

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de lograr un pavimento que sea apto para el transporte público, turismo y productos; nos impulsa a llevar un mejor control de calidad sobre los materiales con los que se construyen los caminos, por donde transitan millones de usuarios diariamente.

Es por ello que en las obras viales durante todo su proceso constructivo es de suma importancia verificar las propiedades de cada uno de los materiales empleados y el desempeño de su combinación al conformar las distintas capas del pavimento.

La determinación de las propiedades y desempeño de los materiales se logra a partir de un conjunto de ensayos o pruebas establecidas precisamente para comprobar que dichos materiales funcionen correctamente de acuerdo a rangos, límites y/o valores estándares para condiciones similares o equivalentes. Por otro lado, la caracterización de dichos materiales dependerá del tipo de infraestructura vial.

Por lo que se propone en el presente trabajo evaluar la calidad de los materiales del pavimento flexible tramo Padcaya – Rosillas, extrayendo muestras de las capas del pavimento de tramo 10,8 km, a través de ensayos para la caracterización de los suelos y de la mezcla asfáltica de la carpeta de rodadura, cuyo proceso se rige por ensayos estandarizados por normas **AASHTO** (American Association of State Highway and Transportation), **ASTM** International (American Society for Testing and Materials) , **ABC** (Administradora Boliviana de Caminos) u otras normas vigentes, y descritos en especificaciones técnicas señaladas, usados como parámetros para determinar la calidad de los materiales analizados en laboratorio, haciendo que la evaluación sea una necesidad para la sociedad, previniendo y disminuyendo falencias futuras en el pavimento.

1.2. ANTECEDENTES

La durabilidad de un pavimento flexible depende de varios factores entre los principales están la calidad de las capas inferiores como la subrasante, subbase, base, carpeta asfáltica, procesos constructivos y la calidad de los materiales. Estos factores son de suma importancia, ya que el pavimento para que brinde un buen desempeño dependerá de la calidad de los agregados y del asfalto y de un buen diseño del proporcionamiento relativo de cada uno de sus constituyentes.

Gran parte de las carreteras han estado en uso por más de dos décadas y han alcanzado el final de su periodo de diseño, adicionando a ello el tráfico vehicular que ha aumentado considerablemente, han contribuido en forma continua a través de los años, al deterioro de las carreteras, requiriendo por tanto, estudios al paquete estructural del pavimento flexible, enfocándose más a los materiales utilizados en las capas del pavimento, es por ello que se desarrolló técnicas a través de los años para evaluar a los pavimentos, lo que dio origen al sistema de control de calidad a pavimentos asfálticos, para ello es necesario recopilar una información básica para verificar que dichos procesos sean los adecuados según las especificaciones técnicas y normas básicas de diseño vigentes.

Se ha consultado a dos tesis de investigaciones afines con el título planteado en ésta investigación; la primera en 2015 “Control de Calidad en Pavimentos Flexibles en la Universidad Politécnica Territorial del Norte de Monagas, Ludovico Silva, Capirito - Venezuela ” de Yennifer Gonzalez y Leomaris Zorrilla, donde se enfoca en un sistema de control de calidad de ensayos sólo para la caracterización de los suelos del pavimento flexible y en control de estadístico de la calidad de los materiales, y se deja un gran vacío en el control de la calidad de los materiales de la carpeta asfáltica; la segunda en 2007 “Control de Calidad en la evaluación de Pavimentos Asfálticos Existentes en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala” de Carlos Arnoldo Morales Rosales, en ella hace énfasis al diseño para pavimentos asfálticos (AASHTO 93), una breve descripción de los ensayos de los suelos más frecuentes para su caracterización y realiza una evaluación superficial al pavimento asfáltico, se aprecia que nuevamente se deja de lado al control de calidad de los materiales de la carpeta asfáltica, ambas tesis nos presentan un enfoque de la evaluación de calidad de los materiales que debería tener una

carpeta asfáltica al obtenerla después del muestro. Los procedimientos que siguen ambas tesis corresponden a norma AASHTO, para ello se debe prever en usar a las versiones más actualizadas de las normas AASHTO y ASTM, y cabe mencionar que se utilizaron manuales que aporten al tema y especificaciones técnicas del proyecto, para realizar la evaluación de la calidad de los materiales y así obtener resultados más confiables.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de investigación se lo quiere realizar porque una estructura de pavimento debe ser diseñada de tal manera que las cargas impuestas por el tránsito y otros factores que inciden gravemente al pavimento no generen deformaciones y fallas en el pavimento. En el caso de las estructuras flexibles, se produce deformaciones en cada una de las capas del pavimento debido al paso de los vehículos. Esta acumulación de la deformación en el tiempo puede generar fallas funcionales o estructurales, incluso traer consigo deterioros fatales.

Mediante esta investigación se quiere mostrar que gran parte de la acumulación de la deformaciones, que experimentan las estructuras de pavimentos flexibles, se produce debido a que las capas de base y subbase pueden estar compuestas por materiales granulares no tratados y es por esto que es recomendable tener un previo conocimiento del comportamiento que tienen los materiales granulares, y la carpeta de rodadura puede estar compuesto por proporciones inadecuadas del material que constituye la mezcla asfáltica y materiales granulares no tratados.

Lo que se quiere conseguir con este tipo de investigación es; determinar en forma adecuada y parámetros que debe cumplir los materiales que conforma la estructura de un pavimento flexible, en nuestro país no ha habido estudios en el cual todavía no se evidencia cómo influye la calidad de los materiales de las capas que conforman el paquete estructural y cómo debería ser el comportamiento de las capas que conforman el pavimento en relación a sus materiales.

Existen métodos empíricos y/o mecanicistas que es necesario conocer para determinar las condiciones de los suelos que conformen la estructura. Por estas razones, desarrollar en este trabajo de forma experimental, el análisis de la calidad de los materiales para las capas del pavimento (carpeta de rodadura, capa base y subbase, incluso considerar la subrasante,

pero en este caso no consideramos y permitir compararlo con los parámetros normados en especificaciones técnicas y normas básicas de diseño vigentes, contribuirá de cierta forma a reducir la incertidumbre y realizar diseños más cercanos a las condiciones reales de los materiales y las estructuras de pavimento.

1.4. DISEÑO TEÓRICO

1.4.1. Planteamiento del problema

El tramo en estudio Padcaya – Rosillas, es parte de una de las carreteras fronterizas que conectan a la ciudad de Tarija con el país de Argentina, por tanto, se quiere evaluar la calidad de los materiales constituyentes del paquete estructural del pavimento flexible, para analizar el comportamiento y la calidad de los materiales, verificando si cumple con requisitos mínimos de diseño basado en especificaciones y normas vigentes.

1.4.2. Determinación de la perspectiva de solución

Perspectiva

Evaluar

La calidad de los materiales del pavimento flexible tramo – Rosillas, para verificar si cumple con los parámetros de especificaciones técnicas y normas vigentes.

El comportamiento, propiedades físicas – mecánicas y características de los materiales que comprende la estructura del pavimento, de tal forma se verifique el desempeño de su combinación al conformar las distintas capas del pavimento sea más eficiente y tenga mejor adherencia entre capas cumpliendo con los rangos, límites y/o valores estándares.

1.4.3. Situación problemática

El control de calidad en los pavimentos asfálticos es una forma de realizar una inspección a las actividades requeridas en el proceso constructivo de un pavimento flexible, más aún en las distintas capas que conforman la estructura del mismo, basándonos en normativas y reglamentos como también en sus especificaciones técnicas.

El tramo Padcaya- Rosillas es un camino entre la ciudad de Tarija y Mecoya, es de mucha importancia ya que es parte de la carretera, que apunta a ser la cuarta frontera entre Bolivia

y Argentina, y la tercera en Tarija, es un tramo que se encuentra con vegetación extensa, con pueblos dedicados a la producción agropecuaria y que facilita el camino a la zona turística el Valle de los Cóndores. Es un tramo que presenta un pavimento deficiente, pudo haber influenciado ciertos factores como ser; las características propias del diseño, la adecuada selección de materiales para subrasante, subbase, base que directamente contribuye de soporte a la carpeta de rodadura, la adecuada selección de materiales pétreos utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica, en lo que se refiere a la granulometría y a las especificaciones que deben cumplir los agregados; ensayos de laboratorio deficientes, control ineficiente durante el proceso constructivo del pavimento, conocer las condiciones de tránsito. En la actualidad el tramo presenta un recapamiento.

Todos estos factores dan un mayor o menor aporte que contribuyen a que un pavimento asfáltico tenga un buen o mal desempeño a lo largo de su vida útil; para ello nos enfocaremos en ciertos factores como ser el diseño y el proceso constructivo, para ello se extraerá muestras que se podrá analizarlas a través de pruebas de laboratorio; que se definirá de acuerdo a las actividades que realicemos con el fin de evaluar la calidad de los materiales constituyentes de la estructura del pavimento flexible , mediante una serie secuencial de ensayos, los cuales deben realizarse adecuadamente y estar basados en normas actualizadas, además se deben de manejar claramente una serie de conceptos y especificaciones técnicas.

1.4.4. Determinación del problema

¿De qué manera una evaluación del control de calidad en los pavimentos flexibles puede determinar las condiciones de calidad del tramo Padcaya - Rosillas?

1.4.5. Objetivos

1.4.5.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de los materiales del pavimento flexible tramo Padcaya – Rosillas, extrayendo muestras para así analizarlas mediante pruebas de laboratorio, de tal manera se compare con las normas básicas de diseño vigentes y especificaciones técnicas.

1.4.5.2. Objetivos específicos

- ❖ Elaborar el marco teórico sobre el control de calidad en los pavimentos flexibles, bajo los antecedentes y normativas vigentes.
- ❖ Ubicar puntos para la extracción de muestras de diferentes lugares del tramo.
- ❖ Inspeccionar el tramo en estudio para el reconocimiento de fallas superficiales.
- ❖ Realizar los ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales obtenidos de las muestras.
- ❖ Analizar la calidad de los materiales en base a los ensayos normados.
- ❖ Comparar los resultados obtenidos del proyecto con las especificaciones técnicas y normas vigentes.

1.4.6. Formulación de la hipótesis

1.4.6.1. Hipótesis

Si al paquete estructural de un pavimento asfáltico existente se realiza una evaluación analizándolos por medio de ensayos de laboratorio, entonces se podrá establecer y mejorar las condiciones para verificar la calidad de los materiales del pavimento flexible tramo Padcaya – Rosillas, cumpliendo así con las especificaciones técnicas regidas y normas vigentes.

1.4.7. Variables

Variables Independientes (Xi)

Métodos de Evaluación

Variables Dependientes (Yi)

Calidad de los componentes del pavimento flexible.

- Ensayo Marshall
- Centrifugación
- Clasificación de suelos
- Valor Soporte California (C.B.R)
- Proctor modificado

- Desgaste de los Ángeles
- Equivalente de Arena

1.4.7.1. Conceptualización y operacionalidad de las variables

Cuadro 1.1. Conceptualización y operacionalidad de las variables

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Métodos de Evaluación	Es la importancia de la evaluación del desempeño condujo a la creación de muchos métodos para juzgar la manera en que el empleado lleva a cabo sus labores a partir de los resultados logrados antes de la evaluación.	Evaluación Estructural	Capacidad Estructural	Propiedades (Marshall) Caracterización de suelos y agregados Porcentaje de Asfalto Determinación de espesores
		Evaluación Superficial	Tipo de fallas	Inspección Visual
Variable Dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Calidad de los componentes del pavimento flexible	Se refiere a las cualidades que debe tener los materiales de la estructura de un pavimento flexible.	Calidad	Actividades de control	Ensayos en laboratorio de suelos y asfaltos

Fuente: Elaboración Propia

1.5. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Identificación del tipo del diseño de investigación

El presente trabajo está identificado con el diseño de **Investigación Explicativa**.

1.5.2. Unidades de estudio y decisión muestral

La unidad de estudio es el tramo Padcaya – Rosillas que cuenta con 10.8 km.

1.5.2.1. Población

La población se definió cada 1.08 km.

1.5.2.2. Muestra

La muestra será igual al de la población de 1.08 km.

1.5.2.3. Análisis estadístico

Selección de nivel de confianza; según los parámetros y criterios comprometidos en el desarrollo del presente trabajo, se establece un nivel de confiabilidad del **95%** asegurando que el procedimiento seleccionado es confiable, quedando un margen de error del 5%.

1.5.2.4. Tamaño de la muestra

Por muestreo poblacional

$$n = \frac{z^2 * G^2}{e^2}$$

Donde

n = Tamaño de la muestra

z = 1.96 (95 % de confiabilidad)

e = 5 %

$G^2 = 0.25$ (asumido)

$$n = 384.16 \quad \longrightarrow \quad n = 385 \text{ ensayos}$$

Por muestreo estratificado

SITUACIÓN

N (Estratificado)

POR PROPORCIÓN

$$n = \frac{\sum_{i=1}^l Ni \times Gi^2}{N\left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^l Ni \times Gi^2}$$

Donde

N = Tamaño de la muestra

$Gi^2 =$ Varianza

Donde se obtuvo n = 20. 81 ensayos, entonces se asume 21 ensayos.

Cuadro 1.2. Cálculo de muestra estratificada

Actividades	N° de pruebas(Ni)	G2	Ni*G2	Wi=Ni/(∑Ni)	ni=Wi x n
Extracción de testigos	1	0.25	0.25	0.0455	1
Extrac. de muestras para los suelos	2	0.25	0.5	0.0909	2
Reposición de muestras	3	0.25	0.75	0.1364	3
Determinación	3	0.25	0.75	0.1364	3
Clasificación de suelos	2	0.25	0.5	0.0909	2
Límites de Atterberg	2	0.25	0.5	0.0909	2
Equivalente de Arena	2	0.25	0.5	0.0909	2
Desgaste de los Ángeles	2	0.25	0.5	0.0909	2
Ensayo C.B.R.	1	0.25	0.25	0.0455	1
Ensayo Proctor	1	0.25	0.25	0.0455	1
Ensayo Marshall	1	0.25	0.25	0.0455	1
Ensayo Centrifugación	1	0.25	0.25	0.0455	1
Granulometría del material extraído	1	0.25	0.25	0.0455	1
	22.00		5.50		20.81

Fuente: Elaboracion propia

Para una muestra de 1.08 km se realizará 21 ensayos, entonces para 10.8 km se tendrá que realizar 227 ensayos.

1.5.2.5. Selección de las técnicas de muestreo

- **Técnica de muestreo aleatorio estratificado**, consiste en considerar categorías típicas diferentes entre sí (estratos) que poseen gran homogeneidad interna (poca varianza interna) y no obstante son heterogéneos entre sí (muchas varianzas entre estratos). La muestra se distribuye (se extrae de) entre los estratos predeterminados según la naturaleza de la población.

1.6. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS

1.6.1. Justificación de factibilidad, recursos insumos y medios utilizados

La evaluación de la calidad de los materiales del tramo Padcaya – Rosillas, depende de varios tipos de ensayo que si son factibles dentro del laboratorio de suelos y pueden realizarse ya que se cuenta con los medios necesarios.

1.6.2. Listado de actividades a realizar

Cuadro 1.3. Lista de actividades

Actividades	t (días)
Ubicación del tramo Padcaya - Rosillas	1
Obtención de información y permiso del tramo en estudio	4
Ubicación de los puntos para la extracción	2
Extracción de testigos y reposición	2
Determinación de espesor de la carpeta asfáltica	1
Ensayo Marshall	4
Ensayo Centrifugación	5
Granulometría	5
* Cálculos de la mezcla asfáltica	3
Extracción de los suelos (capa base- subbase) y reposición	2
Determinación de espesores las capas	2
Clasificación de suelos	7
Límites de Atterberg	4
Equivalente de Arena	4
Desgaste de los Ángeles	4
Ensayo CBR	7
Ensayo Proctor	6
* Cálculos de los suelos	3
Reconocimiento visual de fallas del tramo	2
Identificación del tipo de fallas	2
* Análisis de resultados	3
Revisión y armado de la investigación	6
t =	79

Fuente: Elaboración Propia

Según la lista de actividades, el trabajo de investigación abarcara un tiempo de 79 días de desarrollo.

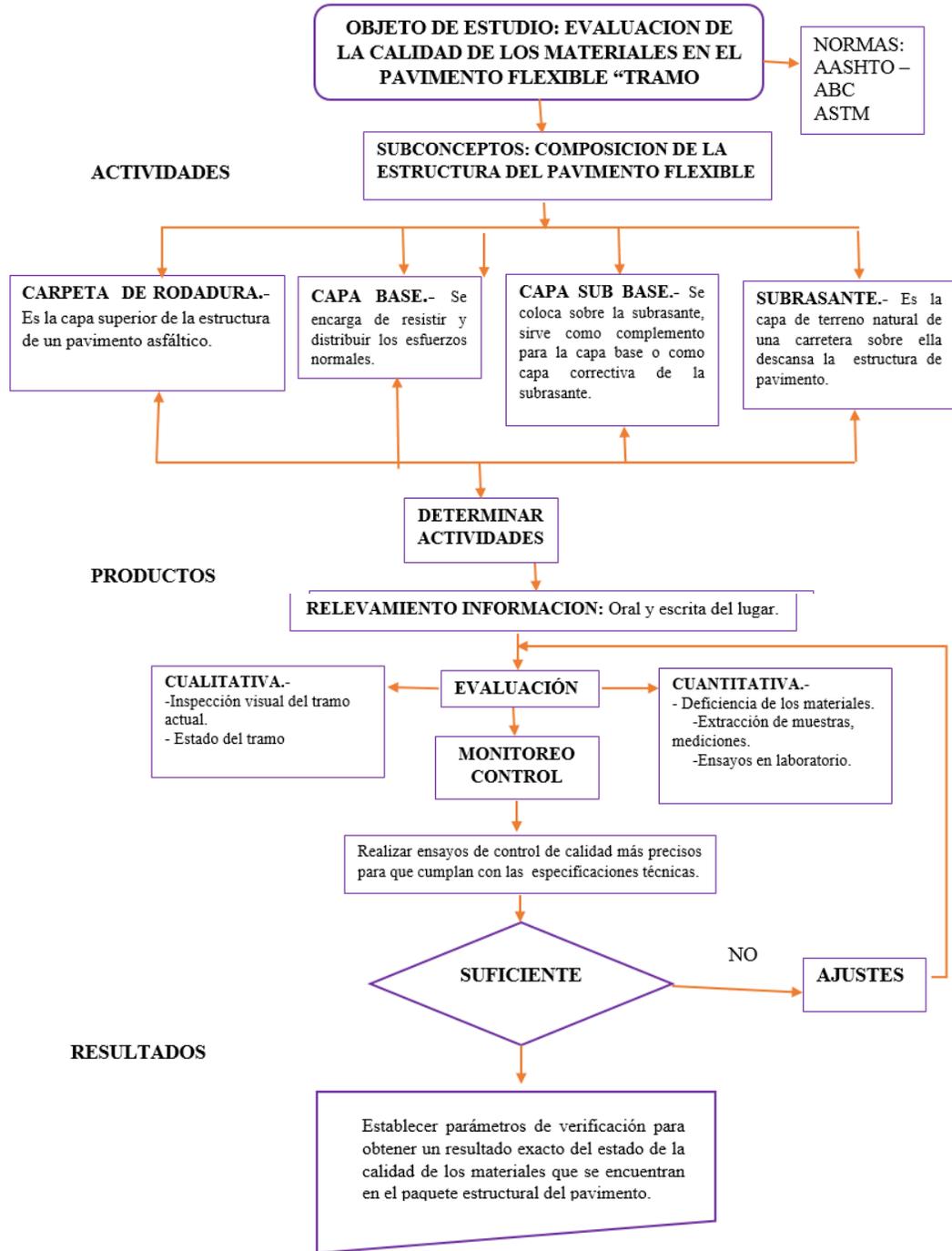
1.6.3. Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva

Definición del método según perspectiva

Evaluar

Es la acción de atribuir o determinar un valor a algo o alguien; en el caso de la investigación siempre está referida a las variables propuestas dentro de la hipótesis.

Mapa lógico según la perspectiva



Fuente: Elaboración Propia

1.6.4. Tratamiento Estadístico

Selección de programa a utilizar

En el presente proyecto se utilizará algunos de los programas recomendados: *Minitab*, *SAS*, *STAT*, *SPSS*.

Estadística Descriptiva

- ❖ Análisis de Frecuencias
 - Absoluta Relativa
 - Absoluta Acumulada
 - Relativa Acumulada
- ❖ Medidas de tendencia central
 - Moda
 - Mediana
 - Media
- ❖ Medidas de dispersión
 - Varianza
 - Descripción estándar

Identificación de Variables

Variables Independientes

X1 = Métodos de Evaluación

Variables Dependientes

Y1 = Calidad de los componentes del pavimento flexible.

Entonces

Y1= Calidad de los componentes del pavimento flexible

➔ Análisis de Frecuencias; Absoluta Relativa

➔ Medidas de tendencia central; Media ➔ Medidas de dispersión: Varianza

X1= Métodos de Evaluación

➔ Análisis de Frecuencias; Absoluta Relativa

➔ Medidas de tendencia central; Media ➔ Medidas de dispersión: Varianza

Estadística Inferencial, seleccionada para comprobar la hipótesis formulada.

❖ Parametrizada

- Regresión Lineal, No Lineal
- Prueba t
- Análisis de varianza
- Análisis co-varianzas
- Correlaciones

❖ No Parametrizada

- Chi Cuadrado

X1= Métodos de Evaluación

Y1= Calidad de los componentes del pavimento flexible

X1 → Y1

En nuestro caso, analizaremos por tratamiento estadístico descriptivo.

1.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance que tendrá este proyecto es el de realizar una evaluación de la calidad de los materiales del pavimento flexible tramo Padcaya – Rosillas, ubicado en la Provincia Arce, de la ciudad de Tarija, la institución a cargo de su ejecución del tramo lo realizó el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA).

Se sabe que los materiales dentro de las capas del pavimento, tendría un comportamiento diferente que dependerá según el tipo de carga que pueda resistir, los factores climáticos del lugar y la conformación de la capas, si no tienen una buena adherencia entre capas la estructura se puede deformar, de tal forma afectando la capacidad soporte, resistencia y forma del pavimento, en base a esto se hará un análisis, de los materiales que constituyen el pavimento flexible de modo que nos permita al momento de evaluar la calidad de los materiales, se tenga el conocimiento previo primeramente sobre el diseño de paquete estructural, especificaciones técnicas y normas de diseño utilizadas en la construcción del pavimento flexible, la calidad de los materiales se logrará determinar por medio de ensayos de caracterización de suelos y asfaltos, lo cual son ensayos que facilitan la evaluación de suelos y pavimentos, esto se debe a que estos ensayos están basados en

normas vigentes. Al tener los resultados de esta investigación se hará un análisis sobre los datos obtenidos, para verificar la calidad de los materiales en cuanto a normas que rigen los requisitos mínimos que debe cumplir la estructura de un pavimento.

Para los ensayos de laboratorio como ser: ensayo Marshall (permite conocer propiedades de los testigos, como ser; densidad, vacíos, estabilidad y flujo), extracción por ensayo de Centrifugación o Lavado Asfáltico (permite conocer el contenido de ligante asfáltico y granulometría del testigo), Granulometría, Proctor (Compactación Modificada T-180), Límites de Atterberg, Relación Soporte de California (CBR), Desgaste de los Ángeles, y Equivalente de Arena. Se realizará una cantidad representativa de ensayos, de manera que se pueda analizar y comparar los resultados, con normas vigentes y especificaciones técnicas, para cada ensayo, para la secuencia del estudio para una mayor confiabilidad de los resultados obtenidos se debe realizar los ensayos con una mayor precisión y responsabilidad.

Una vez elaborada la práctica de los materiales de estudio en laboratorio, se tendrá que hacer un análisis de dichos resultados y además de tener conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

CAPÍTULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES EN UN
PAVIMENTO FLEXIBLE

2.1. ASPECTOS GENERALES DE PAVIMENTOS

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.

Toda obra civil requiere de un adecuado control de calidad, para la finalización exitosa del proyecto y así asegurar el cumplimiento de las especificaciones, requisitos y propósitos de los planos, para ello es indispensable mantener un control veraz y actual sobre la inspección

Un pavimento para que se pueda ejecutar correctamente, debe pasar por una etapa de planeación, ejecución, y de control de calidad, donde se considera varios factores tales como: el clima, tráfico y sistemas de drenajes, que pueden llegar afectar el diseño del pavimento disminuyendo así la vida útil del tramo, y por consiguiente afectando a los materiales que componen dicho pavimento asfáltico.

Existen situaciones en que los pavimentos están expuestos a más riesgo, de perder su servicialidad a corto plazo, considerando los factores nombrados anteriormente, presentan una serie de fallas, tanto superficialmente como estructuralmente, disminuyendo la capacidad soporte del pavimento, produciendo un deterioro acelerado y continuo de la estructura del pavimento que puede reducir completamente su funcionalidad para lo cual será necesario un recapamiento o reconstrucción del mismo.

