

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El comportamiento y dimensionamiento de la capa base y sub base para el diseño estructural de una carretera con pavimento flexible, son muy importantes para así se pueda construir carreteras que lleguen a cumplir su vida útil, tener beneficios económicos y evitar carreteras mal diseñadas.

Los pavimentos en vías urbanas y rurales son un factor muy importante en el desarrollo socio-económico de las regiones y de los países. Construir pavimentos en el departamento de Tarija es muy necesario para su desarrollo, por ello es importante definir bien la carga de serviciabilidad ya que está en función directa del estado superficial y estructural de un pavimento, para tener un desarrollo socio económico de la población urbana y rural.

Es importante dimensionar apropiadamente las capas estructurales de un pavimento para evitar carreteras antieconómicas y la sobre explotación de ríos o bancos de materiales, tomando en cuenta el comportamiento de cada capa estructural, porque son consecuencia de los diversos resultados obtenidos en la construcción y, particularmente, en el estado actual en el que se encuentra la estructura de las vías y comprobar las condiciones de la estructura y la superficie de rodadura.

Precisamente, por el afán de satisfacer las necesidades que hoy en día se ven en el ambiente de las vías terrestres, debido al incremento de las solicitudes expuestas en carreteras, surge la imperiosa necesidad de proyectar una vida de servicio mayor a estas infraestructuras, lo que nos conlleva a la búsqueda de nuevas alternativas que cumplan de manera satisfactoria estas exigencias, por lo tanto, los materiales con los cuales se pretende mejorar la calidad juega un papel muy importante ya que cada día son más escasos y por consecuencia más caros.

Mediante este trabajo se pretende analizar materiales que conforman las capas base y subbase de tres bancos diferentes para conocer su comportamiento y realizar el

dimensionamiento de espesores del pavimento flexible, para que de esta manera se pueda determinar el material adecuado y tener la mejor elección al momento de diseñar un pavimento flexible.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Es importante realizar un buen diseño estructural de un pavimento, porque es parte de una vía de comunicación terrestre para el desarrollo de una población, donde para su diseño se debe tomar en cuenta su dimensionamiento y su comportamiento del paquete estructural para satisfacer las necesidades que se requieran.

Los pavimentos son la estructura que constituye en general la movilidad tanto en vías urbanas como rurales, es por esto que es de vital importancia su conservación y su adecuado mantenimiento para que de este modo sigan garantizando la seguridad, la comodidad y la economía en el caso de su mantenimiento.

Tomando en cuenta las características de los materiales y cargas de serviciabilidad que deben cumplir según norma es como se debe dimensionar una estructura de un pavimento para que pueda trabajar sin problemas y así ver su comportamiento a la resistencia a tracción del pavimento

Analizar los materiales de capa base, sub base de distintos bancos y los materiales para la carpeta de rodadura ayudan a disgregar de mejor manera los posibles problemas que presentan la estructura de un pavimento.

Entre otros aspectos que se puede analizarse son dos puntos: el primero, se relaciona con la percepción de seguridad y comodidad del usuario, mientras que el segundo se refiere a las ventajas que ofrece una buena superficie de rodamiento desde el punto de vista de su desempeño y en general, una mejor calidad de servicio tomando en cuenta que los materiales utilizados en la capa base y subbase se convierten en el origen de obtener una óptima y adecuada superficie de pavimento.

## **1.3 DISEÑO TEÓRICO**

### **1.3.1 Planteamiento del problema**

#### **1.3.1.1 Situación problemática**

Los pavimentos de la ciudad de Tarija presentan fallas evidentes a simple vista, el problema fundamental en las carreteras es que estos presentan un estado deficiente, debido a la mala elaboración y selección de los materiales componentes del camino, como también a las condiciones climatológicas que son características de la zona o en algunos casos que el terreno presente alguna inestabilidad.

Existen muchos factores que son atribuibles a la presencia de fallas en un pavimento tanto en la estructura como en su superficie que se originan desde la calidad de materiales que se utilizan en las capas que lo componen, todos estos problemas pueden ocasionarse debido a que en el momento de su diseño y construcción del pavimento no se hizo una buena caracterización o utilización de los materiales adecuados en la conformación de la capa base y subbase a emplearse lo que genera este tipo de consecuencias.

#### **Conceptualización de nuestro objeto de investigación**

El dimensionamiento estructural, en un pavimento es una forma de identificar o caracterizar los materiales necesarios para la elaboración de una capa base, sub base y una carpeta de rodadura, tomando como factor importante conocimientos de normas y cargas de serviciabilidad, para poder realizar un método empírico sobre el comportamiento del pavimento al ser aplicado por una carga.

#### **Relato de la situación**

Cuando se diseña un pavimento el investigador debe cumplir parámetros establecidos en diferentes normas sobre los materiales que se utilizaran para la construcción del pavimento, pero los materiales muestran en muchas ocasiones algunas deficiencias y dificultan poder ver el comportamiento de la estructura por lo cual el ingeniero deberá usar una diversidad de criterios para que se asemejen a lo más correcto, sin embargo el

pasar del tiempo muestra resultados, que la eficiencia buscada no se presenta, causando perjuicio en la estructura de los pavimentos.

### **Perspectiva de solución**

Es necesario realizar ensayos de laboratorio de los materiales para hacer un análisis adecuado sobre factores importantes del dimensionamiento y comportamiento de una estructura de un pavimento para ver qué ventajas y desventajas existe en diferentes bancos de materiales.

#### **1.3.1.2 Problema**

¿De qué manera un análisis, nos determina el dimensionamiento y comportamiento de la estructura de un pavimento flexible, cuando se trabaja con distintos bancos de materiales y cargas de serviciabilidad?

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 Objetivo general**

- Analizar el dimensionamiento de la estructura de un pavimento flexible, considerando normas, para realizar una capa base y sub base con distintos bancos de materiales, con el fin de ver empíricamente el comportamiento de la estructura al aplicar una carga a compresión.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Realizar un marco teórico de la conformación de las características de los materiales de un pavimento.
- Realizar la caracterización de los materiales que conforman cada capa de la estructura del pavimento flexible.
- Dimensionar las capas base y sub base con distintos bancos de materiales, para calcular su espesor.
- Elaborar moldes de la estructura del pavimento tomando tres bancos de materiales para las capas base y sub base.

- Evaluar un método empírico del comportamiento de un pavimento flexible cuando se le aplica una carga estática.
- Determinar a partir de los resultados obtenidos establecer conclusiones y recomendaciones finales del tema.

## **1.5 ALCANCE**

El alcance de la investigación es de tipo correlacional. La investigación del presente proyecto es descriptiva para realizar un análisis sobre el diseño de un pavimento flexible, donde la granulometría de los agregados y el comportamiento dimensional, se verán relacionados porque la granulometría definirá como afecta en el diseño experimental.

Teniendo tres bancos de materiales para las capas base y subbase se busca ver sus similitudes o diferencias en las características granulométricas de cada material para definir un resultado de cada banco.

Realizar el diseño de un pavimento, se llegara a investigar el comportamiento dimensional de las capas base y subbase del pavimento, mediante un ensayo a compresión para definir una mejor resistencia según su granulometría de cada diseño.

Definir qué relación tiene la granulometría de los materiales y el comportamiento dimensional de cada diseño y después se analizara que diseño según la variación de la granulometría tienen mayores efectos en el comportamiento dimensional de cada pavimento. Como una utilidad principal del estudio es saber el comportamiento dimensional de cada diseño sabiendo los espesores de cada capa, a partir de los valores conocidos de las características granulométricas.

Se dará un valor explicativo, aunque será parcial pues hay otros factores vinculados al comportamiento dimensional, ya que además de la granulometría, también están relacionadas las variables carga de tráfico, textura y color del material, la explicación del efecto del comportamiento dimensional será más claro.

La utilidad principal de los estudios correlacionales es saber cómo se puede comportar un concepto o una variable al conocer el comportamiento de otras variables vinculadas. Es

decir, intentar predecir el valor aproximado que tendrá un grupo de individuos o casos en una variable, a partir del valor que poseen en la o las variables relacionadas.

## 1.6 HIPÓTESIS

Si se realiza la caracterización granulométrica de diferentes bancos de materiales para el diseño de la capa base y sub base, entonces afectara al comportamiento dimensional del pavimento flexible.

## 1.7 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

### 1.7.1 Variable independiente

La granulometría de los áridos.

### 1.7.2 Variable dependiente

Comportamiento dimensional.

### 1.7.3 Conceptualización y operacionalización de variables

Tabla 1.7:1 Conceptualización y operacionalización de variable independiente

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción
<b>Variable independiente</b> La granulometría de los áridos.	La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices	Material para la capa sub-base	Tamaño máximo de las partículas es de 7,5 cm	Juego de tamices
			Porcentaje máximo retenido del 10 % en tamiz 200	
		Material para la capa base	Porcentaje retenido en el tamiz N° 10 deberán ser partículas duras y durables.	Juego de tamices
			El 50 % del peso retenido en el tamiz N° 4 debe tener una cara fracturada	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.7:2 Conceptualización y operacionalización de la variable dependiente

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción
<b>Variable dependiente</b> Comportamiento dimensional.	Es realizar un análisis del comportamiento del pavimento para ver cómo se comportan las capas de la estructura y definir las resistencias que soporta según su material, carga y espesores.	Resistencia a compresión vertical	Peso en toneladas	Método compresión por prensa hidráulica
		Tipo de material	Tres bancos de diferentes zonas	Capa base y sub base
		Espesor	Altura en cm por capa	Numero de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

## 1.8 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.8.1 Identificación del tipo del diseño de investigación

El presente proyecto de investigación del diseño estructural de un pavimento flexible es de tipo descriptiva ya que considera describir mediante un diseño y aplicarlo.

### 1.8.2 Unidades de estudio y decisión muestral por variable

#### 1.8.2.1 Unidad de estudio o muestreo

En este trabajo la unidad de estudio o muestreo será el diseño de espesores del pavimento flexible, con distintos materiales para la capa base y sub base mediante el dimensionamiento de cada capa del pavimento.

#### 1.8.2.2 Población

La población para la siguiente investigación está dada por la cantidad total de diseños realizados ya que se trabajaran con tres bancos de materiales para diseñar tres tipos de capas sub base y base. También realizar el diseño de la capeta de rodadura que será con pavimento flexible.

### **1.8.2.3 Muestra**

Como muestra se estudiara el comportamiento de la estructura de un pavimento flexible, tomando en cuenta que se aran tres diseños de capa sub base y base, con los tres bancos de materiales que comprende en Carachimayo, San Jacinto norte y Puente Jarkas. Y un diseño de carpeta de rodadura de pavimento flexible.

### **1.8.2.4 Muestreo**

El muestreo es no probabilístico y se aplicara un muestreo por conveniencia ya que se ha extraído de diferentes bancos de materiales que son usuales en la región. Los tres bancos son materiales que ya se usó para la construcción de carreteras.

## **1.9 METODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS**

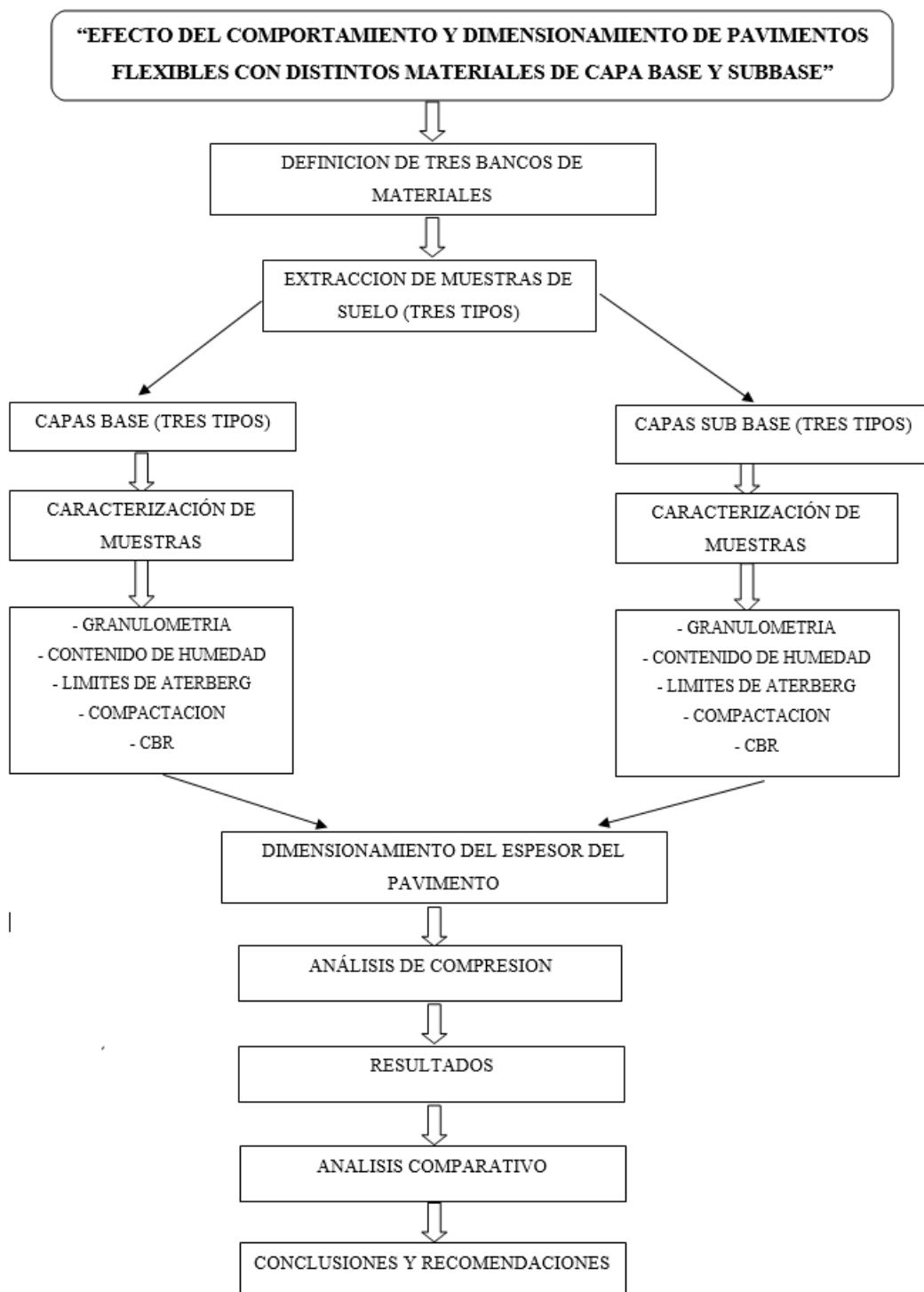
### **1.9.1 Listado de actividades a realizar**

- Muestreo de materiales de los tres bancos en estudio.
- Caracterización de agregados.
- Aforo de tráfico.
- Dimensionamiento del pavimento flexible con el programa ESTRUCPAV para los diferentes bancos de materiales de capa base.
- Ensayos de prueba de compresión simple sobre las diferentes capas del pavimento flexible.
- Construir gráficas de los resultados obtenidos.
- Realizar un análisis estadístico.



## 1.9.2 Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva

Gráfico 1.9:1 Esquema de actividades para la presente investigación



Fuente: Elaboración propia

### **1.9.3 Método y técnicas empleadas**

Los métodos, técnicas y medios que se usaran para la realización del presente trabajo son los siguientes:

#### **1.9.3.1 Métodos**

En nuestro caso emplearemos el método inductivo ya que se acomoda al estudio que se pretende realizar. El método inductivo va de lo particular a lo general, lo empleamos cuando queremos llegar a un principio general a partir de realizar el análisis de algún fenómeno o de un tema en particular. Se empleará este método porque en nuestro trabajo se pretende realizar la evaluación de los materiales que componen las capas base y subbase de los pavimentos flexibles, su comportamiento y de qué manera afecta a su dimensionamiento.

#### **1.9.3.2 Técnicas**

Las técnicas de estudio son herramientas, procedimientos o métodos que se utilizan para el estudio de un determinado tema, existen variedad de técnicas que son empleadas en el análisis de algo en particular.

Aplicaremos la técnica experimental, que está basada en la realización de experimentos que buscan hallar resultados de diferentes pruebas, de los cuales se obtienen parámetros para un determinado elemento que todavía no ha sido establecido oficialmente. Se utiliza la técnica experimental con el fin de obtener nuevas soluciones, posibilidades y elementos que puedan ser aplicados de tal modo que a partir de varios ensayos se llegue a establecer una conclusión que pueda ser útil a futuro. En nuestro caso se realizarán las pruebas o ensayos en laboratorio de suelos, necesarios para determinar las características de diferentes materiales que podrán ser usados para capas base y subbase en el diseño de espesores de pavimentos flexibles.

#### **1.9.3.3 Descripción de los instrumentos para la obtención de datos**

Para este proyecto se realizará un estudio completo, ya que se realizará un estudio completo de materiales granulares, donde serán analizadas las características y

resistencias que ofrecen los materiales de tres diferentes bancos para la conformación de capas base y subbase. Todo este procedimiento estará plasmado en hojas de registro. Para el diseño de espesores de pavimento flexible se hará uso de programa ESTRUCPAV, en el cual ingresaremos los datos obtenidos de los estudios realizados a diferentes materiales para capas base y subbase.

#### 1.9.3.4 Procedimientos de aplicación

Se dará inicio a la aplicación práctica de este proyecto definiendo los tres bancos de suelos que se van a utilizar para realizar extracciones de tres tipos de suelos para capa base y subbase. Contaremos con un conjunto de datos N (datos que representan a la población, que en este caso serán los espesores del pavimento flexible, y otro conjunto de datos n (datos que representan la muestra, que en este caso son los materiales que conforman las capas base y subbase del pavimento flexible) que serán clasificados de acuerdo a las características que cada material solicite para así poder realizar un mejor análisis de todos los datos.

Después de dicha definición se procederá a la extracción de muestras de suelo para su posterior análisis mediante ensayos en laboratorio, para su clasificación y caracterización del mismo. Las muestras serán analizadas de tres diferentes tipos de materiales que conforman las capas base y subbase del pavimento flexible para determinar su comportamiento para conformar esta estructura.

Los ensayos a realizar para los distintos materiales serán los siguientes:

Tabla 1.9:1 Ensayos de caracterización de materiales estudiados

Capa base	Capa subbase
Granulometría	Granulometría
Contenido de humedad	Contenido de humedad
Límites de Atterberg	Límites de Atterberg
Compactación	Compactación
CBR	CBR

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realizará el dimensionamiento del espesor del pavimento utilizando los materiales que han sido analizados, aplicando el programa ESTRUCPAV, que es un software desarrollado para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles. Este programa proporciona facilidades para analizar diseños y su sensibilidad frente a variables que intervienen, comparar alternativas y realizar procesos de optimización. Con los datos del diseño se realizará muestras del paquete estructural para ser sometidos a esfuerzos de compresión. Finalmente, en base a los datos obtenidos se realizará la comparación de los resultados, para tener la mejor opción del material granular que se pueda emplear en el diseño de espesores de pavimento.

## CAPÍTULO II

### CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

#### 2.1 GENERALIDADES SOBRE PAVIMENTOS

Los pavimentos para carreteras y vías urbanas son estructuras viales multicapa, es decir, están constituidos por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales compuestas por materiales seleccionados. Esas estructuras son diseñadas para soportar las cargas impuestas por el tránsito y por las condiciones ambientales (función estructural). Asimismo, deben diseñarse con el fin de ofrecer un paso cómodo, seguro y confortable al parque automotor que se imponga sobre su superficie en determinado periodo de tiempo (objetivo funcional). Las cargas dinámicas de los vehículos que transitan sobre estas estructuras producen en las interfaces de las capas esfuerzos cíclicos y deformaciones verticales, horizontales y de corte. El pavimento se soporta sobre una subrasante natural o sobre una plataforma, que puede ser la subrasante mejorada, estabilizada, o un terraplén, que se denomina capa de conformación.

##### 2.1.1 Funciones de un pavimento

Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitarán y del volumen de tráfico.

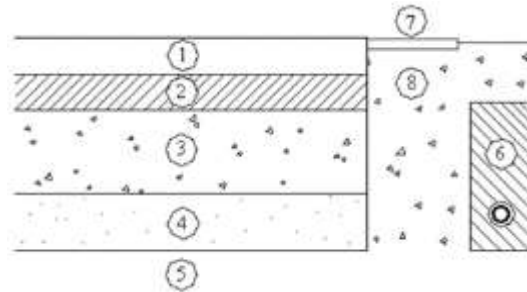
En un camino no pavimentado, las condiciones de funcionamiento son precarias, lo que genera limitaciones en las velocidades y las cargas de los vehículos, también se elevan los costos operacionales (mantenimiento y combustible).

##### 2.1.2 Componentes de un pavimento

En la imagen 2.1 se muestra esquemáticamente, los componentes principales de un pavimento asfáltico. Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un

estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base, la fundación está formada por las capas subbase y suelo compactado.

Imagen 2.1:1 Sección típica de un pavimento



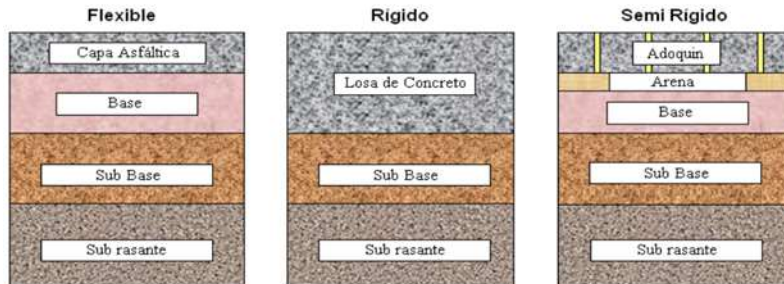
Fuente: Instituto tecnológico de aeronáutica, Ingeniería de Pavimento, Brasil, 2000.

1. Capa de rodadura
2. Capa base
3. Capa subbase
4. Suelo compactado
5. Subrasante
6. Subdrenaje longitudinal
7. Revestimiento de hombreras
8. Subbase de hombre

## 2.2 TIPOS DE PAVIMENTO

Estructuralmente hablando existen dos tipos de pavimentos, los flexibles y los rígidos, estos se diferencian por la manera en que transmiten las cargas hacia la subrasante. Otra característica es la capa de rodamiento. De acuerdo con los criterios anteriores los pavimentos se pueden clasificar en los tres grupos siguientes (ver imagen).

