cm	%
12-sep	10:50	1	10,355	1,036	0,000	11,168	1,117	0,000	6,745	0,675	0,000
13-sep	10:50	2	10,640	1,064	0,245	11,560	1,156	0,335	7,429	0,743	0,589
14-sep	10:50	3	10,950	1,095	0,512	11,952	1,195	0,670	7,470	0,747	0,624
15-sep	10:50	4	10,950	1,095	0,512	12,000	1,200	0,712	7,475	0,748	0,629
% Exp. Total=										0,618	

C.B.R.

PENETRACIÓN		CARGA NORMAL	MOLDE Nº 1				MOLDE Nº 2				MOLDE Nº 3			
			CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	
Pulg.	mm	Kg	Kg	kg/cm ²	Kg	%	Kg	kg/cm ²	Kg	%	Kg	kg/cm ²	Kg	%
0	0		0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0,025	0,63		62,0	3,2			113,6	5,9			150,2	7,8		
0,05	1,27		109,5	5,7			150,2	7,8			333,4	17,2		
0,075	1,9		143,4	7,4			237,0	12,2			527,4	27,2		
0,1	2,54	1360	196,3	10,1		14,4	338,8	17,5		24,9	642,7	33,2		47,3
0,2	5,08	2040	304,9	15,8		14,9	549,1	28,4		26,9	1007,7	52,1		49,4
0,3	7,62		346,9	17,9			656,3	33,9			1279,1	66,1		
0,4	10,16		382,2	19,7			743,2	38,4			1455,5	75,2		
0,5	12,7		427,0	22,1			832,7	43,0			1603,4	82,8		



CBR 100% D. Max	
45,365	%
CBR 95% D. Max.	
43,097	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13. Muestras 1 del ensayo de capa base

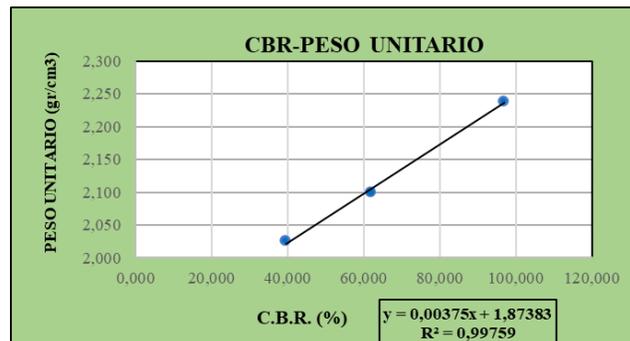
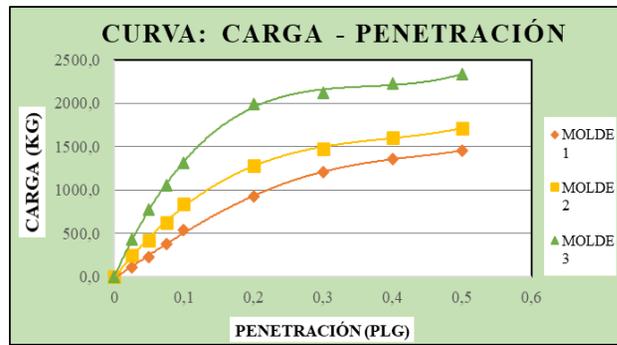
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO									
N° capas	5			5			5		
N° golpes por capa	12			25			56		
CONDICIÓN DE MUESTRA	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M	
Peso muestra húm.+molde	12020	12105	11995	12070	11980	12109			
Peso Molde	7230,000	7230,000	7135,000	7135,000	7040,000	7040,000			
Peso muestra húmeda	4790,000	4875,000	4860,000	4935,000	4940,000	5069,000			
Volumen de la muestra	2105,947	2105,947	2102,304	2102,304	2076,478	2076,478			
Peso Unit. Muestra Húm.	2,275	2,315	2,312	2,347	2,379	2,441			
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	Medio	Fondo	Superf.	Medio	Fondo	Superf.	Medio
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	105,880	106,210	112,560	100,060	119,690	106,820	98,070	113,750	105,430
Peso muestra seca + tara	94,620	92,660	100,080	90,960	106,750	96,880	91,930	104,300	97,730
Peso del agua	11,260	13,550	12,480	9,100	12,940	9,940	6,140	9,450	7,700
Peso de tara	13,160	14,640	12,730	11,900	12,510	12,590	13,460	14,480	12,380
Peso de la muestra seca	81,460	78,020	87,350	79,060	94,240	84,290	78,470	89,820	85,350
Contenido humedad %	13,823	17,367	14,287	11,510	13,731	11,793	7,825	10,521	9,022
Promedio cont. Humedad	15,595	14,287	12,621	11,793	9,173	9,022			
Peso Unit.muestra seca	1,968	2,025	2,053	2,100	2,179	2,239			

Hum. Opt. %	Peso Unit. gr/cm ³
5,023	2,234

C.B.R. %	Peso Unit. gr/cm ³
39,478	2,025
61,927	2,100
96,847	2,239

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO EN DÍAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			LECT.	EXPANSIÓN		LECT.	EXPANSIÓN		LECT.	EXPANSIÓN	
			EXTENS.	cm	%	EXTENS.	cm	%	EXTENS.	cm	%
26-sep	15:00	1	13,628	1,363	0,000	10,820	1,082	0,000	11,850	1,185	0,000
27-sep	15:00	2	13,727	1,373	0,086	10,985	1,099	0,143	11,908	1,191	0,050
28-sep	15:00	3	13,812	1,381	0,159	10,990	1,099	0,147	11,920	1,192	0,060
29-sep	15:00	4	13,812	1,381	0,159	10,990	1,099	0,147	11,920	1,192	0,060
% Exp. Total=										0,122	

PENETRACIÓN		CARGA		MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		NORMAL		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG	
Pulg.	mm	Kg		Kg	kg/cm ²	Kg	%	Kg	kg/cm ²	Kg	%	Kg	kg/cm ²	Kg	%
0	0			0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0,025	0,63			109,5	5,7			245,2	12,7			435,1	22,5		
0,05	1,27			224,8	11,6			421,6	21,8			774,4	40,0		
0,075	1,9			380,9	19,7			625,1	32,3			1059,3	54,7		
0,1	2,54	1360		536,9	27,7		39,5	842,2	43,5		61,9	1317,1	68,1		96,8
0,2	5,08	2040		923,6	47,7		45,3	1283,2	66,3		62,9	1988,8	102,8		97,5
0,3	7,62			1208,6	62,4			1480,0	76,5			2124,5	109,8		
0,4	10,16			1357,8	70,2			1608,9	83,1			2226,2	115,0		
0,5	12,7			1452,8	75,1			1710,6	88,4			2334,8	120,6		



CBR 100% D. Max	
96,045	%
CBR 95% D. Max.	
91,243	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14. Resultados del CBR

Nº	Procedencia	Referencia	Utilización	CBR	
				100%	95%
1	La Choza	Muestra 1	Capa sub base	45,365	43,097
2	La Choza	Muestra 2	Capa sub base	44,150	41,943
3	La Choza	Muestra 3	Capa sub base	48,281	45,867
4	Villa Montes	Muestra 1	Capa base	96,045	91,243
5	Villa Montes	Muestra 2	Capa base	92,893	88,248
6	Villa Montes	Muestra 3	Capa base	98,375	93,456

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.1.6 Desgaste mediante la máquina de los ángeles

El proceso del ensayo se realizó en función de la norma ASTM C 131.

En el ensayo me basó a la granulometría que tengo y el cual se muestra que según el tamaño del material pertenece al tipo de método, se utilizó el método A, a partir de

verificar el método, se separó el material respectivo según el método para cada material, teniendo la muestra introducimos el material al tambor de la máquina de los ángeles juntamente al número de esferas para cada método, posterior a rotación del tambor se extrajo la muestra la misma fue tamizada en el tamiz N°12, el material retenido se lavó sin pérdidas y se secó en el horno durante 24 horas para luego pesar y terminar el ensayo.

Tabla 3.15. ASTM C-131 según el tamaño de material que se tenga

TABLA ASTM C-131 SEGÚN EL TAMAÑO DE MATERIAL QUE SE TENGA					
MÉTODO		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
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N° DE REVOLUCIONES		500	500	500	500

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16. Muestras de capa base y resultados

DATOS DE LABORATORIO					
Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Metodo A		Metodo A		Metodo A	
Tamiz	Peso Retenido	Tamiz	Peso Retenido	Tamiz	Peso Retenido
1"	1259,5	1"	1255	1"	1251
3/4"	1253,1	3/4"	1257,6	3/4"	1248
1/2"	1246,8	1/2"	1249	1/2"	1256,1
3/8"	1247,5	3/8"	1250,3	3/8"	1251,6

Material	Peso Inicial	Peso Final	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
MUESTRA 1	5006,90	3687,60	26,35	40% MAX
MUESTRA 2	5011,90	3597,20	28,23	
MUESTRA 3	5006,70	3726,80	25,56	

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2 Caracterización de agregados de capa de rodadura

3.3.1.2.1 Análisis Granulométrico

El proceso se realizó en función a las normas ASTM C 136 y AASHTO T 27.

Para realizar el ensayo primeramente se cuarteo cada uno de los agregados, para su proceso de tamizado primeramente se hizo secar en el horno hasta observar que no presente humedad, este muestreo se realizó para la grava 3/4", gravilla 3/8" y la arena que

su primera retención fue en el tamiz N°4, estos materiales se extrajeron por separado de la planta de almacenamiento de la Alcaldía, cabe mencionar que para el tamizado de la arena se tuvo que tener mucho más cuidado porque se usó tamices de diámetro de abertura más pequeñas, en este caso antes de hacer el tamizado del mismo se pesó los tamices individualmente y posteriormente se pesó el retenido juntamente con el tamiz.

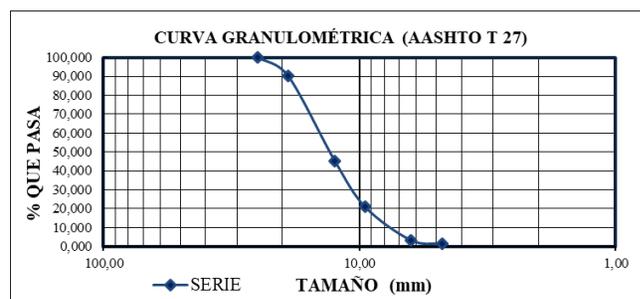
Figura 3.22. Muestras, cuarteo y secado de materiales



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17. Muestras 1 ensayo de grava

Peso Total (gr.) =			8102,200		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado (gr)	Retenido Acumulado (%)	% Que pasa del total
1	25,00	0,000	0,000	0,000	100,000
3/4	19,00	800,400	800,400	9,879	90,121
1/2	12,50	3632,100	4432,500	54,707	45,293
3/8	9,50	1981,200	6413,700	79,160	20,840
1/4	6,30	1422,600	7836,300	96,718	3,282
N°4	4,75	150,600	7986,900	98,577	1,423
BASE	0,00	115,300	8102,200	100,000	0,000
SUMA =		8102,200			
			TAMAÑO MAX =	1"	

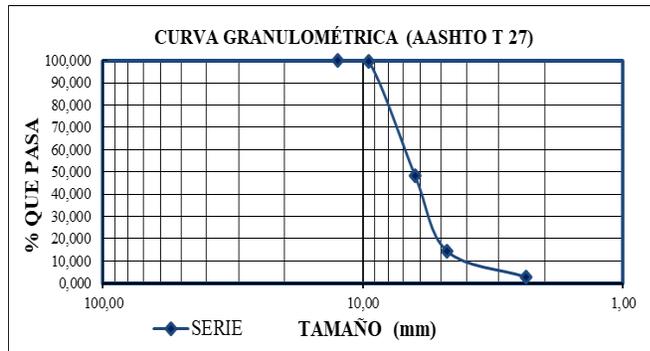


Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18. Muestras 1 ensayo de gravilla

Peso Total (gr.) =			7526,400		
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	
1/2	12,50	0,000	0,000	0,000	100,000
3/8	9,50	39,300	39,300	0,522	99,478
0,25	6,30	3857,300	3896,600	51,772	48,228
Nº4	4,75	2540,300	6436,900	85,524	14,476
Nº8	2,36	875,600	7312,500	97,158	2,842
BASE	0,00	213,900	7526,400	100,000	0,000
SUMA =		7526,400			

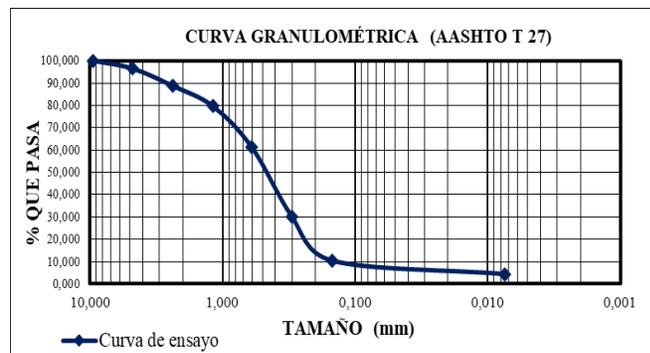
TAMAÑO MAX = 1/2"



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.19. Muestras 1 ensayo de arena

Peso Total (gr.)			1000,600		
Tamices	tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% que pasa del total
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	
3/8	9,500	0,000	0,000	0,000	100,000
Nº4	4,750	35,500	35,500	3,548	96,452
Nº8	2,360	78,200	113,700	11,363	88,637
Nº16	1,180	90,600	204,300	20,418	79,582
Nº30	0,600	184,400	388,700	38,847	61,153
Nº50	0,300	309,100	697,800	69,738	30,262
Nº100	0,150	197,800	895,600	89,506	10,494
Nº200	0,0075	60,400	956,000	95,543	4,457
BASE		44,600	1000,600	100,000	0,000
SUMA		1000,600			



Fuente: Elaboración propia

Table 3.20. Resultados de granulometría de grava, gravilla y arena

N°	Procedencia	Referencia	Material	Utilización	Granulometría del (% que pasa del total)						
					1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N°4	N°8
1	La Pintada	Muestra 1	Grava	Capa de rodadura	100	90,121	45,293	20,840	3,282	1,423	
2		Muestra 2			100	89,807	45,600	21,102	3,539	1,304	
3		Muestra 3			100	90,943	46,308	21,909	3,829	1,385	
4		Muestra 1	Gravilla		-	-	100,000	99,478	48,228	14,476	2,842
5		Muestra 2			-	-	100,000	99,648	48,755	14,852	2,858
6		Muestra 3			-	-	100,000	99,314	47,693	14,083	2,805

N°	Procedencia	Referencia	Material	Utilización	Granulometría del (% que pasa del total)							
					3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°50	N°100	N°200
1	La Pintada	Muestra 1	Arena	Capa de rodadura	100	96,452	88,637	79,582	61,153	30,262	10,494	4,457
2		Muestra 2			100	96,310	88,131	78,052	59,754	28,717	11,129	4,670
3		Muestra 3			100	97,140	89,480	79,950	62,380	30,700	11,730	4,220

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2.2 Peso específico del agregado

3.3.1.2.2.1 Peso específico del agregado grueso

El proceso del ensayo se realizó en función a norma ASTM E 127 y T85-91.

