

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es un elemento muy importante en el desarrollo económico y social de una población al proporcionar acceso a los servicios básicos, trabajo, educación, etc., desarrollando el turismo y mejorando el comercio de una región o país.

Los pavimentos de asfalto y de hormigón, presentan sus diferentes componentes como: la capa subrasante, capa sub-base, capa base y capa de rodadura con las especificaciones que debe tener cada uno de estos para la realización de la carretera de acuerdo a las solicitudes de tráfico. Por lo tanto, como los pavimentos son de crucial importancia para las regiones, lo sustancial es elegir la mejor estructura de acuerdo a las solicitudes de servicio de la misma según los vehículos que circulan por la vía.

Sin embargo, se vio que la realización del pavimento de asfalto es el que más se aplica en la mayoría de la construcción de tramos carreteros en el departamento de Tarija, debido a la facilidad de colocación de este y a la maquinaria. Por otro lado en el pavimento de hormigón es más compleja su puesta en obra, pero es más resistente que el flexible; la ventaja es que tiene mayor periodo de vida útil y menor mantenimiento mientras que el otro debe presentar un mantenimiento periódico más frecuente.

Ante este problema se planteó realizar un análisis de competitividad entre un grupo de pavimentos para poder determinar las eficiencias que presentan estos, mediante la extracción de núcleos de cada uno de los tramos. También con el costo por kilómetro de cada uno se determinará la funcionalidad de los pavimentos.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Las vías de comunicación son base del desarrollo del país, para ser capaces de competir en el desarrollo económico y para mejorar las condiciones de vida de sus habitantes. Hoy en día la circulación de vehículos sobre las carreteras y calles es el medio principal de transporte tanto de personas como de sus bienes. Los volúmenes de tránsito, así como las cargas han aumentado considerablemente en las últimas décadas; durante años en todo el país se realizó la construcción de carreteras con pavimentos rígidos y flexibles.

Las ventajas de los pavimentos de hormigón es que son más resistentes, presentan una losa que distribuye mejor las cargas permitiendo menos capas para su diseño; la desventaja es que su construcción necesita mayor equipo y personal.

Las ventajas de los pavimentos flexibles son la reducción de la contaminación acústica y confort, presenta bajo costo al inicio de la construcción; la desventaja, exige mayores excavaciones y movimiento de tierra por ser una estructura multicapa y requiere mantenimiento rutinario y periódico todos los años.

El estudio servirá para determinar correctamente la competitividad de los pavimentos y así establecer cuál es más eficiente en la actualidad. Planteando un análisis de calidad y costo del pavimento. También contendrá todas las especificaciones que se debe seguir para el diseño de una mezcla de asfalto y de hormigón con las caracterizaciones adecuadas y establecidas según norma, para las respectivas dosificaciones de las mezclas.

El aporte académico es demostrar desde el punto de vista la calidad que presenta cada uno de estos pavimentos y el costo económico, también las ventajas y desventajas que tiene cada tipo de pavimento de manera de ser más competitivo en su medio.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar los pavimentos rígidos y flexibles a través de sus parámetros de calidad y costo de manera de establecer la competitividad que presenta cada uno de estos en los tramos de la región de Tarija.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar la información recopilada disponible de los pavimentos de asfaltos y hormigón para tener mayor fundamento de la investigación.
- Realizar la caracterización de los materiales que componen una mezcla asfáltica convencional en base la norma AASHTO.
- Caracterizar los materiales que componen una mezcla de concreto convencional en base la norma AASHTO.
- Determinar el proceso de dosificación en las mezclas de asfalto convencional y hormigón convencional.
- Establecer la competitividad a través de la calidad entre el pavimento rígido y flexible de tramos de la región de Tarija.
- Determinar la competitividad a través de los costos de pavimentos rígidos y flexibles de tramos de la región de Tarija.
- Generar las conclusiones y recomendaciones en base al estudio de competitividad de los pavimentos rígido y flexible.

## **1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.4.1 Situación problemática**

Las carreteras son las vías de comunicación más importantes entre ciudades y pueblos para su desarrollo social y económico. Los pavimentos flexibles y rígidos son estructuras empleadas en los caminos para ofrecer a las personas que circulan con sus vehículos confort seguridad y comodidad al manejar en carreteras nacionales y urbanas.

Los deterioros de los pavimentos flexibles son más frecuentes en los tramos de la región debido al aumento poblacional y por ende a la mayor circulación de los vehículos que crece al pasar los años, esto lleva a futuro mayores inversiones de mantenimiento en los proyectos.

En los pavimentos ya sea rígido o flexible escogidos para realizar el estudio se pretende visualizar cuál pavimento es más funcional. Realizando un análisis competitivo de los parámetros en la calidad y en el costo para saber cuál de estos sería más eficiente en la región de Tarija.

#### **1.4.2 Problema**

¿Cómo se puede establecer la competitividad, entre tramos de pavimento flexible y rígido en el Departamento de Tarija?

#### **1.5 HIPÓTESIS**

Una mayor eficiencia de los tramos en el Departamento de Tarija, mejora su competitividad.

## 1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES

### Variable independiente

Tabla 1-1 Variable independiente

Variable independiente	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Condiciones de los tramos	Flexible	Lb	Realizar extracción de núcleos del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga
		Lb	Realizar extracción de núcleos del tramo Palos Blancos-Choere
	Rígido	Kg/cm <sup>2</sup>	Realizar extracción de núcleos del tramo urbano de Villamontes
		Kg/cm <sup>2</sup>	Realizar extracción de núcleos del tramo urbano de Bermejo
		Kg/cm <sup>2</sup>	Realizar extracción de núcleos del tramo Campo Pajoso-Caraparí

Fuente: Elaboración propia

### Variable dependiente

Tabla 1-2 Variable dependiente

Variable dependiente	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Competitividad	Eficiencia	%	Realizar un análisis estadístico inferencial para obtener eficiencia del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga
		%	Realizar un análisis estadístico inferencial para obtener eficiencia del tramo Palos Blancos-Choere
		%	Realizar un análisis estadístico inferencial para obtener eficiencia del tramo urbano Villamontes
		%	Realizar un análisis estadístico inferencial para obtener eficiencia del tramo urbano Bermejo
		%	Realizar un análisis estadístico inferencial para obtener eficiencia del tramo Campo Pajoso-Caraparí
	Funcionalidad	Bs	Costo de tramos

Fuente: Elaboración propia

## **1.7 DISEÑO METODOLÓGICO**

### **Unidad de estudio**

Un tramo de pavimento flexible o rígido

### **Población**

30= Tramos existentes en el Departamento de Tarija

### **Muestra**

En la muestra de estudio son 5 tramos: 2 de pavimento flexible y 3 de pavimento rígido.

### **Muestreo**

En la selección de la muestra para el análisis de competitividad entre pavimentos flexible y rígido en el departamento de Tarija como referencia tenemos:

Proyectos de pavimentos flexibles

Tramo Puente Jarcas-Piedra Larga

Tramo Palos Blancos-Choere

Proyectos de pavimentos rígidos

Tramo urbano de Bermejo

Tramo urbano de Villamontres

Tramo Campo Pajoso-Caraparí

## 1.8 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS

### **Método inductivo**

El método inductivo es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro; la clasificación y el estudio de estos hechos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización; y la contrastación.

Esto supone que, tras una primera etapa de observación, análisis y clasificación de los hechos, se logra postular una hipótesis que brinda una solución al problema planteado. Una forma de llevar a cabo el método inductivo es proponer, mediante diversas observaciones de los sucesos u objetos en estado natural, una conclusión que resulte general para todos los eventos de la misma clase.

En concreto, podemos establecer que este citado método se caracteriza por varias cosas y entre ellas está el hecho de que al razonar lo que hace quien lo utiliza es ir de lo particular a lo general o bien de una parte concreta al todo del que forma parte.

De la misma forma, es importante subrayar el hecho de que este método que estamos abordando se sustenta en una serie de enunciados que son los que le dan sentido. Así, podemos establecer que existen tres tipos diferentes de ellos: los llamados observacionales que son aquellos que hacen referencia a un hecho que es evidente, los particulares que están en relación a un hecho muy concreto, y finalmente los universales. Estos últimos son los que se producen como consecuencia o como derivación de un proceso de investigación y destacan porque están probados empíricamente.

La aplicación del método inductivo en el presente trabajo será adquirir información sobre los pavimentos rígidos y flexibles, los conceptos, composición de cada uno de ellos, las diferentes propiedades que tiene cada uno de estos pavimentos.

También realizar un análisis definiendo cuál de estos pavimentos tiene más eficiencia, de acuerdo a los parámetros de la competitividad que presentan cada uno de estos, el costo del pavimento y la calidad del material.

### **Técnicas de recolección de datos**

Previa a la realización de cualquier metodología se procederá a recolectar información necesaria de pavimentos seleccionados para el estudio del análisis.

### **Estadística Inferencial**

Se llama estadística inferencial o inferencia estadística a la rama de la estadística encargada de hacer deducciones, es decir, inferirá propiedades, conclusiones y tendencias, a partir de una muestra del conjunto.

La estadística inferencial emplea usualmente mecanismos que le permiten llevar a cabo dichas deducciones, tales como pruebas de estimación puntual (o de intervalos de confianza), pruebas de hipótesis, pruebas paramétricas (como de media, de diferencia de medias, proporciones, etc.) y no paramétricas (como la prueba del chi-cuadrado, etc.). También le son útiles los análisis de correlación y de regresión, las series cronológicas, el análisis de varianza, entre otros.

Por ende, la estadística inferencial es sumamente útil en el análisis de poblaciones y tendencias, para hacerse una idea posible de las acciones y reacciones de la misma de cara a condiciones específicas.

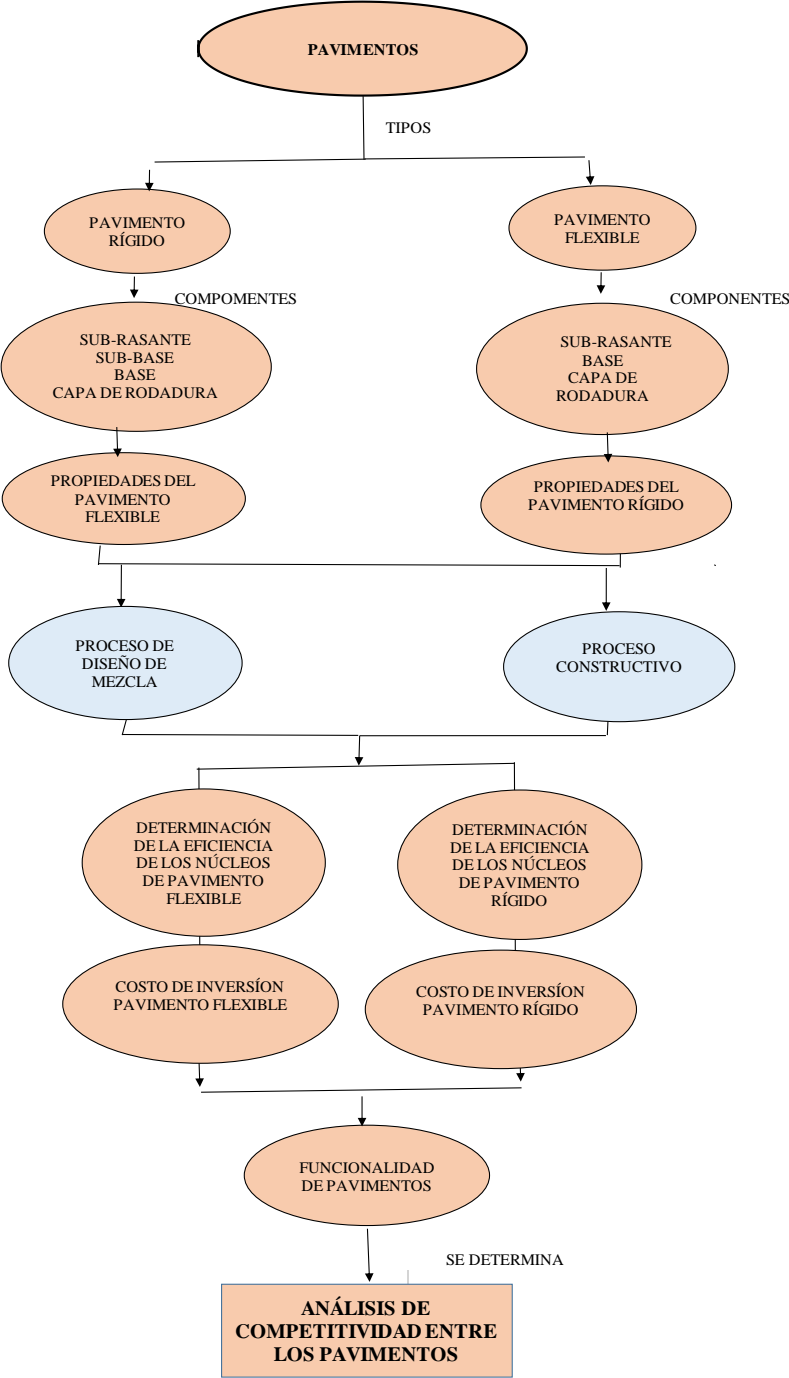
En el proyecto se utilizará la estadística inferencial para realizar el análisis de eficiencia de la extracción de los núcleos de cada uno de los pavimentos, determinando así sus medidas como la media, desviación y determinación de errores para poder establecer los intervalos de confianza. También para efectuar la teoría de la hipótesis se empleará el método de T Student, debido a que la muestra presenta un número menor a 30 datos.



**Procedimiento de aplicación**

**Flujograma**

**Figura 1-1** Flujograma del proceso de aplicación



**Fuente:** Elaboración propia

El procedimiento de aplicación se realizará con toda la información obtenida de la bibliografía. Sus especificaciones y granulometría que debe cumplir cada componente de los pavimentos como la capa subrasante, sub-base, base y capa de rodadura se sujetarán a las normas para pavimentos.

La adquisición de los materiales, entre ellos los agregados, el cemento asfáltico y el cemento IP 30 serán obtenidos de un banco cerca de la ciudad Tarija, para así realizar los laboratorios necesarios para tener conocimiento sobre el proceso metodológico de la elaboración de las mezclas de pavimento rígido y flexible.

Para la obtención de la caracterización de los agregados, se realizará la granulometría y una serie de ensayos que marca las normas AASHTO Y ASTM a los agregados, para poder utilizarlos en las obras.

La caracterización del cemento asfáltico se basa en la determinación de los siguientes ensayos; de penetración, punto de inflamación, peso específico, punto de ablandamiento y ductilidad que se los realiza en laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Cuando cumplen con los requerimientos establecidos recién se los puede utilizar para el diseño de mezcla Marshall.

Se realiza la caracterización del cemento portland en cumplimiento de las normas de la ASTM; para esto se tomará una muestra de cemento portland determinando ensayos de peso específico y finura del cemento en laboratorio. Estos resultados serán empleados para el diseño de probetas de pavimento rígido.

Luego de la determinación de la dosificación según el método ACI 211 se elabora 15 probetas de mezcla de concreto y 18 briquetas de mezcla de asfalto de la cual se determinará el contenido óptimo de asfalto según el método Marshall.

En la determinación de los ensayos de probetas para capa de rodadura de pavimento rígido después del vaciado de la mezcla se espera 28 días. Luego se procede a los ensayos de compresión y flexo-tracción para determinar el grado de rotura.

En los tramos escogidos que corresponden a la región de Tarija se procederá a determinar la calidad de los pavimentos utilizando un método destructivo que es la extracción de

núcleos de cada uno de los pavimentos, para poder determinar la resistencia estructural que presenta cada uno de estos y así encontrar su eficiencia de cada tramo.

Con los datos recolectados de la información de los tramos de diseño final de la región de Tarija unos de pavimento rígido y otros de flexible, se someterá a un análisis económico, para poder establecer cuál de estos presenta menor costo y más eficiencia. También los precios que tienen por el mantenimiento anual un pavimento rígido y flexible.

## **1.9 ALCANCE**

Por medio de este trabajo se pretende realizar un análisis de competitividad de los pavimentos de asfalto y los pavimentos de hormigón que se encuentran en la región de Tarija.

Se examinarán los antecedentes sobre los pavimentos y el planteamiento del problema que llevó a estudiarlos, buscando toda la información de los conceptos básicos relacionados con los pavimentos y tipos de pavimentos que existen en general.

Se definirá las características, componentes de los pavimentos rígido y flexible, como la subrasante, sub-base y base con las respectivas granulometrías que debe tener cada una de estas capas según las especificaciones de las normas, y además sus ventajas y desventajas de cada uno de estos.

En el laboratorio de asfaltos de la universidad se desarrollará el diseño de las briquetas que son de las mezclas asfálticas y en laboratorio de tecnología del hormigón las probetas que son de mezclas de concreto. Los materiales utilizados para las dosificaciones serán adquiridos de un banco cerca de ciudad de Tarija y el cemento portland de una agencia de Tarija.

Efectuando en el laboratorio ensayos de resistencia de las mezclas de concreto para determinar sus propiedades, en las mezclas asfálticas, también se determinarán sus propiedades mediante el método de diseño Marshall, para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Se realizará la extracción de núcleos de cada uno de los tramos en estudio de pavimento rígido: Uno de la red fundamental y dos tramos urbanos, otros de flexible que pertenecen a la red fundamental donde las muestras extraídas se llevarán a laboratorio para determinar la resistencia de cada uno de estos. Se estableció la eficiencia de cada tramo por separado con un análisis estadístico inferencial y con los costos del pavimento se determinará cuál es más funcional.

### **Limitaciones**

De cada uno de los tramos de la red fundamental o red municipal, se extrajo 6 muestras como testigos de cada uno de los pavimentos en estudio debido a que las instituciones de la alcaldía de los lugares extraídos no permitían realizar muchos ensayos destructivos a los pavimentos por temor al deterioro que se presente a futuro. La extracción de testigos se realizó con la maquinaria correspondiente y teniendo en cuenta siempre la seguridad del personal con la indumentaria adecuada.

## **CAPÍTULO II**

### **ASPECTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS**

#### **2.1 CARRETERAS**

Una carretera es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad.<sup>1</sup>

#### **Clasificación de las carreteras por su administración**

##### **Red Fundamental**

Son aquellas carreteras que vinculan las capitales políticas de los departamentos, o permiten la vinculación de carácter internacional conectándose con las carreteras principales existentes de los países limítrofes, o conectar en los puntos adecuados dos o más carreteras de red fundamental, o cumplir con las condiciones de protección ambiental. Bajo responsabilidad del Servicio Nacional de Caminos.

##### **Red Departamental**

Son aquellas carreteras de integración departamental, o con la conexión de la Red Fundamental, o caminos que pasando cerca de las zonas productivas permitan una conexión corta a través de caminos municipales, llevando la producción a los centros de consumo, o vinculación de capitales de provincia con capitales de departamento directamente o a través de una ruta fundamental. Bajo responsabilidad de las prefecturas a través del Servicio Departamental de Caminos.

---

<sup>1</sup> (Grisales, James Cárdenas, 2013, pág. 544)

## **Redes Municipales**

Son caminos alimentadores de la Red Departamental y/o Fundamental, tienen vinculación en poblaciones rurales, comunidades o centros de producción entre capitales de provincia o capitales departamentales que cumplan con las normas y requerimiento de protección ambiental. Se encuentran bajo la responsabilidad de las alcaldías.

### **2.2 PAVIMENTOS**

Un pavimento puede definirse como la superestructura de la obra vial que hace posible la circulación expedita de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía requeridos por el usuario y previstos por el proyectista en el proyecto. En general están constituidos por un conjunto de capas superpuestas, compuestas por materiales seleccionados, procesados o sometidos a algún tratamiento, las cuales quedan comprendidas entre en nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento y cuyo comportamiento depende de la calidad y el tipo de materiales, de su espesor y disposición en la estructura de los pavimentos, así como de la calidad de la construcción.<sup>2</sup>

**Imagen 2-1** Carretera Tarija-Potosí



**Fuente:** Elaboración propia

### **Tipos de pavimentos**

Pavimento flexible

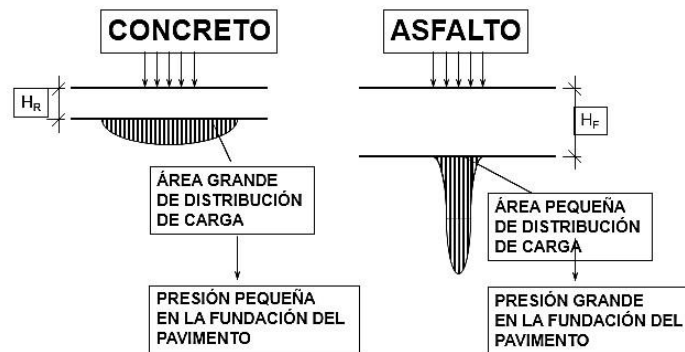
Pavimento rígido

Pavimento semirrígido

---

<sup>2</sup> (Zarate Aquino, Pavimentos de concreto para carreteras, 2002, págs. I-3)

**Figura 2-1** Distribución de carga en pavimentos de concreto y asfalto



**Fuente:** <http://libro-pavimentos.blogspot.com/2013/02/elementos-de-la-estructura-depavimento.html>

### 2.2.1 Pavimentos flexibles

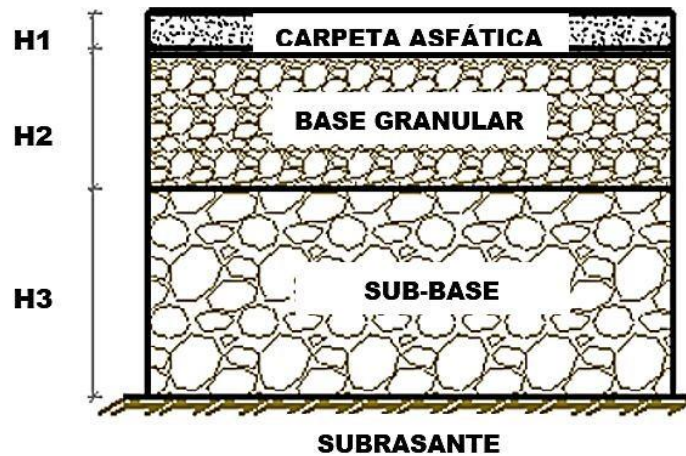
Son aquellos que tienen una base flexible o semirrígida sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento con mezcla bituminosa de alquitrán o asfalto, tiene un periodo de vida entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base, de la sub-base y la subrasante.

Estos pavimentos se caracterizan porque transmiten a la subrasante las cargas que reciben solo en las zonas próximas a la aplicación de la carga. La carga de diseño es puntual y las diferentes capas tienen un buen comportamiento resistente al esfuerzo constante.

En este tipo de pavimentos es necesario diseñar tanto las capas asfálticas como las capas inferiores (base y sub-base granular) pues éstas aportan resistencia estructural frente a las solicitaciones de carga. Estas capas granulares deben cumplir una serie de requisitos tales como CBR, granulometría y compactación.

El objetivo de este tipo de pavimento es proporcionar resistencia contra las solicitaciones, impedir la penetración de agua a las capas inferiores, y aportar una superficie adecuada para el tránsito de vehículos.

**Figura 2-2** Sección transversal de un pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

### **2.2.1.1 Capa de fundación o subrasante**

Se denomina al suelo que sirve como fundación a todo el paquete estructural de un pavimento. De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetros de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante de las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento y retracción).

Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelo deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún aditivo; en nuestro medio los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelo con cal.



**Tabla 2-1** Características de subrasante

<b>Valores de calidad propuestos por el Instituto de México del Transporte para materiales de terraplén y capa subrasante</b>			
Características	Unidad	Calidad deseable	
		Terraplén	Capa subrasante
Tamaño máx.	mm	80 % mín. < 76	100 % mín. ≤ 76
		95 % mín. < 200	
Contenido de finos	%	30 máx.	25 máx.
LL	%	40 máx.	30 máx.
IP	%	15 máx.	10 máx.
CBR	%	10 min.	30
Expansión	%	3 máx.	-

**Fuente:** Pavimentos de concreto de para carretera (Zarate Aquino Manuel)

**Tabla 2-2** CBR de subrasante

<b>Profundidad de la subrasante cm</b>	<b>CBR mínimo requerido %</b>
0 a 20	8
20 a 40	6
40 a 60	4
60 a 90	3

**Fuente:** Manual de especificaciones técnicas de la ABC (sección 4-14)

### **2.2.1.2 Capa sub-base**

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de la subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base.

El material de sub-base deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante y su espesor será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante. El suelo de esta capa debe ser de preferencia A-1 o A-2.

La sub-base es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y su función es:

Protege a la base aislándola de la terracería, ya que, si el material de la terracería se introduce en la base, puede sufrir cambios volumétricos generados al cambiar las condiciones de humedad dando como resultado una disminución en la resistencia de la base.

Esta capa permite reducir en gran manera el costo del pavimento disminuyendo el espesor de la base.

Transmitir y distribuir el efecto de las cargas en forma adecuada hacia la subrasante de fundación.

Las características de calidad que se buscan en los materiales de sub-base son los siguientes:

**Tabla 2-3** Banda granulometría para capa sub-base

Tamiz	Tamaño mm	TM-50a
2"	50,000	100
1 1/2"	37,500	-
1"	25,000	55-100
3/4"	19,000	-
3/8"	9,500	30 -75
Nº 4	4,750	20-65
Nº 8	2,360	-
Nº 10	2,00	10-50
Nº 40	0,425	5-30
Nº 200	0,075	0-20

**Fuente:** Manual de carreteras de la ABC (sección 5-23)

**Tabla 2-4** Características de capa sub-base

Prueba	Para sub-base
CBR, mínimo	20
Límite líquido, máximo	25
Índice plástico, máximo	6
Equivalente de arena, mínimo	25
Material que pasa tamiz Nº 200, máximo	10
Desgaste de los Ángeles, máximo	50

**Fuente:** Manual de la ABC (sección 5-23 bases y sub-bases)

### 2.2.1.3 Capa base

Es una capa del pavimento de material que se construye sobre la sub-base, los materiales con los que se construye deben ser de mejor calidad que los de la sub-base; la función de esta capa es:

Proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas a las capas inferiores.

Tener el espesor suficiente para que pueda resistir las presiones transmitidas a la sub-base.

La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la capa de rodadura, así como impedir la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores y no debe presentar cambios volumétricos perjudiciales.

La granulometría debe estar comprendida entre los límites presentados en la siguiente tabla.