Imagen 2.2:1 Tipos de pavimentos



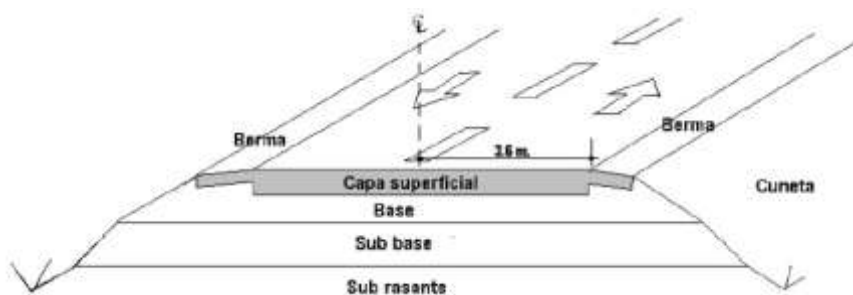
Fuente: Efectos de la alta compactación de la capa de base en pavimentos flexibles.

## 2.3 PAVIMENTOS FLEXIBLES

### 2.3.1 Definición del pavimento flexible

Se denomina pavimento flexible a aquel cuya estructura total se flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings. Los pavimentos asfálticos o flexibles son aquéllos contruidos con materiales asfálticos y materiales granulares. Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas dependencias de las necesidades particulares de cada obra.

Imagen 2.3:1 Estructura típica de un pavimento asfáltico flexible



Fuente: (Escobar, 2012)

## **2.3.2 Propiedades y funciones de los pavimentos flexibles**

### **2.3.2.1 Propiedades**

Para obtener una mezcla de calidad, esta debe poseer las propiedades siguientes:

Estabilidad.

Durabilidad.

Flexibilidad.

Resistencia a la fatiga.

Resistencia al deslizamiento.

Impermeabilidad.

Trabajabilidad.

#### **2.3.2.1.1 Estabilidad**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otros efectos que indican cambios en la mezcla. Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

#### **2.3.2.1.2 Durabilidad**

Es la habilidad de una carpeta de asfalto, para resistir factores como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y la separación de las películas de asfalto. Esta propiedad se mejora de tres formas: usando la mayor cantidad posible de asfalto,



usando una gradación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

#### **2.3.2.1.3 Flexibilidad**

Es la capacidad de la carpeta asfáltica para acomodarse ligeramente, sin sufrir agrietamiento, soportando los movimientos graduales y asentamientos de la base y subbase. Los asentamientos en el pavimento pueden ocurrir debido a que falle cualquiera de sus componentes. Provocando daños visibles en la carpeta de rodadura.

#### **2.3.2.1.4 Resistencia a la fatiga**

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se conoce por medio de los estudios realizados a diferentes carpetas asfálticas, que los vacíos y la viscosidad del asfalto, tienen un efecto considerable en la resistencia a la fatiga.

#### **2.3.2.1.5 Resistencia al deslizamiento**

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se conoce por medio de los estudios realizados a diferentes carpetas asfálticas, que los vacíos y la viscosidad del asfalto, tienen un efecto considerable en la resistencia a la fatiga.

#### **2.3.2.1.6 Impermeabilidad**

Es la resistencia al paso de aire y agua hacia el interior del pavimento o a través de él. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos. Cierta grado de permeabilidad es aceptable, siempre y cuando, este dentro de los límites especificados.

#### **2.3.2.1.7 Trabajabilidad**

Es la facilidad con la cual una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. El asfalto no es la

principal causa de los problemas de trabajabilidad, sí tiene algún efecto sobre esta propiedad.

## **2.4 FUNCIONES DE LAS DISTINTAS CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE**

### **2.4.1 Subrasante**

Generalmente es el terreno natural en la cual se apoya toda la estructura del pavimento, es decir que no forma parte de la estructura en sí. Sin embargo, la capacidad soporte de la subrasante es un factor básico que afecta directamente la selección de los espesores totales de las capas del pavimento. Dado que para materiales de subrasante débiles se requerirán espesores de pavimento mayores que para subrasantes compuestas por materiales con mejor capacidad soporte.

En algunos casos, esta capa está formada solo por la superficie del terreno. En otros casos, cuando en estado natural el material de corte del lugar es de muy baja calidad, se tendrá que hacer un proceso de mejoramiento, estabilización y luego darle el grado de compactación necesario para obtener la subrasante adecuada.

### **2.4.2 Capas de relleno o material selecto**

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

### **2.4.3 Capa de subbase**

Es una capa compactada compuesta por materiales naturales u obtenidos mediante trituración, a través de un proceso de producción controlado para obtener un material con características estructurales adecuadas a un costo razonable. Se diferencia de la capa de base por poseer especificaciones menos restrictivas en cuanto a su plasticidad, graduación y capacidad soporte.

La función de la subbase, en un pavimento flexible, es puramente económica, buscando así obtener un espesor utilizando el material más barato posible. Podría construirse dicho espesor con materiales de alta calidad como en el caso de la base, pero usualmente se hace aquella más delgada y se sustituye en parte por la subbase que es de menor calidad, trayendo como resultado un aumento en el espesor total del pavimento, pues es un hecho que cuando menor es la calidad del material utilizado, mayor será el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos.

Otra función de la subbase es la de servir de transición entre la base y la subrasante; ya que el material de la base es granular más o menos grueso y el de la subbase es más fino que el anterior, de esta manera sirve como filtro para evitar que el material de la base se incruste en la subrasante. La subbase sirve también para absorber las deformaciones que provienen de la subrasante y que pueden ser perjudiciales para el pavimento en general.

Así también lo son los cambios volumétricos asociados a los cambios de humedad. La subbase sirve también como drenaje para desalojar el agua que se infiltre en el pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de la terracería.

De las funciones mencionadas anteriormente, la estructural y la económica son las que más se proyectan en la construcción de pavimentos, el resto dependen de las circunstancias y de los materiales con los que se cuente para la subbase.

Las características de calidad que se buscan en los materiales de subbase son los siguientes.

Tabla 2.4:1 Especificaciones de granulometría de capa subbase

<b>Tamiz</b>	<b>Material granular</b>
3"	100-100
2"	100-100
1 1/2"	100-100
1"	55-100
3/4"	-----
3/8"	30-75
Nº4	20-65
Nº10	10-50
Nº40	5-30
Nº200	0-20

Fuente: Norma ABC (Administradora Boliviana de Carreteras)

Tabla 2.4:2 Especificaciones de materiales de capa subbase

<b>Prueba</b>	<b>Para subbase</b>
CBR, mínimo	40
Limite líquido, máximo	35
Índice plástico, máximo	8

Fuente: Norma ABC (Administradora Boliviana de Carreteras)

#### **2.4.4 Capa de base**

Es la capa compactada que se encuentra bajo la superficie de rodamiento. La capa de base es un elemento fundamental del pavimento desde el punto de vista estructural, su propósito consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita los esfuerzos inducidos por el tráfico, en una intensidad apropiada, hacia las capas inferiores.

Esta también reduce el espesor de la carpeta más costosa. Muchas veces la base también debe trabajar como la subbase, respecto a la doble función de drenaje mencionada anteriormente. Básicamente el material que constituye a la base, en el pavimento flexible, debe ser friccionante y provisto de vacíos. La primera garantizará la resistencia adecuada y la permanencia de dicha resistencia con la variación de las condiciones que se puedan presentar, como podría ser el contenido de agua.

Es lógico que no basta sólo con emplear material friccionante para garantizar la resistencia deseada, es necesaria también una compactación adecuada, necesaria para adquirir la compacidad y trabazón estructural requerida para una buena base. Es muy importante mencionar que esta capa debe impedir, hasta donde sea posible, la infiltración del agua al interior del pavimento.

Se llama así a la capa construida sobre la subbase. Se diferencia de esta por la mejor calidad de sus materiales y las mayores exigencias en las especificaciones de construcción. Aun cuando se tiene funciones a las de la subbase, su importancia radica en su capacidad estructural y de protección del resto del pavimento; además, permite la circulación de los vehículos mientras se construye la capa de rodadura.

Las especificaciones para los materiales de estas capas requieren una mayor regulación en cuanto a su plasticidad, graduación y resistencia.

La base se construye con materiales granulares procesados en planta o estabilizados, producidos bajo estándares de calidad más estrictos y controlados que la subbase. Cuando la capa de base es estabilizada químicamente se evita que el agua que logra infiltrar a través de la capa de rodamiento llegue hacia la subbase y subrasante, a la vez se aumenta la capacidad estructural de la base.

Las características de calidad que se buscan en los materiales de base son los siguientes.

Tabla 2.4:3 Especificaciones de granulometría de capa base

<b>Tamiz</b>	<b>Material granular</b>
3"	100-100
2"	100-100
1 1/2"	70-100
1"	60-90
3/4"	-----
3/8"	40-75
Nº4	30-60
Nº10	15-45
Nº40	10-30
Nº200	0-15

Fuente: Norma ABC (Administradora Boliviana de Carreteras)

Tabla 2.4:4 Especificaciones de materiales de capa base

<b>Prueba</b>	<b>Para base</b>
CBR, mínimo	80
Limite líquido, máximo	35
Índice plástico, máximo	6

Fuente: Norma ABC (Administradora Boliviana de Carreteras)

### 2.4.5 Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la parte superior de un pavimento flexible. Es una capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base. Olivera (1994) cita que los materiales pétreos son suelos inertes que se consiguen en ríos, arroyos o depósitos

naturales. Para poder ser empleados en la carpeta asfáltica deben cumplir con ciertas características dadas por la granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. El contenido óptimo de asfalto para una carpeta, es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con un espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad. Se recomienda que las partículas que se utilicen tengan forma esférica, ya que las que son en forma de laja o de aguja pueden romperse muy fácilmente y afectar la granulometría.

Las funciones de la carpeta asfáltica son las siguientes:

- Proporcionar una superficie de rodamiento que permita un tránsito fácil y cómodo para los vehículos.
- Impedir la infiltración de agua de lluvia hacia las capas inferiores.
- Resistir la acción de los vehículos.

#### **2.4.6 Criterios de diseño normalizado**

Para el diseño de mezclas asfálticas, deben cumplir con la caracterización mediante ensayos establecidos por las normas AASHTO y ASTM, como se muestra en las siguientes tablas:

Ensayos de laboratorio agregados

Granulometría Norma AASHTO T27; ASTM C 136

Desgaste de los ángeles Norma AASHTO T96; ASTM C 131

Equivalente de arena Norma AASHTO T176; ASTM D2419

Gravedad específica y absorción del agregado gruesos y finos Norma AASHTO T84; AASHTO T85; ASTM C 127; ASTM C 128.

Peso unitario y vacío norma AASHTO T19; ASTM C2M.

Ensayo de laboratorio para asfaltos

Viscosidad norma AASHTO 201

Penetración norma AASHTO T49; ASTM D5

Punto de inflamación, norma AASHTI T48; ASTM D92

Ductilidad, norma AASHTO T51; ASTM D113

Peso específico, norma AASHTO T228; AASHTO T85; AASHTO T84

#### **2.4.7 Requisitos del agregado pétreo**

##### **2.4.7.1 Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.**

Tabla 2.4:5 Características de los agregados

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste de los ángeles, %	35
Partículas alargadas y lajeadas, % máxima	40
Equivalente de arena, % mínimo	50
Perdida de estabilidad por inmersión en agua, % máximo	25

Fuente: SCT, 2003.

##### **2.4.7.2 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa**



Tabla 2.4:6 Granulometría de los agregados para la carpeta de rodadura

Malla		Tamaño				
Abertura mm	Designación pulg	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm
		1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"
50	2"	-	-	-	-	-
37,5	1 1/2"	-	-	-	100	90-100
25	1"	-	-	100	90-100	76-90
19	3/4"	-	100	90-100	79-92	66-83
12,5	1/2"	100	90-100	76-89	64-81	53-74
9,5	3/8"	90-100	79-92	67-82	56-75	47-68
6,3	1/4"	76-89	66-81	56-71	47-58	36-59
4,75	N° 4	68-82	59-74	50-64	42-58	35-53
2	N° 10	48-64	41-55	36-64	30-42	26-38
0,85	N° 20	33-49	28-42	25-35	21-31	19-28
0,425	N° 40	23-37	20-32	18-27	15-24	13-21
0,25	N° 60	17-29	15-25	13-21	11-29.	9-16.
0,15	N° 100	12-21.	11-18.	9-16.	8-14.	6-12.
0,075	N° 200	7-10.	6-9.	5-8.	4-7.	3-6.

Fuente: SCT, 2003.

### 2.4.7.3 Requisitos del ligante asfáltico

Tabla 2.4:7 Requisitos de calidad para cemento asfáltico

N°	Características	Detalle		Exigencia
		AASTHO	ASTM	
1	Penetración a 25 °C	T-49-97	D-5	85-100
2	Vaso abierto Cleveland punto de inflamación °C	T-48	D92	>a 232 °C
3	Viscosidad saybol furol a 135 °C, seg.	T-72	D-102	>85 seg
4	Solubilidad en tricloro etileno %	T-44	D-2042	>a 99,00 %
5	Ductilidad 25 °C	T-51	D-113	>a 100 cm
6	Ensayo de horno película delgada	T-179	D-1757	<a 1
7	Penetración del residuo de pérdida, x calentamiento % original	T-49	D-5	>a 50

Fuente: SCT, 2005

### **2.4.8 Método de diseño Marshall**

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

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1,5"). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

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

#### **2.4.8.1 Especificaciones de la metodología**

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios que se discutirán en este capítulo. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto, para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4 %. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas. Si todos los criterios se

cumplen, entonces se tiene el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesita hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

Tabla 2.4:8 Criterios de diseño Marshall

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

Fuente: Instituto de Asfalto

Tabla 2.4:9 Valor de vacíos de agregado mineral

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

Fuente: Instituto de Asfaltos

## 2.5 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PARA PAVIMENTO

Las capas de base y/o subbase compuestas por agregados granulares poseen ciertas características que gobiernan su comportamiento, por lo que deben conocerse y entenderse para poder ser aprovechadas. A continuación, se describen y comentan algunas de estas propiedades.

### **2.5.1 Granulometría**

La granulometría de los agregados influye de manera directa en muchas de las características y el comportamiento de una capa de pavimento. Un material con granulometría bien graduada produce una capa de pavimento con menor contenido de vacíos, mayor densidad y capacidad soporte que uno con granulometría uniforme. Esto es posible, gracias a que se aumenta el contacto entre las partículas, se reducen los espacios vacíos y se incrementa la resistencia al corte.

Por el contrario, un material con granulometría uniforme, es decir aquel cuyas partículas tienen un solo tipo de tamaño, son menos susceptibles ante los efectos de la compactación. Por tanto, sus propiedades mecánicas no experimentan grandes cambios a pesar de que se intente densificar el material mediante procedimientos de compactación.

### **2.5.2 Peso unitario seco máximo**

Es la relación que existen entre la magnitud de la masa seca de un material y el volumen que este material puede alcanzar al ser sometido a un esfuerzo de compactación definido. Este valor se determina mediante el pico de la curva de compactación (Proctor) para distintos contenidos de humedad. En esta curva de compactación existe un contenido de humedad óptima, para el cual la energía de compactación aplicada reduce los vacíos al mínimo e incrementa la densidad al máximo.

Nuevamente la granulometría del material afecta el comportamiento del peso unitario seco máximo de los materiales. Agregados con graduación uniforme producen una curva de compactación plana, es decir que el contenido de agua adicionado al material no incide de manera influyente en la densificación del material. En cambio, los agregados bien graduados y no uniformes producen una curva de compactación bien definida, en la cual se puede observar un claro incremento de la densidad en función del contenido de agua del material, hasta alcanzar un máximo, a partir de los cual incrementos adicionales de humedad provocan decremento en la densidad.

### **2.5.3 Plasticidad y susceptibilidad al agua**

Se determina mediante los ensayos empíricos de límite líquido y límite plástico y permiten caracterizar las propiedades de la fracción fina de los suelos. Esta característica permite evaluar el riesgo de expansión-contracción y susceptibilidad al agua de un material, principalmente si contiene altas proporciones de finos plásticos o limosos.

La diferencia entre límite líquido y límite plástico se conoce como índice de plasticidad. Los suelos finos que presentan alto índice de plasticidad son más susceptibles a mostrar cambios de volúmenes y disminución de su resistencia, cuando su contenido de humedad varía de un estado seco hasta uno saturado y viceversa. La susceptibilidad de estos materiales puede ser reducida en cierto grado cuando son compactados, dado que se reduce su permeabilidad.

### **2.5.4 CBR (California Bearing Ratio)**

Es la carga requerida para producir una cierta penetración en un suelo con un pistón estándar, expresado como un porcentaje de la carga requerida para introducir el pistón a la misma profundidad en una piedra triturada seleccionada de referencia.

Tanto el valor soporte del suelo como el CBR se determinan mediante ensayos simplificados de laboratorio con cargas estáticas. En estos ensayos se realiza una medición del potencial de resistencia de un material. La experiencia empírica demuestra que estos valores son afectados por la granulometría y compactación de los materiales. De manera que agregados bien graduados y compactados a una densidad alta resultan con altos valores de soporte de suelo.

Sin embargo, este tipo de ensayos no modelan de forma efectiva el comportamiento de las subrasantes y materiales de pavimento ante cargas dinámicas y repetitivas. Por tanto, actualmente se han desarrollado procedimientos de ensayos como el Módulo Resiliente que modelan mejor el comportamiento de una capa de pavimento. Aunque no es previsible que dicho procedimiento de ensayo por su complejidad y costo sea utilizado en países de la región, a continuación, se presenta la definición de dicho concepto.

## **2.6 METODOLOGÍA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO**

### **2.6.1 Método AASHTO 93**

A partir de los resultados del AASHTO Road Test, el comité de diseño de la AASHTO produjo en 1972 la “Guía provisional AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles”, la cual se basó, en los procedimientos de diseño existentes. Después de haber sido utilizado por algunos años, éste fue ajustado dando origen a la versión de 1993, a la cual se incorporó nuevas consideraciones entre las que cabe mencionar la confiabilidad del diseño, los módulos de elasticidad de la subrasante, las capas del pavimento, los factores ambientales de temperatura, humedad, el drenaje, aspectos económicos, procedimientos de diseño por construcción por etapas y el conocimiento de los diseños de tipo empírico.

### **2.6.2 Diseño del dimensionamiento estructural de un pavimento flexible**

El dimensionamiento se realizó por el método AASHTO-1993 para el diseño de pavimentos flexibles, se basa primordialmente en identificar un “número estructural (SN)” para el pavimento, que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural, el método se apoya en una ecuación que relaciona los coeficientes, con sus respectivos números estructurales, los cuales se calculan con ayuda de un software, (ESTRUCPAV) el cual requiere unos datos de entrada como son el número de ejes equivalentes, el rango de serviciabilidad, la confiabilidad y el módulo resiliente de la capa a analizar.

El diseño se basa principalmente en encontrar un número estructural “SN”, para que el pavimento flexible pueda soportar al tránsito admisible en ejes equivalentes estándar acumulados de 18,000 lb (8.2 ton). Para determinar el número estructural SN requerido y el tránsito en ejes equivalentes acumulados, el método proporciona la ecuación general y el nomograma. Para obtener el número estructural de las capas de la estructura del pavimento se determina considerando los siguientes parámetros:

### Tráfico (ESALs)

El procedimiento de diseño para carreteras con volúmenes de tráfico tanto altos como bajos está basado en los ESALS acumulados esperados durante el período de diseño, donde el ESAL (Equivalent Simple Axial Load) es la conversión de las cargas, a un número de repeticiones de cargas equivalente de un eje simple de ruedas duales de carga estándar de 18,000 lb. Para la obtención de este valor es necesario el análisis a partir de la composición del tráfico.

### El nivel de confiabilidad (R)

Con el parámetro de confiabilidad “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, durarán como mínimo el período de diseño. Se consideran posibles variaciones en las predicciones del tránsito en ejes acumulados y en el comportamiento de la sección diseñada.

El actual método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más altos corresponden a obras que estarán sujetas a un uso intensivo, mientras que los niveles más bajos corresponden a obras o caminos locales y secundarios.

Tabla 2.6:1 Valores de “R” de confiabilidad

<b>Niveles de confiabilidad</b>	
<b>Clasificación funcional</b>	<b>Nivel recomendado por AASHTO para carreteras</b>
Carretera Interestatal o Autopista	80-100
Red principal o Federal	75-95
Red secundaria o Estatal	75-95
Red Rural o local	50-80

Fuente: Diseño de pavimentos (ASSHTO 97)

### Desviación estándar total (So)

La desviación estándar So, toma en cuenta la variabilidad asociada con el diseño, construcción y comportamiento del pavimento.

La Guía AASHTO' 93 aconseja valores para la desviación estándar So, desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el AASHO Road Test y en base a predicciones futuras de tránsito. En la Tabla 2.6 se dan los valores recomendados por AASHTO' 93 para pavimentos flexibles.

Tabla 2.6:2 Valores de desviación estándar

Condición de diseño	Desvío estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0,44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0,49

Fuente: Diseño de Pavimentos (ASSHTO-97)

El módulo resiliente de la subrasante (MR) y de materiales granulares (CBR).

La base para la caracterización de los materiales de subrasante en este método, es el módulo resiliente o elástico. Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos como por ejemplo el CBR.

La correlación que se utiliza para el presente proyecto es:

$$M_R \text{ (MPa)} = 22.1 * CBR^{0.55} \text{ (12 < CBR < 80)}$$

La pérdida de nivel de servicio durante el periodo de diseño  $\Delta PSI = P_o - P_t$

La serviciabilidad es la capacidad de un pavimento para servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño de pavimentos se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La serviciabilidad inicial  $P_o$  es función del diseño del pavimento y de la calidad



de construcción. La serviciabilidad final o terminal  $P_t$  es función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados por la AASHTO 93 están indicados a continuación:

Serviciabilidad Inicial

$P_o = 4,5$  para pavimentos rígidos

$P_o = 4,2$  para pavimentos flexibles

Serviciabilidad terminal

$P_t = 2,5$  o más para caminos muy importantes

$P_t = 2,0$  para caminos de menor tránsito

Espesores mínimos requeridos para las carreteras de altas especificaciones de la SCT, que se deben considerar en las capas de diseño del pavimento flexible:

Tabla 2.6:3 Espesores mínimos de las capas del pavimento

Número de ESALs	Espesor mínimo (cm)	
	Carpeta asfáltica	Base y subbase hca.
< 50000	2,5	10
50000 - 150000	5	10
150000 - 500000	6,25	10
500000 - 2000000	7,5	15
2000000 - 7000000	8,75	15
> 7000000	10	15

Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO 93)

Ecuación empírica

Esta es la ecuación utilizada para el diseño de pavimentos, derivada de tramos experimentales por la AASHO ROAD TEST.

$$\log(W_{18}) = Z_r \times S_0 + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log(Mr) - 8.07$$

VARIABLES DE ENTRADA A CONSIDERAR

$\Sigma L$  = Tránsito equivalente, en repeticiones acumuladas de ejes estándar (8,2 ton de peso en eje sencillo y presión de inflado de los neumáticos de 5,8 kg/cm<sup>2</sup>).

t<sub>qu</sub> (Z<sub>R</sub>) = Coeficiente de student para un nivel de confianza (QU) conforme al tipo de carretera.