Para realizar el ensayo primeramente se tamizó los agregados en el tamiz N°4 y con el retenido en el tamiz se realizó los ensayos.

Teniendo la muestra se lavó para eliminar toda partícula de polvo superficial, una vez lavado se puso al horno durante 24 horas y también el mismo se lo dejó enfriar por el mismo plazo de tiempo ya mencionado.

Posteriormente se sumergió la muestra al agua durante 24 horas, posterior a esto se hizo el secado superficial del material para hacer su pesaje correspondiente, en este caso se tomó la muestra de 5000 gramos para cada ensayo, teniendo la muestra se puso al canastillo para su posterior sumersión al estanque de agua, que esta con la balanza ya calibrada, se realizó su respectivo pesaje para luego hacer secar en el horno durante 24 horas y así poder tener el peso totalmente seco.

Figura 3.23. Secado de muestra superficialmente



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.21. Muestras y resultados de la grava

MUESTRA	PESO MUESTRA SECADA "A" (g r)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (g r)	PESO MUESTRA SAT. DENTRO DEL AGUA "C" (g r)	PESO ESPECÍFICO REAL DEL ÁRIDO SECO (g r/c m3)	PESO ESPECÍFICO REAL DEL ÁRIDO S.S.S. (g r/c m3)	PESO ESPECÍFICO NETO (g r/c m3)	% DE ABSORCIÓN DE AGUA
1	4926,200	5000,000	3094,000	2,585	2,623	2,689	1,498
2	4926,700	5000,000	3095,000	2,586	2,625	2,690	1,488
3	4928,900	5000,000	3098,000	2,591	2,629	2,692	1,443
PROMEDIO				2,585	2,624	2,689	1,493

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22. Muestras y resultados de la gravilla

MUESTRA	PESO MUESTRA SECADA "A" (g r)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (g r)	PESO MUESTRA SAT. DENTRO DEL AGUA "C" (g r)	PESO ESPECÍFICO REAL DEL ÁRIDO SECO (g r/c m3)	PESO ESPECÍFICO REAL DEL ÁRIDO S.S.S. (g r/c m3)	PESO ESPECÍFICO NETO (g r/c m3)	% DE ABSORCIÓN DE AGUA
1	4899,700	5000,000	3093,000	2,569	2,622	2,712	2,047
2	4900,200	5000,000	3091,000	2,567	2,619	2,708	2,037
3	4900,800	5000,000	3090,000	2,566	2,618	2,706	2,024
PROMEDIO				2,568	2,621	2,710	2,042

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2.2.2 Peso específico del agregado fino

El proceso del ensayo se realizó en función a norma ASTM E 128 y T84-00.

Primeramente se tamizó material en el tamiz N°8 y se puso a saturar 24horas, para el ensayo se tomó una muestra y el mismo se secó uniformemente, para verificar que tan seca esta la arena, se colocó al molde cónico el mismo se compacto con el pistón con 25

golpes después de colocar cada muestra, este proceso se realizó hasta ver que al muestra no mantiene la forma del molde, teniendo la muestra superficialmente seco, se toma una muestra de 500 ml, posteriormente se colocó la muestra al matraz y al mismo se añadió agua 2/3 del volumen del matraz, el cual se agito hasta perder todas las burbujas de aire que tenía, se dejó reposar durante 1 hora y seguidamente se ese lapso de tiempo se agregó agua hasta la marca de calibración el cual se agito y se dejó reposo un instante y luego se pesó el matraz con el arena y agua, para terminar el ensayo se vació a una fuente y se puso a secar durante 24 horas.

Figura 3.24. Añadiendo la muestra, agitación y muestras ensayadas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23. Muestras de peso específico de agregado fino

Nº	PESO MUESTRA (gr)	PESO MATRÁZ (gr)	MUESTRA +	AGUA	PESO	VOL DEL	P. E.	P. E.	P. E.	%
			MATRAZ +	AGREG. AL	MUESTRA	MATRÁZ	REAL DE	REAL	NETO	
	(gr)	(gr)	AGUA	MATRÁZ "W"	SECADA "A"	"V"	ARIDO SECO	DEL ARIDO	(gr/cm3)	DE ABSORCION DE AGUA
1	500	177,700	994,500	316,800	488,700	500	2,668	2,729	2,843	2,260
2	500	221,500	1034,900	313,400	489,300	500	2,622	2,680	2,782	2,140
3	500	161,900	983,900	322,000	488,900	500	2,747	2,809	2,929	2,220
PROMEDIO							2,679	2,739	2,851	2,207

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2.3 Desgaste mediante la máquina de los ángeles

El proceso del ensayo se realizó en función de la norma ASTM C 131.

Para poder realizar el ensayo me base a la granulometría que tengo y el cual muestra que según el tamaño del material pertenece al tipo de método a utilizar en el caso de la grava se utilizó el método B y para la gravilla el método C, a partir de verificar el método se separó el material respectivo según el método para cada material, teniendo la muestra introduce el material al tambor de la máquina de los ángeles juntamente al número de

esferas para cada método, posterior a rotación del tambor se extrajo la muestra la misma fue tamizada en el tamiz N°12, el material retenido se lavó sin perdidas y se secó en el horno durante 24horas para luego pesar y terminar el ensayo.

Figura 3.25. Introduciendo el material y esferas al tambor del desgaste



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24. ASTM C-131 según el tamaño de material que se tenga

TABLA ASTM C-131 SEGÚN EL TAMAÑO DE MATERIAL QUE SE TENGA					
MÉTODO		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
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N° DE REVOLUCIONES		500	500	500	500

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25. Muestras de grava y resultados

Datos de laboratorio

Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Método B		Método B		Método B	
Tamiz	Peso retenido	Tamiz	Peso retenido	Tamiz	Peso retenido
1/2"	2503,500	1/2"	2497,300	1/2"	2506,400
3/8"	2502,100	3/8"	2501,700	3/8"	2501,100

MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
MUESTRA 1	5005,600	3852,800	23,030	40% MAX
MUESTRA 2	4999,000	3845,300	23,079	
MUESTRA 3	5007,500	3871,600	22,684	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26. Muestras de gravilla y resultados

Datos de laboratorio					
Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Método C		Método C		Método C	
Tamiz	Peso retenido	Tamiz	Peso retenido	Tamiz	Peso retenido
1/2"	2498,300	1/2"	2500,900	1/2"	2502,600
3/8"	2501,600	3/8"	2503,100	3/8"	2497,500

Material	Peso Inicial	Peso Final	% de desgaste	Especificación ASTM
MUESTRA 1	4999,900	3727,600	25,447	40% MAX
MUESTRA 2	5004,000	3758,900	24,882	
MUESTRA 3	5000,100	3731,500	25,371	

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2.4 Partículas fracturadas

Para el proceso se realizó en función de la norma ASTM D 5821.

Para realizar el ensayo primeramente me fije en la granulometría de la grava en el cual, el tamaño máximo nominal es 3/4", este parámetro me ayudo para separar mi agregado para el ensayo, el cual se tamizó dentro los tamices correspondientes para su posterior elección de caras fracturas, en el cual evaluando las partículas se fue separando las partículas fracturadas y sanas, donde las partículas de árido redondeada que presenten fracturas muy pequeñas no se consideraron como una partícula fracturada, una partícula se consideró como fracturada cuando un 25 % o más de su área de la superficie aparece fracturado.

Figura 3.26. Peso de muestra y tamizado



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27. Muestra 1 y resultado

Tamaño máximo nominal de la muestra =	3/4"			
Tamaño de la muestra de ensayo =	1505,000 gr			
Tamiz	Peso Retenido (gr)	% retenido	Peso de partículas fracturadas (gr) (mi)	Porcentaje de partículas fracturadas (P)
1 1/2" - 1"	0,000	0,000	0,000	
1" - 3/4"	145,000	9,635	120,000	82,759
3/4" - 1/2"	705,000	46,844	640,000	90,780
1/2" - 3/8"	330,000	21,927	290,000	87,879
3/8" - 1/4"	290,000	19,269	270,000	93,103
Base	35,000	2,326	-	-
Peso total	1505,000	100,000	1320,000	

Porcentaje de partículas fracturadas (P)	87,708	%
---	---------------	---

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.28. Resultados de los ensayos

N°	Procedencia	Referencia	Material	Utilización	% de partículas fracturas
1	La Pintada	Muestra 1	Grava	Capa de rodadura	87,708
2		Muestra 2			88,687
3		Muestra 3			89,680

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2.5 Índice de aplanamiento y alargamiento

Para el proceso se realizó en función a la norma NTL 354.

Primeramente, tome una muestra representativa de 2000 gramos, el cual se tamizó y con los retenidos en cada malla se realizó el ensayo, en el cual tome el ranurador calibrado de espesores en el cual se hizo el ensayo de aplanamiento, las partículas que pasaron por cada calibrador de espesores se realizó el respectivo pesaje.

Posteriormente se tomó el calibrador de longitudes con el cual se realizó el ensayo de alargamiento, las partículas que fueron retenidas se realizó el pesaje correspondiente, con ese proceso se terminó de realizar los ensayos de los mismos.

Figura 3.27. Proceso de ensayo de alargadas y aplanadas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29. Muestra 1 y resultado de índice de aplanamiento

Tamaño máximo nominal de la muestra = 3/4" pulgada

Tamaño de la muestra de ensayo = 2005,600 gr

Tamiz	Peso Retenido (gr) (Ri)	% retenido	Peso de partículas que pasa (gr) (mi)	Índice de aplanamiento % (ILi)
1 1/2" - 1"	0,000	0,000	0,000	
1" - 3/4"	249,300	12,430	23,100	9,266
3/4" - 1/2"	889,600	44,356	80,700	9,071
1/2" - 3/8"	479,800	23,923	56,500	11,776
3/8" - 1/4"	324,400	16,175	17,600	5,425
Base	62,500	3,116	-	-
Peso total	2005,600	100,000	177,900	-
Índice de aplanamiento global % (IL) =			8,870	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.30. Muestra 1 y resultado de índice de alargamiento

Tamaño máximo nominal de la muestra = 3/4" pulgada

Tamaño de la muestra de ensayo = 2005,600 gr

Tamiz	Peso Retenido (gr) (Ri)	% Retenido	Peso de partículas retenidas (gr)	Índice de alargamiento % (IAi)
1 1/2" - 1"	0,000	0,000	0,000	
1" - 3/4"	283,900	14,155	0,000	0,000
3/4" - 1/2"	836,600	41,713	83,200	9,945
1/2" - 3/8"	463,600	23,115	53,900	11,626
3/8" - 1/4"	367,800	18,339	40,600	11,039
Base	53,700	2,678	-	-
Peso total	2005,600	100,000	177,700	-
Índice de alargamiento global % (IA) =			8,860	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.31. Resultados de aplanadas y alargadas

Nº	Procedencia	Referencia	Material	Utilización	% de Índice de aplanamiento global	% de Índice de alargamiento global
1	La Pintada	Muestra 1	Grava	Capa de rodadura	8,870	8,860
2		Muestra 2			7,930	7,776
3		Muestra 3			9,389	8,013

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Caracterización de cemento asfáltico

Para la caracterización del cemento asfáltico se realizó para poder comprobar si el material a usar sigue cumpliendo las especificaciones de su fabricación, el cemento asfáltico a utilizar es el 85-100 MULTINSA, que es un producto colombiano, la caracterización se realizó en función de la norma, ASTM y ASSHTO.

3.3.2.1 Ensayo de viscosidad de Saybolt furol a 135°C

El proceso se realizó en función a la norma ASTM D88 y AASHTO T72.

Para poder empezar a realizar el ensayo, primeramente, se calentó el equipo de viscosidad de Saybolt furol 1 hora en ese tiempo se calentó el aceite que lleva el equipo, una vez de ese tiempo se añadió el cemento asfáltico a los recipientes que tiene el equipo el mismo que es de 60 ml, una vez llenado los recipientes de material, se fue mezclando el aceite del equipo con una mezcladora manual, el mezclado se hizo hasta llegar a la temperatura del ensayo que es de 135°C.

Una vez llegando a esa temperatura se mantuvo durante 15 minutos para proceder el ensayo el cual es de hacer fluir el cemento asfáltico por el orificio de abajo del recipiente.

El objetivo del ensayo es determinar el grado de fluidez del cemento asfáltico en 135°C, el cual se determinó en que tiempo tarda los 60ml en fluir por el orificio, este dato se registró en segundos.

Figura 3.28. Cemento asfáltico en recipiente y mezclado del aceite del equipo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.32. Muestras y resultados del ensayo

Viscosidad de Saybolt Furol a 135°C (ASTM D - 88 y AASHTO T - 72)					Especificación		
Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Mínimo	Máximo
		1	2	3			
Viscosidad de Saybolt Furol a 135°C	seg.	178	189	163	176,667	85	-

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2 Ensayo de penetración

El proceso se realizó en función a la norma ASTM D-5 y AASHTO T-49.

Primeramente, se añadió a las taras muestra se cemento asfáltico, el cual estuvo 1 hora ambiente y 1 hora y media sumergido en baño maría antes de realizar el ensayo de penetración, en el ensayo de penetración se introduce una aguja de dimensiones específicas en una muestra ya mencionada bajo una carga de (100 gr) a una temperatura fija de (25°C), durante un plazo de tiempo predeterminado de (5 seg).

Se denomina penetración a la distancia hasta la cual penetra la aguja en el tiempo predeterminado, que se mide en decimas de milímetro (0.1 mm).

Figura 3.29. Prueba de ensayo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.33. Muestras y resultados del ensayo de penetración

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultados	Especificación	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (ASTM D - 5 y AASHTO - 49)						85	100
Lectura N°1	0,1 mm	89	95	86			
Lectura N°2	0,1 mm	91	89	96			
Lectura N°3	0,1 mm	87	92	91			
Penetración Promedio	0,1 mm	89	92	91	90,667		

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3 Ensayo de ductilidad a 25°C

El proceso se realizó en función a la norma ASTM D-113 y AASHTO T-51.