2.2. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Un pavimento está constituido o es el conjunto de capas de materiales con características definidas destinadas a soportar, distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito en forma disipada hacia la capa de subrasante. Deben repartir las presiones impuestas por el tránsito, de tal forma que a la subrasante sólo llegue una pequeña parte de ellas y la misma sea capaz de soportarlas sin sufrir deformaciones.

Los pavimentos asfálticos deben proporcionar una superficie de rodadura segura cómoda y de características permanentes que soporten las cargas del tránsito y la acción de desgaste durante un período de tiempo determinado. Las características estructurales de los pavimentos asfálticos están relacionadas con las de los materiales empleados en sus diferentes capas y con sus espesores.

2.2.1. Funciones de un pavimento

En base a lo anterior se pueden resumir las funciones principales de una estructura de pavimento:

- ❖ Resistir y distribuir de forma homogénea las cargas que se originan por el tránsito, esto quiere decir que las capas que formen una estructura de pavimento asfáltico al momento de recibir las cargas provenientes del tránsito no deberán causar deformaciones permanentes a la subrasante. Resistir la acción destructora del paso de los vehículos, las llantas de los vehículos generan una fuerza abrasiva que provoca desgaste de la superficie y posterior desprendimiento de las partículas de la carpeta de rodadura, dependiendo del grado de deterioro del desgaste puede afectar a las capas inferiores de la superficie de rodadura.
- ❖ Proporcionar la impermeabilidad necesaria para impedir la infiltración del agua de lluvia, ya que la presencia en exceso de ésta causa lubricación entre las partículas ocasionando pérdida en el valor soporte, por otro lado, la presencia de agua en la capa de subrasante en su mayoría de veces ocasiona cambio de volumen perjudicial para la estructura de pavimento.
- ❖ Resistir los efectos de los agentes climáticos debido a que a lo largo de la vida útil de un pavimento será expuesto a los efectos destructores del sol y la lluvia o a cambios frecuentes de temperatura, los materiales a utilizar deberán tener la

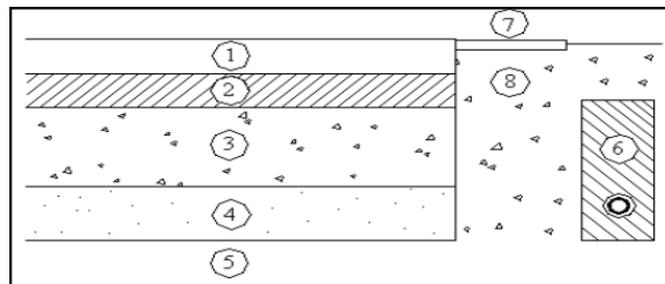
capacidad de resistir los efectos de los agentes físicos y químicos al cual estarán expuestos.

- ❖ Tener una superficie de rodadura adecuada que permita en todo tiempo un desplazamiento fácil y cómodo de los vehículos, esto quiere decir que la carpeta de rodadura debe ser segura y lo suficientemente lisa para generar confort y el menor daño a los vehículos que lo transitan, sin embargo, la carpeta de rodadura debe de ser antideslizante o evitar el hidroplaneo cuando se encuentre húmeda.
- ❖ La carpeta de rodadura deberá ser lo suficientemente flexible para adaptarse a cualquier deformación que se presente en las capas de base y subbase o hasta de la propia subrasante.

2.2.2. Componentes de un pavimento asfáltico

En la figura 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 de subbase y suelo compactado.

Figura 2.1. Sección típica de un pavimento.



Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos.

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

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

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

La capa base tiene las siguientes funciones:

- ❖ Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas subbase y suelo natural.
- ❖ Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.
- ❖ Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

La capa subbase está constituida por un material de capacidad de soporte superior a la del suelo compactado y se utiliza para permitir la reducción del espesor de la capa base.

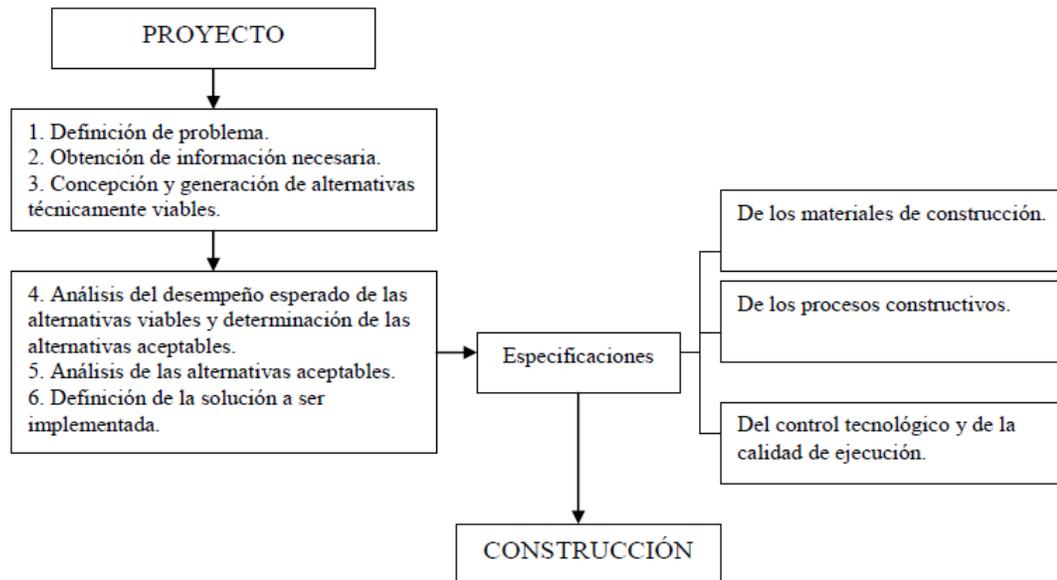
- ❖ La capa de suelo reforzado, puede estar presente en una estructura de pavimento, para reducir el espesor de la capa subbase.
- ❖ El suelo compactado, es el mismo suelo del terraplén, que está escarificado y compactado una cierta profundidad dependiendo de su naturaleza o de las especificaciones del proyecto.

2.2.3. Proyecto de un pavimento asfáltico

Proyectar un pavimento significa determinar la combinación de materiales, espesores y de las capas constituyentes que sea más económica, de entre todas las alternativas viables que satisfagan los requisitos funcionales requeridos. Se trata de una actividad que incluye todos los pasos usuales de un proyecto de cualquier tipo de estructura, donde el producto elaborado incluye las especificaciones que serán seguidas durante la construcción, como se indica en la Figura 2.2. En esta figura los tres primeros pasos del proceso fueron agrupados en un mismo bloque para mostrar que no hay una sucesión temporal directa

entre ellos. A medida que van siendo concebidas las soluciones técnicamente viables se requieren nuevos datos, cuya necesidad hasta entonces era insospechada.

Figura 2.2. Actividades pertenecientes a un proyecto.



Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos.

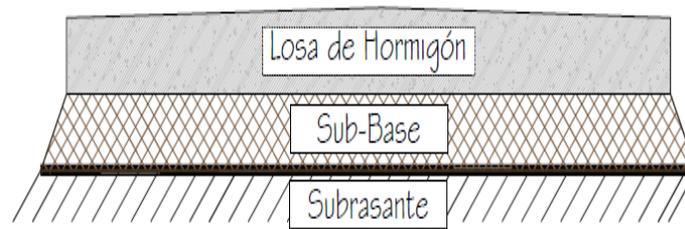
2.2.4. Tipos de pavimentos asfálticos

Se presentan principalmente 4 tipos de pavimentos, los cuales son flexibles, rígidos, semirrígidos y articulados. Se diferencian por la estructura y las capas que las conforman. Asimismo, cómo se transmiten los esfuerzos y deflexiones a las capas subsecuentes.

Un pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico con o sin acero. Este tipo de pavimentos no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores. La sección transversal de un pavimento rígido está compuesta por la losa de concreto hidráulico que va sobre la subbase y estas sobre la subrasante. Tiene costos iniciales de construcción altos en comparación con los pavimentos flexibles y su periodo de vida varía entre 20 y 40 años.

El mantenimiento que requiere es mínimo, primordialmente en las juntas.

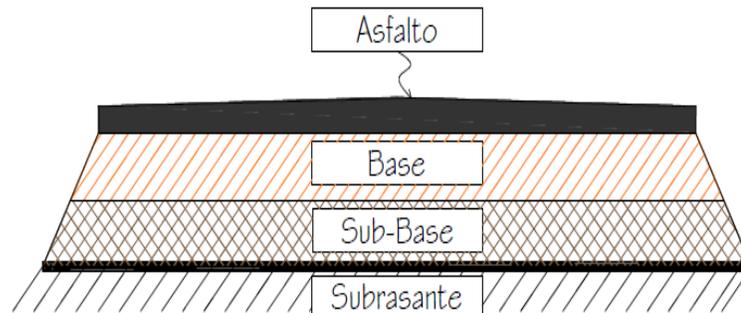
Figura 2.3. Sección típica transversal pavimento rígido



Fuente: Armijos 2009

Por otro lado, un pavimento flexible cuenta con una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Este pavimento está compuesto de una carpeta asfáltica, base granular y capa de subbase. Es más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de 10 a 15 años. Requiere de un mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

Figura 2.4. Sección típica transversal pavimento flexible

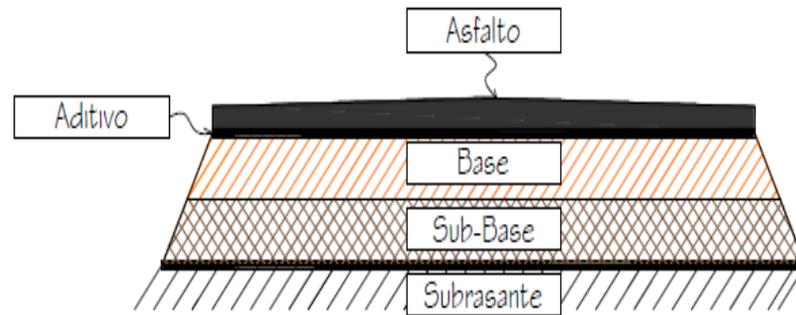


Fuente: Armijos 2009

Los pavimentos semirrígidos contienen la misma estructura que los flexibles, con la variación que se rigidiza artificialmente una de las capas con algún aditivo que puede ser: asfalto, cal, cemento, emulsión o químicos; incrementando la capacidad portante del suelo.

Dentro de este tipo están incluidos los pavimentos compuestos, los cuales combinan tipos de pavimentos flexibles y rígidos, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima.

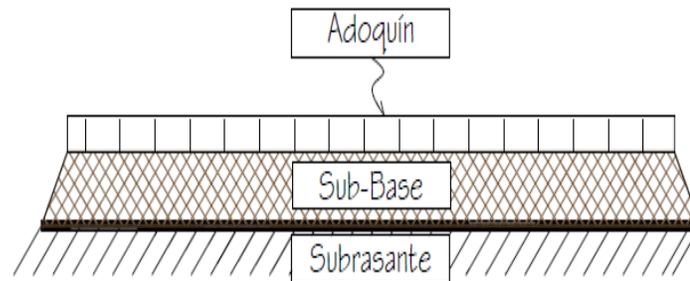
Figura 2.5. Sección típica transversal pavimento semirrígido



Fuente: Armijos 2009

Por último, tenemos a los pavimentos denominados articulados, cuyas capas de rodadura se encuentran conformadas por bloques de concreto prefabricado, iguales entre sí y de un espesor uniforme; y que se colocan sobre una capa delgada de arena, la cual se encuentra sobre una capa granular o la subrasante.

Figura 2.6. Sección típica transversal pavimento articulados



Fuente: Armijos 2009

A continuación, describiremos las capas que conforman generalmente a los pavimentos flexibles, debido a que el tema gira en torno a este tipo de pavimento.

Subrasante

Es la capa más profunda de toda la estructura que conforman al pavimento. Estos suelos pertenecientes a la subrasante serán adecuados y estables con CBR igual o mayor a 6%. En el caso que sea menor (subrasante pobre o inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual se tendrá que analizar alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo de suelo, estabilización química de suelo, estabilización con geo-

sintéticos, entre otros, eligiendo la alternativa más conveniente en cuanto a lo técnico y económico. Se apoya sobre el terreno natural de fundación.

Subbase

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

Base granular

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Esta capa será de material granular ($\text{CBR} \geq 80\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. A su vez esta capa debe ser de mejor calidad y granulometría que la subbase.

Carpeta asfáltica

Es la capa superior del pavimento flexible y es colocada sobre la base granular con la finalidad de sostener directamente el tránsito. Asimismo, es la capa de mejor calidad debido a que debe ofrecer características como fricción, suavidad, control de ruido y drenaje.

2.3. IMPORTANCIA DE LOS MATERIALES CONSTITUIDOS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE

En el diseño de un pavimento flexible intervienen materiales indispensables que son los agregados pétreos y el asfalto; los cuales conformaran las capas del pavimento, cabe mencionar que la calidad de un pavimento flexible depende de la calidad de los materiales constituyentes y la capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, transmitiendo a las capas que se encuentre debajo de ellas, de esto se deriva la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales que serán utilizados para ejecutar un pavimento flexible, específicamente en lo que se refiere a una buena distribución granulométrica.

Una pequeña variación en el porcentaje de un determinado tamaño de agregado, o en las propiedades de la mezcla asfáltica, puede causar cambios significativos en el pavimento,

por lo tanto, es necesario llevar un control eficiente de los materiales que se está usando en la ejecución del pavimento lo cual puede comprender:

- ❖ Control de calidad del agregado que se produce en la planta trituradora.
- ❖ Control de calidad en la clasificación de los suelos.
- ❖ Control de calidad en la elaboración de la mezcla asfáltica.
- ❖ Control de calidad en planta, transporte y colocado de los materiales en la ejecución del pavimento.

Para lo cual es necesario conocer los materiales que se requiere en pavimentos flexibles. Veremos por separado los materiales correspondientes a cada una de las tres capas que componen la estructura de un pavimento, a saber: subbase, base y carpeta asfáltica.

2.3.1. Materiales para subbase

Los materiales para la subbase serán pétreos, procedentes de canteras o depósitos aluviales, compuestos por fragmentos de piedra o grava, duros y durables, con llenantes de arena u otro material finamente dividido, libres de terrones de arcilla, materiales vegetales y otros elementos objetables.

Los agregados para la construcción de la subbase granular deberán satisfacer los requisitos indicados y ajustarse a una de las franjas granulométricas indicadas en la siguiente tabla:

Cuadro 2.1. Requerimientos granulométricos para subbase granular

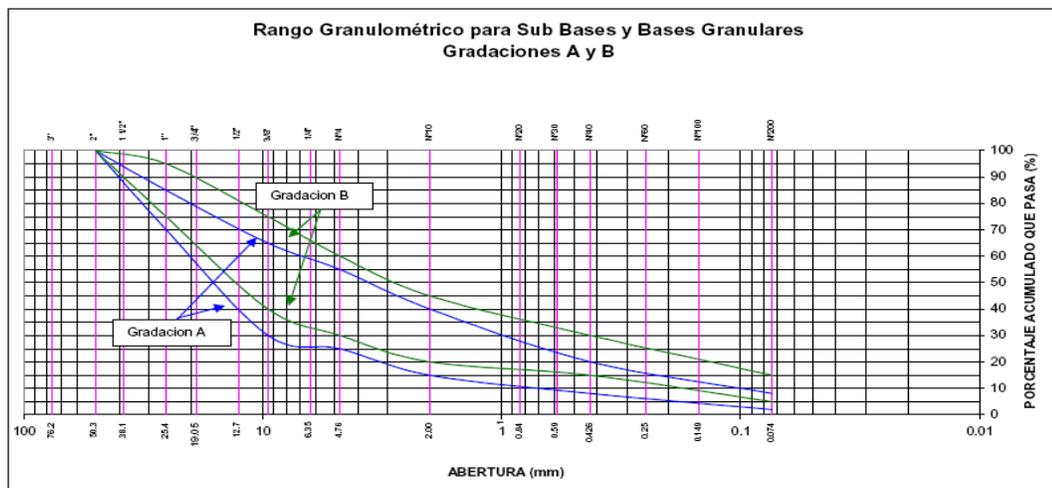
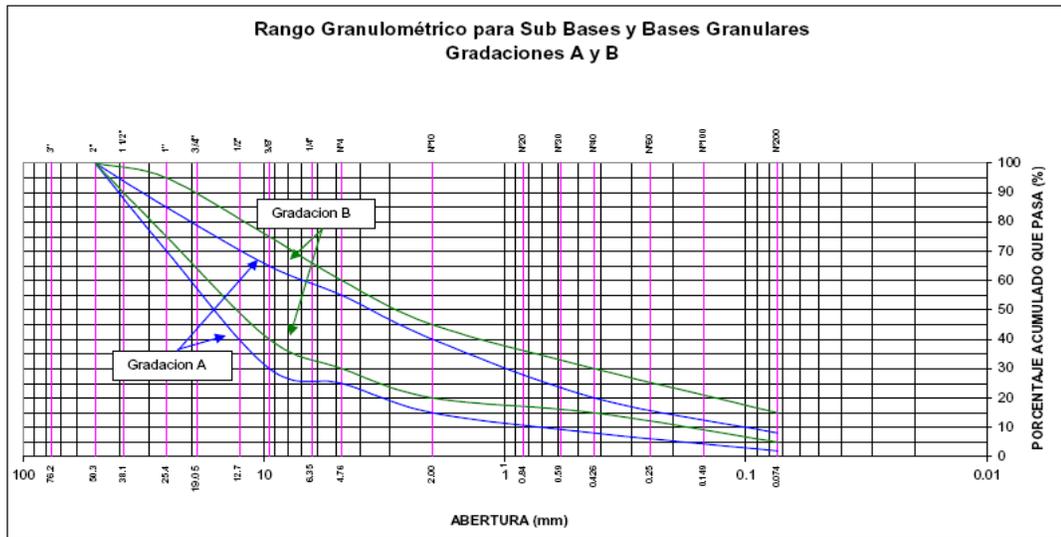
Tamiz		Porcentaje que pasa en peso			
		Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm	2"	100	100		
25 mm	1"	-	75 - 95	100	100
9.50 mm	3/8 "	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm	Nº 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm	Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
4.25 um	Nº 40	8 -20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 um	Nº 200	2 -8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Fuente: ASTM D 1241

Cuadro 2.2. Subbase granular

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				<3000 msnm	≥3000 msnm
Abrasión	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx	50 % máx
CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín	40 % mín
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25 % máx	25 % máx
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 176	6 % máx	4 % máx
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419		25 % mín	35 % mín
Sales Solubles	MTC E 219			1 % máx	1 % máx
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 211	D 4791		20 % máx	20 % máx

Fuente: ASTMD 1241



Fuente: ASTMD 1241

Ensayos

Estos materiales deben ser ensayados en laboratorio debiendo cumplir los requisitos que se detallan:

- ❖ La granulometría del material para subbase, deberá encuadrarse dentro de las fajas granulométricas indicadas a continuación. El INGENIERO podrá aprobar otras granulometrías, pero en ningún caso el diámetro máximo del material podrá ser mayor que 7 cm. o que la mitad del espesor de la capa compactada, ni las partículas que pasen por el tamiz N° 200 en porcentaje en peso, ser superior al 30 %.
- ❖ El agregado retenido en el tamiz N° 10, debe estar constituido por partículas duras y durables, exentas de fragmentos blandos, alargados o laminados así como de materias orgánicas, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales.
- ❖ La fracción de material que pasa por el tamiz No.40, debe tener un índice de plasticidad menor del 6%, y un límite líquido menor del 25%.
- ❖ La fracción de material que pasa por tamiz No.4, debe presentar un equivalente de arena mayor del 20%.
- ❖ El desgaste debe ser tal que al someter el material al ensayo en la máquina de Los Ángeles, deberá presentar un desgaste menor al 50% para la fracción gruesa.
- ❖ El valor relativo del soporte (CBR) del material deberá ser mayor del 25% y se medirá sobre muestras compactadas hasta una densidad seca equivalente al 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado y sometidas a inmersión.

Los estudios previos y los controles de calidad de estos materiales deben encomendarse a laboratorios de reconocida competencia y seriedad.

Transporte, recibo y almacenamiento

Los agregados para las mezclas asfálticas deben ser transportados de la mina o fuente aluvial al sitio de la planta de mezclas, utilizando volquetas apropiadas, empleando protecciones que impidan la dispersión de polvo u otras partículas que afecten el ambiente. Al ser recibidos en la planta, el material debe ser inspeccionado visualmente en sus características, medido su volumen verificando contra la cantidad despachada.

El material debe ser almacenado en superficies limpias y firmes, teniendo espacios separados físicamente para los materiales de diferentes granulometrías. Se debe prevenir la segregación de los tamaños de las partículas durante el manipuleo del material almacenado. El sitio de almacenamiento debe ser cubierto para un mejor control de la humedad en épocas de lluvia, y se debe proteger para evitar la acción del viento esparciendo polvos y otras partículas en el ambiente.

2.3.2. Materiales para capa base

Los materiales para la base deben ser pétreos de origen aluvial o de cantera, triturados, mezclados con arena de río o de peña, libres de terrones de arcilla, materia orgánica, basuras, escombros u otros elementos objetables.

Los agregados para la construcción de la base granular deberán satisfacer los requisitos indicados. Además, deberán ajustarse a las siguientes especificaciones de calidad:

Granulometría

La composición final de la mezcla de agregados presentará una granulometría continua y bien graduada (sin inflexiones notables) y según uno de los requisitos granulométricos que se indican en el siguiente cuadro.

Para las zonas con altitud de 3000 msnm se deberá seleccionar la gradación "A".

Cuadro 2.3. Requerimientos granulométricos para base granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm 2"	100	100		
25 mm 1"	-	75 - 95	100	100
9.50 mm 3/8 "	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm N° 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm N° 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
4.25 um N° 40	8 -20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 um N° 200	2 -8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Fuente: ASTMD 1241

El material de base granular deberá cumplir además con las siguientes características físico-mecánicas y químicas que a continuación se indican:

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)

Tráfico ligero y medio

Tráfico pesado

Mín 80 %

Mín 100 %

La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

Agregado grueso

Materiales retenidos en la malla N° 4, los que consistirán de partículas pétreas durables y trituradas capaces de soportar los efectos de manipuleo, extendido y compactación sin producción de finos contaminantes.

Deberán cumplir las siguientes características:

Cuadro 2.4. Requerimientos agregado grueso

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				<3000 msnm	≥3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80 % mín	80 % mín
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40 % mín	50 % mín
Abrasión delos Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40 % máx	40 % máx
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 221	D 4791		15 % máx	15 % máx
Sales Solubles Totales	MTC E 219	D 1888		0.5 % máx	0.5 % máx
Pérdida con Sulfato de Sodio	MTC E 209	C 88	T 104		12 % máx
Pérdida con Sulfato de Magnesio	MTC E 209	C 88	T 104		18 % máx

Fuente: ASTM D 1241

Agregado fino

Materiales pasantes la malla N° 4 que podrá provenir de fuentes naturales o de procesos de trituración o combinación de ambos.

Cuadro 2.5. Requerimientos agregado fino

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		<3000 msnm	>3000 msnm
Índice Plástico	MTC E 111	4 % máx	2 % máx
Equivalente de Arena	MTC E 114	35 % mín	45 % mín
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.55 % máx	0.5 % máx
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 % mín	35 % mín

Fuente: ASTM D 1241

Ensayos

Estos materiales deben ser sometidos a ensayos de laboratorio de acuerdo a las normas mencionadas.

- ❖ Los límites de consistencia para estos materiales serán para el material que pasa al tamiz No.40, un índice de plasticidad no mayor del 4% y un límite líquido menor del 25%.
- ❖ El porcentaje del material que pasa el tamiz N° 200, no debe exceder a 2/3 del porcentaje que pasa el tamiz N° 40.
- ❖ La fracción de material que pasa por el tamiz No.4 debe presentar un equivalente de arena mayor del 30%.
- ❖ El desgaste será tal que al ser sometido al ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles deberá presentar un desgaste menor del 45% para la fracción gruesa. El desgaste de las diversas fracciones granulométricas tomadas para el ensayo deberá ser homogéneo.
- ❖ La solidez del material deberá ser tal que no presente señales de desintegración ni pérdida de peso mayor del 15% al someterlo a cinco ciclos alternados en la prueba de solidez con sulfato de sodio.
- ❖ La fracción de material retenido en el tamiz No.4 deberá presentar un índice de aplanamiento inferior a 35%, y un índice de alargamiento inferior al 30%. Un 50% del peso de dicha fracción deberá presentar por lo menos una cara fracturada.
- ❖ El valor relativo del soporte (CBR) del material deberá ser mayor de 80% y se medirá sobre muestras compactadas hasta una densidad seca equivalente al 100% de una densidad seca máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado y sometidas a inmersión.
- ❖ El agregado retenido en el tamiz N° 10, debe estar constituido de partículas duras y durables, exentas de fragmentos blandos, alargados o laminados y exentos de materia vegetal, terrones de arcilla y u otra sustancia perjudicial. Los agregados gruesos, deberán tener un desgaste no superior a 50% a 500 revoluciones según lo determine el ensayo AASHTO T-96.