S<sub>0</sub>: Desviación estándar global combinado para las predicciones del tránsito, de la calidad de la construcción y del desempeño del pavimento.

SN = Número estructural correspondiente a la(s) capa(s) analizadas(s).

$\Delta IS$  = ISI-ISR = Caída del índice de servicio (ISA), para un periodo de vida dado de un pavimento.

ISI = Índice de servicio esperado en la carretera al inicio de su operación.

ISR = Índice de servicio de rechazo, al final de la vida útil de la carretera (criterio de falla funcional).

MR = Módulo de rigidez de la capa de sustentación de la(s) capa(s) analizada(s) (psi).

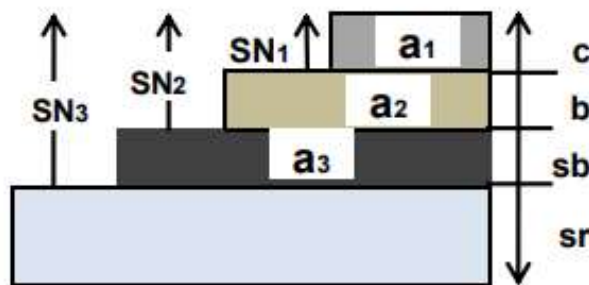
El número estructural (SN), es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinación dada de soporte del suelo (Mr) del tránsito total (W<sub>18</sub>), de la serviciabilidad terminal y de las condiciones ambientales.

### **Determinación de los espesores de capa**

Determinando el número estructural, el paso siguiente consiste en identificar un conjunto de capas cuyos espesores, respetando los espesores mínimos que deberán cumplirse para que cada capa del pavimento pueda lograr la estabilidad y capacidad portante correspondiente a dicho SN.

Siendo el pavimento un sistema multicapa, la distribución de los espesores debe hacerse de acuerdo con los principios que muestra la siguiente figura. Primero se calcula el SN de la subrasante. Del mismo modo, se hallan los SN necesarios sobre las capas de subbase y base, usando los valores aplicables de resistencia en cada caso. Trabajando con las diferencias entre los SN calculados como necesarios sobre cada capa, se determina el espesor máximo permisible de cada uno. Por citar un ejemplo el SN admisible para el material de base debe ser igual a la diferencia entre el SN Total y el que se requiere sobre dicha capa.

Imagen 2.6:1 Esquema estructural de un sistema multicapa elástico



Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO 93)

La siguiente ecuación puede utilizarse para determinar los espesores de cada capa de la estructura del pavimento, es decir, la superficie de rodamiento o carpeta de concreto asfáltico, base, subbase hidráulica y los coeficientes de drenaje.

$$SN_3 = a_1 c + a_2 b m_2 + a_1 sb m_3$$

$a_n$  = Coeficientes estructurales experimentales, de cada capa (1/cm)

$C, b, sb$  = Espesores mínimos de carpeta, base y subbase, respectivamente (cm)

$M_n$  = Coeficientes de drenaje para cada capa de agregados sin estabilizar.

Esta expresión no conduce a una solución única, sino que se presenta muchas combinaciones técnicamente posibles. Al elegir los espesores de las diferentes capas, debe tenerse presente que, desde el punto de vista de costos, si la relación de costo entre las

capas 1 y 2, es menor que la relación correspondiente del producto  $a_i \cdot m_i$ , el diseño óptimo económico es aquel que considera un espesor mínimo de base.

### Ecuaciones propuestas AASHTO

$$C^* = \frac{SN_1}{a_1} \geq C$$

$$SN_1 = a_1 C^* \geq SN_1$$

$$b^* \geq \frac{SN_2 + SN_1^*}{a_2 m_2} \geq b$$

$$SN_1^* + SN_2^* = a_1 C^* + a_2 m_2 b^* \geq SN_2$$

$$sb^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3} \geq sb$$

$n^*$ ,  $SN^*$  n espesor de capa o número estructural real, el cual debe ser igual o mayor al valor requerido. La solución de las ecuaciones se presenta a continuación:

$$C^* = \frac{SN_1}{a_1} \geq C$$

Para esta ecuación, tanto para el número estructural como para el coeficiente de capa, son valores que ya se tienen; por tanto, se puede sustituir directamente. Este valor representa el espesor teórico final de la carpeta asfáltica. Se tendrá que calcular un nuevo número estructural de acuerdo al espesor teórico de la carpeta, calculando con la ecuación anterior:

$$SN_1 = a_1 C^* \geq SN_1$$

Este valor es el número estructural que le corresponde a la carpeta asfáltica y servirá para calcular los demás espesores. Para el espesor de la base se utiliza la ecuación siguiente:

$$b^* \geq \frac{SN_2 + SN_1^*}{a_2 m_2} \geq b$$

Lo anterior representa el espesor teórico de la base. El número estructural para la base se obtiene de despejar  $SN_2^*$  de la siguiente expresión:

$$SN_1^* + SN_2^* = a_1 C^* + a_2 m_2 b^* \geq sb$$

Finalmente, para el espesor de la sub-base se utiliza la siguiente expresión:

$$sb^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3} \geq sb$$

Una vez que se ha resuelto el pavimento multicapa, se procede a comprobar los cálculos mediante la ecuación del número estructural, sustituyendo los valores conocidos de los coeficientes de capa y drenaje, con los espesores de capa calculados con las ecuaciones anteriores.

$$SN_3 = a_1 c + a_2 b m_2 + a_1 s b m_3$$

El resultado debe coincidir con el número estructural calculado con el nomograma o la ecuación general de diseño. El método establece los espesores mínimos que deberán cumplirse para cada capa del pavimento para lograr la estabilidad y cohesión deseadas, en función de los ejes equivalentes de carga.

Una vez obtenido el número estructural para la sección estructural del pavimento utilizando el gráfico o la ecuación general básica de diseño, donde se involucraron parámetros anteriormente descritos (tránsito, R, So, Mr y  $\Delta\text{Psi}$ ) se requiere ahora determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño original.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente ( $D_i$ ), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), Siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

El método presenta cinco categorías de estos coeficientes, de acuerdo con el tipo y la función de la capa considerada: concreto asfáltico, base granular, subbase granular, bases tratadas con cemento portland y base asfáltica.

Concreto Asfáltico: En la tabla de correlaciones estructurales derivadas de los tramos de la AASHTO, se pueden obtener parámetros de rangos de coeficientes estructurales para

estimar el coeficiente (a1) de la capa estructural de rodadura de concreto asfáltico de gradación densa, con base a un módulo elástico (resiliente o dinámico) a 20 °C.

Bases granulares: Se muestran gráficas y correlaciones estructurales que pueden emplearse para estimar el coeficiente estructural (a2).

Bases estabilizadas: Se muestran gráficas y correlaciones estructurales que pueden emplearse para estimar el coeficiente estructural a2 de una base de suelo cemento, a partir de su módulo elástico o de su resistencia a compresión a 7 días y graficas presentan el ábaco para encontrar el coeficiente correspondiente a las bases asfálticas, en función de su módulo o su estabilidad Marshall.

Subbases granulares: Se puede determinar el coeficiente (a3) para una subbase granular, en función de los mismos ensayos considerados para las bases granulares.

### **2.6.3 Variables que intervienen en el diseño (ESTRUCPAV)**

- Confiabilidad “R (%)”
- Desviación estándar de las variables “So”
- Estimación de ejes equivalentes (ESALs)
- Pérdida de serviciabilidad de diseño “□PSI”
- Módulo resiliente de la subrasante.

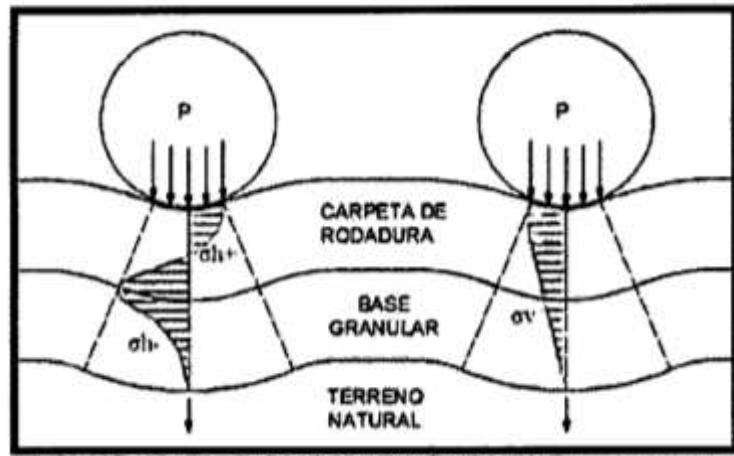
## **2.7 ESFUERZOS PRODUCIDOS EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFALTICO**

La estructura típica del pavimento en nuestro medio está formada por carpeta asfáltica y capas de material seleccionado colocadas sobre la subrasante compactada y subrasante natural, el objetivo es distribuir las cargas provenientes del tránsito, de manera que las presiones verticales a nivel de fundación sean menores a las admisibles por la estructura del pavimento.

La llanta no solo genera esfuerzos verticales sino también esfuerzos horizontales. En una estructura típica de pavimento (carpeta asfáltica, base y subbase granular) los esfuerzos horizontales se disipan a través de la carpeta asfáltica, pasando de un valor positivo en la

superficie a uno negativo en su fibra interior. Los esfuerzos así generados producen fisuras que luego se reflejaran en la superficie. La figura 2.04 muestra la distribución de esfuerzos horizontales ( $\sigma_h$ ) y verticales ( $\sigma_v$ ) de pavimentos típicos.

Imagen 2.7:1 Distribución de esfuerzos en un pavimento flexible



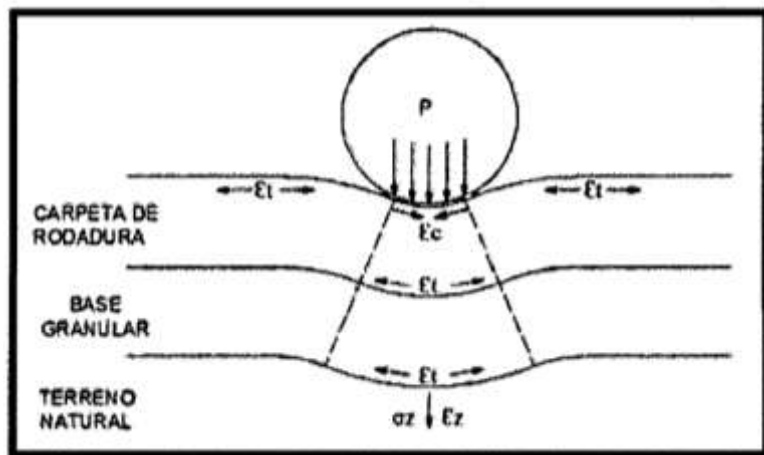
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura, los esfuerzos son reducidos a nivel de base granular, la carpeta de rodadura contribuye en la función estructural cuando posee un espesor mayor de 3 pulgadas, en menores espesores solo contribuye como una capa protectora del pavimento la cual distribuye los esfuerzos a la base, sin disminuirlos.

En la publicación "Análisis deformaciones en el diseño de pavimentos asfálticos", se modela una estructura típica conformada por carpeta asfáltica, base y subbase granulares, y suelo compactado, sobre fundación débil y la alternativa de resolver el problema incrementando el espesor de la carpeta asfáltica. Las condiciones de análisis fueron las mismas, solo se variaron el espesor de la carpeta asfáltica, las cuales fueron de 2, 4 y 6 pulgadas. Llegando a la conclusión que al incrementar el espesor de la carpeta no reduce las deformaciones por tracción, la mejor alternativa es minimizar las deformaciones plásticas a nivel de fundación mediante la estabilización.

Las principales fallas que se producen en el pavimento están asociadas a las deformaciones excesivas a nivel de la sub rasante, reflejando el comportamiento del terreno de fundación y la deformación por tracción, asociado al agrietamiento, figura.

Imagen 2.7:2 Deformaciones en un pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

### 2.7.1 Tipos de fallas en pavimentos flexibles

Durante la vida de servicio de un pavimento, causas de diversos orígenes afectan la condición de la superficie de rodamiento, lo cual compromete su función de ofrecer a los usuarios la posibilidad de un rodaje seguro, cómodo y económico. Entre las causas de falla de un pavimento se pueden mencionar:

- Fin del periodo de diseño original y ausencia de acciones de rehabilitación mayor durante el mismo. En este caso la falla es la prevista o esperada.
- Incremento del tránsito con respecto a las estimaciones del diseño de pavimento original.
- Deficiencias en el proceso constructivo, bien en procesos como tal como en la calidad de los materiales empleados.
- Diseño deficiente.
- Factores climáticos imprevistos
- Insuficiencia de estructuras de drenaje superficial y/o subterráneo.
- Insuficiencia o ausencia de mantenimiento y/o rehabilitaciones de pavimentos.



**Falla estructural:**

Es una deficiencia del pavimento que ocasiona, de inmediato o posteriormente, una reducción en la capacidad de carga de este. En su etapa más avanzada, la falla estructural se manifiesta en la obstrucción generalizada del pavimento.

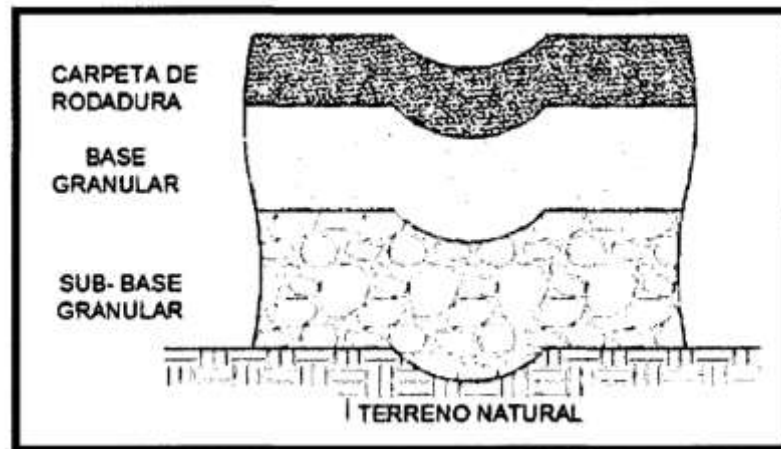
Las fallas estructurales tienen su origen en defectos en una o más de las capas que conforman la estructura del pavimento, las cuales están destinadas a resistir y compartir los esfuerzos impuestos por el tráfico, de manera que a nivel de subrasante o suelo de fundación de pavimento lleguen los esfuerzos en menor valor y lo más distribuido posible.

En estos casos la corrección de las fallas va dirigida al refuerzo de la estructura existente mediante la colocación de una capa cuyo espesor debe ser calculado en función de los requerimientos de las cargas de tráfico previstas para el nuevo periodo de tiempo de vida útil. La falla estructural se deriva de dos causas fundamentales

Cuando la capacidad de deformación - recuperación de los materiales que conforman la estructura de pavimento es "excedida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, desarrollándose deformaciones permanentes (amueblamiento) en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan, modificando los perfiles de la calzada hasta valores que resultan intolerables para la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y que pueden provocar el colapso de la estructura"

Cuando las deformaciones recuperables son elevadas, los materiales y en particular las capas asfálticas sufren el fenómeno denominado fatiga cuando el número de aplicaciones de las cargas pesadas es elevado, que se traduce en reducción de sus características mecánicas. En este caso la deformación horizontal por tracción en la parte inferior de las capas asfálticas al flexionar la estructura, puede exceder el límite crítico y se llega a la iniciación del proceso de fisuramiento"

Imagen 2.7:3 Falta estructural en un pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

Las fallas las podemos clasificar tomando en cuenta el elemento estructural donde se originan:

- Fallas atribuibles a la carpeta.
- Fallas originadas en la interface, carpeta-base como consecuencia de una interacción inadecuada, esto es, un mal acoplamiento entre el material de base y la carpeta.
- Fallas originadas en la base, sub-base o terracerías, como consecuencia de la inestabilidad de una o varias de estas capas.

## **CAPÍTULO III**

### **RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN**

#### **3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES EN ESTUDIO PARA CAPA SUBBASE Y BASE**

Los materiales estudiados corresponden a tres provincias del departamento de Tarija, siendo las provincias de Cercado, Méndez y O'Connor, estos materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las normas AASHTO, para la conformación de capa base y subbase de pavimento flexible. Los agregados son de cantos rodados redondeados, estos son completamente desgastados por el agua o totalmente formados por fricción. La textura se puede decir que es lisa (agregados redondeados).

##### **3.1.1 Criterios de selección de Muestreo**

Para realizar la elección de los bancos se realizó por diferentes criterios por conveniencia. Los tres materiales en estudio corresponden a bancos de acopio con el cual yace construyo carreteras en la región siendo así, bancos de fácil acceso para la extracción. Considerando que son materiales que se encuentran en tres diferentes provincias del departamento de Tarija, por tanto presentan diferentes características en cada zona.

#### **3.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

##### **3.2.1 Banco de Carachimayo**

El banco de Carachimayo se encuentra ubicado en la provincia Méndez sobre la carretera principal que va a la comunidad de Canasmoro en las coordenadas geográficas de latitud sur  $22^{\circ}22'23''$  y longitud oeste  $64^{\circ}44'41''$ . En coordenadas UTM son latitud sur 319099,34 y longitud oeste 7635530,17. El lugar es una zona rural con una población diversa, con terrenos fértiles, con varios terrenos planos que son utilizados para el cultivo de hortalizas y crianzas de animales de granja como vacas, gallinas, chanchos, chivos y caballos.

### 3.2.2 Banco de San Jacinto Norte

El banco de San Jacinto Norte se encuentra ubicado dentro la provincia Cercado sobre la carretera del tramo que conecta el Temporal con San Jacinto con las coordenadas geográficas de latitud sur  $21^{\circ}35'47''$ , longitud oeste  $64^{\circ}41'38''$ . En coordenadas UTM de latitud sur 324638,94 y longitud oeste 7610861,13. El lugar es una zona rural en desarrollo donde existe una población que se dedican a la agricultura y al desarrollo urbano. Presenta lugares con alto relieve en el terreno con vegetación pobre.

### 3.2.3 Banco de Puente Jarkas – Piedra Larga

El banco de Puente Jarcas-Piedra Larga se encuentra ubicado dentro la provincia O´connor sobre la carretera a Entre Ríos en las coordenadas geográficas de latitud sur  $21^{\circ}27'22''$  y longitud oeste  $64^{\circ}29'45''$ . En las coordenadas UTM la latitud sur 344997,63 y longitud oeste 7626601,34. Es un lugar de zona rural con un desarrollo muy bajo ya que tiene una población muy pobre ya que sus terrenos son muy pedregosos donde la agricultura no se puede desarrollar.

## 3.3 MATERIALES PARA SUBRASANTE, SUBBASE Y BASE

Para muestreo de materiales se siguió de acuerdo al manual de ensayos de suelos y materiales de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

Imagen 3.3:1 Acopio de los bancos de materiales para la capa sub base y base



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.3:2 Facilidad de acceso a cada banco



Fuente: Elaboración propia

### **3.4 MATERIALES EN ESTUDIO PARA CAPA DE RODADURA**

Los materiales que se utiliza para el presente proyecto son agregados nuevos (grava, gravilla y arena) y cemento asfáltico.

#### **3.4.1 Criterios de selección de Muestras**

Los agregados a usar son provenientes del acopio de material que tiene la alcaldía municipal de la provincia Cercado del departamento de Tarija que está ubicado en la Pintada. Se tomó este banco de material ya que en el lugar existe una planta de asfaltos la cual usa materiales adecuados para la pavimentación de los caminos de Tarija.

El banco de la Alcaldía se encuentra en las coordenadas geográficas de latitud sur  $21^{\circ}36'13.89''$  y longitud oeste  $64^{\circ}38'29.70''$ . En coordenadas UTM son latitud sur 330070,66 y longitud oeste 7610123,00.

#### **3.4.2 Agregados**

Los agregados a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes.

En la ciudad de Tarija se cuenta con varias plantas clasificadoras de áridos de ríos, pero se tomó en cuenta los áridos que utiliza la alcaldía del municipio de Cercado con los que

realizan también los asfaltados en la ciudad, para así tener la seguridad y calidad de los mismo.

Imagen 3.4:1 Banco de acopio de grava, gravilla y arena de la Pintada



Fuente: Elaboración propia

Donde se obtuvo los tres materiales que se van a utilizar para la mezcla asfáltica nueva en caliente, que son: la grava de 3/4" gravilla de 3/8" y arena gruesa que pasa el tamiz N°4. Materiales que son provenientes de la comunidad de Charaja y adquirida por la alcaldía ya que cumplen con las características que se pide.

### **3.4.3 El cemento asfáltico**

El asfalto utilizado en la elaboración de probetas en la presente investigación para la mezcla asfáltica convencional, fue cemento asfáltico STRATURA de Brasil C. A. 85 – 100.