Primeramente, se armó las briquetas de ensayo, este se cubrió con pequeña capa de glicerina, con el fin de que no se pegue el cemento asfáltico al molde, se vertió cemento asfáltico, se dejó a temperatura ambiente durante 30 minutos y sumergido 30 minutos en baño maría, el cual se enrazo con la espátula y se volvió a sumergía a baño maría durante 1 hora y media antes del ensayo, el baño fue a 25°C. El equipo de ductilidad estuvo lleno de agua hasta el nivel de referencia a 25°C para realizar el ensayo, posterior a verificar las condiciones del equipo se desarmo las briquetas y se colocó al equipo la muestra para su respectiva prueba.

Figura 3.30. Armado de las briquetas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.34. Muestras y resultados del ensayo

Ductilidad a 25°C (ASTM D - 113 y AASHTO T - 51)					Especificación		
Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Mínimo	Máximo
		1	2	3			
Ductilidad a 25°C	cm	112	105	109	108,667	100	-

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.4 Ensayo de punto de ablandamiento, anillo y bola

El proceso se realizó en función a la norma ASTM D-36 y AASHTO T-53.

Se cubrió la base para los anillos con glicerina para que no se pegue al mismo, se añadió el cemento a los anillos, el cual se dejó reposar en temperatura ambiente durante 30 minutos, se enrasó y se volvió a dejar a temperatura ambiente durante 30 minutos para su posterior ensayo, para realizar el ensayo se preparó un vaso precipitado con agua destilada, al mismo se le armó el equipo y se puso los anillos a baño maría con hielo hasta que la temperatura sea de 5°C y este se deja durante 15 minutos, se colocó los anillos a los centradores y las esferas, para posteriormente se cambie de agua para poner a la hornilla y elevar la temperatura hasta que caigan las esferas.

Figura 3.31. Anillos bañados en glicerina y anillos con muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.35. Muestras y resultados del ensayo

Punto de Ablandamiento (ASTM D - 36 y AASHTO T - 53)					Especificación		
Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Mínimo	Máximo
		1	2	3			
Punto de Ablandamiento	°C	46,200	43,600	49,500	46,433	43	53

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.5 Ensayo de punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland

El proceso se lo realizó en función a la norma ASTM D-92 y AASHTO T-48.

Se colocó cemento asfáltico hasta la medida indicada de la copa, posterior a esto se calentó el mismo hasta que haya una pequeña llama sobre la superficie del asfalto, este nos indica que es su punto de inflamación del cemento asfáltico.

Figura 3.32. Ensayo de punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.36. Muestras y resultados del ensayo

Punto de Inflamación (ASTM D - 92 y AASHTO T - 48)					Especificación		
Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Mínimo	Máximo
		1	2	3			
Punto de Inflamación	°C	280	265	268	271	232	-

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.6 Ensayo de peso específico a 25°C

El proceso se realizó en función a la norma ASTM D-70 y AASHTO T-229.

Primeramente, se calibro el picnómetro, se pesó el picnómetro vacío, se realizó el llenado del picnómetro con agua destilada hasta la línea de 50ml, el cual se llevó a baño maría 25°C, durante 30 minutos, se retirando el picnómetro del baño maría y se secó rápidamente la humedad superficial que tenía y se registró el peso del mismo.

Se vertió cemento asfáltico 30ml al picnómetro, esto se dejó durante 30 minutos en temperatura ambiente y 30 minutos se sumergió a baño maría, este se registró su peso, se llenó hasta los 50ml de la marca del picnómetro con agua destilada, el cual se llevó a baño maría durante 30 minutos y el después de ese tiempo se registró su peso, con lo cual terminó el ensayo.

Figura 3.33. Vertiendo cemento asfáltico al picnómetro y muestras



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.37. Muestras y resultados del ensayo

Peso Específico a 25°C (ASTM D - 70 y AASHTO T - 229)					ESPECIFICACIÓN		
ENSAYO	UNIDA D	MUESTRAS			RESULTADO	Mínimo	Máximo
		1	2	3			
Peso Picnómetro	gr	33,900	35,400	34,600	1,0180	1	1,05
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	gr	87,600	88,100	87,300			
Peso Picnómetro + Muestra	gr	65,200	66,300	65,100			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr	88,100	88,700	88,100			
Peso Específico Promedio	gr/cm ³	1,0133	1,0168	1,0239			

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.7 Resumen de caracterización del cemento asfáltico

A continuación, se presenta el resumen de los ensayos de caracterización de cemento asfáltico MULTINSA, industria colombiana.

Tabla 3.38. Resumen de caracterización de C.A.

TABLA RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO SEGÚN NORMA (AASHTO - 20)					
ENSAYOS	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADOS DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES C.A. (85 - 100)	
				Min.	Max.
Viscosidad de Saybolt furol a 135°C	seg	ASTM D -88	176,667	85	-
		AASHTO T - 72			
Penetración	0,1 mm	ASTM D - 5	90,667	85	100
		AASHTO T - 49			
Ductilidad a 25 °C	cm	ASTM D - 113	108,667	100	-
		AASHTO T - 51			
Punto de ablandamiento, anillo y bola	°C	ASTM D - 36	46,433	43	53
		AASHTO T - 53			
Punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland	°C	ASTM D - 92	271	232	-
		AASHTO T - 48			
Peso específico a 25 °C	gr/cm ³	ASTM D - 70	1,018	1	1,05
		AASHTO T - 229			

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.8 Ensayo de peso específico del filler

El proceso se realizó en función al texto guía del ingeniero Luis Alberto Yurquina Flores, la misma guía está basado en la norma ASTM D 854-02.

Primeramente, se calibró el frasco volumétrico en baño maría, posterior a la calibración se introdujo 80 gramos de suelo fino, el suelo fino si adquirido a partir del ensayo de desgaste de los ángeles, también cabe mencionar el material usado fue tamizado en el tamiz N°200.

Teniendo el suelo dentro el frasco se le añade agua hasta la mitad del frasco, se extrae todo el aire atrapado dentro de los suelos, posteriormente se lo añade agua hasta la marca del enrase del frasco, se coloca al baño maría para tener su peso a diferentes temperaturas.

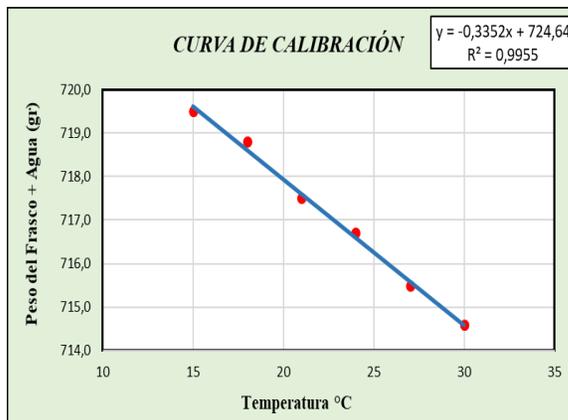
Figura 3.34. calibración de frasco volumétrico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.39. Datos y ecuación de calibración

Peso del frasco seco y limpio: 173,40		
Ensayo N°	Peso frasco + agua (gr)	Temperatura (°C)
1	714,60	30
2	715,50	27
3	716,70	24
4	717,50	21
5	718,80	18
6	719,50	15



Ecuación de calibración del frasco
-Y= 0,3352 *x + 725,64

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.40. Muestra 1 y resultado

Identificación de Ensayo	Muestra 1		
Temperatura ensayada (°C)	40	30	15
Peso del suelo seco W_s	80	80	80
Peso del frasco + agua * W_{fw}	712,23	715,58	720,61
Peso del frasco + agua + suelo W_{fsw}	766,40	768,20	769,50
Peso específico	3,10	2,92	2,57
Factor de corrección K^{**}	0,992	0,996	0,999
Peso específico corregido (gr/cm ³)	3,12	2,93	2,57
Peso específico promedio (gr/cm³)	2,880		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.41. Resultados de los ensayos de filler

N°	Referencia	Peso específico (gr/cm ³)
1	Muestra 1	2,880
2	Muestra 2	2,820
3	Muestra 3	3,010
	Promedio	2,900

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Diseño de mezclas asfálticas método Marshall

El diseño de mezclas asfálticas por el método marshall se realiza para mezclas calientes, con este proceso se realizará las briquetas y poder tener el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Figura 3.35. Briquetas



Fuente: Elaboración propia

3.3.3.1 Dosificación de agregados de mezclas asfálticas

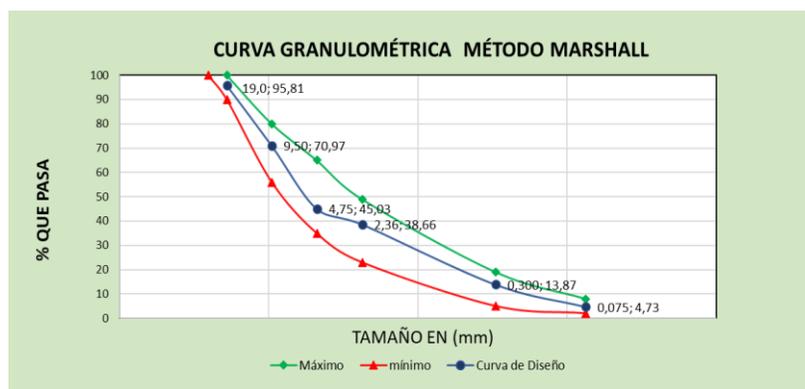
La dosificación se realizó basado a la norma ASTM D-3515.

Para tamizar los agregados se utilizó un peso aproximado de 2200 gramos para cada agregado de los cuales la grava y la gravilla se lavó y se secó en el horno, el proceso de lavado se realizó con el fin de sacar todas las partículas finas que tenían adheridos en su entorno del agregado.

Posterior a eso se realizó la curva de dosificación.

Tabla 3.42. Curva de dosificación

DOSIFICACIÓN				CURVA DE DOSIFICACIÓN				Especificaciones	
Grava (%)	Gravilla (%)	Arena (%)	Filler (%)	Peso Ret. 100,00	Ret. Acum.	% Ret.	% que pasa del total	ASTM D - 3515	
36,00	21,00	40,00	3,00					Mínimo	Máximo
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
92,448	0,00	0,00	0,00	92,448	92,448	4,188	95,812	90	100
337,968	0,00	0,00	0,00	337,968	430,416	19,497	80,503	-	-
208,116	2,331	0,00	0,00	210,447	640,863	29,030	70,970	56	80
156,780	386,316	29,480	0,00	572,576	1213,439	54,967	45,033	35	65
0,00	66,843	73,840	0,00	140,683	1354,122	61,339	38,661	23	49
0,00	6,909	89,800	0,00	96,709	1450,831	65,720	34,280	-	-
0,00	2,163	172,280	0,00	174,443	1625,274	73,622	26,378	-	-
0,00	0,00	276,040	0,000	276,040	1901,314	86,126	13,874	5	19
0,00	0,00	143,040	0,000	143,040	2044,354	92,606	7,394	-	-
0,00	0,00	58,720	0,000	58,720	2103,074	95,265	4,735	2	8
0,00	0,00	38,520	66,000	104,520	2207,594	100,000	0,000	-	-
795,312	464,562	881,720	66,000	2207,594					



Fuente: Elaboración propia

3.3.3.2 Contenido óptimo de cemento asfáltico

Se calculó el contenido óptimo de cemento asfáltico, utilizando diferentes porcentajes de cemento asfáltico, con el fin de encontrar el cemento asfáltico óptimo a usar en la mezcla de la capa de rodadura del tema.

Tabla 3.43. Materiales y cemento asfáltico (%)

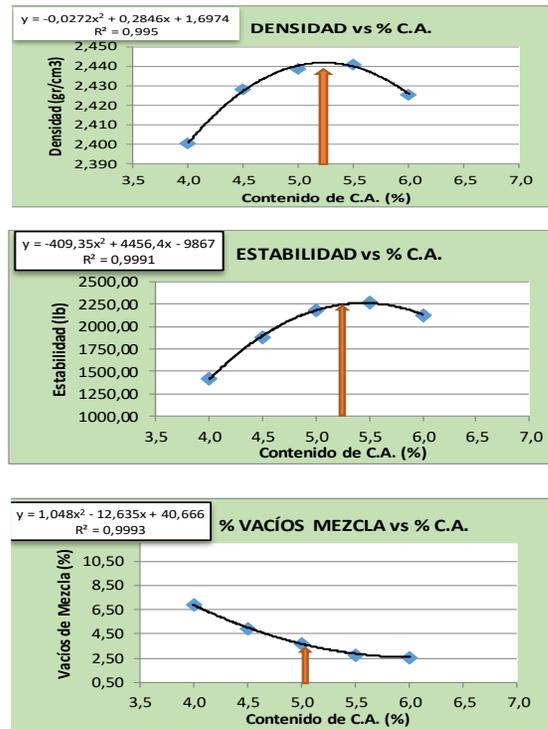
Materiales para las briquetas

Peso Total de Briqueta (gr)	1200	Porcentaje de Briqueta	100%
Ponderación de Grava (%)	36	Porcentaje de Cemento Asfáltico	X%
Ponderación de Gravilla (%)	21	Porcentaje de Agregado	Y=100 - X
Ponderación de Arena (%)	40		
Ponderación de Filler (%)	3		

MATERIALES	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO EN LA MEZCLA				
	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%
Porcentaje de Agregado (%)	96,00%	95,50%	95,00%	94,50%	94,00%
Peso del Cemento Asfáltico (gr) *	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00
Peso de Grava (gr) *	414,72	412,56	410,40	408,24	406,08
Peso de Gravilla (gr) *	241,92	240,66	239,40	238,14	236,88
Peso de Arena (gr) *	460,80	458,40	456,00	453,60	451,20
Peso de Filler (gr) *	34,56	34,38	34,20	34,02	33,84
Peso total de la briqueta (gr) *	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.44. Curvas del método Marshall y contenido óptimo de cemento asfáltico



	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	Estabilidad Marshall (Lb)	2261,680	5,443
	Densidad máxima (gr/cm3)	2,442	5,232
	Vacíos de la mezcla (%)	3,443	5,081
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio (%) =	5,25

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Caracterización de los geosintéticos

Los geosintéticos no se caracterizó porque no tenemos equipos en laboratorio para este tipo de caracterizaciones, pero de los mismos presento a continuación su ficha técnica.

