

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

El diseño de pavimento de concreto con fibra de polipropileno aplicado a losas cortas es una innovación en pavimentos rígidos; estos avances permiten aumentar sustancialmente la vida útil de estos mediante la aplicación de este procedimiento, el cual consiste en cambiar el diseño de las losas de pavimento rígido tradicional por losas de dimensiones cortas con fibras de polipropileno, dichas losas posibilitan la reducción de espesores en relación al espesor de losas normales, y por consiguiente la disminución de costos y el mejor comportamiento para distribuir la carga y evitar el agrietamiento temprano.

Especialistas del área han investigado la forma de mejorar el comportamiento de las losas y concluyeron que la losa corta de geometría optimizada con aplicación de fibra puede ser una nueva tecnología. Las losas cortas con fibra, se han logrado validar de acuerdo a sus promotores en el mercado de América Latina.

El documento presente, trata de analizar el comportamiento y dimensionamiento de las losas de concreto, con losas cortas y la inclusión de fibras en la mezcla del concreto para que proporcione mejor durabilidad ante los efectos de las cargas.

Este trabajo es un documento que a través del análisis del comportamiento y dimensionamiento de losas de concreto con losas cortas de concreto con adherencia de fibra de polipropileno demuestra que la ejecución del diseño de pavimentos no siempre cumple las condiciones referidas en las normas, tomando como área de aplicación el área urbana de la población de Villamontes, cuyos resultados se evaluarán en sus variaciones de dimensionamiento y resistencia entre la utilización de pavimento de losas convencionales y losas cortas. Con los resultados que se obtengan se realizarán análisis y conclusiones sobre el desempeño de losas cortas con fibra de polipropileno.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de obtener obras viales de mayor calidad, durabilidad, seguridad, y de buenas características, cada día es más trascendente, debido principalmente a la mayor exigencia y al considerable aumento de tráfico en nuestro medio.

El pavimento rígido, representa una alternativa sumamente favorable en la construcción de vías en general, si se compara con sus similares de asfalto, debido a la cantidad de ventajas que ofrece en comparación con este siendo las más notables: su durabilidad, su bajo costo de mantenimiento.

Dado el elevado costo en la construcción del pavimento rígido, surge inmediatamente la necesidad de realizar una investigación que nos brinde información sobre el desempeño de los pavimentos rígidos, para verificar su resistencia bajo cargas de tráfico y condiciones ambientales.

Se sabe que el largo y ancho de las losas tienen un importante efecto en las tensiones en el hormigón, que es la causa del agrietamiento producido por fatiga. También tiene un efecto la posición de las ruedas sobre las losas.

Por ello se hace necesario realizar una investigación que nos brinde información sobre el desempeño de los pavimentos rígidos con fibra de polipropileno aplicado a losas cortas; este sistema consiste en rediseñar las dimensiones de las losas tradicionales, con losas cortas de menor superficie. Debido a este redimensionamiento se conseguiría disminuir los espesores de las capas de pavimento rígido para las carpetas de rodadura, además, se dejaría a un lado la utilización de acero de refuerzo, lo que reduciría los precios en la construcción de pavimentos rígidos.

Dado lo anterior, se hace necesario realizar una investigación que nos brinde una metodología tecnificada y que tenga como base los estándares utilizados en la actualidad para el comportamiento de este tipo de pavimento, además de crear los instrumentos necesarios que pueda dar una evaluación del desempeño de estos pavimentos, lo más real posible.

Estos avances se hacen necesarios darlos a conocer, además de su posible implementación en nuestro país, con el objetivo de tener una nueva alternativa de diseño

de pavimentos, también para una posible aplicación en la rehabilitación y evaluación de pavimentos, de esta manera proporcionar un beneficio al país.

Al analizar el desempeño de pavimentos rígidos con losas cortas, se contribuirá con un aporte teórico para personas que se desenvuelven en el área de diseño y construcción de carreteras de pavimentos rígidos, en lo fundamental y básico que respecta a esta área de la ingeniería.

A fin de lograr un completo análisis de las deformaciones y los esfuerzos a los que están sometidos los pavimentos, se considera realizar un estudio de comparación de todos los resultados obtenidos por las diferentes metodologías desarrolladas en este trabajo de investigación.

## **1.3 DISEÑO TEÓRICO**

### **1.3.1 Determinación del problema**

#### **1.3.1.1 Situación del problema**

Los pavimentos son estructuras diseñadas para ofrecer seguridad, confort, rapidez y economía para los vehículos que transitan sobre él. Con el paso del tiempo el efecto repetitivo de las cargas del tránsito, la acción climática, las deficiencias constructivas, o de los materiales utilizados, inducen un deterioro sobre su estructura.

En el campo vial sobre todo en la construcción de pavimentos siempre se tiene la interrogante al momento de tomar una decisión sobre si se debe efectuar un pavimento flexible o un pavimento rígido; para tomar la mejor elección se consideran los aspectos de costo inversión, costo mantenimiento, durabilidad y confort; en el aspecto de durabilidad se espera que los pavimentos dentro de su vida útil no sufran deterioros a temprana edad y tampoco con demasiada severidad.

Los estudios realizados se basan considerando las condiciones particulares de cada país; ya sea clima, tráfico, capas, y materiales, es por ello que se plantea la necesidad de desarrollar metodologías, donde se realicen modelos de deterioro para las condiciones presentadas en nuestro país, para los pavimentos rígidos y así tener confiabilidad de utilizarlos para el diseño. Además que nuestro país posee poca información

documentada, respecto al diseño de losas de dimensiones cortas, en pavimentos rígidos; por lo tanto se pretende fortalecer el conocimiento de esta tecnología.

Es por ello que basándonos en investigaciones realizadas en otros países, planteamos buscar metodologías para analizar el desempeño del diseño de pavimento rígido con fibra de polipropileno aplicado a losas cortas, que nos permitan aumentar la resistencia y durabilidad de los pavimentos con el paso del tiempo en condiciones óptimas. La optimización realizada por esta metodología permitiría reducir las dimensiones de una losa de pavimento rígido tradicional para una misma vida útil, generando ahorros importantes en el costo inicial de los pavimentos.

### **1.3.1.2 Problema**

¿Cómo, un **análisis** del **comportamiento** de losas de concreto con adición de fibra, utilizadas en losas cortas permitirá un mejor dimensionamiento y comportamiento de la losa?

### **1.3.2 Objetivos**

#### **1.3.2.1 Objetivo general**

Analizar el comportamiento en losas de concreto, con losas cortas además de la inclusión de fibras de polipropileno en la mezcla del concreto, para que proporcione mejor durabilidad ante el efecto de las cargas.

#### **1.3.2.2 Objetivos específicos**

- Mejorar el estado de conocimiento, con información teórica accesible sobre el método de diseño de losas cortas de pavimento rígido con fibra de polipropileno; mediante la recopilación de información existente sobre este método de diseño.
- Caracterizar los agregados y cemento, estableciendo una dosificación adecuada de las mezclas con la aplicación de fibra de polipropileno.
- Elaborar probetas cilíndricas y vigas de hormigón, sin refuerzo de fibra de polipropileno y con refuerzo de fibras de polipropileno, las cuales serán sometidas a esfuerzos de compresión y flexión respectivamente y de esta manera se podrá tener una evaluación del comportamiento del hormigón.

- Evaluar el comportamiento de las losas de concreto de dimensiones cortas y dimensiones tradicionales, con la aplicación del programa Everfe 2.24 para la obtención de desplazamiento debido a los esfuerzos producidos por las cargas de tráfico en el tramo de estudio.
- Elaborar conclusiones y recomendaciones sobre el diseño de losas cortas de pavimento rígido mediante un análisis de todos los valores que sean obtenidos de las simulaciones y de los ensayos en el diseño de pavimentos por las diferentes metodologías desarrolladas.

### **1.3.3 Hipótesis**

Si introducimos fibra de polipropileno en el hormigón de pavimento dimensionado geoméricamente con losas cortas entonces el comportamiento del pavimento rígido con losas cortas cuyo hormigón tiene incorporada fibra de polipropileno tendrá propiedades más satisfactorias técnicamente que coadyuven a la durabilidad del pavimento.

### **1.3.4 Definición de variables independientes y dependientes**

#### **Variable independiente: ( $X_i$ )**

Losas cortas con inclusión de fibras

#### **Variable dependiente: ( $Y_i$ )**

Propiedades de resistencia y deformación

#### **1.3.4.1 Unidad de observación (UO):**

La unidad de observación será el comportamiento de las losas de pavimento rígido frente a la variación de la superficie de las losas.

## **1.4 DISEÑO METODOLÓGICO**

### **1.4.1 Unidad de estudio y decisión muestral**

#### **Unidad de estudio**

La unidad de estudio en este trabajo de investigación, es el comportamiento de las losas de pavimento rígido, a través de la obtención de los esfuerzos y de las deflexiones

producidas en los pavimentos; mediante la aplicación de diferentes metodologías, variando la superficie de las losas tradicionales.

Tabla 1.1 Unidad de estudio

<b>Preguntas de investigación</b>	<b>Objeto de investigación</b>	<b>Unidad de muestreo</b>
¿Qué efecto tiene el pavimento de concreto con losa cortas, con la inclusión de fibra de polipropileno?	Resistencia y deformaciones en losas cortas.	<b>Ensayos</b> de caracterización de agregados. <b>Mezclas</b> con distintos porcentajes de fibra. <b>Ensayos</b> de resistencia y deformación.

Fuente: Elaboración propia

## **Población**

Para el presente trabajo de investigación, el universo de los datos que generan la población será, el conjunto de losas de pavimento rígido en la población de Villamontes y todos los ensayos que lo componen la caracterización de agregados:

- Granulometría – agregado grueso
- Peso específico – agregado grueso
- Desgaste de los ángeles
- Peso unitario – agregado grueso
- Porcentaje de absorción y humedad del agregado grueso
- Caras fracturadas
- Granulometría – agregado fino
- Peso específico – agregado fino
- Peso unitario – agregado fino
- Porcentaje de absorción y humedad del agregado fino y durabilidad.

## **Muestra**

Es una parte de los ensayos de la población:

- Granulometría agregado (grueso – fino)
- Peso específico agregado (grueso – fino)

Peso unitario agregado (grueso – fino)

Porcentaje de absorción y humedad del agregado (grueso – fino)

## Muestreo

Para la caracterización de los agregados se escogió el muestreo estratificado. Para la selección del muestreo se tomará muestras de dos (2) bancos distintos de áridos.

Tabla 1.2 Muestreo estratificado de la caracterización de los agregados

<b>Estrato</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Número</b>
<b>I</b>	<b>Áridos</b>	
	Granulometría de la grava	6
	Granulometría de la arena	6
	Peso específico de la grava	2
	Peso específico de la arena	2
	Desgaste de los ángeles	2
	Peso unitario de la grava	2
	Peso unitario de la arena	2
<b>II</b>	<b>Cemento</b>	
	Finura del cemento	1
	Peso específico	1
<b>III</b>	<b>Agua</b>	0
<b>IV</b>	<b>Fibra de polipropileno</b>	0

Fuente: Elaboración propia

El criterio de muestreo que se adoptará en este trabajo de investigación, será en primer lugar la selección de las zonas de estudio; en nuestro caso el pavimento rígido que actualmente se encuentran en funcionamiento en las zona urbana de Villamontes; con los datos recolectados se analizará el comportamiento del pavimento y luego compararlos con los valores de la simulación del pavimento rígido con losas cortas, variando la superficie del pavimento rígido de dimensiones tradicionales por dimensiones menores.

### 1.4.2 Métodos

Para elaboración del presente trabajo de investigación se adoptó el método aplicativo y el método experimental.

## **Aplicativo**

El presente trabajo parte de una lógica, que se basa en la determinación de los esfuerzos en la estructura de un pavimento, a partir de la realización de simulaciones de cargas de tráfico generadas por el paso de los vehículos y condiciones ambientales características para cada zona de estudio; a través del uso de un software computacional aplicado a modelos de losas de pavimento rígido, esta práctica se realizará variando las superficie de las losas tradicionales, por dimensiones menores definidas como losas cortas de pavimento.

## **Experimental**

Es experimental, porque se realizarán observaciones y mediciones de prácticas experimentales de laboratorio, para determinar los esfuerzos a flexión del hormigón, obtenidos de la fabricación de vigas modelo, que serán sometidas a cargas puntuales, a través de la máquina que mide la carga que logre resistir estos moldes.

### **1.4.3 Técnicas**

Las técnicas usadas en este trabajo de investigación serán las siguientes:

#### **Recolección de datos**

Previa a la realización de cualquier metodología se procederá a recolectar toda la información necesaria del pavimento seleccionado como zonas de estudio.

#### **Simulaciones**

En primer lugar se procederá a la selección de un programa de elementos finitos, que describa adecuadamente la estructura de un pavimento, el programa debe tener en cuenta las discontinuidades en las estructuras de pavimento, debe ser capaz de analizar múltiples posiciones de carga de ruedas.

Posteriormente se realizará la configuración de las losas tradicionales y las losa cortas, se identificarán la forma y las dimensiones de cada losa.

Con los datos recolectados del pavimento rígido del área urbana de la población de Villamontes de seleccionar el programa, se procederá a la realización de modelos de comportamiento, haciendo variar las dimensiones de las losas de pavimento rígido.

Con los valores obtenidos de las simulaciones, por medio del programa computacional, el cual nos proporcionará resultados de esfuerzos, finalmente, realizaremos una evaluación estructural de las losas de pavimento rígido.

### **Ensayos**

En el presente trabajo de investigación, se realizará todos los ensayos correspondientes, para la elaboración de vigas modelo con la incorporación de fibras de polipropileno, que serán sometidas a cargas puntuales para determinar la resistencia a flexión del hormigón.

### **Procesamiento de datos**

Los valores obtenidos por las diferentes técnicas serán analizados y procesados en el capítulo 3 del presente trabajo.

### **Tabulación**

Se realizará una recopilación de los valores obtenidos por las diferentes metodologías y se los ordenará en tablas resumen de resultados.

### **Comparación**

Se efectuará una comparación entre los datos obtenidos por las respectivas metodologías lo cual permitan establecer un análisis de deformación del pavimento.

#### **1.4.4 Proceso de aplicación**

En forma resumida la aplicación se desarrollará con los siguientes pasos:

- Ubicación de los materiales para la investigación sobre el comportamiento de losas cortas con inclusión de fibra de polipropileno.
- Caracterización mediante ensayos de los materiales que se utilizará en la investigación.
- Dosificación de mezclas de hormigón para la utilización en losas cortas con inclusión de fibra de polipropileno.

- Evaluación del comportamiento del concreto con inclusión de fibras de polipropileno como investigación del hormigón mejorado.
- Simulación de modelos estructurales y obtención del comportamiento en deformaciones de losas cortas en comparación con losas tradicionales
- Análisis de los resultados obtenidos en la investigación para evaluar la utilización de losas cortas en el dimensionamiento y la aplicación de fibra de polipropileno en el hormigón para este tipo de pavimento.

### **1.5. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El alcance del presente trabajo se traduce netamente a un análisis de investigación que va enfocado a elaborar un método de diseño de losas cortas con fibras de polipropileno, en pavimentos rígidos dando a conocer que si al minimizar las dimensiones de los pavimentos se garantiza un buen desempeño estructural que implica soportar las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales.

Previamente a establecer el procedimiento para la realización de este método, se hará una recopilación de la información existente de este método de diseño, para dejar establecida una base teórica necesaria para la comparación de este método.

Posteriormente se establecerá un procedimiento, donde se cumpla con las especificaciones técnicas establecidas y poder realizar un análisis estructural de estos pavimentos con resultados que se asemejen lo más posible al comportamiento real que tienen estos pavimentos.

Existe en nuestro país poca o nula información documentada sobre este método de diseño que complica la realización de los modelos de comportamiento de las losas, requerido para poder ser desarrolladas y evaluadas, por lo que se tratará de adaptar lo más que se pueda estos datos a las condiciones que tenemos en nuestro medio.

Todos los datos y resultados obtenidos con las simulaciones de prueba son sometidos a un proceso de análisis para su valoración, lo cual se verá reflejado en la elaboración de tablas, gráficos y con estas herramientas interpretar el comportamiento estructural de las losas cortas de pavimento rígido.

## **1.6 LIMITACIONES**

El desarrollo de la investigación estará enfocado únicamente a la elaboración del diseño del pavimento con losas cortas con fibra de polipropileno, excluyendo el proceso constructivo.

Para la elaboración de esta investigación se toma en cuenta los valores estructurales de pavimentos rígidos que ya se encuentran en funcionamiento, que sirve como guía para realizar el diseño de los modelos de losas cortas en un programa computacional, reduciendo la superficie de las losas de pavimento rígido tradicional, por losas de dimensiones menores obteniéndose del programa los valores de esfuerzos y deformaciones impuestas por las cargas de tráfico y condiciones ambientales.