## **3.5 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE SUBRASANTE, SUBBASE Y BASE**

Los ensayos de laboratorio para determinar las características físicas, químicas y mecánicas de los materiales de las canteras se efectuarán de acuerdo al Manual de ensayos de suelos y materiales de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

### **3.5.1 Análisis granulométrico**

El procedimiento fue realizado en base a la norma ASTM D422 AASHTO T88. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 3.5:1 Resultados de granulometría

N°	Procedencia	Referencia	Utilizacion	Granulometría (% que pasa del total)								
				2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
1	Carachimayo	Muestra 1	Subrasante	100,00	100,00	93,18	88,63	81,93	75,68	70,52	65,26	60,87
2	Carachimayo	Muestra 2	Capa subbase	100,00	100,00	82,21	73,97	56,71	45,15	37,39	24,91	13,53
3	Carachimayo	Muestra 3	Capa base	100,00	100,00	71,32	61,98	46,46	38,09	32,42	19,30	7,11
4	San Jacinto Norte	Muestra 1	Subrasante	86,36	85,30	77,59	75,98	69,74	66,23	63,08	55,58	31,61
5	San Jacinto Norte	Muestra 2	Capa subbase	100,00	100,00	80,55	69,65	52,96	42,31	36,05	24,94	9,84
6	San Jacinto Norte	Muestra 3	Capa base	100,00	100,00	83,38	77,56	58,14	45,84	37,90	16,68	5,12
7	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 1	Subrasante	100,00	100,00	88,52	83,42	66,96	50,13	42,38	32,67	20,98
8	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 2	Capa subbase	100,00	100,00	84,47	77,84	62,55	50,28	42,62	28,99	12,69
9	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 3	Capa base	100,00	100,00	83,88	78,25	61,58	45,69	38,05	20,08	6,62

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2 Límites de Atterberg

El procedimiento fue realizado en base a la norma ASTM D4318 AASHTO T89. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 3.5:2 Resultados de Límites de Atterberg

N°	Procedencia	Referencia	Utilizacion	Límites		
				L.L.	L.P.	I.P.
1	Carachimayo	Muestra 1	Subrasante	34	24	10
2	Carachimayo	Muestra 2	Capa subbase	NO PLÁSTICO		
3	Carachimayo	Muestra 3	Capa base	NO PLÁSTICO		
4	San Jacinto Norte	Muestra 1	Subrasante	19	12	6
5	San Jacinto Norte	Muestra 2	Capa subbase	19	15	4
6	San Jacinto Norte	Muestra 3	Capa base	19	14	5
7	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 1	Subrasante	32	20	12
8	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 2	Capa subbase	NO PLÁSTICO		
9	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 3	Capa base	NO PLÁSTICO		

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.3 Contenido de humedad y clasificación

El procedimiento para el contenido de humedad fue realizado en base a la norma ASTM D2216. Para la clasificación de las muestras fue realizado en base a norma AASHTO y SUCS. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 3.5:3 Resultados de contenido de humedad y clasificación

N°	Procedencia	Referencia	Utilizacion	Clasif.	
				Suelo	IG
1	Carachimayo	Muestra 1	Subrasante	A-4	5
2	Carachimayo	Muestra 2	Capa subbase	A-1-a	0
3	Carachimayo	Muestra 3	Capa base	A-1-a	0
4	San Jacinto Norte	Muestra 1	Subrasante	A-2-4	0
5	San Jacinto Norte	Muestra 2	Capa subbase	A-1-a	0
6	San Jacinto Norte	Muestra 3	Capa base	A-1-a	0
7	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 1	Subrasante	A-2-4	0
8	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 2	Capa subbase	A-1-a	0
9	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 3	Capa base	A-1-a	0

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.4 Compactación

El procedimiento para el contenido de humedad fue realizado en base a la norma ASTM D422 y AASHTO T180. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 3.5:4 Resultados de contenido de humedad y clasificación

N°	Procedencia	Referencia	Utilizacion	Proctor	
				D.Max.	H.Opt.
1	Carachimayo	Muestra 1	Subrasante	1,89	9,77
2	Carachimayo	Muestra 2	Capa subbase	2,23	6,54
3	Carachimayo	Muestra 3	Capa base	2,24	5,48
4	San Jacinto Norte	Muestra 1	Subrasante	1,91	8,30
5	San Jacinto Norte	Muestra 2	Capa subbase	2,28	5,55
6	San Jacinto Norte	Muestra 3	Capa base	2,25	5,95
7	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 1	Subrasante	1,87	8,29
8	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 2	Capa subbase	2,17	5,25
9	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 3	Capa base	2,26	6,10

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.5 California Bearing Ratio (CBR)

El procedimiento para el contenido de humedad fue realizado en base a la norma ASTM D422 y AASHTO T180. Los resultados se muestran a continuación.



Tabla 3.5:5 Resultados de contenido de humedad y clasificación

N°	Procedencia	Referencia	Utilizacion	CBR	
				100%	95%
1	Carachimayo	Muestra 1	Subrasante	9,81	8,42
2	Carachimayo	Muestra 2	Capa subbase	42,63	23,77
3	Carachimayo	Muestra 3	Capa base	92,66	54,13
4	San Jacinto Norte	Muestra 1	Subrasante	13,60	12,05
5	San Jacinto Norte	Muestra 2	Capa subbase	53,64	34,86
6	San Jacinto Norte	Muestra 3	Capa base	89,59	47,05
7	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 1	Subrasante	11,96	9,66
8	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 2	Capa subbase	43,64	31,53
9	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 3	Capa base	81,11	45,34

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.6 Resumen de resultados de caracterización de materiales

Tabla 3.5:6 Resumen de resultados de caracterización de materiales

N°	Procedencia	Referencia	Utilizacion	Humedad natural	Granulometría (% que pasa del total)									Límites			Clasif.		Proctor		CBR	
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	L.L.	L.P.	I.P.	Suelo	IG	D.Max.	H.Opt.	100%	95%
1	Carachimayo	Muestra 1	Subrasante	11,36%	100,00	100,00	93,18	88,63	81,93	75,68	70,52	65,26	60,87	34	24	10	A-4	5	1,89	9,77	9,81	8,42
2	Carachimayo	Muestra 2	Capa subbase	8,37%	100,00	100,00	82,21	73,97	56,71	45,15	37,39	24,91	13,53	NO PLÁSTICO			A-1-a	0	2,23	6,54	42,63	23,77
3	Carachimayo	Muestra 3	Capa base	2,72%	100,00	100,00	71,32	61,98	46,46	38,09	32,42	19,30	7,11	NO PLÁSTICO			A-1-a	0	2,24	5,48	92,66	54,13
4	San Jacinto Norte	Muestra 1	Subrasante	9,70%	86,36	85,30	77,59	75,98	69,74	66,23	63,08	55,58	31,61	19	12	6	A-2-4	0	1,91	8,30	13,60	12,05
5	San Jacinto Norte	Muestra 2	Capa subbase	3,44%	100,00	100,00	80,55	69,65	52,96	42,31	36,05	24,94	9,84	19	15	4	A-1-a	0	2,28	5,55	53,64	34,86
6	San Jacinto Norte	Muestra 3	Capa base	5,60%	100,00	100,00	83,38	77,56	58,14	45,84	37,90	16,68	5,12	19	14	5	A-1-a	0	2,25	5,95	89,59	47,05
7	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 1	Subrasante	5,96%	100,00	100,00	88,52	83,42	66,96	50,13	42,38	32,67	20,98	32	20	12	A-2-4	0	1,87	8,29	11,96	9,66
8	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 2	Capa subbase	8,71%	100,00	100,00	84,47	77,84	62,55	50,28	42,62	28,99	12,69	NO PLÁSTICO			A-1-a	0	2,17	5,25	43,64	31,53
9	Puente Jarkas - Piedra Larga	Muestra 3	Capa base	5,38	100,00	100,00	83,88	78,25	61,58	45,69	38,05	20,08	6,62	NO PLÁSTICO			A-1-a	0	2,26	6,10	81,11	45,34

Fuente: Elaboración propia

### 3.6 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA CAPA DE RODADURA

#### 3.6.1 Materiales nuevos

##### 3.6.1.1 Granulometría ASTM D422 – AASHTO T88

Para la granulometría del agregado grueso grava de 3/4" y la gravilla de 3/8" se tomó una muestra de peso de 5000 gr. Y se realizó tres ensayos en diferente toma de muestras para poder ver su homogeneidad del tamaño de sus partículas de la grava y gravilla. En cuanto a la arena también se realizó tres ensayos, pero con muestras de 3000 gr.

Imagen 3.6:1 Pesado del agregado más los pesos de cada tamiz



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.6:2 Tamizado del agregado para luego pesar lo retenido en cada tamiz



Fuente: Elaboración propia

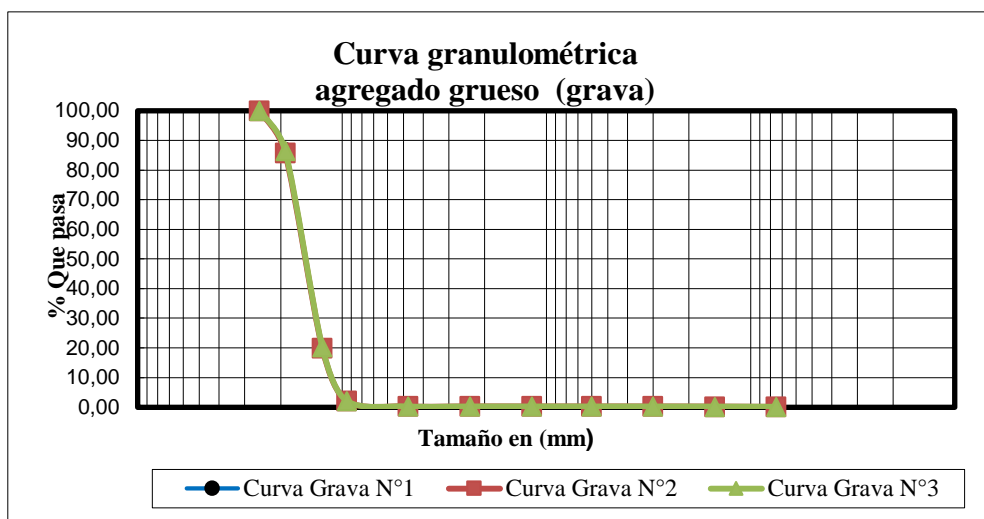
## Resultados de las granulometrías

Tabla 3.6:1 Granulometría de grava del material de aportación

Peso total (gr.)			5000				
N° de Tamices	Tamaño (mm)	Peso retenido N°1.	% Que pasa del total	Peso retenido N°2.	% Que pasa del total	Peso retenido N°3.	% Que pasa del total
1"	25,40	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	<b>100,00</b>
3/4"	19,00	662,20	86,76	716,40	85,67	675,75	<b>86,49</b>
1/2"	12,50	3318,10	20,39	3288,30	19,91	3310,65	<b>20,27</b>
3/8"	9,50	911,30	2,17	889,80	2,11	905,93	<b>2,15</b>
N° 4	4,75	95,80	0,25	91,20	0,29	94,65	<b>0,26</b>
N° 8	2,36	0,60	0,24	0,30	0,28	0,53	<b>0,25</b>
N° 16	1,18	0,20	0,24	0,40	0,27	0,25	<b>0,25</b>
N° 30	0,60	0,10	0,23	0,20	0,27	0,13	<b>0,24</b>
N° 50	0,30	0,20	0,23	0,10	0,27	0,17	<b>0,24</b>
N° 100	0,15	1,10	0,21	2,20	0,22	1,37	<b>0,21</b>
N° 200	0,075	3,80	0,13	4,60	0,13	4,00	<b>0,13</b>
BASE	-	6,40	0,00	5,80	0,01	6,25	<b>0,01</b>
	Suma	4999,80		4999,30		4999,70	
	Pérdidas	0,20		0,70		0,30	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.6:1 Curva granulométrica del agregado (grava)



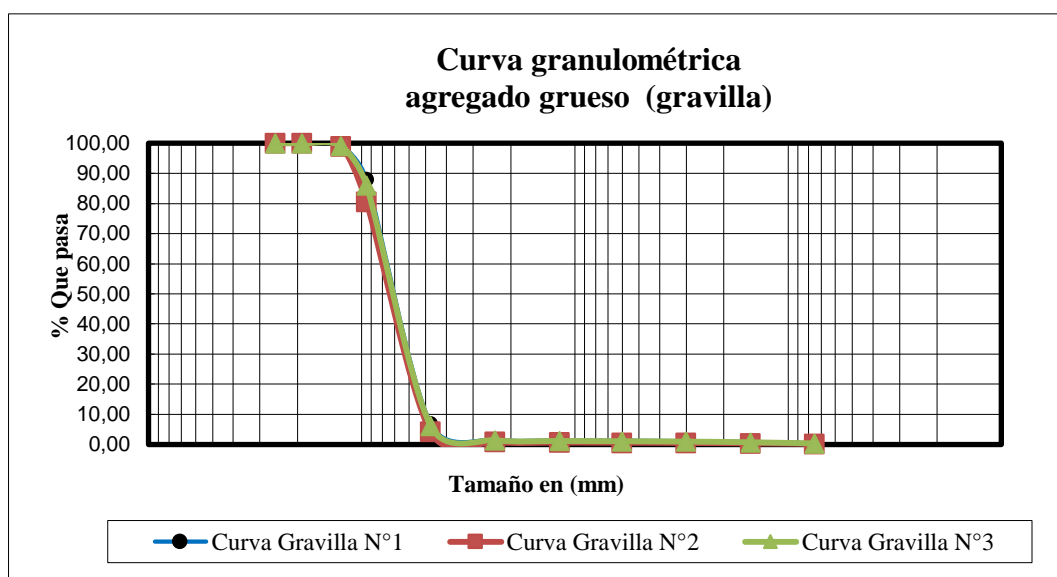
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6:2 Granulometría de la gravilla del material de aportación

Peso total (gr.)			5000				
N° de Tamices	Tamaño (mm)	Peso retenido N°1.	% Que pasa del total	Peso retenido N°2.	% Que pasa del total	Peso retenido N°3.	% Que pasa del total
1"	25,40	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	39,67	99,21	54,90	98,90	43,48	99,13
3/8"	9,50	560,33	88,00	919,20	80,52	650,05	86,13
N° 4	4,75	4060,17	6,80	3819,50	4,13	4000,00	6,13
N° 8	2,36	259,33	1,61	168,90	0,75	236,73	1,39
N° 16	1,18	14,67	1,32	7,90	0,59	12,98	1,14
N° 30	0,60	4,67	1,22	2,10	0,55	4,03	1,05
N° 50	0,30	7,17	1,08	3,90	0,47	6,35	0,93
N° 100	0,15	13,00	0,82	6,50	0,34	11,38	0,70
N° 200	0,075	23,33	0,35	8,00	0,18	19,50	0,31
BASE	-	16,67	0,02	7,90	0,02	14,48	0,02
Suma		4999,00		4998,80		4999,00	
Pérdidas		1,00		1,20		1,00	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.6:2 Curva granulométría de agregado (gravilla)



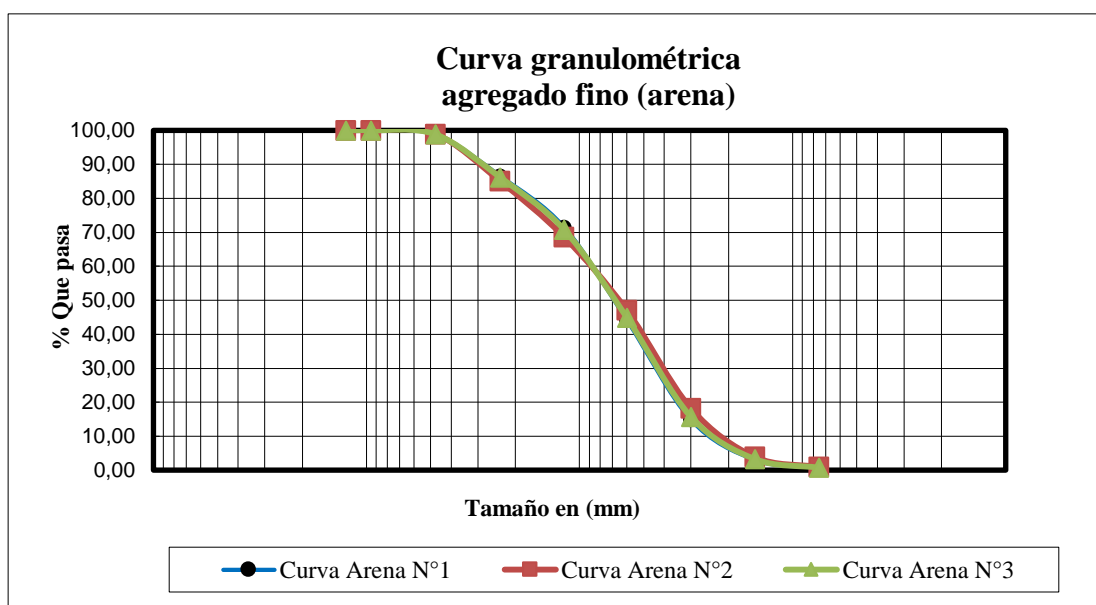
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6:3 Granulometría de arena del material de aportación

Peso total (gr.)			3000				
N° de Tamices	Tamaño (mm)	Peso retenido N°1.	% Que pasa del total	Peso retenido N°2.	% Que pasa del total	Peso retenido N°3.	% Que pasa del total
1/2	12,50	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100
0,375	9,50	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,0
N° 4	4,75	36,00	98,80	31,80	98,94	34,95	98,835
N° 8	2,36	367,80	86,54	416,40	85,06	379,95	86,17
N° 16	1,18	452,40	71,46	493,20	68,62	462,60	70,75
N° 30	0,60	816,54	44,24	646,20	47,08	773,96	44,95
N° 50	0,30	880,50	14,89	866,40	18,20	876,98	15,72
N° 100	0,15	354,30	3,08	428,40	3,92	372,83	3,29
N° 200	0,08	71,40	0,70	88,65	0,97	75,71	0,77
BASE	-	20,10	0,03	28,20	0,03	22,13	0,03
Suma		2999,04		2999,25		2999,09	
Pérdidas		0,96		0,75		0,91	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.6:3 Curva granulométrica del agregado (arena)

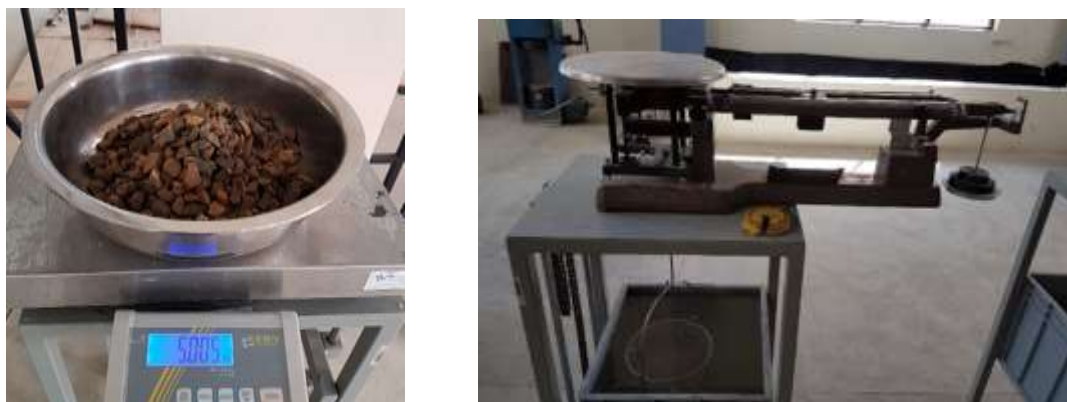


Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.2 Peso específico del agregado grueso ASTM C-127

Se realizó el ensayo tres veces para un peso de 5 kg de diferentes muestras, tanto para la grava como para la gravilla.

Imagen 3.6:3 Pesado de muestra en balanza para el peso sumergido del agregado



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.6:4 Pesado del peso sumergido del agregado



Fuente: Elaboración propia

### Resultados de la práctica para la grava

Tabla 3.6:4 Peso específico de la grava de aportación

Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
2,60	2,65	2,72	1,63
2,61	2,65	2,72	1,52
2,61	2,65	2,73	1,69
2,61	2,65	2,72	1,61

Fuente: Elaboración propia

### Resultados de la práctica para la gravilla

Tabla 3.6:5 Peso específico de la gravilla de aportación

Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% De absorción
2,54	2,60	2,71	2,50
2,55	2,61	2,71	2,41
2,56	2,62	2,71	2,26
2,55	2,61	2,71	2,39

Fuente: Elaboración propia



### 3.6.1.3 Peso específico del agregado fino (arena) (ASTM C-128)

Para la obtención del peso específico del agregado fino se realizó tres ensayos del mismo material buscando en ambos la cantidad de humedad óptima del agregado fino.

Imagen 3.6:5 Humedad óptima de la arena y peso del matraz para el ensayo



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.6:6 Peso de la arena con humedad óptima, peso del matraz + agua + arena



Fuente: Elaboración propia

## Resultados de la práctica para la arena

Tabla 3.6:6 Peso específico de la arena

Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
2,19	2,43	2,89	1,25
2,21	2,43	2,83	1,62
2,25	2,43	2,75	1,72
2,22	2,43	2,83	1,53

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.4 Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles (ASTM C 131)

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido a las condiciones de esfuerzo deformación, la carga de la rueda es transmitida del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante.

Por esta razón los agregados que están en, o cerca de la superficie, como son los materiales de base y carpeta asfáltica, deben ser los más resistentes que los agregados usados en capas inferiores, como la sub base, de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito. Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El ensayo de desgaste de peso ángeles, ASTM C-131 (para agregados menores de 1 ½”), mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o abrasión.

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”), por medio de la máquina de los ángeles.

## Resultados de la práctica

Imagen 3.6:7 Agregado grueso triturado por la máquina de los ángeles



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6:7 Desgaste de los ángeles

Agregado	Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
Grava	A	5000	3596,55	28,07	35% MAX
Gravilla	C	5000	3511,11	29,77	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.5 Equivalente de arena ASTM D 2419

El ensayo de equivalente de arena y agregados finos asigna un valor empírico a la cantidad relativa, figura y características del material fino que está presente en una muestra de ensayo granular que pasa el tamiz N° 4 (4.75 mm). El equivalente de arena es una relación de la altura de arena con arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje. Primeramente, se debe de tener una muestra del material y tamizarlo por el tamiz N° 4 para poder tener la muestra que se utiliza para este ensayo colocarlo en un recipiente.

Imagen 3.6:8 Arena totalmente asentada para medir su altura



Fuente: Elaboración propia

**Resultados de la práctica**

Tabla 3.6:8 Resultados del equivalente de arena

N° de muestra	H1	H2	Equivalente de arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	9,80	10,60	92,45
2	9,90	10,70	92,52
3	10,10	11,10	90,99
		Promedio	91,99

$$E.A. = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

Equivalente de arena (%)	Norma
91,99	> 50 %

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2 Caracterización del cemento asfáltico nuevo

La caracterización del cemento asfáltico se realiza con la finalidad de que el asfalto conseguido cumpla con las especificaciones que exige la norma de carreteras.