3.3.4.1 Características del geotextil no tejido

Tabla 3.45. Ficha técnica de geotextil no tejido

MACCAFERRI			ESPECIFICACIÓN TÉCNICA E-8.2.2-652 - rev. 04 ; Fecha 17.07.2020									
MACTEX[®] H.2												
GEOTEXTIL NOTEJIDO												
Características técnicas												
MacTex [®] H.2 es un geotextil notejido producido en base de fibras cortas de poliéster, agujado y consolidado térmicamente por calandrado.												
Propiedades físicas			H 26.2	H 30.2	H 36.2	H 40.2	H 50.2	H 60.2	H 70.2	H 80.2	H 90.2	PH 100.2
Color												
Gramaje	g/m ²	ASTM D5261 / ABNT NBR ISO 9864	130	150	180	200	250	300	350	400	500	600
Espesor	mm	ASTM D5199 / ABNT NBR ISO 9863-1	1,1	1,2	1,25	1,3	1,5	1,9	2,2	2,6	3,5	3,8
Punto de reblandecimiento	°C	—	230 a 249									
Resistencia U.V	% / horas	ASTM D4355	50/500	50/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500	70/500
Propiedades mecánicas			H 26.2	H 30.2	H 36.2	H 40.2	H 50.2	H 60.2	H 70.2	H 80.2	H 90.2	PH 100.2
Resistencia a la tracción GRAB Sentido longitudinal	N	ASTM D4632	420	530	650	710	950	1050	1200	1300	1500	2000
Elongación GRAB	%	ASTM D4632	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Resistencia al punzonamiento CBR	KN	ASTM D6241 / ABNT NBR ISO 12236	1,1	1,2	1,4	1,5	2,2	2,5	2,9	3,2	4,0	5,0
Resistencia al desgarre trapezoidal Sentido longitudinal	N	ASTM D4533	250	300	325	350	400	500	600	720	900	1000
Propiedades hidráulicas			H 26.2	H 30.2	H 36.2	H 40.2	H 50.2	H 60.2	H 70.2	H 80.2	H 90.2	PH 100.2
Permeabilidad normal	cm/s	ASTM D4491 / ABNT NBR ISO 11058	0,26	0,23	0,21	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,10
Permisividad	s ⁻¹	ASTM D4491 / ABNT NBR ISO 11058	2,0	1,7	1,6	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5
Velocidad del flujo	m/s	ASTM D4491 / ABNT NBR ISO 11058	0,12	0,10	0,09	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04
Abertura aparente (AOS)	mm	ASTM D4751	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
Presentación del rollo			H 26.2	H 30.2	H 36.2	H 40.2	H 50.2	H 60.2	H 70.2	H 80.2	H 90.2	PH 100.2
Largo	m		100 e 200									100
Ancho	m		2,3 e 4,6									

Los valores listados anteriormente corresponden a resultados típicos encontrados en ensayos realizados en laboratorios. La falta de cuidado en la manipulación, almacenamiento y transporte, pueden cambiar algunos de estos resultados.

3.3.4.2 Características de la geomalla de fibra de vidrio (E'GRIDFG 50/50)

Tabla 3.46. Ficha técnica de geomalla de fibra de vidrio



BOSTD Geosynthetics Qingdao Ltd.

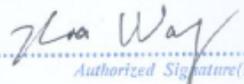
BOSTD GEOGRIDS

TEST REPORTS

Name	Fiberglass Geogrids	Date	2023-02-20	Materials	Fiberglass
Product	E'GRIDFG50/50	Batch No.	20230214I	Rolls	410
Item		Unit	Specification	Test result	Test Method
Tensile properties TD	Tensile Strength (Ultimate)	kN/m	≥ 50	71.0	ASTM D6637
	Breaking Elongation (Ultimate)	%	≤ 2.5	1.6	
Tensile properties MD	Tensile Strength (Ultimate)	kN/m	≥ 50	67.2	ASTM D6637
	Breaking Elongation (Ultimate)	%	≤ 2.5	1.2	
Melting Point		°C	≥ 218	220	ASTM D276
Grid Size (Inner)		mm	25×25	25×25	-
Result: Pass the tests					

Tester: Yu Qun

Checker: Zhou Keqing

For and on behalf of
 青岛旭晟土工材料股份有限公司
 BOSTD GEOSYNTHETICS QINGDAO LTD.

 Authorized Signature(s)

Fuente: Supervisión de la ABC

3.4 Investigación sobre el efecto del geosintético

3.4.1 Preparación de materiales

Para preparar los materiales, primeramente, me base a los pavimentos flexibles que tenemos en nuestra ciudad las cuales se dividen en tres zonas que son la zona A, B y C, los cuales están conformados por diferentes espesores en su paquete estructuras, en zona A tiene un espesor de 51 cm, en la zona B de 43 cm y en la zona C de 36cm, de estos espesores la capa de rodadura es de 5 cm y capa base es de 15 cm y el restante es capa sub base.

A partir de eso escogí el espesor de la zona B, que es de 43 cm, escogí este espesor para poder ver la diferencia de alturas entre capa base y sub base, por lo tanto, tomando la altura de la zona mencionada tengo 5 cm de capa de rodadura, 15 cm de capa base y 23 cm capa sub base.

El molde de la probeta que escogí para desarrollar los ensayos de mi tema tiene una altura de 14 cm y un diámetro de 10,73 cm.

Teniendo el dato de espesor de la zona B y la altura del molde se hizo una proporción de alturas de la cual se obtuvo las alturas de las capas de ensayo en la probeta, para capa de rodadura de 2 cm, capa base 4,8 cm y 7,2 cm de sub base.

Teniendo las alturas se calculó la cantidad de material que se usara en capa.

Para la capa sub base se utilizó 1430 gramos de material y 88,446 ml de agua.

Para la capa base se utilizó 950 gramos de material y 37,250 ml de agua

Para la capa de rodadura se utilizó 125,94 gramos de grava, 73,47 gramos de gravilla, 139,94 gramos de arena, 10,50 gramos de filler y 19,38 gramos de cemento asfáltico, el cálculo del material se lo realizo haciendo una regla de 3 simple, en el cual para las briquetas se utilizó 1200 gramos de material para una altura de 6,65 cm de briqueeta el material para la briqueeta está conformado por 36% de grava, 21% de gravilla, 40% de arena, 3% de filler y 5,250% de cemento asfáltico. A partir de esto se calculó para una altura de 2 cm de capa de rodadura, en el cual entro un peso total de 369,23 gramos de material para capa de rodadura.

Figura 3.36. Peso de materiales de capa base y sub base



Fuente: Elaboración propia

Los geosintéticos se lo preparó según el diámetro del molde de la probeta.

Figura 3.37. Recorte de materiales geosintéticos



Fuente: Elaboración propia

Para la preparación del riego de liga se tomó en cuenta el rango que ponen en obra el rango es de $0,4 \text{ t/m}^2$ a $0,8 \text{ Lt/m}^2$ en el caso del tema se tomó $0,6 \text{ Lt/m}^2$, del cual se hizo un cálculo de tres simple, con el cual al 1% me dio $5,426 \text{ ml/cm}^2$, para 0,5% me dio $2,713 \text{ ml/cm}^2$ y para 1,5% me dio $8,138 \text{ ml/cm}^2$.

Figura 3.38. Riego de liga con los diferentes porcentajes



Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Preparación de mezclas

Para la preparación la mezcla de la capa sub base y sub base, se utilizó el material ya seleccionado, con la cantidad de agua ya mencionada, la cantidad de agua se lo calculó con el contenido de humedad óptimo de los agregados el contenido de humedad natural del mismo, la compactación de los mismos se realizó con el Proctor modificado T-180, 56 golpes en cada capa y el mismo se puso en 2 capas respectivamente.

Figura 3.39. Compactación de las mezclas de agregados



Fuente: Elaboración propia

Para la preparación de la mezcla de capa de rodadura se hizo el mismo proceso de Marshall el cual consiste en preparar la mezcla asfáltica en la hornilla hasta que llegue a los 160°C, posterior a esto se le hizo la compactación de 75 golpes en este caso solo se compacto de una cara con los 75 golpes con el martillo manual de Marshall.

Figura 3.40. Vertiendo la mezcla asfáltica y proceso de compactación



Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Preparación de probetas de investigación

Las probetas de investigación se realizaron de la siguiente manera.

Primeramente, se realizó las probetas convencionales que consiste de lo siguiente:

Capa sub base + capa de rodadura.

Capa base + capa de rodadura.

Capa sub base + capa base + capa de rodadura.

De cada uno de los mencionados se lo realizó tres de cada uno.

Figura 3.41. Muestras de probetas de ensayo



Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Preparación de probetas de investigación con geosintéticos

Para realizar las probetas con geosintéticos se debe poner los mismos con la superficie totalmente planas, y los tipos de probetas se realizó de la siguiente manera:

Capa sub base + geotextil no tejido + capa de rodadura.

Capa sub base + geomalla de fibra de vidrio + capa de rodadura

Capa base + geotextil no tejido + capa de rodadura.

Capa base + geomalla de fibra de vidrio + capa de rodadura.

Capa sub base + geotextil no tejido + capa base + capa de rodadura.

Capa sub base + geomalla de fibra de vidrio + capa base + capa de rodadura.

Capa sub base + capa base + geotextil no tejido + capa de rodadura.

Capa sub base + capa base + geomalla de fibra de vidrio + capa de rodadura.

De cada uno de las combinaciones mencionadas se realizó tres ensayos de cada uno.

Figura 3.42. Muestras con geosintéticos



Fuente: Elaboración propia

3.4.5 Preparación de probetas de investigación con geosintético y riego de liga

Para la realización de estas probetas cabe mencionar que el riego de liga se realizó con una brocha, antes de ser añadido el riego se retiró todas las partículas sueltas que tenían las respectivas capas, y se realizó los siguientes tipos de probetas:

Capa sub base + geotextil no tejido + riego de liga al 1% + capa de rodadura.

Capa sub base + geotextil no tejido +riego de liga al 0.5% + capa de rodadura.

Capa sub base + geotextil no tejido +riego de liga al 1.5% + capa de rodadura.

Capa base + geotextil no tejido +riego de liga al 1% + capa de rodadura.

Capa base + geotextil no tejido +riego de liga al 0.5% + capa de rodadura.

Capa base + geotextil no tejido +riego de liga al 1.5% + capa de rodadura.

Cabe resaltar que cada probeta de ensayo se realizó tres de cada uno.

Figura 3.43. Riego de liga en las probetas de ensayo



Fuente: Elaboración propia

3.5 Rotura de probetas de investigación

Para la rotura de las probetas se utilizó el equipo de CBR en el cual realizamos la prueba de rotura antes del ensayo se verifico que el anillo de uso sea la de agregado grueso, la rotura se lo hizo en las condiciones más desfavorables, ya que la probeta se encontraba compactado con el contenido de humedad optimo, y para mantener esa condición se forro con periódico empapado en vela derretida con el cual evite que pierdan humedad las probetas.

Figura 3.44. Probetas forradas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.45. Probetas después de puesta al ensayo de rotura



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.47. Ensayos y resultados capa base + capa de rodadura

ROTURA DE PROBETAS COMBINACIÓN CAPA BASE + CAPA DE RODADURA										
N°	Tipo de ensayo	N° Ensayos por tipo de combinación	Deformación en (pulg)	Deformación en (mm)	Promedio	Carga en laboratorio	Carga Corregida (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio
1	CAPA BASE + CAPA DE RODADURA	1	0,148	3,759	3,751	214	2904,695	90,425	32,123	32,373
		2	0,166	4,216		223	3026,816		33,473	
		3	0,129	3,277		210	2850,419		31,522	
2	CAPA BASE + MALLA FIBRA DE VIDRIO + CAPA DE RODADURA	1	0,116	2,946	3,488	216	2931,833	90,425	32,423	33,973
		2	0,165	4,191		236	3203,213		35,424	
		3	0,131	3,327		227	3081,092		34,073	
3	CAPA BASE + GEOTEXTIL NO TEJIDO + CAPA DE RODADURA	1	0,104	2,642	3,226	229	3108,230	90,425	34,374	35,674
		2	0,153	3,886		246	3338,903		36,925	
		3	0,124	3,150		238	3230,351		35,724	
4	CAPA BASE + GEOTEXTIL NO TEJIDO + RIEGO DE LIGA AL 1% + CAPA DE RODADURA	1	0,095	2,413	2,904	238	3230,351	90,425	35,724	37,025
		2	0,132	3,353		257	3488,162		38,575	
		3	0,116	2,946		245	3325,334		36,775	
5	CAPA BASE + GEOTEXTIL NO TEJIDO + RIEGO DE LIGA AL 0,5% + CAPA DE RODADURA	1	0,114	2,896	3,133	244	3311,765	90,425	36,624	36,074
		2	0,151	3,835		240	3257,489		36,024	
		3	0,105	2,667		237	3216,782		35,574	
6	CAPA BASE + GEOTEXTIL NO TEJIDO + RIEGO DE LIGA AL 1,5% + CAPA DE RODADURA	1	0,085	2,159	2,802	253	3433,886	90,425	37,975	39,225
		2	0,133	3,378		270	3664,559		40,526	
		3	0,113	2,870		261	3542,438		39,175	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.48. Ensayo y resultados de capa sub base + capa de rodadura

ROTURA DE PROBETAS COMBINACIÓN CAPA SUB BASE + CAPA DE RODADURA										
N°	Tipo de ensayo	N° Ensayos por tipo de combinación	Deformación en (pulg)	Deformación en (mm)	Promedio	Carga en laboratorio	Carga Corregida (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio
1	CAPA SUB BASE+ CAPA DE RODADURA	1	0,118	2,997	2,980	84	1140,725	90,425	12,615	12,515
		2	0,125	3,175		87	1181,432		13,065	
		3	0,109	2,769		79	1072,880		11,865	
2	CAPA BASE +MALLA FIBRA DE VIDRIO + CAPA DE RODADURA	1	0,112	2,845	2,616	91	1235,708	90,425	13,666	12,815
		2	0,104	2,642		85	1154,294		12,765	
		3	0,093	2,362		80	1086,449		12,015	
3	CAPA SUBBASE+ GEOTEXTIL NO TEJIDO + CAPA DE RODADURA	1	0,110	2,794	2,625	95	1289,984	90,425	14,266	13,566
		2	0,104	2,642		92	1249,277		13,816	
		3	0,096	2,438		84	1140,725		12,615	
4	CAPA SUBBASE+ GEOTEXTIL NO TEJIDO + RIEGO DE LIGA AL 1% + CAPA DE RODADURA	1	0,091	2,311	2,328	101	1371,398	90,425	15,166	15,216
		2	0,095	2,413		105	1425,674		15,766	
		3	0,089	2,261		98	1330,691		14,716	
5	CAPA SUBBASE+ GEOTEXTIL NO TEJIDO+ RIEGO DE LIGA AL 0,5% + CAPA DE RODADURA	1	0,088	2,235	2,430	93	1262,846	90,425	13,966	14,416
		2	0,097	2,464		96	1303,553		14,416	
		3	0,102	2,591		99	1344,260		14,866	
6	CAPA SUBBASE+ GEOTEXTIL NO TEJIDO + RIEGO DE LIGA AL 1,5% + CAPA DE RODADURA	1	0,089	2,261	2,269	108	1466,381	90,425	16,217	16,167
		2	0,094	2,388		111	1507,088		16,667	
		3	0,085	2,159		104	1412,105		15,616	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.49. Ensayo y resultados de capa sub base + capa base +capa de rodadura