La información teórica y el análisis que se realizará estarán basados en estudios similares y experiencias en el tema de países en los que ya se tiene un buen terreno ganado en esta área, lo que deja de lado la comprobación de dichos señalamientos, debido a que ésta es producto de un levantamiento de campo, la cual está fuera de los alcances de este trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **PROPIEDADES GENERALES DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

## **2.1 PAVIMENTO**

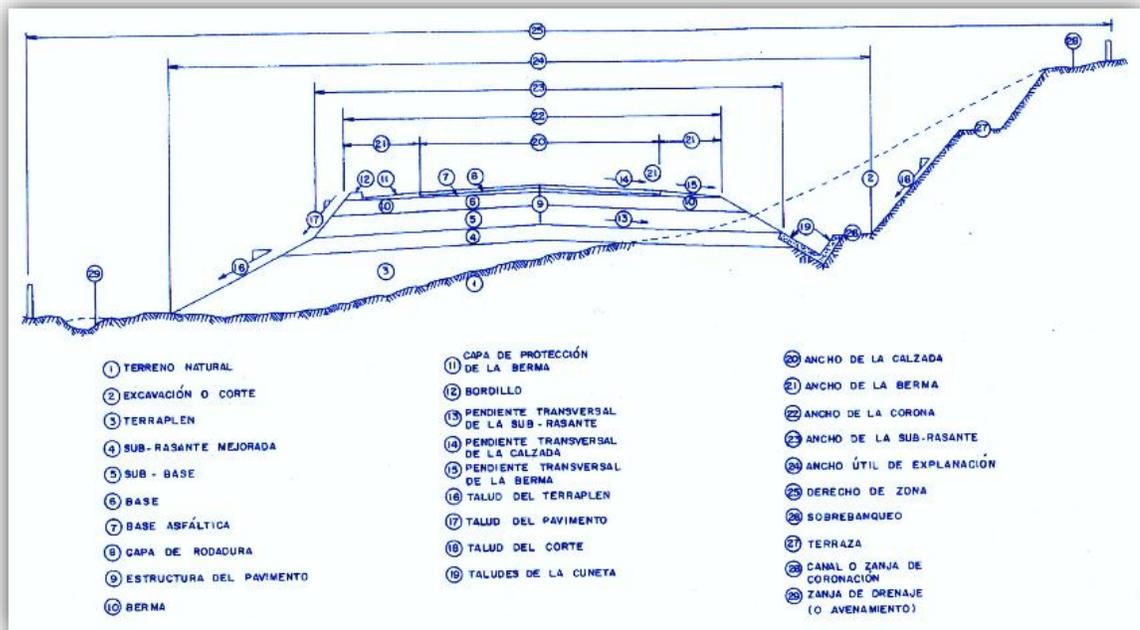
### **2.1.1 Definición de pavimento**

Pavimento es el conjunto de capas de material seleccionado colocado horizontalmente que recibe en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas.

Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas. Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberá colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías, además que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza y por consecuencia, resultan los más económicos. La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa, el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior.

La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo, siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

Imagen 2.1 Sección transversal de una vía



Fuente: Ingeniería de pavimentos, Ing. Alfonso Montejo Fonseca.

## 2.1.2 Tipos de pavimentos

Hoy en día los pavimentos pueden clasificarse de dos formas:

De acuerdo al material que compone su capa de rodadura.

Según la forma en que la estructura de éstos atiende y transmite las cargas aplicadas sobre su superficie.

Según el material que compone su capa de rodadura los pavimentos pueden ser:

- Pavimentos de tierra.
- Pavimentos de piedra.
- Pavimentos de adoquines.
- Pavimentos de concreto hidráulico.
- Pavimentos de concreto asfáltico.

Imagen 2.2 Pavimento de tierra



Imagen 2.3 Pavimento de piedra



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.4 Pavimento de adoquín



Imagen 2.5 Pavimento de concreto asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.6 Pavimento de concreto hidráulico



Fuente: Elaboración propia

Según la forma en que la estructura del pavimento transmite las cargas aplicadas sobre él, éstos se dividen en:

Pavimentos flexibles.

Pavimentos rígidos.

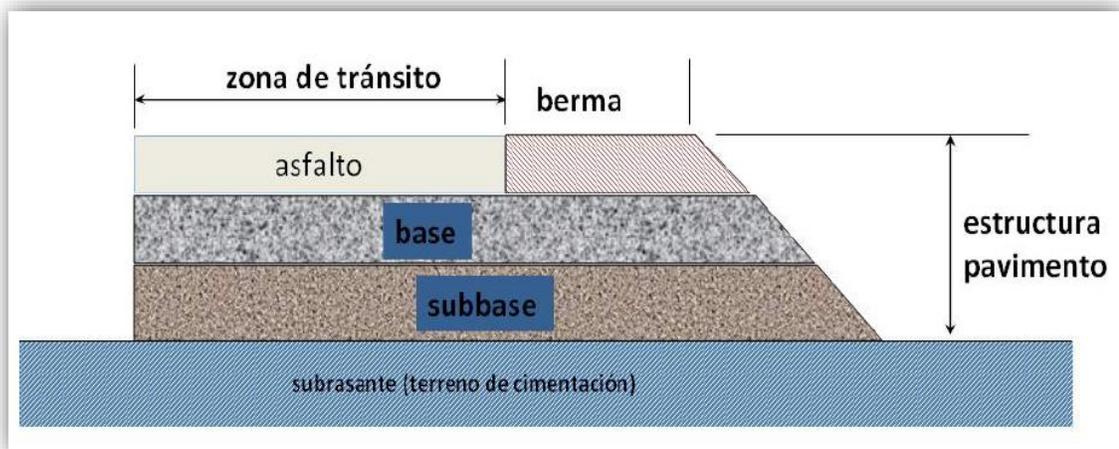
La gran diferencia entre uno y otro tipo de pavimento es la forma en la que transmiten las cargas de tránsito, rigiendo este concepto la posterior concepción de su estructura.<sup>1</sup>

### 2.1.2.1 Pavimentos flexibles

Son aquellos que tienen una carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento asfáltico. Recibe el nombre de pavimento flexible debido a la forma en que se transmiten las cargas desde la carpeta de rodadura hasta la subrasante.

El asfalto no absorbe la totalidad de las cargas vehiculares, actúa más como un transmisor. Por ello, los pavimentos flexibles requieren, por lo general, de un mayor número de capas intermedias entre la carpeta de rodadura y la subrasante.<sup>2</sup>

Imagen 2.7 Pavimento flexible



Fuente: Tópicos de Pavimentos de Concreto, Ing. Mario Becerra Salas

<sup>1</sup> SÁNCHEZ CAMPOS, Pablo Emilio. (2014). Método de diseño de losas de dimensiones superficiales optimizadas, en pavimentos de concreto hidráulico (Pág. 11). El Salvador, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Trabajo fin de Grado.

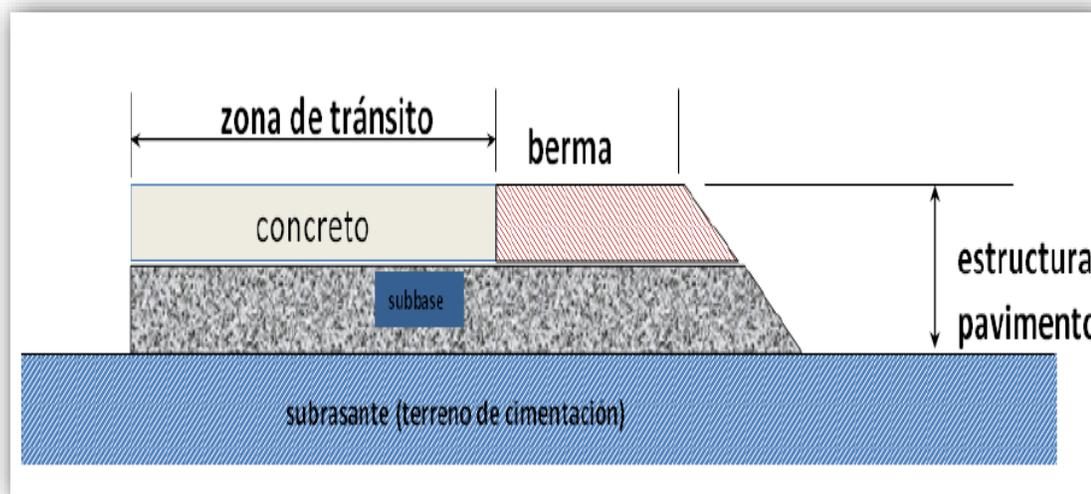
<sup>2</sup> ING. BECERRA SALAS, Mario. (2012). Tópicos de pavimentos de concreto diseño, construcción y supervisión (Pág. 5). Cuidad de Lima.

### 2.1.2.2 Pavimentos rígidos

Son aquellos que tienen una carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento hidráulico. Recibe el nombre de pavimento rígido debido a las propiedades de la carpeta de concreto, que absorbe en mayor grado las cargas vehiculares.

Debido a la naturaleza rígida de la carpeta de rodadura, las cargas vehiculares se distribuyen en una forma más eficiente. Por ello, por lo general, requieren en su estructura de un menor número de capas granulares entre la carpeta de rodadura y la subrasante.

Imagen 2.8 Pavimento de rígido



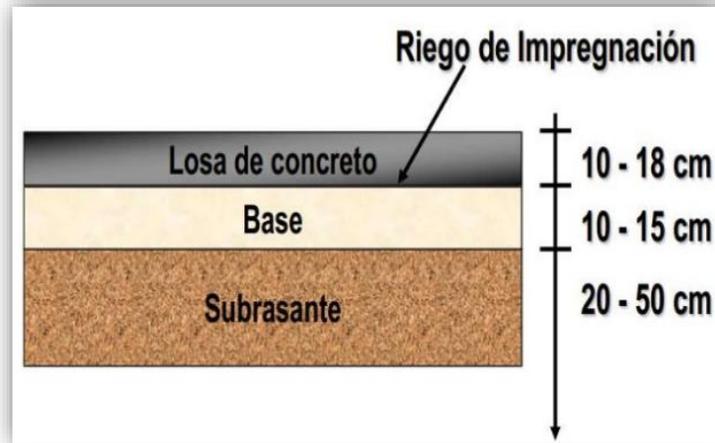
Fuente: Tópicos de Pavimentos de Concreto, Ing. Mario Becerra Salas

La capa de rodadura de estos pavimentos la integran una serie de losas que trabajan en conjunto, distribuyendo las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores. Aunque algunas irregularidades menores en las capas de cimentación no se reflejen en la superficie, estas no son deseables, ya que pueden inducir una falla en el pavimento al ser la causa de cuarteaduras, fracturas, u otros defectos similares.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> ING. BECERRA SALAS, Mario. (2012). Tópicos de pavimentos de concreto diseño, construcción y supervisión (Pág. 6). Cuidad de Lima.

### 2.1.3 Elementos que conforman la estructura de un pavimento rígido

Imagen 2.9 Estructura de un pavimento rígido



Fuente: <https://es.slideshare.net/nievesiita/pavimento-flexible-y-rigido>

#### 2.1.3.1 Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

#### 2.1.3.2 Subbase

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 subrasante la pueda soportar absorbiendo las

variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. Esta debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

### **2.1.3.3 Losa (Superficie de rodadura)**

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

Constituye la parte fundamental del pavimento rígido, debido a la rigidez que presenta la losa, esta clase de pavimentos no requieren, al menos desde un punto de vista teórico apoyarse sobre una explanada o capa elevada capacidad de soporte. Las losas deben estar capacitadas para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito y los efectos de la intemperie, y proporcionar además una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo el efecto combinado del tránsito y de los efectos ambientales durante su vida útil, de manera que solo deban ser necesarias algunas actuaciones locales y esporádicas de conservación, de poca importancia y costo.<sup>4</sup>

### **2.1.4 Tipología de pavimentos rígidos**

Pavimentos de concreto simple.

Pavimentos de concreto armado.

Pavimentos de concreto compactado con rodillo.

Pavimentos de hormigón pre o pos tensado.

---

<sup>4</sup> ARROYO HILTON, Nancy Francia. (2012). Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos (Pág. 14). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado.

### 2.1.4.1 Pavimento de concreto simple

Este tipo de pavimento es el más empleado debido a que su construcción es sencilla y de menor costo. Está dividido en losas rectangulares, preferiblemente casi cuadradas, salvo en las intersecciones, ramales y otras superficies de anchura variable, disponiendo en ellos juntas transversales de contracción y juntas longitudinales de alabeo entre carriles o donde la anchura extendida sea superior a 5m para evitar la aparición de fisuras debido a la retracción del hormigón. Ambos tipos de juntas longitudinales y transversales pueden ser también de construcción o concreto.

Imagen 2.10 Pavimento de concreto simple



Fuente: Pavimento rígido y tipos de pavimento rígido, publicado por SlideShare

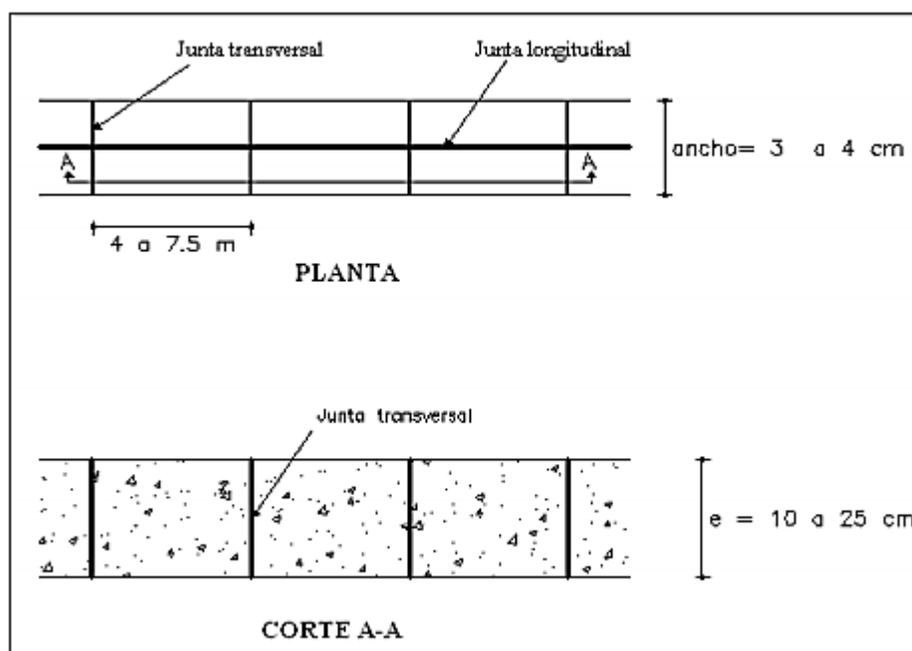
### **Sin pasadores**

Son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas. En ellos, el concreto asume y resiste tensiones producidas por el tránsito y el entorno, como las variaciones de temperatura y humedad. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas.

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoya sobre la subrasante. En condiciones más severas requiere de Subbases tratadas con cemento, colocadas entre la subrasante y la losa, para aumentar la capacidad de soporte y mejorar la transmisión de carga. Están constituidos por losas de

dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m. de largo y 3.50 m. de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto.

Imagen 2.11 Pavimento de concreto hidráulico simple sin elementos de transferencia de carga

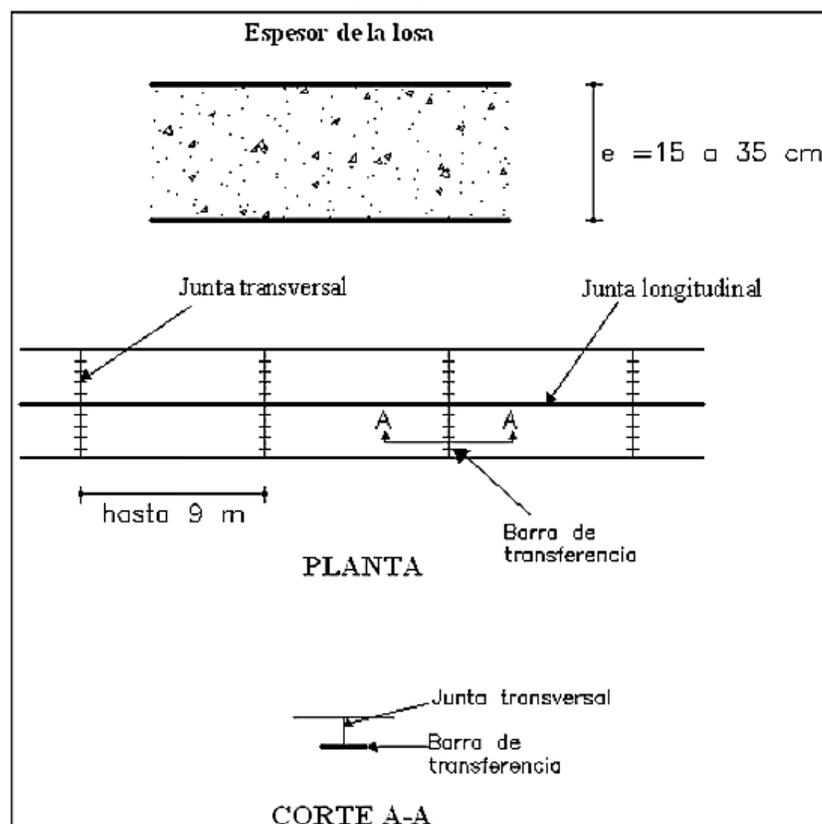


Fuente: Pavimento rígido y tipos de pavimento rígido, publicado por SlideShare

### Con pasadores

Los pasadores son pequeñas barras de acero liso que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera, se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamientos). Según la Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés).