#### 3.6.2.1 Ensayo de penetración (AASTHO T49-97); (ASTM D-5)

La penetración se define como la distancia, expresada en decimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25 °C durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total. Incluida la aguja, de 100 gramos, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas. Es evidente que cuando más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración. Para realizar el diseño óptimo se realizó la evaluación y la caracterización del cemento asfáltico 85-100 los mismos que se detallan a continuación.

Imagen 3.6:9 Medición de la penetración



Fuente: Elaboración propia

## Resultados de la práctica

Tabla 3.6:9 Resultados del ensayo de penetración

Descripción		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Penetración a 25 °C, 5 s  AASHTO T-49	Lectura N° 1	mm	96,00	95,00	92,00
	Lectura N° 2	mm	87,00	92,00	97,00
	Lectura N° 3	mm	97,00	87,00	81,00
	Promedio	mm	93,33	91,33	90,00
Penetración promedio		mm	91,56		

Fuente: Elaboración propia

Calculo:

Realizando el promedio se tiene como valor de penetración de 91,56 mm a 25 °C.

### 3.6.2.2 Ensayo punto de inflamación (AASHTO T-48) (ASTM D-92)

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separa materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos. Los aparatos y procedimientos para realizar el ensayo de punto de inflamación se describen en el método AASHTO T-18 y en el ASTM D-92.

Imagen 3.6:10 Cocinilla especial para calentar el C.A. y medir temperatura de inflamación



Fuente: Elaboración propia

### Resultados de la práctica

Tabla 3.6:10 Resultado del ensayo punto de inflamación.

Ensayo	Unidad	Ensayo 1
Punto de inflamación AASTHO T-48	°C	>272
Numero de ensayos		3

Fuente: Elaboración propia

Calculo:

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados.

Resultados: 272 °C.

#### 3.6.2.3 Ensayo punto de ablandamiento (AASTHO T-53) (ASTM D-36)

Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentra en el rango de 30 a 200 °C, por medio del aparato de anillo y bola.

Imagen 3.6:11 Enfriamiento del cemento asfáltico para luego calentar.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6:11 Resultados de punto de ablandamiento

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de ablandamiento	°C	44,00	47,00

Fuente: Elaboración propia.

Calculo:

Se realizó un promedio de ambas muestras obteniendo como resultado del ensayo 45,50 °C.

#### 3.6.2.4 Ensayo peso específico del asfalto (ASTHO T-43) (ASTM D-70)

El peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al paso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25 °C. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas específicas. Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASTHO T-43 y ASTM D-70.



Imagen 3.6:12 Peso de muestra en balanza de precisión



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6:12 Resultados de peso específico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 2
Peso picnómetro	gr	32,88	34,03	33,78
Peso picnómetro + agua (25 °C)	gr	78,73	80,95	81,42
Peso picnómetro + muestra	gr	69,67	70,54	70,36
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	79,27	81,38	81,88
Peso específico	gr/cm <sup>3</sup>	1,01	1,01	1,01
Promedio	gr/cm <sup>3</sup>	1,01		

Fuente: Elaboración propia

Resultado:

El resultado final del peso específico del cemento asfáltico es el promedio de los tres ensayos realizados.

Peso específico del C.A. = 1,01 gr/cm<sup>3</sup>

### 3.6.2.5 Ductilidad (AASTHO T51-00) (ASTM D-113)

La ductilidad de un material bituminoso es la medida de la distancia a la cual dos extremos de la briqueta de muestra se estiran, hasta que se rompe, es halado separándolos a una velocidad y temperatura especificada. Salvo indicación contraria, el ensayo se realiza a

una temperatura de  $25 \pm 0.5$  °C y a una velocidad de 5 cm/min  $\pm$  5,0 %. A otras temperaturas la velocidad debe ser especificada. Los procedimientos y equipos a utilizar se describen con detalle en los métodos AASTHO T51 y ASTM D-113.

Imagen 3.6:13 Moldes llenados con asfalto para la ductilidad



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.6:14 Medición de la ductilidad del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Datos:

Tabla 3.6:13 Resultados del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico 85-100

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Ductilidad	cm.	111	103	101	105

Fuente: Elaboración propia

### **3.7 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR EL MÉTODO MARSHALL**

#### **3.7.1 3.6.1 Método de diseño Marshall convencional AASHTO T 245**

##### **Objetivo de la práctica**

Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan áridos con tamaño máximo absoluto o inferior a 25 mm (1 pulg.). Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno.

##### **Resumen del metodo**

El procedimiento consiste en la elaboración de briquetas (probetas cilíndricas de 101,6 mm. de diámetro y 63,5 mm de altura, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall determinando su estabilidad y flujo.

Si se desea determinar el porcentaje de vacíos de las mezclas, se determinaran previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las briquetas compactadas antes del ensayo de rotura.

Previa a la preparación de las briquetas es necesario determinar la granulometría de los áridos y la combinación de estos, además de los pesos específicos de los mismos, así como también del asfalto

##### **Equipo y materiales**

Moldes de compactación, se conforman de una placa de base plana con su molde y collar de extensión cilíndricos. El molde deberá tener un diámetro interior de 4" y una altura aproximada de 3", la placa de base y el collarín deberán ser intercambiables o sea que se deberán ajustar en los dos extremos de los moldes

Extractor, que sirva para sacar las briquetas del molde.

Martillo de compactación, consiste en una cara circular de 100 mm. De diámetro equipada con un peso de  $4,515 \pm 15$  gr (10 lb) Y construido de modo de obtener una altura de caída de  $460 \pm 2$  mm.

Pedestal de compactación, consiste en un poste de madera de 205 x 205 x 455 mm. Cubierto con una placa de acero de 305 x 305 x 25 mm. Debe estar empotrado y quedar firmemente afianzada y a nivel.

Sujetador de molde, consiste en un aro con resorte diseñado para mantener centrado y fijo el molde en el pedestal durante la compactación.

Mordaza, son dos segmentos de cilindro (superior e inferior) con un radio interno de  $51 \pm 0.2$  mm. Diseñado para transmitir la carga.

Maquina Marshall, aparato eléctrico diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensayo a una velocidad de deformación de  $50 \pm 1$  mm/min. Está equipada con un anillo de prueba calibrada para determinar la carga aplicada de una capacidad superior a 25 kN y una sensibilidad de 45 N. con un dial graduado de 0.0025 mm. Y un medidor de flujo con una precisión de 0.01 mm. Para determinar la deformación que se produce en la carga máxima.

Horno, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C (5 °F) se emplea para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y muestra.

Baño de agua, deberá ser controlado termostáticamente a  $60 \pm 1$  °C y también contará con un fondo falso y un termómetro centrado y fijo.

Realizar la combinación de agregados de gravedad específica y absorción en relación al porcentaje que se obtiene la estructura granular de las granulometrías propuestas, el diseño de mezcla debe proporcionar la granulometría que se encuentra dentro de los rangos de diseño. Recipientes, de dos litros de capacidad para calentar los agregados y para mezclar el asfalto y agregado.

Tamises, de 50 mm (2"); 37,5 mm (1 1/2"); 25 mm (1"); 19,0 mm (3/4"); 12,5 mm (1/2"); 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (N° 4); 2,36 mm (N° 8); 300 μm (N° 50) y 75 μm (N° 200).

Termómetros blindados, de 10 °C a 232 °C (50 °F a 450 °F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3 °C. Para la temperatura

del baño de agua se utilizará termómetro con escala de 20 °C a 70 °C y sensibilidad de 0,2 °C ( $68\text{ °F a }158\text{ °F} + 0,4\text{ °F}$ ).

Balanza, para pesar agregado y asfalto de 5 kg. De capacidad, y sensibilidad de un 1 gr.

Para pesar probetas compactadas de 2 kg. De capacidad y sensibilidad de 0,1 gr.

Pírex de 500 cm<sup>3</sup>.

Guantes de cuero, para poder manipular el equipo caliente.

Bandejas taradas.

Espátulas.

### **3.7.2 Preparación de los especímenes Marshall**

#### **Dosificación de agregados para una briqueta**

El procedimiento para dosificación de agregado que se utiliza en el método de diseño que se explica en este documento es el que recomienda la norma Bolivia de laboratorio de suelos y asfalto, que los agregados se separen por tamizado seco en ciertas fracciones y recomienda los rangos.

Nuestro diseño utiliza tres tamaños de agregado con sus respectivos porcentajes establecidos que son: agregado grueso 3/4", agregado medio 3/8" y arena que pasa el tamiz N° 4, en este caso para poder hacer una briqueta de 1200 gr se tienen cuatro fracciones de agregado, lo cual implica que se deben pesar cuatro cantidades, una de cada fracción para complementar una dosificación de agregado para una elaboración de una briqueta; para éstas fracciones no tenemos todavía un porcentaje establecido por lo que se procede a calcularlo de las granulometrías propuestas que se obtuvo al combinar los tres agregados. El porcentaje retenido se calcula es restando los porcentajes acumulados que pasan entre las mallas en las que se encuentra dicha fracción.

#### **Preparación de la mezcla**

Pese en bandejas separadas para cada briqueta la cantidad necesaria de cada fracción para producir muestra quede como resultado una briqueta compacta de altura igual a 65 mm más o menos. Normalmente se requieren 1200 gr.

Coloque las bandejas en el horno y caliente a una temperatura de aproximadamente 30 °C sobre la temperatura de mezclado.

Coloque el árido caliente en una bandeja y revuelva completamente, forme un cráter en el árido y pese la cantidad necesaria de cemento asfáltico e incorpórela en la bandeja junto con los áridos. Asegúrese que la temperatura en ese instante sea la de mezclado.

Mezcle el asfalto y el árido tan rápido como sea posible hasta que de completamente uniforme.

### **Compactación de briquetas**

Prepare el molde y el martillo, limpiándolos completamente y calentándolos durante 15 min. A una temperatura próxima a la de compactación, coloque un disco de papel filtro (papel común pintado con aceite sucio) cortado a medida, suavice las paredes del molde con aceite. Coloque el conjunto collar molde y base en el pedestal del compactador. Coloque la mezcla para la elaboración de briqueta. Llene el molde con la espátula acomodando la mezcla 15 veces en el perímetro y 10 veces en el centro.

Con el martillo de compactación aplique 75 golpes en un tiempo no superior a 90 s. Saque la base y el collar, invierta y re ensamble el molde y aplique en la otra cara del molde el mismo número de golpes.

Después de compactar saque la base y deje enfriar la briqueta al aire. Si se desea puede utilizar un ventilador. Normalmente se deja enfriar toda la noche.

### **Gravedad específica Bulk mezcla compactada (Gmb)**

Después de la compactación de las briquetas y su posterior extracción de los moldes para su respectivo curado a temperatura ambiente, se procede a realizar el ensayo de la gravedad Bulk, según AASHTO T 166-05. El procedimiento seguido fue secar los especímenes hasta masa constante (curado a temperatura ambiente). Luego se registró el peso seco de cada briqueta. Luego se sumergieron en un recipiente con agua a 25 °C, dejándolos saturar por lo menos 10 minutos. Al final del período de 10 minutos se removieron los especímenes y se colocaron en la canastilla sumergida previamente agitada

para la eliminación de burbujas de aire, y se registró el peso sumergido de cada briqueta, inmediatamente al retirar la briqueta de la canastilla se secó la humedad del espécimen con una toalla húmeda tan rápido como fue posible. Pesamos al espécimen y registramos como peso saturado superficialmente seco.

La norma AASHTO T 166-05 establece que la diferencia máxima permitida entre dos valores de gravedad específica Bulk es de 0,02, para que puedan ser promediados, aquella gravedad Bulk que sobrepasa dicho valor es descartada.

Calculo:

$$G_{mb} = \frac{W_{seco\ al\ aire}}{W_{s.s.s.} - W_{sumergido}} = \frac{B}{C - D}$$

### 3.7.3 Cálculo de las propiedades volumétricas

#### Porcentaje de vacíos en total de la mezcla (VTM)

Los vacíos de aire o vacíos en total de mezcla se pueden definir como el volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactada, expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla de pavimento compactado.

En mezclas asfálticas densas, este valor de vacíos según las especificaciones, debe estar en el rango de 3 a 5 %. Existe una relación entre la gravedad específica Bulk y la teórica máxima, esta última no contempla vacíos en su muestra, mientras que una briqueta compactada si posee vacíos en su interior, por lo tanto si el procedimiento se ha efectuado correctamente, la gravedad específica Bulk siempre es menor que la gravedad específica teórica máxima.

La fórmula para calcular el porcentaje de vacíos es la siguiente:  $100 \cdot (j-f)/j$

$$\% VTM = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} = \frac{J - F}{J}$$

Dónde:

VTM = Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

$G_{mm}$  = Densidad máxima teórica de la mezcla de pavimentación.

$G_{mb}$  = Densidad promedio de la mezcla compactada.

### **Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM)**

Se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total.

La ecuación utilizada para determinar los vacíos en el agregado mineral (VAM) es la siguiente:

$$\% V.A.M. = \%VTM \left( \frac{G_{mb} * \%C.A.}{G_a.C.A.} \right)$$

Dónde:

VMA = Vacíos en el agregado mineral (porcentaje del total de la mezcla)

$G_{mb}$  = Densidad de la mezcla compactada.

C.A. = Porcentaje de cemento asfáltico.

### **R.B.V. (Vacíos llenos con asfalto)**

Los vacíos llenos de asfalto, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA), que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, mientras que el R.B.V. solamente abarca el asfalto que une a los agregados (asfalto efectivo), el valor de R.B.V. se expresa generalmente como un porcentaje.

La ecuación que determina el R.B.V. Es la siguiente:

$$\% R.B.V. = 100 * \frac{VMA - VTM}{VMA}$$

Dónde:

R.B.V. = Vacíos llenos con asfalto, porcentaje de VMA.

V.M.A. = Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del total de la mezcla.

V.T.M. = Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.



### **Medición de la estabilidad y la fluencia**

Para briquetas confeccionadas con cemento asfáltico coloque estas en un baño de agua a  $60 \pm 1$  °C durante 30 a 40 min antes de ensayar.

Limpie completamente la mordaza, la temperatura de esta debe mantenerse entre 21 °C y 38 °C usando un baño de agua si es necesario lubrique las barras guías con una película delgada de aceite de modo que la parte superior de la mordaza se deslice nuevamente. Si se usa un anillo de prueba para medir la carga aplicada asegúrese que el dial este firmemente ajustado y en cero.

Saque la probeta del agua y seque cuidadosamente la superficie coloque y centre la probeta en la parte inferior de la mordaza luego coloque la parte superior y centre el conjunto en el aparato de carga.

Aplique carga a la briketa a una velocidad constante de deformación de  $50 \pm 1$  mm/min. Hasta que produzca la falla.

El punto de falla queda definido por la carga máxima obtenida el cual se define como la estabilidad Marshall como el número total de Newtons o libras necesarios para producir falla de la briketa a 60 °C. A medida que avanza el ensayo de estabilidad sujete firmemente el medidor de flujo sobre la barra guía, cuando se produzca la carga máxima, tome la lectura y anótela. Esta lectura es el valor de la fluidez de la briketa expresada en unidades de 0,25 mm (1/100 pulg.)

El procedimiento completo de estabilidad y fluencia comienza desde el momento en que se retira la briketa del agua y no debe durar más de 30 s.

### **3.8 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL EN CALIENTE**

En este caso se realizó todo el análisis de la granulometría del material nuevo de aportación para realizar la mezcla convencional y poder saber el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para esta mezcla nueva o virgen. En este diseño se tomó como granulometría la media de las granulometrías anteriores para poder definir los porcentajes necesarios para la mezcla.

### 3.8.1 Granulometría combinada

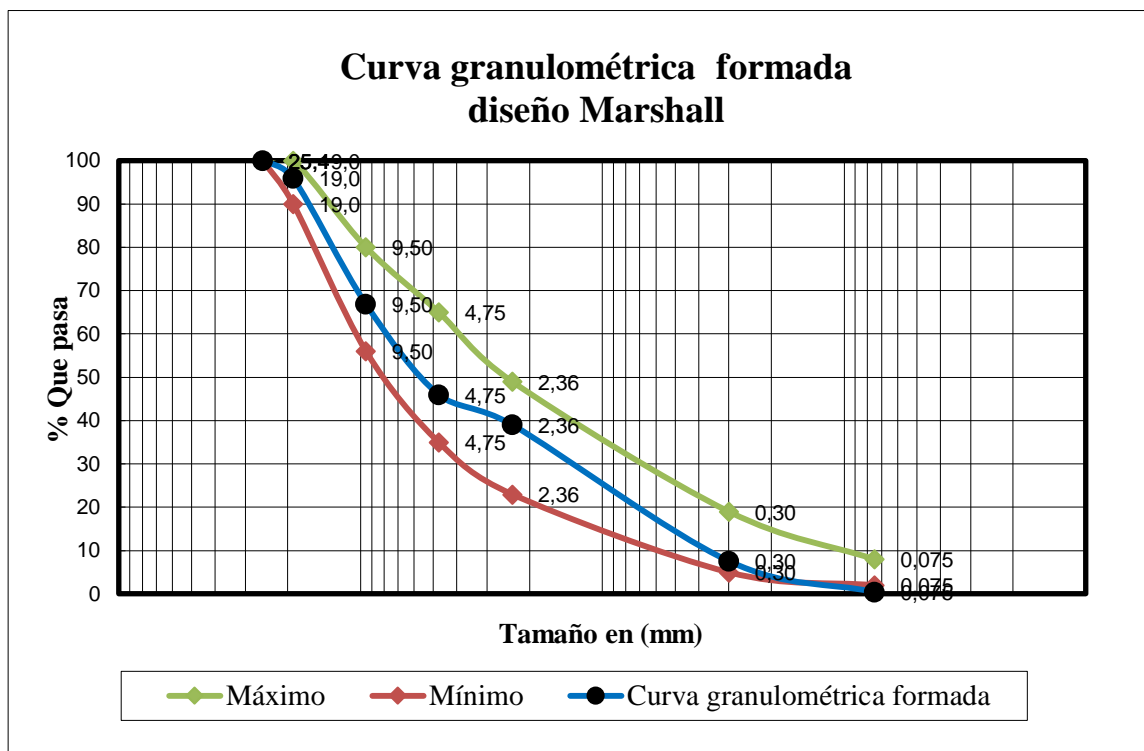
Los porcentajes usados para esta granulometría fue de grava de 3/4" 30 %, gravilla 3/8" 25 % y arena que pasa el tamiz número cuatro 45 %. Para la formación de una briqueta de 1200 gr.

Tabla 3.8:1 Combinación de la granulometría del material de aportación

N° Tamices	Tamaño (mm)	Total				Especificaciones	
		Peso retenido.	Retenido acumulado	% Retenido	% que pasa del total	Mínimo	Máximo
		1,00					
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,00	123,26	123,26	4,11	95,89	90	100
1/2"	12,50	601,93	725,19	24,18	75,82	-	-
3/8"	9,50	268,90	994,09	33,14	66,86	56	80
N°4	4,75	626,29	1620,38	54,02	45,98	35	65
N°8	2,36	207,96	1828,34	60,96	39,04	23	49
N°16	1,18	213,06	2041,40	68,06	31,94	-	-
N°30	0,60	336,07	2377,47	79,27	20,73	-	-
N°50	0,30	394,48	2771,95	92,42	7,58	5	19
N°100	0,15	175,15	2947,10	98,26	1,74	-	-
N°200	0,075	38,65	2985,75	99,55	0,45	2	8
BASE	-	13,62	2999,37	100,00	0,00	-	-
	Suma	2999,4					

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8:1 Curva granulométrica del diseño convencional



Fuente: Elaboración propia

Con la granulometría formada se procedió con el ensayo de las briquetas las cuales se compactaron a temperaturas de entre 140 °C a 160 °C, con 75 golpes para un tráfico pesado y así poder realizar seguidamente el ensayo Marshall.

Imagen 3.8:1 Briquetas elaboradas para realizar el baño maría a 60 °C para luego colocar en el anillo Marshall



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.8:2 Colocado de briqueta en el Marshall para lectura de la estabilidad y fluencia.



Fuente: Elaboración propia

### **3.8.2 Proceso de cálculo de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica**

Se desarrollará el proceso de cálculo para una briqueta en el cual se indicará paso a paso como se obtuvo los resultados que posteriormente se muestra en una tabla.

La demostración de cálculo se realizará con las briquetas elaboradas con el 4 % de cemento asfáltico.

#### **Identificaciones de briquetas**

Para la identificación de las briquetas se las enumeró en el caso del porcentaje en estudio 4 % se identificó como 1, 2 y 3.

#### **Altura de las briquetas**

Después de haber procedido a la compactación con el martillo se extrae de los moldes y se deja enfriar para posteriormente realizar las mediciones de la altura con el vernier, obteniendo cuatro alturas de cada briqueta. Para el porcentaje de asfalto de 4 % sus alturas correspondientes son las siguientes:

Tabla 3.8:2 Altura de las briquetas

Identificación	Altura (cm)	Promedio de altura (cm)
1	6.79	6.77
	6.76	
	6.75	
	6.77	
2	6.72	6.71
	6.68	
	6.71	
	6.71	
3	6.75	6.74
	6.84	
	6.74	
	6.62	

Fuente: Elaboración propia

### Porcentaje de asfalto

Base de la mezcla: Se toma el valor del porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas.

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

$$\text{Base del agregado} = \frac{4 * 100}{100 - 4}$$

$$\text{Base del agregado} = 4,17$$

### Peso de la briketa al aire

El peso en el aire se obtiene pesando directamente las briquetas en una balanza.

Tabla 3.8:3 Peso de la briketa al aire

Identificación	Peso (gr)
1	1198,00
2	1196,30
3	1190,60

Fuente: Elaboración propia

### **Peso de la briqueta en el aire saturada superficialmente seco (SSS)**

El peso de la briqueta SSS se lo mide saturando la briqueta en el agua durante 30 min a 25°C y secándola superficialmente.

Tabla 3.8:4 Peso de briqueta en el aire saturada superficialmente seca

<b>Identificación</b>	<b>Peso (gr)</b>
1	1200,00
2	1198,90
3	1193,10

Fuente: Elaboración propia

### **Peso de la briqueta sumergida en agua**

El peso sumergido se lo mide cuando se sumerge la briqueta en el agua a 25°C.