ROTURA DE PROBETAS COMBINACIÓN CAPA SUB BASE + CAPA BASE + CAPA DE RODADURA										
Nº	Tipo de ensayo	Nº Ensayos por tipo de combinación	Deformación en (pulg)	Deformación en (mm)	Promedio	Carga en laboratorio	Carga Corregida (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio
1	CAPA SUBBASE + CAPA BASE+ CAPA DE RODADURA	1	0,139	3,531	3,539	35	475,844	90,425	5,262	5,612
		2	0,126	3,200		30	407,999		4,512	
		3	0,153	3,886		47	638,672		7,063	
2	CAPA SUBBASE + CAPA BASE+ MALLA FIBRA DE VIDRIO + CAPA DE RODADURA	1	0,120	3,048	3,040	39	530,120	90,425	5,863	5,913
		2	0,116	2,946		37	502,982		5,562	
		3	0,123	3,124		42	570,827		6,313	
3	CAPA SUBBASE + CAPA BASE+ GEOTEXTIL NO TEJIDO + CAPA DE RODADURA	1	0,117	2,972	2,887	44	597,965	90,425	6,613	6,263
		2	0,114	2,896		41	557,258		6,163	
		3	0,110	2,794		40	543,689		6,013	
4	CAPA SUBBASE + MALLA FIBRA DE VIDRIO + CAPA BASE+ CAPA DE RODADURA	1	0,093	2,362	2,388	39	530,120	90,425	5,863	5,813
		2	0,100	2,540		40	543,689		6,013	
		3	0,089	2,261		37	502,982		5,562	
5	CAPA SUBBASE + GEOTEXTIL NO TEJIDO + CAPA BASE+ CAPA DE RODADURA	1	0,095	2,413	2,489	45	611,534	90,425	6,763	7,363
		2	0,101	2,565		53	720,086		7,963	
		3	0,098	2,489		49	665,810		7,363	

Fuente: Elaboración propia

3.6 Resumen de tipos de probetas y justificación

Se elaboró 3 probetas por cada tipo de probetas, esto con el fin de poder corregir errores de elaboración, lectura y algún otro error que pudiese haber cometido durante todo el proceso.

La rotura de las probetas se desarrolló con el equipo de CBR, que se encuentra en el laboratorio de suelos, para esto se utilizó plancha metálica de diámetro de 10,730 cm, para el área de contacto con las probetas y el pistón de CBR, con el contacto entre ellos y con carga generada por el equipo se pudo leer el esfuerzo que resiste las probetas y la deformación que generan el mismo.

3.6.1 Preparación de materiales por capa, para todos los tipos de probetas

Tabla 3.50. Materiales de capa sub base

Materiales	Altura	Cantidad	Contenido de humedad optimo	Golpes de compactación
Agregado de capa sub base	7,2 (cm)	1430 (gramos)	8,209	56 golpes por capa
Agua		88,446 (ml)		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.51. Materiales de capa base

Materiales	Altura	Cantidad	Contenido de humedad optimo	Golpes de compactación
Agregado de capa base	4,8 (cm)	950 (gramos)	5,023	56 golpes por capa
Agua		37,250 (ml)		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.52. Materiales de capa de rodadura

Material	Datos y cantidades
Altura de capa de rodadura	2 (cm)
Golpes de compactación	75 (golpes)
Temperatura al compactar	160 °C
Cemento Asfaltico	19,385 (gramos)

Grava	125,945 (gramos)
Gravilla	73,468 (gramos)
Arena	139,939 (gramos)
Filler	10,495 (gramos)
Peso total de agregados	369.231 (gramos)

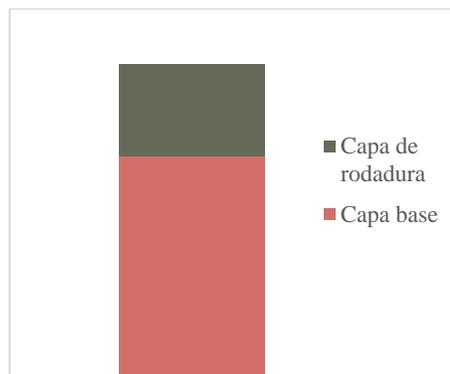
Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Mezclas convencionales

3.6.2.1 Preparación de probeta tipo (A)

Para la probeta tipo (A) se usó capa base + capa de rodadura.

Figura 3.46. Probeta tipo (A)

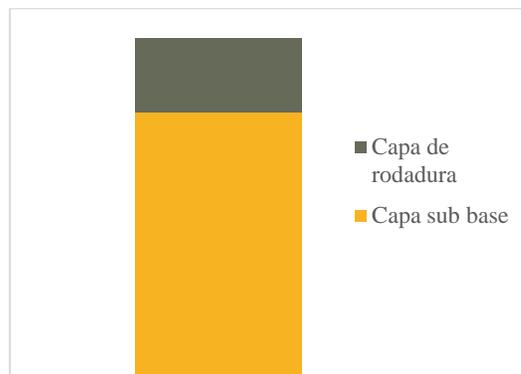


Fuente: Elaboración propia

3.6.2.2 Preparación de probeta tipo (B)

Para la probeta tipo (B) se usó la capa sub base + capa de rodadura.

Figura 3.47. Probeta tipo (B)

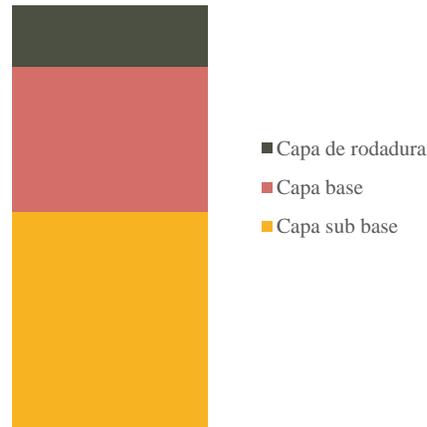


Fuente: Elaboración propia

3.6.2.3 Preparación de probeta tipo (C)

Para la probeta tipo (C) se usó la capa sub base + capa base + capa de rodadura

Figura 3.48. Probeta tipo (C)



Fuente: Elaboración propia

3.6.2.4 Numero de probetas y justificación

El número de probetas, se realizó 3 por cada tipo de probeta, el total de probetas convencionales son de 9 unidades, las probetas convencionales se realizo para poder tener los resultados del comportamiento de la estructura del pavimento sin usar el geosintético y el riego de liga.

3.6.3 Mezclas con geomalla de fibra de vidrio

3.6.3.1 Preparación de probeta tipo (A-1)

Para la probeta tipo (A-1) se usó capa base + geomalla de fibra de vidrio + capa de rodadura.

3.6.3.2 Preparación de probeta tipo (B-1)

Para la probeta tipo (B-1) se usó la capa sub base + geomalla de fibra de vidrio + capa de rodadura.

3.6.3.3 Preparación de probeta tipo (C-1)

Para la probeta tipo (C-1) se usó la capa sub base + geomalla de fibra de vidrio + capa base + capa de rodadura.

3.6.3.4 Preparación de probeta tipo (C-2)

Para la probeta tipo (C-2) se usó la capa sub base + capa base + malla de fibra de vidrio + capa de rodadura.

3.6.3.5 Numero de probetas y justificación

El número de probetas, se realizó 3 por cada tipo de probeta, y con este el geosintético geomalla de fibra de vidrio se realizó un total de 12 probetas, se utilizó los diferentes tipos de probetas para poder evaluar el comportamiento de la estructura del pavimento entre las capas del pavimento restaurado, incorporando la geomalla de fibra de vidrio.

La geomalla de fibra de vidrio está compuesta por diferentes materiales y su aspecto es de malla que tiene 2 direcciones formando un cuadrado en el centro del material, por este aspecto se puso a prueba el mismo.

3.6.4 Resultados de mezclas con geotextil no tejido

3.6.4.1 Preparación de probeta tipo (A-2)

Para la probeta tipo (A-2) se usó la capa base + geotextil no tejido + capa de rodadura.

3.6.4.2 Preparación de probeta tipo (B-2)

Para la probeta tipo (B-2) se usó la capa sub base + geotextil no tejido + capa de rodadura.

3.6.4.3 Preparación de probeta tipo (C-1-1)

Para la probeta tipo (C-1-1) se usó la capa sub base + geotextil no tejido + capa base + capa de rodadura

3.6.4.4 Preparación de probeta tipo (C-2-2)

Para la probeta tipo (C-2-2) se usó la capa sub base + capa base + geotextil no tejido + capa de rodadura.

3.6.4.5 Numero de probetas y justificación

El número de probetas se realizó 3 por cada tipo de probeta, y con este geosintético geotextil no tejido se realizó un total de 12 probetas, se utilizó los diferentes tipos de probetas para poder evaluar el comportamiento de la estructura del pavimento entre las capas del pavimento restaurado, incorporando el geotextil no tejido.

El geotextil no tejido está compuesto por diferentes materiales y su aspecto es de manto con espesor, por este aspecto se puso a prueba el mismo.

3.6.5 Resultados de mezclas con geotextil no tejido y riego de liga

3.6.5.1 Preparación de probeta tipo (A-3)

Para la probeta tipo (A-3) se usó la capa base + geotextil no tejido + riego de liga (1%) + capa de rodadura.

3.6.5.2 Preparación de probeta tipo (A-4)

Para la probeta tipo (A-4) se usó la capa base + geotextil no tejido + riego de liga (0,5%) + capa de rodadura.

3.6.5.3 Preparación de probeta tipo (A-5)

Para la probeta tipo (A-5) se usó la capa base + geotextil no tejido + riego de liga (1,5%) + capa de rodadura.

3.6.5.4 Preparación de probeta tipo (B-3)

Para la probeta tipo (B-3) se usó la capa sub base + geotextil no tejido + riego de liga (1%) + capa de rodadura.

3.6.5.5 Preparación de probeta tipo (B-4)

Para la probeta tipo (B-4) se usó la capa sub base + geotextil no tejido + riego de liga (0,5%) + capa de rodadura.

3.6.5.6 Preparación de probeta tipo (B-5)

Para la probeta tipo (B-5) se usó la capa sub base + geotextil no tejido + riego de liga (1,5%) + capa de rodadura.

3.6.5.7 Numero de probetas y justificación

El número de probetas se realizó 3 por cada tipo de probeta, con geotextil no tejido y el riego de liga se realizó un total de 18 probetas, se utilizó los diferentes tipos de probetas para poder evaluar el comportamiento de la estructura del pavimento entre las capas del pavimento incorporando el geotextil no tejido y el riego de liga en sus diferentes porcentajes.

El riego de liga a diferentes porcentajes se utilizó para evaluar el efecto que puede proporcionar al pavimento restaurado, entre las capas de la estructura del pavimento, para el riego de liga se utilizó asfalto diluido MC-30.

3.7. Efecto de los geosintéticos

Para poder evaluar el efecto del geosintético primeramente, se ordenará los datos obtenidos en los ensayos en tablas, cabe mencionar que la evaluación se lo realizará en orden del tipo de probeta, ejemplo: capa base + capa de rodadura, capa sub base + capa de rodadura, y capa sub base + capa base + capade rodadura.

3.7.1 Descripción de probetas y tipo de sistema propuesto para geosintéticos

3.7.1.1 Descripción y resultados de probetas (Sistema 1)

Tabla 3.53. Descripción de tipo de probetas (Sistema 1)

Tipo de probeta	Descripción de tipo de probeta
A	Capa base + capa de rodadura
A-1	Capa base + geomalla vibra de vidrio + capa de rodadura
A-2	Capa base + geotextil no tejido + capa de rodadura

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.2 Descripción y resultados de probetas (Sistema 2)

Tabla 3.54. Descripción de tipo de probetas (Sistema 2)

Tipo de probeta	Descripción de tipo de probeta
B	Capa sub base + capa de rodadura
B-1	Capa sub base + geomalla vibra de vidrio + capa de rodadura
B-2	Capa sub base + geotextil no tejido + capa de rodadura

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.3 Descripción y resultados de probetas (Sistema 3)

Tabla 3.55. Descripción de tipo de probetas (Sistema 3)

Tipo de probeta	Descripción de tipo de probeta
C	Capa sub base + capa base + capa de rodadura
C-1	Capa sub base + geomalla vibra de vidrio + capa base + capa de rodadura
C-1-1	Capa sub base + geotextil no tejido + capa base + capa de rodadura

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.4 Descripción y resultados de probetas (Sistema 4)

Tabla 3.56. Descripción de tipo de probetas (Sistema 4)

Tipo de probeta	Descripción de tipo de probeta
C	Capa sub base + capa base + capa de rodadura
C-2	Capa sub base + capa base + geomalla vibra de vidrio + capa de rodadura
C-2-2	Capa sub base + capa base + geotextil no tejido + capa de rodadura

Fuente: Elaboración propia

3.8 Efecto del riego de liga

Para poder evaluar el efecto del riego de liga primeramente se ordenará los datos obtenidos en los ensayos en tablas, cabe mencionar que la evaluación se realizará en orden del tipo de probeta, ejemplo: capa base + capa de rodadura, capa sub base + capa de rodadura, y el riego de liga a diferentes porcentajes.