Cuadro 2.6. Ensayos y frecuencias

Material o Producto	Propiedades y Características	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia	Lugar de Muestreo	
Base Granular	Granulometría	D 422	T 88	7500 M2	Cantera	
	Límite Líquido	D 4318	T 89	750 M2	Cantera	
	Índice de Plasticidad	D 4318	T 89	750 M2	Cantera	
	Desgaste de los Ángeles	C 131	T 96	2000 M2	Cantera	
	Equivalente de Arena	D 2419	T 176	2001 M2	Cantera	
	Sales Solubles	D 1888		2002 M2	Cantera	
	CBR	D 1883	T 193	2003 M2	Cantera	
	Partículas Fracturadas	D 5821		2004 M2	Cantera	
	Partículas Chatas y Alargadas	D 4791		2005 M2	Cantera	
	Pérdida en Sulfato de Sodio / Magnesio	C 88	T 104	2006 M2	Cantera	
	Densidad - Humedad	D 1557	T 180	750 M2	Pista	
	Compactación		D 1556	T 101	250 M2	Pista
			D 1922	T 238		

Fuente: ASTMD 1241

Transporte, recibo y almacenamiento

Se deben seguir los mismos lineamientos de la capa subbase.

2.3.3. Materiales para la carpeta asfáltica

Veremos aquí los materiales empleados para las bases asfálticas y las carpetas de rodadura.

La base asfáltica está constituida por una mezcla homogénea de agregados pétreos clasificados y cemento asfáltico, mezclados en planta y en caliente. La carpeta de rodadura consiste en una mezcla de los mismos materiales, pero los agregados se parten en tres grupos: agregados gruesos, agregados finos y llenante mineral.

Los materiales para la fabricación de la mezcla deben cumplir con las siguientes especificaciones.

Los agregados pétreos para la base asfáltica deben tener una curva granulométrica que se ajuste a una de las siguientes bandas, según se vaya a utilizar para reforzar pavimentos existentes, o como parte de la estructura de un pavimento nuevo.

Cuadro 2.7. Requerimientos granulométricos para bases asfálticas

Tamiz	%Que pasa	
	Para refuerzo de pavimento existente	Para Pavimento nuevo
1 1/2 "	100	100
1"	95-100	90-100
3/4"	60-80	60-85
N° 4	25-45	30-50
N° 8	15-35	-
N° 10	-	20-37
N° 40	3-20	12-25
N° 80	-	6-16
N° 200	0-5	0-6

Fuente: ASTMD 1241

La fracción gruesa, o sea la retenida en el tamiz No.4, debe presentar en la prueba de Los Ángeles un desgaste no mayor al 40%.

La forma de los elementos gruesos debe ser tal que los índices de alargamiento y aplanamiento sean inferiores al 35%.

La fracción gruesa debe tener un equivalente de arena mayor al 30%.

Agregados para las carpetas asfálticas

Los agregados para las carpetas asfálticas se parten en tres grupos:

Agregado grueso

La porción de agregados en el tamiz No.4, se denomina agregado grueso y está constituida por rocas o gravas trituradas, limpias, durables, libres de polvo, terrones de arcilla u otros materiales objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto a los agregados pétreos.

Al ser sometido el material al ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles, deberá presentar un desgaste menor del 40%.

El agregado no deberá mostrar señales de desintegración ni pérdida de peso mayor del 12% al someterlo a cinco ciclos en la prueba de solidez en sulfato de sodio.

Como mínimo en 60% en peso de las partículas retenidas en el tamiz No.4 deberá tener al menos una cara fracturada.

Los índices de alargamiento y de aplanamiento que miden la forma del material, deberán ser iguales o inferiores al 30%.El material deberá ser sometido al ensayo de adherencia. El porcentaje del área total del agregado sobre la cual permanezca adherida la película bituminosa después del ensayo, deberá ser superior al 95%.

Agregado fino

La porción de agregado que pasa al tamiz No.4 se denomina agregado fino. Consistirá de arena natural, de material producido por trituración, o de una combinación de ambos, con granos limpios, duros, de superficie rugosa y angular y libre de terrones de arcilla y otros materiales objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto a los granos.

El material fino de trituración se producirá a partir de rocas, de piedras o de gravas que cumplan con los requisitos de solidez y durabilidad exigidos para el agregado grueso.

El agregado fino, bien sea natural, triturado o producido por una mezcla de ambos, tendrá un componente de arena superior al 45% y un índice de plasticidad nulo.

Llenante mineral

Cuando se requiera llenante mineral, éste consistirá en polvo de piedra caliza, polvo de dolomita, cenizas de carbón o de fundición, cemento Pórtland u otro material inerte, seco y libre de terrones.

Ensayos

Para estos agregados se emplean los mismos ensayos mencionados para los materiales de base. Para determinar la granulometría del material llenante, se sigue el procedimiento establecido en normas.

Los buenos procedimientos de control de calidad requieren de pruebas durante los procesos de producción, acopio y manejo para asegurar que solamente se use material satisfactorio en la mezcla de pavimentación y proporcionar un registro permanente como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones de la obra. Las muestras

seleccionadas deben ser representativas de todo el agregado, siendo las muestras tomadas de la banda de alimentación, y no de la pila o tolva, las más representativas. Después de haber seleccionado una muestra de agregado, es a veces necesario reducir su tamaño (volumen) lo cual puede causar segregación. Generalmente lo más aconsejable en estos casos es utilizar un partidador mecánico de muestras con agregados gruesos o agregados finos secos. Por otro lado, el cuarteo es el mejor método cuando la mezcla de agregado está húmeda.

Transporte, recibo y almacenamiento de agregados

Se deben tener en cuenta para el transporte y recibo de estos materiales las mismas indicaciones dadas para los materiales de base. El contratista deberá estar preparado para recibir los agregados antes de que sean entregados en la planta. Deberán prepararse superficies limpias y firmes y deberán tomarse precauciones para mantener separadas las reservas y así prevenir entremezclado de partículas, lo cual conduce frecuentemente a errores en la gradación. Las arenas, el agregado fino y los agregados que consisten en partículas de un solo tamaño, pueden ser acopiados utilizando cualquier método, pero no los materiales que contienen partículas que varían en tamaño. La segregación puede ser minimizada si el material grueso y el material fino son separados en el sitio y juntados en las proporciones adecuadas antes de las operaciones de mezclado. El mejor método para acopiar reservas de este tipo de material es en capas. Los rellenos minerales son usualmente almacenados en depósitos, silos o bolsas para prevenir que sean arrastrados por el viento y que sean expuestos a la humedad, la cual los puede aglutinar o endurecer. El manejo del agregado degrada, o rompe, hasta cierto punto las partículas individuales de agregado y causa segregación. Por lo tanto, el manejo de agregado debe ser mínimo.

Cuadro 2.8. Requerimientos para granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas.

Tamiz	Porcentaje de masa pasando, Designación de tamices (AASHTO T 27 y AASHTO T 11)					
	Designación de la Graduación					
	A	B	C	D	E	F
37.5 mm	100 ⁽¹⁾					
25.0 mm	97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾			
19.0 mm	—	97-100 ⁽¹⁾	97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	
12.5 mm	—	76-88(5)	*(5)	97-100 ⁽¹⁾	97-100 ⁽¹⁾	
9.50 mm	53-70(6)	—	*(6)	—	*(5)	100 ⁽¹⁾
4.75 mm	40-52(6)	49-59(7)	*(7)	57-69(6)	*(6)	33-47(6)
2.36 mm	25-39(4)	36-45(5)	*(5)	41-49(6)	*(6)	7-13(4)
600 µm	12-22(4)	20-28(4)	*(4)	22-30(4)	*(4)	—
300 µm	8-16(3)	13-21(3)	*(3)	13-21(3)	*(3)	—
75 µm	3-8(2)	3-7(2)	3-8(2)	3-8(2)	3-8(2)	2-4(2)

(1) Procedimientos estadísticos no aplican.

* El contratante especifica el valor del rango y límites.

() Desviación permisible (\pm) del rango de valores.

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente.

Asfalto

El asfalto es un material derivado del petróleo, conformado por los hidrocarburos más pesados, de color negro, con características cementantes, que varía de consistencia entre sólido y semisólido a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente. El asfalto se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y además es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis o bases, o las sales.

El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también tiende a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado.

Los asfaltos de pavimentación pueden clasificarse en tres tipos generales:

Cementos asfálticos

Asfalto diluido (o cortado)

Asfalto emulsificado

Los cementos asfálticos se clasifican bajo los siguientes tres sistemas diferentes: Viscosidad, viscosidad después de envejecimiento y penetración. Cada sistema abarca diferentes grados, cada uno con diferente rango de consistencia. En el sistema de viscosidad, el poise es la unidad normal de medida para la viscosidad absoluta.

Propiedades químicas del asfalto

El asfalto está compuesto básicamente de hidrocarburos y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. Cuando está disuelto en un solvente puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos. Los asfaltenos una vez separados de los maltenos son de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Ellos le proporcionan al asfalto su color y dureza. Los maltenos son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites y son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas en el asfalto, mientras que los aceites actúan como medio de transporte para los asfaltenos y las resinas.

Propiedades físicas del asfalto

Las más importantes son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

Durabilidad

Medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a un proceso normal de degradación y envejecimiento. Esta propiedad está juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento que depende del diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otros factores. Las pruebas utilizadas para evaluar la durabilidad del asfalto son la Prueba de Película Delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO).

Adhesión y cohesión

La adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

Susceptibilidad a la temperatura

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto quiere decir que se vuelven más viscosos a medida que la temperatura disminuye y viceversa. Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues ella indica la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla.

Endurecimiento y envejecimiento

El endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto. Durante el mezclado, mientras está revistiendo las partículas de agregado, se presente el mayor grado de endurecimiento.

Ensayos sobre productos asfálticos en pavimentos

Los cementos asfálticos son hidrocarburos semisólidos que se obtienen durante la destilación del petróleo luego de que los aceites lubricantes han sido removidos.

Para uso en pavimentación existen los cementos asfálticos en grado 40 – 50, 60 – 70, 85 – 100, 120 – 150, y 200 – 300, de los cuales en el país sólo se producen el 60 – 70 y el 85 – 100.

Estos valores indican la distancia que una aguja normalizada penetra dentro de una muestra del producto en condiciones controladas. El grado de penetración determina la dureza del asfáltico y por lo tanto, entre más blando sea, mayor será su penetración.

Asfaltos líquidos

Se emplean para los riegos ligantes. Los asfaltos líquidos son obtenidos al mezclar un cemento asfáltico con un destilado liviano y volátil para volverlo líquido. Dentro de este tipo de asfaltos se encuentran los de curado rápido cuyo solvente es la gasolina, los de curado medio cuyo solvente es kerosén y los de curado lento cuyo solvente es el aceite liviano. Dentro de cada clase existen las siguientes variedades: RC 70, 250, 800 y 3000; MC 30, 70, 250, 800 y 3000; SC 70, 250, 800 y 3000, números que indican la viscosidad cinemática, medida en centistokes que el asfalto puede tener a 60 C, siendo la máxima admisible el doble del número que lo identifica.

Cuadro 2.9. Requerimientos mínimos de calidad para asfaltos.

Características	Método de Ensayo AASHTO	Método de Ensayo ASTM	Tipos				
			Industriales y Especiales	Pavimentación			
Penetración 25 °C, 100 gr, 5 s.	T-49	D-5	40-50	60-70	85-100	120-150	200-300
Viscosidad a 135 °C.							
Saybolt-Furol, SSF	-	E-102	120+	100+	85+	70+	50+
Cinemática, centistokes.	-	D-445	240+	200+	170+	140+	100+
Punto de inflamación (vaso abierto Cleveland), °C	T-48	D-92	232+	232+	232+	232+	177+
Ensayo en horno en película delgada.	T-179	-	-	-	-	-	-
Penetración después del ensayo, 25 °C, 100 gr, 5 s, % de la original	T-49	D-5	52+	50+	45+	42+	37+
Ductilidad:							
A 25 °C, cm.	T-51	D-113	100+	100+	100+	60+	-
A 15,6 °C, cm.	-	-	-	-	-	-	60+
Solubilidad en C Cl ₄ , %	T-44	D-4	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+
Condiciones generales.			El asfalto se preparará por destilación del petróleo. Será uniforme en su naturaleza y no formará espuma al calentarlo a 177 °C.				

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente.

2.4. FACTORES QUE INFLUYEN LA CALIDAD DE LOS MATERIALES EN UN PAVIMENTO

Los factores que, independientemente del método y calidad del diseño de un pavimento, afectan en forma predominante a este, pueden considerarse comprendidos en los siguientes grupos:

Cargas impuestas por el tránsito

El tránsito produce las cargas a que el pavimento va a estar sujeto. Respecto al diseño de los pavimentos interesa conocer la magnitud de estas cargas, las presiones de inflado de las llantas, así como el área de contacto, su disposición y arreglo en el vehículo, la frecuencia y número de repeticiones de las cargas y las velocidades de aplicación.

Actualmente la demanda de tránsito en la región va creciendo de manera considerable, por ello es necesario enfatizar el mantenimiento de las vías de la región.

Condiciones ambientales a las cuales se encuentra sometida la estructura

Este factor principalmente tiene que ver con el clima, entorno a la estructura del pavimento, aunque el clima se reconozca como un factor a considerar en el comportamiento de los pavimentos, son muy pocos los métodos que tienen en cuenta algún aspecto del mismo por la dificultad de estimar cuantitativamente su influencia.

La humedad es el peor enemigo de un pavimento porque origina las grietas, al comprimirse el pavimento (mal diseñado en sus capas) por las cargas vehiculares y a su vez originar las tensiones en la superficie de pavimento (rasante). Al haber tensión dará lugar a la grieta y ésta será el medio por el cual la humedad se infiltre en las capas interiores del pavimento, lo cual originará más problemas de grietas.

Tipo de suelo o terreno de fundación (Subrasante)

El suelo de fundación debe encontrarse libre de material orgánico y tener una estabilidad aceptable para evitar futuras fallas en el pavimento, La subrasante es una de las principales capas en la estructura de una obra vial es por esto la importancia que se le da a la misma, debemos tomar en cuenta sus propiedades ensayos y todo lo que se refiera a la subrasante. La escasez de materiales locales apropiados y la cada vez más obligada utilización de los materiales de la propia explotación, hacen recomendable el empleo de los suelos estabilizados con cemento o con cal. La capacidad de soporte de la subrasante se evalúa mediante el CBR.

Se considera fundamental el adecuado drenaje de la subrasante, no aceptando la posibilidad de un drenaje deficiente a compensar con un mayor espesor del pavimento.

Calidad de los materiales empleados

Cuando los materiales no cumplen con los estándares de calidad necesarios, siempre se dan fallas en el pavimento, principalmente en las carpetas asfálticas. Es por eso que los materiales asfálticos y de concreto aplicados deben cumplir con todos los requerimientos necesarios para la construcción de un pavimento de buena calidad.

También los agregados deben pasar por un estudio de laboratorio para tener la seguridad de la calidad de estos materiales, libre de elementos orgánicos y pasado por un ensayo granulométrico.

Deficiencias durante el proceso constructivo

Deficiencias en los procesos constructivos hacen una estructura débil del pavimento. Esto se debe a inadecuados espesores y mezclas así como una deficiencia en la distribución y compactación de las capas.

Afectación del medio ambiente al pavimento

La influencia de la plasticidad, resistencia, deformación de los materiales y los efectos con el medio ambiente.

Existen diversos factores que propician la variación de las características de resistencia y deformación en los materiales que conforman una sección estructural, como son:

Lluvia.

Cambio en el nivel de aguas freáticas.

Intemperismo por cambios de clima.

Cuando el terreno natural está formado por materiales finos es probable que los cambios de humedad a los cuales está sujeto, modifiquen el volumen, la resistencia y la deformabilidad o variación volumétrica de la sección estructural.

Los cambios en los contenidos de agua pueden ser producidos por alguna de las siguientes causas:

Infiltraciones propiciadas por agua de lluvia.

Ascensión capilar del nivel de aguas freáticas.

Flujo interno en la masa del suelo o roca por un drenaje o subdrenaje inadecuado.

El agua sobre la superficie de rodamiento tiene un efecto denominado de bombeo, el cual se produce a través de agrietamiento de la carpeta. Al estar una grieta llena de agua, la presión de las llantas de los vehículos se transmite a las capas inferiores como la base y la subbase; si estas contienen finos, al ejercer la presión, se arrastran dichos finos, junto con la expulsión de agua creándose un vacío o cavidad que posteriormente se transformará en bache, con una destrucción paulatina de la estructura del pavimento.

Dado que la base y la subbase son capas que están cercanas a la superficie de rodamiento y que deben resistir a la acción del tránsito, éstas deben ser formadas por materiales granulares.

Los materiales pétreos que se utilizan para formar la base y la subbase no deben de estar contaminados con materiales plásticos ya que estos propician una disminución en el Valor Relativo de Soporte (VRS), entendiéndose por VSR a la resistencia que presenta un suelo al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad. En consecuencia, la deformación incremental, así como también los cambios volumétricos con el aumento de contenido natural de agua.

La elección de los materiales de terracería y de la capa subrasante, son parte fundamental para la construcción de caminos, de forma tal que se pueden usar

Aquellos que sean poco deformables, tengan estabilidad volumétrica y no disminuyan su resistencia con el incremento de contenido natural de agua. Los materiales granulares sufren menores variaciones en su resistencia cuando están sujetos a la acción del agua. Su resistencia está en función de la forma de las partículas, distribución granulométrica, resistencia propia de las partículas y de su compactación.

2.4.1. Métodos de Evaluación

La evaluación del pavimento existente tiene como objetivo el análisis y estimación del valor estructural remanente, adicionalmente esta evaluación debe proporcionar la información necesaria para la investigación de las causas que originaron la falla del pavimento a rehabilitar, es decir, debe aportar los elementos de juicio necesarios para el diagnóstico de las fallas observadas con la finalidad de definir las acciones de mantenimiento y/o rehabilitación a ejecutar según las deficiencias encontradas.

La evaluación estructural de un pavimento existente abarca necesariamente los siguientes trabajos:

Evaluación superficial de la condición del pavimento

En lo que se refiere a la evaluación superficial, la misma debe considerar las fallas presentes en el pavimento de tal manera de valorarlas, tanto en magnitud como en severidad, para así tener un indicativo referencial de su condición. Para ello se dispone de la Evaluación Funcional del Pavimento mediante la determinación del Índice de condición del Pavimento (PCI). Esta información se debe complementar, en especial con la medición

de deflexiones, con la finalidad de establecer posibles correlaciones entre la condición superficial del pavimento y su deflexión superficial.

Evaluación del sistema de drenaje

La evaluación del sistema de drenaje comprende un trabajo fundamental, en vista que la capacidad o aptitud de la estructura de pavimento para eliminar rápida y eficientemente las aguas superficiales es imprescindible para mantener su integridad, lo cual sólo puede lograrse con un adecuado sistema de drenaje.

Determinación de espesores y tipos de materiales constituyentes de la estructura de pavimento

En el caso particular del estudio de suelos y capas del pavimento existente, el mismo permitirá poseer información objetiva sobre la condición, espesor y tipos de materiales que conforman la estructura del pavimento, de tal manera de reconstruir su historia y modelar el comportamiento desde su apertura al tráfico. Este aspecto es vital en todo análisis estructural de pavimento con la finalidad de valorar su estructura e incorporarla dentro la rehabilitación del mismo.

Finalmente, toda evaluación estructural debe incluir la medición de diferentes parámetros que permitan correlacionar la condición superficial del pavimento con alguna respuesta de la estructura ante la aplicación de una carga. En nuestro país se encuentra muy difundida la medición de deflexiones superficiales de los pavimentos ante la aplicación de una carga. Para ello existen distintos equipos de medición, tales como: la Viga Benkelman, la cual es un equipo de medición cuasi-estática y equipos de medición dinámica como el Falling Weight Deflectometer (FWD).

Medición de deflexiones superficiales del pavimento

La deflexión en los pavimentos no es más que la respuesta de los mismos ante un estímulo, en general cargas impuestas por el tráfico. La deflexión en los pavimentos es la deformación vertical bajo el punto de aplicación de la carga. En definitiva la deflexión es la integración matemática de las deformaciones verticales con la profundidad.

Dependiendo de la estructura de pavimento considerada, la sub-rasante contribuye entre un 70 a 95% de la deflexión medida en la superficie del pavimento. Por esta razón se puede afirmar que la mayor deflexión en los pavimentos es causada por la compresión elástica de la subrasante. Este es un aspecto determinante en el desarrollo de distintas

metodologías para caracterizar las propiedades elásticas de los suelos de la fundación del pavimento en base a la medición de deflexiones. Entre las principales propiedades elásticas de la sub-rasante se encuentra el Modulo Resiliente, el cual corresponde al principal parámetro a determinar por diferentes modelos de cálculo.

Determinación de secciones homogéneas

Adicionalmente a la estimación del espesor de refuerzo de concreto asfáltico, la medición de deflexiones permite detectar sectores débiles en la estructura del pavimento evaluada. En este sentido es posible determinar secciones homogéneas que puedan ser tratadas como “unidades de diseño”.

La suma acumulada de las deflexiones máximas es calculada usando la siguiente expresión:

$$S_i = (\delta_i - D) + S_{i-1}$$

Donde

S_i = Valor de la suma acumulada en la Progresiva i .

Δ_i = Valor de la deflexión máxima medida en la Progresiva

D = Deflexión máxima media para la sección completa.

Evaluación estructural

Toma de muestras de pavimento existente (evaluación destructiva)

Este tipo de evaluación se fundamenta en la toma de muestras representativas de los materiales que conforman las diferentes capas del pavimento en una vía.

En la ubicación del muestreo debe tomarse en cuenta el patrón de fallas identificadas en el pavimento con el objeto de asegurar que las condiciones significativas del pavimento sean consideradas, lo cual no implica que serán los sitios problemáticos los únicos a ser muestreados, ya que como se indicó el objeto de la exploración es conocer, a lo largo de la vía, cual es la estructura característica.

2.4.2. Fallas en los pavimentos

Es de suma importancia reconocer las dos clases de fallas que pueden presentarse en un pavimento: La primera es la falla estructural en ella se produce un colapso de la estructura del pavimento o de uno o más de sus componentes lo que los hace incapaces de soportar las cargas impuestas por el tránsito. La segunda es la falla funcional este tipo de falla

puede estar o no acompañada de la falla estructural, pero es tal, que causa grandes esfuerzos sobre los vehículos que transitan por el pavimento, ocasionando incomodidad al usuario debido a la alta rugosidad que presenta.

El deterioro en los pavimentos está relacionado con la insuficiente capacidad de los materiales que los conforman para soportar sin rotura las tensiones y deformaciones que originan las cargas del tránsito, cambios de temperatura y cambios de volumen de la subrasante como lo son asentamientos e hinchamientos.

El tipo de falla que se presentará en un pavimento asfáltico dependerá de cómo se conjuguen los factores señalados anteriormente

A continuación se da una breve explicación de los tipos de fallas más comunes en un pavimento asfáltico.

Grietas piel de cocodrilo

Son conjuntos de fisuras o grietas interconectadas formando pequeños polígonos irregulares, generalmente este tipo de falla es causado por la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito.

Fisuras en bloque

Son fallas de forma similar a la piel de cocodrilo con la diferencia que son polígonos de mayor tamaño, las fisuras en bloque son serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm.

Fisuras transversales

Las fisuras transversales pueden originarse de dos maneras la primera por no reflexión ésta se debe a la contracción del concreto asfáltico por bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto, al exceso de filler en la mezcla asfáltica, estas grietas no están asociadas a las cargas del tránsito, la segunda es por reflexión estas grietas se originan en los pavimentos asfálticos tendidos sobre pavimentos hidráulicos, una de las causas es el movimiento de la losa de concreto hidráulico debido a cambios de temperatura y humedad.

Fisuras longitudinales

Son fisuras que van en forma paralela al eje de la carretera entre las posibles causas que originan este tipo de falla se tiene; junta defectuosa del pavimento entre un carril y otro, contracción del concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del

asfalto, reflexión de fisuras causadas por movimiento excesivo de juntas o fisuras debajo del concreto asfáltico, deficiente confinamiento lateral por falta de hombros y bordillos que provocan un debilitamiento del pavimento, están relacionadas a las cargas del tránsito.

Ahuellamiento

Hundimiento longitudinal continuo a lo largo de la superficie de rodadura, las repeticiones de las cargas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o subrasante.

Las deformaciones resultan de un acomodo de los materiales por efectos del tránsito, este tipo de falla indica una insuficiencia estructural del pavimento o una falta de estabilidad entre la subrasante y el pavimento.