**Tabla 2-5** Bandas granulométricas para capa base

Tamiz	Tamaño mm	TM-50b	TM-50c
2"	50,000	100	100
1 1/2"	37,500	70-100	-
1"	25,000	55-85	70-100
3/4"	19,000	45-75	60-90
3/8"	9,500	35-65	40-75
Nº 4	4,750	25-55	30-60
Nº 8	2,360	-	-
Nº 10	2,000	15-45	15-45
Nº 40	0,425	05-25	10-30
Nº 200	0,075	0-10	0-15

**Fuente:** Manual de carreteras de la ABC (sección 5-27)

**Tabla 2-6** Características de capa base

Prueba	Para capa base
CBR, mínimo	80
Límite líquido, máximo	25
Índice plástico, máximo	No plástico
Equivalente de arena, mínimo	35
Material que pasa tamiz N° 200, máximo	5
Desgaste de los Ángeles, máximo	50

**Fuente:** Manual de la ABC (sección 527 bases y sub-bases)

#### **2.2.1.4 Capa asfáltica**

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

Las capas asfálticas están compuestas por mezclas asfálticas de espesor mínimo 5 cm constituido por una mezcla de áridos con tamaño máximo de 12 mm o 20 mm y cemento asfáltico (por ejemplo, del tipo CA 24 o CA 14).

##### **2.2.1.4.1 Mezcla asfáltica**

El asfalto utilizado en pavimentación es un ligante bituminoso que proviene de la destilación del petróleo y que tiene la propiedad de ser un adhesivo termoviscoplastico, impermeable al agua y poco reactivo. La baja reactividad química a muchos agentes no evita que el material pueda sufrir, un proceso de envejecimiento por oxidación lenta por el contacto con el aire y el agua.<sup>3</sup>

---

3 (Bariani Bernucci, Goretti da Motta, Pereira Ceratti, & Barbosa Soares, 2008, pág. 26)

Una mezcla asfáltica debe desarrollar ciertas propiedades para que su comportamiento en obra sea satisfactorio. Estas propiedades son; estabilidad, durabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al deslizamiento, trabajabilidad, flexibilidad, impermeabilidad.

**Imagen 2-2** Colocación de la mezcla asfáltica en plataforma



**Fuente:** Elaboración propia

## **Características de las mezclas**

### **Estabilidad**

Se define como su capacidad de resistir la deformación ante el efecto de las cargas impuestas por los vehículos.

### **Durabilidad**

Es la propiedad de una mezcla asfáltica que indica su capacidad de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima.

### **Resistencia a la fatiga**

Corresponde a la habilidad de la mezcla para soportar las deflexiones repetidas causadas por el paso de las cargas.

### **Resistencia al deslizamiento**

Se define como la capacidad de la mezcla asfáltica para ofrecer oposición al resbalamiento de un vehículo que se desplaza sobre ella.

### **Trabajabilidad**

Es la facilidad con que el asfalto y los agregados pueden llegar a ser mezclados, y una vez lograda la mezcla, pueden ser extendidos y compactados.

### **Flexibilidad**

Se refiere a la capacidad de una mezcla asfáltica para adaptarse a asentamientos graduales y a movimientos localizados en la base y/o en la subrasante.

### **Impermeabilidad**

Es la resistencia que presenta una mezcla asfáltica compactada al paso del agua o el aire por dentro de ella.

El conjunto de las propiedades indicadas debe ser buscado cuando se diseñe una mezcla asfáltica, algunas de ellas se alcanzan con factores que se oponen abiertamente a los necesarios para desarrollar otras propiedades. El buen diseño de la mezcla persigue el que estos criterios opuestos se balanceen y se logre una mezcla óptima, que debe ser aquella que se coloque finalmente sobre el pavimento, con el propósito de lograr una carretera que sirva al tránsito de una manera segura, cómoda y permanente.

Toda mezcla en caliente, además de bien diseñada para que cumpla con todos los requisitos técnicos enunciados anteriormente, debe también ser económica, para lo cual deben analizarse tanto los materiales locales como los importados de otras fuentes de suministro, en función del tipo de vía a pavimentar, distancias de transporte, tipo de mezcla, volumen de tránsito, posición de la mezcla dentro de la estructura del pavimento, especificaciones de calidad, etc.

## 2.2.1.4.2 Componentes en las mezclas asfálticas

### Agregados de la mezcla asfáltica

Es necesario caracterizar los agregados, para lo cual se deben analizar las siguientes propiedades físicas y químicas:

### Granulometría

La composición granulométrica de los agregados de concreto asfáltico debe satisfacer los requisitos de las siguientes tablas con las respectivas tolerancias con respecto a granulometría y los porcentajes de cemento bituminoso.

**Tabla 2-7** Graduaciones propuestas para mezcla asfáltica

Abertura de malla	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2" (50,00 mm)	1 1/2" (37,50 mm)	1" (25,00 mm)	3/4" (19,00 mm)	1/2" (12,50 mm)	3/8" (9,50 mm)	N° 4 (4,75 mm)	N° 8 (2,36 mm)	N° 16 (1,18 mm)
2 1/2" (63,00 mm)	100	-	-	-	-	-	-	-	-
2" (50,00 mm)	90-100	100	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2" (37,50 mm)	-	90-100	100	-	-	-	-	-	-
1" (25,00mm)	60-80	-	90-100	100	-	-	-	-	-
3/4" (19,00 mm)	-	56-80	-	-	100	-	-	-	-
1/2 " (12,50 mm)	35-65	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-
3/8 " (9,50 mm)	-	-	-	56-80	-	90-100	100	-	-
N° 4 (4,75 mm)	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	-	100
N° 8 (2,36 mm)	13-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	-	95-100
N° 16 (1,18 mm)	-	-	-	-	-	-	40-80	-	85-100
N° 30 (600 µm)	-	-	-	-	-	-	35-65	-	70-95
N° 50 (300 µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	-	45-75
N° 100 (150 µm)	-	-	-	-	-	-	3-20	-	20-40
N° 200 (75 µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	-	9-20
<b>Asfalto, porcentaje con respecto al peso total de la mezcla</b>									
%	2-7	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12	6-12	7-12	8-12

**Fuente:** Norma ASTM D3515 (American Society of Testing Materials)



### **Equivalente de arena**

El equivalente de arena es una prueba de laboratorio, que se realiza con el objeto de determinar qué porcentaje de una muestra se puede considerar como arena. De manera muy simple lo que se hace es separar por medio de una solución química las partículas finas o polvos de las arenas. Se considera que una arena tiene una excelente calidad si tiene un equivalente superior al 90 %.

### **Materia orgánica**

El contenido de impurezas en el agregado grueso debe ser inferior a 0,5 %. El agregado debe ser limpio, libre de terrones de arcilla o cualquier material que impida la adecuada adherencia con el asfalto.

### **Plasticidad**

La mezcla combinada de los materiales pétreos debe ser no plástica, para evitar expansiones en la mezcla y mal comportamiento con el asfalto.

### **Desgaste**

Para bases asfálticas el desgaste del agregado grueso en la máquina de los Ángeles debe ser máximo del 40 % y para el caso de capas de rodadura no puede superar el 30 %.

### **Absorción y peso específico**

Este ensayo se requiere principalmente para realizar las dosificaciones de la mezcla asfáltica mediante el método Marshall.

#### **2.2.1.4.3 Caracterización del cemento asfáltico**

El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente se debe seleccionar de acuerdo con las características climáticas de la región y las condiciones de operación de la vía. Se deben cumplir los valores presentados en la siguiente tabla:

**Tabla 2-8** Grados de asfalto de acuerdo al tipo de clima

Clima	Temperatura	Grados de asfalto	
Frío	Temperatura promedio anual menor a 7 °C	AC-5	AC-10
		Pen 120/150	Pen 85/100
Templado	Temperatura promedio anual entre 7 y 24 °C	AC-10	AC-20
		Pen 85/100	Pen 60/70
Cálido	Temperatura promedio anual mayor a 24 °C	AC-20	AC-40
		Pen 60/70	Pen 40/50

**Fuente:** Manuel Velásquez Manual del Asfalto (1972)

Así mismo, el cemento asfáltico debe cumplir la especificación INVIAS-2012 que se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 2-9** Ensayos del cemento asfáltico

Característica	Norma de ensayo INV	40-50		60-70		80-100	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración (25 °C, 100 gr, 5 seg) 0,1 mm	E-706	40	50	60	70	80	100
Punto de ablandamiento, °C	E-712	52	58	48	54	45	52
Índice de penetración	E-724	- 1,2	+0,6	-1,2	+0,6	-1,2	+0,6
Viscosidad absoluta (60 °C), P	E-716	200	-	150	-	150	-
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min), cm	E-702	80	-	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713	99	-	99	-	99	-
Contenido de agua, %	E-704	-	0,2	-	0,2	-	0,2
Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland, °C	E-709	240	-	230	-	230	-
Pérdida por calentamiento en película delgada (163 °C, 5 hr)	E-720	-	0,8	-	0,8	-	1

**Fuente:** Norma INVIAS (2012) Instituto Nacional de Vías-Colombia

#### 2.2.1.4.4 Diseño de mezclas por el método Marshall

Este método está limitado al proyecto y control de mezclas asfálticas elaboradas en planta estacionaria, en caliente, empleando cemento asfáltico. Con la prueba Marshall se determinan los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a sesenta grados centígrados (60 °C). El valor de estabilidad se determina midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal a su eje. La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga será el valor del flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado. Principalmente el valor de la estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor del flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir la fractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una conducción plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrece a la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos. <sup>4</sup>

**Imagen 2-3** Máquina de estabilidad y fluencia de Marshall



**Fuente:** Elaboración propia

---

4 (Crespo Villalaz, 2007, pág. 206)

Previa a la ejecución del método se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

La mezcla de agregados debe cumplir con las especificaciones granulométricas del proyecto.

Se deben determinar las densidades reales secas de todos los agregados y las del asfalto para ser usados en el análisis de huecos de la mezcla.

El método utiliza probetas normalizadas de 2 1/2" de altura por 4" de diámetro. Estas se preparan de acuerdo a un procedimiento específico y normalizado de calentamiento, mezclado y compactación. Las dos características principales del método de diseño son el análisis densidad-huecos y el ensayo de fluencia y estabilidad de las probetas.

### **2.2.2 Pavimentos rígidos**

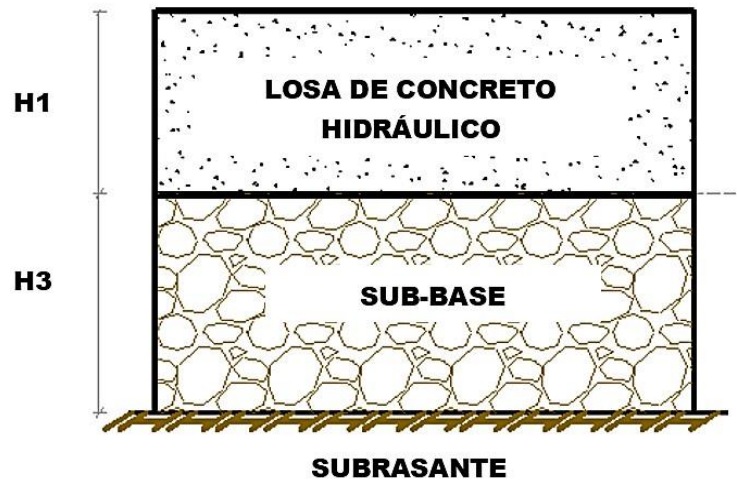
Están constituidos por una losa relativamente delgada, apoyada sobre una sub-base, y en ocasiones directamente sobre la capa subrasante, especialmente cuando ésta es de muy buena calidad y el tránsito no es muy intenso. Debido a que el módulo de elasticidad del concreto es mucho mayor que el correspondiente a los materiales que le sirven de apoyo, la mayor parte de la capacidad de carga del pavimento procede de la propia losa, efecto que es conocido como acción de viga. Las losas de concreto hidráulico deben resistir, además de los esfuerzos provocados por el tránsito, los producidos por cambios de temperatura y humedad, así como por cambios volumétricos de los materiales que les sirven de apoyo. Las acciones anteriores tienden a deformar las losas produciendo esfuerzos de intensidad muy variable.<sup>5</sup>

El periodo de vida de los pavimentos rígidos varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requieren es mínimo y solo se efectúa comúnmente en las juntas de las losas.

---

<sup>5</sup> (Zarate Aquino, Pavimentos de concreto para carreteras, 2002, págs. I-4)

**Figura 2-3** Sección transversal de un pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

### **2.2.2.1 La subrasante**

Constituye la capa superior de la terracería y puede estar formada por el propio terreno natural adecuadamente compactado y perfilado, o por material seleccionado procedente de un banco, si el material natural es inadecuado. Constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que le son transmitidos, aun en condiciones severas de humedad.

### **2.2.2.2 La sub-base**

Tiene como funciones principales controlar los cambios volumétricos de la subrasante e incrementar su módulo de reacción. Constituye una plataforma estable de trabajo durante la construcción del pavimento y en ocasiones puede constituir una capa drenante. Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad del soporte de las losas, y se construye por lo general con materiales granulares no cementados. Otro aspecto importante que debe cumplir la sub-base es evitar la eyección de material fino a través de juntas y grietas.

Debe mencionarse que eventualmente a esta capa se la denomina base, por su posición inmediatamente bajo la losa. Sin embargo, se la designa como sub-base debido a que en general los requerimientos de calidad de los materiales no son tan estrictos como los de

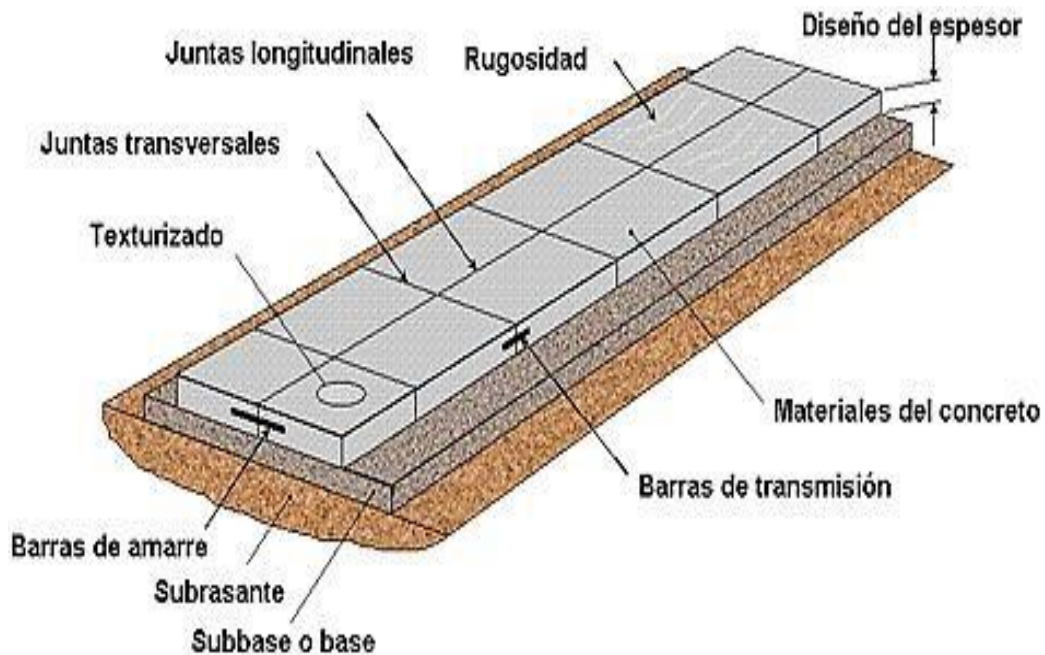
una base en un pavimento flexible, teniendo en cuenta que la losa de concreto reduce los esfuerzos impuestos a esta capa por las cargas aplicadas por los vehículos.

### 2.2.2.3 Capa de hormigón

Como se mencionó anteriormente, en los pavimentos rígidos la losa de concreto hidráulico constituye el elemento de mayor responsabilidad estructural y funcional, teniendo las capas inferiores, como la sub-base y la capa subrasante, la función de asegurar un apoyo uniforme y estable al pavimento, entre otras más.

Normalmente, el espesor de la losa puede partir de unos 15 cm, para tránsito muy ligero, hasta llegar a ser del orden de 40 cm en el caso de autopistas y carreteras con alto nivel de tránsito pesado<sup>6</sup>

**Figura 2-4** Elementos de un pavimento rígido



**Fuente:** <https://www.google.com/Constrccion de pavimento rígido>.

<sup>6</sup> (Zarate Aquino, Pavimentos de concreto para carreteras, 2002, págs. 1-5)

### **2.2.2.3.1 Componentes de las mezclas de hormigón**

#### **Cemento**

Es uno de los componentes más importantes para la producción del concreto. Es un material aglomerante, que, con la ayuda del agua, tiene la capacidad de unir a los demás agregados del concreto y forman la pasta. Para que ello suceda, debe realizarse un proceso conocido como hidratación, el cual se da al entrar en contacto con el agua.

Se fabrican varios tipos de cemento portland que pueden ser empleados en trabajos de pavimentación. Los cementos más utilizados son de los tipos I y II, si bien en situaciones específicas podrá recurrirse a los otros tipos de cementos descritos a continuación:<sup>7</sup>

#### **ASTM**

Tipo I Normal

Tipo II Resistencia moderada a los sulfatos

Tipo III Altas resistencias tempranas

Tipo IV Bajo calor de hidratación

Tipo V Resistencia a los sulfatos

#### **NB 011**

TIPOS I; IP; IF, P categorías resistentes 25, 30, 40

---

<sup>7</sup> (Zarate Aquino, Pavimentos de concreto para carreteras, 2002, págs. I-33)

## **Agua**

Al unir el agua con el cemento, como se ha explicado anteriormente, ocurre la hidratación produciéndose así la pasta. Por otro lado, el agua utilizada en la producción del concreto debe de ser potable, que no tenga alto contenido de sales, ácidos y materiales orgánicos.

Además de su función como hidratante, ayuda a la mejor trabajabilidad de la mezcla para poder manipularla en la obra.

## **Agregados**

Los agregados ocupan alrededor del 75 % de las tres cuartas partes del volumen del hormigón, estos consisten en materiales como la arena, grava, roca triturada. Es inevitable que un componente que ocupa porcentaje tan grande de la masa contribuya con importantes propiedades tanto para el hormigón fresco como par el endurecido; para este último la selección adecuada de las porciones y tipo de agregado influye en las propiedades como la estabilidad volumétrica, el peso unitario, la resistencia a un medio ambiente destructivo, la resistencia mecánica, las propiedades térmicas y textura superficial.

**Imagen 2-4** Granulometría de los agregados



**Fuente:** Elaboración propia



### 2.2.2.3.2 Características de las mezclas de hormigón

#### Propiedades del concreto

El concreto posee dos estados, uno fresco y otro sólido. Cada uno de estos posee distintas propiedades ya que varían en comportamiento y uso.

#### Concreto fresco

Suele llamársele así a la etapa del concreto que abarca, desde que todos los materiales agregados, cemento y agua, han sido mezclados hasta formar una mezcla homogénea y manejable. Ha sido colocado en su posición final y se ha dado el acabado.

#### Trabajabilidad

Se define como la facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto en estado fresco. Esta es una propiedad a la cual se debe tener bastante consideración debido a que, para lograr una óptima colocación del concreto este debe ser trabajable. La medición de la trabajabilidad es llevada a cabo mediante el ensayo conocido como cono de Abrams, el cual arroja como resultado una medida cuantitativa conocida como Slump.

**Imagen 2-5** Cono de Abrams



**Fuente:** Elaboración propia

Está determinada en todas las especificaciones entre 15 mm a 75 mm (0,5" a 3"), se efectúa un ensayo por cada entrega, cuatro a cinco minutos después de la descarga. El asentamiento debe permanecer por 30 min.

**Tabla 2-10** Tipos de consistencia del hormigón

<b>Consistencia</b>	<b>Asentamientos mm</b>	<b>Tipos de construcción</b>
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimientos de pantallas de cimientos
Seca	30-35	Pavimentos
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple
Media	50-100	Elementos compactados a mano, losas, muros y vigas
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos" in situ"

**Fuente:** Tabla 11.3 pág. 228 Ing. Diego Sánchez Guzmán

### **Concreto endurecido**

Este estado se presenta una vez que la mezcla ha fraguado y presenta las siguientes propiedades:

#### **Resistencia a la ruptura**

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días. Los valores recomendados para el módulo de ruptura varían desde 41 Kg/cm<sup>2</sup> (583 psi) hasta los 50 Kg/cm<sup>2</sup> (711 psi) a los 28 días dependiendo del uso que vayan a tener.

**Tabla 2-11** Módulos de ruptura del hormigón

Tipos de pavimento	Módulo de Ruptura (MR) recomendado	
	Kg/cm <sup>2</sup>	psi
Autopistas	48	682,7
Carreteras	48	682,7
Zonas industriales	45	640,1
Urbanas principales	45	640,1
Urbanas secundarias	42	597,4

**Fuente:** Manual AASHTO de carreteras

### **Elasticidad**

En general es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión; sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un “módulo de elasticidad estático” del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última. Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 250000 a 350000 Kg/cm<sup>2</sup> y están en relación directa con la resistencia en compresión del concreto y en relación inversa con la relación agua/cemento. Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres.

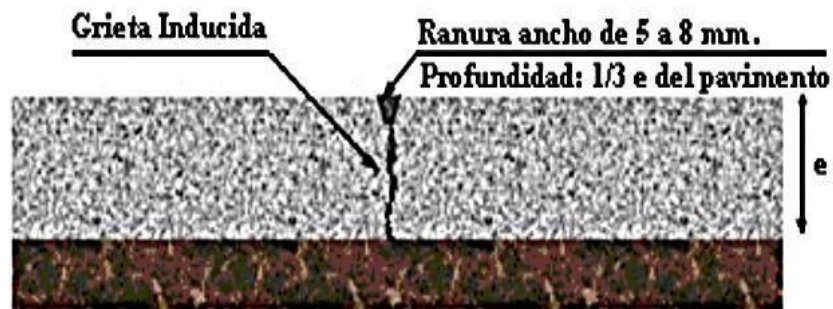
### 2.2.2.3.3 Juntas

La colocación de las juntas en pavimentos rígidos es necesaria para el control de fisuración por contracción, cambios de temperatura y humedad. Es necesaria además para modular el pavimento con dimensiones prácticas que favorezcan al proceso constructivo. Por otra parte, la presencia de juntas constituye una interrupción estructural necesaria en la losa de hormigón.

#### Juntas transversales de contracción

Son las que se construyen ortogonalmente al eje del trazo del pavimento. Su espaciamiento es para evitar agrietamiento provocado por los esfuerzos debido a cambios de temperatura, humedad y secado.

Figura 2-5 Detalle de junta transversal de contracción

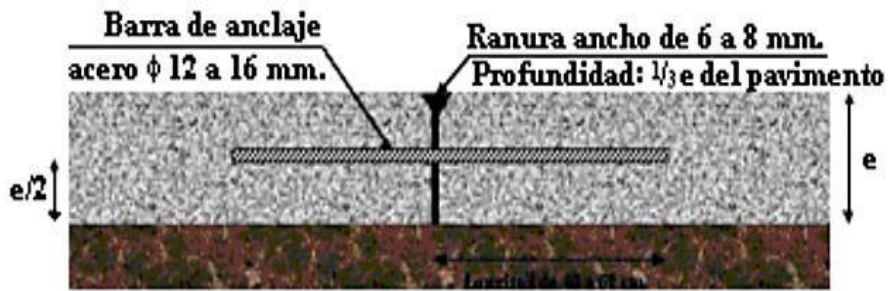


Fuente: Elaboración propia

#### Juntas transversales de construcción

Se instalan al final de una jornada diaria de pavimentación o después de interrupciones del colado mayores de 90 minutos con clima normal, o de 60 minutos con clima cálido desde la elaboración del concreto hasta su puesta en obra y acabado, desde luego diferentes de las interrupciones comunes a causa de puentes, intersecciones y cierres de emergencia. De ser posible se deben colocar en la posición de una junta de contracción transversal; si esto no se puede su ubicación deberá hacerse dentro del tercio medio de la longitud de una losa y siempre perpendicularmente a la línea central, aun cuando las juntas de contracción se hayan diseñado sesgadas.

Figura 2-6 Detalle de junta transversal de construcción

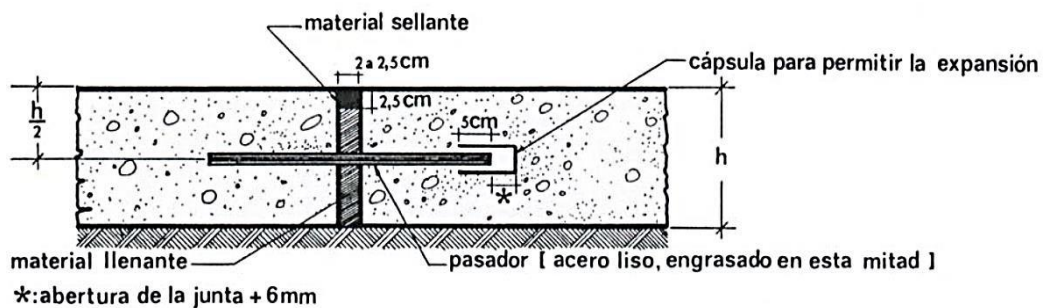


Fuente: Elaboración propia

### Juntas transversales de expansión

Son construidas para permitir el movimiento de las losas sin dañar pavimentos adyacentes, intersección de calles, estructuras de drenaje, puentes y otras estructuras fijas. Existen dos tipos de juntas de expansión, dependiendo de su necesidad de empleo. El primer tipo es la junta con barras lisas para transferencia de cargas, cada una de las cuales está provista en uno de sus extremos de un capuchón, que permite que las barras se muevan libremente por expansión y contracción, tal como se muestra en la Figura 2-7. Debido a que estas juntas tienen una separación de 2 cm o más, requieren la presencia de un material de relleno preformado constituido por un material flexible no extruible y no absorbente, cubriendo todo el ancho y espesor de la losa por debajo de 2,5 cm. Debajo de la superficie finalmente se colocará el sello que deberá ser compatible con el relleno preformado.