3.8.1 Descripción de probetas y tipo de sistema propuesto para riego de liga

3.8.1.1 Descripción y resultados de probetas (Sistema 5)

Tabla 3.57. Descripción de tipo de probetas (Sistema 5)

Tipo de probeta	Descripción de tipo de probeta
A	Capa base + capa de rodadura
A-2	Capa base + geotextil no tejido + capa de rodadura
A-3	Capa base + geotextil no tejido + riego de liga (1%) + capa de rodadura
A-4	Capa base + geotextil no tejido + riego de liga (0,5%) + capa de rodadura
A-5	Capa base + geotextil no tejido + riego de liga (1,5%) + capa de rodadura

Fuente: Elaboración propia

3.8.1.2 Descripción y resultados de probetas (Sistema 6)

Tabla 3.58. Descripción de tipo de probetas (Sistema 6)

Tipo de probeta	Descripción de tipo de probeta
B	Capa sub base + capa de rodadura
B-2	Capa sub base + geotextil no tejido + capa de rodadura
B-3	Capa sub base + geotextil no tejido + riego de liga (1%) + capa de rodadura
B-4	Capa sub base + geotextil no tejido + riego de liga (0,5%) + capa de rodadura
B-5	Capa sub base + geotextil no tejido + riego de liga (1,5%) + capa de rodadura

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados de probetas

4.1.1 Resultados de mezclas convencionales

Tabla 4.1. Resultados de estabilidad probetas convencionales

Resultados de estabilidad de probeta tipo (A) (Kg/cm²)		
32,123	33,473	31,522
Promedio		
32,373 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (B) (Kg/cm²)		
12,615	13,065	11,865
Promedio		
12,515 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (C) (Kg/cm²)		
5,262	4,512	7,063
Promedio		
5,612 (Kg/cm²)		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2. Resultados de deformación probetas convencionales

Resultados de deformación de probeta tipo (A) (mm)		
3,759	4,216	3,277
Promedio		
3,751 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (B) (mm)		
2,997	3,175	2,769
Promedio		
2,980 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (C) (mm)		
3,531	3,200	3,886
Promedio		
3,539 (mm)		

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Resultados de mezclas con geomalla de fibra de vidrio

Tabla 4.3. Resultados de estabilidad probetas con geomalla de fibra de vidrio

Resultados de estabilidad de probeta tipo (A-1) (Kg/cm²)		
32,423	35,424	34,073
Promedio		
33,973 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (B-1) (Kg/cm²)		
13,666	12,765	12,015
Promedio		
12,815 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (C-1) (Kg/cm²)		
5,863	6,013	5,562
Promedio		
5,813 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (C-2) (Kg/cm²)		
5,863	5,562	6,313
Promedio		
5,913 (Kg/cm²)		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4. Resultados de deformación probetas con geomalla de fibra de vidrio

Resultados de deformación de probeta tipo (A-1) (mm)		
2,946	4,191	3,327
Promedio		
3,488 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (B-1) (mm)		
2,845	2,642	2,362
Promedio		
2,616 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (C-1) (mm)		
2,362	2,540	2,261
Promedio		
2,388 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (C-2) (mm)		
3,048	2,946	3,124
Promedio		
3,040 (mm)		

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Resultados de mezclas con geotextil no tejido

Tabla 4.5. Resultados de estabilidad probetas con geotextil no tejido

Resultados de estabilidad de probeta tipo (A-2) (Kg/cm²)		
34,374	36,925	35,724
Promedio		
35,674 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (B-2) (Kg/cm²)		
14,266	13,816	12,615
Promedio		
13,566 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (C-1-1) (Kg/cm²)		
6,763	7,963	7,363
Promedio		
7,363 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (C-2-2) (Kg/cm²)		
6,613	6,163	6,013
Promedio		
6,263 (Kg/cm²)		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6. Resultados de deformación probetas con geotextil no tejido

Resultados de deformación de probeta tipo (A-2) (mm)		
2,642	3,886	3,150
Promedio		
3,226 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (B-2) (mm)		
2,794	2,642	2,438
Promedio		
2,625 (mm)		

Resultados de deformación de probetas tipo (C-1-1) (mm)		
2,413	2,565	2,489
Promedio		
2,489 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (C-2-2) (mm)		
2,972	2,896	2,794
Promedio		
2,887 (mm)		

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Resultados de mezclas con riego de liga

Tabla 4.7. Resultados de estabilidad probetas con riego de liga

Resultados de estabilidad de probeta tipo (A-3) (Kg/cm²)		
35,724	38,575	36,775
Promedio		
37,025 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (A-4) (Kg/cm²)		
36,624	36,024	35,574
Promedio		
36,074 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (A-5) (Kg/cm²)		
37,975	40,526	39,175
Promedio		
39,225 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (B-3) (Kg/cm²)		
15,166	15,766	14,716
Promedio		
15,216 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (B-4) (Kg/cm²)		
13,966	14,416	14,866
Promedio		
14,416 (Kg/cm²)		

Resultados de estabilidad de probeta tipo (B-5) (Kg/cm²)		
16,217	16,667	15,616
Promedio		
16,167 (Kg/cm²)		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8. Resultados de deformación probetas con riego de liga

Resultados de deformación de probeta tipo (A-3) (mm)		
2,413	3,353	2,946
Promedio		
2,904 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (A-4) (mm)		
2,896	3,835	2,667
Promedio		
3,133 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (A-5) (mm)		
2,159	3,378	2,870
Promedio		
2,802 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (B-3) (mm)		
2,311	2,413	2,261
Promedio		
2,328 (mm)		

Resultados de deformación de probeta tipo (B-4) (mm)		
2,235	2,464	2,591
Promedio		
2,430 (mm)		

Resultados de deformación de probetas tipo (B-5) (mm)		
2,261	2,388	2,159
PROMEDIO		
2,269 (mm)		

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis de resultados

4.2.1 Efecto de los geosintéticos

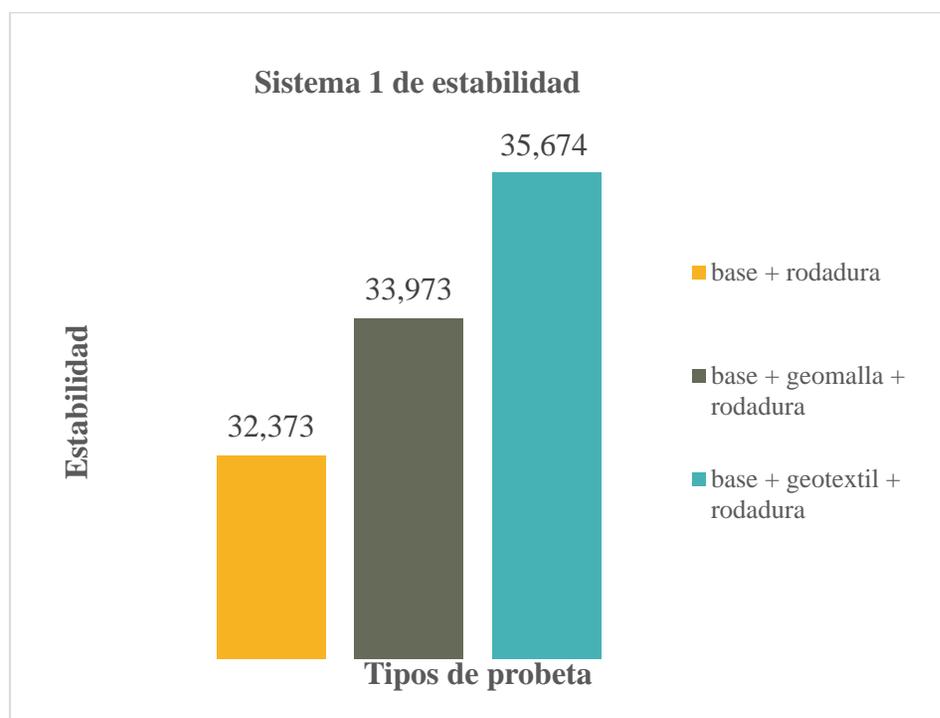
4.2.1.1 Histogramas de resultados (Sistema 1)

Tabla 4.9. Resultados de probetas (Sistema 1)

Sistema 1		
Tipo de probeta	Estabilidad (Kg/cm ²)	Deformación (mm)
A	32,373	3,751
A-1	33,973	3,488
A-2	35,674	3,226

Fuente: Elaboración propia

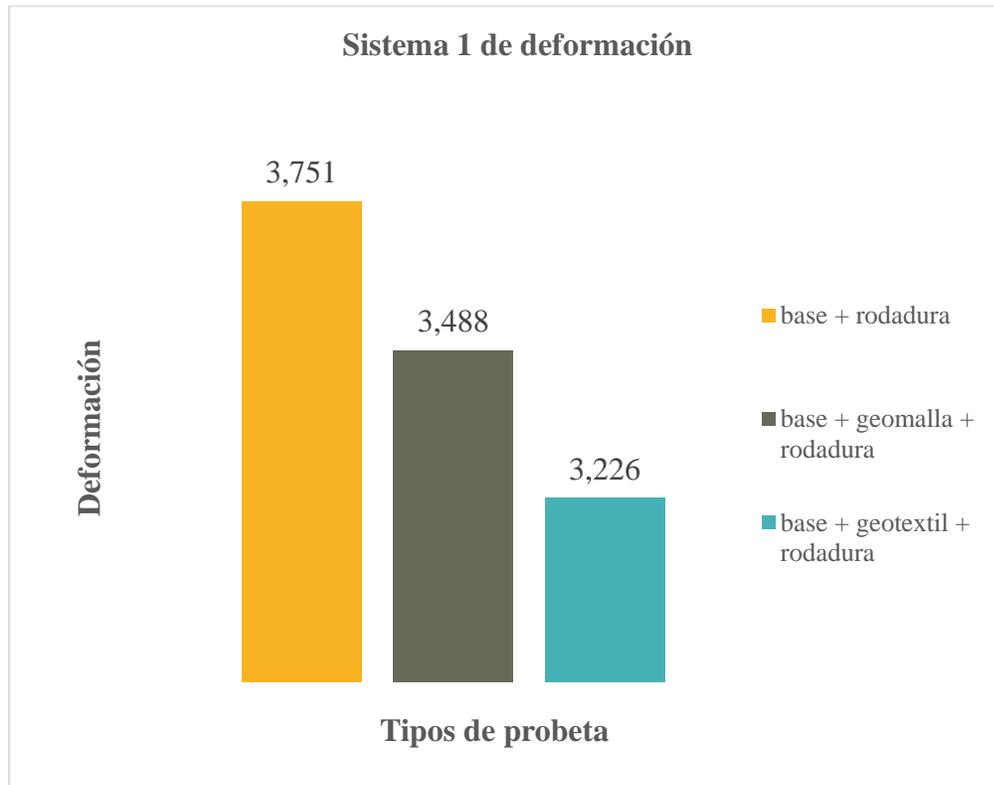
Figura 4.1. Grafica (Estabilidad – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

Para los tipos de probetas del (sistema 1), la probeta de capa base + geotextil + capa de rodadura (A-2), con un valor de estabilidad de 35,674 (Kg/cm²), tiene el valor mayor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, al evaluar se observa que el geotextil aumenta la estabilidad, esto se debe que los geotextiles son materiales con alta resistencia a la tensión y compresión, el geotextil absorbe y distribuye las fuerza de tensión generadas por las cargas externas, aumentando la capacidad portante y la estabilidad de la capa base.

Figura 4.2. Grafica (Deformación – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

En el (sistema 1), la probeta de capa base + geotextil + capa de rodadura (A-2), con un valor de deformación de 3,226 (mm), tiene el valor menor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que el geotextil disminuye la deformación, esto se debe a que los geotextiles distribuyen de manera uniforme las cargas generadas y de esta manera evitando la concentración de esfuerzos en un solo punto, que pueden provocar mayor deformación en la capa base.

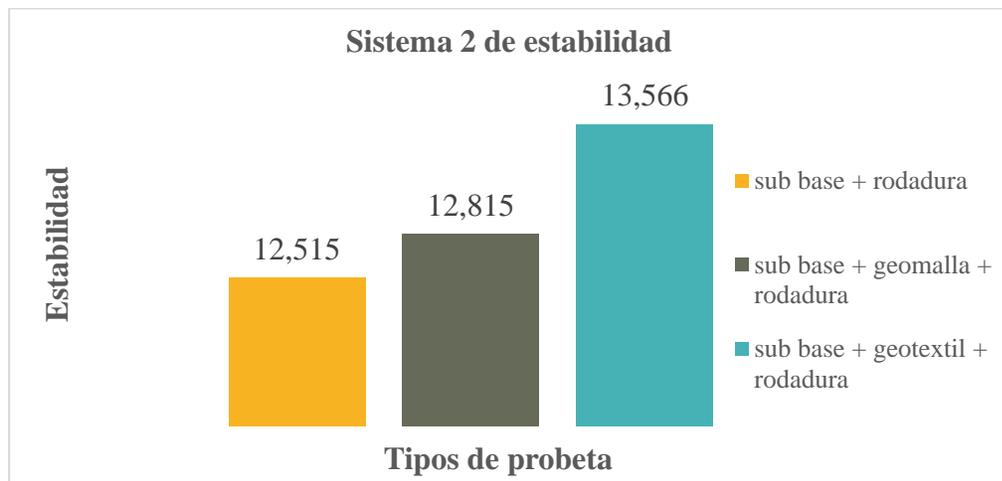
4.2.1.2 Histograma de resultados (Sistema 2)

Tabla 4.10. Resultados de probetas (Sistema 2)

Sistema 2		
Tipo de probeta	Estabilidad (Kg/cm ²)	Deformación (mm)
B	12,515	2,980
B-1	12,815	2,616
B-2	13,566	2,625

Fuente: Elaboración propia

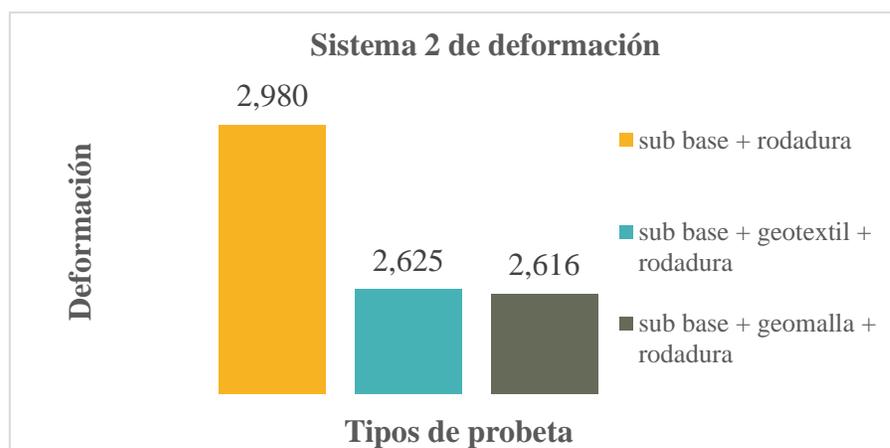
Figura 4.3. Grafica (Estabilidad – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

Las probetas del (sistema 2), la probeta de capa sub base + geotextil + capa de rodadura (B-2), con un valor de estabilidad de 13,566 (Kg/cm²), tiene el valor mayor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que el geotextil aumenta la estabilidad, esto se debe que los geotextiles son materiales con alta resistencia a la tensión y compresión, el geotextil absorbe y distribuye las fuerza de tensión generadas por las cargas externas, aumentando la capacidad portante y la estabilidad de la capa sub base.

Figura 4.4. Grafica (Deformación – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

Para la deformación las probetas del (sistema 2), la probeta de capa sub base + geomalla + capa de rodadura (B-1), con un valor de deformación de 2,616 (mm), tiene el valor menor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que la geomalla disminuye la deformación, se debe a que las partículas del suelo se entrelazan con la abertura de la rejilla de la geomalla, esta interacción entre partículas de suelo y geomalla, ayuda a distribuir de manera uniforme las cargas generadas y facilita el aumento de la capacidad portante, lo que permite al suelo soportar más cargas pesadas sin asentamientos ni desplazamientos significativos.