Tabla 3.8:5 Datos de peso de briqueta sumergida en agua

<b>Identificación</b>	<b>Peso (gr)</b>
1	690
2	691
3	687

Fuente: Elaboración propia

### **Volumen de la briqueta**

$$\text{Vol. briqueta} = \text{Peso S. S. S.} - \text{Peso sumergido}$$

$$\text{Vol. briqueta} = 1200 - 690,00$$

$$\text{Vol. briqueta} = 510,00 \text{ cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta identificada como "1".

**Densidad de la briqueta****Densidad real**

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{Peso briqueta en aire}}{\text{Volumen de briqueta}}$$

$$\text{Densidad real} = \frac{1198,00}{510,0}$$

$$\text{Densidad real} = 2,35 \text{ kg/cm}^3$$

**Densidad máxima teórica de la briqueta**

$$D_{\text{maxT}} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{asfalto}}{\text{Peso esp asf}}\right) + \left(\frac{100 - \% \text{asf}}{\text{Peso esp agr grueso}}\right)}$$

$$D_{\text{maxT}} = \frac{100}{\left(\frac{4}{1,0103}\right) + \left(\frac{100 - 4}{2,77}\right)}$$

$$D_{\text{maxT}} = 2,586 \text{ kg/cm}^3$$

**Porcentaje de vacíos****Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)**

$$V_v = \left(\frac{D_{\text{maxT}} - \text{Dens prom}}{D_{\text{maxT}}}\right) * 100$$

$$V_v = \left(\frac{2,586 - 2,352}{2,586}\right) * 100$$

$$V_v = 9,04\%$$

**Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.A.M.)**

$$V_{\text{AM}} = \left(\frac{\% \text{ de asf} * \text{Dens prom}}{\text{Peso esp del asf}}\right) + V_v$$

$$V_{\text{AM}} = \left(\frac{4 * 2,352}{1,0103}\right) + 10,01\%$$

$$V_{\text{AM}} = 18,35 \%$$

**Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (R.B.V.)**

$$RBV = \left( \frac{VAM - Vv}{VAM} \right) * 100$$

$$RBV = \left( \frac{18,35 - 9,04}{18,35} \right) * 100$$

$$RBV = 50,74 \%$$

**Estabilidad y fluencia**

Tabla 3.8:6 Datos de estabilidad y fluencia

<b>Identificación</b>	<b>Lectura dial</b>	
	<b>Estabilidad</b>	<b>Fluencia</b>
1	754,00	140,00
2	669,00	130,00
3	694,00	160,00

Fuente: Elaboración propia

Se debe realizar la corrección con la fórmula de calibración de la prensa Marshall.

**Estabilidad**

$$\text{Estabilidad Real} = (\text{Lectura dial} * 0,012 - 0,0812) * 102 * 2,2$$

$$\text{Estabilidad Real} = (754 * 0,012 - 0,0812) * 102 * 2,2$$

$$\text{Estabilidad Real} = 2012,15 \text{ Lb}$$



## Resumen de las tres briquetas calculadas

Tabla 3.8:7 Estabilidad corregida

Identificación	Estabilidad (dial)	Estabilidad real (lb)
1	754,00	2012,15
2	699,00	1783,26
3	694,00	1850,58
Promedio		1881,99

Fuente: Elaboración propia

## Corrección por altura

El factor de corrección por la altura para las briquetas se lo realiza con la tabla que se encuentra en anexos.

Tabla 3.8:8 Datos de factor de corrección para briquetas

Identificación	Factor de corrección
1	0,91
2	0,90
3	0,88
Promedio	0,90

Fuente: Elaboración propia

Estabilidad corregida = Estabilidad real prom \* Factor de corrección

Estabilidad corregida = 1881,99 \* 0,898

Estabilidad corregida = 1690,88 Lb

## Fluencia

$$\text{Fluencia } 1/100 = (\text{Lectura dial}/(25,4))$$

$$\text{Fluencia } 1/100 = (140/(25,4))$$

$$\text{Fluencia } 1/100 = 5,51$$

Tabla 3.8:9 Datos de fluencia

<b>Identificación</b>	<b>Factor de corrección</b>
<b>1</b>	5,51
<b>2</b>	5,12
<b>3</b>	6,17
Promedio	5,64

Fuente: Elaboración propia

Nota: de igual manera se realizan los cálculos para los demás datos, a continuación, se presenta una planilla general de resultados.

### 3.8.3 Mezcla asfáltica convencional

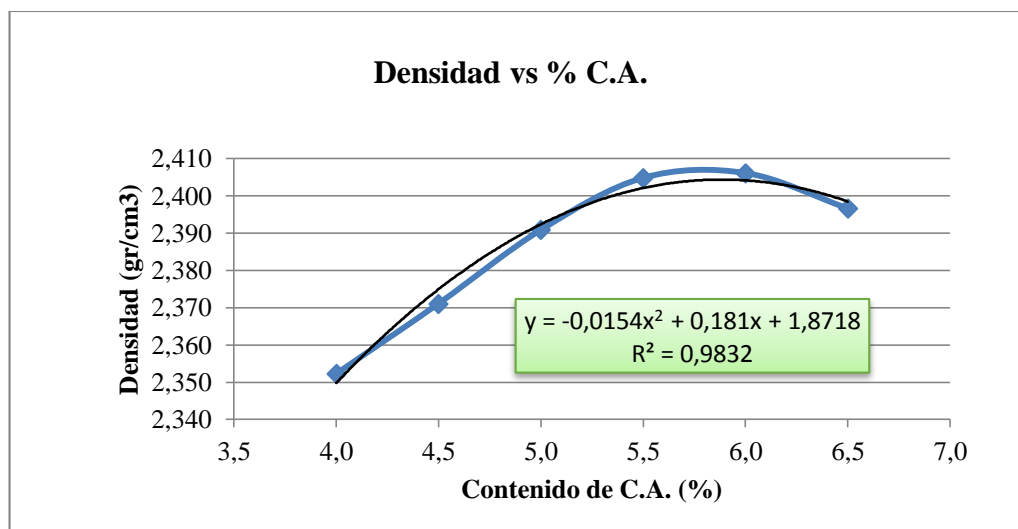
Tabla 3.8:10 Planilla Marshall de mezcla asfáltica convencional

PESOS ESPECÍFICOS				% de agregado		NUMERO DE GOLPES 75							Agregado			P.E.	%				
Mat. Retenido Tamiz N° 4				2,72		55		CEMENTO ASFALTICO BETUNEL 85-100							Grava		2,72	30			
Mat. Pasa Tamiz N° 4				2,83		45		PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-228							Gravilla		2,71	25			
Peso Especifico Total				2,77		100									Arena		2,83	45			
N° de probeta	altura de probeta	% de Asfalto		Peso Briqueta			Volume n	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall					Fluencia		
		base Mezcla	base Agregados	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de correccion de	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flu.	fluencia real	Fluencia promedio
		%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	-	-	0,01 pulg
1	6,75			1198,00	1200,00	690	510,00	2,35					754	2012,15	0,91	1831,06		140	0,06		
2	6,79	4,00	4,17	1196,30	1198,90	691	507,90	2,36	2,35	2,59	9,04	18,35	50,74	669	1783,26	0,90	1604,94	1690,88	130	0,05	5,64
3	6,86			1190,60	1193,10	687	506,10	2,35						694	1850,58	0,88	1636,65		160	0,06	
4	6,77			1194,42	1195,39	692	503,39	2,37						891	2381,06	0,91	2154,86		170	0,07	
5	6,71	4,50	4,71	1190,40	1192,16	690	502,16	2,37	2,37	2,57	7,57	18,13	58,26	915	2445,69	0,92	2250,04	2158,96	170	0,07	6,56
6	6,74			1190,99	1193,52	691	502,52	2,37						850	2270,66	0,91	2071,98		160	0,06	
7	6,33			1185,73	1188,26	691	497,26	2,38						1024	2739,21	1,01	2752,90		190	0,07	
8	6,71	5,00	5,26	1195,30	1197,63	699	498,63	2,40	2,39	2,54	6,05	17,88	66,18	1032	2760,75	0,92	2539,89	2668,70	180	0,07	7,22
9	6,71			1190,95	1193,10	695	498,10	2,39						1102	2949,24	0,92	2713,30		180	0,07	
10	6,66			1169,44	1170,54	684	486,54	2,40						1211	3242,76	0,93	3021,93		190	0,07	
11	6,50	5,50	5,82	1172,43	1173,54	687	486,54	2,41	2,40	2,52	4,74	17,83	73,41	1179	3156,59	0,96	3038,22	3039,47	210	0,08	8,14
12	6,65			1195,43	1196,84	699	497,84	2,40						1223	3275,07	0,93	3058,26		220	0,09	
13	6,66			1193,64	1194,35	698	496,35	2,40						1055	2822,68	0,93	2630,46		280	0,11	
14	6,56	6,00	6,38	1182,19	1183,66	693	490,66	2,41	2,41	2,50	3,93	18,22	78,41	1104	2954,63	0,95	2808,97	2781,61	250	0,10	10,50
15	6,61			1194,84	1195,98	699	496,98	2,40						1153	3086,58	0,94	2905,40		270	0,11	
16	6,59			1173,93	1174,98	684	490,98	2,39						865	2311,05	0,95	2183,94		290	0,11	
17	6,52	6,50	6,95	1199,27	1200,58	701	499,58	2,40	2,40	2,49	3,56	18,98	81,24	1023	2736,51	0,96	2621,85	2346,64	330	0,13	12,20
18	6,76			1190,29	1191,28	695	496,28	2,40						921	2461,85	0,91	2234,13		310	0,12	
ESPECIFICACIONES				minimo								3	13	65				1800			8
				maximo								5	-	75				-			16

Fuente: Elaboración propia

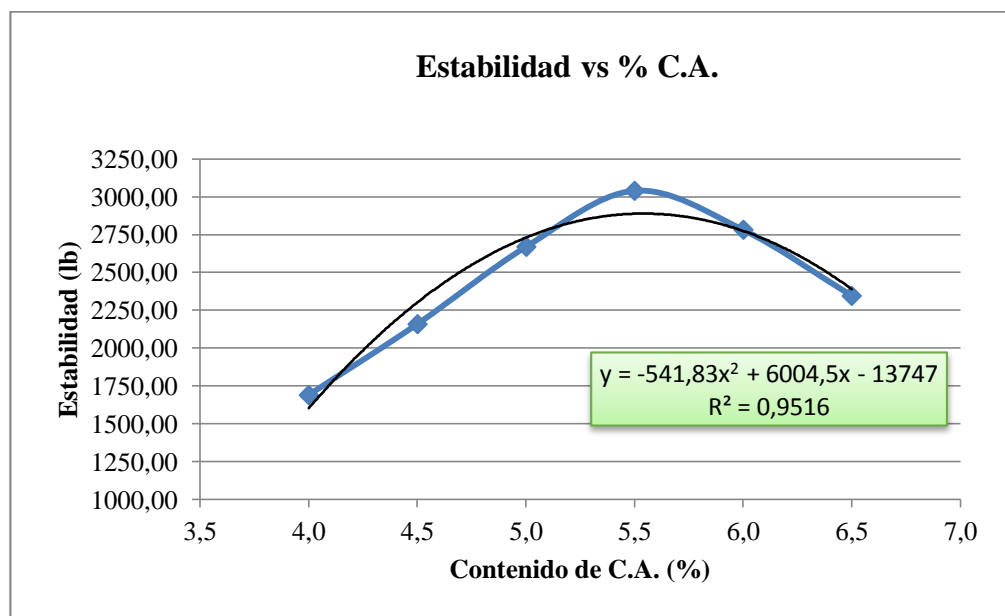
### 3.8.3.1 Gráficas de las resistencias técnicas del método Marshall

Gráfico 3.8:2 Densidad vs cemento asfáltico



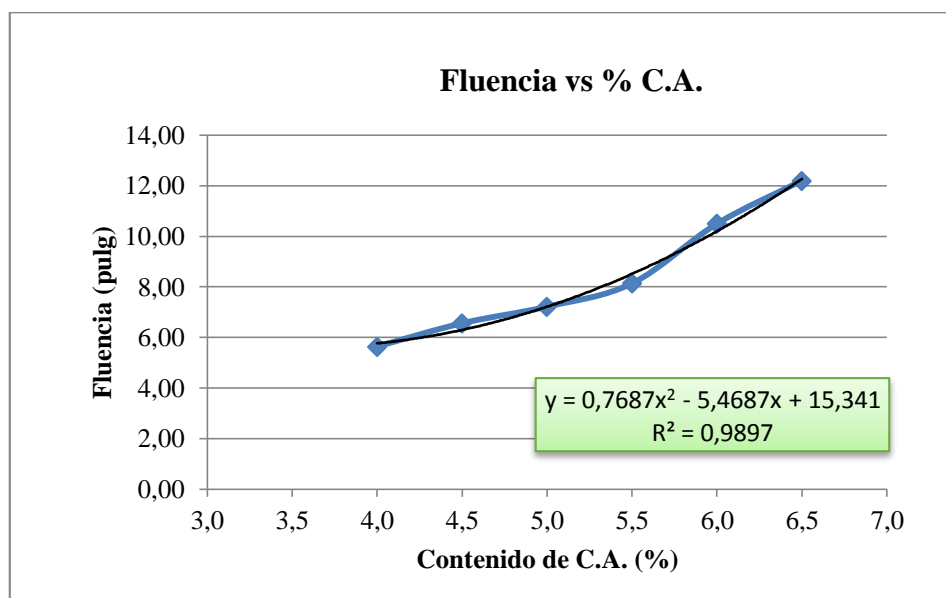
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8:3 Estabilidad vs cemento asfáltico



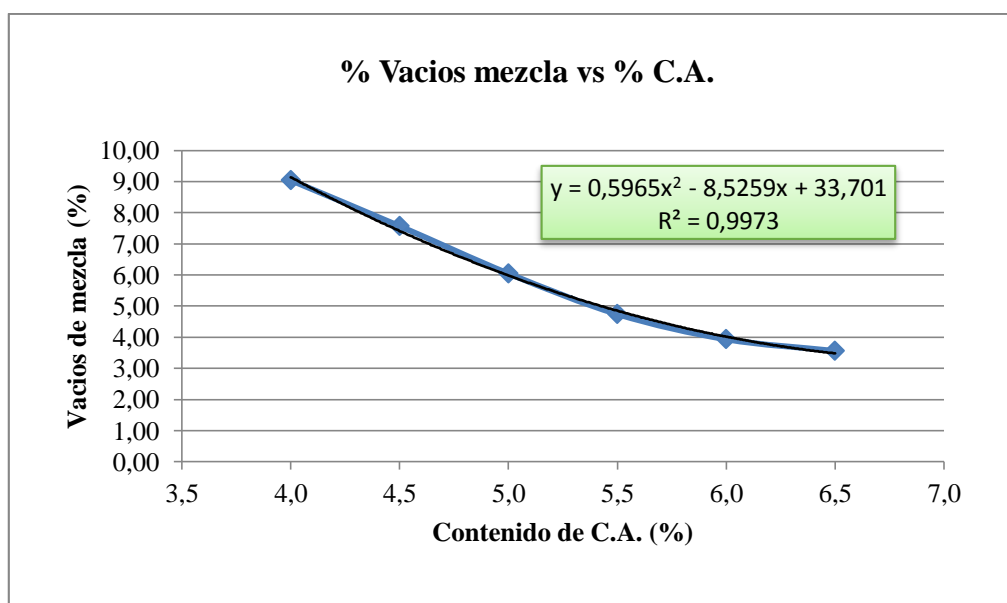
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8:4 Fluencia vs cemento asfáltico



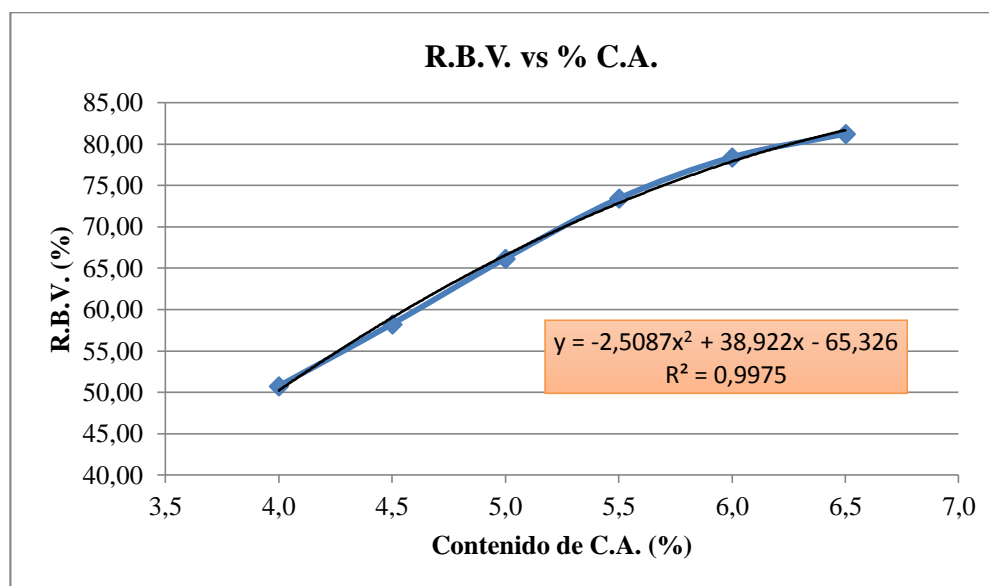
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8:5 Vacíos vs cemento asfáltico



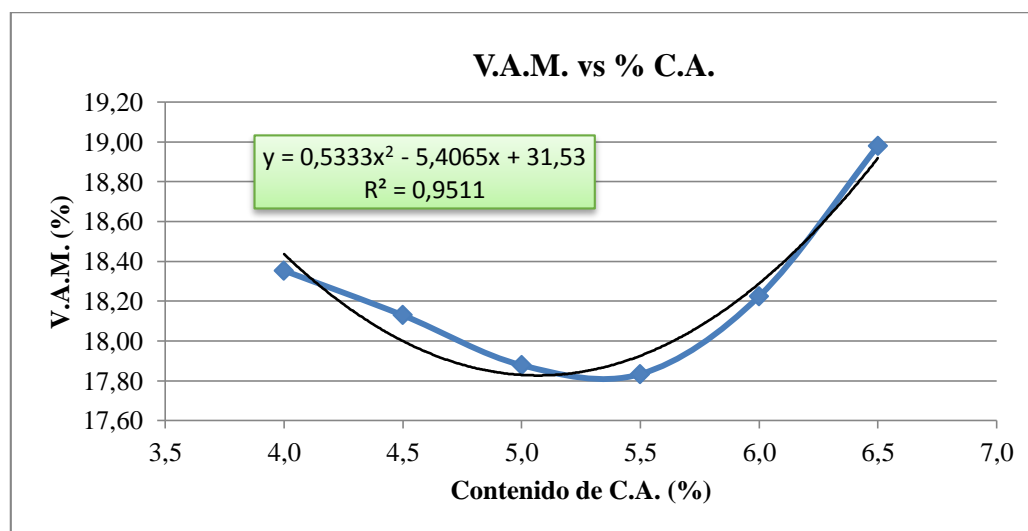
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8:6 R.B.V. vs cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8:7 V.A.M. vs cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3.2 Resultados del diseño convencional de la mezcla con agregados nuevos

Los resultados siguientes se determinan de los valores de la densidad, estabilidad, flujo, % de vacíos, relación betún – vacíos, y vacíos de agregado mineral. Que para su obtención de sus valores entramos a las ecuaciones de las curvas que tiene cada gráfico, donde reemplazando los valores de los especificados en la norma, obtenemos un porcentaje para cada resistencia.

Tabla 3.8:11 Resultados de diseño convencional de la mezcla

Contenido de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)	% De vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)
4,0	2,35	1690,88	5,64	9,04	50,74	18,35
4,5	2,37	2158,96	6,56	7,57	58,26	18,13
5,0	2,39	2668,70	7,22	6,05	66,18	17,88
5,5	2,40	3039,47	8,14	4,74	73,41	17,83
6,0	2,41	2781,61	10,50	3,93	78,41	18,22
6,5	2,40	2346,64	12,20	3,56	81,24	18,98
X	5,88	5,54	6,20	6,010	5,26	5,07
Y máx.	2,40	2888,30	11,00	4,00	70,00	17,83

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención del porcentaje óptimo de cemento asfáltico se tomó solo las propiedades de estabilidad, densidad máxima y porcentaje de vacíos porque estas propiedades tienen valores máximos.

Tabla 3.8:12 Porcentaje óptimo del cemento asfáltico

	<b>Ensayo</b>	<b>Valor de Diseño</b>	<b>% de C.A.</b>
<b>Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico</b>	Estabilidad Marshall (Lb)	2888,301	5,54
	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,404	5,88
	Vacíos de la mezcla (%)	4,000	6,01
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio =	5,81

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el porcentaje de asfalto de cada propiedad se tomó el promedio de los tres como óptimo de porcentaje de cemento asfáltico = 5,81 %

Tabla 3.8:13 Resultados óptimos según el porcentaje óptimo de la mezcla convencional

<b>Valores óptimos de la mezcla convencional</b>				
<b>Resistencia técnica</b>	<b>% óptimo de asfalto</b>	<b>Valores con él % óptimo</b>	<b>Especificaciones técnicas</b>	
<b>Densidad promedio (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	5,81	2,40	-----	-----
<b>Estabilidad (libra)</b>	5,81	2849,08	> 1800 lb.	
<b>Fluencia (pulg)</b>	5,81	9,52	8	14
<b>% de vacíos de mezcla total (%)</b>	5,81	4,30	3	5
<b>R.B.V. (relación betún vacíos) (%)</b>	5,81	76,13	65	75
<b>V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)</b>	5,66	18,12	> 13	

Fuente: Elaboración propia



### **3.9 ELABORACION DEL DIMENCIONAMIENTO DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE**

Para el diseño del pavimento flexible, se tomó en cuenta los datos de los tres diferentes bancos en estudio siendo el de Carachimayo, San Jacinto Norte y Puente Jarkas – Piedra Larga.