Imagen 2.12 Pavimento de concreto hidráulico simple con elementos de transferencia de carga o pasadores



Fuente: Pavimento rígido y tipos de pavimento rígido, publicado por SlideShare

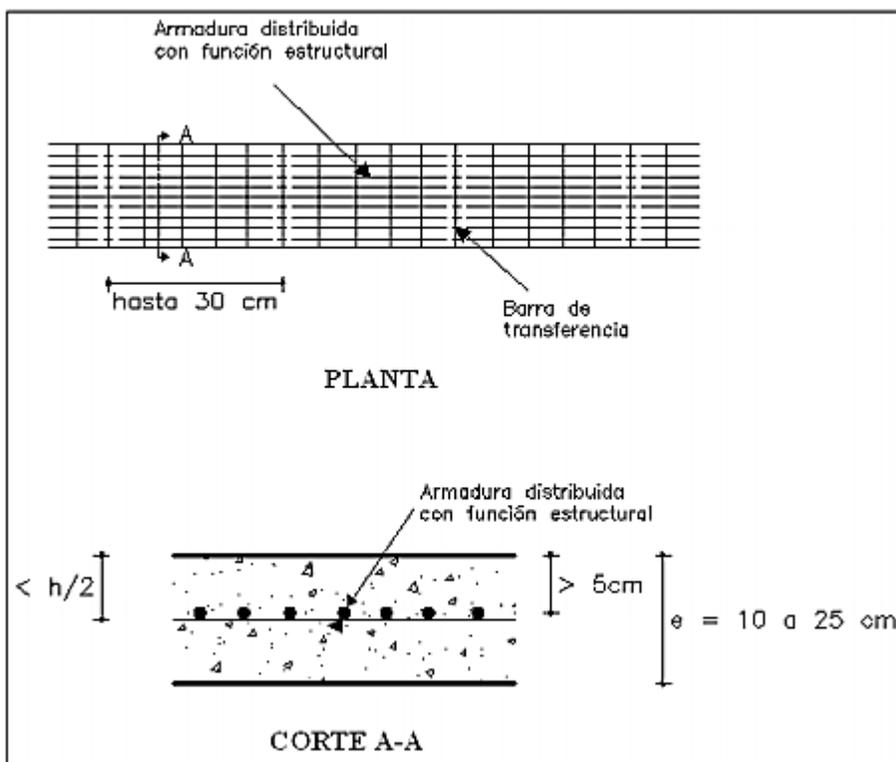
#### 2.1.4.2 Pavimentos de concreto armado

A este grupo pertenecen los pavimentos de hormigón armado con juntas muy espaciadas (entre 6,10 y 36,60 metros) y son distribuidas en la losa a efectos de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción.

##### Con refuerzo de acero no estructural

Su finalidad es controlar los agrietamientos y resistir las tensiones de contracción del hormigón en estado joven sin cumplir una función estructural. La sección máxima del refuerzo de acero es 0,3% de la sección transversal del pavimento, ubicándose en el tercio superior de la sección transversal a no menos de 5 cm bajo la superficie.

Imagen 2.13 Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo de acero no estructural



Fuente: Pavimento rígido y tipos de pavimento rígido, publicado por SlideShare

### Armado con juntas

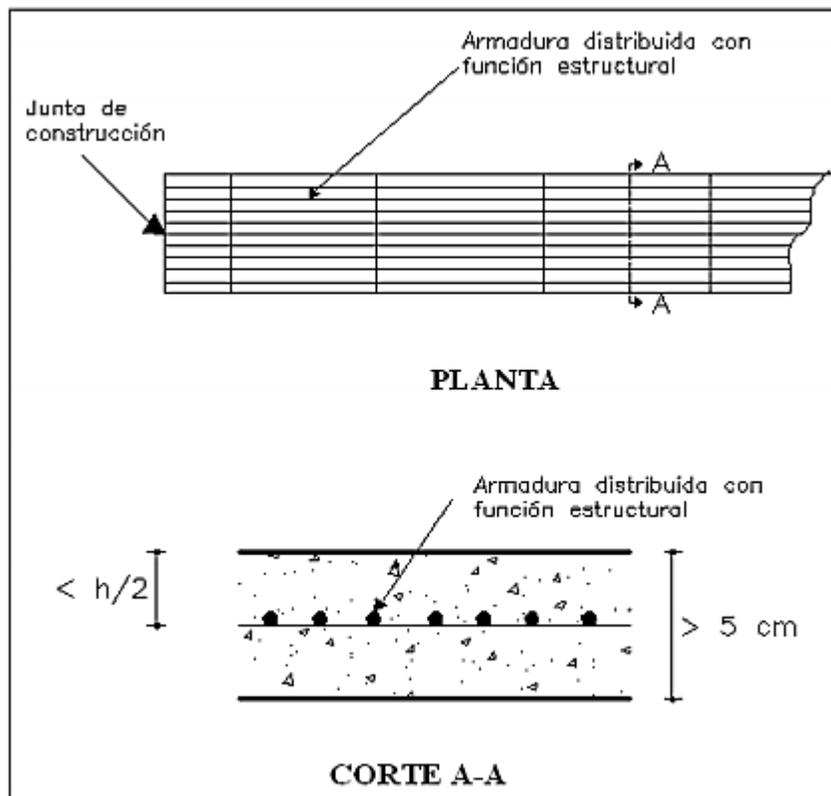
Este tipo de pavimentos antes era bastante empleado en algunos países para tráfico pesado, fueron concebidos en una época en que las juntas constituían la zona más débil y un problema de conservación, por lo que parecía conveniente reducir su número aumentando la longitud de las losas; en los últimos años ya no se han venido utilizando debido a que tiene un mayor costo que no compensa su calidad. Las armaduras que se colocan en la mitad superior de la losa no tiene función estructural, solo permite mantener cosidas las fisuras transversales que inevitablemente aparecen en las losas largas, que van normalmente desde 7 m e incluso más de 10-20 m.

### Armado con refuerzo continuo

A diferencia de los pavimentos de hormigón reforzado con juntas, éstos se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones,

específicamente las de temperatura. El refuerzo principal es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimentos.

Imagen 2.14 Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo continuo



Fuente: Pavimento rígido y tipos de pavimento rígido publicado, por SlideShare

### Armado con fibras

Los pavimentos de concreto armado con fibras empezaron a emplear hace algunas décadas, en aplicaciones donde el elevado costo de este tipo de material es compensado por sus características, como disminución del espesor del pavimento del orden de un 30%, aumento de la resistencia a tracción y a la fatiga, mejor comportamiento a flexotracción, resistencia al impacto, durabilidad. Se puede utilizar diferentes tipos de fibras como metálicas, polipropileno, carbón, acero, etc., con excelentes resultados en capas delgadas de refuerzo y en pavimentos sometidos a cargas muy pesadas (aeropuertos, puentes, industrias y portuarios).

Imagen 2.15 Pavimentos de hormigón armado con fibras



Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.4.3 Pavimentos de concreto compactado con rodillo

Se trata de un hormigón con bajo contenido de agua (relación a/c = 0,35 - 0,40) por lo que el cemento suele contener un alto porcentaje de ceniza volante para facilitar su trabajabilidad, que se compactan enérgicamente con rodillos vibratorios y de neumáticos en forma similar a como se hace una grava-cemento. Una vez compactado y curado puede abrirse inmediatamente al tráfico con un comportamiento similar al de los pavimentos tradicionales de hormigón vibrado. Sin embargo al compactar con rodillo, la regularidad superficial que se obtiene no suele ser buena para circular a alta velocidad, por lo que en este caso es necesario colocar una capa de rodadura bituminosa sobre el hormigón formando un pavimento mixto.

Imagen 2.16 Pavimento de concreto compactado con rodillo



Fuente: Concreto compactado con rodillo para pavimentos, publicado por CEMEX

#### 2.1.4.4 Pavimentos de concreto pre o pos tensado

Debido a la compresión que se introduce, las losas quedan sometidas por medio de tensores de acero, permitiendo construir losas de 120 m de longitud o incluso más y reducir el espesor del orden de un 50%.

En la actualidad hay varios sistemas de pretensado interno mediante cables o alambres (pos-tensados) y de pretensados externos por medio de gatos planos hidráulicos y juntas neumáticas, cuyo diseño especial debe soportar las mayores variaciones de abertura producidas por las fisuras; en algunos sistemas hay que disponer estribos para resistir los empujes horizontales. Se ha encontrado una aplicación mayor en carreteras y aeropuertos.<sup>5</sup>

Imagen 2.17 Pavimento de concreto pre o pos tensado



Fuente: Pavimento rígido y tipos de pavimento rígido, publicado por SlideShare

## 2.2 DISEÑO DE JUNTAS EN PAVIMENTO RÍGIDO

Las juntas deben estar diseñadas para transferir una porción de la carga entre losas adyacentes minimizando así deflexiones verticales en la junta producidas por las cargas de vehículos. El reducir deflexiones disminuye el potencial bombeo de materiales de capa sub base además del escalonamiento. Para que se obtenga una transferencia de carga satisfactoria se puede recurrir a uno de los siguientes mecanismos:

---

<sup>5</sup> SLIDESHARE. Pavimento rígido y tipos de pavimento rígido. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2018, 17 de Octubre. Disponible desde la URL: <https://www.slideshare.net/jesuslunallantirhuay/pavimento-rigido-y-tipos-de-pavimentos-rigidos>.

Trabazón mecánica de los dispositivos de transferencia o barras pasa-juntas de acero liso.

Bases estabilizadas rígidas, que reduzcan el nivel de deflexión.

### **Trabazón de agregados**

Se alcanza a través de la fricción entre las caras irregulares de la fisura que se forma en el aserrado. El clima y la dureza de los agregados tienen un gran impacto en la eficiencia de la transferencia. Esto puede ser incrementado usando agregados angulares y durables. La eficiencia de la trabazón de agregados disminuye rápidamente cuando se aumenta el ancho de la fisura y la frecuencia de aplicación de cargas pesadas, al punto de que el desempeño del pavimento puede ser afectado, por ello son recomendables solo en pavimentos urbanos que llevan un reducido volumen de camiones.

### **Barras pasa-juntas**

Deben ser usadas en todas las rutas que llevan un volumen alto de camiones pesados. El propósito de las barras es transferir cargas a través de la junta, sin restringir movimientos producidos por la contracción y expansión del hormigón.

### **Bases estabilizadas**

Han sido también usadas para aumentar la transferencia de carga.<sup>6</sup>

#### **2.2.1 Espaciamiento y tipo de juntas**

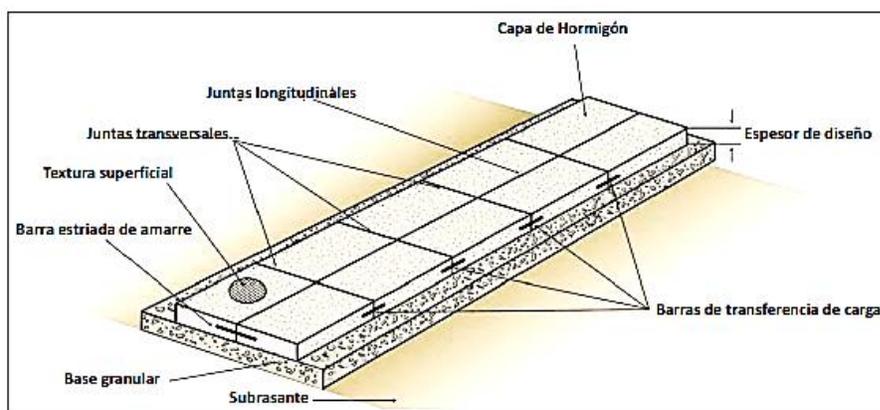
El diseño de las juntas, que deben realizarse en el concreto, forma parte integrante del sistema estructural de los pavimentos de concreto, ya que sus características (espaciamiento, tipo, dimensiones, barras, sellos, etc.) son un factor importante a considerar con relación a los esfuerzos de la losa y la durabilidad del pavimento y por lo tanto condicionan importantemente su diseño y comportamiento en servicio. Se distinguen los siguientes tipos de juntas:

---

<sup>6</sup> INSTITUTO BOLIVIANO DE CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). (2006). Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas (pág. 3). La Paz – Bolivia.

- Juntas longitudinales.
- Juntas de separación y expansión.
- Juntas transversales de contracción.
- Juntas transversales de construcción.

Imagen 2.18 Elementos principales de un pavimento rígido



Fuente: Diseño estructural de pavimentos rígidos, publicado por Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile (MINVU)

En la Imagen 2.18 se presentan los elementos principales que componen un pavimento de concreto, de manera de identificar en ella los tipos de juntas y barras.<sup>7</sup>

### 2.2.2 Juntas longitudinales

Son aquellas que van paralelas al eje central de la vía, controlan la figuración y en algunos casos delimitan las líneas de tráfico. Cuando se realiza el vaciado en una sola pasada de dos o más carriles, la transferencia de carga generalmente se produce por la trabazón mecánica de los agregados que se origina en la junta después del corte; sin embargo, se recomienda además el colocado de barras corrugadas, diseñadas en base a las recomendaciones de la Guía de Diseño AASHTO. Aunque el tiempo de corte no es tan crítico como en las juntas transversales, es conveniente efectuarlo tan pronto como sea posible especialmente cuando existen subbases estabilizadas u ocurren cambios de temperatura muy bruscos.

<sup>7</sup> MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO, GOBIERNO DE CHILE (MINVU). (2010). Diseño estructural de pavimento rígido (pág. 6). Chile.

En el caso que se realice el vaciado por carriles y se tenga pensado el uso de barras de amarre, éstas deberán colocarse de forma manual en el caso de que no se tenga un insertador automático. Se deberá tener cuidado de no hacer coincidir estas barras con las pasajuntas transversales para evitar golpes y desalineamientos.

Es recomendado que las juntas longitudinales sean cortadas y selladas para evitar la infiltración de agua.

Imagen 2.19 Junta longitudinal con barras de amarre esperando a las losas adyacentes



Fuente: Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas, Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH)

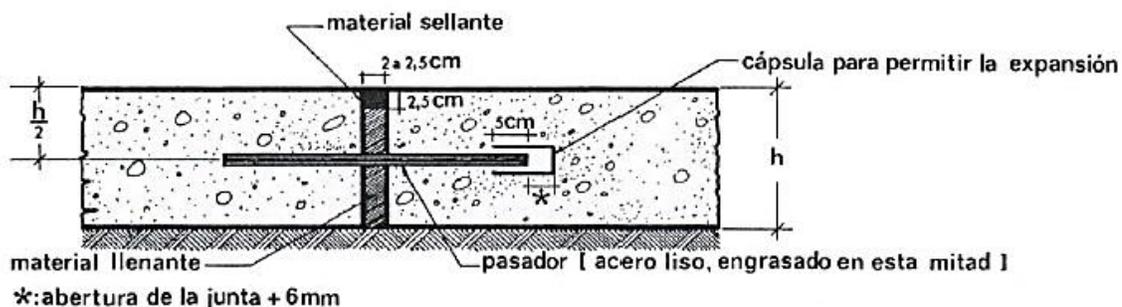
### **2.2.3 Juntas de separación y expansión**

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 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 Imagen 2.20. 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 de la superficie, finalmente se colocará el sello que deberá ser compatible con el relleno preformado.

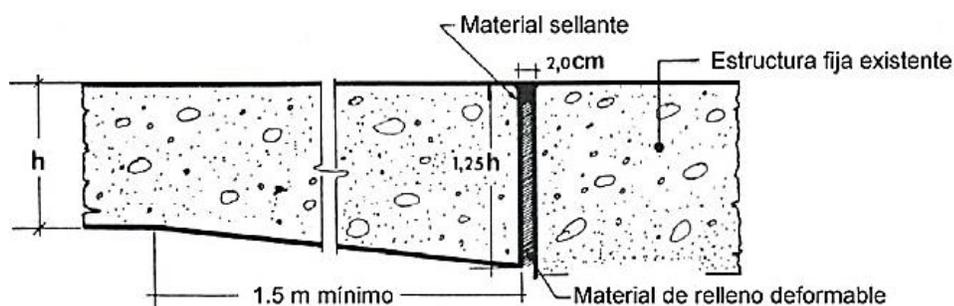
Imagen 2.20 Junta de expansión Tipo 1



Fuente: Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas, Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH)

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 Imagen 2.21. En lo que respecta al sello, se siguen las mismas recomendaciones descritas para el primer tipo de junta de expansión. 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.