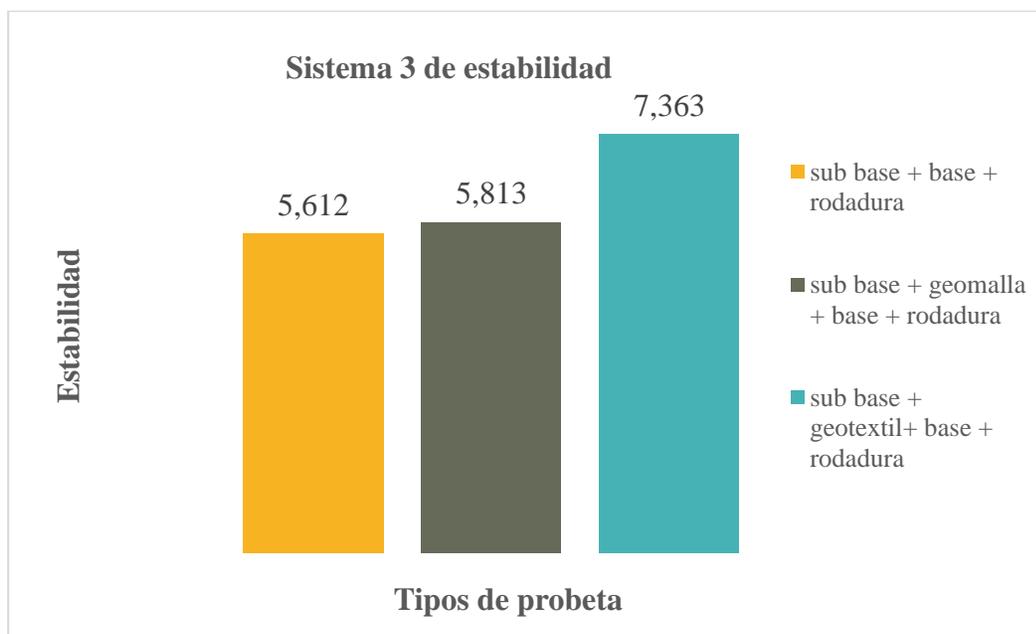
4.2.1.3 Histograma de resultados (Sistema 3)

Tabla 4.11. Resultados de probetas (Sistema 3)

Sistema 3		
Tipo de probeta	Estabilidad (Kg/cm ²)	Deformación (mm)
C	5,612	3,539
C-1	5,813	2,388
C-1-1	7,363	2,489

Fuente: Elaboración propia

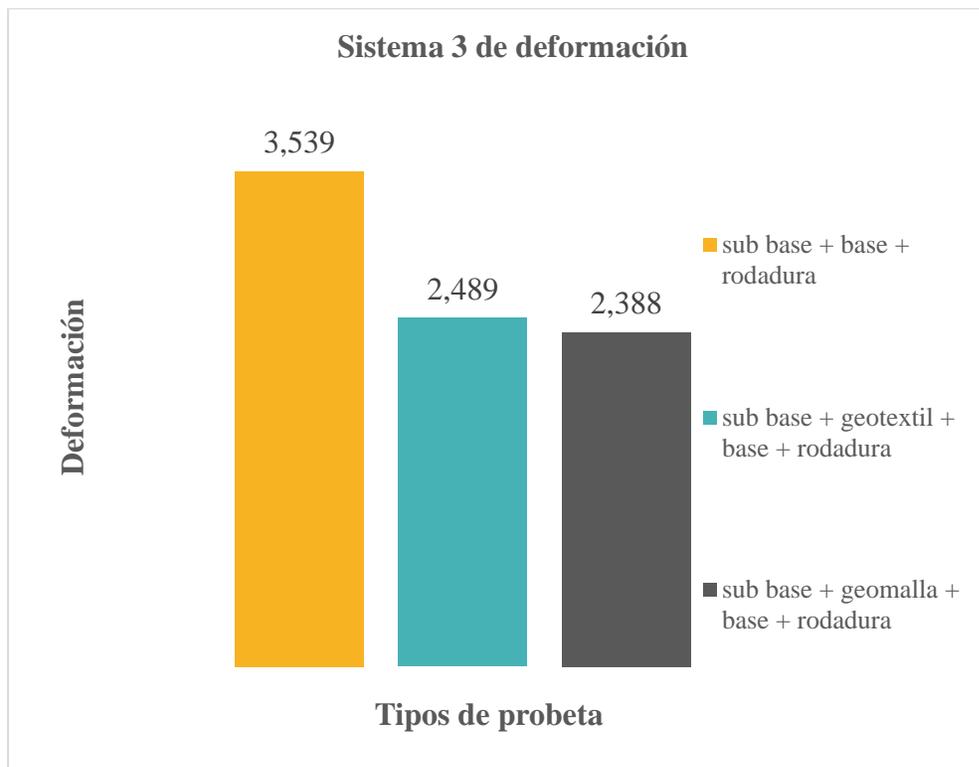
Figura 4.5. Grafica (Estabilidad – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

El (sistema 3), la probeta de capa sub base + geotextil + capa base + capa de rodadura (C-1-1), con un valor de estabilidad de 7,363(Kg/cm²), tiene el valor mayor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que el geotextil aumenta la estabilidad, esto se debe que los geotextiles son materiales con alta resistencia a la tensión y compresión, el geotextil absorbe y distribuye las fuerza de tensión generadas por las cargas externas, aumentando la capacidad portante y la estabilidad de la capa sub base.

Figura 4.6. Grafica (Deformación – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

Del (sistema 3), la probeta de capa sub base + geomalla +capa base + capa de rodadura (C-1), con un valor de deformación de 2,388 (mm), tiene el valor menor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que la geomalla disminuye la deformación, se debe a que las partículas del suelo se entrelazan con la abertura de la rejilla de la geomalla, esta interacción entre partículas, ayuda a distribuir de manera uniforme las cargas generadas y facilita el aumento de la capacidad portante, lo que permite al suelo soportar más cargas pesadas sin asentamientos ni desplazamientos significativos.

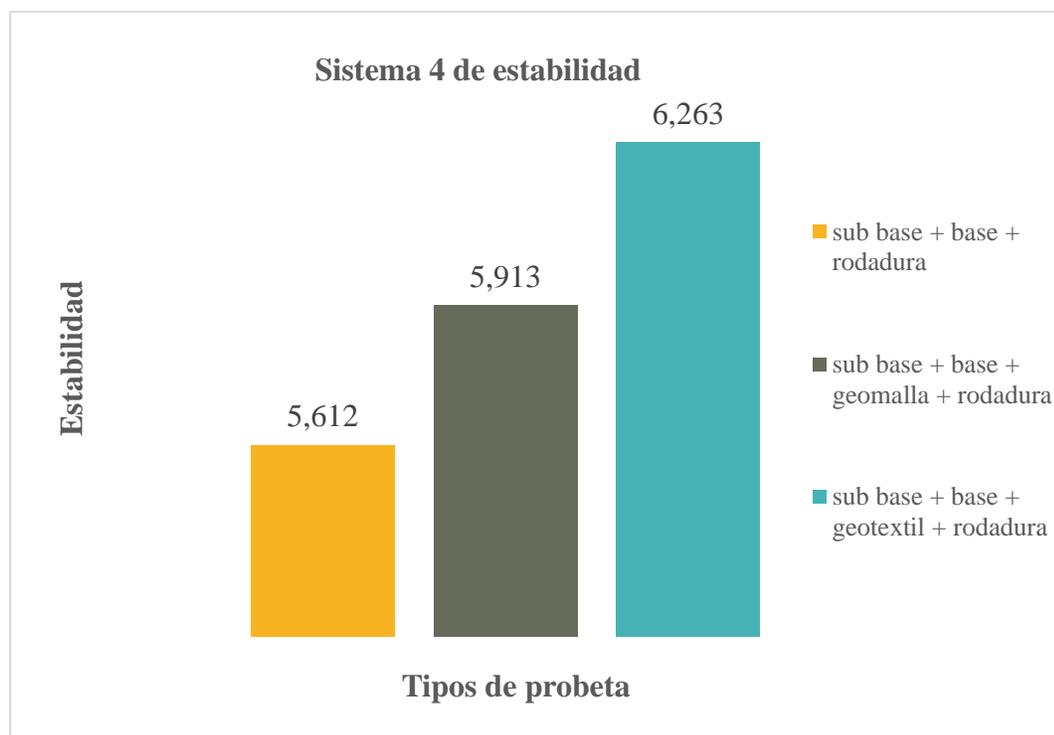
4.2.1.4 Histograma de resultados (Sistema 4)

Tabla 4.12. Resultados de probetas (Sistema 4)

Sistema 4		
Tipo de probeta	Estabilidad (Kg/cm ²)	Deformación (mm)
C	5,612	3,539
C-2	5,913	3,040
C-2-2	6,263	2,887

Fuente: Elaboración propia

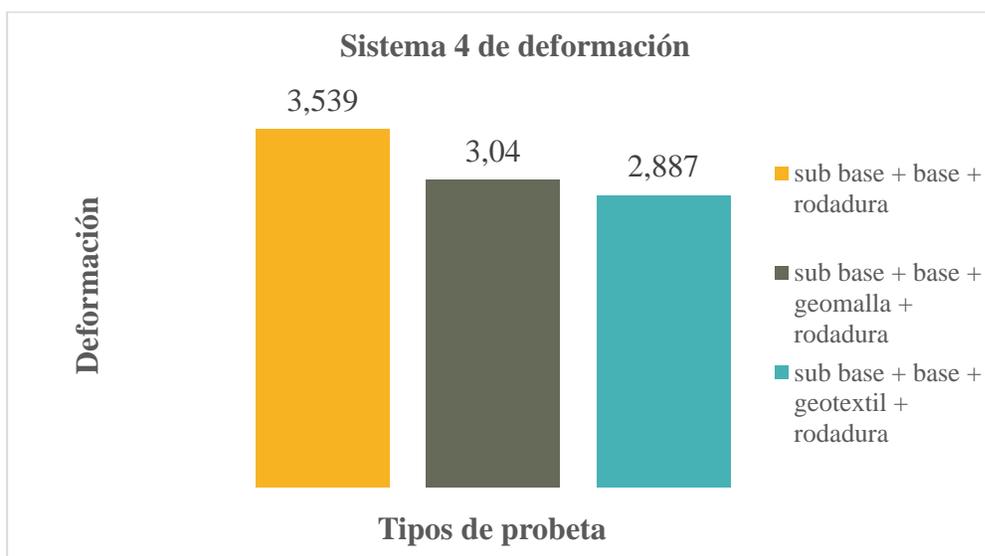
Figura 4.7. Grafica (Estabilidad – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

Los tipos de probetas del (sistema 4), la probeta de capa sub base + capa base + geotextil + capa de rodadura (C-2-2), con un valor de estabilidad de 6,263 (Kg/cm²), tiene el valor mayor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que el geotextil aumenta la estabilidad, esto se debe que los geotextiles son materiales con alta resistencia a la tensión y compresión, el geotextil absorbe y distribuye las fuerza de tensión generadas por las cargas externas, aumentando la capacidad portante y la estabilidad de la capa base y capa sub base.

Figura 4.8. Grafica (Deformación – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

La deformación para los tipos de probetas del (sistema 4), la probeta de capa sub base + capa base + geotextil + capa de rodadura (C-2-2), con un valor de deformación de 2,887(mm), tiene el valor menor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que el geotextil disminuye la deformación, esto se debe a que los geotextiles distribuyen de manera uniforme las cargas generadas y de esta manera evitando la concentración de esfuerzos en un solo punto, que pueden provocar mayor deformación en la capa base y capa sub base.

4.2.2 Efecto del riego de liga

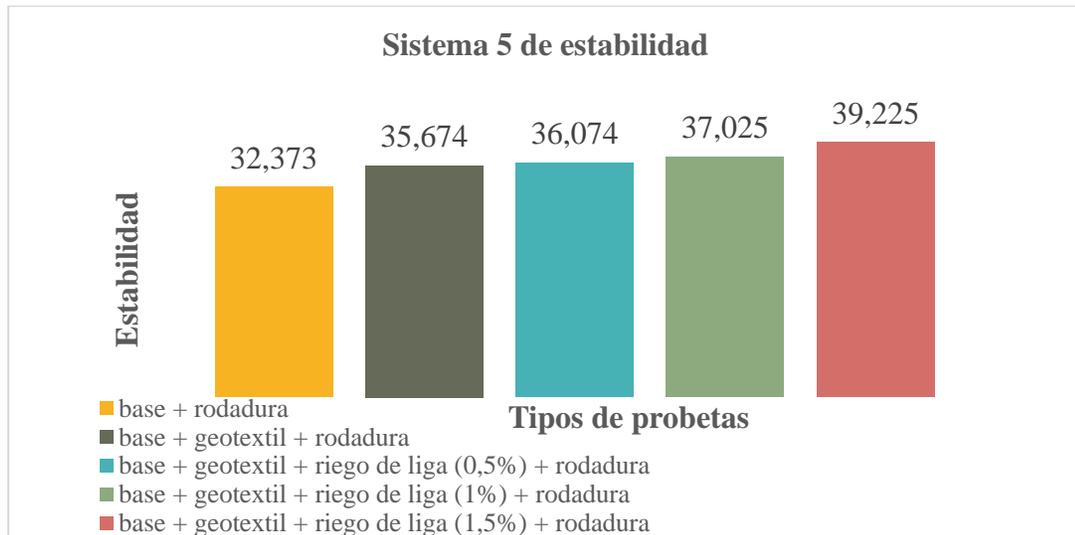
4.2.2.1 Histograma de resultados (Sistema 5)

Tabla 4.13. Resultados de probetas (Sistema 5)

Sistema 5		
Tipo de probeta	Estabilidad (Kg/cm ²)	Deformación (mm)
A	32,373	3,751
A-2	35,674	3,226
A-3	37,025	2,904
A-4	36,074	3,133
A-5	39,225	2,802

Fuente: Elaboración propia

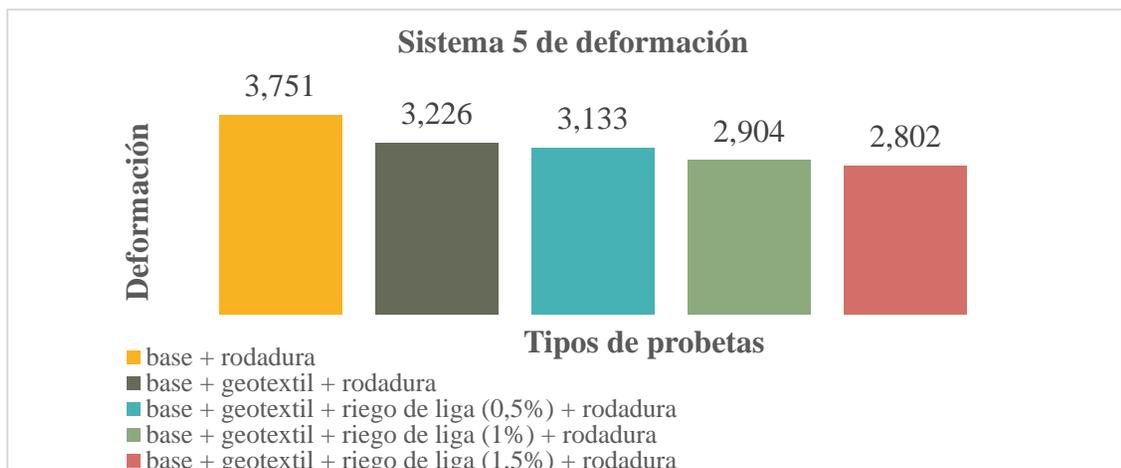
Figura 4.9. Grafica (Estabilidad – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

Tipos de probetas del (sistema 5), la probeta de capa base + geotextil + riego de liga 1,5% + capa de rodadura (A-5), con un valor de estabilidad de 39,225(Kg/cm²), tiene el valor mayor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que el riego de liga aumenta la estabilidad, esto se debe a que el riego de liga ayuda a la adherencia entre las capas de la estructura del pavimento restaurado, al adherirse la estructura trabaja como uno solo, una buena adherencia ayuda a prevenir la delaminación y el deslizamiento entre las capas, cuando se someten a fuerzas de tensión, generadas por cargas externas, sobre las capas del pavimento.