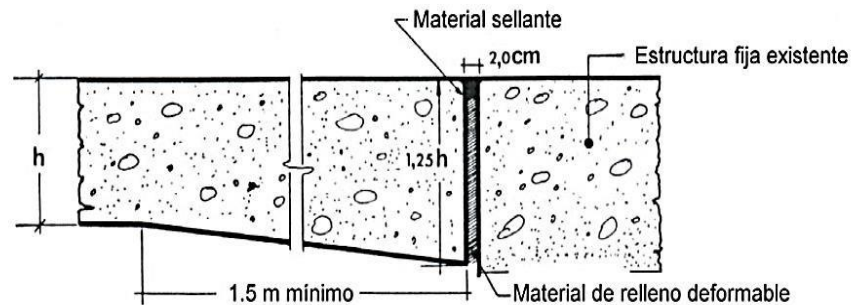
Figura 2-7 Detalle de junta de expansión tipo 1



Fuente: Elaboración propia

El otro tipo de junta de expansión es aquella que no tiene dispositivos de transferencia de cargas; el espesor de la losa se incrementa gradualmente en un 25 % en el último metro y medio, para reducir los esfuerzos en la junta como se muestra en la Figura 2-8. En lo que respecta al sello, se siguen las mismas recomendaciones descritas para el primer tipo de junta de expansión.

**Figura 2-8** Detalle de junta de expansión tipo 2



**Fuente:** Elaboración propia

Generalmente este tipo de juntas se construye cuando se tiene una estructura fija rígida tal como un puente en el que no se ha previsto el colocado de barras pasajuntas con anterioridad.<sup>8</sup>

### **Juntas longitudinales de contracción**

Se requieren juntas longitudinales de contracción para delimitar los carriles de circulación cuando el concreto se coloca abarcando dos o más carriles en una sola operación. Estas juntas son necesarias cuando el ancho de las losas es superior a 4,5 m; se forman efectuando un corte con sierra hasta una profundidad de un tercio del espesor de la losa y de 3 a 9 mm de ancho, formando además una caja de 6 a 9 mm de ancho y 30 mm de profundidad. La transferencia de carga generalmente se produce por la trabazón mecánica generada por la grieta provocada.

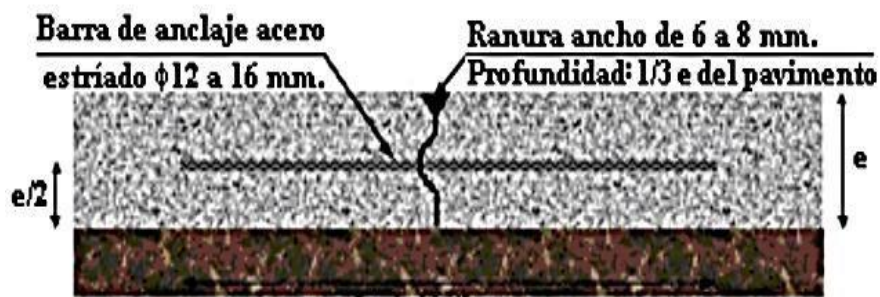
---

<sup>8</sup> (INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y HORMIGÓN (ICBH), 2006, pág. 19)

## Juntas longitudinales de construcción

Son aquellas juntas existentes entre dos carriles construidos en diferentes etapas. Como su nombre lo dice, se utilizan para controlar las grietas longitudinales de contracción, así mismo para determinar el ancho del carril. Pueden realizarse al colocar las franjas longitudinales del pavimento. Llevan barras de sujeción, colocadas a la mitad del espesor para evitar deslizamientos laterales de las losas.

Figura 2-9 Detalle de junta longitudinal de construcción



Fuente: Elaboración propia

## 2.3 CICLO DE VIDA DE UN PAVIMENTO

Los caminos, en líneas generales, independientemente del tipo de superficie de rodadura, están sometidos a un ciclo que consta de cuatro etapas. Aunque los detalles del ciclo presentan diferencias entre los caminos con pavimento asfáltico y los de hormigón o sin pavimento alguno, el mensaje básico es el mismo, y consiste en que en ninguno de los casos debe permitirse el deterioro excesivo o la destrucción de su estructura básica. Las cuatro etapas del ciclo de un camino pavimentado, son las siguientes:

### Fase A: Construcción

Se refiere a la fase de inversión inicial y el resultado inicial puede ser muy variado, desde una carretera muy bien construida, o con solo algunos defectos, o bien mal diseñada con una ejecución deficiente. De todos modos el camino entra en servicio apenas se termina la obra, punto A de la Figura 2-10.

### **Fase B: Deterioro lento y poco visible**

Durante un cierto número de años, el camino va experimentando un desgaste y un proceso de debilitamiento lento principalmente en la superficie pavimentada, asimismo aunque en un menor grado en el resto de su estructura. Este desgaste se produce por la gran cantidad de vehículos pesados y livianos que circulan por él, aunque también por influencia del clima, del agua de lluvias o las aguas superficiales, la radiación solar, los cambios de temperatura y otros factores. Por otro lado, la velocidad del desgaste depende también de la calidad de la construcción inicial. Para frenar este proceso de desgaste y debilitamiento, es necesario aplicar, con cierta frecuencia diferentes medidas de conservación, principalmente en el pavimento y en las obras de drenaje. Además, hay que efectuar las operaciones rutinarias de mantenimiento, punto B de la Figura 2-10.

### **Fase C: Deterioro acelerado**

Después de varios años de uso la superficie de rodadura y otros elementos del pavimento están cada vez más “agotados”; el pavimento entra en un período de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito vehicular. Los daños comienzan siendo puntuales y poco a poco se van extendiendo hasta afectar la mayor parte de la estructura del pavimento, punto C de la Figura 2-10.

### **Fase D: Descomposición total**

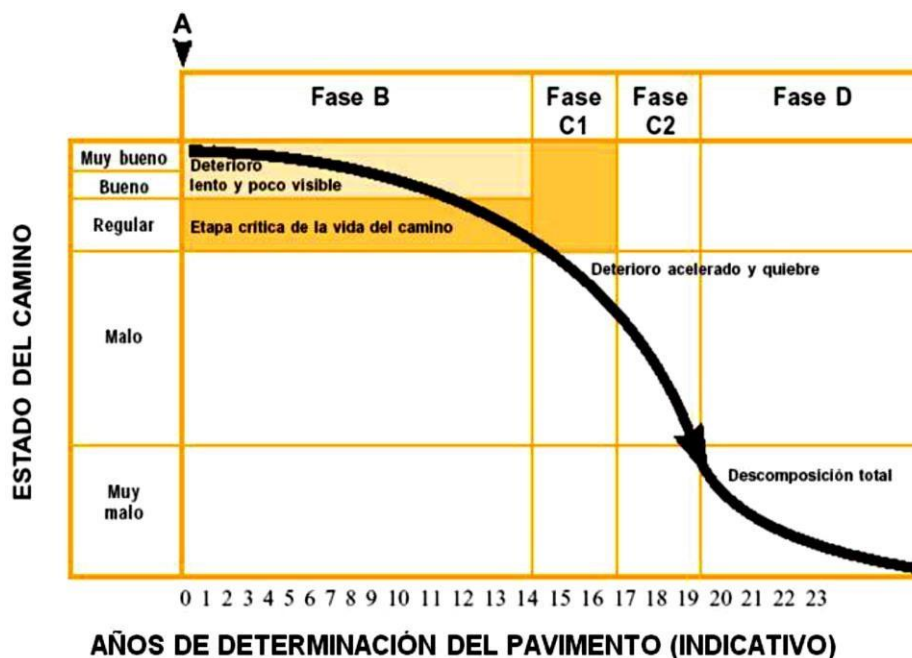
Esta fase constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años. Durante este período el paso de los vehículos se dificulta seriamente, la velocidad de circulación baja bruscamente y la capacidad del pavimento queda reducida a solo una fracción de la original.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> (ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CAREETERAS (ABC), 2011, págs. 2-3)



**Figura 2-10** Condición de la vía sin mantenimiento



**Fuente:** Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas, (Menéndez, 2003).

### 2.3.1 Conservación vial

Conjunto de acciones que se desarrollan para preservar a largo plazo la condición de los caminos y el servicio que prestan. Procura asegurar al menor costo posible el funcionamiento adecuado de un camino o red de caminos, permitiendo costos razonables de operación de los vehículos. Uno de los objetivos primordiales de la conservación es evitar al máximo posible la pérdida innecesaria de capital ya invertido, mediante la protección física de la estructura básica y de la superficie del camino. La conservación procura específicamente evitar la destrucción de elementos tales como obras de arte en general, túneles, drenajes, puentes, señalización, pavimento, y otros elementos que en conjunto conforman la infraestructura vial.

#### Mantenimiento rutinario

Son actividades que requieren ser ejecutadas una o más veces por año en una sección de la carretera. Por lo general se refieren a reparaciones localizadas de pequeños defectos en la calzada y el pavimento, pero muy dispersas. Las necesidades de estas actividades

pueden hasta cierto grado, ser estimadas y planificadas. En caminos no pavimentados se refiere principalmente a mantener el perfil transversal de la calzada. También incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar elementos menores dañados, deteriorados o destruidos, tal como los barandales de puentes, obras de drenaje menores, señalización vertical y horizontal, muros de retención y actividades afines.

### **Mantenimiento periódico**

Esta denominación se aplica generalmente a intervenciones que se requieren en períodos mayores de un año, para mantener la vía en un nivel de servicio de bueno a regular. Se trata normalmente de operaciones como sellos, reciclados y recapados de pavimentos (incluyendo los refuerzos necesarios para aumentar el período de servicio en buenas condiciones) o la reposición de la capa de grava en caminos no pavimentados. Suele llamarse preventiva, porque precisamente previene la aparición de daños mayores.

**Imagen 2-6** Colocación de parche en el tramo Bermejo



**Fuente:** Elaboración propia

### **Actividades de mantenimiento de pavimento flexible**

Bacheo superficial mezcla en caliente

Bacheo profundo

Sellado de fisuras y grietas

Reparación de bermas de asfalto material granular en pavimento flexible

Sellos asfálticos

Riego de imprimación

Reconstrucción de bases y sub-bases

Capa asfáltica de refuerzo

Fresado superficial de pavimento de asfalto

### **Actividades de mantenimiento de pavimento rígido**

Sellado de juntas y grietas en pavimentos rígidos

Reparación de losas en espesores parciales

Reemplazo de losas

Estabilización de losas

Reparación de bermas de material granular en pavimento rígido

Pulido de la superficie en pavimento rígido

## 2.4 COMPETITIVIDAD

Los orígenes del concepto de competitividad, se cree que surgió paralelamente en dos ámbitos: desde la perspectiva macroeconómica, es decir, desde el punto de vista de la administración gubernamental y de cómo puede ejercer los instrumentos de la política económica con el objetivo de crear un medio ambiente favorable para el desempeño de las empresas en la región y desde una óptica microeconómica. En las empresas por sí mismas se imponen a incrementar su eficiencia, productividad, calidad con el fin de obtener un desempeño superior al de sus competidores.

La corriente del pensamiento estratégico se inició a mediados de los años sesenta dando lugar a un concepto de ventaja competitiva, en contraste con el principio económico de la ventaja comparativa.

Esta última se encuentra determinada por las dotaciones de factores de producción o por la diferencia de las aptitudes, mientras que la ventaja competitiva es susceptible de ser creada. La ventaja competitiva según Porter (1987, p.20), nace fundamentalmente del valor que una empresa es capaz de crear para sus compradores, que exceda el costo de la empresa por crearlo. El valor es lo que los compradores están dispuestos a pagar, y el valor superior sale de ofrecer precios más bajos que los competidores por beneficios equivalentes o por proporcionar beneficios únicos que justifiquen un precio mayor.

La competitividad generalmente se basa en una ventaja competitiva, esto es, en cierta habilidad, recursos, tecnología o atributos que hacen superior al que la posee. Se trata de un concepto relativo donde se compara el rendimiento de una persona u organización con respecto a otras.

En este sentido, factores que inciden en la capacidad competitiva son la relación entre la calidad y el coste del producto, el nivel de precios de los insumos, así como el nivel de salarios en el país productor.

Asimismo, otros aspectos muy importantes para incrementar la competitividad son la eficiencia de los sistemas o técnicas de producción y el aprovechamiento de los recursos necesarios para la elaboración de bienes y servicios, es decir, la productividad.

## 2.5 EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS (ASTM C 42, AASHTO T 24)

La extracción de núcleos es un ensayo destructivo que requiere la extracción física de materiales, en este caso del pavimento para obtener muestras de los mismos (ver Imagen 2-7)

**Imagen 2-7** Extracción de núcleos



**Fuente:** Elaboración propia

La extracción de núcleos es una práctica de campo muy adecuada para conocer los espesores de las capas de pavimento; además es útil para obtener muestras de material a los cuales se les realizan pruebas de laboratorio para conocer su resistencia mecánica (compresión y flexión), así mismo permite visualizar problemas de las capas del pavimento, la adherencia entre las mismas, la erosión del apoyo, defectos en la losa del concreto o las condiciones de drenaje. Cuando en la extracción de los especímenes éstos presenten defectos anormales o hayan sufrido daños en el proceso de extracción, no deberán ser utilizados en el ensayo de compresión ya que sus resultados no serían confiables; otro cuidado que se debe tomar en cuenta al momento de estar realizando las extracciones de núcleos es saber dónde se encuentra ubicado el acero de refuerzo. Al momento de realizar la extracción del núcleo deberá tenerse el cuidado que la broca de diamante esté perpendicular a la superficie de rodadura del concreto, para evitar que el núcleo extraído no sea apto para realizarle las diferentes pruebas destructivas.

La máquina está diseñada para cortar (sacar) núcleos de concreto, asfalto, o materiales duros similares de construcción. La máquina tiene una columna vertical de soporte que lleva el ensamble del cabezal/motor. El ensamble del motor es de 6.5 Hp de gasolina. Un mecanismo de husillo de bola le permite tener control preciso de la presión de perforación y rápido retorno cuando la perforación está completada. Un ensamble para rociar agua está montado en la máquina. El ensamble completo viene con un marco de metal con una rueda rígida montada, con un mecanismo de nivelación y un aparato de fijación durante la operación.

## **2.6 ESTADÍSTICA INFERENCIAL**

La inferencia estadística es el conjunto de métodos y técnicas que permiten inducir, a partir de la información empírica proporcionada por una muestra, cuál es el comportamiento de una determinada población con un riesgo de error medible en términos de probabilidad.

### **Hipótesis alternativa o nula**

Todo test o prueba estadística plantea una hipótesis que trata de refutar a través de la determinación de un estadístico propio de cada prueba y su p- valor asociado, tal que la hipótesis se denomina nula ( $H_0$ ), esta es mutuamente excluyente con la hipótesis denominada alternativa, por debajo del nivel de confianza (NC) establecido por el investigador se rechazará la hipótesis y se aceptará la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

El p-valor es el resultado que arroja el test o prueba estadística y se define como el nivel de significación más pequeño que conduce al rechazo de la hipótesis nula, este debe ser comparado con el valor  $\alpha=1-NC$ , debiéndose conocer si la prueba será de una cola o dos colas, también llamada unilateral o bilateral.

### **Hipótesis nula ( $H_0$ )**

La hipótesis nula indica que un parámetro de población (tal como la media, la desviación estándar, etc.) es igual a un valor hipotético. La hipótesis nula suele ser una afirmación inicial que se basa en análisis previos o en conocimiento especializado.

## Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>)

La hipótesis alternativa indica que un parámetro de población es más pequeño, más grande o diferente del valor hipotético de la hipótesis nula. La hipótesis alternativa es lo que usted podría pensar que es cierto o espera probar que es cierto.

## Distribución de t -student

Para un conjunto pequeño de datos (inferior a 30) se recomienda realizar una prueba de T de Student para determinar relaciones entre medidas entre dos poblaciones esta medida siempre que los datos de la población sigan una distribución normal (aspecto comprobado con el test de Shapiro-Wilk). La prueba presenta diferentes variaciones, según se asume que es pareada o no y, que las varianzas son desconocidas e iguales, o desconocidas y diferentes.

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Donde:


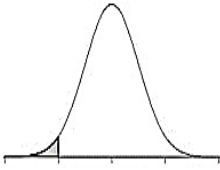
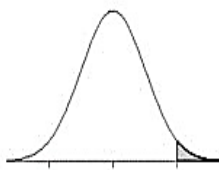
$\bar{X}$  = media aritmética de la muestra

$\mu$  = media poblacional

S = desviación muestral de la diferencia de pares

n = número de datos de la muestra

**Figura 2-11** Intervalos de confianza

Hipótesis Nula	$H_0: \mu = \mu_0$	$H_0: \mu \geq \mu_0$	$H_0: \mu \leq \mu_0$
Hipótesis Alternativa	$H_1: \mu \neq \mu_0$	$H_1: \mu < \mu_0$	$H_1: \mu > \mu_0$
Representación gráfica			

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO III

### RELEVAMIENTO DE DATOS

#### 3.1 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS EN ANÁLISIS

Para el análisis de estos tramos es importante ubicar adecuadamente y analizar las zonas de influencia de cada uno en un mapa de Tarija. También se detalla de manera puntualizada todas las características técnicas y económicas más importantes de cada tramo que se utiliza en el estudio, que son:

Tramo Puente Jarcas-Piedra Larga

Tramo Campo Pajoso-Caraparí

Tramo Palos Blancos-Choere

Tramo urbano de Bermejo

Tramo urbano de Villamontes

**Figura 3-1** Ubicación de los tramos en Tarija



**Fuente:** Imagen de google earth



### 3.1.1 Tramos de pavimento flexible

#### Características del tramo Puente Jarcas – Piedra Larga

El tramo está ubicado en el departamento de Tarija, Provincia O' Connor, perteneciente al Municipio de Entre Ríos. La ruta permite comunicar Tarija con las comunidades de Junacas, Piedra Larga y otras que forman parte de la zona de influencia directa.

Tiene una longitud que empieza en la progresiva 9+504,60 a 24+840,60 que son 15,34 km con su respectiva señalización para brindar comodidad a los usuarios.

**Tabla 3-1** Características del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga

<b>Tramo Puente Jarcas-Piedra Larga</b>	
<b>Tramo</b>	<b>Pavimento flexible</b>
Tráfico periodo diario	618
Periodo de diseño	20 años
ESALs	1626234
CBR Diseño	8 %
MR diseño o módulo K	679,15 kg/cm <sup>2</sup>
Espesor total	51,00 cm
Espesor sub-base	25,00 cm
Espesor base	20,00 cm
Espesor rodadura	6,00 cm
Estabilidad	3963,44 lb
Costo/km	12.407.813,50 Bs/km

**Fuente:** Documento de diseño final Puente Jarcas-Piedra Larga

**Imagen 3-1** Tramo Puente Jarcas- Piedra Larga



**Fuente:** Elaboración propia

### **Características del tramo Palos Blancos-Choere**

El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Tarija, en la provincia Burnet Ó Connor.

Las características que presenta el pavimento de este tramo Palos Blancos-Choere se trata de un pavimento flexible; tomando en cuenta el tráfico que circula este sector que son vehículos livianos, medianos y pesados se diseñó toda la estructura. Los beneficiarios por la construcción de este tramo son las comunidades de Choere, Palos Blancos y todas las comunidades más cercanas a este. El tramo presenta un asfaltado de 12,96 Km de longitud y un periodo de vida útil de 20 años.

**Imagen 3-2** Tramo Palos Blancos -Choere



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3-2** Características del tramo de Palos Blancos- Choere

<b>Tramo Palos Blancos-Choere</b>	
<b>Tramo</b>	<b>Pavimento Flexible</b>
Tráfico periodo diario	375
Periodo de diseño	20 años
ESALs	925881
CBR Diseño	6 %
MR diseño o módulo K	564,95 kg/cm <sup>2</sup>
Espesor total	47,00 cm
Espesor sub-base	20,00 cm
Espesor base	20,00 cm
Espesor rodadura	7,00 cm
Estabilidad	3896 lb
Costo/km	8.700.132,51 Bs/km

**Fuente:** Documento de diseño final del tramo Palos Blancos- Choere

### **3.1.2 Tramos de pavimento rígido**

#### **Características del tramo Campo Pajoso-Caraparí**

Tramo vial Campo Pajoso- Caraparí se trata de un pavimento rígido que da comodidad a la gente que transita, los beneficiarios son las comunidades de Caraparí, Campo Pajoso y las más cercanas a la zona de influencia. El tramo tiene un periodo de vida útil es de 20 años y presenta una longitud de 20,13 Km.

**Tabla 3-3** Características del tramo Campo Pajoso-Caraparí

<b>Tramo Campo Pajoso-Caraparí</b>	
<b>Tramo</b>	<b>Pavimento rígido</b>
Tráfico periodo diario	402
Periodo de diseño	20 años
ESALs	8282572
CBR Diseño	6,20 %
MR diseño o módulo K	576,93 kg/cm <sup>2</sup>
Espesor total	37,00 cm
Espesor sub-base	15,00 cm
Espesor rodadura	22,00 cm
Resistencia	300 kg/cm <sup>2</sup>
Costo/km	6.048.125,23 Bs/km

**Fuente:** Documento de diseño final del tramo Campo Pajoso- Caraparí

**Imagen 3-3** Tramo Campo Pajoso - Caraparí



**Fuente:** Elaboración propia

### Características del tramo urbano de Bermejo

Bermejo es una ciudad y municipio en el extremo sur de Bolivia, ubicada en el departamento de Tarija y está a 208 km de la ciudad.

Se trata de tramos pavimentados de varias cuadras de la zona urbana en Bermejo que beneficia a diferentes barrios; el pavimento abarca una longitud de 9,27 km de construcción. Este es un pavimento rígido con un periodo de diseño de 30 años de vida útil.

**Tabla 3-4** Características del tramo urbano de Bermejo

<b>Tramo urbano de Bermejo</b>	
<b>Tramo</b>	<b>Pavimento rígido</b>
Tráfico periodo diario	506
Periodo de diseño	30 años
ESALs	728240
CBR Diseño	3,69 %
MR diseño o módulo K	413,89 kg/cm <sup>2</sup>
Espesor total	30,00 cm
Espesor sub-base	15,00 cm
Espesor rodadura	18,00 cm
Resistencia	300 kg/cm <sup>2</sup>
Costo/km	3.276.728,63 Bs/km

**Fuente:** Documento de diseño final del tramo Bermejo

**Imagen 3-4** Calle Belgrano en Bermejo



**Fuente:** Elaboración propia

### **Características del tramo urbano de Villamontes**

Villamontes es un municipio y ciudad del sur de Bolivia, ubicado en el departamento de Tarija, dentro de la provincia Gran Chaco.

Las características que presenta este tramo de Villamontes es un pavimento rígido en varias cuadras de la ciudad, los barrios beneficiados son los siguientes: Bolívar, Pilcomayo, Avaroa, Ferroviario, El Chañar y Litoral. El pavimentado de las cuadras urbanas abarca una longitud de 5,46 km y una vida útil de diseño de 20 años.

**Imagen 3-5** Tramo urbano de Villamontes



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3-5** Características del tramo urbano de Villamontes

<b>Tramo urbano de Villamontes</b>	
<b>Tramo</b>	<b>Pavimento rígido</b>
Tráfico periodo diario	1381
Periodo de diseño	20 años
ESALs	3081612
CBR Diseño	5 %
MR diseño o módulo K	502,72 kg/cm <sup>2</sup>
Espesor total	41,00 cm
Espesor sub-base	23,00 cm
Espesor rodadura	16,00 cm
Resistencia	300 kg/cm <sup>2</sup>
Costo/Km	9.257.941,00 Bs/Km

Fuente: Documento de diseño final del tramo Villamontes

### **3.1.3 Descripción del banco**

Para realizar la caracterización de agregados para las carpetas de concreto y mezcla asfáltica se utilizó el material de uno de los bancos cerca de la ciudad de Tarija; se tomaron cuatro muestras de agregado, dos de agregado grueso y dos de agregado fino, del lugar de acopio para realizar los ensayos.

El proceso de elaboración de agregado en las chancadoras se hace removiendo y clasificando rocas de todo tamaño que son extraídas de río. Luego son trituradas con máquinas especiales cuando son demasiado grandes para lograr tener el material adecuado. Por tal motivo los agregados producidos tienen una mejor distribución de tamaño aparente y no han tenido contacto con los agentes atmosféricos, por lo que se espera que estos no estén contaminados ni alterados.

**Imagen 3-6** Lugares de acopio de los agregados



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

Los materiales empleados en la construcción de carreteras de la región, deben cumplir con requisitos y especificaciones técnicas, que garanticen un buen desempeño durante el periodo de vida útil de los tramos.

Los materiales utilizados para realizar las mezclas fueron obtenidos del banco de préstamos de Canaletas de la zona de Tarija. En este banco nos dotaron de los siguientes materiales como: grava de 3/4", gravilla 3/8" y arena natural de río y arena chancada (filler), para realizar todos los ensayos pertinentes y que cumpla las descripciones de calidad establecidos en la norma AASHTO y ASTM.



### 3.2.1 Aspectos técnicos de los materiales en pavimento flexible

#### 3.2.1.1 Caracterización de los agregados de mezcla asfáltica

Para la caracterización de los agregados se realiza una serie de ensayos cumpliendo con la norma AASHTO Y ASTM.

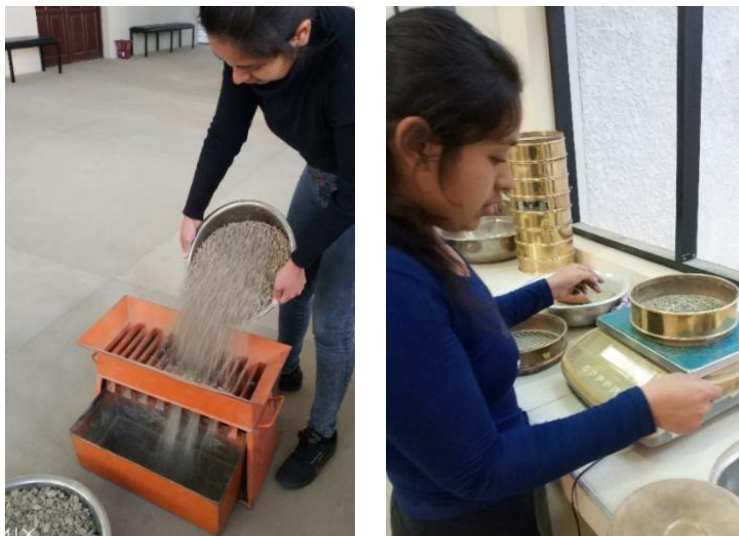
#### Ensayo de granulometría (AASHTO T27-99 y ASTM E-40)

El análisis granulométrico es la gradación de los suelos o sedimentos, para determinar la distribución porcentual de los tamaños de las partículas del suelo.