Imagen 2.21 Junta de expansión Tipo 2



Fuente: Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas, Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH)

### 2.2.4 Juntas transversales de contracción

Son juntas construidas transversalmente al eje central de la vía y espaciadas para controlar la fisuración transversal de la losa. Se han realizado estudios que han demostrado que el espesor del pavimento, rigidez de la base y el clima afectan la máxima separación esperada entre juntas transversales. Otras investigaciones indican también que hay una relación general entre la longitud de la losa (L) con el radio de rigidez relativa ( $\rho$ ) y la fisuración transversal. El radio de rigidez relativa es un término definido por Westergaard que cuantifica la relación entre la rigidez de la fundación y la rigidez de la losa. El radio de rigidez relativa tiene una dimensión lineal y es determinado por la siguiente ecuación:

$$\rho = \left[ \frac{Eh^3}{12k(1 - \mu^2)} \right]^{0.25} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

$\rho$  = Radio de rigidez relativa (pulgadas).

E = Módulo de elasticidad del hormigón (psi).

h = Espesor del pavimento (pulgadas).

$\mu$  = Relación de Poisson del pavimento.

k = Módulo de reacción de la subrasante (psi).

Datos de estas investigaciones indican que hay un incremento en la fisuración transversal cuando el radio  $L/\rho$  excede 5.0. Usando el criterio de que el máximo radio  $L/\rho$  es de 5.0, el espacio de juntas disponible se incrementaría con el espesor de la losa, pero disminuiría con el incremento de las condiciones de soporte de la fundación.

El intervalo de juntas se diseña para evitar fisuras transversales intermedias. Usualmente, el espacio entre juntas no debe ser mayor a 24 veces el espesor de la losa. Es importante también mantener las losas lo más cuadradas posible. El espaciamiento entre juntas transversales tampoco debe exceder en 1.25 al ancho de la losa.

Cuando se diseñan barras pasajuntas, AASHTO recomienda usar barras de diámetro igual o mayor a  $1/8$  del espesor de la losa. La longitud de estas barras varía entre 40 a 45 cm. Las pasajuntas se colocan a la mitad del espesor de la losa, con espaciamiento de 30 cm entre ejes de barra, colocándose la primera a 15 cm de la orilla de la losa. Estas varillas deben recubrirse con materiales que eviten su adherencia con el hormigón y que las protejan contra la corrosión. Se debe tener un especial cuidado con el alineamiento; pequeñas desviaciones entre los extremos de la barra ya sea en sentido vertical u horizontal respecto a su dirección teórica que debe ser paralela al eje del pavimento, pueden ocasionar agrietamientos.

Imagen 2.22 Colocación del sello en una junta transversal de contracción



Fuente: Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas, Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH)

### **2.2.5 Juntas transversales de construcción**

Son juntas construidas al final del día de trabajo u otra interrupción de colocado si se produce un lapso mayor a 60 minutos en clima cálido y 90 minutos en clima frío, este tiempo es medido desde la elaboración del hormigón hasta su puesta en obra y posterior acabado. Cuando es posible, estas juntas deben ser construidas coincidiendo con una junta de contracción, en el caso de que esto no sea posible, su ubicación deberá ser dentro el tercio medio de la longitud de la losa y siempre en forma perpendicular a la línea central. Estas juntas, al igual que las transversales de contracción, requieren

pasajuntas lisas para proporcionar la transferencia de carga necesaria, siguiendo todas las recomendaciones ya mencionadas. Solo en el caso de que la junta se localice en el tercio central de la losa y ya existan losas adyacentes se deberán colocar barras de acero corrugado, para evitar que esta junta se refleje en las losas adyacentes. Se recomienda que estas barras sean del mismo diámetro de las barras lisas.

Para la construcción de estas juntas, se debe usar un encofrado de cara plana, perforando espacios para alojar las barras pasajuntas.<sup>8</sup>

Imagen 2.23 Junta transversal de construcción



Fuente: Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas, Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH)

### **2.3 COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS**

Los pavimentos deben ser diseñados, construidos y mantenidos con la finalidad de lograr un comportamiento funcional y estructural óptimo durante su ciclo de vida.

---

<sup>8</sup> INSTITUTO BOLIVIANO DE CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). (2006). Lineamientos generales para el diseño geométrico de juntas (pág. 6). La Paz – Bolivia.

### **2.3.1 Comportamiento funcional**

Son los aspectos que afectan la calidad de la carpeta de rodadura y por ello están relacionados con la comodidad y seguridad de los usuarios de la vía.

### **2.3.2 Comportamiento estructural**

Aspectos relacionados a la integridad como estructura del pavimento. Es la capacidad del pavimento para soportar la acción combinada del tránsito y el medioambiente.

Una adecuada construcción del pavimento es un parámetro que impacta enormemente en la durabilidad del mismo. Es decir, el pavimento comienza bien y a medida que las cargas de tránsito circulan a través de la carpeta se va deteriorando. El clima es un factor que también interviene en el deterioro de los pavimentos, y que recientemente ha sido incorporado en las metodologías de diseño.<sup>9</sup>

## **2.4 MÉTODOS TRADICIONALES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS**

### **2.4.1 Método de diseño PCA**

El método de diseño de la Portland Cement Association, es exclusivamente un método de diseño desarrollado para pavimentos de concreto hidráulico. Los aspectos indicados en este apartado se basan principalmente en lo indicado en el manual de diseño de la PCA (Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements) edición 1984.

En general, el método de diseño de la PCA está basado en:

Análisis comprensivo de esfuerzos en el concreto y deflexiones en las juntas del pavimento, esquinas, y bordes, por un programa de computadora de elemento finito.

Modelos y pruebas a escala verdadera como la Arlington Test y varios proyectos de investigación dirigidos por la PCA y otras agencias acerca de sub-bases, juntas y hombros de concreto.

---

<sup>9</sup> ING. BECERRA SALAS, Mario. (2012). Tópicos de pavimentos de concreto diseño, construcción y supervisión (Pág. 7). Ciudad de Lima.

Pavimentos experimentales sujetos a pruebas de tráfico controlado, tales como la Bates Test Road, the Pittsburg Test Highway, the Maryland Road Test, the AASHO Road Test, y estudios de pavimentos de autopistas en servicio realizado por varios departamentos de estado de transporte.

El desempeño de pavimentos construidos normalmente sujetos a tráficos normales.

#### **2.4.1.1 Criterios de diseño del método de la PCA**

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de falla: el criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas y el criterio del esfuerzo de fatiga.

El criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas, el cual reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo (erosión del terreno de soporte de la losa de concreto) y diferencias de elevaciones en las juntas.

El criterio del esfuerzo de fatiga, el cual reconoce que el pavimento pueda fallar debido a excesivas repeticiones de carga.

#### **2.4.1.2 Factores de diseño del método de la PCA**

El diseño de espesores se realiza basándose principalmente en cinco factores:

Resistencia a la flexión del concreto, (Módulo de ruptura, MR).

Soporte de la subrasante, o de la combinación de subbase y subrasante, (K).

Periodo de diseño.

Los pesos, frecuencias, y tipo de tráfico pesado que el pavimento soportará.

Factor de seguridad para las cargas, (FS).<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> SÁNCHEZ CAMPOS, Pablo Emilio. (2014). Método de diseño de losas de dimensiones superficiales optimizadas, en pavimentos de concreto hidráulico (Pág.75). El Salvador, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Trabajo fin de Grado.

## 2.4.2 Método de diseño AASHTO

### 2.4.2.1 Principios del método AASTHO en pavimentos rígidos

El procedimiento incluido en la guía AASHTO determina el espesor **D** de un pavimento de hormigón para que éste pueda soportar el paso de un número **W18** de ejes equivalentes de 18 kilolibras (8,2 t) sin que se produzca una disminución en el índice superior a un cierto valor  $\Delta$  **PSI**. Dicho índice de servicio **PSI** es un valor que se calcula a partir de una serie de medidas en el pavimento (regularidad superficial, agrietamiento, baches), y que se ha comprobado que tiene una buena correspondencia con la calificación subjetiva que dan al mismo los usuarios.

La fórmula que relaciona las tres variables anteriores es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_o + 7,35 \times \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{4,5 - 1} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 1}{(D + 1)^8}}$$

$$+ (4,22 - 0,32p_t) \times \log_{10} \left[ \frac{S_c * C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 * J \left[ D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c / k)^{0,25}} \right]} \right]$$

Ecuación. 2.2

Donde:

**W<sub>18</sub>** = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 t, a lo largo del periodo de proyecto.

**Z<sub>R</sub>** = Fractil de la ley normal asociado al nivel de fiabilidad con el que se desea proyectar el pavimento.

**S<sub>o</sub>** = Desviación estándar que combina por una parte la desviación estándar media de los errores de predicción del tráfico durante el periodo de proyecto, y por otra la desviación estándar de los errores en la predicción del comportamiento del pavimento (expresado en ejes de 8.2 t) al alcanzar un determinado índice de servicio terminal.

**D** = Espesor del pavimento de hormigón (en pulgadas).

$\Delta$ **PSI** = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

**P<sub>t</sub>** = Índice de servicio final.

$S_c$  = Resistencia media del hormigón (en psi, libras por pulgada cuadrada) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz).

$C_d$  = Coeficiente de drenaje.

$J$  = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

$E_c$  = Módulo de elasticidad del hormigón, en psi.

$K$  = Módulo de reacción o de balasto (en psi, libras por pulgada cúbica) de la superficie (base, sub-base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de hormigón.

El método de diseño para estructuras de pavimento que propone la AASHTO en la edición de 1993, se basa principalmente en la información y en los datos empíricos obtenidos de la prueba AASHTO Road Test, llevada a cabo durante el periodo de 1958 a 1960 en Ottawa Illinois. “El objetivo principal de esta prueba fue determinar relaciones significativas entre el comportamiento de varias secciones de pavimento y las cargas aplicadas sobre ellas que pudiesen ser usadas en el desarrollo de criterios y procedimientos de diseño de pavimentos”.

De la evaluación de ambos métodos se ha determinado que en losas con longitudes inferiores a 450 cm reflejan mejores resultados respecto a su comportamiento mecánico, así como la disminución de espesores, ya que las losas se ven sometidas a menores cargas y sollicitaciones, en función de la estandarización de las dimensiones de los diferentes tipos de vehículos, que se ve reflejado en el número de ejes equivalentes a los que son sometidas cada una de las losas.<sup>11</sup>

## **2.5 ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS**

### **2.5.1 Concepto de esfuerzo**

Los esfuerzos a que está sometido un pavimento rígido se originan por una gran diversidad de causas, entre las que se puede mencionar los cambios uniformes y no uniformes de temperatura, cambios de humedad y cargas del tránsito.

---

<sup>11</sup> SÁNCHEZ CAMPOS, Pablo Emilio. (2014). Método de diseño de losas de dimensiones superficiales optimizadas, en pavimentos de concreto hidráulico (Pág. 60). El Salvador, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Trabajo fin de Grado.

## 2.5.2 Tipos de esfuerzos

### 2.5.2.1 Esfuerzos producidos por cambio de temperatura

#### Alabeo por gradiente térmico

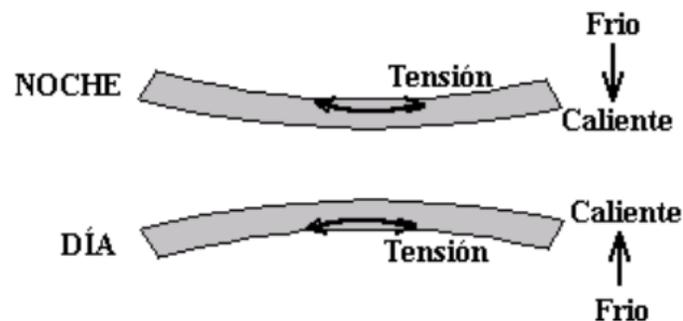
Al cambiar la temperatura ambiente durante el día, también cambia la temperatura del pavimento.

Este ciclo térmico crea un gradiente térmico en la losa, el cual produce un alabeo en la misma.

El peso propio de la losa y su contacto con la superficie de apoyo restringen el movimiento, generándose esfuerzos.

Dependiendo de la hora del día, estos esfuerzos se pueden sumar o restar de los efectos producidos por las cargas del tránsito.

Imagen 2.24 Alabeo de las losas de los pavimentos de concreto



Fuente: Curso básico de diseño de pavimentos. Módulo 3, Ing. Fernando Sánchez Sabogal

#### Contracciones durante el fraguado.

La fricción entre la losa y la fundación, debido a la caída de temperatura durante el fraguado del concreto, produce esfuerzos en el concreto y en la armadura que contenga.

El diseño de la armadura de refuerzo de un pavimento rígido se basa en la consideración de los esfuerzos de fricción.

Los esfuerzos friccionales solo son importantes en losas de gran longitud.

## Expansión y contracción por cambios uniformes de temperatura

Las aberturas de las juntas cambian a causa de los cambios de temperatura, alterando las condiciones de transferencia de carga.

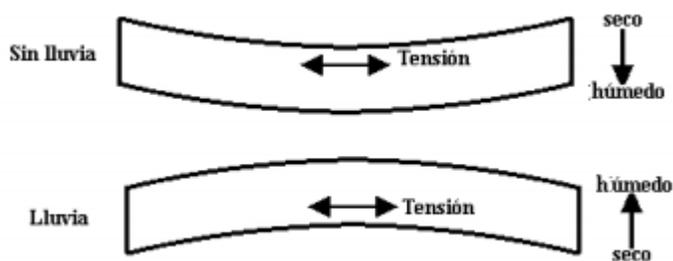
Las características de contracción controlan la abertura de las juntas transversales del pavimento.

El material que se coloque para sellar las juntas deberá ser capaz de soportar, sin desprenderse, los movimientos del concreto cuando ocurra la máxima contracción.<sup>12</sup>

### 2.5.2.2 Esfuerzos producidos por cambios de humedad

El humedecimiento y secado del concreto genera un fenómeno similar al que se produce cuando se presentan gradientes térmicos. Los cambios de humedad generan un encogimiento, o un alargamiento, de menor magnitud a los que se producen por los gradientes térmicos y se deben tener en cuenta al calcular los cambios dimensionales. Los gradientes de humedad en el espesor generan encorvamientos (alabeos) en la superficie de los elementos de concreto, que pueden afectar el comportamiento de cualquier pieza puesta sobre esa superficie.

Imagen 2.25 Alabeo por cambio de humedad



Fuente: Curso básico de diseño de pavimentos. Módulo 3, Ing. Fernando Sánchez Sabogal

<sup>12</sup> SANCHEZ Sabogal Fernando. Curso Básico de Diseño de Pavimentos, Modulo 3. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2018, 17 de Octubre. Disponible desde la URL: <https://es.scribd.com/doc/213312262/Curso-Basico-de-Pavimentos-Sabogal>

### 2.5.2.3 Esfuerzos producidos por las cargas del tránsito

Las losas de concreto hidráulico al estar expuestas a cargas de tránsito presentan los siguientes esfuerzos:

Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.

Esfuerzos directos de compresión y cortante causados por las cargas de las ruedas.

Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la de flexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.

Los esfuerzos más importantes debido a las cargas son los de flexión, dado el alto impacto que tiene sobre la estructura.<sup>13</sup>

### 2.5.3 Concepto de deformación

Un pavimento se deforma bajo la acción de una carga, que depende tanto de la magnitud de la carga como de su área de aplicación y posición dentro de la losa. La resistencia a la deformación depende de la rigidez del medio de soporte y de la rigidez de la losa.<sup>14</sup>

### 2.5.4 Concepto de elementos finitos

El método de los elementos finitos (MEF en castellano o FEM en inglés) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El MEF está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas.<sup>15</sup>

## 2.6 PROPIEDADES DE PAVIMENTO RÍGIDO

El concreto que se empleará en este tipo de pavimentos deberá ser durable y resistente a las cargas y al desgaste.

---

<sup>13</sup> SANCHEZ Sabogal Fernando. Curso Básico de Diseño de Pavimentos, Modulo 3. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: <https://es.scribd.com/doc/213312262/Curso-Basico-de-Pavimentos-Sabogal>

<sup>14</sup> SANCHEZ Sabogal Fernando. Pavimentos Tomo 1 – Fundamentos Teóricos y Guías para el Diseño, Primera Edición (pág. 35). Universidad la Gran Colombia. Bogotá, 1984.

<sup>15</sup> WIKIPEDIA. Método de los Elementos Finitos. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2018, 17 de Octubre. Disponible desde la URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo\\_de\\_los\\_elementos\\_finitos](https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos).

Es necesario que cada una de estas propiedades se tenga en cuenta cuando se haga el diseño de la mezcla, por fortuna estas propiedades están ligadas directamente entre sí esto es si un concreto es fuerte es lógico suponer que sea durable y resistente al desgaste.

### 2.6.1 Propiedades del concreto

Son tres las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil:

Resistencia a la tensión por flexión ( $S'c$ ) módulo de ruptura (MR).

Módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ).