Figura 4.10. Grafica (Deformación – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

La deformación en el (sistema 5), la probeta de capa base + geotextil + riego de liga 1,5% + capa de rodadura (A-5), con un valor de deformación de 2,802 (mm), tiene el valor menor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que el riego de liga disminuye la deformación, este efecto se debe a que el riego ayuda a la adherencia entre las capas del pavimento, una buena adherencia ayuda a distribuir las cargas ejercidas de manera uniforme a lo largo de toda la estructura, lo que reduce las tensiones concentradas, que pueden causar mayores deformaciones.

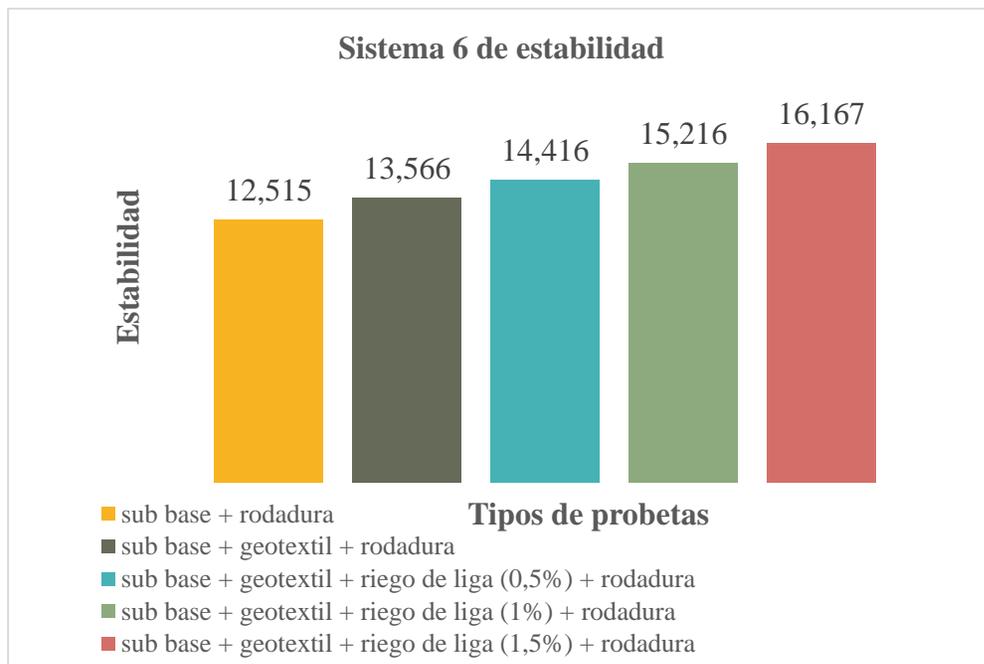
4.2.2.2 Histograma de resultados (Sistema 6)

Tabla 4.14. Resultados de probetas (Sistema 6)

Sistema 6		
Tipo de probeta	Estabilidad (Kg/cm ²)	Deformación (mm)
B	12,515	2,980
B-2	13,566	2.625
B-3	15,216	2,328
B-4	14,416	2,430
B-5	16,167	2,269

Fuente: Elaboración propia

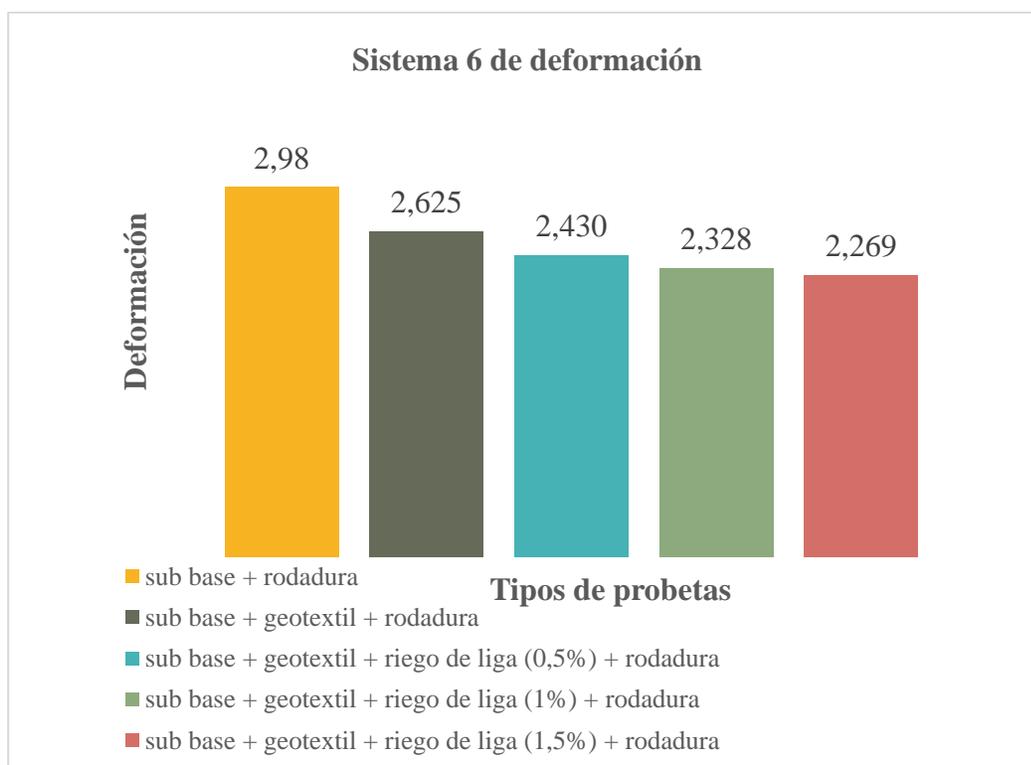
Figura 4.11. Grafica (Estabilidad – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

Las probetas del (sistema 6), la probeta de capa sub base + geotextil + riego de liga 1,5% + capa de rodadura (B-5), con un valor de estabilidad de 16,167 (Kg/cm²), tiene el valor mayor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que el riego de liga aumenta la estabilidad, esto se debe a que el riego de liga ayuda a la adherencia entre las capas de la estructura del pavimento restaurado, al adherirse la estructura trabaja como uno solo, una buena adherencia ayuda a prevenir la delaminación y el deslizamiento entre las capas, cuando se someten a fuerzas de tensión, generadas por las cargas externas, sobre las capas del pavimento.

Figura 4.12. Grafica (Deformación – Tipo de probeta)



Fuente: Elaboración propia

En el (sistema 6), la probeta de capa sub base + geotextil + riego de liga 1,5% + capa de rodadura (B-5), con un valor de deformación de 2,269 (mm), tiene el valor menor en relación a los otros tipos de probetas estudiadas, el cual al evaluar se observa que el riego de liga disminuye la deformación, este efecto se debe a que el riego ayuda a la adherencia entre las capas del pavimento, una buena adherencia ayuda a distribuir las cargas ejercidas de manera uniforme a lo largo de toda la estructura, lo que reduce las tensiones concentradas, que pueden causar mayores deformaciones.

4.3 Análisis económico.

Los precios de los diferentes materiales son los siguientes:

Tabla 4.15. Precios unitarios

ANÁLISIS DE PRECIOS				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial (Bs)
Capa sub base	m ³	0,230	135,260	31,110
Capa base	m ³	0,150	187,900	28,185
Capa rodadura	m ²	1,000	232,490	232,490
Riego de liga	m ²	1,000	18,150	18,150
Geomalla de fibra de vidrio	m ²	1,000	29,930	29,930
Geotextil no tejido	m ²	1,000	9,000	9,000

Fuente: Elaboración propia

A partir de los precios unitarios mostrados en la tabla anterior se arma el precio de la estructura del pavimento flexible.

Tabla 4.16. Precio de la estructura de pavimento

Precio de la estructura de pavimento flexible (m ²)	
Descripcion	Costo parcial (Bs)
Capa sub base	31,110
Capa base	28,185
Capa de rodadura	232,490
Total de precio	291,785

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.17 Precio de la estructura de pavimento con geotextil y riego de liga

Precio de la estructura de pavimento flexible (m ²)	
Descripcion	Costo parcial (Bs)
Capa sub base	31,110
Capa base	28,185
Capa de rodadura	232,490
Riego de liga	18,500
Geotextil no tejido	9,000
Total de precio	319,285

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.18. Precio de la estructura de pavimento con geomalla y riego de liga

Precio de la estructura de pavimento flexible (m ²)	
Descripcion	Costo parcial (Bs)
Capa sub base	31,110
Capa base	28,185
Capa de rodadura	232,490
Riego de liga	18,500
Geomalla de fibra de vidrio	29,930
Total de precio	340,215

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De acuerdo con el estudio correspondiente a la evaluación de la influencia de pavimentos utilizando un geosintético y el riego de liga en la restauración de pavimentos flexibles se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se revisó los documentos bibliográficos, para cumplir con las especificaciones técnicas de construcción de pavimentos.
- Para utilizar los agregados, en la estructura del pavimento, previamente deben cumplir con las especificaciones técnicas generales de construcción del pavimento (ABC).
- En el sistema 1, se evidencia en los resultados, que la probeta de capa base + geotextil + capa de rodadura, se eleva 10,2% de estabilidad y disminuye 14,0% de deformación, en relación a la probeta convencional de capa base + capa de rodadura.
- En el sistema 2, se evidencia en los resultados, que la probeta de capa sub base + geotextil + capa de rodadura, se eleva 8,4% de estabilidad y la probeta de capa sub base + geomalla + capa de rodadura, disminuye 12,2% de deformación, en relación a la probeta convencional de capa sub base + capa de rodadura.
- En el sistema 3, se evidencia en los resultados, que la probeta de capa sub base + geotextil + capa base + capa de rodadura, se eleva 31,2% de estabilidad y la probeta de capa sub base + geomalla + capa base + capa de rodadura, disminuye 32,5% de deformación, en relación a la probeta convencional de capa sub base + capa base + capa de rodadura.
- En el sistema 4, se evidencia en los resultados, que la probeta de capa sub base + capa base + geotextil + capa de rodadura, se eleva 11,6% de estabilidad y disminuye 18,4% de deformación, en relación a la probeta convencional de capa sub base + capa base + capa de rodadura.

- En el sistema 5, se evidencia en los resultados, que la probeta de capa base + geotextil + riego de liga 1,5% + capa de rodadura, se eleva 21,2% de estabilidad y disminuye 25,3% de deformación, en relación a la probeta convencional de capa base + capa de rodadura.
- En el sistema 6, se evidencia en los resultados, que la probeta de capa sub base + geotextil + riego de liga 1,5% + capa de rodadura, se eleva 29.2% de estabilidad y disminuye 23.9% de deformación, en relación a la probeta convencional de capa sub base + capa de rodadura.
- Finalmente se observa que los geosintéticos y el riego de liga, ayuda a mejorar las propiedades del pavimento, aumentando la estabilidad y disminuyendo la deformación del pavimento restaurado.
- Verificando los precios de los geosintéticos, el geotextil no tejido es la mejor opción para el uso de la restauración del pavimento, tanto por el precio del mismo y las mejoras de las propiedades estudiadas.

5.2 Recomendaciones

- Para poder analizar correctamente los diferentes tipos de probetas separar en sistemas donde se trabaje con las mismas capas del pavimento, caso contrario los resultados dan dispersos.
- Revisar los manuales y la guía técnica antes de realizar los ensayos.
- Al extraer las muestras de los agregados llevar material que sea impermeable así no pierde humedad y los mismo mantener en lugares y recipientes herméticos.
- Utilizar el manual de la ABC porque estos manuales están acomodados para los tipos de agregados y suelos de nuestro país, también están basados a la norma AASHTO y ASTM.
- Al realizar la caracterización del cemento asfáltico tener cuidado con la gasolina a utilizar porque es una sustancia inflamable.
- Realizar la mezcla asfáltica tener cuidado que la temperatura este entre 160°C y 180°C.
- Antes de realizar los ensayos de compactación y el CBR revisar las guías técnicas.
- Al momento de realizar la lectura de expansión es recomendable tener marcas en el molde para así medir en la misma posición la expansión y no tener lecturas incoherentes.
- Al estar realizando la lectura de penetración y carga en el CBR tener cuidado que el anillo del equipo del CBR este para agregados grueso o finos.
- Tener precaución al estar desmoldando las probetas ya que si se toma la muestra de una sola capa se rompe la probeta.
- Tener mucha precaución para realizar la rotura de las probetas a que pierda humedad ya que en el caso que pierda humedad no se podrá hacer el ensayo en las condiciones más desfavorables.
- Utilizar una vestimenta adecuada con vías de seguridad ya que en el caso pueda suceder algún imprevisto.
- Y por último se recomienda no recalentar cada momento el cemento asfáltico ya que pierde sus propiedades físicas y químicas.