Mediante la utilización de un juego de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en columna se colocan los tamices; en la parte superior el de mayor diámetro y en la parte inferior se colocan los de menor diámetro en forma decreciente hasta el tamiz N°200. Se tamiza la muestra, luego se anota los pesos retenidos en cada tamiz para elaborar las curvas granulométricas.

En el ensayo de granulometría para los agregados se realizó el tamizado de tres materiales diferentes: la grava de 3/4", la gravilla 3/8" y la arena de río.

**Imagen 3-7** Cuarteo y pesado de la muestra para determinar la curva granulométrica



**Fuente:** Elaboración propia

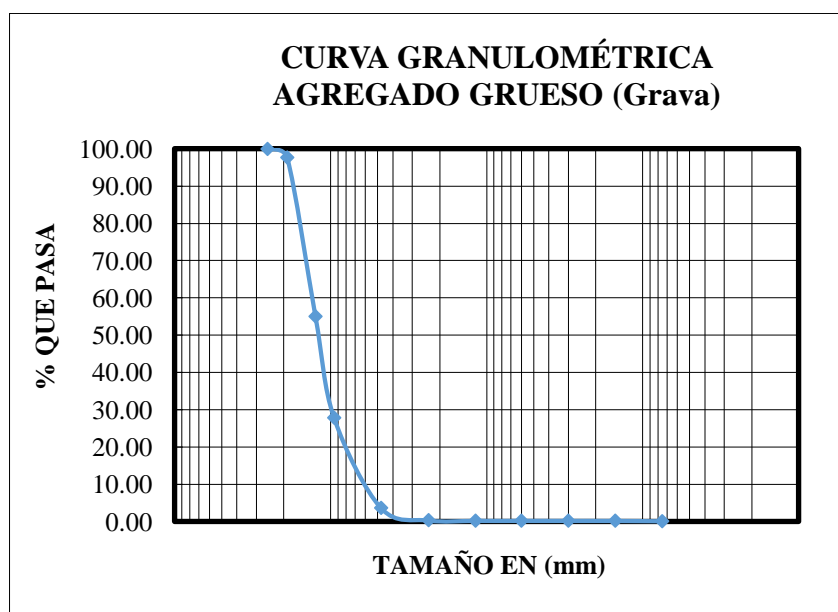
Resultados de granulometría del agregado grueso grava

**Tabla 3-6** Granulometría de la grava

Peso total gr			3000,00		
Tamices	Tamaño	Peso ret.	Retenido acumulado		% que pasa
	mm	gr	gr	%	del total
1"	25,4	0,0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	69,4	69,4	2,31	97,69
1/2"	12,5	1277,1	1346,5	44,88	55,12
3/8"	9,5	816,6	2163,1	72,1	27,9
Nº 4	4,75	725,4	2888,5	96,28	3,72
Nº 8	2,36	100,3	2988,8	99,63	0,37
Nº 16	1,18	2,9	2991,7	99,72	0,28
Nº 30	0,6	0,1	2991,8	99,73	0,27
Nº 50	0,3	0,2	2992	99,73	0,27
Nº 100	0,15	0,3	2992,3	99,74	0,26
Nº 200	0,075	2,4	2994,7	99,82	0,18
BASE	-	5,1	2999,8	-	-
<b>Suma</b>		2999,80			
<b>Pérdidas</b>		0,20			
<b>MF</b>		6,69			

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3-2** Curva granulométrica de la grava



Fuente: Elaboración propia

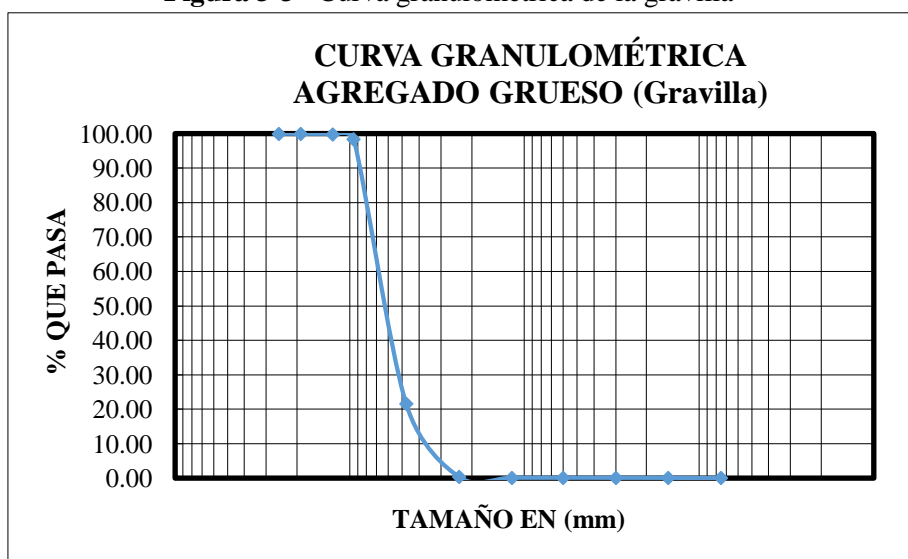
Resultados de granulometría del agregado medio gravilla

**Tabla 3-7** Granulometría de la gravilla

Peso total gr			3000,00		
Tamices	Tamaño	Peso ret.	Retenido acumulado		% que pasa
	mm	gr	gr	%	del total
1"	25,400	0,0	0,0	0,00	100,00
3/4"	19,000	0,0	0,0	0,00	100,00
1/2"	12,500	4,3	4,3	0,14	99,86
3/8"	9,500	42,4	46,7	1,56	98,44
Nº 4	4,750	2306,9	2353,6	78,45	21,55
Nº 8	2,360	635,8	2989,4	99,65	0,35
Nº 16	1,180	5,4	2994,8	99,83	0,17
Nº 30	0,600	0,2	2995	99,83	0,17
Nº 50	0,300	0,4	2995,4	99,85	0,15
Nº 100	0,150	0,8	2996,2	99,87	0,13
Nº 200	0,075	1,1	2997,3	99,91	0,09
BASE	-	2,7	3000,0		0
<b>Suma</b>		3000,00			
<b>Pérdidas</b>		0,00			
<b>MF</b>		5,79			

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3-3** Curva granulométrica de la gravilla



Fuente: Elaboración propia

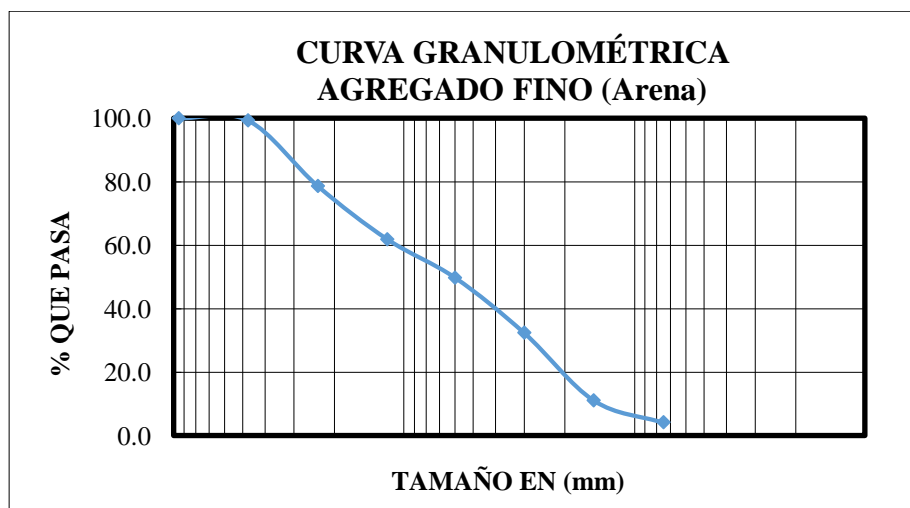
Resultados de granulometría del agregado fino arena

**Tabla 3-8** Granulometría de la arena

Peso total gr			3000,00		
Tamices	Tamaño	Peso ret.	Retenido acumulado		% que pasa
	mm	gr	gr	%	del total
1"	25,400	0,0	0,0	0,00	100,0
3/4"	19,000	0,0	0,0	0,00	100,0
1/2"	12,500	0,0	0,0	0,00	100,0
3/8"	9,500	0,0	0,0	0,00	100,0
Nº 4	4,750	21,0	21,0	0,70	99,3
Nº 8	2,360	620,9	641,9	21,40	78,6
Nº 16	1,180	501,6	1143,5	38,12	61,9
Nº 30	0,600	362,5	1506,0	50,20	49,8
Nº 50	0,300	523,5	2029,5	67,65	32,4
Nº 100	0,150	637,1	2666,6	88,89	11,1
Nº 200	0,075	208,4	2875,0	95,83	4,2
BASE	-	124,6	2999,6	-	-
<b>Suma</b>		2999,60			
<b>Pérdidas</b>		0,40			
<b>MF =</b>		2,67			

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3-4** Curva granulométrica de la arena



Fuente: Elaboración propia

### Ensayo de peso específico del agregado grueso (grava y gravilla) (ASTM C-127)

Este ensayo se usa para determinar por secado, el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado; este método es suficientemente exacto para el ajuste de los pesos en mezclas asfálticas. Para el peso específico las normas ASTM C-127 contemplan determinar el peso específico aparente, el peso específico saturado, superficialmente seco a 23 °C, peso específico nominal y la absorción del agregado grueso.

**Imagen 3-8** Peso específico del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Resultados de los pesos específicos de los agregados

**Tabla 3-9** Resultados del peso específico de la grava

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
Valor	2,57	2,62	2,71	1,98

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-10** Resultados del peso específico de la gravilla

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
Valor	2,54	2,60	2,72	2,64

Fuente: Elaboración propia

### Ensayo de peso específico del agregado fino (arena) (ASTM D-128)

El peso específico de un agregado es la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. El peso específico no es utilizado como un parámetro de la calidad, se usa para calcular las proporciones que deben tener los agregados en la mezcla según la norma ASTM C-128, se realizó el ensayo.

Con una muestra de arena saturada anteriormente 24 hr, se la seca superficialmente con ayuda de una secadora y se verifica con el cono si está lista para el ensayo. Se introduce la arena en un matraz con agua a 500 ml, se pesa el matraz más la muestra. Luego se la vacía en una fuente y se la coloca al horno para obtener el peso seco.

**Imagen 3-9** Determinación del peso específico de la arena



Fuente: Elaboración propia

## Resultados de los pesos específicos de los agregados finos

**Tabla 3-11** Resultados del peso específico de la arena

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
Valor	2,39	2,46	2,57	2,75

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-12** Peso específico del agregado fino filler

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
Valor	2,24	2,33	2,46	3,90

Fuente: Elaboración propia

## Ensayo de desgaste de los Ángeles (ASTM E-131 y AASHTO T96-99)

El objetivo es determinar la resistencia a la trituration de los materiales pétreos empleados en la fabricación de las mezclas asfálticas.

Consiste en analizar granulométricamente los áridos gruesos (gravilla y grava), preparando una muestra de ensayo de 500 gr que se somete a abrasión (con 8 y 11 esferas metálicas) en la máquina de los Ángeles. La pérdida de material o desgaste se expresa como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial.

Los agregados que se utilizaron en el estudio son grava de 3/4" y gravilla 3/8" correspondientes a la faja B y C de las fajas.

## Resultados del ensayo de desgaste de los Ángeles

**Tabla 3-13** Resultado de desgaste de los Ángeles de la grava

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
B	5000	3896,5	22,07	35 Máx.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-14** Resultado de desgaste de los Ángeles de la gravilla

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
C	5000	3782,3	24,35	35 % Máx.

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3-10** Colocación de la muestra en la máquina de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia



### Ensayo de equivalente de arena (ASTM D 2419 y AASHTO T-176)

Esta prueba de equivalente de arena tiene como objetivo principal determinar la calidad que tiene un suelo que se va a emplear en la mezcla asfáltica. Obteniendo el porcentaje de materiales finos indeseables, principalmente las arcillas que son los materiales que en contacto con el agua provocan daños al pavimento.

La norma ASTM D 2419 Y AASHTO T-176, indica bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de arcillas, finos plásticos y polvo presente en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N° 4 (4,75 mm).

Resultados del equivalente de arena.

**Tabla 3-15** Valores promedio del equivalente de arena

N° de muestra	Equivalente de arena (%)	Norma
1	70,77	-
2	71,54	
3	71,53	
Promedio	71,28	> 50 %

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3-11** Determinación de equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro se detalla un resumen de los valores obtenidos en cada uno de los ensayos para utilizarlos en el diseño de mezclas asfálticas.

**Tabla 3-16** Resumen de los ensayos de caracterización de los agregados para mezcla asfáltica

<b>Caracterización de los agregados</b>		
<b>Ensayos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Peso específico de la grava	gr/cm <sup>3</sup>	2,71
Peso específico de la gravilla	gr/cm <sup>3</sup>	2,72
Peso específico de la arena	gr/cm <sup>3</sup>	2,57
Peso específico filler	gr/cm <sup>3</sup>	2,46
Desgaste de los Ángeles grava	%	22,07
Desgaste de los Ángeles gravilla	%	24,35
Equivalente de arena	%	71,28

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.2 Caracterización del cemento asfáltico

El cemento asfáltico es un ligante denso que se emplea en la preparación de mezclas asfálticas en caliente, elaborados con los residuos de la destilación fraccionada del petróleo crudo y aceites aromáticos. Se designa seleccionando una graduación de penetración de dureza adecuada, para cada tipo de construcción, condiciones climatológicas, clase y naturaleza del tráfico que debe soportar el pavimento.

Los cementos asfálticos necesitan calentarse para adquirir la fluidez que los haga trabajables para la construcción, al contrario de la mayor parte de otros materiales asfálticos,

Es como un material aglomerante sólido o semisólido de color negro o pardo oscuro, que se ablanda gradualmente al calentarse y cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos pesados. Este cemento debe cumplir la norma ASTM; el cemento que se utilizó para los ensayos de laboratorio es un cemento chileno PROBISA 85-100.

Para verificar si cumple con la norma se realizó una serie de ensayos que caracterizan al asfalto en las instalaciones de laboratorio de la Universidad.

### Ensayo de penetración del asfalto (ASTM D 5 y AASHTO T49-97)

El ensayo de penetración del asfalto nos permite medir la dureza o consistencia de un cemento asfáltico y así poder clasificarlo.

Consiste en realizar la penetración de una aguja normalizada de 100 gr la cual se introduce en un recipiente con cemento asfáltico a una temperatura de referencia de 25 °C, por un tiempo de 5 seg, con un cronómetro, midiéndose después la penetración de la aguja en unidades de 0,1 mm. El cemento asfáltico utilizado es 85-100.

**Imagen 3-12** Ensayo de penetración del asfalto



**Fuente:** Elaboración propia

### Resultados de la penetración del asfalto

**Tabla 3-17** Resultado del ensayo de penetración

Ensayo	N°	Lectura1 mm	Lectura2 mm	Lectura3 mm	Promedio	Norma	
						Mín.	Máx.
Penetración a 25 °C	Tara 1	95,00	90,00	93,00	92,67	85	100
	Tara 2	91,00	91,00	89,00	90,33	85	100
	Tara 3	93,00	88,00	90,00	90,33	85	100
Promedio total mm		91,10				85	100

**Fuente:** Elaboración propia

### Ensayo de punto de inflamación (ASTM D 131-0-01 y AASHTO T79-96)

Es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados en presencia de una llama libre.

Se lo realiza calentado el asfalto en la copa de Cleveland que se coloca en una honrilla; con ayuda de un termómetro y un fósforo prendido se lo pasa por la superficie del asfalto en todo momento. Para verificar a qué temperatura el asfalto comienza a arder con una llama azul, en ese instante se anota la temperatura que alcanzó el punto de inflamación.

**Imagen 3-13** Lectura del punto de inflamación



**Fuente:** Elaboración propia

Resultados del punto de inflamación del asfalto

**Tabla 3-18** Resultado del ensayo punto de inflamación

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Norma	
						Mín.	Máx.
Punto de inflamación	°C	288,00	274,00	280,00	280,70	> 230	-

**Fuente:** Elaboración propia

### Ensayo de ductilidad (ASTM D 113 y AASHTO T-48)

El ensayo de ductilidad es importante porque mide la capacidad del cemento asfáltico a la elongación.

La ductilidad es una medida de cuánto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos, a una velocidad de 5 cm/min en una máquina llamada ductilómetro y a una temperatura de 25 °C. La longitud del hilo del material en el momento del corte se mide en centímetros y se denomina ductilidad de la muestra.

**Imagen 3-14** Determinación de la ductilidad del asfalto



**Fuente:** Elaboración propia

Resultados de la ductilidad del asfalto

**Tabla 3-19** Resultado del ensayo de ductilidad del asfalto

Ensayo	N°	Unidad	Lectura	Especificaciones	
				Mín.	Máx.
Ductilidad temperatura 25 °C	Molde 1	cm	85	100	-
	Molde 2	cm	107	100	-
	Molde 3	cm	113	100	-
Promedio total			101,70	100	-

**Fuente:** Elaboración propia

### Ensayo de punto de ablandamiento del asfalto (AASHTO T-51 Y ASTM D 36)

El fin de este ensayo de laboratorio es encontrar el punto de ablandamiento que presentan los materiales bituminosos.

Mediante el ensayo de anillo y bola se determina el punto de ablandamiento del cemento asfáltico, se coloca en los moldes circulares del aparato el asfalto poniendo a baño de agua fría de 5 °C. Cuando la muestra se calienta mediante incrementos de temperatura se lectura a qué temperatura las bolitas de acero chocan la base del aparato determinando el punto de ablandamiento.

**Imagen 3-15** Punto de ablandamiento del asfalto



Fuente: Elaboración propia

Resultados del punto de ablandamiento del asfalto

**Tabla 3-20** Resultado del ensayo punto de ablandamiento

Ensayo	Nº	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio total	Norma	
							Mín.	Máx.
Punto de ablandamiento	Bola 1	°C	47,0	44,0	45,0	45,80	42	53
	Bola 2	°C	48,0	45,0	46,0			
Promedio		°C	47,5	44,5	45,5			

Fuente: Elaboración propia

### Peso específico del asfalto (ASTM D 71-94 y AASHTO T229-97)

El objetivo de este ensayo conocer el peso específico del producto asfáltico; este dato es útil para hacer las correcciones de volumen, también para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentaciones compactadas.

Este ensayo es un indicador de la calidad del cemento asfáltico, el peso específico es la relación en peso para volúmenes iguales de betún y agua destilada refinados ambos a la temperatura de 25 °C. Desempeña además un rol interesante en lo que respecta a la clasificación permitiendo establecer si se trata de betunes de petróleo o de yacimientos asfálticos lacustres.

**Imagen 3-16** Determinación del peso específico del cemento asfáltico



**Fuente:** Elaboración propia

Resultados de peso específico del asfalto

**Tabla 3-21** Resultado del ensayo peso específico del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	N° de muestra		
		1	2	3
Peso específico	gr/cm <sup>3</sup>	1,0055	1,006	1,0014
Peso específico promedio	gr/cm <sup>3</sup>	1,004		

**Fuente:** Elaboración propia

Los ensayos del cemento realizados en laboratorio presentan los siguientes resultados:

**Tabla 3-22** Resumen de los ensayos del cemento asfáltico

<b>Caracterización del cemento asfáltico</b>		
<b>Ensayos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Penetración del asfalto	mm	91,10
Punto de inflamación del asfalto	°C	280,70
Ductilidad del asfalto	cm	101,70
Punto de ablandamiento del asfalto	°C	45,80
Peso específico del asfalto	gr/cm <sup>3</sup>	1,004

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.2.2 Aspectos técnicos de los materiales en pavimento rígido**

Los materiales utilizados para la elaboración de los pavimentos rígidos son los agregados pétreos que presentan la dureza y el cemento portland que funciona como aglomerante en contacto con el agua.

#### **3.2.2.1 Caracterización de los agregados para mezcla de hormigón**

Los agregados para la elaboración de los pavimentos rígidos deben ser resistentes a las cargas del tránsito; debido a eso se siguió una serie de ensayos en los laboratorios de hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho según norma ASTM.

##### **Ensayo de granulometría del agregado grueso AASHTO T27-99 y ASTM E-40**

El objetivo de este ensayo granulométrico es el conjunto de operaciones cuyo fin es determinar la distribución del tamaño de los elementos que componen una muestra de agregados.

Se realiza colocando una masa de un peso determinado en un juego de tamices, para tamizarlo en un periodo de tiempo. Luego se procede al pesaje de cada tamiz que tiene con su material retenido; con estos resultados se forma una curva granulométrica y así poder clasificarlos.



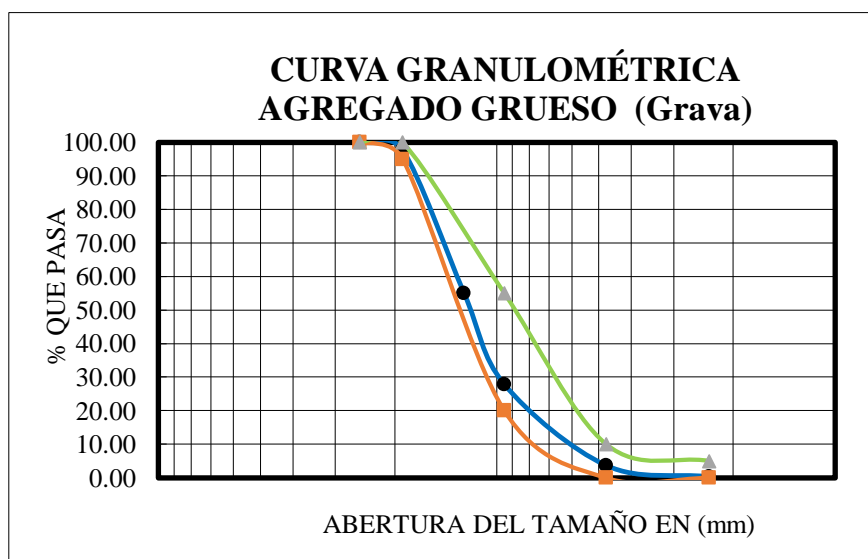
Resultados del agregado grueso grava

**Tabla 3-23** Granulometría del agregado grueso grava

Peso total gr			3000,0				
Tamices	Tamaño	Peso ret.	Retenido acumulado		% que pasa	Especificación	
	mm	gr	gr	%	del total	ASTM C-33	
1"	25,40	0,0	0,0	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,00	69,4	69,4	2,31	97,69	95	100
1/2"	12,50	1277,1	1346,5	44,88	55,12	-	-
3/8"	9,50	816,6	2163,1	72,10	27,90	20	55
N° 4	4,75	725,4	2888,5	96,28	3,72	0	10
N° 8	2,36	100,3	2988,8	99,63	0,37	0	5
Base	-	11,0	2999,8	99,99	0,00	-	-
<b>Suma</b>		2999,80					
<b>Pérdidas</b>		0,20					
<b>MF</b>		6,70					

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3-5** Curva granulométrica del agregado grueso grava



Fuente: Elaboración propia

### Ensayo de granulometría agregado (fino) ASTM C 33

El agregado fino es muy importante en una mezcla debido a que debe tener una cierta cantidad de grueso y finos para ayudar a que la mezcla presente menos cantidad de vacíos y presente mayor resistencia.

La granulometría de la arena se la hizo tomando el juego de los tamices del 3/8" al N° 4, luego se procedió al tamizado del material y pesado de cada uno de estos para determinar la curva granulométrica

**Imagen 3-17** Lavado de la arena con tamiz N°200



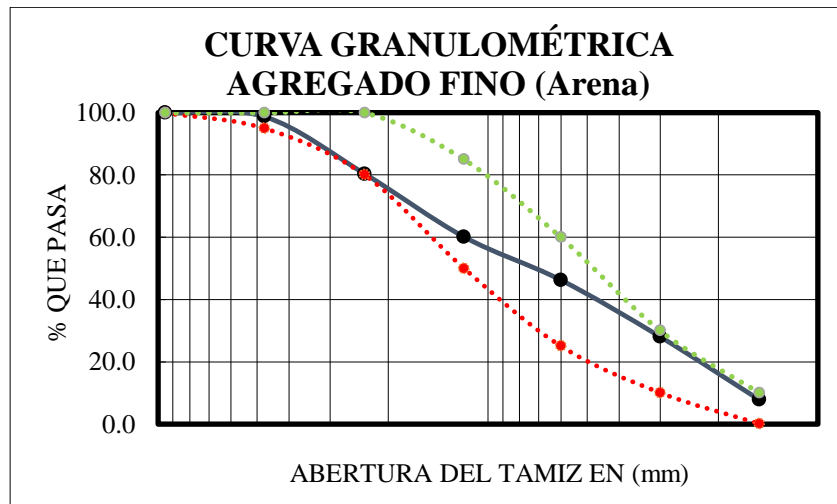
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-24** Granulometría del agregado fino arena

Peso total gr			827,40				
Tamices	Tamaño	Peso ret.	Retenido acumulado		% que pasa	Especificación	
	mm	gr	gr	%	del total	ASTM C-33	
3/8"	9,50	0,0	0,0	0,00	100,0	100	100
N° 4	4,75	11,0	11,0	1,33	98,7	95	100
N° 8	2,36	151,8	162,8	19,68	80,3	80	100
N° 16	1,18	167,6	330,4	39,93	60,1	50	85
N° 30	0,60	114,7	445,1	53,80	46,2	25	60
N° 50	0,30	150,7	595,8	72,01	28,0	10	30
N° 100	0,15	167,7	763,5	92,28	7,7	2	10
Base		63,6	827,1	99,96	0,0		
<b>Suma</b>		827,10					
<b>Pérdidas</b>		0,30					
<b>MF</b>		2,79					

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3-6** Curva granulométrica del agregado fino arena



**Fuente:** Elaboración propia

### **Ensayo de peso específico del agregado grueso (grava) ASTM C-127**

Determinación del peso específico del agregado grueso tanto de la grava como de la gravilla para la realización de la mezcla.

El ensayo determina directamente, el peso específico global y aparente, y la absorción (después de un tiempo previsto generalmente en 24 horas en agua a la temperatura del ambiente), del agregado (grava o arena). Este método, determina directamente el peso específico del árido, sobre la base de la muestra saturada superficialmente seca.

**Imagen 3-18** Secado superficial de la grava



**Fuente:** Elaboración propia

## Resultados de los pesos específicos de los agregados

**Tabla 3-25** Resultados del peso específico de la grava

Ensayo	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
Valor	2,57	2,62	2,71	1,98

Fuente: Elaboración propia

### Ensayo de peso específico del agregado fino (arena) ASTM D-128

Determinación del peso específico del agregado fino (arena) para la elaboración de la mezcla de concreto.