Corrimiento

Distorsiones de la superficie de rodadura del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, algunas veces acompañados de levantamientos del material asfáltico formando cordones laterales.

Corrugación

Son una serie de ondulaciones formadas por depresiones y crestas perpendiculares a la dirección del pavimento. Este tipo de falla es ocasionado por la acción del tránsito sobre las capas superficiales.

Hinchamiento

Abultamientos localizados en la superficie del pavimento generalmente presentan la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.

Su causa principalmente es por medio del hinchamiento de los suelos de subrasante al entrar en contacto con agua, en algunos casos se presenta acompañado por el fisuramiento de la superficie.

Hundimiento

Depresiones de la superficie del pavimento en un área localizada. Los hundimientos regularmente son causados por asentamientos de la subrasante, deficiencias durante la construcción o falta de mantenimiento a los drenajes.

Bache

Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento. Los baches en una carretera son resultado de la conjunción de varios factores los cuales son: a) espesores insuficientes; b) defectos constructivos; c) filtración y retención de agua; d) acción abrasiva del tránsito en sectores débiles del pavimento; d) en áreas donde presentan falla piel de cocodrilo con alto grado de severidad, provocando la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento.

Peladura

Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida del ligante asfáltico y posterior desprendimiento del agregado pétreo.

Desintegración de bordes

Ésta falla consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento por la acción del tránsito, se hace presente en las carreteras donde no hay hombro o no está pavimentado.

Exudación de asfalto

Consiste en el afloramiento del asfalto de la mezcla a la superficie de rodadura, formando una película continua de ligante la cual tiene como resultado una superficie brillante, reflectante, deslizante y pegajosa durante el tiempo cálido.

Figura 2.7. Algunos tipos de fallas



Fuente: Control de calidad en la evaluación de pavimentos asfálticos existentes.

2.5. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES EN UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Antes de comenzar a hablar de lleno en lo que consiste esta investigación, debemos definir lo que es calidad, debido a la importancia del proyecto, ya que este término será la base del estudio de la investigación.

2.5.1. Calidad

Es una serie de características o cualidades referidas a un producto, definidas por las necesidades del cliente antes de su fabricación, controladas por medio de ensayos y parámetros normalizados de comparación, al momento de su fabricación.

Fuera de lo que es la calidad hay cosas que mencionar y a las que debemos darle mucha importancia, ellas son: definir qué, quién, manera (cómo), dónde y cuándo. Estas definiciones son importantes y constituyen la base del estudio de la calidad y el control de la misma. Además no hay que dejar de lado las normas y especificaciones en que debemos basarnos para calificar la calidad.

2.5.2. Control de calidad

Consiste en aplicar una serie de procesos, responsabilidades, autoridades, procedimientos y recursos relacionados internamente, completamente definidos y desplegados en forma coherente para lograr cumplir con las exigencias de calidad de obra, especificadas en los términos contractuales. El control de calidad, lo conforman todos los documentos contractuales, como son: adjudicación de la licitación, especificaciones técnicas, documentos de aprobación de requisitos contractuales, plan de control de calidad, etc.

El control de la calidad hoy en día es un aspecto tan importante para controlar la calidad de un producto.

El tipo de control de la calidad, se establecerá después de definir y estudiar el producto mediante una breve descripción del mismo que en nuestro caso es un pavimento flexible existente.

Para el planteamiento del control de la calidad de dicho producto, deberán estudiarse todos y cada uno de los factores que afectan al producto.

Además, se deben conocer las especificaciones y normas que establecen parámetros y procedimientos para la realización de actividades de control y producción.

Una parte importante que se debe mencionar es la explicación de ciertas técnicas básicas para la realización del análisis del control de la calidad, que es el Laboratorio de suelos y asfalto, se explicará brevemente el desarrollo de un cada aspecto que es importante en la construcción y calidad de cualquier obra civil.

Es una descripción detallada propuesta de la inspección, muestreos y ensayo, considerada como necesaria para medir y autocontrolar las diferentes características establecidas en las especificaciones de un contrato para cada ítem de trabajo. Preliminarmente en todo diseño de una estructura de pavimento se requiere el conocimiento básico de las características y resistencias o capacidades soportantes del suelo donde se llevará a cabo la construcción de este pavimento, de manera que pueda resistir los esfuerzos y deformaciones para un tránsito previsto, que de otro modo deberán analizarse opciones de mejoramiento o estabilización que lo hagan resistente.

Al evaluar un pavimento existente los ensayos de laboratorio realizados a los distintos materiales utilizados en las capas del pavimento juegan un papel muy importante, debido

a que estos proporcionan información de gran valor a la hora de tomar decisiones con respecto al estado en que se encuentran los materiales de la estructura de pavimento.

Como se definió inicialmente el pavimento está formado por varias capas de distintos materiales, como lo son suelos, agregados controlados y mezclas asfálticas. Por lo tanto, se describen en este documento las pruebas más importantes que permiten obtener dicha información de las capas conformadas por el pavimento.

Extracción de muestras para las capas base y subbase

Aplicados sólo para suelos se procederá de acuerdo a las normas ASTM D 75-97/ AASHTO T 2 (Descripción del procedimiento de la norma en **Anexo 3**).

Ver procedimiento y descripción de la práctica en **Anexo 3**.

Extracción de testigos

Aplicados sólo para testigos (muestra de la carpeta asfáltica) se procederá de acuerdo a las normas AASHTO T238/ NORMA ABC A0901.

Ver procedimiento y descripción de la práctica en **Anexo 3**.

Lavado asfáltico o centrifugación

Determina el contenido óptimo de ligante y granulometría del testigo obtenido del pavimento asfáltico, de acuerdo con las normas ASTM D 2172 (1995) / AASHTO T 164.

Ver procedimiento y descripción de la práctica en **Anexo 4**.

Granulometría por tamizado para suelos

Este ensayo consiste en la clasificación del terreno natural para compararlo con la clasificación de materiales de suelos, de acuerdo con las normas ASTM D 422 / AASHTO T 88.

Ver procedimiento y descripción de la práctica en **Anexo 5**.

Límites de Atterberg

Estos ensayos junto con la granulometría por tamizado se requieren para la clasificación del suelo, en este caso su consistencia con respecto al contenido de humedad. A estos contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los

denominados límites de Atterberg, de acuerdo con las normas ASTM D 4318/ AASTHO T 89.

Ver procedimiento y descripción de la práctica en **Anexo 5**.

Relación de humedad y densidad (Proctor Estándar y/o Proctor Modificado)

Mediante esta prueba se puede determinar la compactación o densidad máxima de un suelo o agregado en relación con su contenido de humedad.

Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados: Ensayo Proctor Estándar, de acuerdo con las normas ASTM D 698 / AASTHO T 99, método C y el Ensayo Proctor Modificado, de acuerdo con las normas ASTM D 1557 / AASTHO T 180, método D.

Ver procedimiento y descripción de la práctica en **Anexo 6**.

C.B.R en laboratorio

Determina la capacidad soportante del suelo (Relación de Soporte de California, por sus siglas en Inglés), de acuerdo con las normas ASTM D 1883 / AASTHO T 193.

Ver procedimiento y descripción de la práctica en **Anexo 7**.

Ensayo Marshall

El Método Marshall (ASTM D1559) determina las propiedades de las mezclas asfálticas.

Con el núcleo extraído, se realizan los ensayos siguientes:

Densidad específica.

Porcentaje de vacíos del aire según AASTHO T 269 o ASTM D 3203.

Estabilidad y flujo de acuerdo ASTM D 1559.

Ver procedimiento y descripción de la práctica en **Anexo 4**.

Desgaste de los Ángeles

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.5 mm, mediante la máquina de los ángeles, de acuerdo a las normas ASTM C 131 / AASTHO T 196.

Ver procedimiento y descripción de la práctica en **Anexo 9**.

Equivalente de Arena

Establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por el tamiz de 4.75 mm (Nº4), de acuerdo con las normas ASTM D 2419/ AASHTO T 176.

Ver procedimiento y descripción de la práctica en **Anexo 8**.

La mayoría de los ensayos mencionados anteriormente, tiene la finalidad de verificar la durabilidad y resistencia, de todas y cada una de las capas que forman la estructura del pavimento. Con el único inconveniente que destruyen o afectan en gran manera la estructura del pavimento.

Cuadro 2.10. Requisitos de calidad para materiales de base y subbase.

Prueba	Subbase	Base
CBR, mínimo	20	80
Límite Líquido, máximo	25	25
Índice Plástico, máximo	6	No Plástico
Equivalente de Arena, mínimo	25	35
Material que pasa el tamiz No. 200, máximo	10	5

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente.

Cuadro 2.11. Resumen de normas y parámetros.

Ensayo		Subbase granular		Base granular		
Granulometría	2½” (63mm)	100				
	2” (50mm)	97 - 100	100	100		
	1½” (37.5mm)		97 - 100	97 - 100	100	
	1” (25mm)	65 - 79			97 - 100	100
	¾” (19mm)			67 - 81		97 - 100
	½” (12.5mm)	45 - 59				
	3/8” (9.5mm)				56 - 70	67 - 79
	No.4 (4.75mm)	28 - 43	40 - 60	33 - 47	39 - 53	47 - 59
	No.40 (0.425mm)	9 - 17		10 - 19	12 - 21	12 - 21
	No.200 (0.075mm)	4 - 8	0 - 12	4 - 8	4 - 8	4 - 8
Límite Líquido (%)		25%		25%		
Índice plástico (%)		6%		4%		
Abrasión (%)		50%		40%		
Equivalente de Arena (%)		25%		35%		
CBR al 100% de la M.D.S.		40%		80%		
Perdida con sulfato de sodio				12%		
Perdida con sulfato de magnesio (%)				18%		
Índice de durabilidad (%)				35%		
Caras fracturadas (%)				80% mín		
Una cara fracturada				40% mín		
Dos caras fracturadas						
Partículas planas y		20%		15%		
Sales solubles totales		1%		0.5%		

Fuente: Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes Regionales.

Cuadro 2.12. Requerimientos mínimos para los ensayos de estabilidad, fluencia y vacíos.

Método de Proyecto	Tráfico pesado y muy pesado		Tráfico medio		Tráfico ligero	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
MARSHALL						
Número de golpes de compactación en cada extremo de la probeta	75	75	50	50	35	35
Estabilidad, libras	1800	-	1800	-	750	-
Fluencia, expresada en 0,01 pulg	8	14	8	14	8	18
Huecos en la mezcla total % capaz de superficie o nivelación	3	5	3	5	3	5
sheet asphalt con arena o piedra	3	8	3	8	3	8
Capa intermedia o base	3	8	3	8	3	8
Huecos de loa aridos rellenos de asfalto %						
Capaz de superficie o nivelación	75	82	75	85	75	85
sheet asphalt con arena o piedra	65	72	65	75	65	75
Capa intermedia o base	65	72	65	75	65	75
HUBBARD-FIEL						
Método original						
Estabilidad, libras	2000	-	1200	2000	1200	2000
Huecos en la mezcla total %	2	5	2	5	2	5
Método modificado						
Estabilidad, libras	3500	6000	2500	6000	2500	6000
Huecos en la mezcla total %	2	5	2	5	2	5
HVEEM						
Valor de estabilometro	35	-	35	-	35	-
Valor de cohesiómetrico	50	-	50	-	50	-
Entumescimiento, pulgadas	-	0,03	-	0,03	-	0,03
Huecos en la mezcla total %	4	-	4	-	4	-
METODO TRIAXIAL DE SMITH						
Cohesión unitaria, C, libras por pulg						
Angulo de rozamiento interno, grados						
Huecos en la mezcla total %		10	5	10	5	10

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente.

2.5.3. Especificaciones técnicas y normas

Términos tales como especificaciones y normas son conceptos frecuentemente utilizados en el ámbito de la ingeniería civil; su importancia es fundamental para la ejecución y desarrollo de las actividades en una obra de construcción. La definición de estos términos se presenta a continuación:

Especificaciones

Es “la expresión aplicada a aquellas reglas, disposiciones y requisitos, relativos a la ejecución de la obra.”

Las especificaciones son documentos tanto contractuales como fijados al momento de la ejecución de la obra, muy importantes en las obras de Ingeniería Civil, en las que se explican y mencionan aspectos (contractuales, de procesos, productos y materiales) que son parte de un proyecto; además, expresan valores de tolerancia para ciertos materiales y productos relacionados con la construcción.

Normas

Es una “regla que determina y establece las condiciones de realización de una operación y la forma como se debe efectuar”.

Las normas son procedimientos específicos y estandarizados; que se utilizan para la realización de ciertas pruebas y ensayos de control de la calidad.

En la actualidad las especificaciones y normas son las bases para la realización de una parte del proceso de control de la calidad en la construcción llegando a formar parte importante del mismo. Además, no se debe olvidar que los valores proporcionados por éstas sólo indican parámetros esperados, no proporcionan la verdad absoluta; razón por la cual, solamente deben de interpretarse como una guía de comparación.

Las especificaciones y normas principales, en las cuales están basados los estudios y ejecuciones de los proyectos de carretera que se llevan a cabo en el territorio boliviano son las siguientes:

Especificaciones:

- ❖ Sociedad Americana para ensayos y materiales; por sus siglas en ingles ASTM (American Society for Testing and Materials, edición del año 2003)

- ❖ Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales para el Transporte; por sus siglas en inglés “AASHTO” (American Association of State Highway and Transport Official, edición del año 2004).

Normas:

- ❖ Sociedad Americana para ensayos y materiales; por sus siglas en inglés ASTM (American Society for Testing and Materials, edición del año 2003)
- ❖ Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales para el Transporte; por sus siglas en inglés “AASHTO” (American Association of State Highway and Transport Official, edición del año 2004)
- ❖ Manuales de la norma Administradora Boliviana de Caminos (ABC).

Entre todas las especificaciones y normas mencionadas anteriormente y utilizadas para ejercer el control de la calidad para un proyecto, hay algunas de las cuales se asemejan demasiado y provocan duda acerca de cuál norma o especificación rige entre todas las demás. Razón por la cual muchas personas se amparan en las especificaciones o normas de acuerdo al criterio de rangos más cortos, el valor mínimo mayor o mayores exigencias de valores de aceptación con respecto a las demás (la que mejora el proceso constructivo, con respecto a las demás); lo que se conoce como “Criterio de la más confiable”. Aunque esto proporciona cierta sensación de tranquilidad por sobrepasar los requisitos esperados; a la vez produce cierto grado de pérdida económica al invertir más dinero para hacer cumplir en exceso los parámetros establecidos.

Las actualizaciones de dichos documentos consisten en:

- ❖ La revisión de los parámetros mencionados en las especificaciones para materiales y mezclas.
- ❖ Revisión de los procedimientos descritos por las normas de ensayo.
- ❖ Reaprobación, suspensión o modificación de algunas especificaciones y normas.
- ❖ Creación de normas provisionales.
- ❖ Creación de especificaciones y normas basadas en nuevos parámetros y ensayos, respectivamente, o en la extensión de normas anteriores.

CAPÍTULO III

INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO “PADCAYA – ROSILLAS”

3.1. RELEVAMIENTO A LA INFORMACIÓN

A la hora que se requiera evaluar el estado actual de un pavimento asfáltico existente, con el fin de establecer si en la actualidad cumple con los parámetros con el que fue diseñado, o para determinar el tiempo de vida del mismo con el objeto de definir el tipo de mantenimiento que necesita, hay varios procedimientos que se deben de realizar.

Estos procedimientos van desde la recolección de toda la información acerca de los parámetros de diseño del pavimento; visita de campo donde se hace un recorrido total del tramo para determinar el tipo y cantidad de fallas que se presentan en el pavimento; identificación de los aspectos negativos que influyen en la disminución de la capacidad soporte de cada capa del pavimento asfáltico como lo son: la presencia de humedad, falta de drenaje o en algunos casos subdrenajes, aumento del tránsito en mayor número que el proyectado en el diseño, etc; toma de muestras de los materiales de las distintas capas del pavimento existente para ser analizadas en laboratorio y determinar sus propiedades físicomecánicas.

Se deberá tener a disposición toda la información necesaria que se utilizó para realizar el diseño de la estructura de pavimento.

Para conocer la conformación del paquete estructural del tramo en estudio, se solicitó información a la institución que ejecutó el tramo, lamentablemente, como es un tramo antiguo, no se recabo mucha información, puesto que en años, la tecnología era escasa, y se lo realizaba de forma manual el diseño.

Para el muestreo de los materiales, se solicitó permiso a las instituciones competentes del tramo Padcaya – Rosillas para la extracción de muestras, sólo se obtuvo permiso para la extracción de núcleos. Se inspecciono el tramo, y se ubicó los puntos para la extracción de los materiales para la realización de los ensayos, y se hizo un reconocimiento de tipos de fallas que presenta el tramo.

3.1.1. Localización de la zona del proyecto

3.1.1.1. Ubicación

El Departamento de Tarija se encuentra ubicado al sur de Bolivia, limita al norte con el Departamento de Chuquisaca, al sur con la República de Argentina, al este con la República del Paraguay y al oeste con los departamentos de Chuquisaca y Potosí.

El proyecto de estudio se encuentra ubicado en la Provincia Arce, Departamento de Tarija. La provincia se extiende sobre una longitud de 140 kilómetros de norte a sur y unos 100 kilómetros al este-oeste.

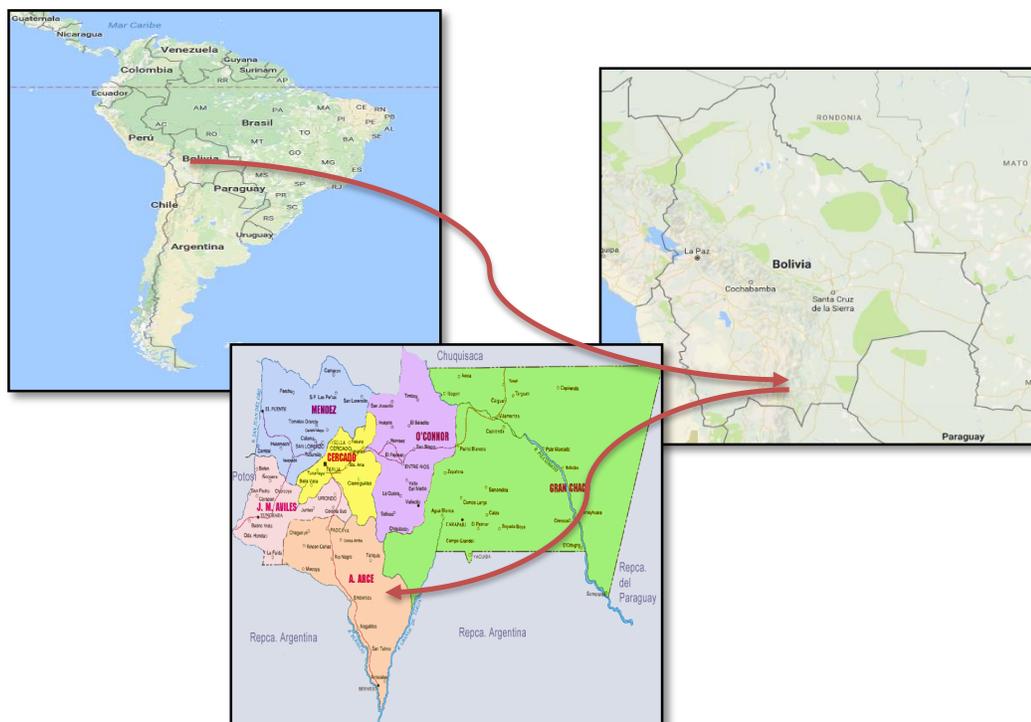
❖ Ubicación de Provincia Arce

El municipio capital de la Provincia Arce, es la localidad de Padcaya con:

Coordenadas 21°53'14" S 64°42'46" O

Altitud media 2041 m s. n. m.

Figura 3.1. Ubicación del lugar del tramo en estudio



Fuente: Google Maps

3.1.1.2. Ubicación del proyecto en estudio

El tramo Padcaya - Rosillas está ubicado en la Provincia Aniceto Arce del Departamento de Tarija, al sur de Bolivia, ubicada a 45 km. de la capital del departamento, Tarija, cuenta con una longitud total del tramo de 10,8 km; 7.435 km de Padcaya al Cruce de Chaguaya y 3.365 km del Cruce de Chaguaya a Rosillas.

Figura 3.2. Ubicación del tramo en estudio



Fuente: Google Maps

3.1.2. Condiciones climáticas

En el Municipio de Padcaya se presentan varios tipos climáticos, determinados por la orografía, altitud sobre el nivel del mar principalmente. En general, el verano se caracteriza principalmente por una temperatura y humedad relativa alta y masas de aire inestables, produciéndose precipitaciones aisladas de alta intensidad y corta duración. Por otro lado, el invierno se caracteriza por temperaturas y humedad relativa generalmente bajas y la ausencia de precipitaciones, asociadas a la llegada de frentes 8 fríos

provenientes del sur, llamados "surazos", que traen consigo masas de aire frío, dando lugar a veces a precipitaciones de muy baja intensidad y de larga duración, principalmente en el subandino.

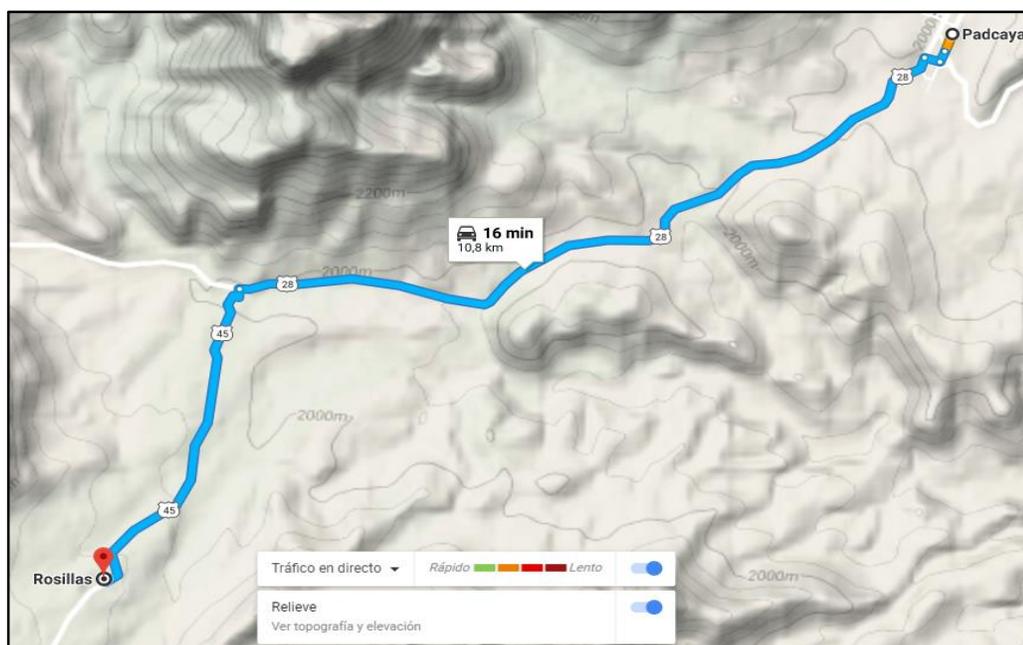
3.1.3. Características del tránsito

El tipo de vehículos usual que transita en esta vía son los siguientes: motos lineales, autos, camionetas, combis, buses y camiones.

El tráfico que circula en la red de pavimento es variable según el horario y los días de la semana.

El tráfico vehicular de dicho tramo, no excede de los 50 vehículos por día, entre vehículos de carga pesado, mediano y liviano.

Figura 3.3. Trayecto de Padcaya a Rosillas.



Fuente: Google Maps

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO

Para conocer las características del tramo, se solicitó información a la institución Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), que fue en ese entonces, quien realizó y ejecutó las carreteras que comprende el tramo en estudio, se obtuvo poca información. La información obtenida por parte de SEDECA ver en **Anexo 2**.

3.2.1. Características generales del tramo

Para el diseño del tramo, se ha tomado como base las recomendaciones del Manual de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras del Servicio Nacional de Caminos, obteniéndose parámetros de diseño adecuados al análisis efectuado sobre las características topográficas, la velocidad, seguridad en la operación vehicular, etc. Adicionalmente se tomaron conceptos específicos de las normas AASTHO.

El tramo Cruce Chaguaya – Rosillas atraviesa una topografía ondulada a lo largo de toda su longitud, siendo el ancho de la calzada de 7.0 m con bermas de 1.0 m y una longitud total del tramo de 4.8 km.

Los radios de curvaturas en este tramo son mayores a 30 m. y pendientes longitudinales hasta el 8 %. Cuenta con sistemas de drenajes con obras de arte mayor, también forma parte del mismo, alcantarillas de chapas ARMCO (36” y 48” de diámetro), y cunetas de hormigón simple.

Se ha considerado que la velocidad de los vehículos es uno de los factores principales en cualquier proyecto vial, y ésta debe ser lo más elevada como practicable sea posible dentro de un marco lógico para lograr un alto grado de seguridad, movilidad y eficiencia, en este caso la velocidad de diseño para este tramo es de 50 km/h.