#### **3.9.1 Datos de entrada para el diseño del tramo Carachimayo con el programa ESTRUCPAV**

Periodo de diseño= 15 años

Serviciabilidad inicial ( $P_o$ )= 4,2

Serviciabilidad final ( $P_f$ ) = 2,0

Módulo resiliente de la subrasante ( $M_r$ )= 12630 Psi

Confiabilidad ( $R$ )= 80 %

Desviación estándar ( $S_o$ )= 0,45

Numero de ejes equivalentes ESALs = 6716 (Calculado por el programa ESTRUCPAV)

Numero de etapas de construcción= 1 (Valor asumido ya que la construcción como el mantenimiento se llevará acabo de todo el tramo y no por etapas).

#### **3.9.2 Datos de entrada para el diseño del tramo San Jacinto Norte con el programa ESTRUCPAV**

Datos de entrada para el diseño de pavimento flexible por el programa ESTRUCPAV:

Periodo de diseño= 15 años

Serviciabilidad inicial ( $P_o$ )= 4,2

Serviciabilidad final ( $P_f$ ) = 2,0

Módulo resiliente de la subrasante ( $M_r$ )= 12630 Psi

Confiabilidad ( $R$ )= 80 %

Desviación estándar ( $S_o$ )= 0,45

Numero de ejes equivalentes ESALs= 6716 (Calculado por el programa ESTRUCPAV)

Numero de etapas de construcción= 1 (Valor asumido ya que la construcción como el mantenimiento se llevará acabo de todo el tramo y no por etapas).

### 3.9.3 Datos de entrada para el diseño del tramo Puente Jarkas – Piedra Larga con el programa ESTRUCPAV

Datos de entrada para el diseño de pavimento flexible por el programa ESTRUCPAV:

Periodo de diseño= 25 años

Serviciabilidad inicial ( $P_o$ )= 4,2

Serviciabilidad final ( $P_f$ ) = 2,0

Módulo resiliente de la subrasante ( $M_r$ )= 14490 Psi

Confiabilidad ( $R$ )= 85 %

Desviación estándar ( $S_o$ )= 0,45

Numero de ejes equivalentes ESALs= 4306813 (Calculado por el programa ESTRUCPAV)

Numero de etapas de construcción= 1 (Valor asumido ya que la construcción como el mantenimiento se llevará acabo de todo el tramo y no por etapas).

Tabla 3.9:1 Resumen de datos que intervienen en el diseño (ESTRUCPAV),  
Carachimayo, San Jacinto Norte, Puente Jarkas – Piedra larga

<b>Banco</b>	<b>R (%)</b>	<b>So</b>	<b><math>\Delta</math>PSI</b>	<b>Mr (Psi)</b>	<b>ESAL</b>
Carachimayo	80	0,45	2,2	12630	6716
San Jacinto Norte	80	0,45	2,2	11892,37	94780
Puente Jarcas - Piedra larga	85	0,45	2,2	14490	4306813

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.4 Diseño del tramo Carachimayo

Imagen 3.9:1 Cálculo de espesores Carachimayo

Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (a)	Calidad Drenaje	FTSP	Coefficiente de Drenaje (m)	Modulo Resiliente (ksi)	Espesor Calculado (mm)	Rango Mínimo de capa	Rango Máximo de capa	Incremento	Capa Evaluada	Diseño Propio (mm)
rodadura	0.44	Bueno		1	3102635	45				<input checked="" type="checkbox"/>	50
capa base	0.12	Bueno		1.1	172368.93	50				<input checked="" type="checkbox"/>	100
capa sub base	0.10	Bueno		0.95	93079.055	50				<input checked="" type="checkbox"/>	100

Fuente: Elaboración propia

Y así obtenemos los espesores de cada capa para “Carachimayo” que son los siguientes:

Tabla 3.9:2 Espesor de capas de pavimento de Carachimayo

Espesores de Capas	
Capas	Espesor (cm)
Rodadura	5
Base	10
Subbase	10

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.5 Diseño del tramo San Jacinto Norte

Imagen 3.9:2 Cálculo de espesores San Jacinto Norte

The screenshot shows the STRUCPAV software interface. The main window displays a table with the following data:

Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (a)	Calidad Drenaje	PTSP	Coefficiente de Drenaje (m)	Modulo Resiliente (kpa)	Espesor Calculado (mm)	Rango Minimo de capa	Rango Maximo de capa	Incremento	Capa Evaluada	Diseño Propio (mm)
capa rodadura	0.44	Bueno		1	3102536	85				<input checked="" type="checkbox"/>	50
capa base	0.10	Bueno		1.1	137895.15	50				<input checked="" type="checkbox"/>	100
capa sub base	0.114	Bueno		0.9	108247.69	50				<input checked="" type="checkbox"/>	130

Fuente: Elaboración propia

Y así obtenemos los espesores de cada capa para “San Jacinto” que son los siguientes:

Tabla 3.9:3 Espesor de capas de pavimento de San Jacinto Norte

<b>Espesores de Capas</b>	
<b>Capas</b>	<b>Espesor (cm)</b>
Rodadura	5
Base	10
Subbase	13

Fuente: Elaboración propia

### 3.9.6 Diseño del tramo Puente Jarkas – Piedra Larga

Imagen 3.9:3 Cálculo de Espesores Puente Jarkas – Piedra Larga

Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (K)	Calidad Drainaje	PTSP	Coefficiente de Drainaje (K)	Modulo Resistente (ksi)	Espesor Calculado (mm)	Rango Minimo de capa	Rango Maximo de capa	Incremento	Capa Evaluada	Detalle (mm)
Capa de Rodadura	0.44	Buena		1	3102635	150				<input checked="" type="checkbox"/>	70
Capa base	0.11	Buena		1.10	150579.42	100				<input checked="" type="checkbox"/>	200
Capa sub base	0.11	Buena		0.95	99973.901					<input checked="" type="checkbox"/>	250

Fuente: Elaboración propia

Y así obtenemos los espesores de cada capa para “Puente Jarkas” que son los siguientes:

Tabla 3.9:4 Espesor de capas de pavimento de Puente Jarkas – Piedra Larga

Espesores de Capas	
Capas	Espesor (cm)
Rodadura	7
Base	20
Subbase	25

Fuente: Elaboración propia

### **3.10 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

#### **3.10.1 Descripción del ensayo**

Para el desarrollo de esta práctica, se necesitó un molde externo para la compactación de las diferentes capas del pavimento. Se tuvo en cuenta que el diámetro de este molde sea el mismo que el molde T-180 que nos especifica la guía ASSTHO.

Con el molde mencionado anteriormente se procedió a la compactación de cada una de las capas del pavimento flexible (capa subbase, capa base y capa rodadura), teniendo en cuenta para cada capa de los tres bancos Carachimayo, San Jacinto Norte y Puente Jarkas – Piedra Larga su humedad óptima y para la capa de rodadura, el contenido óptimo de cemento asfáltico calculado por el método Marshall. También se tomó en cuenta los espesores de cada capa del pavimento que nos salió en el diseño con el programa ESTRUCPAV.

Imagen 3.10:1 Molde externo para compactación de capa subbase y base



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.10:2 Muestra compactada del paquete estructural del pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

### 3.10.1.1 Cálculo de la carga de ensayo a utilizar en la prensa hidráulica

Para obtener esta carga se hizo una relación de presiones entre la rueda del vehículo tipo 7 y la rueda de ensayo más pequeña utilizada en laboratorio para el ensayo de compresión de las muestras compactadas. Para el cálculo se asume que la carga por rueda se aplica sobre un área circular como se muestra en la imagen y también se asume que la presión de contacto es igual a la presión de inflado del neumático. Los cálculos detallados se muestran a continuación. Propuesta en el libro (PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. José Calavera Ruiz).

Imagen 3.10:3 Área de contacto de la rueda sobre el pavimento



Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del área de presión de la rueda, primeramente, se calcula el radio (r), utilizando la fórmula propuesta en el libro (PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. José Calavera Ruiz).

$$r = \sqrt{\frac{Q}{P * \pi}}$$

Donde:

r = Radio del círculo equivalente (mm)

Q = Carga que transmite la rueda (N)

P = Presión de inflado del neumático (N/mm<sup>2</sup>)

### **Datos empleados para el cálculo de la carga**

#### **Datos del vehículo tipo 7 (Nissan cóndor)**

Se tomó en cuenta el peso máximo permitido por eje del vehículo tipo 7 (Camiones medianos), siendo su peso por eje de 11 Tn, la misma se muestra en la tabla 4.1, esta carga es por eje y la misma se dividió entre 4 llantas y su carga sería de 2.75 Tn, la que se empleó para el cálculo de verificación. También se tomó en cuenta la presión de inflado de la rueda siendo su valor de 80 lb/pulg<sup>2</sup>, que fue con la que se trabajó.



Tabla 3.10:1 Pesos brutos máximos permitidos por ejes y grupos de ejes

<b>Tipos de configuraciones de eje y grupo de ejes vehiculares</b>	<b>Peso bruto máximo permitido por eje o grupo de ejes (toneladas)</b>
Eje sencillo (direccional o fijo) de 2 llantas	7,00
Eje sencillo de 2 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	7,70
Eje tipo tándem de 4 llantas	10,00
Eje sencillo de 4 llantas	11,00
Eje tipo tándem de 4 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	12,00
Eje tipo tándem de 6 llantas	14,00
Eje tipo tándem de 6 llantas con un eje con cubiertas extra anchas y suspensión neumática	16,00
Eje tipo trídem de 6 llantas	17,00
Eje tipo tándem de 8 llantas	18,00
Eje tipo trídem de 6 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	18,00
Eje tipo trídem de 10 llantas	21,00
Eje tipo trídem de 10 llantas con un eje con cubiertas extra anchas y suspensión neumática	22,00
Eje tipo trídem de 12 llantas	25,00

Fuente: Ley N°441, de control de pesos y dimensiones vehiculares en la red vial fundamental

Imagen 3.10:4 Rueda de camión Nissan Cándor



Fuente: Elaboración propia

El diámetro (D) de contacto que se midió de la rueda del Nissan Cóndor fue de 25.5 cm, siendo su radio (r) la mitad del mismo.

Cálculo del área de contacto con el pavimento

$$D = 25.50 \text{ cm} = 10.04 \text{ pulg}$$

$$r = 10.04 \text{ mm}/2 = 5.02 \text{ pulg}$$

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi * (5.02 \text{ pulg})^2$$

$$A = 79.17 \text{ pulg}^2$$

Cálculo de la presión de contacto de la rueda sobre el pavimento

$$Q = 2.75 \text{ Tn} = 6052.71 \text{ Lb}$$

$$P = \frac{Q}{A}$$

$$P = \frac{6052.71 \text{ lb}}{79.17 \text{ pulg}^2}$$

$$P = 76.45 \approx 80 \text{ Lb/pulg}^2 \quad \text{OK!!}$$

Se puede observar que presentan valores similares, para los siguientes cálculos se trabajó con la presión de inflado de 80 lb/pulg<sup>2</sup>.

### **Datos de la rueda pequeña para ensayo**

Se tomó en cuenta el dato del Diámetro (D) de contacto de mi rueda, como se muestra en la imagen, siendo su valor de 9.50 cm. Con este dato del radio se calculó el área de contacto de mi rueda.

Imagen 3.10:5 Rueda pequeña de ensayo



Fuente: Elaboración propia

Cálculo del área de contacto con el pavimento ( $A_e$ )

$$D = 9.50 \text{ cm} = 3.74 \text{ pulg}$$

$$r = 3.74 \text{ mm} / 2 = 1.87 \text{ pulg}$$

$$A_e = \pi r^2$$

$$A_e = \pi * (1.87 \text{ pulg})^2$$

$$A_e = 10.99 \text{ pulg}^2$$

**Calculo de la carga de ensayo ( $Q_e$ )**

Tabla 3.10:2 Resumen de datos para cálculo de carga de ensayo

<b>Datos generales de cálculo</b>	
<b>Pc (Lb/pulg<sup>2</sup>)</b>	<b>Ae (pulg<sup>2</sup>)</b>
80	10.99

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Pc= Presión de neumático del camión Nissan Condor.

Ae= Área de contacto de la rueda pequeña.

Para el cálculo de esta carga de hizo una relación de presiones entre ambas ruedas.

$$\text{Presión de ensayo } (P_e) = \text{Presión de camión } (P_c)$$

$$P_e = P_c$$

$$\frac{Q_e}{A_e} = P_c$$

$$Q_e = P_c * A_e$$

$$Q_e = 80 \frac{Lb}{pulg^2} * 10.99 \text{ pulg}^2$$

$$Q_e = 878.87 \text{ Lb}$$

$$Q_e = 0.40 \text{ Tn}$$

Esta fue la carga de ensayo con la que se trabajó en la prensa hidráulica.

Imagen 3.10:6 Rueda utilizada para los ensayos de compresión



Fuente: Elaboración propia

### 3.10.1.2 Ensayo de compresión de las muestras del paquete estructural en la prensa hidráulica

Teniendo la muestra compactada del paquete estructural (capa subbase, capa base y capa rodadura) y la carga calculada previamente, se sometió a esfuerzo de compresión, en la prensa hidráulica del taller de maestranza.

Imagen 3.10:7 Ensayo de compresión de la muestra del paquete estructural



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.10:8 Muestra después de aplicar la carga de compresión



Fuente: Elaboración propia

De la misma manera se realizó el procedimiento para las diferentes muestras del paquete estructural, de cada una de las alternativas a ser analizadas del banco de Carachimayo, San Jacinto Norte y Puente Jarkas – Piedra Larga.

### 3.10.2 Resultado de las muestras sometidas a compresión para el banco de Carachimayo

Tabla 3.10:3 Resultado de compresión para el banco de Carachimayo

<b>Carachimayo</b>	
<b>N° Ensayos</b>	<b>Carga de falla (Tn)</b>
1	1,20
2	1,30
3	1,30

Fuente: Elaboración propia

### 3.10.3 Resultado de las muestras sometidas a compresión para el banco de San Jacinto Norte

Tabla 3.10:4 Resultado de compresión para el banco de San Jacinto Norte

<b>San Jacinto Norte</b>	
<b>N° Ensayos</b>	<b>Carga de falla (Tn)</b>
1	1,00
2	0,90
3	0,90

Fuente: Elaboración propia

### 3.10.4 Resultado de las muestras sometidas a compresión para el banco de Puente Jarkas - Piedra Larga

Tabla 3.10:5 Resultado de compresión para el banco de Puente Jarkas - Piedra Larga

<b>Puente Jarkas - Piedra Larga</b>	
<b>N° Ensayos</b>	<b>Carga de falla (Tn)</b>
1	1,40
2	1,30
3	1,40

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON LOS DIFERENTES BANCOS DE MATERIALES

##### 4.1.1 Análisis de resultados de los materiales de la subbase

Los resultados obtenidos de los tres bancos cumplieron con las especificaciones técnicas que se exige. Las granulometrías de Carachimayo, San Jacinto Norte y Puente Jarkas presentan valores de pesos retenidos dentro los rangos que se especifica.

<b>Capa subbase</b>				
<b>Tamiz</b>	<b>Material granular</b>	<b>Granulometria</b>		
		<b>Carachimayo</b>	<b>San jacinto Norte</b>	<b>Puente Jarkas</b>
3"	100-100	-	-	-
2"	100-100	100	100	100
1 1/2"	100-100	100	100	100
1"	55-100	82,21	80,55	84,47
3/4"	-----	73,97	69,65	77,84
3/8"	30-75	56,71	52,96	62,55
N°4	20-65	45,15	42,31	50,28
N°10	10-50.	37,39	36,05	42,62
N°40	5-30.	24,91	24,94	28,99
N°200	0-20	13,53	9,84	12,69

<b>Capa subbase</b>				
<b>Prueba</b>	<b>Para subbase</b>	<b>Carachimayo</b>	<b>San Jacinto Norte</b>	<b>Puente Jarkas</b>
CBR, mínimo	40	42,63	53,64	43,64
Limite líquido, máximo	35	-	19	-
Índice plástico, máximo	8	-	5	-

Como se ve en las tablas anteriores haciendo un análisis comparativo con las especificaciones que tiene que cumplir, los valores de la granulometría de cada tamiz si cumplen y están dentro de los rangos que se exige según la norma Boliviana de carreteras. El valor que se obtuvo de cada CBR también cumplen con el valor mínimo que exige la norma por tanto se tiene un material óptimo para la construcción de la capa subbase.

#### 4.1.2 Análisis de los materiales de la base

Los resultados obtenidos de los tres bancos cumplieron con las especificaciones técnicas que se exige.

Capa base				
Tamiz	Material granular	Granulometria		
		Carachimayo	San Jacinto Norte	Puente Jarkas
3"	100-100	-	-	-
2"	100-100	100	100	100
1 1/2"	70-100	100	100	100
1"	60-90	71,32	83,38	83,88
3/4"	-----	61,98	77,56	78,25
3/8"	40-75	46,46	58,14	61,58
Nº4	30-60	38,09	45,84	45,09
Nº10	15-45	32,42	37,9	38,05
Nº40	10-30.	19,3	16,68	20,8
Nº200	0-15	7,11	5,12	6,62

Capa base				
Prueba	Para base	Carachimayo	San Jacinto Norte	Puente Jarkas
CBR, mínimo	80	92,66	89,59	81,11
Limite líquido, máximo	35	-	19	-
Índice plástico, máximo	6	-	4	-



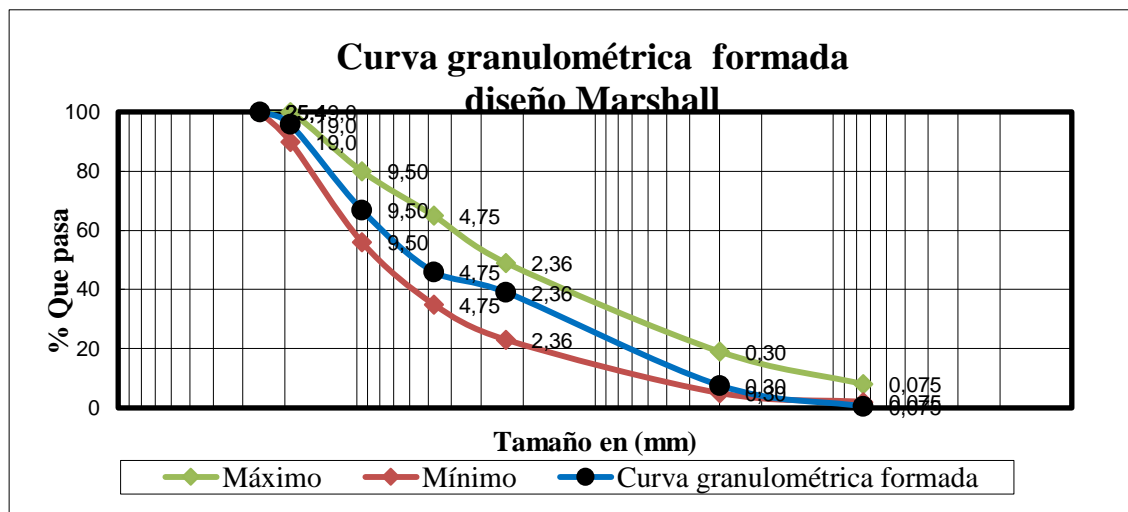
Haciendo un análisis comparativo de las especificaciones de la capa base con sus parámetros de diseño, si se cumple con lo exigido cumpliendo cada banco para la elaboración de una capa base.

#### 4.1.3 Análisis de los materiales para la carpeta de rodadura

##### Agregados (grava, gravilla y arena)

Los porcentajes usados para esta granulometría fue de grava de 3/4" 30 %, gravilla 3/8" 25 % y arena que pasa el tamiz número cuatro 45 %. Al realizar la combinación los agregados cumplen ya que se encuentra dentro la faja del Marshall.

Gráfico 4.1:1 Curva granulométrica del diseño convencional



Fuente: Elaboración propia

Con la caracterización de cada uno de los agregados se pudo definir que se tiene materiales que cumple con los parámetros de diseño como ser:

Características	Valor	Grava	Gravilla	Arena
Peso específico, mínimo gr/cm <sup>3</sup>	2,4	2,72	2,71	2,81
Desgaste de los ángulos, % máximo	35	28,07	29	-
Equivalente de arena, % mínimo	50	-	-	91,99

### Cemento asfáltico 85-100

El cemento asfáltico utilizado cumplió con cada parámetro exigido y se puede definir que se trabajó con un material en buenas condiciones.

Características	Detalle		Exigencia	Valores del C. A. 85-100
	AASTHO	ASTM		
Penetración a 25 °C	T-49-97	D-5	85-100	91,56
Vaso abierto Cleveland punto de inflamación °C	T-48	D92	>a 232 °C	272
Ductilidad 25 °C	T-51	D-113	>a 100 cm	105
Ensayo de punto de ablandamiento	T-53	D-36	>a 32 °C	45,5

#### 4.1.4 Diseño de la carpeta de rodadura

Se realizó el diseño mediante el método Marshall con el cual se obtuvo un porcentaje de asfalto de 5,81%. Donde se pudo cumplir con cada parámetro de diseño de un tráfico pesado. Cada propiedad cumple porque se trabajó con materiales con buenas características y se ven los resultados en la siguiente tabla comparados con lo que se exige.

Valores óptimos de la mezcla convencional				
Resistencia técnica	% óptimo de asfalto	Valores con él % optimo	Especificaciones técnicas	
Densidad promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	5,81	2,4	-----	-----
Estabilidad (libra)	5,81	2849,08	> 1800 lb.	
Fluencia (pulg)	5,81	9,52	8	14
% de vacíos de mezcla total (%)	5,81	4,3	3	5
R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	5,81	76,13	65	75
V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)	5,81	18,12	> 13	

#### 4.1.5 Análisis de los factores de confiabilidad en el dimensionamiento por el programa ESTRUPAV

Es importante hacer notar que para el uso de este programa se necesita cinco datos importantes.