Se satura una muestra de arena 24 horas, se la seca con ayuda de una secadora hasta que esté superficialmente seca verificando con el cono. Luego se lo coloca en el matraz para determinar el peso aparente; rápidamente se lo coloca al horno en una fuente para obtener el peso seco y se procede a los cálculos.

**Imagen 3-19** Colocación de la muestra en el matraz



Fuente: Elaboración propia

Resultados de los pesos específicos de los agregados finos

**Tabla 3-26** Peso específico del agregado fino arena

Muestra N°	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
Valor	2,39	2,46	2,57	2,75

Fuente: Elaboración propia

### Ensayo de peso unitario del agregado grueso (grava) y fino (arena)

Determinar el Peso Unitario Suelto (PUS) y el Peso Unitario Compactado (PUC) del agregado grueso (piedra chancada de 3/4") y la arena para realizar las dosificaciones pertinentes.

Para realizar el ensayo se calibra el molde metálico con agua a temperatura ambiente, luego se lo llena con la muestra hasta el ras. Se procede a pesar y se realiza este procedimiento 3 veces para el peso suelto.

Para el peso compactado se llena el molde con tres capas, cada capa se la compacta con 25 golpes para luego pesarla. Este proceso se realiza 3 veces para determinar el peso compactado.

Resultados de los pesos unitarios del agregado grueso

**Tabla 3-27** Peso unitario del agregado grueso grava

Ensayo	Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> )
Valor	1,389	1,476

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3-20** Llenado del material grueso en el molde



**Fuente:** Elaboración propia

Resultados de los pesos unitarios del agregado fino

**Tabla 3-28** Peso unitario del agregado fino arena

Ensayo	Peso unitario suelto ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Peso unitario compactado ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
Valor	1,559	1,741

**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen 3-21** Llenado del material fino en el molde metálico



**Fuente:** Elaboración propia

### Ensayo de desgaste de los Ángeles ASTM E-131 AASHTO T96-99

Determinar la resistencia a la trituración de los materiales pétreos empleados en la fabricación de las mezclas de concreto.

Consiste en analizar granulométricamente un árido grueso preparando una muestra 5000 gr que se somete a abrasión con 11 esferas metálicas de acuerdo al tamaño del material, en la máquina de los Ángeles. La pérdida o desgaste del material se expresa como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial.

Resultado del ensayo de desgaste de los Ángeles

**Tabla 3-29** Resultados de desgaste de los Ángeles grava

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
B	5000,00	3896,50	22,07	35 % Máx.

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3-22** Muestra triturada con el ensayo de la máquina de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

Los valores más importantes para la dosificación de los ensayos obtenidos en laboratorio se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 3-30** Resumen de resultados de los ensayos de caracterización de los agregados para mezcla de concreto

<b>Caracterización de los agregados</b>		
<b>Ensayos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Peso específico de la grava	gr/cm <sup>3</sup>	2,710
Peso específico de la arena	gr/cm <sup>3</sup>	2,570
Absorción de la grava	%	1,980
Absorción de la arena	%	2,750
Peso unitario de la grava	gr/cm <sup>3</sup>	1,476
Peso unitario de la arena	gr/cm <sup>3</sup>	1,741
Desgaste de los Ángeles grava	%	22,070

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.2.2.2 Caracterización del cemento portland**

#### **Ensayo de finura del cemento ASTM C 184-44**

Determinar la finura del cemento en laboratorio para utilizar el valor en la dosificación de la mezcla.

Para este ensayo se utiliza 50 gr de cemento portland, se introduce la muestra en el juego de tamices, se la tamiza en el tamiz N° 40, N° 200 y la base por un tiempo determinado. Se procede a pesar lo retenido en cada tamiz y según este peso se determina la finura del cemento en porcentaje.



**Imagen 3-23** Tamizado de la muestra para la finura del cemento



**Fuente:** Elaboración propia

Resultados de finura del cemento

**Tabla 3-31** Resultados de finura del cemento

Ensayo	Unidad	N° de muestra		
		1	2	3
Finura del cemento	%	89,40	88,00	92,40
Finura del cemento promedio	%	89,93		

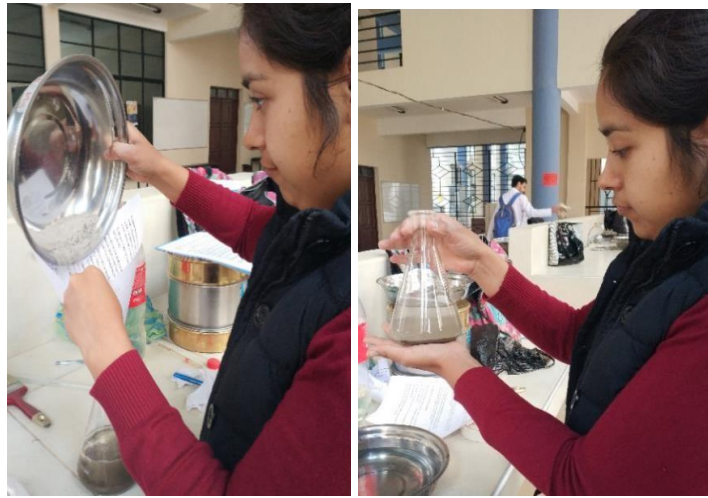
**Fuente:** Elaboración propia

### **Ensayo de peso específico del cemento ASTM C 114**

En el ensayo para determinar el peso específico cemento hidráulico su principal utilidad está relaciona con el diseño y control de la mezcla.

Se llena un matraz con nafta (gasolina) hasta la línea de medida de 300 ml lectura (L inicial), luego se agrega 64 gr de cemento portland. Teniendo cuidado de no derramar el líquido se saca poco a poco las burbujas con movimientos giratorios. Por último, se toma la lectura (L final) que sufrió el matraz con la incorporación del cemento.

**Imagen 3-24** Colocación de cemento y lectura del incremento



**Fuente:** Elaboración propia

Resultados de pesos específicos del cemento portland

**Tabla 3-32** Resultados del peso específico del cemento portland

Ensayo	Unidad	N° de muestra		
		1	2	3
Peso específico del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	3,20	2,91	3,20
Peso específico del cemento promedio	gr/cm <sup>3</sup>	3,10		

**Fuente:** Elaboración propia

Luego de realizar la caracterización del cemento portland en el laboratorio de tecnología de hormigones de la Universidad, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 3-33** Resumen de resultados de la caracterización del cemento portland

Caracterización del cemento portland		
Ensayos	Unidad	Valor
Finura del cemento	%	89,93
Peso específico del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	3,10

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3 DATOS DE EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS DE LOS PAVIMENTOS

La extracción de núcleos se realizó en los tramos estudiados con la maquinaria pertinente; un extractor de núcleos que funciona a gasolina se coloca encima de la zona escogida de donde se extraerá la muestra. Limpiando con mucho cuidado para realizar la extracción del testigo, se debe nivelar con precisión la máquina para evitar que el núcleo extraído salga dañado.

#### 3.3.1 Obtención de datos de la extracción de núcleos de pavimentos flexibles

**Imagen 3-25** Medición de las alturas y diámetros de los núcleos extraídos



**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen 3-26** Colocación de los testigos extraídos de los pavimentos en baño maría a 60 °C



**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen 3-27** Lectura de estabilidad de los núcleos extraídos



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3-34** Obtención de datos de la extracción de testigos del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga

Tramo Puente Jarcas-Piedra Larga						
N°	Peso (g)	H (cm)	H promd. (cm)	D (cm)	Lect. (mm)	Fluencia (0,01 pulg)
P1	1203,2	6,85	6,85	10,068	1510,5	30
		6,76		10,069		
		6,95				
		6,83				
P2	1077,3	6,17	6,22	10,038	1385,8	25
		6,29		10,084		
		6,22				
		6,19				
P3	1120,2	6,33	6,52	10,056	1360	22
		6,70		10,082		
		6,61				
		6,45				
P4	1038,9	5,91	6,04	10,012	1190,5	20
		6,08		10,032		
		6,11				
		6,05				
P5	1085,8	6,20	6,29	10,042	1250	21
		6,37		10,010		
		6,35				
		6,25				
P6	1026,6	6,45	6,15	9,945	970	18
		5,91		9,986		
		5,90				
		6,33				

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3-35** Obtención de datos de la extracción de testigos del tramo Palos Blancos-Choere

Tramo Palos Blancos-Choere						
N°	Peso (g)	H (cm)	H promd. (cm)	D (cm)	Lect. (mm)	Fluencia (0,01 pulg)
P1	1194	7,23	7,02	10,224	1670	14
		7,05		10,212		
		6,91				
		6,88				
P2	1196,7	7,09	7,11	10,18	1574	16
		7,1		10,146		
		7,1				
		7,14				
P3	1189,4	7,02	6,90	10,02	1461	21
		6,99		10,126		
		6,75				
		6,82				
P4	1175,3	7,22	7,08	10,158	1380	20
		6,98		10,202		
		7,05				
		7,08				
P5	1190,5	6,85	6,83	10,228	1540	15
		6,91		10,194		
		6,8				
		6,75				
P6	1182,3	6,9	6,95	10,06	1184	17
		6,72		10,002		
		7,06				
		7,12				

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Obtención de datos de la extracción de núcleos de pavimentos rígidos

**Imagen 3-28** Recapinación de los testigos de pavimentos rígidos



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3-29** Proceso de rotura de los testigos de pavimento rígido extraídos de los tramos



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3-36** Obtención de datos de la extracción de testigos del tramo urbano de Bermejo

<b>Tramo urbano de Bermejo</b>					
<b>N°</b>	<b>H (cm)</b>	<b>D (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Mpas</b>	<b>KN</b>
P1	18,5	10	78,5398	23,87	187,60
P2	19,6	10	78,5398	25,65	201,50
P3	18,0	10	78,5398	18,99	149,15
P4	17,8	10	78,5398	19,68	154,60
P5	18,3	10	78,5398	21,45	168,46
P6	18,1	10	78,5398	16,81	159,80

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-37** Obtención de datos de la extracción de testigos del tramo urbano de Villamontes

<b>Tramo urbano de Villamontes</b>					
<b>N°</b>	<b>H (cm)</b>	<b>D (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Mpas</b>	<b>KN</b>
P1	16,0	10	78,54	21,13	166,00
P2	16,3	10	78,54	22,78	178,92
P3	16,0	10	78,54	23,86	187,39
P4	16,5	10	78,54	21,89	171,92
P5	15,8	10	78,54	22,97	180,41
P6	16,2	10	78,54	23,34	183,31

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-38** Obtención de datos de la extracción de testigos del tramo Campo Pajoso- Caraparí

<b>Tramo Campo Pajoso-Caraparí</b>					
<b>N°</b>	<b>H (cm)</b>	<b>D (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Mpas</b>	<b>KN</b>
P1	22,1	10	78,540	23,65	185,74
P2	22,5	10	78,540	24,62	193,37
P3	22,0	10	78,540	22,72	178,44
P4	22,3	10	78,540	21,95	172,40
P5	21,5	10	78,540	20,56	161,48
P6	22,0	10	78,540	25,87	203,20

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Disponibilidad de agregado

En la disponibilidad del agregado se nombran los bancos existentes de este material en las zonas cercanas a la ciudad de Tarija. Estos son mayormente utilizados para la elaboración de las mezclas asfálticas, las mezclas de concreto y diferentes hormigones que se requieren para la construcción.

#### Bancos de agregados presentes para pavimento flexible en la ciudad de Tarija

Estas chancadoras producen material chancado de grava de 3/4", gravilla 3/8" y arena de río para la elaboración de las mezclas.

**Tabla 3-39** Chancadoras para pavimento flexible

Chancadoras de la región					
N°	Pavimentos flexibles	Arena m <sup>3</sup>	Grava 1 1/2" m <sup>3</sup>	Grava 3/4" m <sup>3</sup>	Gravilla 3/8" m <sup>3</sup>
		Costo (Bs)	Costo (Bs)	Costo (Bs)	Costo (Bs)
1	Chancadora Bracamontes	100	-	70	80
2	Chancadora Vargas	110	50	-	85
3	Chancadora Fernández	90	-	70	75
4	Chancadora Segovia	95	-	65	70
5	Chancadora Garzón	115	-	110	80
6	Chancadora Santa Ana	100	-		80
7	Chancadora San Blas	110	45	80	90
8	Chancadora La Pintada	100	-	60	80
9	Chancadora Canaletas	90	-	50	70
10	Chancadora de Charaja Sedeca	110	-	75	70
11	Chancadora Aritar SRL	100	-	65	75
12	Chancadora San Lorenzo	90	70	72,5	75
Promedio		100,8	55	71,8	77,5

Fuente: Elaboración propia



## Bancos de agregados presentes para pavimento rígido en la ciudad de Tarija

Las chancadoras que producen material chancado de grava de 1 1/2", gravilla 3/8" y arena de río para la elaboración de las mezclas de concreto se describen a continuación.

**Tabla 3-40** Chancadoras de pavimento rígido

Chancadoras de la región					
N°	Pavimento rígido	Arena m <sup>3</sup>	Grava 1 1/2" m <sup>3</sup>	Grava 3/4" m <sup>3</sup>	Gravilla 3/8" m <sup>3</sup>
		Costo (Bs)	Costo (Bs)	Costo (Bs)	Costo (Bs)
1	Chancadora Vargas	100	50	-	85
2	Chancadora de San Blas	110	45	80	90
3	Chancadora de Erika	100	90	70	75
4	Chancadora de San Lorenzo	90	70	72,5	75
5	Chancadora 16 de Enero SRL	95	50	70	-
Promedio		99,0	61,0	73,1	81,3

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3-30** Chancadora de San Blas



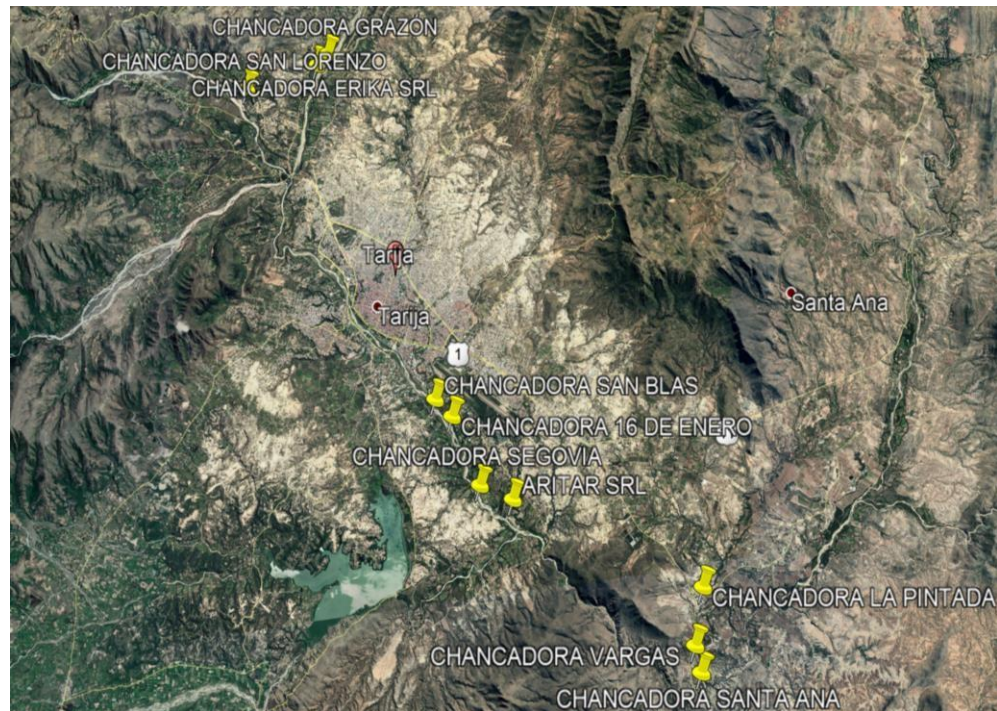
Fuente: Elaboración propia

**Imagen 3-31** Chancadora de Santa Ana



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3-7** Ubicación de chancadoras en Tarija



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.4 Disponibilidad de cemento

La disponibilidad del cemento varía en la ciudad de Tarija para la elaboración de pavimento flexible y para pavimento rígido.

#### Cemento para pavimento flexible y rígido

Los cementos asfálticos no son producidos en el país debido a que no se cuenta con fábricas que se encarguen a la producción de estos; para cada obra se solicita cemento asfáltico de otros países que cumplan con las normas para ser utilizados en obra. Estos cementos se clasifican según el tráfico que soportaran y de acuerdo a la temperatura de la zona.

Los cementos para la elaboración de pavimentos rígidos son más accesibles en la ciudad de Tarija y en todo el país de Bolivia, debido a que se cuenta con grandes yacimientos de caliza y arcilla en la mayor parte de la comunidad de El Puente y otras partes del país.

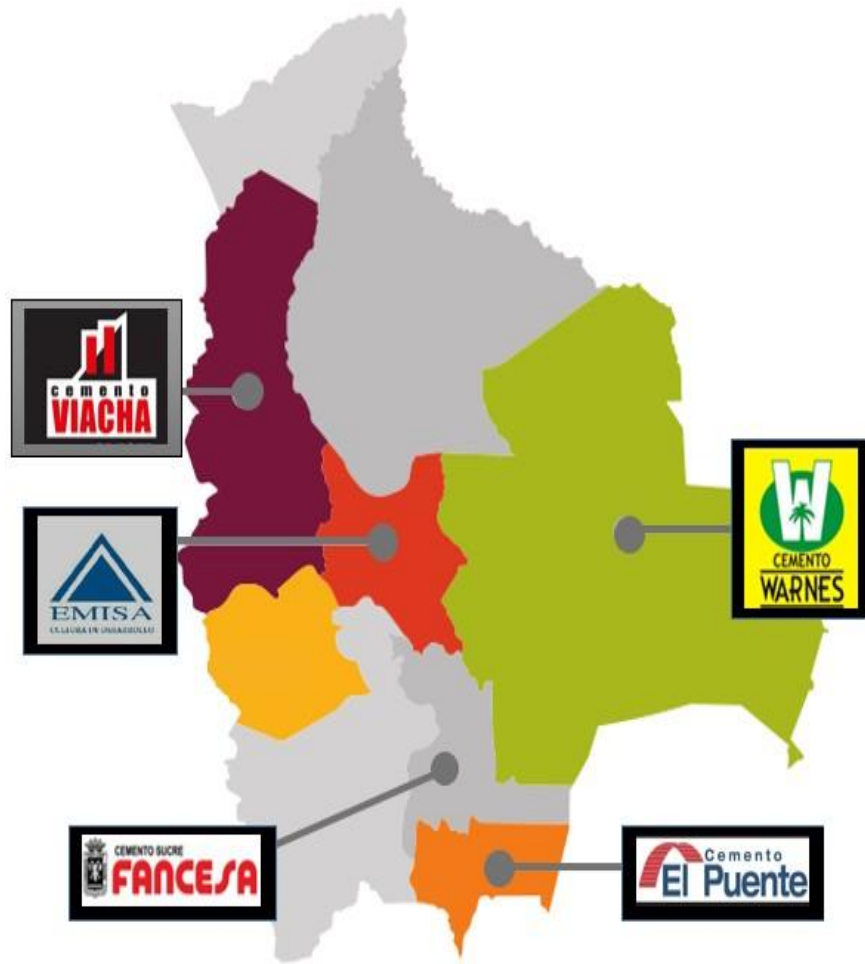
Los cementos mayormente utilizados por las instituciones son:

**Tabla 3-41** Empresas cementeras de pavimentos rígidos y flexibles

<b>Empresas cementeras</b>		
<b>N°</b>	<b>Pavimento flexible</b>	<b>Pavimento rígido</b>
1	Cemento asfáltico brasilero Betunel	Cemento El Puente
2	Cemento asfáltico peruano IVSA	Cemento Francesa
3	Cemento asfáltico argentino	Cemento Viacha
4	Cemento asfáltico chileno PROBISA	Cemento Warnes
5		Cemento Emisa
6		Cemento El Camba

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3-8** Industrias cementeras en Bolivia



**Fuente:** Elaboración propia

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD DE PAVIMENTOS DE ASFALTO Y HORMIGÓN

#### 4.1 DISEÑO DE MEZCLAS

##### 4.1.1 Diseño de la mezcla de asfalto

Las mezclas asfálticas son la composición de cemento asfáltico con agregados gruesos y finos a altas temperaturas. Para su diseño se utiliza el método Marshall, se trata de la elaboración de briquetas de 6,35 cm de altura y 10,14 cm de diámetro, compactando con 75 golpes por cara de la biqueta a una temperatura de 150 °C. Estas se realizan a diferentes contenidos de cemento para determinar el contenido óptimo de asfalto.

Las propiedades que presentan las mezclas asfálticas son las siguientes: estabilidad, densidad, fluencia y porcentaje de vacíos que son las más importantes. Se siguió la norma ASTM mediante el método Marshall.

**Tabla 4-1** Porcentaje de la mezcla

<b>Peso total de biqueta gr</b>	<b>1200,00</b>
Porcentaje de agregado %	95
Ponderación de grava	0,40
Ponderación de gravilla	0,10
Ponderación de arena	0,50
Porcentaje de filler %	5

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-2** Pesos de los agregados y porcentaje de cemento asfáltico

Características	Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla					
	4,00 %	4,50 %	5,00 %	5,50 %	6,00 %	6,50 %
Porcentaje de total agregado %	96	96	95	95	94	94
Porcentaje final del agregado %	91	91	90	90	89	89
Porcentaje final del filler %	5	5	5	5	5	5
Peso del cemento asfáltico gr	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
Peso de grava gr	437,76	435,48	433,20	430,92	428,64	426,36
Peso de gravilla gr	109,44	108,87	108,30	107,73	107,16	106,59
Peso de arena gr	547,20	544,35	541,50	538,65	535,80	532,95
Peso de filler gr	57,60	57,30	57,00	56,70	56,40	56,10
Peso total de la briqueta gr	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1.1 Propiedades del método Marshall

##### Estabilidad

El valor de estabilidad representa la resistencia estructural de la mezcla compactada y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado. El valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado.

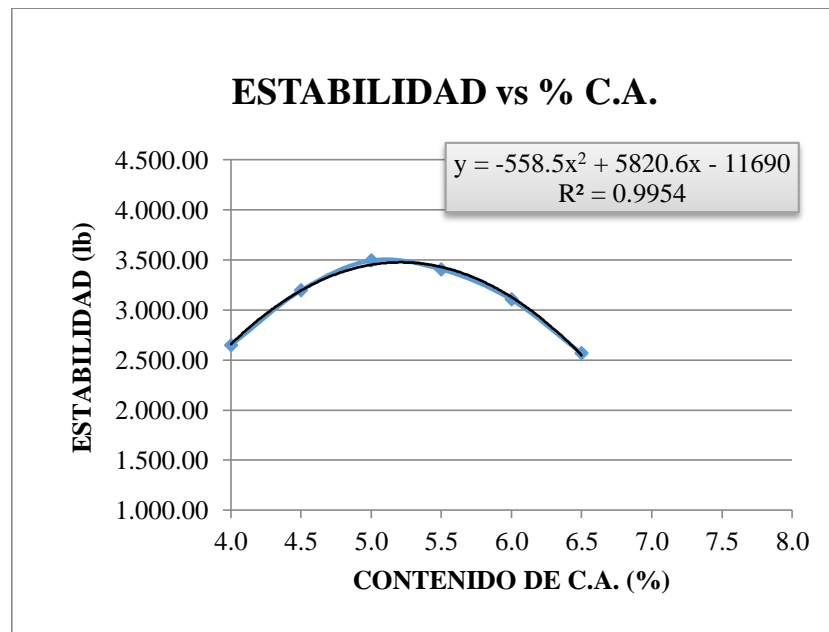
La estabilidad de una briqueta de mezcla asfáltica de 6,35 cm de altura y 10,16 cm, se coloca a un baño de agua a una temperatura de 60 °C por 30 minutos. Se determina empleando el principio de corte en compresión semi-confinada a la muestra a esfuerzos de compresión diametral, donde se realiza la aplicación de esfuerzos y la rotura de las muestras se consiguen con un dispositivo especialmente proyectado para las pruebas de estabilidad.

**Imagen 4-1** Colocación de las briquetas asfálticas en un baño a 60 °C y lectura



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4-1** Curva de estabilidad vs contenido de asfalto



**Fuente:** Elaboración propia

Con los valores obtenidos en laboratorio de la lectura de la estabilidad y con contenido del asfalto se formó una gráfica que ayuda a encontrar el contenido óptimo de asfalto según la máxima estabilidad.

**Tabla 4-3** Resultados de estabilidad vs contenido de asfalto

Ensayo	Valor de diseño	% de C.A.
Estabilidad Marshall lb	3475,346	5,210

Fuente: Elaboración propia

### Fluencia

La fluencia es la deformación total expresada en mm. que experimenta la briqueta de mezcla asfáltica desde el comienzo de la aplicación de carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla.

La mezcla debe tener la fluidez necesaria para que pueda compactarse a la densidad exigida y producir una textura superficial adecuada. El valor del flujo representa la deformación producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de que se produzca su fractura. Este valor es un indicador de la tendencia para alcanzar una condición plástica y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella se transmiten.