La planimetría en el ancho de vía a lo largo del proyecto está representada por el eje horizontal que comprende una línea continua de geometría uniforme, conformada por rectas tangentes, en lugares donde la topografía lo permite, enlazadas por arcos de círculos con curvas de transición, todo ello contribuye, al movimiento en una dirección continua.

Los volúmenes de Tráfico Diario Anual determinados en los análisis de tráfico actual son de 35.6 vehículos diarios, teniendo una proyección de 10 años posteriores a la habilitación de la carretera, volúmenes superiores a los 50 vehículos diarios.

Se utilizó las normas de diseño correspondientes para la determinación del tipo de categoría a que corresponde el tramo en estudio, el mismo que corresponde a la categoría IV-B, de acuerdo a la cantidad de tráfico y principalmente al tipo de topografía de cada uno de los tramos, ya que esta característica es la que condiciona todo el desarrollo del alineamiento tanto vertical como horizontal. Estas categorías fueron asumidas del manual

de las “Normas para el Diseño Geométrico para la Construcción de Carreteras” del Servicio Nacional de Caminos.

El derecho de vía es la faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento y futuras ampliaciones de la vía, si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico, por lo que de acuerdo al D.S. 25134 esta faja tendrá un ancho de 25.0 m a cada lado del eje de la carretera, y de ser necesario habrá una faja de propiedad restringida de 20 m de ancho de cada lado, zona de propiedad restringida.

3.2.2. Criterios de diseño planimétrico del tramo

Los peraltes son las sobreelevaciones transversales de la calzada en trazados horizontales curvos, donde aparece la fuerza centrífuga originando peligros a la estabilidad de los vehículos en movimiento, el deslizamiento transversal y el vuelco.

Considerando que las condiciones climáticas de la zona en donde se emplazara la carretera, no existe la posibilidad de formación de nieve y teniendo en cuenta la topografía ondulada de la región se adoptó como peralte máximo el valor de 7.7 %, el cual condicionó el valor de radio mínimo en curvas horizontales y la longitud de transición de la clotoide. Los valores asumidos para el coeficiente de fricción oscilan entre 0,17 y 0,15.

Los radios mínimos de curvas horizontales calculados para las velocidades directrices, los peraltes y los coeficientes de fricción, las condiciones climáticas, tipo de tráfico, etc. Son parámetros que influyen en la obtención de los radios mínimos de curvas horizontales. Pero la problemática social en el sector del proyecto, por parte de los propietarios de los terrenos afectados, no se pudo cumplir con las exigencias mínimas a los aspectos técnicos en el alineamiento tanto horizontal como vertical, se ha tenido que afectar a estos, contemplando en el proyecto de radios mínimos de 20 y 35 metros. La longitud mínima de transición, han sido haciendo el uso de los criterios que se indican en las normas del Servicio Nacional de Caminos, para la que se ha establecido en 30 metros de longitud.

La calzada de la carretera se define geoméricamente como la superficie que acompaña el trazado de la vía en planta y perfil longitudinal, adoptando diferentes inclinaciones en perfil transversal, según se trate de un sector recto o curvo. Por esta definición y principalmente por los volúmenes de tráfico y tomando en cuenta los anchos de plataforma

de la norma del SNC, y al mismo tiempo tomando en cuenta la categoría del tramo que es de categoría Tipo IV y la velocidad de diseño se define un ancho de carril de 3.50 m.

Las bermas son las partes de ambos lados de la plataforma adyacente a la calzada, por donde pueden circular temporalmente los vehículos o bien estacionarse. Las bermas abarcan, desde el borde de la calzada hasta el fin de la plataforma. De acuerdo al tipo de carretera y la velocidad de diseño del proyecto, considerando las normas de SNC con el fin de uniformizar los anchos de bermas se asume un ancho de bermas para el tramo de 1.0 m a cada lado de la calzada.

Las pendientes máximas tolerables son definidas en las normas teniendo en cuenta la topografía, el volumen y las características del tráfico en coherencia con la velocidad directriz. Para la categoría IV, que es la que pertenece el proyecto se adoptó como pendiente máxima 8 %.

La pendiente transversal de la calzada debe ser lo suficiente para asegurar un adecuado escurrimiento de las aguas superficiales, para evitar que la infiltración afecte la estructura del pavimento y para disminuir las posibilidades de formación de láminas de agua, peligrosas durante la circulación de los vehículos.

La pendiente transversal considerada en el tramo es de 2.5 %.

3.2.3. Superficie de rodadura del tramo

Se define como superficie de rodadura, a la capa de la estructura del pavimento que tiene contacto directo con las ruedas del vehículo.

Ya que este elemento tiene una gran incidencia en los costos de operación de los vehículos y el presupuesto general del tramo, por lo que cuenta con un tratamiento superficial triple $e = 2,5$ cm. sobre la superficie de rodadura y la carpeta asfáltica tiene un espesor menor a 5,0 cm.

3.2.4. Materiales

3.2.4.1. Terraplén

Los materiales empleados en la conformación de terraplenes, han sido los propios materiales del terreno natural, y en su mayoría con la aplicación de material granular, han

sido conformadas con materiales provenientes de las fuentes indicadas por el ingeniero (Rio Camacho en proximidades de Chaguaya) y Rio Rosillas (El Saire).

3.2.4.2. Subrasante mejorada

Los materiales empleados en la regularización del terreno natural han sido conformadas con materiales provenientes de las fuentes indicadas por el Ingeniero (Rio Camacho en proximidades de Chaguaya) con un espesor de 20 centímetros.

3.2.4.3. Capa subbase

El material que ha sido empleando en la conformación de la subbase, ha tenido como origen un yacimiento ubicado el sector denominado La Polvosa (que se encuentra en cercanías de Rosillas), el cual ha sido explotado en forma natural, dada sus características, y verificando que éstas cumplan con las especificaciones técnicas de materiales en forma directa adicionando la cantidad de agua necesaria para obtener la humedad óptima, con un espesor de 20 centímetros.

La capa subbase ha sido conformada con grava - escoria (de acuerdo a especificaciones técnicas para base) acopiada con anticipación en estado natural (La Polvosa), compuesta por 98.5 % de árido, y de 1.5 % de material cohesivo, puesta en obra en una capa de 20 cm. de espesor extendida, humedecida homogéneamente y compactada.

3.2.4.4. Capa base

Para la base se empleó materiales que cumple con los requisitos exigidos en las especificaciones técnicas, la fuente de aprovisionamiento es un yacimiento encontrado en el sector denominado La Polvosa.

La capa base ha sido conformada con grava - escoria (de acuerdo a especificaciones técnicas para base) acopiada con anticipación en estado natural (La Polvosa), compuesta por 98.5 % de árido, y de 1.5 % de material cohesivo, puesta en obra en una capa de 15 cm. de espesor extendida, humedecida homogéneamente y compactada.

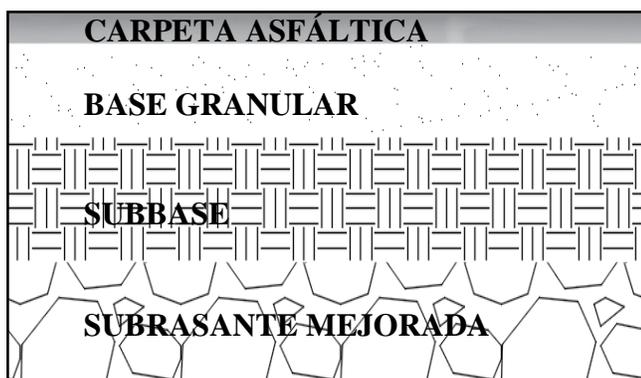
Por último, el espesor de cada capa que compone el paquete estructural del pavimento para el tramo vial, se tienen los siguientes espesores:

Cuadro 3.1. Espesores del tramo en estudio

Tramo	Tratamiento sup. triple	Base granular	Sub base granular	Sub rasante
Padcaya - Cruce Chaguaya	2.5 cm	15 cm	20 cm	20 cm
Cruce Chaguaya - Rosillas	2.5 cm	15 cm	20 cm	20 cm

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.4. Composición del pavimento en estudio



Fuente: Elaboración Propia

3.3. INSPECCIÓN VISUAL DEL PAVIMENTO EXISTENTE

Luego de haber conseguido la información de los parámetros de diseño del pavimento a evaluar, se procede a realizar la inspección visual del tramo, con el fin de tomar nota si presentan las fallas, así para reconocerlas e identificarlas, se deberán tomar fotografías de ella, ya que serán de gran ayuda para deducir la causa del daño en el pavimento.

3.3.1. Descripción e identificación de fallas presentes en la carpeta asfáltica

Al realizar la inspección visual al tramo, se pudo evidenciar que presenta varios tipos de fallas en su carpeta asfáltica, son los que describiremos a continuación:

Se pudo observar que los primeros 700 m desde el inicio del tramo, presenta fallas pero a los 424 m a 700 m tienen fallas con nivel de severidad alto, se pudo reconocer las siguientes fallas y fisuras:

Figura 3.5. Piel de cocodrilo



Figura 3.6. Fisuras en bloque



Fuente: Elaboración Propia

La piel de cocodrilo se origina por la fatiga de la carpeta asfáltica, bajo la acción repetida de las cargas de tránsito.

Niveles de severidad

Alto; grietas severamente descascaradas de más de 25 mm de ancho.

Las fisuras en bloque aparecen por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos diarios de temperatura, es asociado por el envejecimiento del asfalto.

Niveles de severidad

Definidos por fisuras de alta severidad. Grietas múltiples interconectadas de anchos mayores a 25 mm.

Las siguientes fallas se pudo observar que presenta en todo el trayecto del tramo:

Figura 3.7. Fisuras longitudinales y transversales



Fuente: Elaboración Propia

Este tipo de fallas sufren a causa de la fatiga en huella de llantas y la contracción de la superficie del asfalto debido a los cambios de temperatura, endurecimiento del asfalto o también por una fisura que se produce debajo de la superficie de uso.

Niveles de severidad

Medio; se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75 mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras en forma aleatoria, de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad y en forma aleatoria.

Figura 3.8. Exudación



Figura 3.9. Agregado pulido



Fuente: Elaboración Propia

La exudación producido por el alto contenido de asfalto en la mezcla y bajo contenido de vacíos, los cuales con el calor son llenados por el asfalto y aflora a la superficie.

Niveles de severidad

Leve; la exudación ha ocurrido en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.

El agregado pulido generalmente se produce por repeticiones de cargas de tránsito e insuficiente porción de agregado extendida sobre el asfalto.

Las siguientes fallas se observó en el trayecto a Rosillas aproximadamente entre las progresivas 8+000 y 9+000.

Figura 3.10. Huecos



Figura 3.11. Peladuras



Fuente: Elaboración Propia

En fallas tipo peladura se observó que es causada por los heces de los animales que dejan en el camino, afectando seriamente a la calzada.

Niveles de severidad

Medio; se ha perdido el ligante de la carpeta de rodadura, dejando la textura superficial rugosa y ahuecada.

Los huecos no exceden de 10 cm de profundidad y tienen un área pequeña, aun así se debe realizar un mantenimiento preventivo por bacheo, son causados cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento.

Desde el Cruce de Chaguaya a Rosillas presenta las siguientes reparaciones.

Figura 3.12. Reparaciones por bacheo



Fuente: Elaboración Propia

Desde la progresiva 7+000 a 7+420 se presenta 3 reparaciones con secciones cuadradas y las demás reparaciones se ubican de la progresiva 7+430 a 10+730, en este tramo se presentan más reparaciones, especialmente a fisuras.

Las progresivas señaladas son aproximaciones de las fallas que se pudo reconocer, no obstante, en algunas fallas no se señaló las progresivas correspondientes por la cantidad de fallas que presentan el tramo, aun así se pudo identificar los tipos de fallas a través de la inspección visual.

3.4. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DEL PAVIMENTO

La vida útil de un pavimento asfáltico depende en gran medida de los criterios de diseño que se hayan utilizado a la hora de diseñar la estructura de pavimento asfáltico.

Es muy importante conocer los criterios de diseño al momento de realizar el diseño de una carretera, ya que está basado en requerimientos y parámetros de normas, manuales y guías vigentes, para realizar la evaluación de la calidad de los materiales se basará en normas AASHTO, ASTM, Manual de Asfalto y guía de diseño de pavimentos AASHTO 1993.

3.4.1. Muestreo

El tramo Padcaya – Rosillas es una ruta departamental (Ruta 28, desde la localidad de Padcaya al Cruce de Chaguaya) y ruta nacional (RN 45, desde el Cruce de Chaguaya hasta la localidad de Mecoya), por lo tanto, para acceder el permiso de la extracción de muestras del tramo, se solicitó el permiso correspondiente a la institución que administra dicho tramo, que por motivos ajenos, el tramo pertenece a la Sub Gobernación de Padcaya y la Administradora Boliviana de Caminos (ABC), por lo cual se solicitó el permiso a ambas instituciones, se pudo acceder el permiso de la extracción de núcleos de la carpeta asfáltica, y no así, de las capas que tiene el paquete estructural (capa base y capa subbase), por lo que el método de extracción es destructivo y hubiera dañado el pavimento.

Para evitar daños en el pavimento y afectar el tráfico de la zona, se optó por obtener muestras por la excavación de pozos a cielo abierto, de modo que, para obtener el material, se excavó a un costado de la carretera, para así no dañar el pavimento y se extrajo muestras de los bancos de préstamo y ríos aledaños señalados en la información que se obtuvo de

SEDECA, ya que no se pudo obtener la cantidad de muestras suficientes para realizar los ensayos correspondientes, para el tramo 1 Padcaya – Cruce de Chaguaya se extrajo material del banco de Chaguaya y Rio Camacho, para el tramo 2 Cruce de Chaguaya – Rosillas se extrajo banco de Chaguaya y Rio Saire, para compensar el material que no se pudo extraer.

Ver en **ANEXO 1** el permiso de extracción de núcleos por parte de ambas instituciones.

3.4.1.1. Extracción de muestra para la carpeta asfáltica

La extracción de testigos tiene como principal objetivo verificar que los diferentes parámetros de diseño (densidad, espesor, resistencia, etc.), cumplan con las especificaciones de la obra. También en muchas ocasiones sirven para determinar adicionalmente, el contenido porcentual de asfalto, y su granulometría por medio del ensayo de centrifugación o llamado también por el método del Lavado Asfáltico.

En el presente trabajo, la extracción de testigos se realizó para evaluar la calidad de la superficie o carpeta asfáltica existente para lo cual se obtiene una cierta cantidad necesaria de muestras para analizar la calidad de los materiales de la carpeta asfáltica, para ello se dispuso intercalar de lado del carril al momento de extraerlos testigos para tener un rango mejor del espesor del pavimento.

Cuadro 3.2. Ubicación de puntos para la extracción de las muestras.

Núcleo	Progresiva	Ubicación
N-1	1+080	L/D
N-2	2+160	L/I
N-3	3+240	L/D
N-4	4+320	L/I
N-5	5+400	L/D
N-6	6+480	L/I
N-7	7+560	L/D
N-8	8+640	L/D
N-9	9+720	L/I
N-10	10+800	L/D

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.2. Extracción de muestra para la capa base y subbase

La extracción del material para las capas base y subbase se puede realizar mediante sondeos a cielo abierto, bloques, núcleos de base estabilizada, material en sacos de base granular y subbase.

En el presente trabajo, las muestras que se obtuvo se analizarán en laboratorio, para determinar la evaluación de la calidad de los materiales de las capas.

Figura 3.13. Material obtenido para el tramo 1



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.14. Material obtenido para el tramo 2



Fuente: Elaboración Propia.

El procedimiento y descripción de la práctica se verá en Anexo 3.

3.4.2. Caracterización de los materiales del pavimento flexible

De los testigos extraídos se llevará a cabo los ensayos caracterización y propiedades del suelo, mediante los siguientes ensayos:

3.4.2.1. Ensayo Marshall

Para analizar los testigos, después de haber sido extraído, suelen llevarse a cabo mediante el ensayo MARSHALL con lo cual solo se evalúan los siguientes aspectos de las mezclas asfálticas:

- La Estabilidad y Flujo (AASHTO T 245)
- Vacíos y Densidades (AASHTO T 209/ T 166)
- Contenido óptimo de asfalto (AASHTO T 166)

Previo a los ensayos Marshall, se debe determinar la altura de los testigos.

El procedimiento y descripción de la práctica se verá en Anexo 4.

3.4.2.2. Lavado asfáltico o centrifugación

Para la realización de este ensayo se utilizó una maquina centrifuga, que extrae el ligante del testigo, previamente colocado en el horno para calentarlo y así facilitar la descomposición de los materiales de los testigos extraidos, adicionando conjuntamente la gasolina, separa totalmente el ligante de los agregados, pudiendo así conocer el contenido de asfalto y la granulometría de los agregados pétreos de los testigos.

Figura 3.15. Máquina centrífuga y materiales



Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento y descripción de la práctica se verá en Anexo 4.

3.4.2.3. Clasificación de suelos

Granulometría

El conocimiento de la composición granulométrica del suelo es una herramienta valiosa para el análisis de los mismos, ya que con ello se puede distinguir de los suelos finos, arenosos y granulares; asimismo al efectuar los ensayos, se puede elaborar las curvas granulométricas de los materiales y verificar que se encuentren dentro de las especificaciones establecidas.

Figura 3.16. Muestras obtenidas para capa base y subbase



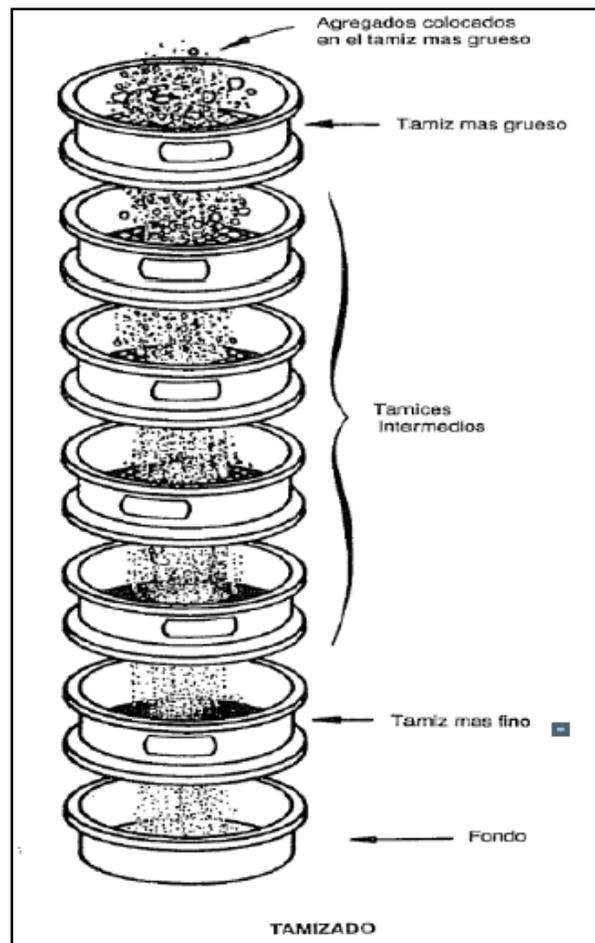
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.17. Material pétreo seleccionado para la realización de los ensayos.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.18. Tamizado de los agregados



Fuente: Construcción de pavimentos.

Límites de consistencia

Se les conoce también como límites de Atterberg en honor al científico sueco A. Atterberg, este científico propuso cinco límites de los cuales dos son los que más se utilizan en ingeniería vial, como son:

Límite líquido (L.L.)

El suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y es posible moldearse.

Límite plástico (L.P.)

El suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se produce el rompimiento.

Figura 3.19. Límite líquido



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.20. Límite plástico



Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento y descripción de la práctica se verá en Anexo 5.

3.4.2.4. Humedad óptima y densidad seca máxima (Proctor)

Con el ensayo de Proctor lo que se pretende es determinar el porcentaje de humedad que se debe compactar un suelo para obtener la densidad seca máxima sin requerir de un sobreesfuerzo de la maquinaria o humano.

Figura 3.21. Determinación de la densidad máxima



Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento y descripción de la práctica se verá en Anexo 6.

3.4.2.5. Valor soporte California C.B.R. (California Bearing Ratio)

El valor soporte California o C.B.R. es un indicativo de la resistencia al esfuerzo cortante que posee un suelo bajo condiciones de densidad y humedad bien controladas.

Figura 3.22 Determinación del CBR del material.



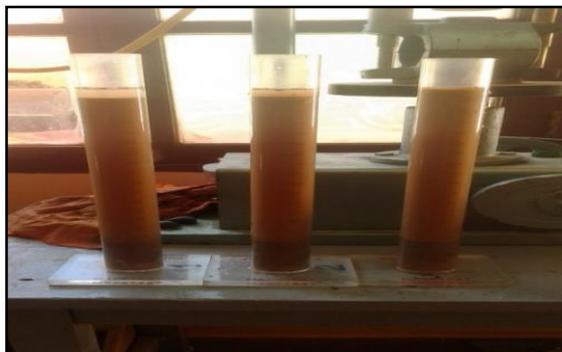
Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento y descripción de la práctica se verá en Anexo 7.

3.4.2.6. Equivalente de Arena

El ensayo de equivalente de arena está relacionado con la distribución granulométrica del suelo, proporciona una idea del porcentaje relativo de materiales finos plásticos que contiene el suelo ensayado.

Figura 3.23. Determinación del Equivalente de Arena



Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento y descripción de la práctica se verá en Anexos 8.

3.4.2.7. Desgaste de los Ángeles

El ensayo de abrasión o desgaste es también conocido como ensayo de la máquina de los Ángeles, básicamente consiste en colocar una muestra de una granulometría determinada del agregado a ensayar dentro del tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente en dicha máquina.

Figura 3.24. Determinación del Desgaste de los Ángeles



Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento y descripción de la práctica se verá en Anexo 9.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.1 Análisis de resultados para la granulometría obtenida por centrifugación

Las granulometrías que deben cumplir según especificaciones técnicas de los proyectos de SEDECA.

Cuadro 4.1. Gradaciones para el material pétreo

Tamiz		TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
(mm)	Alternativo							
50	2"	100	100	100				
37,5	1 ½"	-	70 - 100	-	100	100	100	
25	1"	55 - 100	55 - 85	70 - 100	70 - 100	80 - 100	80 - 100	100
19	¾"	-	45 - 75	60 - 90	50 - 80	-	-	70 - 100
9,5	3/8"	30 - 75	35 - 65	40 - 75	25 - 50	50 - 80	50 - 80	50 - 80
4,75	Nº 4	20 - 65	25 - 55	30 - 60	10 - 30	35 - 65	35 - 65	35 - 65
2,36	Nº 8	-	-	-	5 - 15	-	-	-
2	Nº 10	10 - 50	15 - 45	15 - 45	-	25 - 50	25 - 50	25 - 50
0,425	Nº 40	5 - 30	5 - 25	10 - 30	0 - 5	10 - 30	10 - 30	10 - 30
0,075	Nº 200	0 - 20	0 - 10	0 - 15	0 - 3	5 - 15	5 - 15	5 - 15

Fuente: Manual Técnico ABC –Volumen Especificaciones Técnicas

Se obtuvo los siguientes resultados de todo el tramo, con 10.8 km de longitud.

Cuadro 4.2. Análisis granulométrico de los testigos

Tamiz	Testigos del tramo Padcaya -Rosillas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
¾"	82.6	80.6	79.9	86.2	88.0	86.9	88.9	85.7	83.9	78.9
3/8"	68.3	65.7	64.3	69.4	74.2	71.7	74.7	76.9	68.2	68.6
Nº 4	50.8	52.3	50.4	52.8	56.5	58.4	52.7	56.7	48.7	46.2
Nº 8	39.6	39.1	36.7	36.7	42.7	43.5	36.5	46.1	41.7	34.0
Nº 10	29.1	29.7	27.0	26.1	34.6	27.4	25.9	38.4	31.3	26.5
Nº 40	18.9	16.4	13.1	14.5	21.4	9.0	15.4	24.4	16.7	16.4
Nº 200	6.5	6.3	2.7	3.6	5.1	5.3	5.2	5.1	3.5	4.9

Fuente: Elaboración Propia

Observaciones

Se observa que del 100% del total de los testigos extraídos, el 100 % pasa el tamiz 1", obteniendo como resultados con un promedio de 52.5 % pasa el tamiz N°4, determinando que los materiales extraídos, fueron realizados con un buena gradación en su diseño inicial.

El material de la investigación, cumple según norma, ya que su granulometría entra dentro de la faja establecida según especificaciones técnicas vigentes de la norma ABC.

Por tanto, se establece que la caracterización de los agregados que se realizó para el diseño de la carpeta asfáltica, tiene una buena gradación de los materiales pétreos, ya que se encontraba entre los rangos permitidos de la banda TM-25.