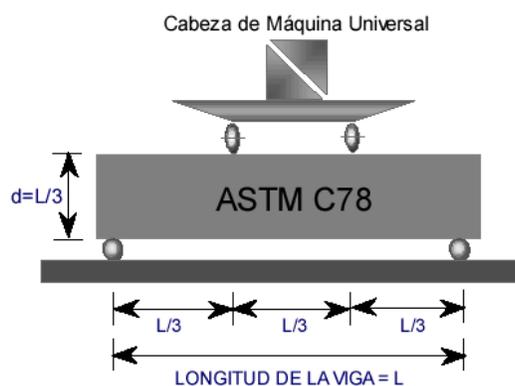
Durabilidad.

#### Módulo de ruptura (MR)

Los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión; se recomienda que su especificación de resistencia sea trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión ( $S'c$ ) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

El módulo de ruptura se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo. Esta prueba está normalizada por la ASTM C78. Existe una prueba similar con la aplicación de la carga al centro del claro que genera resultados diferentes de resistencia a la flexión (aprox. 15% a 20% mayores) pero que no son los que considera AASHTO para el diseño.

Imagen 2.26 Esquema de medida del módulo de rotura ASTM C78



Fuente "Pavimentos rígidos" Universidad Nacional de Colombia

Los valores recomendados para el Módulo de Ruptura varían desde los 41 kg/cm<sup>2</sup> (583 psi) hasta los 50 kg/cm<sup>2</sup> (711 psi) a 28 días dependiendo del uso que vayan a tener. En seguida se muestran valores recomendados, sin embargo el diseñador deberá elegir de acuerdo a un buen criterio.

De la resistencia promedio a la flexión del concreto (módulo de ruptura), el ACI especifica que este no debe ser menor de 45 kg. /cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad.

Pero si las características previamente conocidas de los cementos y agregados disponibles, indican que es difícil obtener esta resistencia económicamente, puede especificarse una resistencia promedio a la flexión de 42 kg/cm<sup>2</sup> siempre y cuando el peralte de la losa se diseñe de acuerdo con esta resistencia.

Tabla 2.1 Recomendaciones para módulos de ruptura

Tipo de pavimento	Módulo de Ruptura (MR) recomendado	
	Kg/ cm <sup>2</sup>	psi
Autopista	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas industriales	45.0	640.1
Urbanas principales	45.0	640.1
Urbanas secundarias	42.0	597.4

Fuente “Pavimentos Rígidos” Universidad Nacional de Colombia

Según el comité ACI, la resistencia promedio a la compresión del concreto a los 28 días no será menor de 280 kg/cm<sup>2</sup>; esta resistencia se toma como base para el diseño de la pasa junta y los tensores.

### **Módulo de elasticidad del concreto (EC)**

Está íntimamente relacionado con su módulo de ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el módulo de elasticidad a partir del módulo de ruptura.

## **Durabilidad**

En lugares donde el concreto está sujeto a condiciones severas de congelamiento y deshielos, deberá usarse concreto con aire incluido, y el proporcionamiento será tal que el agua de mezclado incluyendo el agua libre en los agregados, pero sin considerar el agua absorbida por estos, no debe exceder de 0.53 lts. por kg de cemento.

En ningún caso el agua de mezclado excederá de 0.58 lts. por kg de cemento en una revoltura el contenido de cemento no será menor de 280 kg- por metro cúbico de concreto.

### **2.6.2 Resistencia del concreto**

La resistencia de un concreto, normalmente aumenta con la edad. Dicho aumento se produce muy rápidamente durante los primeros días posteriores a su colocación, resultando más gradual al transcurrir el tiempo, aún continuará incrementándose en una proporción más reducida durante un periodo de tiempo indefinido.

#### **Resistencia a la compresión**

Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión.

#### **Resistencia a la flexión**

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida que la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura (MR)

en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios).

Este parámetro es aplicado en estructuras tales como pavimentos rígidos; debido a que los esfuerzos de compresión que resultan en la superficie de contacto con las llantas de un vehículo y el pavimento son aproximadamente iguales a la presión de inflado de las mismas, la cual en el peor de los casos, puede llegar a ser de 5 a 6 kg/cm<sup>2</sup>, este esfuerzo de compresión sobre un pavimento de concreto hidráulico resulta sumamente bajo con la relación a la resistencia a la compresión del concreto que normalmente varía entre 150 y 350 kg/cm<sup>2</sup> en nuestro medio.

## **2.7 CARACTERÍSTICAS DE PAVIMENTO RÍGIDO**

Son muchas las características del pavimento rígido dónde algunas de ellas hacen críticas en determinadas circunstancias. Sin embargo, desde un punto de vista general son dos las propiedades principales de mayor envergadura. La primera es la relativa a la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco, la cual se conoce como manejabilidad, ductilidad, trabajabilidad, asentamientos, entre otros. La segunda es el grado de endurecimiento o resistencia capaz de adquirir el concreto.

La fluidez suele medirse con ensayos que evalúan el grado de plasticidad de la mezcla. La resistencia se determina mediante ensayos mecánicos de compresión o tracción sobre las probetas normalizadas. Con los resultados a la compresión el conocedor puede hacer estimaciones sobre la resistencia a otros tipos de tensiones, tales como la flexión, corte o tracción.

Las características que se pueden observar de un pavimento de concreto se deben principalmente a la estructura y propiedades de este material; se mencionan a continuación algunas de esas características:

### **Alta resistencia**

El pavimento de concreto posee una alta resistencia a la flexión y compresión; estas dependen principalmente del material (cemento) en combinación con los agregados

pétreos que la conforman. Aquella, simplemente no puede ser alcanzada por un asfalto debido a las características de sus materiales.

### **Rigidez**

La rigidez o inflexibilidad, está en función de la resistencia del concreto en forma de losas y del módulo de elasticidad del concreto (E). Esta característica de las losas, es la que da precisamente el nombre al tipo de pavimento, ya que, como se menciona más adelante, es la encargada de resistir la mayoría de los esfuerzos y deformaciones que se producen por efecto del tránsito y transmite niveles de carga sumamente bajos al terreno de apoyo, es decir a la sub - base, la subrasante y las terracerías.

### **Estabilidad de la superficie de rodamiento**

Resulta fuera de toda duda que la característica más importante de un pavimento rígido, desde el punto de vista del usuario, es la calidad de la superficie de rodamiento, ya que, si se siguen las técnicas de construcción adecuadas y las normas técnicas, que para el caso se sugieren, nos proporcionará una superficie plana, de mayor estabilidad y seguridad en el manejo. Las superficies de un pavimento de concreto son altamente estables y seguras.

### **Color**

Tal vez, esta característica sea despreciada por muchos proyectistas de pavimentos a la hora de hacer una elección por uno de asfalto o de concreto, pero se ha demostrado que el color natural que da el cemento portland al concreto, hace que éste posea una alta refractancia a la luz; tal vez en algunas horas del día puede ser un poco molesto pero en la noche hace que el pavimento de concreto sea mucho más visible que el asfáltico, y esto representa un enorme ahorro en cuanto a iluminación y al mantenimiento de éste.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> BDIGITAL.UNALEDU.CO. Pavimento rígido. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2018, 17 de Octubre. Disponible desde la URL: <http://bdigital.unal.edu.co/58369/PavimentoRigido>

## 2.8 NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

### 2.8.1 Sistema de losas cortas con fibra

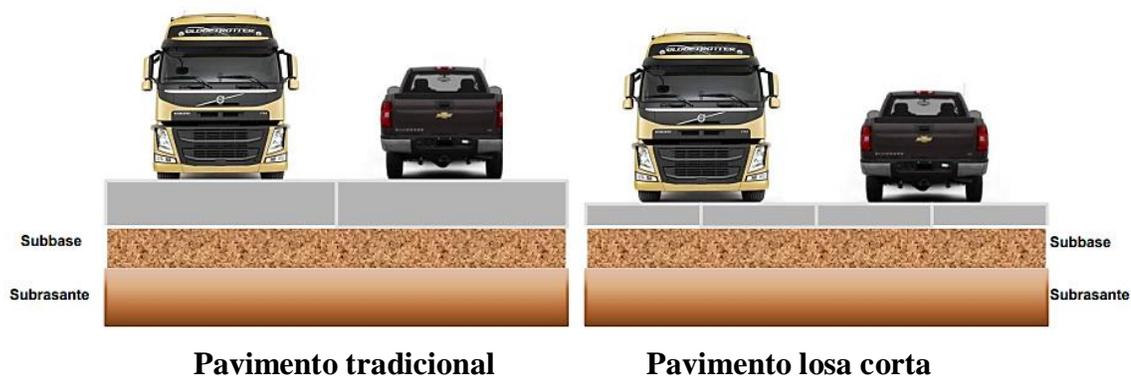
Es importante comprender el comportamiento de los pavimentos de hormigón.

En los últimos años, el estudio de las losas de concreto y su comportamiento han dado como resultado la aplicación de nuevas tecnologías para el diseño de carreteras. Este sistema consiste en rediseñar las dimensiones de las losas, las losas tradicionales que generalmente están entre los 4.50m por 3.60m a losas cortas de dimensiones menores.

Debido a este redimensionamiento se pueden disminuir los espesores de las capas de concreto para las carpetas de rodadura, además, se deja a un lado la utilización de acero de refuerzo, lo que ha reducido los precios en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.

El largo y ancho de las losas tiene un importante efecto en las tensiones en el hormigón, que es la causa del agrietamiento producido por fatiga. También tiene un efecto la posición de las ruedas sobre las losas. Esta combinación de posición de las ruedas y la geometría de las losas es una innovación que está protegida por solicitudes de patente presentadas a nivel mundial.

Imagen 2.27 Pavimentos de hormigón tradicionales vs pavimentos de losas cortas



Fuente: Congreso Iberoamericano de Pavimentos de Hormigón (Puerto Iguazú, Argentina 2015).

Imagen 2.28 Pavimentos de hormigón tradicionales vs pavimentos de losas cortas con fibra



Fuente: Congreso Iberoamericano de Pavimentos de Hormigón (Puerto Iguazú, Argentina 2015).

La fibra puede incluirse si se quiere lograr algunos de los siguientes objetivos:

Optimizar muchos más el diseño (reducir espesores).

Controlar temas de retracción (en este caso no necesariamente se reduce el espesor).<sup>17</sup>

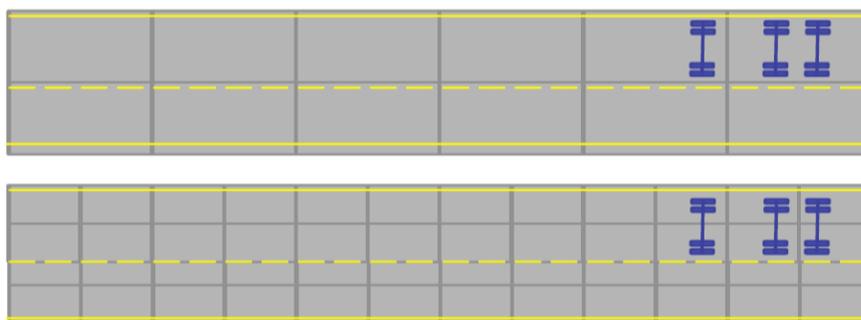
La tecnología de diseño y construcción de losas, dimensiona éstas de forma tal que ellas nunca sean cargadas por más de un set de ruedas del camión, logrando con esto disminuir significativamente las tensiones en dicha losa (Covarrubias).

Utilizar dimensiones de losas más pequeñas produce un menor agrietamiento de las mismas y una mayor tolerancia a la carga por eje del camión.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> FEDERACIÓN IBEROAMERICANA DEL HORMIGÓN. (2015). Congreso Iberoamericano de pavimentos de hormigón (pág. 14). Puerto Iguazú – Argentina.

<sup>18</sup> FEDERACIÓN IBEROAMERICANA DEL HORMIGÓN. (2015). Congreso Iberoamericano de pavimentos de hormigón (pág. 12). Puerto Iguazú – Argentina.

Imagen 2.29 Comparación en planta de losa tradicional respecto de la losa corta



Fuente: Congreso Iberoamericano de Pavimentos de Hormigón (Puerto Iguazú, Argentina 2015)

### 2.8.2 Consideraciones del sistema de losas cortas

La investigación del método de losas cortas habla de los esfuerzos que sufren las losas debido al alabeo y a la posición de los ejes traseros y delanteros de vehículos pesados en los bordes. Se consideran factores de deformaciones por alabeo, por la rigidez de las bases, del largo de las losas, tensiones propias del concreto y del efecto de adherencia.

#### Posición de las cargas y dimensión de las losas

Imagen 2.30 Diseño tradicional



Fuente: Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile – ICH Junio de 2012

Imagen 2.31 Diseño de losa corta



Fuente: Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile – ICH Junio de 2012

### 2.8.3 Descripción del método constructivo de losas cortas

El método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico brinda otra alternativa técnica para la construcción de pavimentos rígidos, estableciendo como base fundamental para la concepción del método, la reducción de esfuerzos de flexión en las losas de la estructura del pavimento.

También busca el menor número de repeticiones de carga por eje, basados en un análisis de fatiga del concreto, reduciendo el agrietamiento, evitar la falla por bombeo en las losas y el problema en las juntas durante el periodo de diseño.

Debe considerarse la posibilidad de evaluar losas de concreto hidráulico con refuerzo de acero o bien simples (sin refuerzo).

El método de losas cortas ha tomado y analizado los resultados de la evaluación de elementos finitos por medio de programas o software, los cuales utiliza elementos de un análisis de métodos empírico mecanicista de diseño.

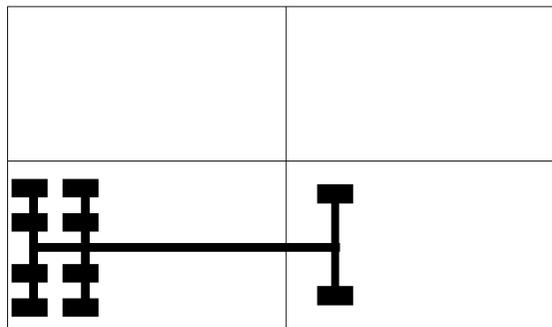
Para la realización del análisis de elementos finitos se contemplan la evaluación de diferentes variables, principalmente estructurales, materiales y medio ambiente.

Entonces si la finalidad del análisis de elementos finitos en losas cortas es la distribución de cargas y el comportamiento que tiene en las mismas los efectos de alabeo provocado por los gradientes térmicos, hace necesario reflejar la importancia que tiene la distancia entre las juntas longitudinales y transversales en el pavimento terminado, como se muestra en la figura 3.5.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> ROMÁN AVILA, Luis Rolando. (2008). Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico (Pág. 15). Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Trabajo de maestría en Ciencias de la Ingeniería Vial.

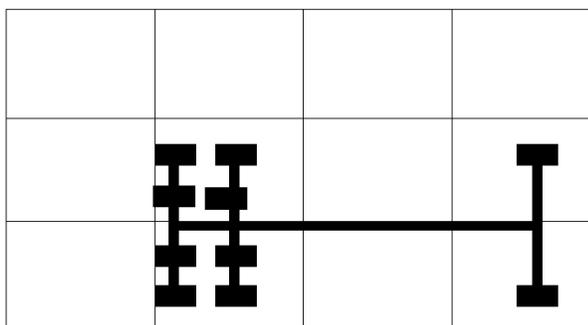
Imagen 2.32 Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas largas rectangulares de 450 X 350cm



Fuente: Métodos constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico, Román Ávila Luis Rolando

Redistribuyendo las cargas sin concentrar la mayoría de las cargas solamente en una sección de la losa, se propone:

Imagen 2.33 Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas cortas cuadradas de 180cm



Fuente: Métodos constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico, Román Ávila Luis Rolando

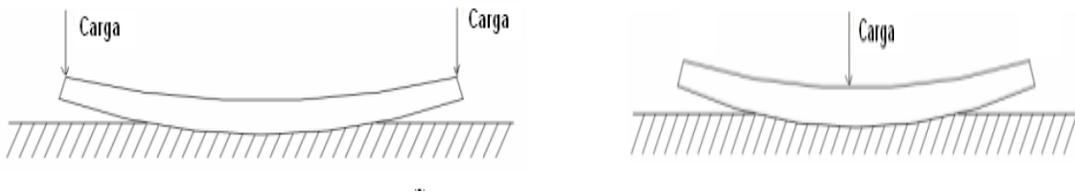
## 2.9 FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

### 2.9.1 Efecto de la rigidez de la base en el largo del voladizo y tensiones de tracción

En el diseño AASHTO, se considera como óptimo un largo de losa de 4,5 metros, con un ancho igual al ancho de la pista. Esta dimensión de la losa hace que el camión la pise con el eje delantero en un borde y los ejes traseros en el otro borde.

En el sentido transversal, las ruedas de un lado del camión pisan cerca de un borde y las del otro lado cerca del otro borde. En ambos casos el camión “plancha” la losa generando las grietas transversales y longitudinales. (Covarrubias, 2007).