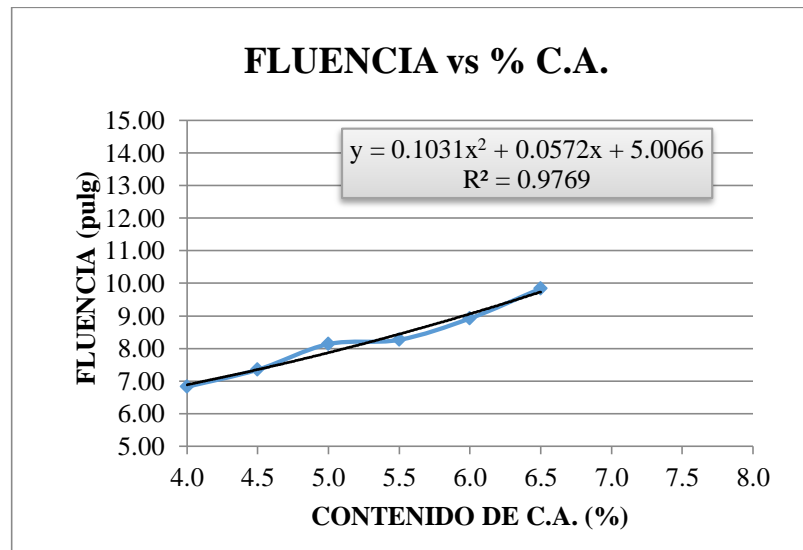
**Imagen 4-2** Lectura de fluencia de las briquetas de mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia



**Figura 4-2** Curva de fluencia vs contenido de asfalto



**Fuente:** Elaboración propia

Con los valores al momento de deformarse las briquetas de mezcla asfáltica se forma la curva de fluencia vs contenido de asfalto en sentido ascendente y se obtienen el siguiente valor:

**Tabla 4-4** Resultados de fluencia vs contenido de asfalto

Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
Fluencia 0,01 pulg	8,09	5,20

**Fuente:** Elaboración propia

### Densidad

El peso volumétrico de la mezcla compactada está definido como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). El peso o densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

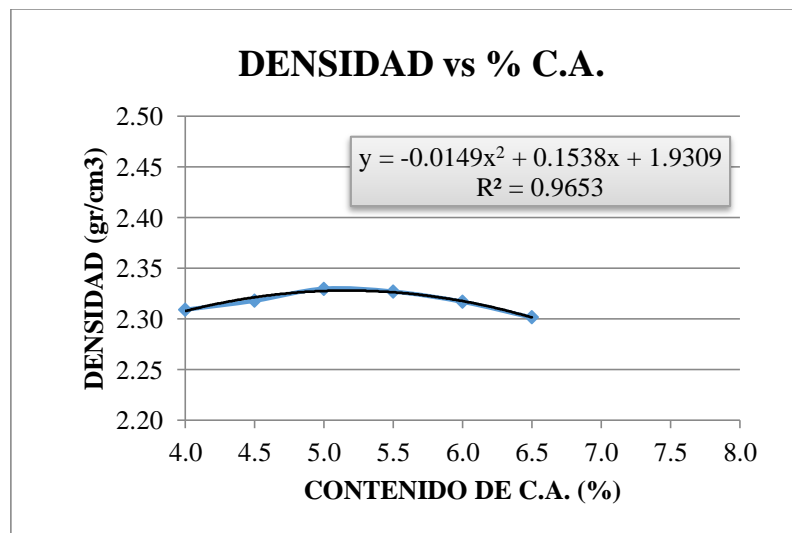
La densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico; es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

**Imagen 4-3** Lectura del peso seco y peso aparente de briquetas



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4-3** Curva de densidad vs contenido de asfalto



**Fuente:** Elaboración propia

Los valores obtenidos según los resultados de la proyección de la gráfica densidad vs contenido del asfalto son los siguientes:

**Tabla 4-5** Resultados de densidad vs contenido de asfalto

Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
Densidad máxima gr/cm <sup>3</sup>	2,328	5,160

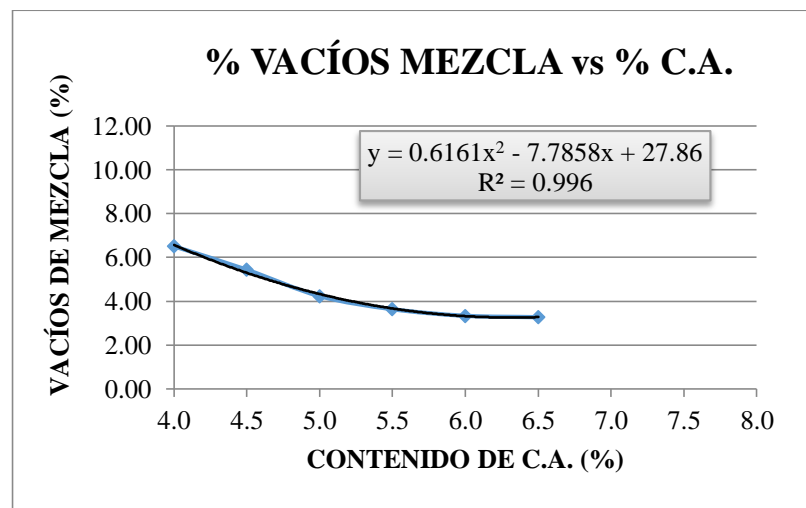
Fuente: Elaboración propia

### Porcentaje de vacíos

Los vacíos de aire son espacios pequeños, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional.

El porcentaje permitido de vacíos en una mezcla según la norma en muestras de laboratorio para capas superficiales está permitido entre 3 y 5 %, dependiendo del diseño específico.

**Figura 4-4** Porcentaje de vacíos vs contenido de asfalto



Fuente: Elaboración propia

Los valores de porcentaje de vacíos y contenido de asfalto formaron una gráfica; para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico se siguió el criterio que el contenido óptimo de vacíos en una mezcla es el 4 %.

**Tabla 4-6** Resultados de vacíos vs contenido de asfalto

Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
% Optimo de vacíos	4 %	5,22

Fuente: Elaboración propia

El resumen de los resultados obtenidos del método Marshall se detalla en el siguiente cuadro y así, ponderando estos valores, se conseguirá el valor óptimo del cemento asfáltico.

**Tabla 4-7** Resumen de las propiedades Marshall

Propiedades de la mezcla de asfalto		% Asfalto
Estabilidad Marshall lb	3475,346	5,21
Fluencia 0,01 pulg	8,090	5,20
Densidad máxima gr/cm <sup>3</sup>	2,328	5,16
% Vacíos de la mezcla	4	5,22
% Óptimo promedio		5,20

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Diseño de la mezcla de concreto

Para el diseño de mezclas de hormigón se anota todos los datos importantes obtenidos en la caracterización del agregado y el cemento en laboratorio, para realizar el cálculo de la dosificación de los materiales, grava, arena, cemento y agua.

Con los pesajes de la dosificación se forma una masa homogénea que se la coloca en probetas en tres capas compactando con una varilla a 25 golpes, después se lo enrasa para esperar que fragüe y luego se realiza el ensayo de rotura.

**Imagen 4-4** Vaciado la mezcla de hormigón



**Fuente:** Elaboración propia

### Dosificación del hormigón (método ACI -211)

**Tabla 4-8** Características de los agregados

Ensayo	Unidad	Valor
1.- Módulo de Finura de la arena (MF)	s/u	2,79
2.- Peso Unitario Compactado de la grava (PUC)	kg/m <sup>3</sup>	1476,00
3.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2,57
4.- Peso específico de la grava ( $\gamma_g$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2,71
5.- Absorción de la arena (Aa)	%	2,75
6.- Absorción de la grava ( Ag )	%	1,98
7.- Humedad de la arena (Ha)	%	0,00
8.- Humedad de la grava (Hg)	%	0,00
9.- Tamaño Máximo Nominal (TMN)	pulg	1,00
10.- Tamaño Máximo (TM)	pulg	1,00
11.- Peso específico del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	3,10

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-9** Características del diseño

Características	Unidad	Valor
Resistencia de diseño ( $f_{ck}$ )	kg/cm <sup>2</sup>	350,000
Asentamiento (S) (Tabla 11.4)	pulg	2,000
Relación agua / cemento (a/c) (Tabla 11.13)	s/u	0,400
Vol. agregado grueso / vol. unitario concreto (b/bo) (Tabla 11.15)	s/u	0,670
Requerimiento de agua (A) (Tabla 11.6)	kg/m <sup>3</sup>	183,000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-10** Cálculo de la dosificación

Características	Unidad	Valor
Peso agregado grueso (Pag)	kg/m <sup>3</sup>	$(b/bo) \times PUC$
		=990,40
Peso cemento (Pc)	kg/m <sup>3</sup>	$A / (a/c)$
		=457,50
Volumen de agregado grueso (Vag)	lt/m <sup>3</sup>	$Pag/\gamma_g$
		=365,46
Volumen del cemento (Vc)	lt/m <sup>3</sup>	$Pc/\gamma_c$
		=147,58
Volumen de arena (Vaf)	lt/m <sup>3</sup>	$100 - Vc - A - Vag$
		=303,96
Peso del agregado fino (Paf)	kg/m <sup>3</sup>	$Vaf \times \gamma_f$
		=781,18

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-11** Peso seco de los ingredientes por (m<sup>3</sup>) de hormigón

Ingrediente	Peso seco kg/m <sup>3</sup>	Volumen absoluto lt/m <sup>3</sup>	Peso específico gr/cm <sup>3</sup>
Cemento	457,5	147,58	3,10
Agua	183	183,00	1,00
Grava	990,4	365,46	2,71
Arena	781,18	303,96	2,57

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-12** Peso húmedo de los materiales

Pesos húmedos de los materiales		
Peso húmedo de la arena (Pha)	kg/m <sup>3</sup>	Paf x ( 1 + Ha )
		781,18
Peso húmedo de la grava (Phg)	kg/m <sup>3</sup>	Pag x ( 1 + Hg )
		990,40
Corrección del agua		
Agua corregida a la grava ( Acg )	lt/m <sup>3</sup>	Pag x ( Ag - Hg )
		19,61
Agua corregida a la arena ( Acf )	lt/m <sup>3</sup>	Paf x ( Aa - Ha )
		21,48
Total agua corregida ( Atc )	lt/m <sup>3</sup>	Acg+Acf
		41,09

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-13** Peso húmedo de los ingredientes por (m<sup>3</sup>) de hormigón

Ingrediente	Peso seco	Peso húmedo
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Cemento	457,50	457,50
Agua	183,00	224,09
Grava	990,40	990,40
Arena	781,18	781,18

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-14** Proporciones de mezcla

Cemento	Arena	Grava
1,00	1,71	2,16

Fuente: Elaboración propia

## Dosificación de mezcla por moldes

**Tabla 4-15** Dosificación de las cuatro probetas

Ingrediente	Seco	Húmedo
	(Kg) para 4	(Kg) para 4
	probetas	probetas
Cemento	11,64	11,64
Agua	4,66	5,7
Grava	25,2	25,2
Arena	19,88	19,87
Total		62,41

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-16** Dosificación de las dos vigas

Ingrediente	Seco	Húmedo
	(Kg) para 2	(Kg) para 2
	vigas	vigas
Cemento	13,34	13,34
Agua	5,34	6,53
Grava	28,88	28,88
Arena	22,78	22,78
Total		71,53

Fuente: Elaboración propia

### 4.1.2.1. Propiedades de la mezcla de hormigón

Las propiedades que presenta las mezclas de concreto en su elaboración y después del fraguado son las siguientes; asentamiento en estado fresco del hormigón, en el estado sólido resistencia a compresión, resistencia a flexión y peso volumétrico.

#### **Asentamiento**

El asentamiento se lo realiza con el cono de Abrams, es un ensayo muy sencillo que se lo realiza en cualquier obra y permite medir la consistencia de un hormigón fresco.

Consiste en separar un poco de la mezcla de concreto en obra y colocar en tres capas en el cono de Abrams. Con ayuda de una varilla metálica se compacta cada capa con 25



golpes se enrasa, luego se retira el cono para medir el asentamiento que presenta la mezcla con ayuda de un flexo y se verifica si cumple con lo especificado.

Resultados de los asentamientos de la mezcla

**Tabla 4-17** Asentamientos de las mezclas de concreto

N°	F. de Vaciado	Asentamiento cm
1	24/09/2018	2,50
2	25/09/2018	3,00
3	26/09/2018	2,50
4	01/10/2018	2,00
5	09/10/2018	1,80

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 4-5** Lectura del asentamiento de la mezcla



Fuente: Elaboración propia

### **Resistencia a la compresión ( $f_{ck}$ ) ASTM C-39 INV E-410**

La resistencia a la compresión se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a una carga axial y se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado  $\text{kg/cm}^2$  a una edad de 28 días.

Esta resistencia se mide rompiendo probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en megapascales (MPa) en unidades SI.

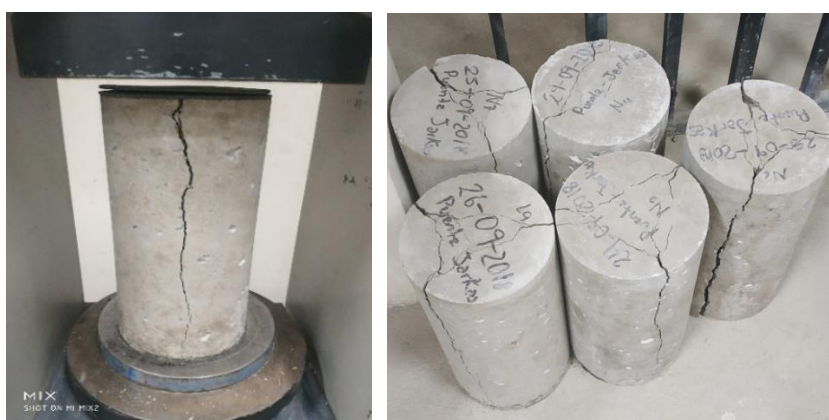
## Resultados de resistencia a compresión de la mezcla

**Tabla 4-18** Rotura de probetas de concreto

N°	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad días	Área cm <sup>2</sup>	Lectura KN	Lectura MPa	Carga Kg	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días kg/cm <sup>2</sup>
1	24/09/2018	01/10/2018	7	176,71	362,40	19,97	36964,80	209,18	290,38
2	24/09/2018	08/10/2018	14	176,71	404,30	22,62	41238,60	233,37	274,55
3	24/09/2018	15/10/2018	21	176,71	351,00	19,87	35802,00	202,60	216,60
4	24/09/2018	22/10/2018	28	176,71	484,95	26,92	49464,90	279,92	279,92
5	25/09/2018	02/10/2018	7	176,71	298,90	19,03	30487,80	172,53	239,50
6	25/09/2018	09/10/2018	14	176,71	446,10	24,60	45502,20	257,50	302,94
7	25/09/2018	16/10/2018	21	176,71	350,30	19,80	35730,60	202,20	216,17
8	25/09/2018	16/10/2018	21	176,71	430,50	24,35	43911,00	248,49	265,66
9	26/09/2018	03/10/2018	7	176,71	380,60	21,50	38821,20	219,69	304,97
10	26/09/2018	10/10/2018	14	176,71	365,00	20,38	37230,00	210,68	247,86
11	26/09/2018	24/10/2018	28	176,71	531,00	30,05	54162,00	306,50	306,50
12	26/09/2018	17/10/2018	21	176,71	382,10	21,21	38974,20	220,55	235,79
13	01/10/2018	08/10/2018	7	176,71	336,30	19,00	34302,60	194,12	269,47
14	01/10/2018	15/10/2018	14	176,71	386,50	21,58	39423,00	223,09	262,46
15	01/10/2018	22/10/2018	21	176,71	455,50	25,27	46461,00	262,92	281,09
<b>Promedio</b>									266,62

Fuente: Elaboración propia

**Imagen 4-6** Rotura de probetas de concreto



Fuente: Elaboración propia

### Resistencia a la flexión ASTM C78 – INV E-414

La resistencia a la flexión, es el esfuerzo en la fibra extrema bajo la carga de rotura, es el valor que se utiliza en el diseño de pavimentos rígidos, debido a que la relación entre los esfuerzos de flexión producidos por el tránsito y la resistencia a flexión del concreto es alta, a menudo mayor de 0,50. El período de curado utilizado para determinar esta resistencia es de 28 días en diseños para calles y carreteras.

La resistencia a la flexión se determina mediante una máquina rotura, esta va ejerciendo presión con dos cargas centradoras sobre la superficie una viga prismática de concreto. Esta se encuentra apoyada en sus extremos, de acuerdo a la resistencia se va pandeando hasta partirse en dos.

**Imagen 4-7** Rotura de una viga de concreto



**Fuente:** Elaboración propia

Resultados de resistencia a flexión de la mezcla

**Tabla 4-19** Rotura de vigas de concreto

N°	F. de	F. de	Edad	Espesor	Lectura	Lectura	Carga	Resistencia
	Vaciado	Rotura	días	cm	KN	MPa	kg	Kg/cm <sup>2</sup>
1	09/10/2018	05/11/2018	28	15,00	21,00	2,60	2142,00	31,73
2	09/10/2018	05/11/2018	28	15,00	26,00	3,21	2652,00	39,29
<b>Promedio</b>								35,51

**Fuente:** Elaboración propia

## Peso volumétrico

El peso volumétrico se lo realiza pesando cada una de las probetas, tomando sus dimensiones, para lograr con estos datos calcular el volumen de cada probeta y así determinar la relación entre su peso y volumen.

Resultados de peso volumétrico de la mezcla

**Tabla 4-20** Peso volumétrico de las probetas de hormigón

N°	F. de Vaciado	F. de Rotura	Diámetro m	Altura m	Área m <sup>2</sup>	Volumen m <sup>3</sup>	Peso Kg	Peso volumétrico Kg/m <sup>3</sup>
1	24/09/2018	22/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,140	2478,560
2	24/09/2018	22/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,180	2486,110
3	24/09/2018	22/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	12,990	2450,270
4	24/09/2018	22/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,135	2477,620
5	25/09/2018	23/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,005	2453,100
6	25/09/2018	23/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,250	2499,310
7	25/09/2018	23/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	12,990	2450,270
8	25/09/2018	23/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,080	2467,250
9	26/09/2018	24/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,010	2454,040
10	26/09/2018	24/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,195	2488,940
11	26/09/2018	24/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,200	2489,880
12	26/09/2018	24/10/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,005	2453,100
13	01/10/2018	01/11/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,340	2516,290
14	01/10/2018	02/11/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,210	2491,770
15	01/10/2018	03/11/2018	0,150	0,300	0,018	0,005	13,009	2453,860
Promedio								2560,540

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-21** Resumen de las propiedades de concreto

<b>Propiedades de las mezclas de hormigón</b>	
Asentamiento cm	2,36
Compresión kg/cm <sup>2</sup>	266,62
Flexión kg/cm <sup>2</sup>	35,51
Peso volumétrico kg/m <sup>3</sup>	2560,54

**Fuente:** Elaboración propia

## **4.2 ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD DE LOS PAVIMENTOS**

Para la realización del análisis de competitividad se plantearon varios parámetros para estudiarlo, entre ellos están la eficiencia en la resistencia de calidad de los pavimentos y también el costo que presentan estos.

### **4.2.1 Análisis de calidad de los pavimentos flexibles**

#### **Extracción de núcleos del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga**

**Imagen 4-8** Vista del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga



**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen 4-9** Extracción de núcleo en el Tramo Puente Jarcas-Piedra Larga



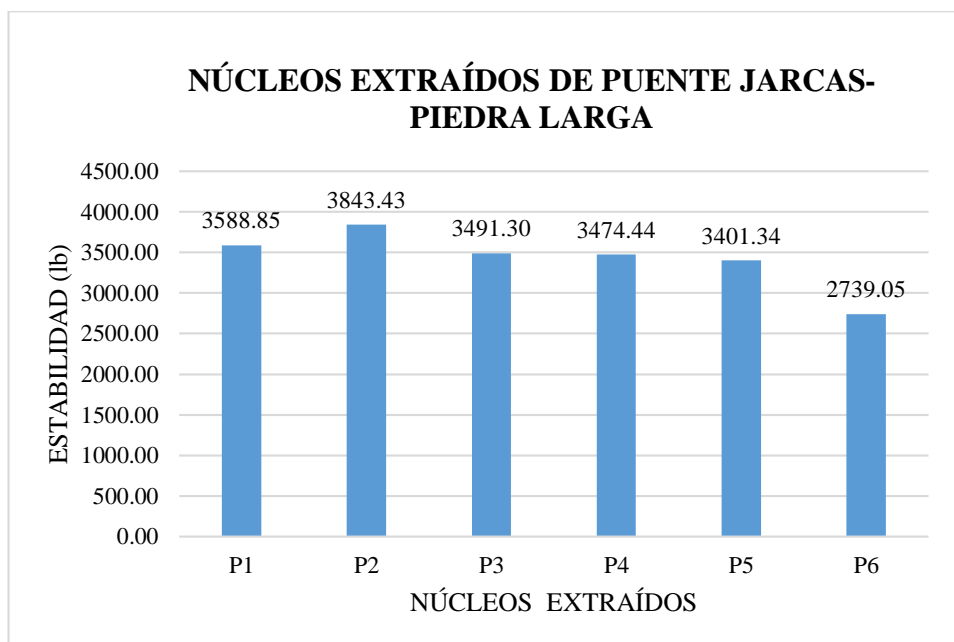
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-22** Datos de la extracción de núcleos del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga

Tramo Puente Jarcas-Piedra Larga							
N°	Peso (g)	H promd. (cm)	Lect. (mm)	Estabilidad (lb)	Factor de corrección según altura	Estabilidad corregida	Fluencia (0,01pulg)
P1	1203,2	6,85	1510,5	4049,25	0,8863	3588,85	30
P2	1077,3	6,22	1385,8	3713,46	1,035	3843,43	25
P3	1120,2	6,52	1360	3643,99	0,9581	3491,30	22
P4	1038,9	6,04	1190,5	3187,56	1,09	3474,44	20
P5	1085,8	6,29	1250	3347,78	1,016	3401,34	21
P6	1026,6	6,15	970	2593,79	1,056	2739,05	18

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-5** Valores de estabilidad del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga



Fuente: Elaboración propia

$$Efic. \% = \frac{R Ins.}{R Estandar} * 100$$

**Tabla 4-23** Determinación de la eficiencia del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga

<b>Tramo Puente Jarcas-Piedra Larga</b>				
<b>N°</b>	<b>Fluencia 0,01 (pulg)</b>	<b>Estabilidad (lb)</b>	<b>Estabilidad diseño (lb)</b>	<b>Efic. (%)</b>
1	30	3588,85	3963,44	90,55
2	25	3843,43	3963,44	96,97
3	22	3491,3	3963,44	88,09
4	20	3474,44	3963,44	87,66
5	21	3401,34	3963,44	85,82
6	18	2739,045	3963,44	69,11

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-24** Determinación de la desviación del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga

<b>Tramo Puente Jarcas-Piedra Larga</b>		
<b>N°</b>	<b>Efic. (%)</b>	<b><math>(X_i - \bar{X})^2</math></b>
1	90,55	17,50
2	96,97	112,49
3	88,09	2,96
4	87,66	1,68
5	85,82	0,30
6	69,11	297,85
$\bar{X}$	86,37	
$\sum(X_i - \bar{X})^2$	432,78	

Fuente: Elaboración propia

Error de los datos

$$E_{X_i} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$E_{X_i} = \sqrt{\frac{432,78}{6 - 1}}$$

$$E_{X_i} = 9,30$$



Error medio de la media

$$E_{\mu} = \frac{E_{X_i}}{\sqrt{n}}$$

$$E_{\mu} = \frac{9,30}{\sqrt{6}}$$

$$E_{\mu} = 3,80$$

Error probable  $E_p = C_i * E_{\mu}$   $Z = C_i$

$$(NC = 95\%) \rightarrow Z = 1,96$$

$$E_p = 1,96 * 3,80$$

$$E_p = 7,44$$

Intervalo de confianza valor aceptado

$$X_a = \bar{X} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Límite superior  $X_a = 86,37 + 3,16 * \frac{9,303}{\sqrt{6}} = 98,37$

Límite inferior  $X_a = 86,37 - 3,16 * \frac{9,303}{\sqrt{6}} = 74,38$

Análisis de la teoría de hipótesis del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga por el método T

Student

Datos  $H_0 = 86,37$

$$H_1 \neq 86,37$$

$$\bar{X} = 86,37$$

$$S = 9,30$$

$$\mu = 75 \%$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{86,37 - 75,00}{\frac{9,30}{\sqrt{6}}} = \frac{11,37}{3,80} = 2,99$$

$$t = 2,99$$

$$Gl = n - 1 = 6 - 1 = 5$$

Tabla de T Student para valor de  $\alpha$  para un valor de 5 % de significación

Valor encontrado en tabla  $\frac{\alpha}{2} = 0,025 \rightarrow 3,16$

**Figura 4-6** Intervalo de confianza para el tramo Punte Jarcas-Piedra Larga



**Fuente:** Elaboración propia

En el intervalo de confianza el valor encontrado de t se encuentra en la zona de aceptación de la hipótesis nula, por lo que el valor está en los rangos del intervalo teniendo una eficiencia de la media 86,37 % de la muestra, el valor t positivo se encuentra a la derecha de la gráfica donde se acerca a la región del límite.