Del ensayo de centrifugación se obtuvo el contenido de ligante asfáltico, donde se observó que varían entre el 5% a 5.38 % de contenido de ligante que presentaban los testigos, la variación es mínima, por lo que se establece que cumple con el requisito de diseño, ya que el porcentaje óptimo de asfalto fue de 5 %, del tramo inicial y según normas se establece que debe estar entre el 5 % y 6% para un buen contenido óptimo de asfalto. Se tomó en cuenta que se usó un cemento asfáltico 85-100, que es el cemento asfáltico que más usan en construcciones de pavimentos en SEDECA.

En el siguiente cuadro se observa los resultados:

Cuadro 4.3. Porcentaje del contenido de ligante de los testigos

Testigos	% Ligante Asfáltico	Especificaciones Técnicas
1	5.00	5% - 6%
2	5.15	
3	5.18	
4	5.18	
5	5.16	
6	5.06	
7	5.38	
8	5.00	
9	5.00	
10	5.05	

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Análisis de resultados de las propiedades de los testigos (Ensayo Marshall)

Para realizar el análisis de resultados se evalúan los siguientes aspectos de las mezclas asfálticas:

- La Estabilidad y el Flujo
- Vacíos y Densidades
- Contenido óptimo de Asfalto

Tiene que cumplir los siguientes requisitos:

Cuadro 4.4. Criterios del Instituto del Asfalto para el diseño Marshall

Criterios para mezcla del método Marshall	Tránsito liviano carpeta y base		Tránsito mediano carpeta y base		Tránsito pesado carpeta y base	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	3 5	35	50	50	75	75
Estabilidad N(lb)	336 (750)	-	5358 (1200)	-	8006 (1800)	-
Flujo, 0.25mm (0.01pulg)	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5
% VMA	Ver en la siguiente tabla					
% VFA	70	80	65	78	65	75

Cuadro 4.5. Porcentaje mínimo de VMA

Tamaño máximo en mm porcentaje		VMA mínimo, por ciento Vacíos de diseño, por ciento		
mm	pulg	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50.0	2.0	9.5	10.5	11.5
63.0	2.5	9.0	10.0	11.0

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente.

Según especificaciones de proyecto se debe cumplir los siguientes:

Cuadro 4.6. Especificaciones técnicas de diseño para determinar las propiedades del ensayo Marshall

% Vacios		RBV	Estabilidad	Fluencia	% Asfalto
V _v	VAM				
2-4	≥15	75-82	≥1500 Lb.	8-18	5 % al 6%

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.7. Resultados de las propiedades por medio el ensayo Marshall

Testigo	Progresiva	% Asfalto	Densidad (Kg/cm ³)		% Vacios		RBV	Estabilidad	Fluencia
			promedio	teórica	V _v	VAM			
1	1+080	5	2.3830	2.443	2.44	14.30	82.92	1843.90	14
2	2+160	5.15	2.3670	2.439	2.95	15.06	80.43	1843.90	14
3	3+240	5.18	2.3430	2.436	3.83	15.90	75.91	1849.80	14
4	4+320	5.18	2.3604	2.438	3.18	15.34	79.25	1800.08	14.5
5	5+400	5.16	2.3590	2.441	3.38	15.48	78.19	1800.08	14.5
6	6+480	5.06	2.3584	2.447	3.61	15.47	76.65	1798.48	15.3
7	7+560	5.38	2.3429	2.431	3.62	16.14	77.58	1750.35	14.6
8	8+640	5.00	2.3608	2.442	3.33	15.41	78.37	1812.86	15.1
9	9+720	5.00	2.3564	2.442	3.50	15.21	76.99	1869.45	15.3
10	10+800	5.05	2.3574	2.438	3.32	15.14	78.10	1881.05	15.5

Fuente: Elaboración Propia

Observaciones

Para determinar las densidades máximas teóricas depende del contenido de asfalto, que contenga la muestra, en función del peso específico del agregado y del peso específico del asfalto, que para ello se tomó en cuenta que se usó un cemento asfáltico 85-100, cemento que usan en construcciones de pavimentos en SEDECA.

Y para determinar la densidad real del testigo está en función del peso del testigo al aire y el volumen del testigo, para determinar este último, está en función del peso en seco del testigo y peso del testigo sumergido en agua. Según la norma ASTM D 1559, la densidad

máxima teórica es de 2.483 kg/cm³, y las densidades calculadas de los testigos extraídos, son menores al valor referencial, de tal manera cumplen con los requisitos.

Comparando el cuadro de resultados y el cuadro de las especificaciones técnicas del Manual de Asfalto, para determinar las propiedades mecánicas por medio el ensayo Marshall, se observa que cumplen con los requisitos, estableciendo que la mezcla asfáltica con la que fue diseñada contenía una buena dosificación para la construcción de la carpeta asfáltica del tramo de investigación, tanto para el tramo Padcaya – Cruce de Chaguaya y el tramo Cruce de Chaguaya – Rosillas.

4.1.3. Análisis de resultados de la granulometría y límites de Atterberg

Para el análisis granulométrico se consideró las granulometrías que deben cumplir según especificaciones técnicas de los proyectos de SEDECA, tanto para la capa subbase y base las cuales son las siguientes:

La subbase será efectuada con materiales que cumplan con una de las siguientes granulometrías:

Cuadro 4.8. Gradaciones para materiales para capa subbase

Tamiz		TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
(mm)	Alternativo							
50	2"	100	100	100				
37,5	1 ½"	-	70 - 100	-	100	100	100	
25	1"	55 - 100	55 - 85	70 - 100	70 - 100	80 - 100	80 - 100	100
19	¾"	-	45 - 75	60 - 90	50 - 80	-	-	70 - 100
9,5	3/8"	30 - 75	35 - 65	40 - 75	25 - 50	50 - 80	50 - 80	50 - 80
4,75	Nº 4	20 - 65	25 - 55	30 - 60	10 - 30	35 - 65	35 - 65	35 - 65
2,36	Nº 8	-	-	-	5 - 15	-	-	-
2	Nº 10	10 - 50	15 - 45	15 - 45	-	25 - 50	25 - 50	25 - 50
0,425	Nº 40	5 - 30	5 - 25	10 - 30	0 - 5	10 - 30	10 - 30	10 - 30
0,075	Nº 200	0 - 20	0 - 10	0 - 15	0 - 3	5 - 15	5 - 15	5 - 15

Fuente: Manual Técnico ABC –Volumen 4.

La base será efectuada con materiales que cumplan con una de las siguientes granulometrías:

Cuadro 4.9. Gradaciones para materiales para capa base

Tamiz		TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
(mm)	Alternativo							
50	2"	100	100	100				
37,5	1 ½"	-	70 - 100	-	100	100	100	
25	1"	55 - 100	55 - 85	70 - 100	70 - 100	80 - 100	80 - 100	100
19	¾"	-	45 - 75	60 - 90	50 - 80	-	-	70 - 100
9,5	3/8"	30 - 75	35 - 65	40 - 75	25 - 50	50 - 80	50 - 80	50 - 80
4,75	Nº 4	20 - 65	25 - 55	30 - 60	10 - 30	35 - 65	35 - 65	35 - 65
2,36	Nº 8	-	-	-	5 - 15	-	-	-
2	Nº 10	10 - 50	15 - 45	15 - 45	-	25 - 50	25 - 50	25 - 50
0,425	Nº 40	5 - 30	5 - 25	10 - 30	0 - 5	10 - 30	10 - 30	10 - 30
0,075	Nº 200	0 - 20	0 - 10	0 - 15	0 - 3	5 - 15	5 - 15	5 - 15

Fuente: Manual Técnico ABC – Volumen 4.

Tramo 1 Padcaya – Cruce de Chaguaya

Cuadro 4.10. Análisis granulométrico de la capa base de gradación B

Tamiz	Muestras						
	1.1.2	1.2.2	1.3.2	1.4.2	1.5.2	1.6.2	1.7.2
2"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	78.91	78.92	78.91	78.93	78.94	78.94	78.95
3/4"	71.33	71.32	71.31	71.35	71.36	71.36	71.36
3/8"	58.77	58.76	58.74	58.82	58.80	58.82	58.81
Nº 4	49.10	49.11	49.08	49.17	49.17	49.19	49.18
Nº 10	37.77	37.07	36.24	38.16	38.65	37.47	37.96
Nº 40	15.80	15.50	17.38	17.93	19.13	15.73	19.02
Nº 200	6.87	6.17	8.65	9.11	10.12	6.62	8.60

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.11. Límites y clasificación para capa base

Muestra	Progresiva	L.L	L.P	I.P	Clasificación AASHTO M 145	
					AASHTO	Unificada
1.1.2	1+080	16.5	N.P	0	A - 1 - a	GW GM
1.2.2	2+160	15.7	N.P	0	A - 1 - a	GW GM
1.3.2	3+240	13.4	N.P	0	A - 1 - a	GW GM
1.4.2	4+320	18.5	N.P	0	A - 1 - a	GW GM
1.5.2	5+400	17.9	N.P	0	A - 1 - a	GW GM
1.6.2	6+480	14.9	N.P	0	A - 1 - a	GW GM
1.7.2	7+560	16.8	N.P	0	A - 1 - a	GW GM

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.12. Análisis granulométrico de la capa subbase de gradación A

Tamiz	Muestras						
	1.1.1	1.2.1	1.3.1	1.4.1	1.5.1	1.6.1	1.7.1
2"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	93.20	93.23	93.59	93.25	92.86	93.33	93.49
1"	71.95	72.15	73.59	72.17	70.53	72.52	73.15
3/4"	65.01	65.19	67.00	65.21	63.17	65.63	66.43
3/8"	52.41	52.67	55.13	52.69	49.91	53.24	54.34
Nº 4	42.76	43.20	46.17	43.24	39.91	43.90	45.19
Nº 10	32.99	32.76	34.45	33.59	31.57	33.56	35.01
Nº 40	14.57	13.12	16.49	15.70	15.64	14.15	17.62
Nº 200	6.98	5.61	8.17	8.00	8.20	5.88	8.09

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.13. Límites y clasificación de capa subbase

Muestra	Progresiva	L.L	L.P	I.P	Clasificación AASHTO M 145	
					AASHTO	Unificada
1.1.1	1+080	17.7	13.1	4.6	A - 1 - a	GW GC
1.2.1	2+160	17.3	12.1	5.2	A - 1 - a	GW GC
1.3.1	3+240	17.5	12.4	5.1	A - 1 - a	GW GC
1.4.1	4+320	17.5	13.2	4.2	A - 1 - a	GW GC
1.5.1	5+400	17.6	12.8	4.8	A - 1 - a	GW GC
1.6.1	6+480	17.7	12.8	4.9	A - 1 - a	GW GC
1.7.1	7+560	17.6	13	4.6	A - 1 - a	GW GC

Fuente: Elaboración Propia

Observaciones

Capa subbase

Los materiales granulares con los que se trabajó, fueron los que utilizó SEDECA para la capa subbase el cual fue un material de un banco del lugar de Chaguaya y río Camacho, se hizo la granulometría en laboratorio.

Obteniendo que del 100% del total de la muestras el 100% pasa el tamiz 2", el material que pasa el tamiz Nº4 varía entre el 39.91% y 46.17 %, determinando que los suelos extraídos tiene más porcentaje de material granular, que fino, con poca presencia de arcilla

y arena, para su mejor clasificación se realizó los límites del suelo, lo cual se obtuvo que el material tiene límite líquido y límite plástico en menor proporción.

Según la norma AASHTO el material es un A-1-a y según la clasificación unificada el material es una grava bien graduada con arcilla y limo con arena GW GC.

Según especificaciones técnicas vigentes, se encuentra dentro de las fajas establecidas de la banda TM – 50a de la norma ABC para la capa subbase, el índice de plasticidad no debe ser mayor al 6% y según los resultados del material, varía de 4.6 % a 5.2 % de todas las muestras extraídas.

Capa base

Los materiales con los que se trabajó, fueron los que utilizó SEDECA para la capa base el cual fue un material de un banco del lugar de Chaguaya y río Camacho.

Obteniendo que del 100% del total de las muestras el 100% pasa el tamiz 2", el material que pasa el tamiz N°4 varía entre el 49.08 % y 49.19 %, determinando que los suelos extraídos tienen más porcentaje de material granular, que fino, y al igual para una mejor clasificación del suelo se realizó los límites líquido y plástico en donde se presencia que el material no es plástico, es decir no tiene plasticidad..

Según la norma AASHTO el material es un A-1-a y según la clasificación unificada el material se clasifica en una grava bien graduada con limo con arena GW GM.

Según especificaciones técnicas vigentes, se encuentra dentro de las fajas establecidas de la banda TM – 50b de la norma ABC para la capa subbase, el índice de plasticidad no debe ser mayor al 6% y según los resultados del material, ya que el material no tiene índice de plasticidad.

Tramo 2 Cruce de Chaguaya – Rosillas

Cuadro 4.14. Análisis granulométrico de la capa base de gradación B

Tamiz	Muestras		
	1.8.2	1.9.2	1.10.2
2"	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00
1"	82.71	83.24	82.27
3/4"	75.99	76.09	75.36
3/8"	55.24	55.79	54.78
Nº 4	41.81	41.83	41.82
Nº 10	28.17	27.94	27.67
Nº 40	15.73	16.45	17.38
Nº 200	6.81	6.67	6.23

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.15. Límites y clasificación para capa base

Muestra	Progresiva	L.L	L.P	I.P	Clasificación AASHTO M 145	
					AASHTO	Unificada
1.8.2	8+640	16.7	NP	0	A - 1 - a	GP GM
1.9.2	9+720	21	NP	0	A - 1 - a	GP GM
1.10.2	10+800	15.5	NP	0	A - 1 - a	GP GM

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.16. Análisis granulométrico de la capa subbase de gradación A

Tamiz	Muestras		
	1.8.1	1.9.1	1.10.1
2"	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	95.59	95.57	95.53
1"	79.35	79.30	79.10
3/4"	72.85	72.76	72.53
3/8"	57.04	56.97	56.60
Nº 4	43.63	43.64	43.15
Nº 10	29.86	30.50	29.44
Nº 40	12.25	11.63	11.84
Nº 200	6.08	5.28	5.56

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.17. Límites y clasificación para capa subbase

Muestra	Progresiva	L.L	L.P	I.P	Clasificación AASHTO M 145	
					AASHTO	Unificada
1.8.1	8+640	17.4	13.6	3.8	A - 1 - a	GW GM
1.9.1	9+720	17.2	13.4	3.8	A - 1 - a	GW GM
1.10.1	10+800	17.5	14.7	2.9	A - 1 - a	GW GM

Fuente: Elaboración Propia

Observaciones

Capa subbase

Los materiales granulares con los que se trabajó, fueron los que utilizó SEDECA para la capa subbase el cual fue un material de un banco del lugar llamado el Saire y rio Camacho, se hizo la granulometría en laboratorio.

Obteniendo que del 100% del total de la muestras el 100 % pasa el tamiz 2", el material que pasa por el tamiz N°4 varía entre el 43.15 % y 43.64 %, determinando que los suelos extraídos tiene más porcentaje de material granular, que fino, con poca presencia arcilla y arena, para su mejor clasificación se realizó los límites del suelo lo cual ese estuvo que el material tiene límite líquido y limite plástico en menor proporción.

Según la norma AASHTO el material es un A-1- a y según la clasificación unificada el material es una grava bien graduada con limo con arena GW GM.

Según especificaciones técnicas vigentes, se encuentra dentro de las fajas establecidas de la banda TM – 50a de la norma ABC para la capa subbase, el índice de plasticidad no debe ser mayor al 6% y según los resultados del material, varia de 2.9 % a 3.8 % de todas las muestras extraídas.

Capa base

Los materiales granulares con los que se trabajó, fueron los que utilizó SEDECA para la capa subbase el cual fue un material de un banco del lugar llamado el Saire y rio Camacho, se hizo la granulometría en laboratorio.

Obteniendo que del 100% del total de la muestras el 100 % pasa el tamiz 2", el material que pasa en el tamiz 1" varía entre el 82.27% y 83.24 y el material que pasas en el tamiz

Nº4, tiene un valor promedio de las muestras de 41.82 %, determinando que los suelos extraídos tiene más porcentaje de material granular, que fino, y al igual para una mejor clasificación del suelo se realizó los límites líquido y plástico en donde se presencia que el material no es plástico, es decir no tiene plasticidad..

Según la norma AASHTO el material es un A-1-a y según la clasificación unificada el material es una grava bien graduada con limo con grava GW GM.

Según especificaciones técnicas vigentes, se encuentra dentro de las fajas establecidas de la banda TM – 50b de la norma ABC para la capa subbase, el índice de plasticidad no debe ser mayor al 6% y según los resultados del material, ya que el material no tiene índice de plasticidad.

4.1.4. Análisis de resultados del ensayo Proctor (Compactación 180)

Según norma AASHTO se tiene los siguientes requisitos:

Cuadro 4.18. Características generales de compactación de los distintos tipos de suelos
AASHTO T – 180 – 99

Clasificación AASHTO T-27	Ensayo proctor	
	Densidad seca máxima (kg/dm ³)	Humedad óptima (%)
A - 1	1.85 - 2.25	5 -10
A - 2	1.75 - 2.15	9 - 18
A - 3	1.75 - 1.85	9 - 15
A - 4	1.50 - 2.10	10 -20
A - 5	1.35 - 1.60	20 - 35
A - 6	1.50 - 1.90	10 -30
A - 7 - 5	1.35 - 1.60	20 - 35
A - 7 - 6	1.45 - 1.85	15 -30

Fuente: Diseño de Pavimentos AASTHO 93

De los ensayos que se hicieron de compactación se tiene los siguientes resultados:

Observación

- La humedad óptima de los suelos ensayados varía de 5.1% a 6.6%.
- La densidad máxima es de 2327 kg/m³ para una humedad óptima de 5.4%.

Los rangos de densidad y humedad óptima son aceptables, ya que el material es un suelo granular en donde la humedad es mayor al 5%, también se puede apreciar que no existe gran diferencia de resultados en los diferentes tipos de suelos, ya que depende de la humedad del lugar.

Cuadro 4.19. Resultados del ensayo Proctor

Tramo	Progresiva	Estructura	Proctor	
			Dmax (kg/m ³)	H. Op %
Padcaya - Cruce de Chaguaya	1+080	Base	2314	5.5
	2+160	Base	2317	5.5
	3+240	Base	2323	5.4
	4+320	Base	2324	5.4
	5+400	Base	2327	5.4
	6+480	Base	2317	5.5
	7+560	Base	2314	5.5
	1+080	Subbase	2301	5.1
	2+160	Subbase	2303	5.1
	3+240	Subbase	2297	5.1
	4+320	Subbase	2301	5.1
	5+400	Subbase	2300	5.2
	6+480	Subbase	2303	5.2
	7+560	Subbase	2304	5.2
Cruce de Chaguaya - Rosillas	8+640	Base	2242	6.6
	9+720	Base	2262	6.6
	10+800	Base	2230	6.6
	8+640	Subbase	2242	6.3
	9+720	Subbase	2255	6.3
	10+800	Subbase	2257	6.5

Fuente: Elaboración Propia

4.1.5. Análisis de resultados del ensayo Valor Soporte California (C.B.R)

Los requisitos mínimos de calidad para el C.B.R son los siguientes:

Cuadro 4.20. Características del CBR según su uso AASTHO T – 193

C.B.R	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
2 - 5	Muy mala	Subrasante
5 - 8	Mala	Subrasante
8 - 20	Regular - Buena	Subrasante
20 - 30	Excelente	Subrasante
30 - 60	Buena	Subbase
60 - 80	Buena	Base
80 - 100	Excelente	Base

Fuente: Diseño de Pavimentos AASTHO 93

De los ensayos que se hicieron de C.B.R se obtuvieron los siguientes resultados:

Observación

Según en el manual técnico de la ABC, especifica que los valores mínimos deben ser 40% para capa subbase y 80% capa base.

Mediante los cálculos obtenidos:

Para la capa subbase se determinó que el CBR al 100%, 98% y al 95 % es mayor al 40 %, sin embargo al 90 % es menor al 40%.

Para la capa base se determinó que el CBR al 100%, 98% es mayor al 80%, el 95 % y 90% es menor al 80 %.

Se demuestra que los materiales para la capa subbase aún son resistente, aún tiene capacidad soporte, sin embargo se observa que los CBR obtenidos al 100% de cada muestra cumple según especificaciones señaladas por lo que el material es resistente y tiene una capacidad soporte, en menor proporción.

Otro aspecto que también se analiza es que no existe expansión elevada sino al contrario lo cual es bueno ya que el material tanto de capa subbase, como capa base no debe tener

expansión mayor al 2% ya que siendo mayor la expansión provocaría que el pavimento sufra rápido de baches y demás degradación.

También se observa que los materiales que se utilizaron de banco son los que menor CBR tienen y los materiales que fueron mezclados de río es decir de canto rodado y banco tiene una mayor capacidad de soporte CBR.

Cuadro 4.21. Resultados del ensayo de C.B.R.

Tramo	Progresiva	Estructura	C.B.R.				Exp %
			100%	98%	95%	90%	
Padcaya - Cruce de Chaguaya	1.1.2	Base	98.6	85.6	66.3	34	0.09
	1.2.2	Base	99.7	86.7	67.2	34.7	0.1
	1.3.2	Base	97.8	85.6	67.4	36.9	0.08
	1.4.2	Base	98	85.8	67.4	36.9	0.09
	1.5.2	Base	100	88.6	69.3	37.1	0.12
	1.6.2	Base	99.3	85.4	64.4	29.6	0.08
	1.7.2	Base	97.8	84.9	65.5	33.1	0.08
	1.1.1	Subbase	74.4	66.9	55.5	36.9	0
	1.2.1	Subbase	78.1	69.6	56.8	35.6	0
	1.3.1	Subbase	71.7	63.6	51.5	31.4	0
	1.4.1	Subbase	82	72.9	59.1	36.3	0
	1.5.1	Subbase	81.9	72.2	57.6	33.4	0
	1.6.1	Subbase	78.7	70.8	59.1	39.5	0
	1.7.1	Subbase	84.7	75	60.3	36	0
Cruce de Chaguaya - Rosillas	1.8.2	Base	99.5	89.5	74.6	49.7	0.07
	1.9.2	Base	100	96.9	79.9	51.5	0.09
	1.10.2	Base	96.8	88.2	75.3	53.7	0.06
	1.8.1	Subbase	66.3	58.9	47.8	29.3	0.29
	1.9.1	Subbase	70.3	62.4	50.5	30.6	0.3
	1.10.1	Subbase	70	62.2	50.6	31.2	0.31

Fuente: Elaboración Propia

4.1.6. Análisis de resultados del ensayo Equivalente de Arena

De los ensayos que se hicieron de Equivalente de Arena se tiene los siguientes resultados:

Cuadro 4.22. Resultados del ensayo de Equivalente de Arena

Tramo	Progresiva	Estructura	Equivalente de Arena %	Especificaciones Técnicas
Padcaya - Cruce de Chaguaya	1+080	Base	36	> 35 %
	2+160	Base	36	
	3+240	Base	35	
	4+320	Base	35	
	5+400	Base	35	
	6+480	Base	35	
	7+560	Base	35	
Padcaya - Cruce de Chaguaya	1+080	Subbase	28	> 25 %
	2+160	Subbase	27	
	3+240	Subbase	30	
	4+320	Subbase	30	
	5+400	Subbase	30	
	6+480	Subbase	30	
	7+560	Subbase	30	
Cruce de Chaguaya - Rosillas	8+640	Base	35	> 35 %
	9+720	Base	35	
	10+800	Base	35	
	8+640	Subbase	25	> 25 %
	9+720	Subbase	26	
	10+800	Subbase	27	

Fuente: Elaboración Propia

Observación

Según normas debe cumplir lo siguiente:

Para la capa base el equivalente de arena para tráfico liviano y mediano será de 35 y para tráfico pesado será de 40, (AASHTO T 176).

Para la capa subbase el equivalente de arena para tráfico liviano y mediano será de 25 y para tráfico pesado será de 30, (AASHTO T 176).

En la norma ASTM establece que debe ser 35 % máximo.

Se observa que los valores obtenidos del porcentaje de material fino que posee el material se encuentran entre los rangos de los valores mínimos, en las especificaciones técnicas estableciendo lo siguiente:

Para la capa base > 35 % y la capa subbase > 25 %.