Confiabilidad “R (%)”, Desviación estándar de las variables “So” y Pérdida de serviciabilidad de diseño “ $\Delta$ PSI”: estos valores son asumidos de tablas lo cual se debe tener el conocimiento preciso del tipo de pavimento que se diseñara para tener un buen criterio

Módulo resiliente de la subrasante: es sacada de la caracterización de su suelo y con el dato de CBR se aplicó al programa

Estimación de ejes equivalentes (ESALs)

Banco	R (%)	So	$\Delta$ PSI	Mr (Psi)	ESALs
Carachimayo	80	0,45	2,2	12630	6716
San Jacinto Norte	80	0,45	2,2	11892,37	94780
Puente Jarcas - Piedra larga	85	0,45	2,2	14490	4306813

#### Dimensionamiento de espesores mediante el programa ESTRUCPAV

Mediante el programa ESTRUCPAV se calculó el dimensionamiento o los espesores de cada capa de la estructura para cada banco, tomando en cuenta para una carga crítica de eje sencillo de 4 llantas y un peso máximo por eje de 11 toneladas donde los espesores para cada banco son:

Carachimayo		San Jacinto Norte		Puente Jarkas - Piedra Larga	
Espesores de Capas		Espesores de Capas		Espesores de Capas	
Capas	Espesor (cm)	Capas	Espesor (cm)	Capas	Espesor (cm)
Rodadura	5	Rodadura	5	Rodadura	7
Base	10	Base	10	Base	20
Subbase	10	Subbase	13	Subbase	25

Fuente: Elaboración propia

Realizando un análisis comparativo de los espesores de capa que tiene cada banco según su número de ESALs, se puede apreciar que la estructura de pavimento de Carachimayo y San Jacinto Norte si cumple con sus dimensiones tomando en cuenta que se diseñó para un periodo de vida útil de 15 años. Y lo que es Puente Jarcas - Piedra Larga la carpeta de rodadura no cumple según la tabla debido que tenemos una altura de 7 cm y como mínimo debería ser 10 cm. Lo que es las capas base y subbase si cumplen los espesores mínimos.

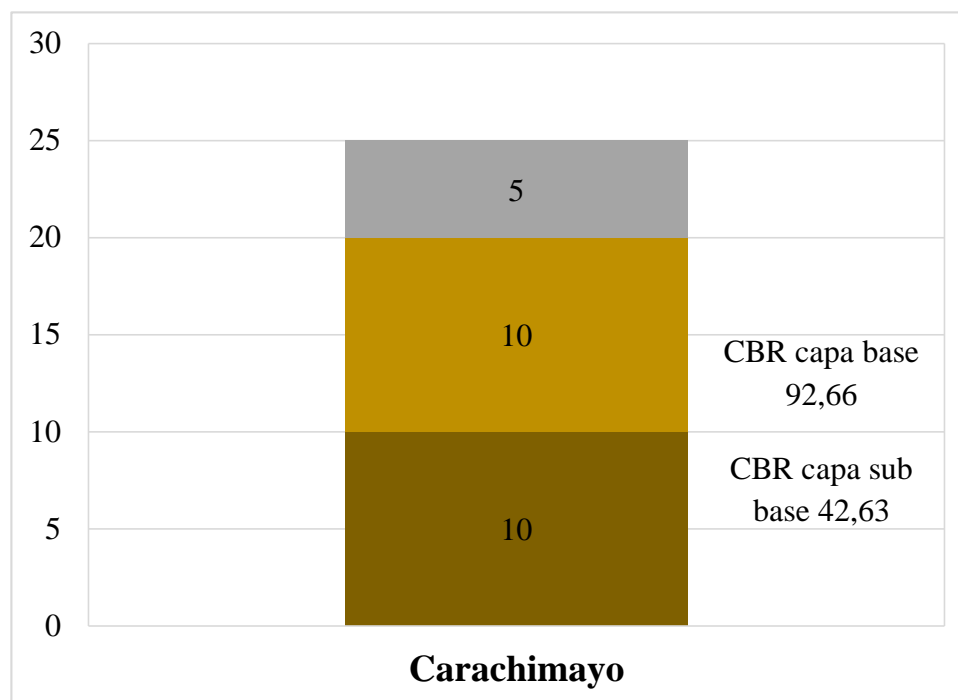
Número de ESALs	Espesor mínimo (cm)	
	Carpeta asfáltica	Base y subbase hca.
< 50000	2,5	10
50000 - 150000	5	10
150000 - 500000	6,25	10
500000 - 2000000	7,5	15
2000000 - 7000000	8,75	15
> 7000000	10	15

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.6 Análisis del comportamiento estructural del pavimento flexible al aplicar una carga estática

## Estructura realizada con el banco de Carachimayo

Gráfico 4.1:2 Espesores de cada capa de Carachimayo

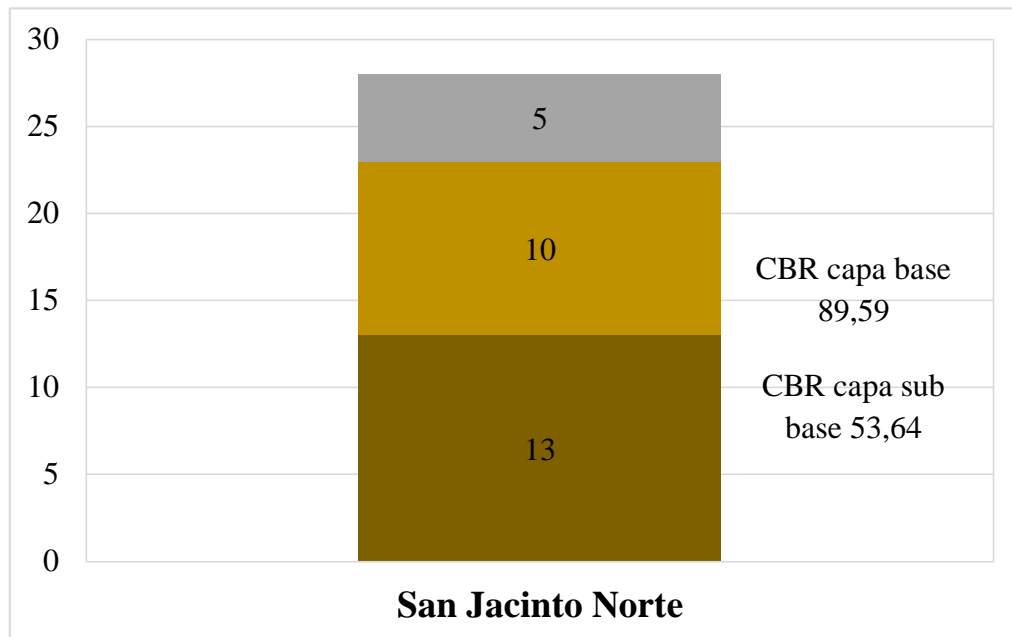


Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en el gráfico este es la muestra del banco de Carachimayo donde tiene una dimensión total de 25 cm. Al aplicar cargas estáticas a la probeta resistió un peso promedio de 1,27 toneladas que fue su resistencia máxima lo cual después presentó quiebres en la capa base y ahullamientos en la capa de rodadura. Resaltando así que estaba diseñado para que resista una carga de 0,4 toneladas, de manera que cumple con lo que especifica el diseño. Analizando su comportamiento del diseño según su dimensionamiento, el tener un material que cumpla el CBR con lo que especifica la norma boliviana de carreteras, asegura la construcción de un pavimento estable que como principal dato importante de tener un CBR óptimo, es la granulometría que cumplió con lo que se exige.

### Estructura realizada con el banco de San Jacinto – Norte

Gráfico 4.1:3 Espesores de cada capa de San Jacinto - Norte

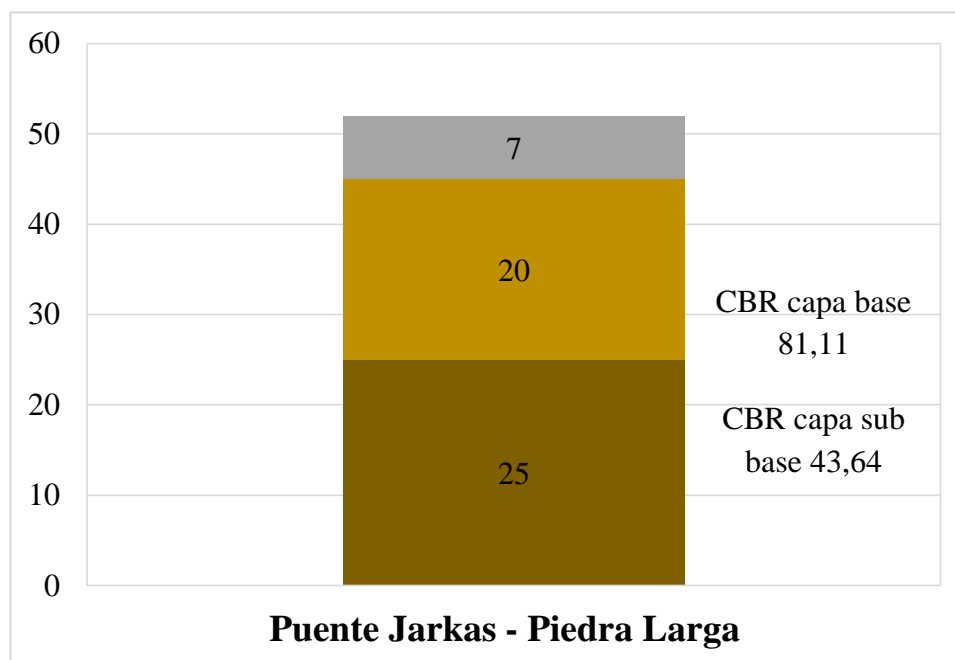


Fuente: Elaboración propia

Para el diseño de San Jacinto – Norte también se diseñó para una carga estática de 0,4 toneladas. Con una altura total de 28 cm, este pavimento resistió una carga promedio de 0,93 toneladas cumpliendo con lo mínimo que se diseñó, y como dato importante es que los CBR de este material que cumplen con lo que se especifica, siendo como valor importante tener una granulometría que cumple con los porcentajes reteniendo en cada capa del pavimento.

## Estructura realizada con el banco de Puente Jarkas – Piedra Larga

Gráfico 4.1:4 Espesores de cada capa de Puente Jarkas - Piedra Larga



Fuente: Elaboración propia

Analizando el diseño estructural del pavimento de Puente Jarkas – Piedra Larga se lo diseño para resistir una carga máxima de carga de 0,4 toneladas y la resistencia encontrada fue un valor promedio de 1,37 toneladas teniendo una altura total de 52 cm, cumpliendo con una resistencia optima lo cual se debe a que los CBR de la capa sub base y capa base cumplen con lo mínimo gracias a una granulometría que cumple dentro los rangos del peso retenido. Sabiendo que este pavimento tiene un ESALs muy alto y una carpeta de rodadura muy baja a comparación de lo que se exige que debería ser mínimo 10 cm.

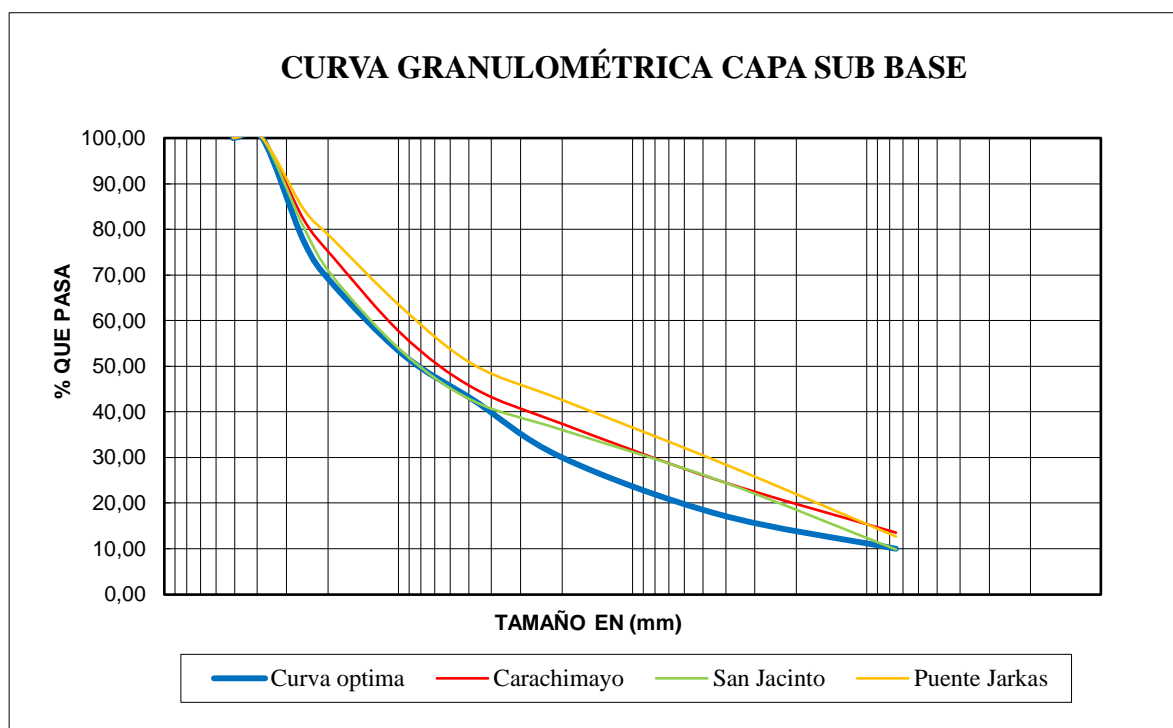
### 4.1.7 Análisis comparativo del comportamiento de la capa sub base de los tres bancos de materiales según su dimensionamiento.

Analizando los tres diseños de pavimentos y comparándolos entre ellos se puede observar que el diseño de Carachimayo es el más favorable por presentar una resistencia promedio alta de 1,27 toneladas a pesar que la suma de espesores de cada capa es la menor de las

tres capas con solo 25 cm, si bien al analizar cada CBR de las capas; la capa sub base tiene un CBR menor con 20,53 % que el de San Jacinto y 2,3 % menor al de Puente Jarkas. Por tanto entrando a ver un poco más a fondo enfocándonos en la granulometría podemos observar que las granulometrías que se acercan a la curva óptima son la de Carachimayo y San Jacinto. Pero la granulometría de Carachimayo presenta mejores características por no presentar límites líquidos y tampoco índices de plasticidad.

Es importante resaltar que como más desfavorable es la granulometría de Puente Jarkas por estar un por más alejada a la curva optima y por esto influye en su dimensionamiento ya presento espesores más altos para su construcción.

Gráfico 4.1:5 Curvas granulométricas de la capa subbase



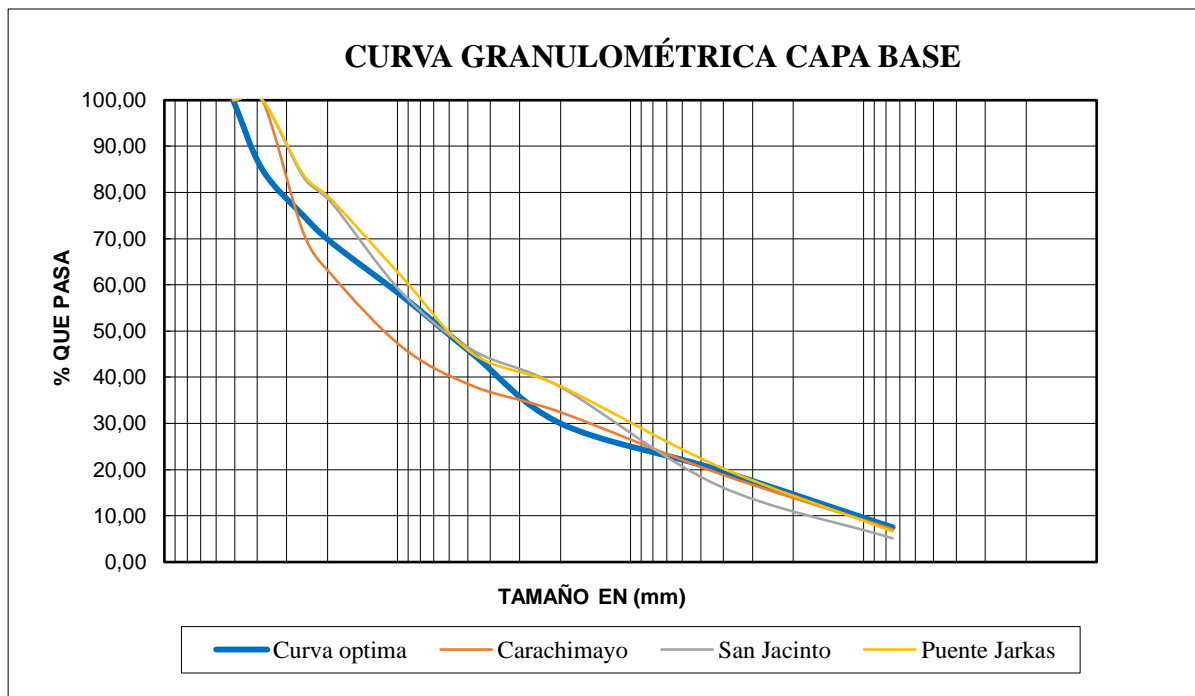
Fuente: Elaboración propia

Analizando la capa base del diseño de pavimento de Carachimayo se tiene que su CBR es mayor con 3,31 % que el de San Jacinto y mayor con 12,47 % que el de Puente Jarkas. Los CBR son afectados directamente por la granulometría por lo tanto afectan al comportamiento de cada pavimento, donde en el siguiente gráfico se puede ver que las



curvas granulométricas de la capa base de cada material son casi similares, pero la características del banco de Carachimayo no se encuentra dentro lo más óptimo pero marco diferencia por ser de una zona con pendientes pronunciadas y no presentar índice de plasticidad y limite líquidos.

Gráfico 4.1:6 Curvas granulométricas de la capa base



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.8 Análisis del comportamiento del pavimento sometido a compresión

Revisando cada una de las muestras se puede observar que al momento que se va aplicando la carga con la prensa hidráulica a la estructura, la carpeta de rodadura comienza a recibir la carga y a tener una pequeña deflexión cuando llega a su máxima resistencia, dejando un pequeño ahullamiento, esta carga se ve transmitida a las demás capas recibiendo primero la capa base que es la primera en romperse o fisurarse cumpliendo la transmisión de cargas como lo describe la teoría.

Imagen 4.1:1 Probeta con ahullamiento y quiebre



Fuente: Elaboración propia

Imagen 4.1:2 Probetas con quiebres en la capa base



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.9 Análisis de precios unitarios referenciales de la estructura de un pavimento flexible

Haciendo un análisis sobre los costos referenciales de lo que cuesta un metro cubico por capa se tiene:

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo total (Bs.)
Provisión y conformación de carpeta de rodadura	m <sup>3</sup>	1	1514,24
Provisión y conformación de capa base	m <sup>3</sup>	1	182,26
Provisión y conformación de capa subbase	m <sup>3</sup>	1	138,35

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo general de “Analizar el dimensionamiento de la estructura de un pavimento flexible, considerando normas, para realizar una capa base y sub base con distintos bancos de materiales, con el fin de ver empíricamente el comportamiento de la estructura al aplicar una carga a compresión”.

Realizar un dimensionamiento estructural de un pavimento con lleva diferente información para el diseño, enfocado en resistencia de una carga a compresión se concluye que tener valores de CBR altos, no garantiza al cien por cien que tengamos resistencia a compresión muy altas. Sino dependerá también de los valores de la granulometría que cumpla con lo que se exige según la norma y los límites líquidos e índice de plasticidad que contengan los materiales, mientras más tienda a cero obtendremos más resistencia.

El comportamiento de un pavimento cuando se aplica una carga se da como nos muestra la teoría, la carga es transmitida a cada capa empezando por la carpeta de rodadura que sufre ahullamientos, pasando por la capa base, la cual al aplicar la carga es la primera en fisurarse o romperse por tanto se debe tener valores de CBR altos que se conseguirán si se tiene granulometrías óptimas según la norma boliviana.

Se dimensionó las capas base y subbase del paquete estructural del pavimento, el banco que presento dimensiones mayores de sus capas fue el de Puente Jarkas-Piedra Larga con una capa rodadura de 7 cm, capa base de 20 cm y capa subbase de 25 cm y el que presentó dimensiones menores fue el de Carachimayo con una capa de rodadura de 5 cm, capa base de 10cm y capa subbase de 10cm. Siendo también las que presentan una resistencia a compresión más altas.

Se pudo observar que los valores de sus CBR de los tres bancos presentaron valores similares, aunque esto no necesariamente indicó resultados iguales en el

dimensionamiento, ya que presentó una variación entre los tres bancos. Pero se debe tomar en cuenta la carga de tráfico para cada diseño fue diferente.

El aforo de tráfico, influye de manera directa en el dimensionamiento, si bien los bancos pueden tener valores de CBR similares, el volumen de tráfico hace que el dimensionamiento se vea afectado notoriamente, dando a comprender que a mayor tráfico se necesitará capas de base y subbase mayores.

Se puede concluir en cuanto al comportamiento que dio cada paquete estructural, fueron mayores a la carga de ensayo calculada de 0,4 toneladas, pero fueron resistencias en un punto de quiebre. Lo cual según el ensayo empírico no se pudo calcular la resistencia máxima un instante antes al momento de quiebre.

Como una conclusión importante en esta investigación es sobre el ensayo que se lo realizó de forma empírica lo cual deja algunas dudas si se asemeja o no a la realidad de un pavimento pero si nos muestra un comportamiento de un pavimento al ser aplicado una carga ya que se muestra como cada capa se deforma, se quiebra o se rompe.

La distribución del esfuerzo a compresión es clara la transmisión que se deforma en la capa de rodadura que es flexible, pero la capa base es más sólida provocando que se quiebre hasta la capa subbase tomando en cuenta que la carga encontrada fue la máxima que puede soportar o puede estar por debajo de esa cifra en cada diseño.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda para una próxima investigación trabajar con materiales que contenga límites líquidos y los índices de plasticidad y otros materiales que no contengan para hacer una comparación de los mismos, guiados de las especificaciones que exige la norma.

Se recomienda para posteriores estudios del este ensayo empírico tomar en cuenta que la prensa hidráulica sea más precisa para evitar errores excesivos y poder aproximarse más a un comportamiento real del pavimento.

Se recomienda buscar la manera de controlar el momento en el cual la muestra falla o quiebre, ya que una distracción puede ocasionar lecturas erróneas.

Es importante realizar los ensayos de caracterización de los materiales con el debido cuidado, ya que estos afectaran directamente en el diseño de pavimentos.

Al momento de la compactación de las capas del pavimento se debe tomar en cuenta que el molde este bien fijo para realizar una mejor compactación, ya que son varias capas las que estarán juntas.

Para desmoldar las muestras, tener el mayor cuidado de no dañarlo ya que esto podría afectar en el ensayo de compresión que se lo realizara.

Al someter las muestras a compresión en la prensa hidráulica, se debe controlar que la rueda está correctamente centrada al ejercer contacto con la muestra, para que así el esfuerzo se trasmite de mejor manera al paquete estructural.