**Extracción de núcleos del tramo Palos Blancos-Choere**

**Imagen 4-10** Vista del tramo Palos Blancos-Choere



**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen 4-11** Extracción de núcleos del tramo Palos Blancos-Choere



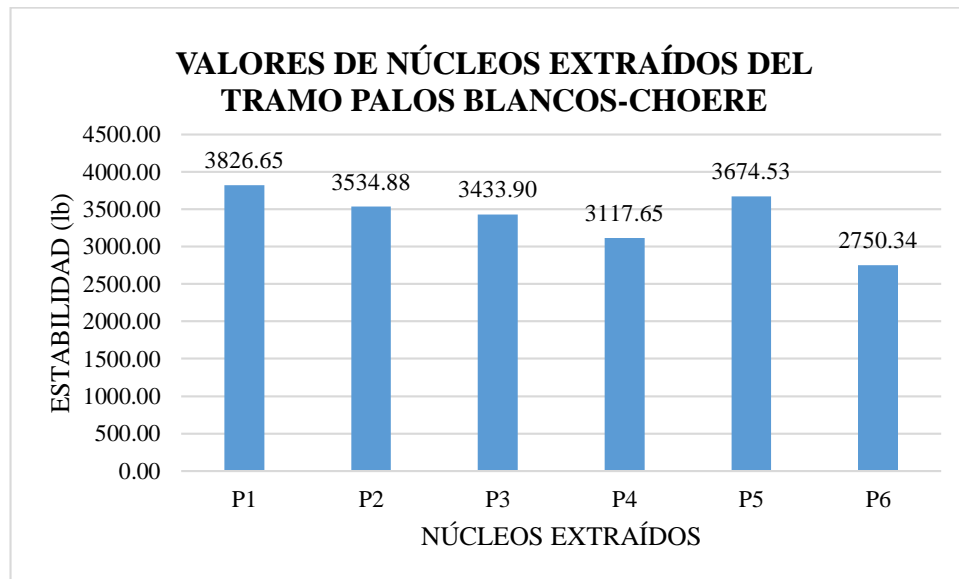
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-25** Extracción de núcleos del tramo Palos Blancos-Choere

Tramo Palos Blancos-Choere							
Nº	Peso (g)	H promd. (cm)	Lect. (mm)	Estabilidad (lb)	Factor de corrección según altura	Estabilidad corregida (lb)	Fluencia (0,01 pulg)
P1	1194	7,02	1670	4478,75	0,8544	3826,65	14
P2	1196,7	7,11	1574	4220,24	0,8376	3534,88	16
P3	1189,4	6,9	1461	3915,96	0,8769	3433,90	21
P4	1175,3	7,08	1380	3697,84	0,8431	3117,65	20
P5	1190,5	6,83	1540	4128,69	0,89	3674,53	15
P6	1182,3	6,95	1184	3170,05	0,8676	2750,34	17

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-7** Valores de extracción de núcleos del tramo Palos Blancos-Choere



Fuente: Elaboración propia

$$Efic. \% = \frac{R Ins.}{R Estandar} * 100$$

**Tabla 4-26** Determinación de la eficiencia del tramo Palos Blancos-Choere

<b>Tramo Palos Blancos Choere</b>				
<b>N°</b>	<b>Fluencia (0,01 pulg)</b>	<b>Estabilidad (lb)</b>	<b>Estabilidad Diseño (lb)</b>	<b>Efic (%)</b>
1	14	3826,65	3896,00	98,22
2	16	3534,88	3896,00	90,73
3	21	3433,90	3896,00	88,14
4	20	3117,65	3896,00	80,02
5	15	3674,53	3896,00	94,32
6	17	2750,34	3896,00	70,59

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-27** Determinación de la desviación del tramo Palos Blancos-Choere

<b>Tramo Palos Blancos - Choere</b>		
<b>N°</b>	<b>Efic. (%)</b>	<b><math>(X_i - \bar{X})^2</math></b>
1	98,22	125,81
2	90,73	13,89
3	88,14	1,29
4	80,02	48,74
5	94,32	53,47
6	70,59	269,28
$\bar{X}$	87,00	
$\sum(X_i - \bar{X})^2$	512,48	

Fuente: Elaboración propia

Error de los datos

$$E_{X_i} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$E_{X_i} = \sqrt{\frac{512,48}{6 - 1}}$$

$$E_{X_i} = 10,12$$

Error medio de la media

$$E_{\mu} = \frac{E_{X_i}}{\sqrt{n}}$$

$$E_{\mu} = \frac{10,12}{\sqrt{6}}$$

$$E_{\mu} = 4,13$$

Error probable

$$E_p = C_i * E_{\mu} \qquad Z = C_i$$

$$(NC = 95\%) \rightarrow Z = 1,96$$

$$E_p = 1,96 * 4,13$$

$$E_p = 8,10$$

Intervalo de confianza valor aceptado

$$X_a = \bar{X} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Límite superior} \qquad X_a = 87,00 + 3,16 * \frac{10,12}{\sqrt{6}} = 100,06$$

$$\text{Límite inferior} \qquad X_a = 87,00 - 3,16 * \frac{10,12}{\sqrt{6}} = 73,94$$

## Análisis de la teoría de hipótesis del tramo Palos Blancos-Choere por el método T

Student

Datos

$$H_0 = 87,00$$

$$H_1 \neq 87,00$$

$$\bar{X} = 87,00$$

$$S = 10,12$$

$$\mu = 75 \%$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{87,00 - 75,00}{\frac{10,12}{\sqrt{6}}} = \frac{12,00}{4,13} = 2,90$$

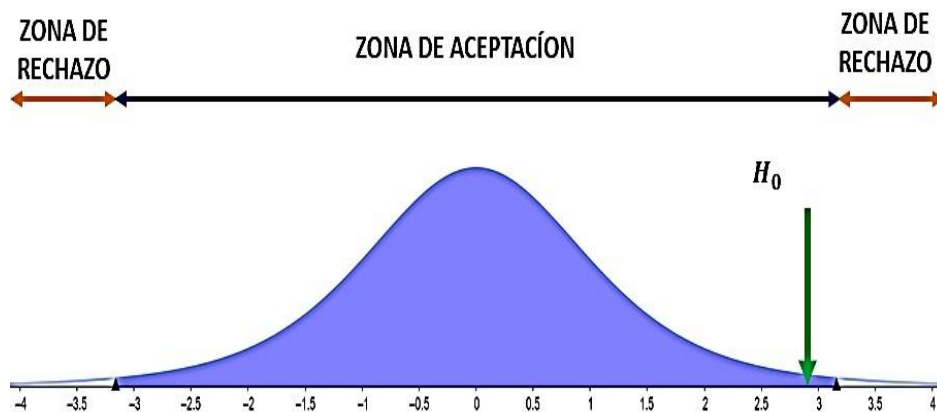
$$t = 2,90$$

$$Gl = n - 1 = 6 - 1 = 5$$

Tabla de T Student para valor de  $\alpha$  para un valor de 5 % de significación

Valor encontrado en tabla  $\frac{\alpha}{2} = 0,025 \rightarrow 3,16$

**Figura 4-8** Intervalo de confianza del tramo Palos Blancos-Choere



Fuente: Elaboración propia

En el intervalo de confianza el valor encontrado de  $t$  se encuentra en la zona de aceptación de la hipótesis nula, por lo que el valor está en los rangos del intervalo teniendo una eficiencia de la media 87,00 % de la muestra, el valor  $t$  positivo se encuentra a la derecha de la gráfica donde se acerca a la región del límite.

#### 4.2.2 Análisis de calidad de los pavimentos rígidos

##### Extracción de núcleos del tramo urbano de Bermejo

**Imagen 4-12** Extracción de núcleos del tramo de urbano Bermejo



**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen 4-13** Sellado y tapado de extracción de testigo en Bermejo



**Fuente:** Elaboración propia

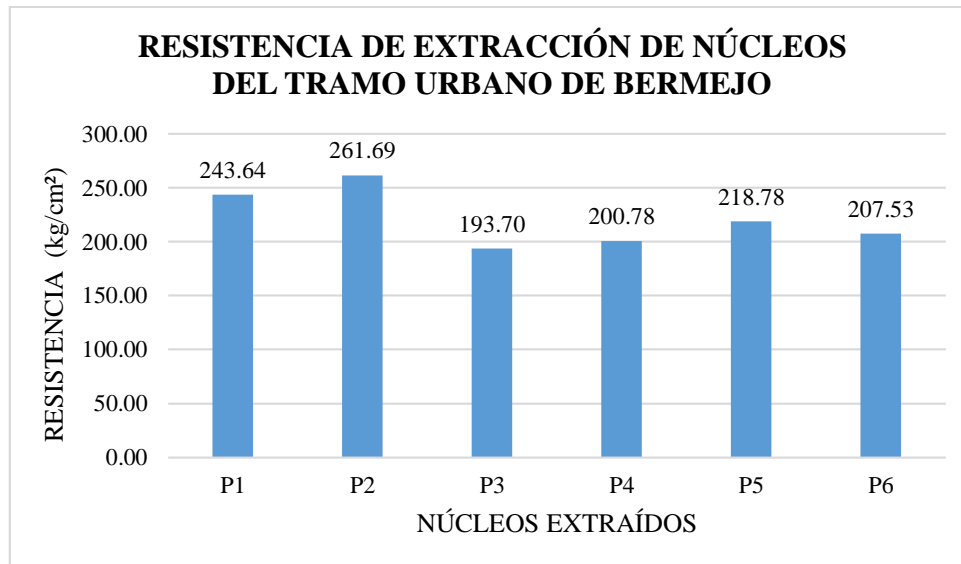


**Tabla 4-28** Extracción de núcleos del tramo urbano de Bermejo

Tramo urbano de Bermejo							
N°	H (cm)	D (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	(Mpas)	(KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
P1	18,5	10	78,5398	23,87	187,6	19135,2	243,64
P2	19,6	10	78,5398	25,65	201,5	20553	261,69
P3	18,0	10	78,5398	18,99	149,15	15213,3	193,70
P4	17,8	10	78,5398	19,68	154,6	15769,2	200,78
P5	18,3	10	78,5398	21,45	168,46	17182,9	218,78
P6	18,1	10	78,5398	16,81	159,8	16299,6	207,53

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-9** Resistencia de los núcleos extraídos del tramo urbano de Bermejo



Fuente: Elaboración propia

$$Efic. \% = \frac{R Ins.}{R Estandar} * 100$$

**Tabla 4-29** Determinación de la eficiencia del tramo urbano de Bermejo

N°	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Efic. (%)
1	243,64	300,0	81,21
2	261,69	300,0	87,23
3	193,70	300,0	64,57
4	200,78	300,0	66,93
5	218,78	300,0	72,93
6	207,53	300,0	69,18

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-30** Determinación de la desviación del tramo urbano de Bermejo

Tramo Urbano de Bermejo		
N°	Efic. (%)	(X <sub>i</sub> - X) <sup>2</sup>
1	81,21	56,84
2	87,23	183,77
3	64,57	82,92
4	66,93	45,52
5	72,93	0,56
6	69,18	20,21
X	73,67	
Σ(X <sub>i</sub> - X) <sup>2</sup>	389,82	

Fuente: Elaboración propia

Error de los datos

$$E_{X_i} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$E_{X_i} = \sqrt{\frac{389,82}{6 - 1}}$$

$$E_{X_i} = 8,83$$

Error medio de la media

$$E_{\mu} = \frac{E_{X_i}}{\sqrt{n}}$$

$$E_{\mu} = \frac{8,83}{\sqrt{6}}$$

$$E_{\mu} = 3,60$$

Error probable

$$E_p = C_i * E_{\mu}$$

$$Z = C_i$$

$$(NC = 95\%) \rightarrow Z = 1,96$$

$$E_p = 1,96 * 3,60$$

$$E_p = 7,07$$

Intervalo de confianza valor aceptado

$$X_a = \bar{X} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Límite superior

$$X_a = 73,67 + 3,16 * \frac{8,83}{\sqrt{6}} = 85,06$$

Límite inferior

$$X_a = 73,67 - 3,16 * \frac{8,83}{\sqrt{6}} = 62,28$$

Análisis de la teoría de hipótesis del tramo urbano de Bermejo por el método T Student

Datos

$$H_0 = 73,67$$

$$H_1 \neq 73,67$$

$$\bar{X} = 73,67$$

$$S = 8,83$$

$$\mu = 75 \%$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{73,67 - 75,00}{\frac{8,83}{\sqrt{6}}} = -\frac{1,33}{3,60} = -0,37$$

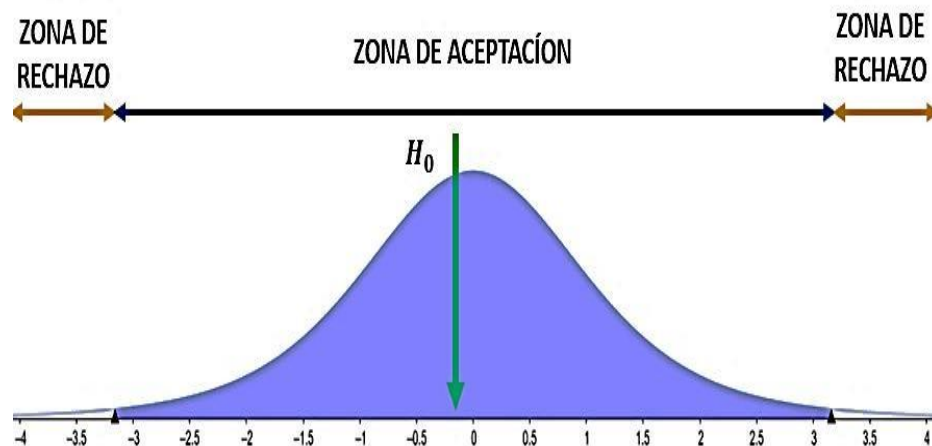
$$t = -0,37$$

$$Gl = n - 1 = 6 - 1 = 5$$

Tabla de T Student para valor de  $\alpha$  para un valor de 5% de significación

Valor encontrado en tabla  $\frac{\alpha}{2} = 0,025 \rightarrow 3,16$

**Figura 4-10** Intervalo de confianza del tramo urbano de Bermejo



Fuente: Elaboración propia

En el intervalo de confianza el valor encontrado de  $t$  se encuentra en la zona de aceptación, demuestra que en la hipótesis nula el valor se encuentra alrededor del valor de la media de 73,67 %. Debido a que se trata de un valor negativo que se encuentra al lado izquierdo de la zona de aceptación esto verifica que el valor es menor a la media poblacional.

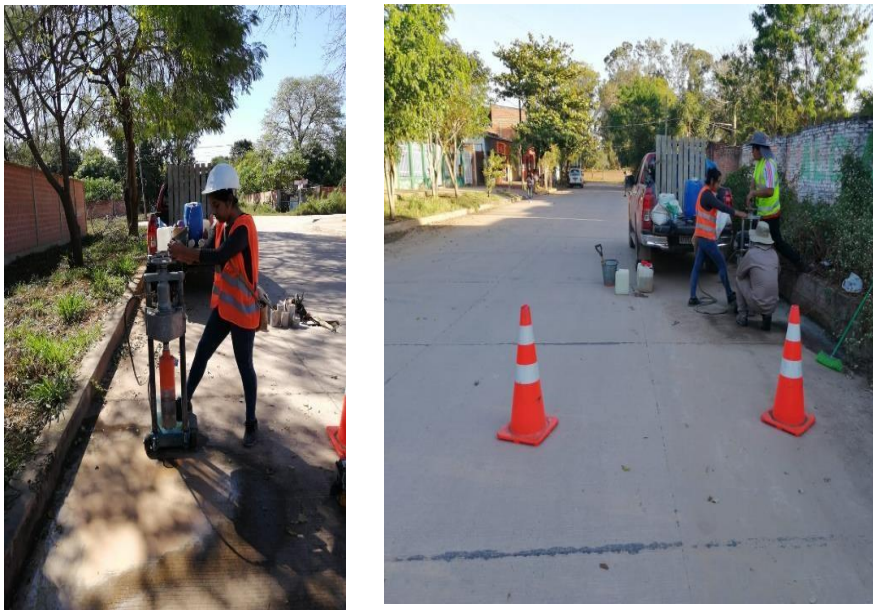
## Extracción de núcleos del tramo urbano de Villamontes

**Imagen 4-14** Extracción de núcleos en el tramo urbano de Villamontes



**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen 4-15** Extracción de los testigos de las calles La Paz y Potosí



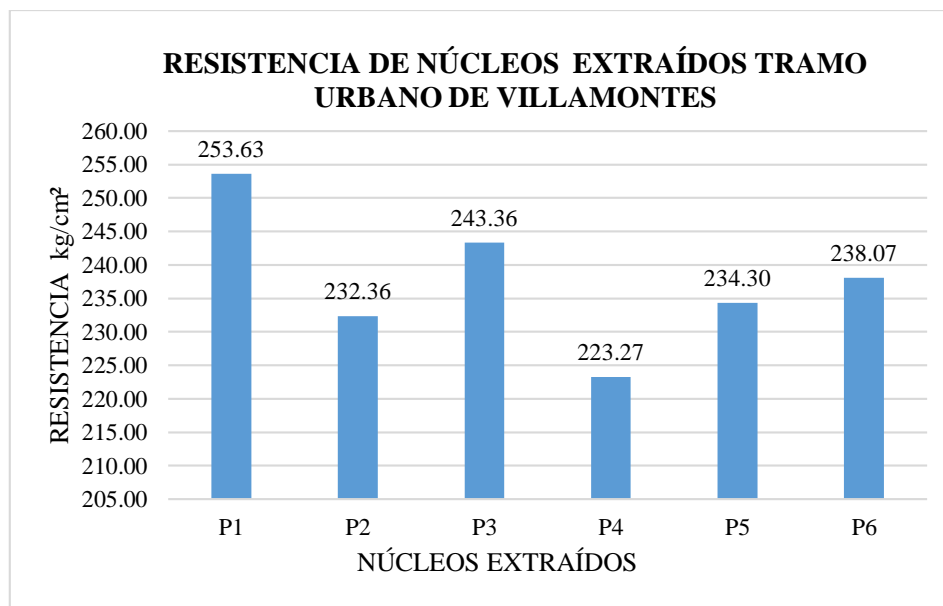
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-31** Extracción de núcleos del tramo urbano de Villamontes

Tramo urbano de Villamontes							
Nº	H (cm)	D (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Mpas	KN	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
P1	16	10	78,54	21,13	166	19920	253,63
P2	16,3	10	78,54	22,78	178,92	18249,8	232,36
P3	16	10	78,54	23,86	187,39	19113,8	243,36
P4	16,5	10	78,54	21,89	171,92	17535,8	223,27
P5	15,8	10	78,54	22,97	180,41	18401,8	234,30
P6	16,2	10	78,54	23,34	183,31	18697,6	238,07

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-11** Resistencia de los núcleos extraídos del tramo urbano de Villamontes



Fuente: Elaboración propia

$$Efic. \% = \frac{R Ins.}{R Estandar} * 100$$

**Tabla 4-32** Determinación de eficiencia del tramo urbano de Villamontes

N°	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Efic. (%)
1	253,63	300,0	84,54
2	232,36	300,0	77,45
3	243,36	300,0	81,12
4	223,27	300,0	74,42
5	234,30	300,0	78,10
6	238,07	300,0	79,36

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-33** Determinación de la desviación del tramo urbano de Villamontes

Tramo urbano de Villamontes		
N°	Efic. (%)	(X <sub>i</sub> - $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>
1	84,54	28,91
2	77,45	2,93
3	81,12	3,82
4	74,42	22,49
5	78,10	1,14
6	79,36	0,04
$\bar{X}$	79,17	
$\sum(X_i - \bar{X})^2$	59,32	

Fuente: Elaboración propia

Error de los datos

$$E_{X_i} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$E_{X_i} = \sqrt{\frac{59,32}{6 - 1}}$$

$$E_{X_i} = 3,44$$

Error medio de la media

$$E_{\mu} = \frac{E_{X_i}}{\sqrt{n}}$$

$$E_{\mu} = \frac{3,44}{\sqrt{6}}$$

$$E_{\mu} = 1,41$$

Error probable

$$E_p = C_i * E_{\mu}$$

$$Z = C_i$$

$$(NC = 95\%) \rightarrow Z = 1,96$$

$$E_p = 1,96 * 1,41$$

$$E_p = 2,76$$

Intervalo de confianza valor aceptado

$$X_a = \bar{X} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Límite superior

$$X_a = 79,17 + 3,16 * \frac{3,44}{\sqrt{6}} = 83,61$$

Límite inferior

$$X_a = 79,17 - 3,16 * \frac{3,44}{\sqrt{6}} = 74,72$$

Análisis de la teoría de hipótesis del tramo urbano de Villamontes por el método T Student

Datos

$$H_0 = 79,17$$

$$H_1 \neq 79,17$$

$$\bar{X} = 79,17$$

$$S = 3,44$$

$$\mu = 75 \%$$



$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{79,17 - 75,00}{\frac{3,44}{\sqrt{6}}} = \frac{4,17}{1,41} = 2,98$$

$$t = 2,96$$

$$Gl = n - 1 = 6 - 1 = 5$$

Tabla de T Student para valor de  $\alpha$  para un valor de 5 % de significación

Valor encontrado en tabla  $\frac{\alpha}{2} = 0,025 \rightarrow 3,16$

**Figura 4-12** Intervalo de confianza del tramo urbano de Villamontes



**Fuente:** Elaboración propia

En el intervalo de confianza el valor encontrado de  $t$  se localiza en la zona de aceptación; la hipótesis nula demuestra que el valor de 79,17 % se encuentra alrededor de la media de la muestra. Debido a que se trata de un valor positivo está ubicado a la derecha del intervalo, pero es mayor a la media poblacional.

## Extracción de núcleos del tramo Campo Pajoso-Caraparí

**Imagen 4-16** Extracción de núcleos del tramo Campo Pajoso-Caraparí



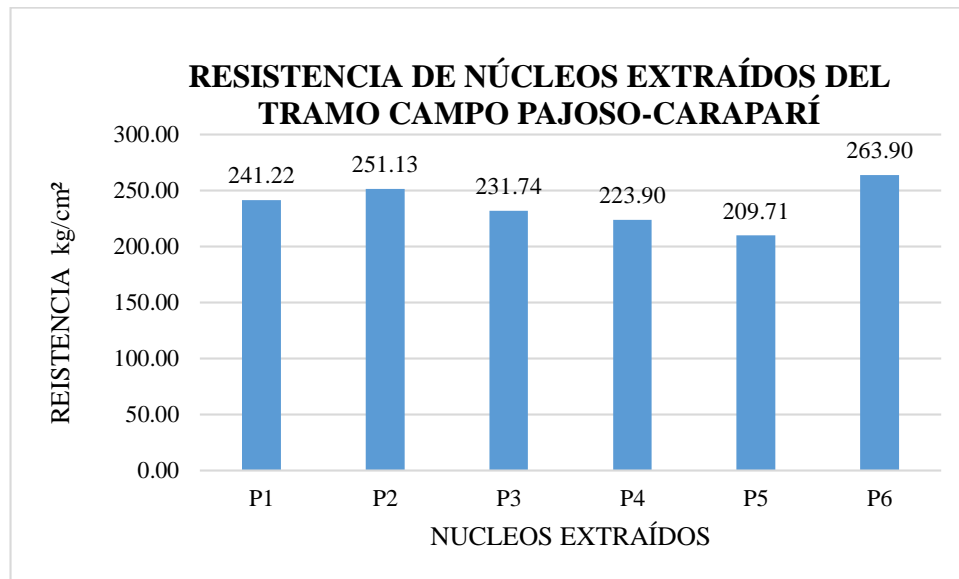
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-34** Extracción de núcleos del tramo Campo Pajoso-Caraparí

Tramo Campo Pajoso-Caraparí							
Nº	H (cm)	D (cm)	Área (cm) <sup>2</sup>	Mpas	KN	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
P1	22,1	10	78,540	23,65	185,74	18945,48	241,22
P2	22,5	10	78,540	24,62	193,37	19723,7	251,13
P3	22,0	10	78,540	22,72	178,44	18200,9	231,74
P4	22,3	10	78,540	21,95	172,40	17584,8	223,90
P5	21,5	10	78,540	20,56	161,48	16471,0	209,71
P6	22,0	10	78,540	25,87	203,20	20726,4	263,90

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-13** Resistencia de los núcleos extraídos de Campo Pajoso-Caraparí



Fuente: Elaboración propia

$$Efic. \% = \frac{R \text{ Ins.}}{R \text{ Estandar}} * 100$$

**Tabla 4-35** Determinación de la eficiencia del tramo Campo Pajoso-Caraparí

Nº	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Efic. (%)
1	241,22	300,0	80,41
2	251,13	300,0	83,71
3	231,74	300,0	77,25
4	223,90	300,0	74,63
5	209,71	300,0	69,90
6	263,90	300,0	87,97

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-36** Determinación de la desviación del tramo Campo Pajoso-Caraparí

Tramo Campo Pajoso-Caraparí		
N°	Efic. (%)	$(X_i - \bar{X})^2$
1	80,41	2,04
2	83,71	22,39
3	77,25	3,00
4	74,63	18,88
5	69,90	82,32
6	87,97	80,78
$\bar{X}$	78,98	
$\sum(X_i - \bar{X})^2$	209,42	

Fuente: Elaboración propia

Error de los datos

$$E_{X_i} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$E_{X_i} = \sqrt{\frac{209,42}{6 - 1}}$$

$$E_{X_i} = 6,47$$

Error medio de la media

$$E_{\mu} = \frac{E_{X_i}}{\sqrt{n}}$$

$$E_{\mu} = \frac{6,47}{\sqrt{6}}$$

$$E_{\mu} = 2,64$$

Error probable  $E_p = C_i * E_\mu$   $Z = C_i$   
 $(NC = 95\%) \rightarrow Z = 1,96$   
 $E_p = 1,96 * 2,64$   
 $E_p = 5,18$

Intervalo de confianza valor aceptado

$$X_a = \bar{X} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Límite superior  $X_a = 78,98 + 3,16 * \frac{6,47}{\sqrt{6}} = 87,33$

Límite inferior  $X_a = 78,98 - 3,16 * \frac{6,47}{\sqrt{6}} = 70,63$

Análisis de la teoría de hipótesis del tramo Campo Pajoso-Caraparí por el método T

Student

$$H_0 = 78,98$$

$$H_1 \neq 78,98$$

$$\bar{X} = 78,98$$

$$S = 6,47$$

$$\mu = 75 \%$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} = \frac{78,98 - 75,00}{\frac{6,47}{\sqrt{6}}} = \frac{3,98}{2,64} = 1,51$$

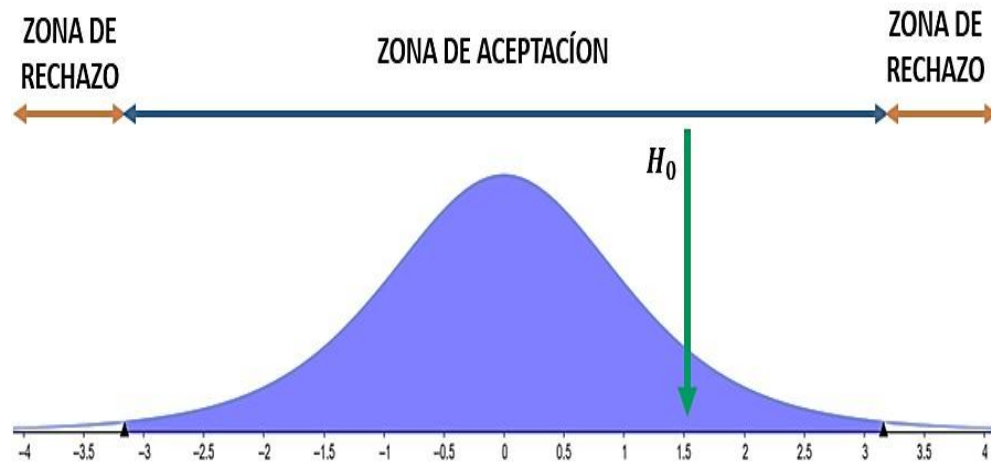
$$t = 1,51$$

$$Gl = n - 1 = 6 - 1 = 5$$

Tabla de T Student para valor de  $\alpha$  para un valor de 5% de significación

Valor encontrado en tabla  $\frac{\alpha}{2} = 0,025 \rightarrow 3,16$

**Figura 4-14** Intervalo de confianza tramo Campo Pajoso-Caraparí



**Fuente:** Elaboración propia

En el intervalo de confianza el valor encontrado de t se encuentra en la zona de aceptación, eso verifica la hipótesis nula y que el valor de 78,98 % es diferente a la media de la muestra. Debido a que se trata de un valor positivo está ubicado a la derecha del intervalo, este es mayor a la media poblacional.