4.1.7. Análisis de resultados del ensayo Desgaste de los Ángeles

Los resultados que tienen según ensayos que se hizo en laboratorio son:

Cuadro 4.23. Resultados del ensayo de Desgaste de los Ángeles

Tramo	Progresiva	Estructura	Desgaste de los Ángeles (%)	Especificaciones técnicas
Padcaya - Cruce de Chaguaya	1+080	Base	28.5	< 40 %
	2+160	Base	28.3	
	3+240	Base	28.8	
	4+320	Base	28.6	
	5+400	Base	28.9	
	6+480	Base	28.5	
	7+560	Base	28.4	
Cruce de Chaguaya - Rosillas	1+080	Subbase	49.6	< 50 %
	2+160	Subbase	49.1	
	3+240	Subbase	48.7	
	4+320	Subbase	48.4	
	5+400	Subbase	48.1	
	6+480	Subbase	48.6	
	7+560	Subbase	48.2	
Cruce de Chaguaya - Rosillas	8+640	Base	28.4	< 40 %
	9+720	Base	28.3	
	10+800	Base	28.6	
	8+640	Subbase	49.3	< 50 %
	9+720	Subbase	48.8	
	10+800	Subbase	48.5	

Fuente: Elaboración Propia

Observación

Se observó que las muestras cumplen con los parámetros establecidos basados en especificaciones técnicas vigentes y cumplen con las referencias de las normas básicas, siendo las siguientes:

Para la capa base el coeficiente de desgaste máximo será del 40% de acuerdo con el ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles, según especificaciones técnicas.

Para la capa subbase el coeficiente de desgaste máximo será del el 50% de acuerdo con el ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles, según especificaciones técnicas.

Se concluye que los materiales tienen una buena resistencia al desgaste.

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La prueba de hipótesis para medias usando la distribución T de Student se usa cuando se cumplen las siguientes condiciones:

Es posible calcular la media y la desviación estándar a partir de la muestra

El tamaño de la muestra es < 30 .

El procedimiento obedece los siguientes pasos esenciales:

Plantear hipótesis nula (H₀) e hipótesis (H₁).

Hipótesis

Si al paquete estructural de un pavimento asfáltico existente se realiza una evaluación analizándolos por medio de ensayos de laboratorio, entonces se podrá establecer y mejorar las condiciones para verificar la calidad de los materiales del pavimento flexible tramo Padcaya – Rosillas, cumpliendo así con las especificaciones técnicas regidas y normas vigentes.

Hipótesis nula

Si al paquete estructural de un pavimento asfáltico existente se realiza una evaluación analizándolos por medio de ensayos de laboratorio, entonces no se podrá establecer y ni mejorar las condiciones para verificar la calidad de los materiales del pavimento flexible tramo Padcaya – Rosillas, ya que no estaría cumpliendo con las especificaciones técnicas regidas y normas vigentes.

$$H_0: \bar{X} \leq \mu$$

Hipótesis alternativa

Si al paquete estructural de un pavimento asfáltico existente se realiza una evaluación analizándolos por medio de ensayos de laboratorio, entonces se podrá establecer y mejorar las condiciones para verificar la calidad de los materiales del pavimento flexible tramo Padcaya – Rosillas, cumpliendo así con las especificaciones técnicas regidas y normas vigentes.

$$H_1; \bar{x} > \mu$$

Determinación del grado de significación (α)

Se usa 0.05 para proyectos de investigación (confiabilidad 95%).

La zona de aceptación la formulamos teniendo en cuenta que esta es una prueba de dos colas, la mitad de 0.05, es decir 0.025, está en cada cola. El área en la que no se rechaza H_0 está entre las dos colas, es por consiguiente 0.95. El valor crítico para 0.05 da un valor de $Z_c = 1.96$. Por consiguiente la zona de aceptación: es rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, si el valor Z o T calculado no queda en la región comprendida entre -1.96 y $+1.96$. En caso contrario no se rechaza la hipótesis nula si Z queda entre -1.96 y $+1.96$.

Evidencia muestral

Se calcula la media y desviación estándar a partir de la muestra.

Cuadro 4.24. Media y desviación estándar de la granulometría de los testigos

Tamiz	Media	Desviación Estandar
1"	100.00	0.00
3/4"	84.17	3.53
3/8"	70.21	4.07
N° 4	52.54	3.80
N° 8	39.66	3.80
N° 10	29.59	4.12
N° 40	16.63	4.27
N° 200	4.81	1.23

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.25. Media y desviación estándar del contenido de asfalto de los testigos

Testigos	% Ligante Asfáltico
1	5.00
2	5.15
3	5.18
4	5.18
5	5.16
6	5.06
7	5.38
8	5.00
9	5.00
10	5.05
Media	5.12
Desviación	0.12

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.26. Media y desviación estándar para las propiedades del ensayo Marshall

Testigo	% Asfalto	Densidad (Kg/cm ³)		% Vacios		RBV	Estabilidad	Fluencia
		promedio	teórica	Vv	VAM			
1	5.00	2.38	2.44	2.44	14.30	82.92	1843.90	14.00
2	5.15	2.37	2.44	2.95	15.06	80.43	1843.90	14.00
3	5.18	2.34	2.44	3.83	15.90	75.91	1849.80	14.00
4	5.18	2.36	2.44	3.18	15.34	79.25	1800.08	14.50
5	5.16	2.36	2.44	3.38	15.48	78.19	1800.08	14.50
6	5.06	2.36	2.45	3.61	15.47	76.65	1798.48	15.30
7	5.38	2.34	2.43	3.62	16.14	77.58	1750.35	14.60
8	5.00	2.36	2.44	3.33	15.41	78.37	1812.86	15.10
9	5.00	2.36	2.44	3.50	15.21	76.99	1869.45	15.30
10	5.05	2.36	2.44	3.32	15.14	78.10	1881.05	15.50
Media	5.12	2.36	2.44	3.32	15.35	78.44	1825.00	14.68
Desviación Estandar	0.13	0.00	0.00	1.40	2.23	37.26	14112.19	3.08

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.27. Media y desviación estándar para la capa base

Ensayo	% Que pasa										Media	Desviación Estándar	
	1.1.2	1.2.2	1.3.2	1.4.2	1.5.2	1.6.2	1.7.2	1.8.2	1.9.2	1.10.2			
Granulometría	Tamiz	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
	2"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
	1 1/2"	78.91	78.92	78.91	78.93	78.94	78.94	78.95	82.71	83.24	82.27	80.07	1.86
	1"	71.33	71.32	71.31	71.35	71.36	71.36	71.36	75.99	76.09	75.36	72.68	2.17
	3/4"	58.77	58.76	58.74	58.82	58.80	58.82	58.81	55.24	55.79	54.78	57.73	1.72
	4	49.10	49.11	49.08	49.17	49.17	49.19	49.18	41.81	41.83	41.82	46.95	3.54
	10	37.77	37.07	36.24	38.16	38.65	37.47	37.96	28.17	27.94	27.67	34.71	4.73
	40	15.80	14.50	17.38	17.93	19.13	15.73	19.02	13.67	13.44	13.18	15.98	2.28
	200	6.87	6.17	8.65	9.11	10.12	6.62	8.60	6.81	6.67	6.23	7.59	1.40
	Ensayo	Muestras de la capa Base										Media	Desviación Estándar
Proctor T-180	1.1.2	2314.00	2317.00	2323.00	2324.00	2327.00	2317.00	2314.00	2242.00	2262.00	2230.00	2297.00	37.15
	Dmax (kg/m3)	2314.00	2317.00	2323.00	2324.00	2327.00	2317.00	2314.00	2242.00	2262.00	2230.00	2297.00	37.15
	H. Op %	5.50	5.50	5.40	5.40	5.40	5.50	5.50	5.50	6.30	6.50	5.73	0.44
	100%	98.60	99.70	97.80	98.00	100.00	99.30	97.80	99.50	100.00	96.80	98.75	1.11
	98%	85.60	86.70	85.60	85.80	88.60	85.40	84.90	89.50	96.90	88.20	87.72	3.58
	95%	66.30	67.20	67.40	67.40	69.30	64.40	65.50	74.60	79.90	75.30	69.73	5.10
Equivalente de Arena	90%	34.00	34.70	36.90	36.90	37.10	29.60	33.10	49.70	51.50	53.70	39.72	8.57
	Exp %	0.09	0.10	0.08	0.09	0.12	0.08	0.08	0.07	0.09	0.06	0.09	0.02
Desgaste de los Angeles	% de Arena	36.00	36.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.20	0.42
	% de Desgaste	28.50	28.30	28.80	28.60	28.90	28.50	28.40	28.40	28.30	28.60	28.53	0.20

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.28. Media y desviación estándar para la capa subbase

Ensayo	% Que pasa										Media	Desviación Estándar	
	1.1.1	1.2.1	1.3.1	1.4.1	1.5.1	1.6.1	1.7.1	1.8.1	1.9.1	1.10.1			
Granulometría	%Que pasa	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
	2"	93.20	93.23	93.59	93.25	92.86	93.33	93.49	95.59	95.57	95.53	93.96	1.12
	1 1/2"	71.95	72.15	73.59	72.17	70.53	72.52	73.15	79.35	79.30	79.10	74.38	3.45
	1"	65.01	65.19	67.00	65.21	63.17	65.63	66.43	72.85	72.76	72.53	67.58	3.68
	3/4"	52.41	52.67	55.13	52.69	49.91	53.24	54.34	57.04	56.97	56.60	54.10	2.34
	4	42.76	43.20	46.17	43.24	39.91	43.90	45.19	43.63	43.64	43.15	43.48	1.63
	10	32.99	32.76	34.45	33.59	31.57	33.56	35.01	29.86	30.50	29.44	32.37	1.94
	40	14.57	13.12	16.49	15.70	15.64	14.15	17.62	12.25	11.63	11.84	14.30	2.07
200	6.98	5.61	8.17	8.00	8.20	5.88	8.09	6.08	5.28	5.56	6.78	1.23	
Ensayo	Muestras de la capa Subbase										Media	Desviación Estándar	
Proctor T-180	1.1.2	2301.00	2303.00	2297.00	2301.00	2300.00	2303.00	2304.00	2242.00	2255.00	2257.00	2286.30	24.51
	Dmax (kg/m3)	5.10	5.10	5.10	5.10	5.20	5.20	5.20	6.30	6.30	6.50	5.51	0.58
C.B.R	H. Op %	74.40	78.10	71.70	82.00	81.90	78.70	84.70	66.30	70.30	70.00	75.81	6.16
	100%	66.90	69.60	63.60	72.90	72.20	70.80	75.00	58.90	62.40	62.20	67.45	5.44
	98%	55.50	56.80	51.50	59.10	57.60	59.10	60.30	47.80	50.50	50.60	54.88	4.42
	95%	36.90	35.60	31.40	36.30	33.40	39.50	36.00	29.30	30.60	31.20	34.02	3.32
Equivalente de Arena	Exp %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.30	0.31	0.09	0.14
Desgaste de los Angeles	% de Arena	28.00	27.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	25.00	26.00	27.00	28.30	1.95
	% de Desgaste	49.60	49.10	48.70	48.40	48.10	48.60	48.20	49.30	48.80	48.50	48.73	0.48

Fuente: Elaboración Propia

Para $n < 30$ se utiliza la siguiente ecuación:

$$t = \frac{x - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Donde

μ = Valor de la hipótesis

x = Valor promedio (media)

t = Coeficiente Student

S = Desviación estándar

n = Tamaño de la muestra (grados de libertad = gl. = $n - 1$)

Resultados después de la estadística para la caracterización de los testigos

Para el contenido de asfalto calculado después de la estadística:

Cuadro 4.29. Coeficiente t para el contenido de asfalto

x	μ	t
5.12	5.00	2.87

Fuente: Elaboración Propia

Para los agregados pétreos extraídos:

Cuadro 4.30. Coeficiente t para la granulometría de los testigos

Tamiz	\bar{x}	μ	t
1"	100.00	100.00	
3/4"	84.17	67.00	14.57
3/8"	70.21	47.00	17.09
N° 4	52.54	32.00	16.22
N° 8	39.66		31.29
N° 10	29.59	22.00	5.53
N° 40	16.63	7.00	6.77
N° 200	4.81	2.00	6.87

Fuente: Elaboración Propia

Para los testigos extraídos:

Cuadro 4.31. Coeficiente t para las propiedades por medio el ensayo Marshall

	% Asfalto	Densidad (Kg/cm ³)		% Vacios		RBV	Estabilidad	Fluencia
		promedio	teórica	V _v	VAM			
\bar{x}	5.12	2.36	2.44	3.32	15.35	78.44	1825.00	14.68
μ	5.00	2.00	2.44	2.00	15.00	75.00	1500.00	8.00
t	2.87			10.01	2.08	5.07	24.62	34.28

Fuente: Elaboración Propia

Resultados después de la estadística para la caracterización de los suelos

Capa Base

Para el ensayo de granulometría:

Cuadro 4.32. Coeficiente t para la granulometría para la capa base

Granulometría	Tamiz	x	μ	t
	2"	100.00	100.00	
	1 1/2"	100.00	100.00	
	1"	80.07	75.00	8.19
	3/4"	72.68	70.00	3.71
	3/8"	57.73	55.00	4.78
	N° 4	46.95	40.00	5.89
	N° 10	34.71	30.00	2.99
	N° 40	15.98	14.00	2.60
	N° 200	7.59	5.00	5.54

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.33. Coeficiente t de los ensayos para la capa base

Ensayos	Medición	x	μ	t
Proctor T-180	Dmax (kg/m ³)	2297.00	1396.00	72.76
	H. Op %	5.73	5.00	4.92
C.B.R	100%	98.75	80.00	50.68
	98%	87.72		6.47
	95%	69.73		-6.05
	90%	39.72		-14.10
	Exp %	0.09		0.00
Equivalente de Arena	% de Arena	35.20	30.00	37.00
Desgaste de los Ángeles	% de Desgaste	28.53	25.00	52.88

Fuente: Elaboración Propia

Capa Subbase

Para el ensayo de granulometría:

Cuadro 4.34. Coeficiente t para la granulometría para la capa subbase

Granulometría	Tamiz	x	μ	t
	2"	100.00	100.00	
	1 1/2"	93.96		251.50
	1"	74.38	55.00	16.84
	3/4"	67.58		55.06
	3/8"	54.10	30.00	30.85
	N° 4	43.48	20.00	43.19
	N° 10	32.37	10.00	34.65
	N° 40	14.30	5.00	13.51
N° 200	6.78	0.00	16.55	

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.35. Coeficiente t de los ensayos para la capa subbase

Ensayos	Medición	x	μ	t
Proctor T-180	Dmax (kg/m ³)	2286.30	576.00	209.35
	H. Op %	5.51	5.00	2.64
C.B.R	100%	75.81	40.00	17.44
	98%	67.45		15.14
	95%	54.88		10.11
	90%	34.02		-5.41
	Exp %	0.09	0.00	1.86
Equivalente de Arena	% de Arena	28.30	25.00	5.09
Desgaste de los Ángeles	% de Desgaste	48.73	45.00	23.27

Fuente: Elaboración Propia

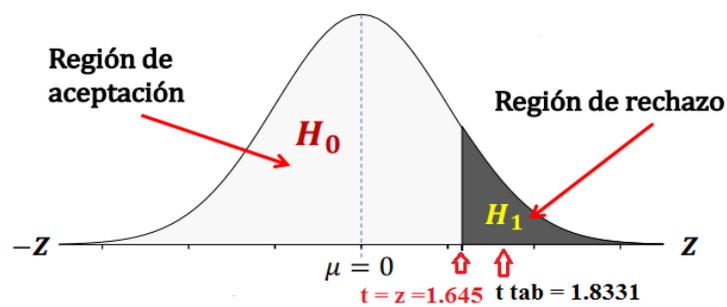
Con un intervalo de confianza de 95% se tiene $\alpha = 0.05$

Numero de muestras = 10, entonces se obtiene;

$n = 10 - 1 = 9$ ensayos (grados de libertad)

De la tabla de coeficientes T de student, obtenemos;

$t_t = 1.8331$ → para un intervalo de confianza al 95 %.



Cuadro 4.36. Coeficientes T de Student

n	α					
	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7060	31.8210	63.6560
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500

Fuente: Tablas de estadística

Realizado la prueba de Student para los datos obtenidos tras el análisis de resultados, se obtiene lo siguiente:

$$t < t_t$$

$$1.645 < 1.8331$$

En nuestro caso $t_t = 1.8331$, es mayor al valor crítico de 1.645 para una cola con un intervalo de confianza de 95 %, entonces se establece que $t_t = 1.8331$ se encuentra en la zona de rechazo, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Los t calculados son mayores a $t_t = 1.8331$.

Aceptando la hipótesis alternativa

Mediante la prueba de hipótesis usando la distribución T de Student se establece lo siguiente:

Rechazando la hipótesis nula se puede afirmar con un 95 % de confiabilidad de que los valores obtenidos en relación de las muestras extraídas, el valor de “t” , son superiores a los requerimientos mínimos de normas y especificaciones técnicas vigentes, obtenidos mediante ensayos realizados en laboratorio para cada muestra, entonces se acepta la hipótesis alternativa, aceptando esta opción, se podrá realizar una evaluación, que permita mejorar la calidad de los materiales del pavimento flexible tramo Padcaya – Rosillas.

Calculamos el valor óptimo de las muestras, con un intervalo de confianza al 95 %.

$$X_{ac} = x \pm z * Ex$$

Donde

X_{ac} = Error aceptado o valor óptimo

x = Media

z = t =1.8331

Ex = Error de la media

Cuadro 4.37. Valor óptimo para el contenido de asfalto

Testigos	% Ligante Asfáltico
1	5.14
2	5.12
3	5.13
4	5.13
5	5.12
6	5.13
7	5.17
8	5.14
9	5.14
10	5.13

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.38. Valor óptimo para la granulometría de los testigos

Tamiz	% Que pasa
1"	102.16
3/4"	86.66
3/8"	72.53
N° 4	54.87
N° 8	42.18
N° 10	32.20
N° 40	17.38
N° 200	4.81

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.39. Valor óptimo para las propiedades obtenidas mediante el ensayo Marshall

Testigo	% Asfalto	Densidad (Kg/cm ³)		% Vacíos		RBV	Estabilidad	Fluencia
		promedio	teórica	V _v	VAM			
1	5.14	2.36	2.44	3.49	15.56	79.35	1828.85	14.82
2	5.12	2.36	2.44	3.39	15.40	78.84	1828.85	14.82
3	5.13	2.36	2.44	3.42	15.46	78.95	1830.05	14.82
4	5.13	2.36	2.44	3.34	15.35	78.60	1830.07	14.72
5	5.12	2.36	2.44	3.33	15.37	78.49	1830.07	14.72
6	5.13	2.36	2.44	3.38	15.37	78.80	1830.40	14.81
7	5.17	2.36	2.44	3.38	15.51	78.61	1840.20	14.70
8	5.14	2.36	2.44	3.32	15.36	78.45	1827.47	14.77
9	5.14	2.36	2.44	3.35	15.37	78.73	1834.05	14.81
10	5.13	2.36	2.44	3.32	15.39	78.51	1836.41	14.85

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.40. Valor óptimo para la granulometría de la capa base

Granulometría	Tamiz	%Que pasa
	2"	100.00
	1 1/2"	100.00
	1"	82.55
	3/4"	75.49
	3/8"	59.96
	Nº 4	51.53
	Nº 10	40.83
	Nº 40	18.93
	Nº 200	9.40

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.41. Valor óptimo para los ensayos requeridos para la capa base

Proctor T-180	Dmax (kg/m3)	2388.22
	H. Op %	6.31
C.B.R	100%	100.19
	98%	92.36
	95%	76.33
	90%	50.82
	Exp %	0.11
Equivalente de Arena	% de Arena	35.75
Desgaste de los Ángeles	% de Desgaste	28.79

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.42. Valor óptimo para la granulometría de la capa subbase

Granulometria	Tamiz	%Que pasa
	2"	100.00
	1 1/2"	95.42
	1"	78.86
	3/4"	72.35
	3/8"	57.14
	Nº 4	45.59
	Nº 10	34.88
	Nº 40	16.98
	Nº 200	8.38

Fuente: Elaboración Propia

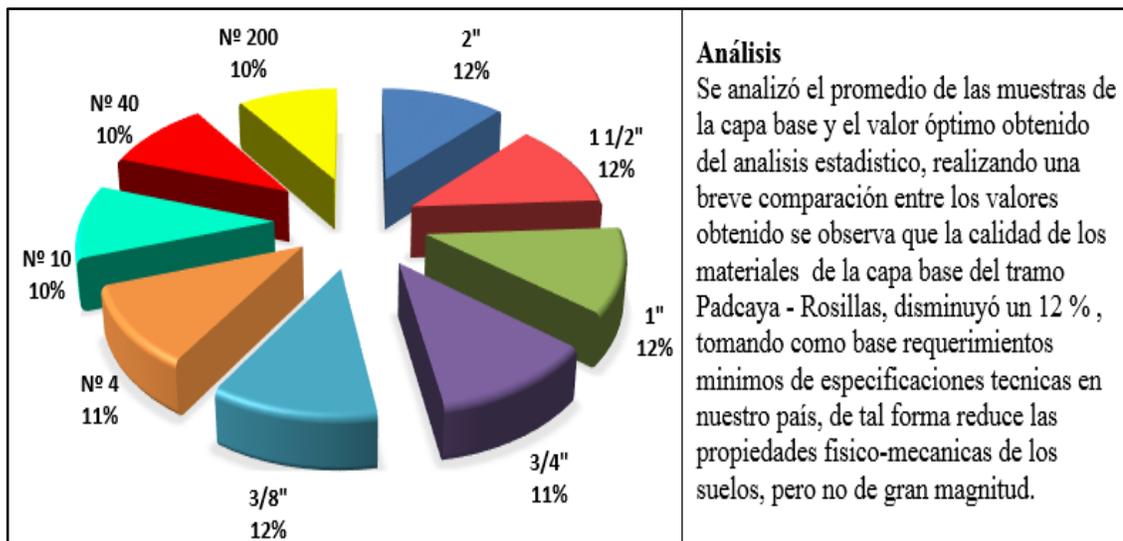
Cuadro 4.43. Valor óptimo para los ensayos requeridos para la capa subbase

Proctor T-180	Dmax (kg/m3)	2318.06
	H. Op %	6.27
C.B.R	100%	83.79
	98%	114.17
	95%	60.60
	90%	38.32
	Exp %	0.28
Equivalente de Arena	% de Arena	30.82
Desgaste de los Ángeles	% de Desgaste	49.35

Fuente: Elaboración Propia

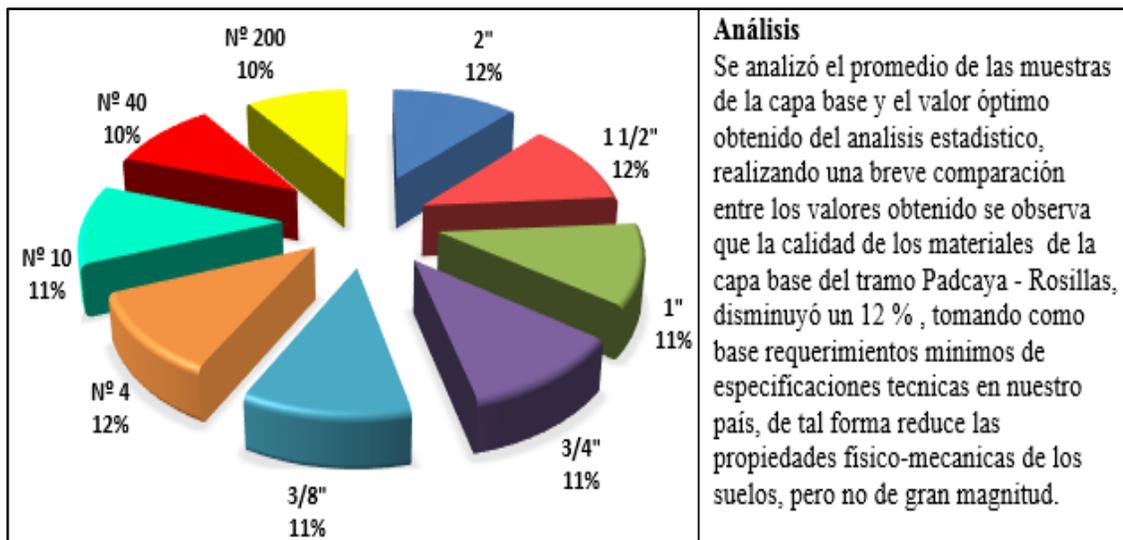
Siendo estos los valores óptimos de un error al 95 % de intervalos de confianza.