Imagen 2.34 Esquema del alabeo de una losa y forma de cargar

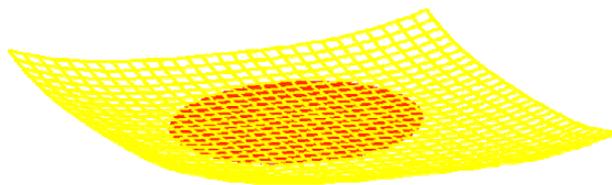


Fuente: Pavimentos delgados de hormigón, Dr. Juan Pablo Covarrubias

Al alabearse la losa y levantar sus bordes, su apoyo en la base es un círculo (Ver imagen 2.34) cuya dimensión depende de la rigidez de la base. Si la base es muy rígida, el círculo será pequeño y los voladizos largos.

Esto genera tensiones de tracción altas en la cara superior, cuando la losa es pisada por un camión. Al revés, si la base es muy poco rígida, el círculo rojo será mayor y el largo del voladizo menor, por lo tanto, en este caso las tensiones de tracción en la cara superior serán menores, pero aumentarán las tensiones de tracción en la cara inferior, cuando el camión pisa el centro de la losa. Lo aconsejable es trabajar con valores soporte del suelo entre 30 y 50% para encontrar una rigidez ideal. (Covarrubias, 2007).

Imagen 2.35 Alabeo medido en una losa de piso industrial

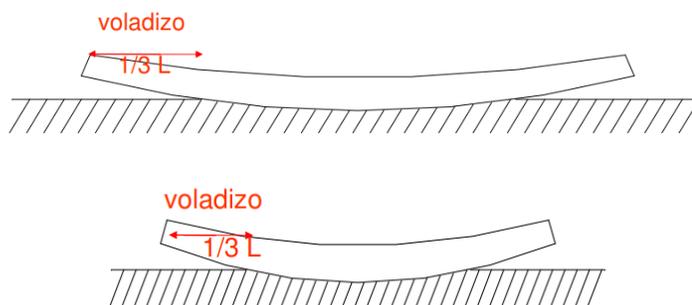


Fuente: Fuente: Pavimentos delgados de hormigón, Dr. Juan Pablo Covarrubias

### 2.9.2 Efecto del largo de la losa

Cuando una losa se alabea generalmente deja un voladizo que es aproximadamente un tercio de su longitud. Por lo tanto, cuanto mayor sea la losa, mayor será el voladizo que se generará. Es por lo mismo que se recomienda reducir las dimensiones de las losas.

Imagen 2.36 Efecto del largo de la losa



Fuente: Pavimentos delgados de hormigón, Dr. Juan Pablo Covarrubias

### 2.9.3 Efecto del alabeo en las losas de concreto

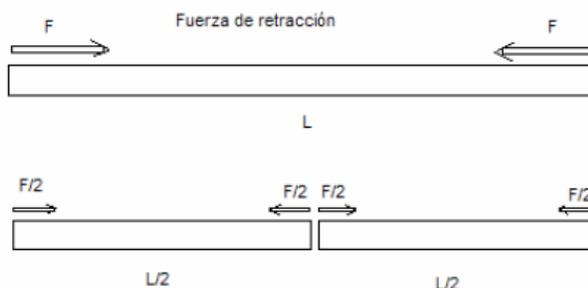
El alabeo se produce por una fuerza ubicada en la superficie de la losa, la cual se origina por el secado y la retracción causada por un diferencial térmico en la misma superficie de concreto.

El alabeo causado por secado se debe a un diferencial de humedad entre la parte superior e inferior de la carpeta, la parte superior siempre está seca mientras que la parte inferior se encuentra bajo la acción de la humedad de la tierra condensada bajo el pavimento. Esto produce un alabeo hacia arriba.

El alabeo por construcción se reduce considerablemente con la aplicación de buenas prácticas constructivas.

La colocación del concreto en la tarde reduce el alabeo por retracción térmica de la losa, si se efectúa durante las horas más calurosas del día la parte superior de la carpeta se secará y endurecerá a mayor velocidad. Mientras mayor sea la longitud de la losa, mayores fuerzas de alabeo se presentarán.

Imagen 2.37 Las losas de menor longitud tienen menores fuerzas de superficie, lo que disminuye el alabeo



Fuente: Pavimentos delgados de hormigón, Dr. Juan Pablo Covarrubias

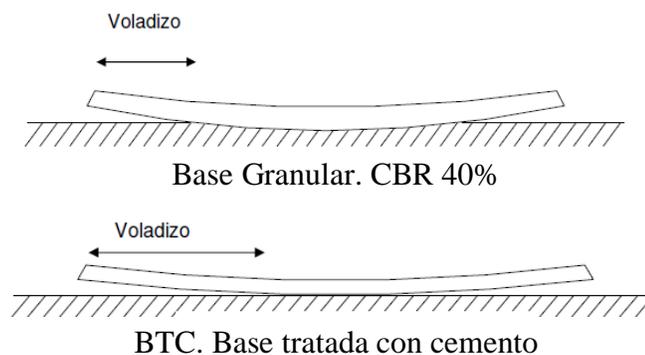
### 2.9.4 Rigidez de las bases

Una base muy rígida reduce el apoyo que la losa tendrá sobre la base al momento de que se produzca el alabeo, lo cual generará voladizos de mayor tamaño. Cuando una carga es aplicada en los bordes de la losa se producirán grandes esfuerzos de tensión en la superficie y grietas de la superficie hacia abajo.

Si la base es muy blanda, una carga en el centro de losa producirá esfuerzos por tensión en la base de la losa y grietas desde la base hacia arriba, debido a que la losa estará completamente apoyada y se deformará sobre una superficie deformable.

Lo aconsejable es trabajar con valores soporte del suelo entre 30 y 50% para encontrar una rigidez ideal.

Imagen 2.38 Voladizo creado por la rigidez de las bases

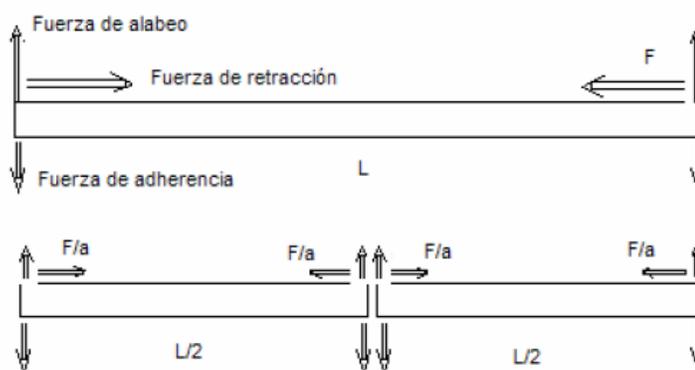


Fuente: Pavimentos delgados de hormigón, Dr. Juan Pablo Covarrubias

### 2.9.5 Efecto de adherencia

El alabeo hace que se levanten los bordes de las losas del pavimento. Para compensar esta fuerza, la adherencia brinda una fuerza vertical contraria a la del alabeo. Si la fuerza de adherencia es igual o mayor al alabeo hará que la losa se mantenga plana sobre la base, es decir, no habrá voladizo ni esfuerzos de tracción en la carpeta. Durante la construcción se debe tener cuidado especial en tratar de obtener la máxima adherencia de la losa a su base.

Imagen 2.39 Efecto de la adherencia en las losas de concreto



Fuente: Pavimentos delgados de hormigón, Dr. Juan Pablo Covarrubias

### 2.9.6 Tensiones en losas cortas

Podemos apreciar que en losas de largo y ancho tradicional, los ejes delanteros y traseros y las ruedas de un mismo eje de los camiones se posan y cargan la losa en los bordes, planchándolas cuando tienen los bordes levantados.

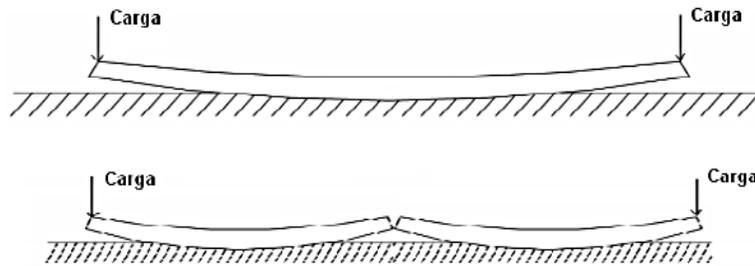
Esta posición de las cargas genera tensiones de tracción en la cara superior de las losas, generando grietas que se inician de arriba hacia abajo.

Cuando la losa tiene un largo menor a la distancia entre los ejes delantero y trasero del camión o un ancho menor a la distancia entre ruedas de un mismo eje, como indican los diseños de pavimentos delgados, las losas son cargadas con un set de ruedas por losa.

Esto disminuye en forma importante las tensiones en el hormigón, disminuyendo el consumo de fatiga por pasada y mejorando el comportamiento. (Covarrubias, 2007).

Imagen 2.40 Efecto de la configuración geométrica de las cargas versus las losas

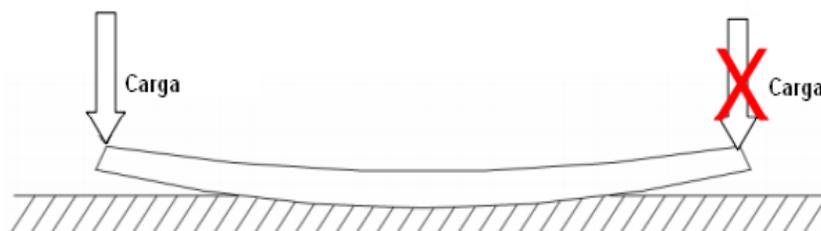
**Cada carga representa una rueda del camión**



Fuente: Pavimentos delgados de hormigón, Dr. Juan Pablo Covarrubias

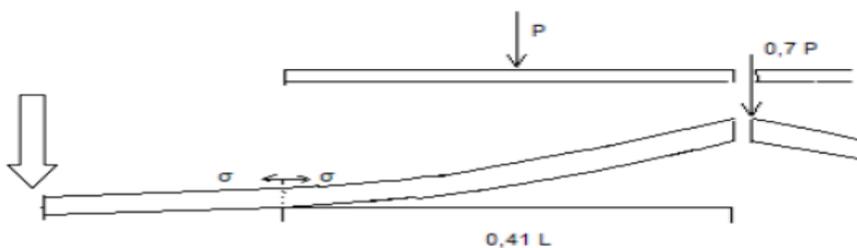
Sin embargo, se debe considerar el peso del hormigón de la losa. Cuando la losa es cargada en uno de sus bordes, el otro se levanta, levantando la losa siguiente. Esto se muestra en la figura siguiente. En este caso, el peso de la losa produce tensiones en la cara superior en el punto de apoyo. Considerando un voladizo de 0,41 veces el largo, tomado de mediciones en USA y se puede apreciar que los valores de estas tensiones son altas y del mismo orden de magnitud que las tensiones producidas por las cargas. Esto ha evitado hasta ahora poder tener pavimentos de hormigón delgados. Se puede también apreciar que al acortar las losas, estas tensiones disminuyen su magnitud a valores bastante menores a los de las cargas. Para este análisis se consideró un traspaso de cargas de 70% entre losas.

Imagen 2.41(a) Nueva configuración geométrica con una carga por losa



Fuente: Pavimentos delgados de hormigón, Dr. Juan Pablo Covarrubias

Imagen 2.41 (b) Nueva configuración geométrica con una carga por losa



Fuente: Pavimentos delgados de hormigón, Dr. Juan Pablo Covarrubias

## 2.10 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El método de los elementos finitos es un método numérico utilizado frecuentemente para obtener la solución aproximada de un sistema de ecuaciones diferenciales parciales, permitiendo encontrar soluciones apropiadas para diversos campos de la ingeniería, uno de los tópicos en el que se utiliza más comúnmente es en los problemas físicos que poseen geometrías muy complicadas lo que hace necesario el uso de un computador para llevar a cabo la implementación del método.

El método es altamente utilizado ya que permite obtener una solución numérica aproximada sobre el comportamiento de una estructura, sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales que se encargan de definir el comportamiento físico del problema dividiéndolo en un número elevado de subdominios no intersectantes entre sí, esto se denomina elementos finitos.

Dentro de cada elemento se encuentran una serie de puntos que permiten el movimiento de cada elemento, estos puntos son denominados nodos y son adyacentes entre ellos si pertenecen al mismo elemento, también un nodo sobre la frontera puede pertenecer a varios elementos, el conjunto de nodos y las relaciones que existen entre ellos constituyen una malla, esta malla es de gran importancia ya que a partir de esta se realiza la discretización del dominio en elementos finitos, y a su vez permite realizar los cálculos sobre cada uno de los nodos. La construcción de la malla generalmente se realiza a partir de programas especializados.

El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable y los nodos se puede expresar como un sistema de ecuaciones donde el número de ecuaciones es proporcional al número de nodos, este sistema también puede ser escrito como una matriz llamada matriz de rigidez global.

Generalmente el método de elementos finitos se programa computacionalmente para calcular los desplazamientos, las deformaciones y tensiones cuando se trata de un problema de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. Dada la dificultad de encontrar la solución a estos problemas de manera analítica, con frecuencia en la práctica los métodos numéricos y, en particular, los elementos finitos, se convierten en una herramienta alternativa para encontrar estas soluciones, ya que la convergencia de esta metodologías puede decirse es buena.

### **2.10.1 Respuesta del modelado estructural del pavimento rígido**

Para la realización de la metodología de diseño debemos tomar en cuenta lo siguiente:

La selección del programa de elementos finitos para el desarrollo de la estructura del modelo.

El desarrollo de modelos de elementos finitos para determinar los esfuerzos críticos en las losas del pavimento.

### **2.10.2 Selección de programa de elementos finitos**

El rendimiento de los pavimentos rígidos depende de los esfuerzos y deformaciones impuestas por repeticiones de cargas de tráfico y ambientales. Por ejemplo, el agrietamiento transversal en los pavimentos JPCP se rige por los máximos esfuerzos de tracción (tensión) en la parte inferior de la losa de concreto. Por lo tanto, predicciones fiables de las respuestas del pavimento son esenciales para la realización de un diseño adecuado. El modelo estructural utilizado para esas predicciones debe cumplir los siguientes requisitos:

El modelo debe describir adecuadamente la estructura del pavimento (capas construidas y subrasante).

El modelo debe tener en cuenta las discontinuidades en las estructuras de pavimento (juntas).

El modelo debe ser capaz de analizar múltiples carga de ruedas.

El modelo debe ser capaz de analizar la carga del medio ambiente (como el alabeo debido a la temperatura y la deformación por humedad).

La utilización de métodos de elementos finitos permite el desarrollo de modelos estructurales que satisfagan todos estos requisitos. En la actualidad existen una variedad de programas de elementos finitos, para la utilización en el modulado de los pavimentos.

Estos programas se pueden dividir en programas de elementos finitos de propósito general y de elementos finitos de códigos desarrollados específicamente para el análisis de sistemas de pavimentos.

Estos programas han sido utilizados con éxito para el análisis de pavimento en varios estudios de investigación, y una diversidad de modelos fueron construidos en la actualidad con estos productos. Sin embargo, estos programas suelen exigir considerables recursos computacionales, así como el tiempo para el desarrollo de un modelo estructural para cada problema.

Los programas desarrollados especialmente para el análisis de los sistemas de pavimentación de concreto incluyen:

ILLI-SLAB (Tabatabaie y Barenberg 1980)

WESLIQID (Chou 1981)

J-LOSA (Tayabji y Colley, 1983)

FEACONS-IV (Choubane y Tia 1995)

KENSLAB (Huang 1993)

KOLA (Kok 1990)

EVERFE (Davids, Turkiyyah y Mahoney 1998)

La mayoría de estos programas pueden analizar múltiples ruedas de carga, de una o más capas que descansa sobre una fundación Winkler (Fundación sólida elástica). Para la realización de nuestra investigación ocuparemos el programa **Everfe 2.24**.<sup>20</sup>

### **2.10.3 Descripción del programa Everfe**

Este programa permite modelar de forma fácil en 3D elementos finitos y simula la repuesta de sistemas de pavimento en hormigón articulados sometidos a cargas axiales y a (acciones) fenómenos ambientales, y a encogimientos.

Everfe permite modelar hasta 9 losas en una configuración de máximo 3 por 3, pudiendo considerar hasta 3 capas base elásticas, permitiendo que la superior pueda ser modelada como adherida o no adherida a la losa.

En lo que a cargas se refiere, se pueden definir distintas configuraciones de ejes. Los efectos térmicos y de humedad a través del espesor de la losa, como también el acortamiento del hormigón, pueden ser simulados mediante gradientes térmicos lineales, bilineales y trilineales.

La losa y las capas subyacentes son tratadas como un medio tridimensional, linealmente elástico e isotrópico.

Everfe puede considerar la transferencia de corte que ocurre por la fricción y la trabazón de agregados que existe entre la losa y la capa base, como así también puede simular de forma lineal o no lineal, la transferencia de carga en las juntas por trabazón de agregados.

El análisis de los resultados se hace efectivo en la visualización gráfica de las tensiones, desplazamientos de las distintas capas, fuerzas y momentos internos generados en las barras.