**Tabla 4-37** Valores de T Student y eficiencia de los tramos

<b>Tramos de estudio</b>	<b>Valores de t de Student</b>	<b>Eficiencia del tramo en (%)</b>
Puente Jarcas-Piedra Larga	2,99	86,37
Palos Blancos-Choere	2,90	87,00
Bermejo	-0,37	73,67
Villamontes	2,96	79,17
Campo Pajoso-Caraparí	1,51	78,98

**Fuente:** Elaboración propia

En la presente tabla se detallan todos los valores obtenidos sobre el análisis de hipótesis de cada uno de los tramos por el método de T Student; los valores que se acercan más al valor positivo de 3,16. Presenta más eficiencia en cuanto a la resistencia.

El tramo de pavimento flexible que tiene mayor eficiencia es 2,90, este se acerca más al límite superior, por otro lado, del pavimento rígido el valor que se acerca más al límite superior es el tramo urbano de Villamontes con 2,96

### 4.3 ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD ECONÓMICA DE PAVIMENTOS

#### 4.3.1 Costo de los pavimentos

De la información recopilada de los tramos se sustrajeron los valores que se describen a continuación en las tablas resaltando los precios de los pavimentos por kilómetro

**Tabla 4-38** Costo del pavimento del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga

Nombre del tramo	Puente Jarcas-Piedra Larga
Costo del tramo (Bs/km)	12.407.813,50

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-39** Costo del pavimento del tramo Palos Blancos-Choere

Nombre del tramo	Palos Blancos-Choere
Costo del tramo (Bs/km)	8.700.132,51

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-40** Costo del pavimento del tramo urbano de Bermejo

Nombre del tramo	Bermejo
Costo del tramo (Bs/km)	3.276.728,63

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-41** Costo del pavimento del tramo urbano de Villamontes

Nombre del tramo	Villamontes
Costo del tramo (Bs/km)	9.257.941,00

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 4-42** Costo del pavimento del tramo Campo Pajoso-Caraparí

Nombre del tramo	Campo Pajoso-Caraparí
Costo del tramo (Bs/km)	6.048.125,23

Fuente: Elaboración propia

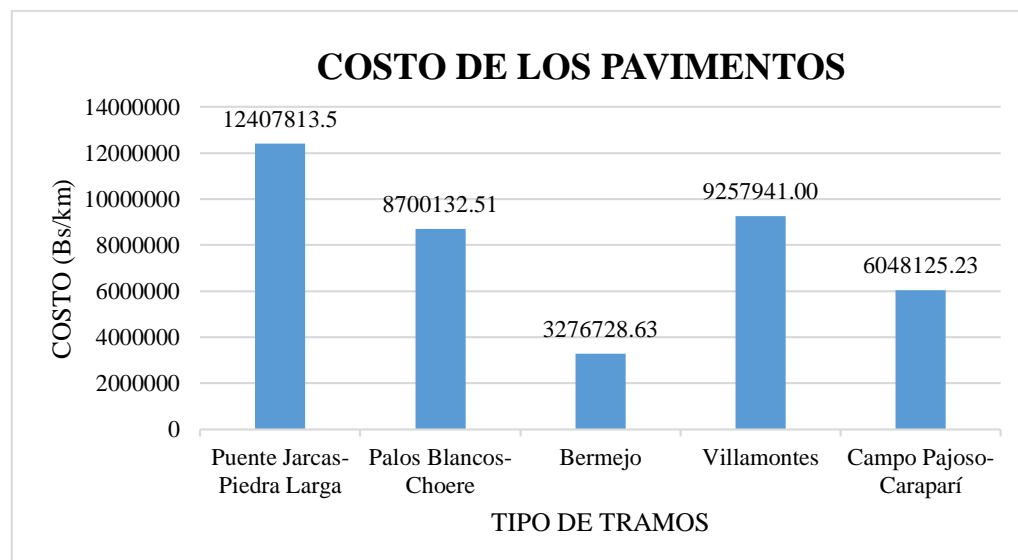
En la siguiente tabla se anotará en resumen todos los valores de costo del pavimento y la eficiencia de los tramos pavimentados.

**Tabla 4-43** Valores del costo por km y eficiencia de los tramos

Tramos de estudio	Costo tramo (Bs/km)	Eficiencia del tramo en (%)
Puente Jarcas-Piedra Larga	12.407.813,50	86,37
Palos Blancos-Choere	8.700.132,51	87,00
Bermejo	3.276.728,63	73,67
Villamontes	9.257.941,00	79,17
Campo Pajoso-Caraparí	6.048.125,23	78,98

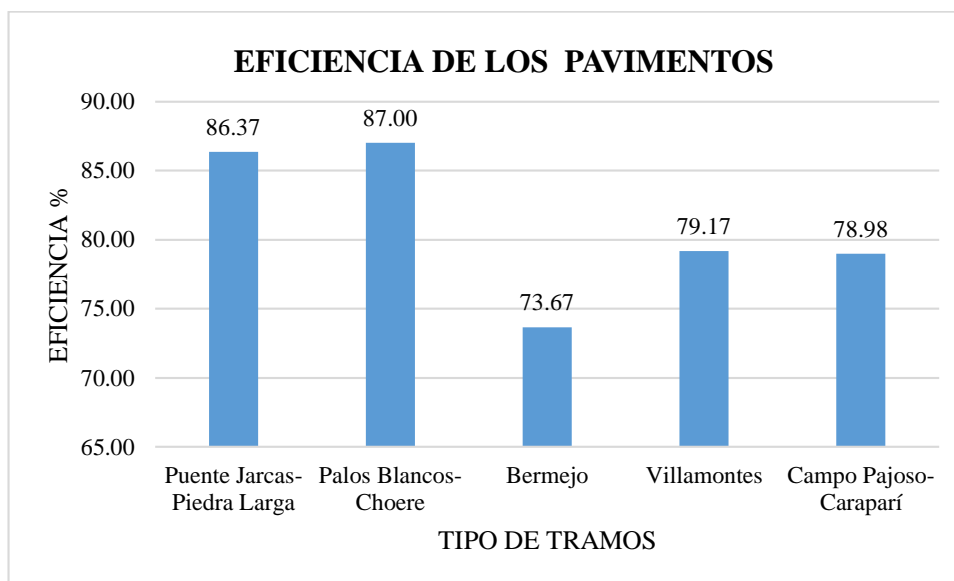
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-15** Costo por kilómetro de los pavimentos



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-16** Eficiencia de los pavimentos



**Fuente:** Elaboración propia

Según las figuras (4-15,4-16) las resistencias obtenidas por la extracción de núcleos de todos los pavimentos rígidos, al realizar los cálculos de eficiencia, el tramo que presenta mayor valor es el tramo de red fundamental de Campo Pajoso-Caraparí con 78,98 % y un costo de 6048125,23 Bs/km. Estos dos determinan que este tramo tiene mayor funcionalidad en cuanto a calidad y costo.

Según las figuras (4-15,4-16) la estabilidad conseguida por la extracción de núcleos de los pavimentos flexibles, al realizar los cálculos de eficiencia el tramo que presenta mayor valor es el tramo de red fundamental de Palos Blancos-Choere con 87,00 % y un costo de 8.700.132,51 Bs/km. Estos dos determinan que este tramo tiene mayor funcionalidad en cuanto a calidad y costo.

### 4.3.2 Chancadoras para pavimento rígido y flexible

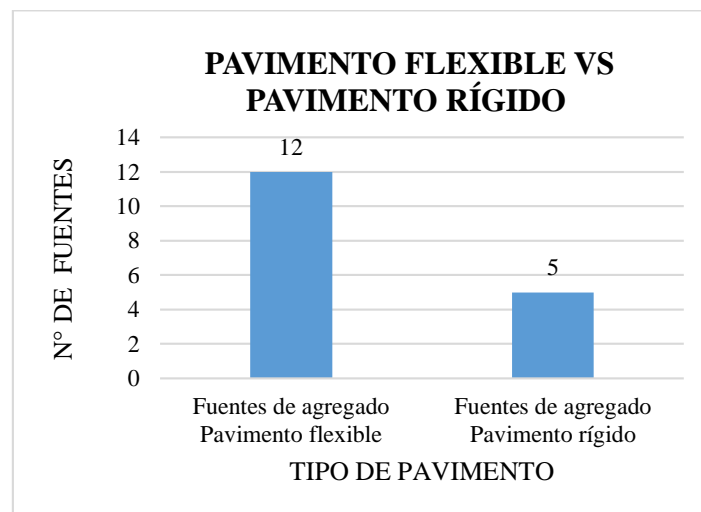
Los agregados utilizados para la elaboración del pavimento flexible y el rígido son de bancos cerca de la ciudad de Tarija

**Tabla 4-44** Chancadoras de la región de Tarija

Chancadoras de la región		
N°	Pavimentos flexibles	Pavimentos rígidos
1	Chancadora bracamontes	Chancadora Vargas
2	Chancadora Vargas	Chancadora de San Blas
3	Chancadora Fernández	Chancadora de Erika
4	Chancadora Segovia	Chancadora de San Lorenzo
5	Chancadora Garzón	Chancadora 16 de Enero SRL
6	Chancadora Santa Ana	
7	Chancadora San Blas	
8	Chancadora La Pintada	
9	Chancadora Canaletas	
10	Chancadora de Charaja Sedeca	
11	Chancadora Aritar SRL	
12	Chancadora San Lorenzo	

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-17** Número de chancadoras presentes en la región



Fuente: Elaboración propia

Las chancadoras para la elaboración de pavimento flexible son las que hay en mayor número en la región de Tarija debido a que la generalmente las obras que se realizan en el departamento son flexibles y las obras de construcción también se efectúan con materiales de granulometría más chica como la grava de 3/4" y 3/8". Por lo contrario para pavimento rígidos son pocas.

### 4.3.3 Costo del cemento

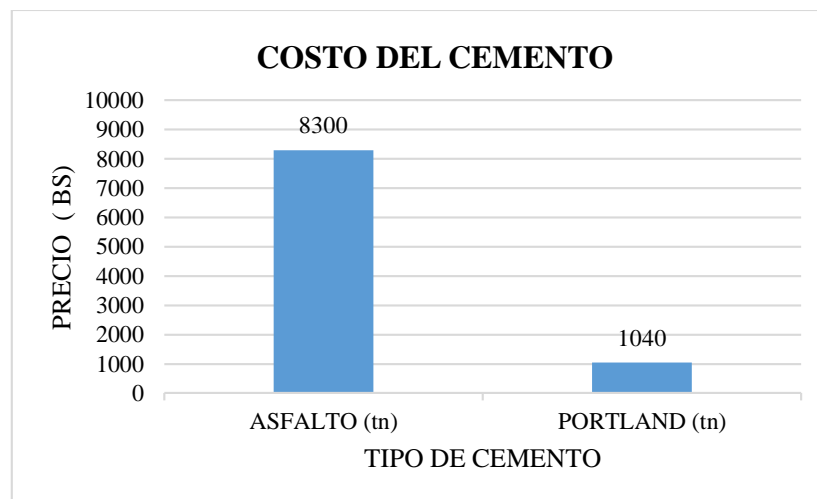
El costo de los cementos para la producción de mezclas varía según el lugar de producción.

**Tabla 4-45** Precio de los cementos por tonelada

Cementos	Asfalto (tn)	Portland (tn)
Precio Bs	8300	1040

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-18** Precio del cemento asfáltico y portland



Fuente: Elaboración propia

El cemento asfáltico presenta un valor más elevado en función a la producción, debido a que el cemento no se lo produce en ninguna parte del país por lo cual tiene que ser importado. En cambio, el cemento portland tiene más competencia de precios en el mercado y es más accesible por las fábricas que existen en todo el país, cuenta con grandes

yacimientos de caliza y arcilla. Para la elaboración de pavimentos rígidos se utilizan los cementos portland IP-40 para llegar a la resistencia requerida de proyecto.

#### 4.3.4 Costos de mantenimiento de pavimentos

En el costo de mantenimiento se ven las siguientes actividades:

#### Costos de mantenimiento de pavimento flexible

**Tabla 4-46** Costo de mantenimiento y actividades de un pavimento flexible

	Nombre del ítem	Unidad	Precio unitario Bs	Presupuesto Bs
1	Limpieza de cunetas y zanjas de coronación a mano	m	5,26	13.343,04
2	Limpieza de alcantarillas	m <sup>3</sup>	91,95	6.528,45
3	Reparación de obras de drenaje	m <sup>3</sup>	374,71	7.494,20
4	Reconformación de canales (encauces)	m	26,28	10.512,00
5	Recortar pasto y maleza a mano	m <sup>2</sup>	2,19	30.660,00
6	Limpieza de derecho de vía, incluso calzada	m <sup>2</sup>	19,47	170.362,50
7	Mantenimiento puentes (limpieza tableros y juntas)	m <sup>2</sup>	19,47	2.324,71
8	Mantenimiento señal vertical (reparación)	pza	114,97	689,82
9	Mantenimiento señal vertical (limpieza gral.)	pza	54,32	7.170,24
10	Mantenimiento de marcas de pav. señalización horizontal	m	10,10	52.932,88
1	Bacheo asfáltico (mezcla preparada a mano)	m <sup>2</sup>	75,61	24.973,84
2	Sello rutinario a mano	m <sup>2</sup>	43,00	7.101,41
3	Sello de grietas a mano	m <sup>2</sup>	68,96	22.777,36
4	Bacheo profundo	m <sup>2</sup>	126,75	16.746,11
<b>Costo de mantenimiento por año (en bolivianos)</b>				<b>373.616,59</b>

**Fuente:** Información obtenida de SEDECA

## Costos de mantenimiento de pavimento rígido

**Tabla 4-47** Costo de mantenimiento y actividades de un pavimento rígido

N°	Nombre del ítem	Unidad	Precio unitario Bs	Presupuesto Bs
1	Limpieza de cunetas y zanjas de coronación a mano	m	5,260	13.343,04
2	Limpieza de alcantarillas	m <sup>3</sup>	91,950	6.528,450
3	Reparación de obras de drenaje	m <sup>3</sup>	374,710	7.494,200
4	Reconformación de canales (encauces)	m	26,280	10.512,00
5	Recortar pasto y maleza a mano	m <sup>2</sup>	2,190	30.660,000
6	Limpieza de derecho de vía, incluso calzada	m <sup>2</sup>	19,470	170.362,500
7	Mantenimiento puentes (limpieza tableros y juntas)	m <sup>2</sup>	19,470	2.324,710
8	Mantenimiento señal vertical (reparación)	pza	114,970	689,820
9	Mantenimiento señal vertical (limpieza gral.)	pza	54,320	7.170,240
10	Mantenimiento de marcas de pav. señalización horizontal	m	10,100	52.932,880
1	Sellado de grietas y fisuras	m <sup>2</sup>	183,320	60.550,260
2	Sellado de juntas	m <sup>2</sup>	15,600	2.061,060
1	Reposición de losas defectuosas	m <sup>2</sup>	188,430	0,000
3	Pintado de señalización horizontal	m	10,100	0,000
<b>Costo de mantenimiento por año (en bolivianos)</b>				<b>364.629,180</b>

Fuente: Información obtenida de SEDECA

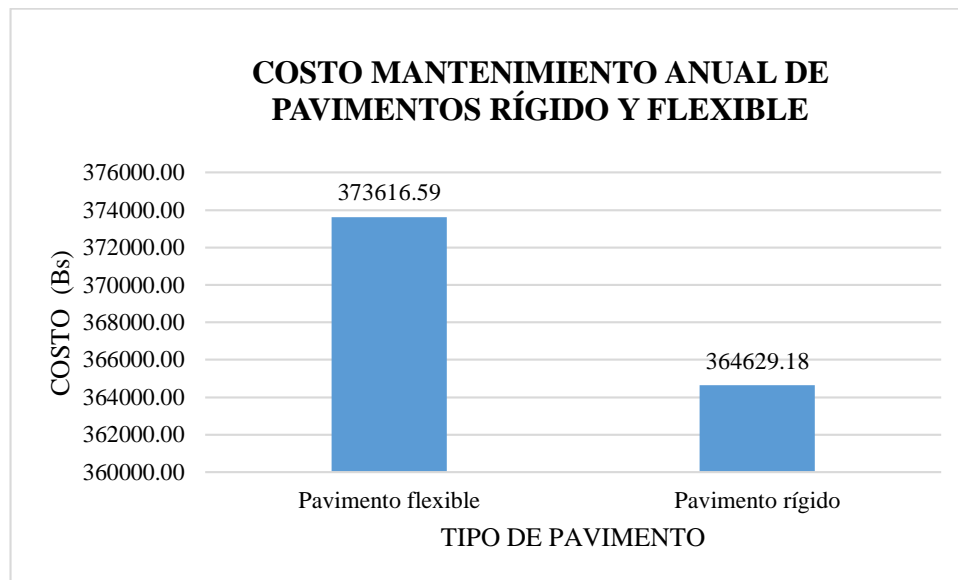
Comparación de precios de pavimento rígido vs pavimento flexible de costos que se realizan en general al año

**Tabla 4-48** Costo de mantenimiento de pavimentos

Aspectos económicos		
Característica	Pavimento flexible	Pavimento rígido
Precio Bs	373.616,59	364.629,18

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-19** Costo mantenimiento anual de pavimentos rígido y flexible



Fuente: Elaboración propia

Los costos de mantenimiento en pavimentos flexibles siempre son elevados debido a las características de su capa de rodadura, sobre estas tienen una influencia las cargas de los vehículos, topografía y el clima del lugar. El pavimento rígido como presenta una capa de concreto de rodadura más resistente a la acción de las cargas y agentes atmosférico requiere menos actividades de mantenimiento y este se lo hace por periodos más largos generalmente en Bolivia. Los rígidos seguirán funcionando, mientras que un flexible necesitará una nueva estructura o recapamiento lo cual lleva a elevar aún más el costo del proyecto.

## Ventajas y desventajas de los pavimentos

Para un análisis de ambos pavimentos se hará una evaluación de las ventajas y desventajas de cada pavimento.

**Tabla 4-49** Ventajas y desventajas de los pavimentos flexibles y rígidos

Características	Flexible	Rígido
Agregados	Las plantas de material chancado para la elaboración de la capa de rodadura de asfalto son 12.	Las plantas chancadoras para las capas de rodadura de concreto son 5 y menores en comparación con el flexible.
Producción de cemento	La producción de cemento asfáltico en el país no cuenta con fábricas, por lo tanto, se lo obtiene por importación.	La producción de cemento portland en el país cuenta con 6 fábricas que elaboran este producto cubriendo mayor demanda.
Plantas de mezcla	Son cubiertas por las instituciones como: la alcaldía, SEDECA y la ABC	La planta de mezcla de concreto solo llega a una empresa proveedora READY MIX Tarija que ofrece servicio en la ciudad de la línea SOBOCE.
Vida útil	Los pavimentos flexibles presentan un periodo de vida útil entre 15 y 20 años en los proyectos.	El periodo de vida útil de pavimentos rígidos oscila entre los 20 y 30 años.
Espesores del paquete estructural	Los flexibles presentan mayores espesores y más números de capas, debido a que estas estructuras reciben de los vehículos las cargas.	Los pavimentos rígidos muestran unos espesores menores porque la losa de hormigón que recibe el impacto de las cargas es más resistente por su rigidez y la distribuye en forma homogénea.

Fuente: Elaboración propia



Continuación de la Tabla 4-48

<b>Características</b>	<b>Flexible</b>	<b>Rígido</b>
Costo de cemento	El precio del asfalto está ligado al precio del petróleo, debido a que es la materia prima con la que se realiza. En los últimos años sufrió incrementos considerables porque solo se puede obtener por importación.	El precio en el cemento portland es más barato porque se cuenta con varias fábricas ubicadas en todo el país.
Mantenimiento	Tiene mayor costo un pavimento flexible por el desgaste de su capa de rodadura, se debe realizar un trabajo más minucioso de actividades de conservación.	En el transcurso de su periodo de vida útil, podemos afirmar que el pavimento rígido tiene menor costo de mantenimiento debido a las características que presenta la losa.
Capas de rodadura	Los valores de los espesores que presentan este tipo de pavimentos se encuentran entre los 2,5 a 7 cm de acuerdo al diseño del proyectista.	En los de rígido su espesor mínimo para pavimentos de bajo volumen es 10 cm; para otros el valor mínimo es de 15 cm.
Factores de desgastes	Los asfaltos son más propensos a ser atacados por elementos que los oxidan o los degradan como se puede presentar en ciertas intersecciones urbanas, productoras de frecuentes paradas y arranque de vehículos, cambios bruscos de temperatura y agentes químicos.	Las superficies de concreto tienen mayor resistencia al intemperismo y a los agentes químicos.

**Fuente:** Elaboración propia

Continuación de la Tabla 4-48

<b>Características</b>	<b>Flexible</b>	<b>Rígido</b>
Tiempo de construcción	Los tiempos de construcción de un pavimento flexible es menor, debido a que el asfalto no necesita de curación y se lo puede utilizar después de la última pasada del rodillo.	En el pavimento de concreto es preciso tener cerrado al tráfico del tramo durante la construcción y también en el periodo de fraguado el cual dura aproximadamente un mes; lo mismo ocurre con la reparación de deterioros y fallas.
Seguridad durante la circulación	La superficie de asfalto debido a su color negro necesita mayor iluminación y más señalización de la calzada en la noche.	La superficie de concreto es tres veces más reflectante, se ahorra energía y brinda mayor seguridad durante la noche.
Permeabilidad	A pavimentos se los debe cuidar del agua ya que afecta en las capas inferiores provocando fallas.	El comportamiento del concreto ante el ataque del agua es mejor por lo cual es una buena opción utilizarlo en zonas donde estará en contacto con la humedad.

**Fuente:** Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### 5.1. CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño de las mezclas de carpeta asfáltica y de concreto para conocer el comportamiento metodológico de estas, determinando propiedades y características que deben cumplir los materiales según las normas AASHTO y ACI en su elaboración. Los resultados obtenidos son los siguientes: para la mezcla asfáltica el valor de estabilidad es 3475,34 lb, fluencia es 2,05 mm, vacíos de la mezcla 4 % y densidad máxima 2,32 gr/cm<sup>3</sup>. La mezcla de concreto presenta los siguientes valores: su asentamiento es 2,36 cm, resistencia a la compresión 266,62 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a la flexión 35,51 kg/cm<sup>2</sup> y peso volumétrico 2560,54 kg/m<sup>3</sup>.
- En el análisis estadístico inferencial del tramo de la Red Fundamental Puente Jarcas -Piedra Larga la extracción de testigos, los valores de estabilidad obtenidos de rotura de las briquetas son aceptables llegando estos a un valor de eficiencia 86,37 % y un costo del pavimento por kilómetro de 12.407.813,50 Bs.
- Con los datos obtenidos del tramo Palos Blancos-Choere en la extracción de estos testigos los valores obtenidos de la rotura de la muestra estabildades aceptables llegando estas a un valor de eficiencia 87,00 % y un costo del pavimento por kilómetro de 8.700.132,51 Bs.
- Desarrollando el análisis estadístico inferencial del tramo urbano de Bermejo en la extracción de testigos de pavimento rígido; la determinación de la resistencia de las probetas extraídas arrojó valores aceptables estableciendo la eficiencia de 73,67 % que se encuentra por debajo de la eficiencia de la muestra, pero es tolerable; el costo del pavimento por kilómetro es de 3.276.728,63 Bs.
- Realizando el análisis estadístico inferencial del tramo urbano de Villamontes en la extracción de testigos del pavimento rígido al determinar de la resistencia proyectó valores aceptables y así se comprobó una eficiencia de 79,17 % que se encuentra por encima de la eficiencia de la muestra y un costo del pavimento por kilómetro de 9.557.941,00Bs.

- Efectuando el análisis estadístico inferencial del tramo fundamental Campo Pajoso- Caraparí en la extracción de testigos de pavimento rígido en la determinación de la resistencia estampó valores aceptables con estos valores se determinó la eficiencia de 78,98 % que se encuentra por encima de la eficiencia de la muestra con un costo del pavimento por kilómetro de 6.048.125,23 Bs.
- Considerando que la disponibilidad de agregados para la mezcla hace más competitivo al tipo de pavimento, en nuestra región se tienen 12 chancadoras para agregados de pavimentos flexible y 5 para agregados de concreto. Concluyendo que en la región se encuentra más disponibilidad para agregados de pavimento flexible.
- En la producción de cemento portland las empresas productoras llegan a un total de 6 en todo el país y la producción de cemento asfáltico es cero solo se obtiene mediante importaciones de otros países como ser Brasil, Argentina, Chile, entre otros. Demostrando que es más factible la disponibilidad en cemento portland para pavimento rígido.
- De acuerdo al costo de mantenimiento de los pavimentos y las actividades principales que presenta cada uno, se concluye que el monto del pavimento rígido es de 364.629,18 Bs/año siendo menor debido a que es menos propenso a sufrir fallas en la estructura de su losa y el costo de mantenimiento de los pavimentos flexibles da como resultado 373.616,59 Bs/año.
- Finalmente, en función a los resultados entre los pavimentos rígidos y flexibles se verifica la hipótesis dando como funcional todos los tramos ya que todos cumplen con los estándares de calidad. Pero el tramo de Palos Blancos - Choere es el que más destaca debido a que tiene una eficiencia de 87,00 %, con un costo De 8.700.132,51 Bs/km. De los rígidos sobresale el tramo Campo Pajoso - Caraparí con un valor de eficiencia 78,98 % y un costo de 6048125,23 Bs/km en la región de Tarija.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Continuar analizando la competitividad de pavimentos rígidos y flexibles para concientizar a los demás y así los proyectos a ejecutar se los pueda construir con estructuras de concreto hidráulico.
- Al momento comenzar a realizar ensayos de granulometría de los agregados y caracterización del cemento para la mezcla de asfalto verificar que cumpla la norma para elaborar estructuras duraderas.
- Tener mucho cuidado cuando uno escoge el tipo de cemento para elaborar las mezclas de concreto; para llegar a la resistencia requerida debe utilizarse un IP - 40 para resistencias mayores  $350 \text{ kg/cm}^2$ .
- Al momento de realizar la extracción de núcleos en los pavimentos rígidos se debe tener sumo cuidado, al realizar esta en los extremos de las losas debido a la armadura de hierro de las juntas que presenta este.
- Tomar en cuenta todos los factores de seguridad, la indumentaria, al momento de extraer los núcleos de los tramos con todo el material adecuado.