Gráfica 1. Análisis de datos de la granulometría para la capa base



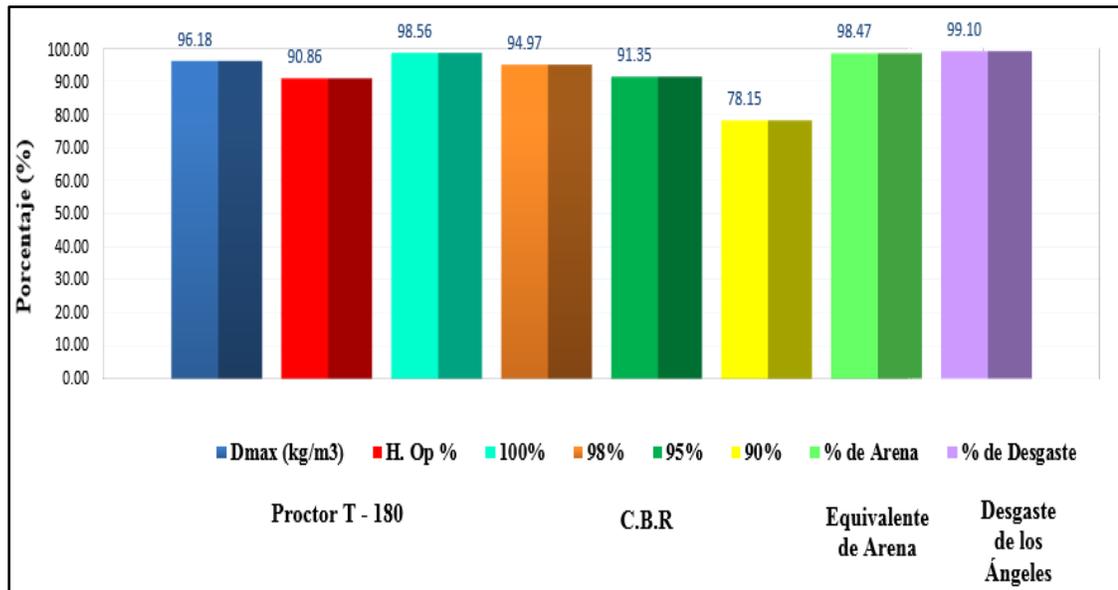
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 2. Análisis de datos de la granulometría para la capa subbase



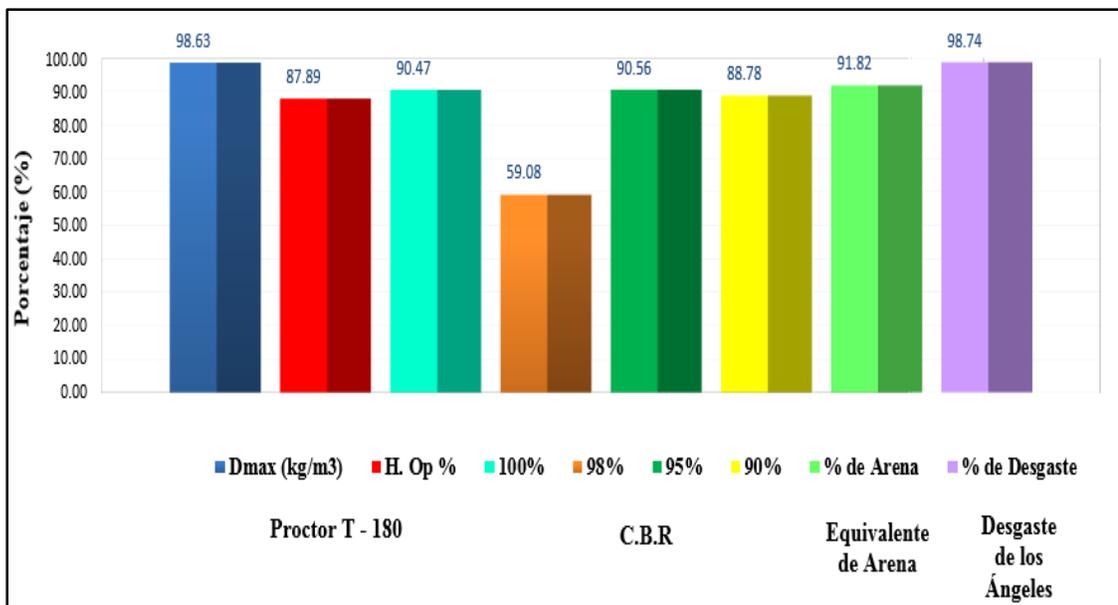
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3. Análisis de datos de los ensayos requeridos para la capa base



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 4. Análisis de datos de los ensayos requeridos para la capa subbase



Fuente: Elaboración Propia

Interpretación de resultados para la capa base

Del ensayo Proctor se obtiene que el contenido de humedad varía un 9.14 % y la densidad máxima del suelo varía un 3.86 %, del valor óptimo calculado mediante la estadística con relación a la media de las muestras, se calcula dependiendo del tipo de suelo y la ubicación de la zona.

Analizando los datos obtenidos a través de los cálculos requeridos del C.B.R se demuestra que las muestras obtenidas, tiene un porcentaje de efectividad de 98.56 % al 100 %, 94.97 % al 98%, 91.35 % al 95 %, 78.15 % al 90 % del valor óptimo calculado mediante la estadística con relación a la media de las muestras, considerando que el valor requerido para la capa base tiene que tener un $\text{CBR} \geq 80\%$, en el análisis los resultados se observa que del 95 % y 90% , el CBR es menor a 80%.

El desgaste de los Ángeles, varía un 0.9 % del valor óptimo calculado mediante la estadística con relación a la media de las muestras, en el análisis de resultados se observa que los valores son menores al 40%, y su valor óptimo es de 28.79 %.

El equivalente de arena varía un 1.53 % del valor óptimo calculado mediante la estadística con relación a la media de las muestras, en el análisis de resultados se observa que los valores son $\geq 35\%$, y su valor óptimo es de 35.75 %.

Se concluye de la siguiente manera:

Los suelos de la capa base tienen un grado de aportación del agua influyente sobre el suelo, manteniendo una buena compactación, sin embargo el porcentaje de variación que tiene el contenido de humedad, está afectando levemente la estructura del suelo ya que pierde textura, durabilidad, cohesión y adherencia en la compactación, en el CBR el suelo conserva una capacidad soporte, sin embargo en el análisis se observa que la capacidad del suelo disminuye a cierto grado, provocando que la resistencia y la dureza del suelo se está desgastando poco a poco, a pesar de que la resistencia al desgaste cumple según normas, menor a 40 %, presentan poca resistencia empezando a carecer el tamaño de los suelos y apareciendo espacios entre las partículas de la capa provocando vacíos, dando paso a la presencia del agua, ya que el suelo tiene poco material fino, a pesar de que cumple con lo requerido en normas, mayor a 35 %, pero el porcentaje es mínimo.

Interpretación de resultados para la capa subbase

Del ensayo Proctor se obtiene que el contenido de humedad varía un 12.11 % y la densidad máxima del suelo varía un 1.37 %, del valor óptimo calculado mediante la estadística con relación a la media de las muestras, se calcula dependiendo del tipo de suelo y la ubicación de la zona.

Analizando los datos obtenidos a través de los cálculos requeridos del C.B.R se demuestra que las muestras obtenidas, tiene un porcentaje de efectividad de 90.47 % al 100 %, 59.08 % al 98%, 90.56 % al 95 %, 88.78 % al 90 % del valor óptimo calculado mediante la estadística con relación a la media de las muestras, considerando que el valor requerido para la capa base tiene que ser mayor a 40% , en el análisis los resultados se observa que el 90% , el CBR es menor a 40%.

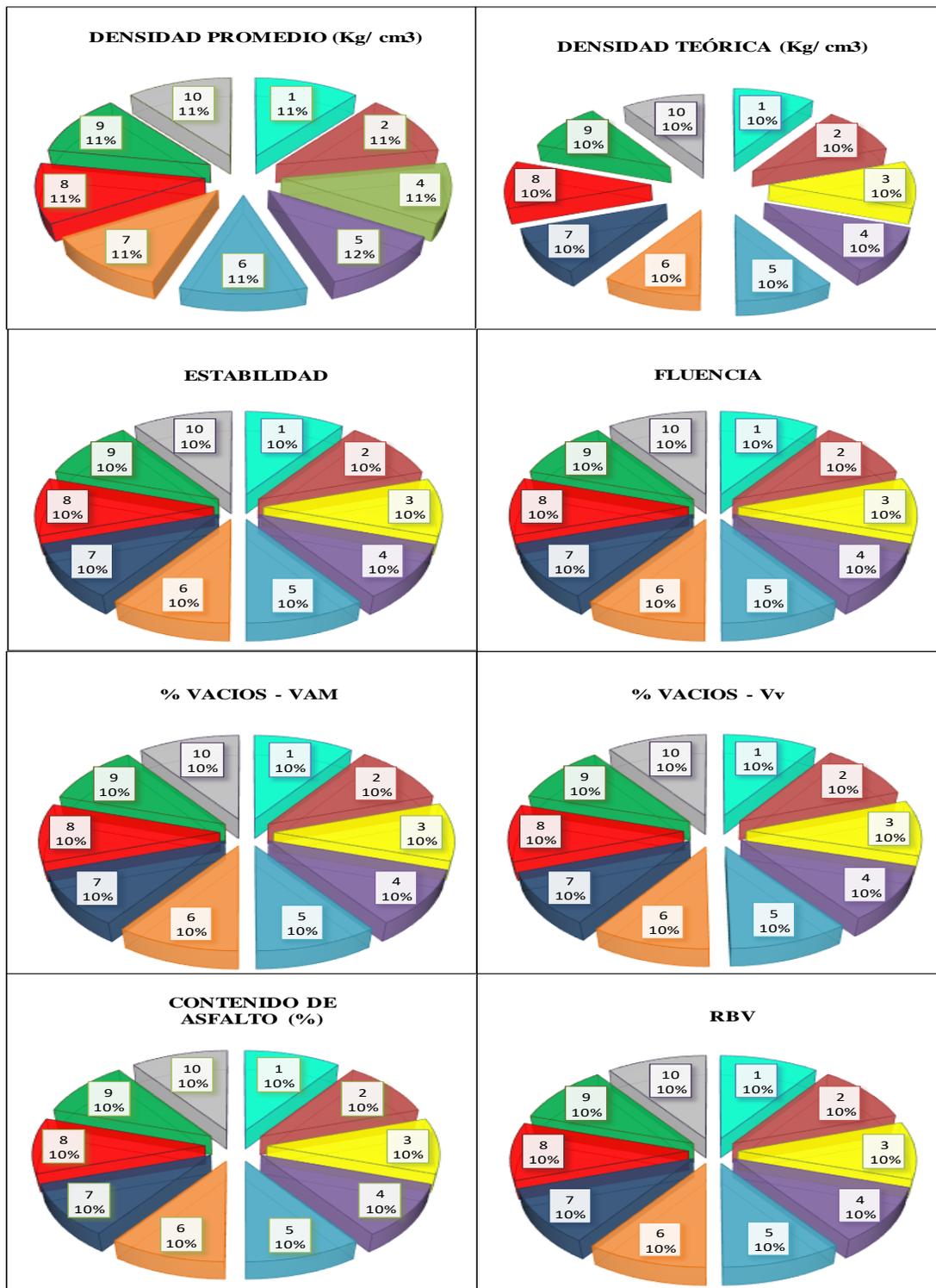
El desgaste de los Ángeles, varía un 1.24 % del valor óptimo calculado mediante la estadística con relación a la media de las muestras, en el análisis de resultados se observa que los valores son menores al 40%, y su valor óptimo es de 28.79 %.

El equivalente de arena varía un 8.18 % del valor óptimo calculado mediante la estadística con relación a la media de las muestras, en el análisis de resultados se observa que los valores son $\geq 25\%$, y su valor óptimo es de 30.82 %.

Se concluye de la siguiente manera:

Los suelos de la capa base tienen un grado de aportación del agua influyente sobre el suelo, manteniendo una buena compactación, sin embargo el porcentaje de variación que tiene el contenido de humedad, está afectando levemente la estructura del suelo ya que pierde textura, durabilidad, cohesión y adherencia en la compactación, en el CBR el suelo conserva una capacidad soporte, sin embargo en el análisis se observa que la capacidad del suelo disminuye a cierto grado, provocando que la resistencia y la dureza del suelo se está desgastando poco a poco, a pesar de que la resistencia al desgaste cumple según normas, menor a 50 %, presentan poca resistencia empezando a carecer el tamaño de los suelos y apareciendo espacios entre las partículas de la capa provocando vacíos, dando paso a la presencia del agua, ya que el suelo tiene poco material fino, a pesar de que cumple con lo requerido en normas, mayor a 25 %, pero el porcentaje es mínimo.

Gráfica 5. Análisis de datos de las propiedades mediante el ensayo Marshall



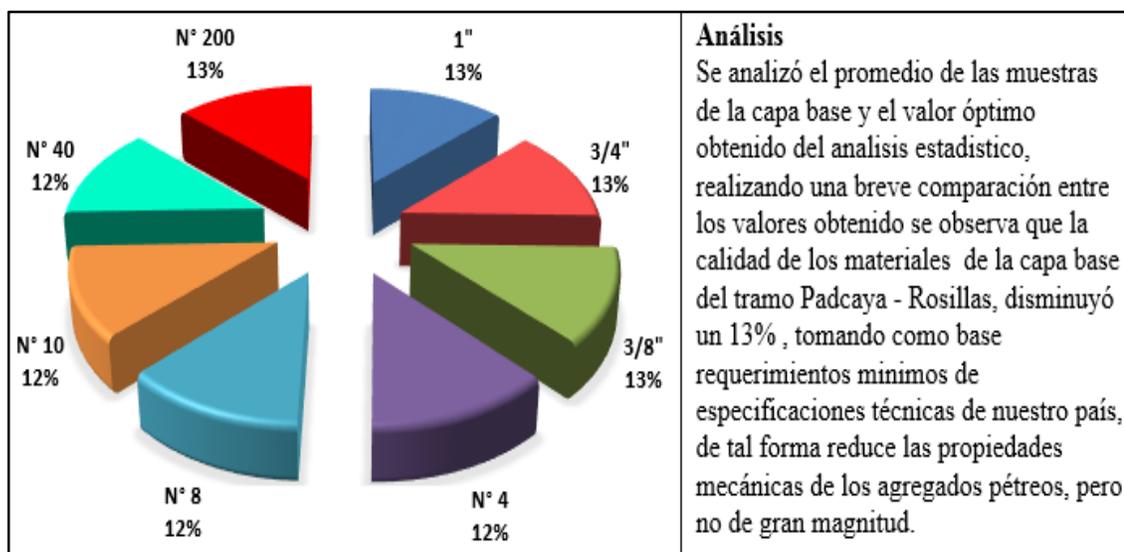
Fuente: Elaboración Propia

Mediante el ensayo Marshall se determinó lo siguiente:

El contenido de asfalto de los testigos extraídos no sobrepasan el 10 %, considerando el valor óptimo calculado mediante la estadística con relación a la media de las muestras, en el manual de asfalto establece que el valor requerido varía del 5 % al 6%, lo cual se mantiene en el rango.

De los testigos extraídos se verifica que las propiedades obtenidas mediante el ensayo Marshall como ser: la Estabilidad, Fluencia, Contenido de Vacíos (Vv y VAM), Densidad (teórica y promedio) y Relación Betún Vacíos (RBV), se observa que no sobrepasa el 13 % considerando el valor óptimo calculado mediante la estadística con relación a la media de las muestras, ya que se encuentran entre los rangos permitidos de las propiedades, pero de cierta forma afecta al pavimento, ya que el porcentaje que presenta es mínimo, provocando que los parámetros analizados pierdan poco la adherencia, estabilidad y fluencia de la carpeta de rodadura.

Gráfica 6. Análisis de datos de la granulometría de los testigos extraídos



Fuente: Elaboración Propia

Habiendo realizado el análisis de las propiedades de los testigos extraídos y su granulometría, se concluye de la siguiente manera:

Los testigos que se extrajeron, reducen un porcentaje mínimo, sin embargo como la carpeta de rodadura, está expuesta a otros factores, que no se consideró en la evaluación, como ser: cambios climatológicos, la temperatura, la acción del tráfico en la zona, y el drenaje, han influenciado a que el pavimento presente fallas, tales que algunas de ellas se reconoció en el trayecto de la inspección visual, sin embargo el pavimento presenta un tratamiento superficial triple de apróx. 2,5 cm, que ha coadyuvado que el pavimento se mantenga en servicio a la sociedad; analizando toda la estructura se concluye que los parámetros analizados tienen una relación cercana con las fallas encontradas en el tramo, sin embargo los factores que no se consideró en la evaluación, fueron factores decisivos, que de alguna manera aportaron más al estado del pavimento.

Por lo que se opta de realizar un plan de mantenimiento rutinario y periódico cada 1 a 5 años para que el pavimento flexible tramo Padcaya – Rosillas, se mantengan en vigencia y que brinde mayor comodidad y servicio a la sociedad y así asegurarnos de la vida útil de la carretera.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Habiendo realizado los análisis de los ensayos para verificar la calidad de los materiales se concluye de la siguiente manera:

- ❖ Según el ensayo de Centrifugación, que se realizó para la extracción de los materiales de la mezcla asfáltica, se observó que los materiales pétreos cumple con la granulometría para un contenido de asfalto del 5 % promedio de la extracción de los testigos.
- ❖ El contenido de asfalto que se extrajo en cada testigo varía entre 5 % a 5.20 %, por lo tanto se encuentra en un rango admisible para un buen contenido de asfalto en una mezcla asfáltica, cumpliendo con las especificaciones técnicas y normas básicas de diseño.
- ❖ Para los testigos se determinó las propiedades de la mezcla asfáltica (estabilidad, flujo, vacíos, densidades, contenido de asfalto) mediante el ensayo Marshall, comparando ambas tablas, se comprobó que cumple con los requisitos mínimos de diseño de la mezcla asfáltica.
- ❖ Analizados los materiales de la carpeta asfáltica mediante los ensayos señalados anteriormente (ensayo de centrifugación y ensayo Marshall, se verifica que los materiales se encuentran en un rango permisible, con relación a las especificaciones técnicas de proyecto y normas básicas vigentes.
- ❖ Según ensayos que se realizaron en laboratorio de los materiales granulares utilizados para la capa subbase y base del pavimento, para realizar su debida clasificación según la norma AASHTO, se observó que los materiales granulares son NP, es decir, no tienen plasticidad, lo cual determina que los materiales no presentan gran expansión, sino al contrario una expansión demasiado pequeña debido a que los materiales granulares no tienen gran presencia de finos y según

clasificación por la norma AASHTO estos materiales granulares son excelentes, ya que estos son A-1a (0).

- ❖ Con el método de compactación de Proctor Modificado T-180, se pudo llegar a resultados satisfactorios confiables, teniendo en cuenta que la humedad óptima se encuentra en un rango de (4 - 6%) y su densidad de (1700 – 2300 Kg/m³), estos valores llegan a ser parte del rango debido al tipo de suelo que tienen los materiales son granulares.
- ❖ Según los datos obtenidos en laboratorios, se pudo observar que las muestras cumplen con los CBR establecidos en especificaciones técnicas de los proyectos y así también como referencia la norma AASTHO, siendo éstas mayores al 40% para la capa subbase y mayores al 80% para la capa base.
- ❖ Por tanto, se puede decir que los materiales de la capa base y subbase conservan una buena capacidad portante, para poder resistir la acción del tráfico.
- ❖ Según los datos obtenidos del Equivalente de Arena en laboratorio, se pudo observar que las muestras cumplen con los parámetros establecidos en especificaciones técnicas de los proyectos ya que establece que debe ser >25 % para la capa subbase y >35 % para la capa base, cumpliendo las referencias de la norma basada.

Según los resultados obtenidos en el laboratorio se puede concluir que los materiales tienen un porcentaje óptimo de material fino.

- ❖ Según los datos obtenidos del Desgaste de los Ángeles en laboratorios, se pudo observar que las muestras cumplen con los parámetros establecidos en especificaciones técnicas del proyecto y cumple con las referencias de las normas básicas de diseño, se puede concluir que contamos con un agregado de alta resistencia al desgaste.
- ❖ Después de analizar cada ensayo, se concluye que los materiales obtenidos para la capa base y subbase, cumple con los requisitos básicos de calidad, según normas y especificaciones técnicas, por tanto, la calidad de los materiales del paquete estructural del pavimento flexible tramo Padcaya -Rosillas, a pesar de que es un tramo antiguo, y que presenta un tratamiento superficial triple, se encuentra entre los rangos permisibles de parámetros que establecen la calidad del mismo,

haciendo que el tratamiento, mantenga la calidad del pavimento, aunque presenta fallas superficiales éstas no afectan al pavimento, son fallas con un nivel medio de severidad, por lo que se propone realizar un mantenimiento adecuado al pavimento, para así oferte una servicialidad disponible, que brinde confort y comodidad a los usuarios.

- ❖ Cabe mencionar que no se pudo acceder a las especificaciones técnicas del tramo, por tanto, para realizar el análisis de resultados de cada uno de los ensayos, se basó en especificaciones técnicas que actualmente utiliza SEDECA para la ejecución de pavimentos, como fue la entidad ejecutora de las carreteras involucradas, usa las mismas especificaciones técnicas para el diseño de carreteras en cualquier proyecto vial.
- ❖ Para realizar el análisis de resultados correspondiente a cada ensayo se basó en normas internacionales como; American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, American Society for Testing and Materials, ASTM, Manual de Diseño en Pavimentos AASHTO 93, Instituto de Asfaltos y el Manual Técnico ABC, para obtener valores próximos y óptimos a nuestros resultados generando que cumplan con las normativas correspondientes.
- ❖ Realizado el análisis estadístico mediante la prueba de hipótesis para medias usando la distribución T de Student, se determinó el valor óptimo de los ensayos que requirieron las muestras obtenidas, con respecto a normas básicas y especificaciones técnicas vigentes, se concluye que la calidad del material disminuyo aproximadamente el 10 %, pues el presentar un tratamiento superficial evito que sufriera grandes daños al pasar los años.
- ❖ Entonces podemos concluir dando respuesta a nuestra hipótesis de que si se realiza una evaluación de la calidad de los materiales del pavimento flexible tramo Padcaya – Rosillas, respecto a normas básicas y especificaciones técnicas, entonces se puede determinar la calidad de los materiales, para lo cual habiéndose analizados las pruebas pertinentes podemos ver, el efecto que causa los parámetros estandarizados de diseño, esclareciéndose así el efecto de la calidad comprobado mediante los ensayos descritos.

5.2. RECOMENDACIONES

- ❖ Para tener resultados óptimos en laboratorio se tiene que realizar un buen muestreo de los materiales granulares, para lo cual se tiene que tener una muestra representativa para realizar los ensayos en laboratorio.
- ❖ Al realizar las prácticas en laboratorio, se las debe realizar con una buena precisión en cuanto la lecturación del CBR, ya que de no ser así puede influir bastante en los resultados obtenidos.
- ❖ Para realizar los ensayos de clasificación de los materiales (se considera los ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor (compactación), y C.B.R), el Equivalente de Arena y el Desgaste de los Ángeles, se recomienda acudir a la norma AASTHO y ASTM D, para tener mayor conocimiento del suelo que está siendo parte del estudio y así de este modo tener una información más adecuada sobre los materiales granulares.
- ❖ Al realizar el ensayo Marshall y el de Centrifugación, se recomienda acudir a la norma AASTHO y ASTM D para el agregado pétreo, y para conocer la dosificación de diseño se recomienda acudir al Manual de Asfalto para tener mayor conocimiento sobre los materiales que constituyen los testigos extraídos, para determinar las características y propiedades de la mezcla asfáltica.
- ❖ La norma boliviana Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.), está basada en normas AASTHO y ASTM D, las cuales se basaron para realizar los ensayos para evaluar la calidad de los materiales del pavimento flexible Tramo Padcaya - Rosillas.
- ❖ Para tener resultados más precisos se recomienda realizar los ensayos con paciencia y dedicación, para así tener resultados óptimos.
- ❖ Es recomendable conocer y averiguar todas las especificaciones que se deben tener en cuenta en la construcción de un pavimento flexible, así como también sobre los ensayos de caracterización de los materiales.
- ❖ Se recomienda que al trabajar se utilice la indumentaria adecuada: guantes de cuero o lona, gafas de seguridad, ropa adecuada de preferencia un overol y mascarillas (tipo barbijo).

- ❖ Se recomienda realizar una evaluación de la calidad del tráfico y tránsito del lugar, basándose en los requisitos mínimos de diseño una carretera que establece según AASHTO 93 y manuales de la norma boliviana de la ABC para verificar si cumplen con los parámetros de diseño, para ellos se deberá realizar un estudio de los meses más críticos y establecer si estos son los causantes de las fallas en los pavimentos.
- ❖ Se recomienda realizar una evaluación de la calidad del medio ambiente y drenaje, con objeto de verificar si cumple con los requisitos mínimos de drenaje y establecer si las características del medio ambiente llegan a afectar los materiales de las capas del pavimento flexible, para ello se deberá realizar un estudio del lugar.
- ❖ Para conocer el estado de un pavimento, se recomienda evaluar mediante ensayos no destructivos, ya que los métodos destructivos dañan el pavimento, y es un método antiguo que actualmente no se utiliza, el ensayo defléctometro de impacto es un ensayo no destructivo, que actualmente se utiliza para evaluar el estado estructural del pavimento aplicando una carga dinámica que simula la carga dinámica de una llanta que permite analizar los módulos elásticos, los esfuerzos y las deformaciones de cada capa modelada, donde reporta la capa más débil y el modo de falla, vida residual y determina las alternativas óptimas de rehabilitación, es un equipo dotado de la tecnología más avanzada, por lo que no se consideró en el trabajo de investigación ya que está basado en requerimientos mínimos de calidad de ensayos normados vigentes y especificaciones técnicas vigentes.