Una vez realizadas las corridas en el software Everfe y obtenidos los resultados para cada uno de los casos considerados, se han obtenido las tensiones máximas de tracción

---

<sup>20</sup> COVARRUBIAS, Juan Pablo. (2012). Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada Design of concrete pavement with optimized slab geometry (pág. 3). Santiago Chile.

solicitantes, aquellas que podrían comprometer la resistencia admisible que el hormigón puede llegar a resistir.<sup>21</sup>

## **2.11 DESCRIPCIÓN DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO**

La fibra de polipropileno es un material compuesto consistente en fibras continuas o discontinuas de polipropileno ensambladas en una matriz plástica.

### **2.11.1 Aplicaciones y ventajas del uso de fibras de polipropileno**

Las fibras de polipropileno cuentan con algunas características que a hacen ser un complemento ideal para obtener ciertas ventajas en las obras y concretamente como añadido al hormigón.

El polipropileno se utiliza como material de refuerzo debido a las siguientes razones:

Muy buena relación coste/beneficio.

Versatilidad; compatible con la mayoría de las técnicas de procesamiento existentes y usado en diferentes aplicaciones.

Es el material plástico de menor peso específico lo que implica que se requiere de una menor cantidad para la obtención de un producto terminado.

Propiedades mecánicas; el polipropileno logra alcanzar buen balance rigidez/impacto.

Propiedades químicas; presenta excelente resistencia química a solventes comunes.

Buena estabilidad dimensional a altas temperaturas.

Barrera al vapor de agua: evita el traspaso de humedad.

Las fibras de polipropileno se utilizan en las siguientes aplicaciones:

Pavimentos industriales.

Hormigones de alta resistencia. Suelos industriales

Túneles.

Carreteras.

---

<sup>21</sup> WIKIPEDIA. Método de los Elementos Finitos. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2018, 17 de Octubre. Disponible desde la URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo\\_de\\_los\\_elementos\\_finitos\\_EVERFE](https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos_EVERFE).

Morteros especiales.

Prefabricados de hormigón.

Las ventajas del uso de las fibras de polipropileno como refuerzo son:

Sistema de refuerzo alternativo a las mallas, más barato, rápido y fácil de usar.

Disminuye la formación de grietas por retracciones y contracciones.

Ahorran tiempo de construcción ya que al mezclarlo con el hormigón su aplicación es directa.

Reducen costos de mano de obra al saltarse procedimientos en la ejecución de las obras.

Proporcionan refuerzo secundario y uniforme.

Se mezclan fácilmente en el concreto, ya sea en planta como en obra.

No es corrosivo ni magnético.

Aportan tenacidad a la estructura.

Aumentan la resistencia al impacto y evitan la erosión.

Proporcionan seguridad a las obras.

Proveen refuerzo tridimensional.

Tienen una resistencia a la tracción alta.<sup>22</sup>

### **2.11.2 Pavimentaciones de hormigón reforzado con fibras de polipropileno**

Hoy en día y debido a las circunstancias actuales de nuestra economía, las políticas que se siguen en materia de infraestructuras tienen una componente importante en la conservación, mantenimiento y refuerzo de las mismas.

Las carreteras como infraestructura viaria es una de las que más se utiliza por toda la población en todos sus niveles y escalas. Carreteras locales, provinciales y nacionales con distintas intensidades de tráfico son infraestructuras con un gran índice de ocupación y donde las inversiones son necesarias para poder garantizar la seguridad de las mismas.

---

<sup>22</sup> TEX DELTA. Aplicaciones y ventajas del uso de fibra de polipropileno. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2018, 17 de Octubre. Disponible desde la URL: <https://texdelta.com/blog/aplicaciones-y-ventajas-del-uso-de-fibras-de-polipropileno/>

Imagen 2.42 Tramo del firme de hormigón con fibras de polipropileno



Fuente: Pavimentaciones de hormigón reforzado con fibras de polipropileno, publicado por TEX DELTA

Una de las soluciones constructivas más habituales es la pavimentación con utilización de hormigón reforzado con fibras de polipropileno. Las fibras de polipropileno, nylon o poliéster, principalmente son utilizadas para reducir la fisuración por contracción del hormigón.

Las fibras sintéticas no reemplazan el refuerzo estructural principal en el hormigón ya que no agregan ninguna resistencia. Pero el refuerzo estructural no suministra sus beneficios hasta que el hormigón se haya endurecido. Eso es por lo que algunos contratistas adicionan fibras sintéticas al hormigón como refuerzo secundario. A diferencia del refuerzo estructural, las fibras sintéticas proporcionan beneficios mientras el hormigón es aún plástico. Ellas también aumentan algunas de las propiedades del hormigón endurecido.

Las fisuras por contracción son pequeñas, fisuras irregulares que pueden desarrollarse en el hormigón durante las primeras 24 horas después de su colocación. No deben confundirse con las fisuras superficiales, dado que las fisuras por contracción usualmente pasan a través de todo el espesor de la losa. Las fisuras son generalmente causadas por cualquier contracción plástica o por secado. La contracción plástica ocurre antes de que el hormigón alcance su endurecimiento inicial; la contracción por secado ocurre después del endurecimiento del hormigón.

Imagen 2.43 Fibras de polipropileno utilizadas en la mezcla de hormigón



Fuente: Pavimentaciones de hormigón reforzado con fibras de polipropileno, publicado por TEX DELTA

La mezcla estudiada contiene una dosificación de fibras de polipropileno de 900 g/m<sup>3</sup> con las siguientes características físicas:

Material: 100 % de polipropileno virgen

Longitud de la fibra: 19 mm

Capacidad de extensión: 0.67 kN / mm<sup>2</sup>

Módulo (Young): 4.0 kN / mm<sup>2</sup>

Se valoran cuatro características básicas del pavimento:

Características del hormigón fresco

Resistencia del hormigón

Módulo del hormigón

Tenacidad por flexión

Se evidencian algunas diferencias comparativas entre los hormigones con y sin fibras de polipropileno que se destacan a continuación.

Se advierte en el hormigón con fibras que ofrece un aumento del asentamiento y del peso unitario, así como también una disminución del % de aire incorporado respecto del hormigón sin fibras. Cabe destacar la importancia de la reducción de aire ocluido ya que éste constituye una vía de acceso al medio externo, el cual puede ser más o menos agresivo.

No se observan fisuras por retracción. Las fibras usadas no permiten la formación de estas fisuras o al menos las disminuyen en un gran porcentaje, ayudando a reducir o anular su longitud y anchura.

Los valores promedio de la resistencia a la compresión a las edades de 7 y 28 días del hormigón con fibras son ligeramente mayores que los obtenidos para esas mismas edades de ensayo en el hormigón sin fibras. Además, los valores del módulo de rotura a flexión para el hormigón con fibras resultaron mayores que los obtenidos en el hormigón sin fibras para todas las edades de ensayo.

La tenacidad por flexión o capacidad del material a absorber energía, resultó mayor en el hormigón con fibras que en el hormigón sin fibras. Estos valores y la adecuada distribución de las fibras favorecen el comportamiento del pavimento a las sollicitaciones dinámicas del tránsito, aumentando su vida en servicio, para un mismo nivel de densidad de tránsito.

Por todo ello, no solo se puede atribuir al uso de fibras de polipropileno la clásica reducción de la fisuración. También se le debe atribuir toda una serie de mejoras y beneficios, que hacen necesario hoy en día el uso de las mismas en el dimensionamiento de las infraestructuras.<sup>23</sup>

Con un 0,6 % de fibras se puede incrementar la resistencia a flexión en un 25%. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la resistencia a compresión, disminuye tanto en cuanto mayor es la dosificación de fibras y la longitud de las mismas.

En cuanto al control de la fisuración, si el volumen de fibras es superior al 2,3%, la fisuración que se produce es múltiple. Por el contrario, si es reducido solo aparece una fisura. También mejora mucho la resistencia del hormigón ante impactos (de 2 a 10 veces superior a la del hormigón tradicional).

---

<sup>23</sup> TEX DELTA. Pavimentaciones de hormigón reforzado con fibras de polipropileno. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2018, 17 de Octubre. Disponible desde la URL: <https://texdelta.com/blog/pavimentaciones-de-hormigon-reforzado-con-fibras-de-polipropileno/>

Las fibras de polipropileno se mezclan sin problema en hormigoneras tradicionales. No existe problema de formación de erizos o bolas cuando se utilizan grandes dosificaciones. A su vez, este tipo de fibras se presta muy bien a su empleo en hormigones bombeados y poseen la ventaja de no ser atacadas por los álcalis y de no corroerse. Sus inconvenientes principales radican en su bajo módulo de elasticidad, que las hace muy deformables, y en la pobre adherencia con el hormigón.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> MASQUEINGENIERIA. Hormigón reforzado con fibras [En Línea]. Fecha de Consulta: 2018, 17 de octubre. Disponible desde la URL: <https://masqueingenieria.com/blog/hormigones-especiales-hormigon-reforzado-con-fibras/>

**CAPÍTULO III**

**INVESTIGACIÓN SOBRE LA UTILIZACIÓN DE LOSAS  
CORTAS Y FIBRAS DE POLIPROPILENO EN  
PAVIMENTOS RÍGIDOS**

## **Investigación sobre el desempeño de los pavimentos rígidos con losas cortas y fibra de polipropileno**

Para la realización de este trabajo de investigación se plantea determinar los esfuerzos y deformaciones críticas generadas en las losas del pavimento; impuestas por repeticiones de cargas de tráfico y condiciones ambientales.

El proyecto implicará la ejecución de dos metodologías para la obtención de los valores, que nos servirán de base para elaborar un análisis del desempeño de las losas de pavimento; para ello se procedió previamente a recolectar y registrar los datos preliminares que nos servirán de base para el correcto desarrollo de cada una de las metodologías planteadas, las cuales se detallan a continuación.

### **3.1 METODOLOGÍA 1**

#### **3.1.1 Condiciones de la investigación**

Los progresos científicos tecnológicos asociados con las construcciones del pavimento rígido muestran un avance significativo.

En este entendido es que buscamos indagar el área vial, analizando uno de sus campos que son las losas de pavimentos adentrándonos en el tema de la aplicación de fibras de polipropileno utilizadas para reducir la fisuración por retracción en las losas de pavimentos rígidos; con esta investigación se busca resolver inquietudes a través de pruebas de laboratorios que sostengan la idea que se desarrolla en el tema propuesto.

Las condiciones de la investigación son de evaluar en laboratorio a través de probetas cilíndricas y vigas de hormigón la aplicación de distintos porcentajes de fibras de polipropileno que se colocarán en el hormigón, las cuales estarán sometidas a esfuerzos de compresión y flexión respectivamente y de esta manera se podrá tener una evaluación del comportamiento del hormigón.

Los resultados de la investigación nos darán una alternativa para enriquecer la información en la utilización de fibras de polipropileno usadas para reducir fisuras ya que por las condiciones que se semeja la investigación, es difícil comparar con la realidad.

La idea es que a través de la evaluación en laboratorio de probetas cilíndricas y vigas de hormigón fisuradas se encuentre una nueva forma de rehabilitación aplicándole fibras de polipropileno para reducir fisuras y esto nos lleve a una comparación o similitud en las losas de pavimento rígido fisuradas para su posterior rehabilitamiento.

### 3.1.2 Selección de los materiales

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

Para el presente trabajo de investigación se utilizó materiales de dos bancos de acopio existentes en la ciudad de Tarija que se ajustarán a las normativas establecidas para el diseño de losas de pavimentos rígidos. Además de tenerlos a disponibilidad.

Imagen 3.1 Acopio de material “SEDECA - San José de Charajas”



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.2 Acopio de material "Piedra Larga"



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 Caracterización de los materiales

Imagen 3.3 Arena



Imagen 3.4 Grava



Imagen 3.5 Cemento



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.6 Agua



Imagen 3.7 Fibra de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3.1 Granulometría

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman el suelo. Esto se realiza con la ayuda de un juego de tamices, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos que se retienen en la malla de cada tamiz, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

El factor fundamental del ensayo es la curva granulométrica, que se dibuja en una escala logarítmica.

#### Granulometría de la arena

Imagen 3.8 Lavado y cuarteo de arena



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.9 Tamizado y pesado de la arena



Fuente: Elaboración propia

### Resultados obtenidos “SEDECA - San José de Charajas”

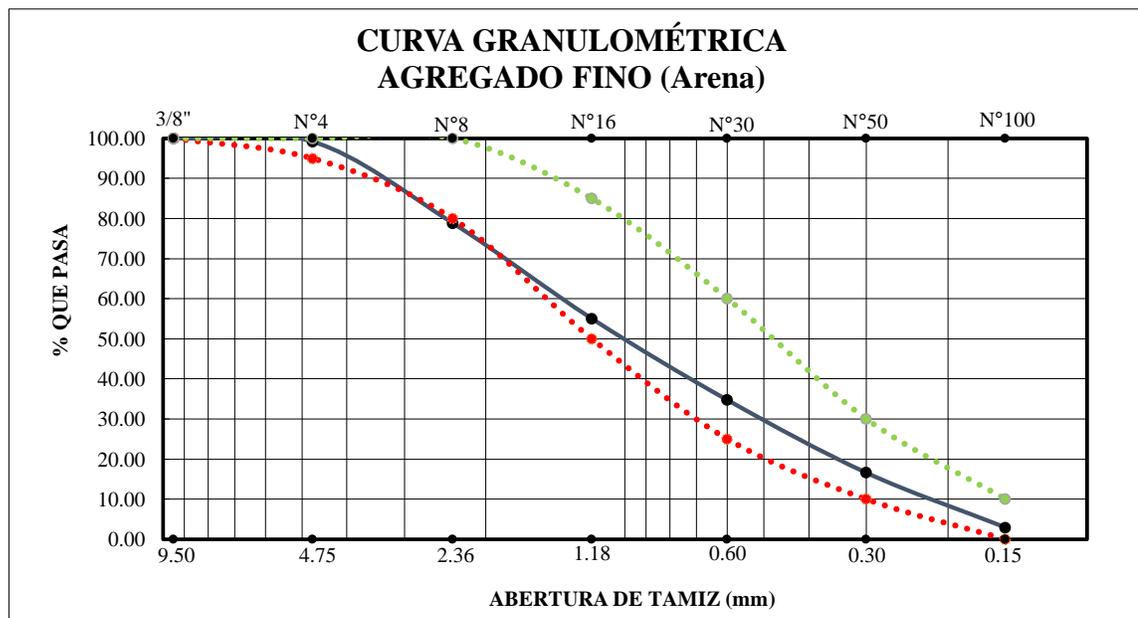
Los porcentajes que pasaron los tamices correspondientes son:

Tabla 3.1 Granulometría del agregado fino-arena “San José de Charajas”

Peso Total (gr.)		500					
Tamices	tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum.	% Ret.	% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
3/8"	9.50		0.00	0.00	<b>100.0</b>	100	100
N°4	4.75	4.00	4.00	0.80	<b>99.20</b>	95	100
N°8	2.36	101.70	105.70	21.14	<b>78.90</b>	80	100
N°16	1.18	119.10	224.80	44.96	<b>55.00</b>	50	85
N°30	0.60	101.60	326.40	65.28	<b>34.70</b>	25	60
N°50	0.30	90.70	417.10	83.42	<b>16.60</b>	10	30
N°100	0.15	68.20	485.30	97.06	<b>2.90</b>	2	10
BASE		14.50	499.80	99.96	<b>0.00</b>		
Suma =		499.80					
Pérdidas =		0.20					
MF =		<b>3.13</b>					

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.10 Curva granulométrica agregado fino – arena “San José de Charajas”



Fuente: Elaboración propia

## Resultados obtenidos “Piedra Larga”

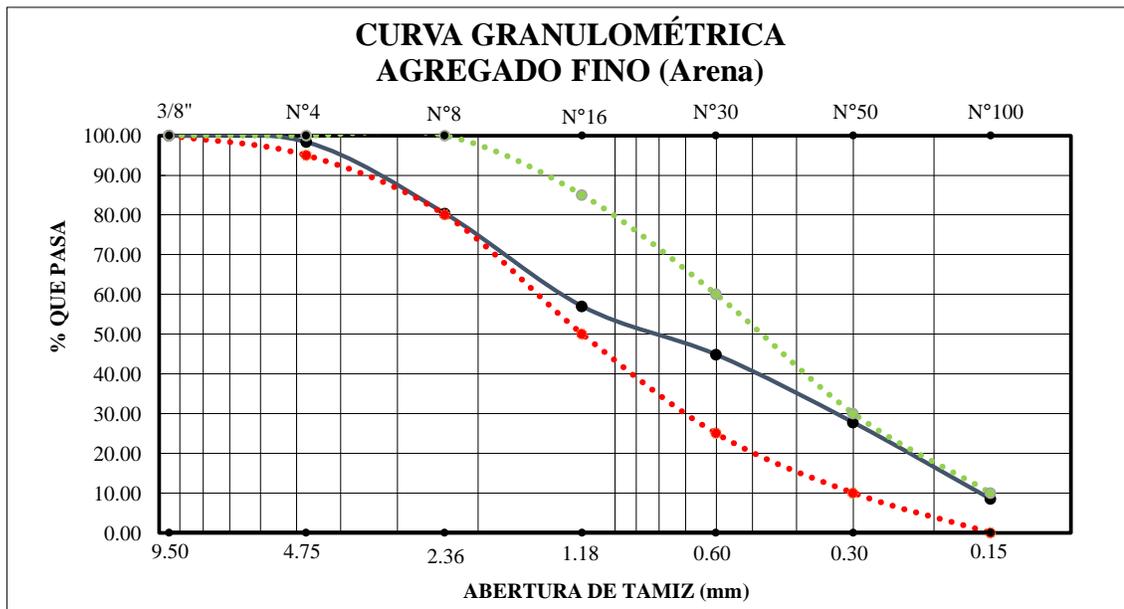
Los porcentajes que pasaron los tamices correspondientes son:

Tabla 3.2 Granulometría del agregado fino – arena “Piedra Larga”

Peso Total (gr.)		500					Especificación	
Tamices	tamaño (mm)	Peso ret.	Ret. acum	% Ret	% que pasa del total	ASTM C-33		
3/8"	9.50	3.40	0.00	0.00	<b>100.00</b>	100	100	
Nº4	4.75	8.30	8.30	1.66	<b>98.30</b>	95	100	
Nº8	2.36	89.90	98.20	19.64	<b>80.40</b>	80	100	
Nº16	1.18	116.80	215.00	43.00	<b>57.00</b>	50	85	
Nº30	0.60	60.80	275.80	55.16	<b>44.80</b>	25	60	
Nº50	0.30	85.50	361.30	72.26	<b>27.70</b>	10	30	
Nº100	0.15	96.20	457.50	91.50	<b>8.50</b>	2	10	
BASE		38.10	495.60	99.12	<b>0.90</b>			
Suma =		499.00						
Pérdidas =		1.00						
MF =		<b>2.83</b>						

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.11 Curva granulométrica agregado fino – arena “Piedra Larga”



Fuente: Elaboración propia

## Granulometría para la grava

Imagen 3.12 Cuarteo de grava



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.13 Tamizado y pesado de grava



Fuente: Elaboración propia

### Resultados obtenidos “SEDECA - San José de Charajas”

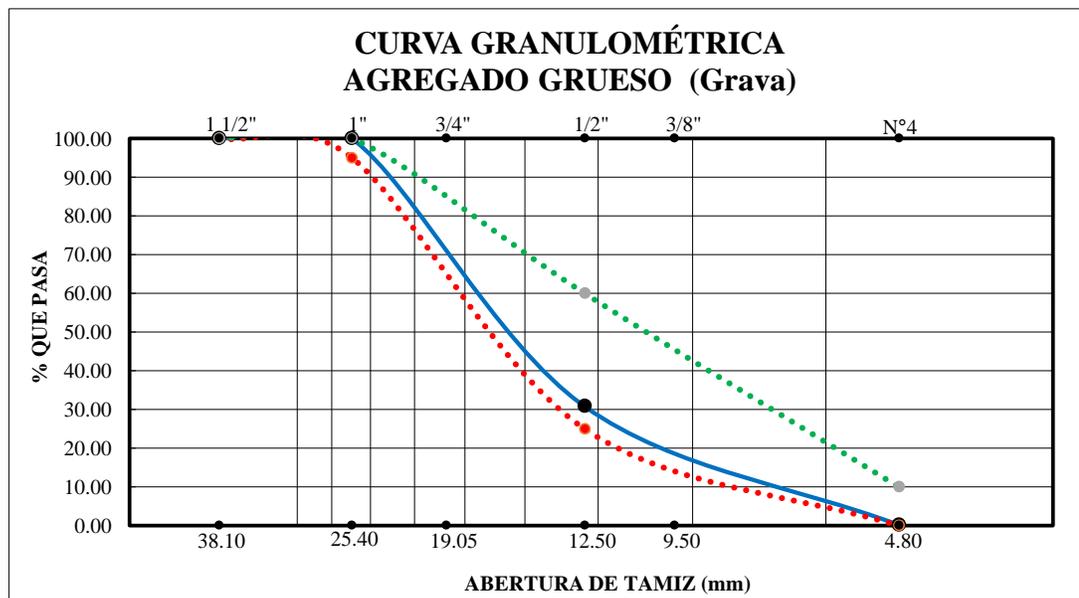
Los porcentajes que pasaron los tamices correspondientes son:

Tabla 3.3 Granulometría del agregado grueso – grava “San José de Charajas”

Peso Total (gr.) =		5000					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Retenido acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g especific. ASTM	
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.40	2.30	2.30	0.05	99.95	95.00	100.00
3/4"	19.05	289.00	291.30	5.83	94.17		
1/2"	12.50	3168.65	3459.95	69.20	30.80	25.00	60.00
3/8"	9.50	1059.65	4519.60	90.39	9.61		
N°4	4.80	470.25	4989.85	99.80	0.20	0.00	10.00
BASE	-	10.10	4999.95	100.00	0.00		
Suma =		4999.95					
Pérdidas =		0.05					
MF =		6.96					

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.14 Curva granulométrica agregado grueso – grava “San José de Charajas”



Fuente: Elaboración propia

## Resultados obtenidos “Piedra Larga”

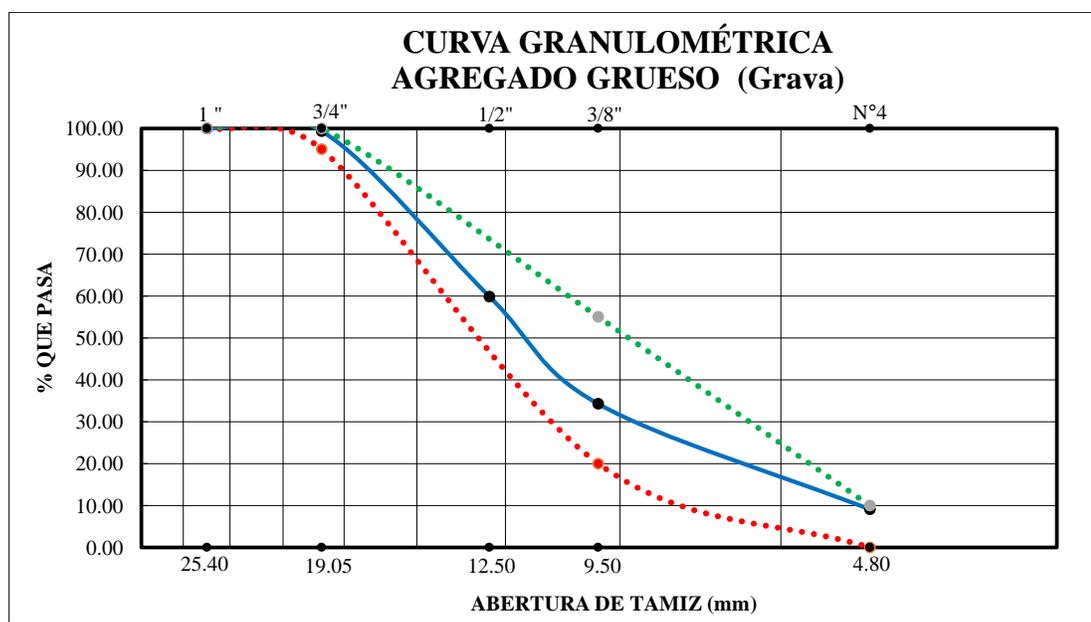
Los porcentajes que pasaron los tamices correspondientes son:

Tabla 3.4 Granulometría del agregado grueso – grava “Piedra Larga”

Peso Total (gr.) =		5000						
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret.	Retenido acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g especific. ASTM		
			(gr)	(%)				
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00			
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00			
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00			
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
3/4"	19.05	32.99	32.99	0.66	99.34	95.00	100.00	
1/2"	12.50	1971.30	2004.29	40.09	59.91			
3/8"	9.50	1283.30	3287.59	65.75	34.25	20.00	55.00	
Nº4	4.80	1258.10	4545.69	90.91	9.09	0.00	10.00	
BASE	-	448.80	4994.49	99.89	0.00			
Suma =		4994.49						
Pérdidas =		5.51						
MF =		6.57						

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.15 Curva granulométrica agregado grueso – grava “Piedra Larga”



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3.2 Peso específico

Una de las propiedades físicas de los agregados es el peso específico, al realizar este ensayo podemos decir que de acuerdo a los tipos de agregados encontraremos partículas que tienen poros saturables como no saturables que dependiendo de su permeabilidad pueden estar vacíos parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, generando así una serie de estados de humedad y peso específico.

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

#### Peso específico de la arena

Imagen 3.16 Secado de la arena



Imagen 3.17 Molde cónico con arena



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.18 Matraz con arena sumergida



Fuente: Elaboración propia

## Resultados obtenidos “SEDECA - San José de Charajas”

Tabla 3.5 Peso específico – agregado fino (arena) “San José de Charajas”

Muestra N°	Peso Muestra (gr)	Peso de matraz (gr)	Muestra + matraz + agua (gr)	Peso del agua agregado al matraz "w" (ml) ó (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Volumen del matraz "V" (ml)	P. E. a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
1	500	187.50	978.70	291.20	482.60	500.00	2.31	2.39	2.52	3.48
2	500	171.80	960.00	288.20	482.50	500.00	2.28	2.36	2.48	3.50
3	500	177.30	973.20	295.90	483.00	500.00	2.37	2.45	2.58	3.40
<b>Promedio</b>							<b>2.32</b>	<b>2.40</b>	<b>2.53</b>	<b>3.46</b>

Fuente: Elaboración propia

## Resultados obtenidos “Piedra Larga”

Tabla 3.6 Peso específico – agregado fino (arena) “Piedra Larga”

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Peso de matraz (gr)	Muestra + matraz + agua (gr)	Peso del agua agregado al matraz "W" (ml) ó (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Volumen del matraz "V" (ml)	P. E. a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. Saturado con sup. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
1	500	171.70	983.10	311.40	486.30	500.00	2.58	2.65	2.78	2.74
2	500	195.70	974.30	278.60	486.20	500.00	2.20	2.26	2.34	2.76
3	500	177.20	962.60	285.40	486.20	500.00	2.27	2.33	2.42	2.76
<b>Promedio</b>							<b>2.35</b>	<b>2.41</b>	<b>2.51</b>	<b>2.75</b>

Fuente: Elaboración propia

## Peso específico de la grava

Imagen 3.19 Muestra de grava sumergida



Imagen 3.20 Secado de la grava



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.21 Muestra con partículas saturadas



Imagen 3.22 Peso de muestra sumergida



Fuente: Elaboración propia

### Resultados obtenidos “SEDECA - San José de Charajas”

Tabla 3.7 Peso específico – agregado grueso (grava) “San José de Charajas”

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)	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
1	4951.50	5000.00	3108.00	2.62	2.64	2.69	0.98
2	4954.60	5000.00	3116.50	2.63	2.65	2.70	0.92
3	4951.70	5000.00	3115.00	2.63	2.65	2.70	0.98
<b>Promedio</b>				<b>2.62</b>	<b>2.65</b>	<b>2.69</b>	<b>0.96</b>

Fuente: Elaboración propia

### Resultados obtenidos “Piedra Larga”

Tabla 3.8 Peso específico – agregado grueso (grava) “Piedra Larga”

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)	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
1	4902.20	5000.00	3094.00	2.57	2.62	2.71	2.00
2	4904.00	5000.00	3094.00	2.57	2.62	2.71	1.96
3	4906.20	5000.00	3090.00	2.57	2.62	2.70	1.91
<b>Promedio</b>				<b>2.57</b>	<b>2.62</b>	<b>2.71</b>	<b>1.95</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3.3 Peso unitario

El peso específico unitario, es la relación de la masa del agregado que ocupa un volumen patrón unitario entre la magnitud de este, incluyendo el volumen de vacíos propios del agregado, que ha de ir a ocupar parte de este volumen unitario patrón. Existen dos valores para el peso unitario de un material granular, dependiendo el sistema que se emplee para acomodar el material; la denominación que se le dará a cada uno de ellos será peso unitario suelto y peso unitario compactado.

#### Peso unitario de la arena

Imagen 3.23 Calibración del molde cilíndrico de 3 litros de volumen



Imagen 3.24 Enrasado de molde con muestra suelta



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.25 Apisonado de muestra compactada



Fuente: Elaboración propia

## Resultados obtenidos “SEDECA - San José de Charajas”

Tabla 3.9 Peso unitario suelto de la arena “San José de Charajas”

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2601.20	3031.00	7270.00	4668.80	1.540
2	2601.20	3031.00	7230.00	4628.80	1.527
3	2601.20	3031.00	7280.00	4678.80	1.544
<b>Promedio</b>					<b>1.537</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Peso unitario compactado de la arena “San José de Charajas”

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2601.20	3031.00	7980.00	5378.80	1.775
2	2601.20	3031.00	7930.00	5328.80	1.758
3	2601.20	3031.00	7980.00	5378.80	1.775
<b>Promedio</b>					<b>1.769</b>

Fuente: Elaboración propia

## Resultados obtenidos “Piedra Larga”

Tabla 3.11 Peso unitario suelto de la arena “Piedra Larga”

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2605.00	3007.00	7300.00	4695.00	1.561
2	2605.00	3007.00	7255.00	4650.00	1.546
3	2605.00	3007.00	7325.00	4720.00	1.570
<b>Promedio</b>					<b>1.559</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12 Peso unitario compactado de la arena “Piedra Larga”

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2605.00	3007.00	7835.00	5230.00	1.739
2	2605.00	3007.00	7830.00	5225.00	1.738
3	2605.00	3007.00	7855.00	5250.00	1.746
<b>Promedio</b>					<b>1.741</b>

Fuente: Elaboración propia

### Peso unitario de la grava

Imagen 3.26 Calibración del molde cilíndrico y enrasado de molde con muestra suelta



Fuente: Elaboración propia

### 3.27 Apisonado de muestra compactada



Fuente: Elaboración propia

### Resultados obtenidos “SEDECA - San José de Charajas”

Tabla 3.13 Peso unitario suelto del agregado grueso “San José de Charajas”

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5745.00	9888.00	19845.00	14100.00	1.426
2	5745.00	9888.00	19920.00	14175.00	1.434
3	5745.00	9888.00	19965.00	14220.00	1.438
<b>Promedio</b>					<b>1.433</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14 Peso unitario compacto del agregado grueso “San José de Charajas”

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5745.00	9888.00	20370.00	14625.00	1.479
2	5745.00	9888.00	20505.00	14760.00	1.493
3	5745.00	9888.00	20455.00	14710.00	1.488
<b>Promedio</b>					<b>1.486</b>

Fuente: Elaboración propia

### Resultados obtenidos “Piedra Larga”

Tabla 3.15 Peso unitario suelto del agregado grueso “Piedra Larga”

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5745.00	9888.00	19500.00	13755.00	1.391
2	5745.00	9888.00	19450.00	13705.00	1.386
3	5745.00	9888.00	19490.00	13745.00	1.390
<b>Promedio</b>					<b>1.389</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16 Peso unitario compacto del agregado grueso “Piedra Larga”

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm <sup>3</sup> )	Peso recip. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm <sup>3</sup> )
1	5745.00	9888.00	20375.00	14630.00	1.480
2	5745.00	9888.00	20315.00	14570.00	1.474
3	5745.00	9888.00	20340.00	14595.00	1.476
<b>Promedio</b>					<b>1.476</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3.4 Desgaste de los ángeles

En los agregados gruesos una de las propiedades físicas de importancia es la resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados, la forma irregular de las partículas concentran tensiones internas producto de condiciones ambientales y sollicitaciones a las que están sometidas. Es importante porque permite conocer la durabilidad y la resistencia que tendrá el hormigón para la fabricación de losas, estructuras simples, etc.

### Desgaste de los ángeles agregado grueso – grava

3.28 Maquina de desgaste de los ángeles.



3.29 Esferas de acero.



Fuente: Elaboración propia

3.30 Carga colocadas en la máquina de desgaste de los ángeles.



3.31 Material descargado de la máquina.



Fuente: Elaboración propia

### Resultados obtenidos “SEDECA - San José de Charajas”

Tabla 3.17 Desgaste de los ángeles agregado grueso (grava) “San José de Charajas”

Datos de laboratorio		
Gradación B		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
B	5000	3944.80	21.10	25% MAX

Fuente: Elaboración propia

### Resultados obtenidos “Piedra Larga”

Tabla 3.18 Desgaste de los ángeles agregado grueso (grava) “Piedra Larga”

Datos de laboratorio		
Gradación B		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
B	5000	3782.30	24.35	25% MAX

Fuente: Elaboración propia

#### 3.1.4 Agua

Su función es permitir la hidratación del cemento y hacer manejable la mezcla.

- Debe ser limpia y libre de cualquier sustancia perjudicial al pavimento terminado.
- En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano.

### 3.1.5 Cemento

Siempre y cuando no se indique lo contrario, se empleará cemento Portland disponible en el país (Clase I - ASTM).

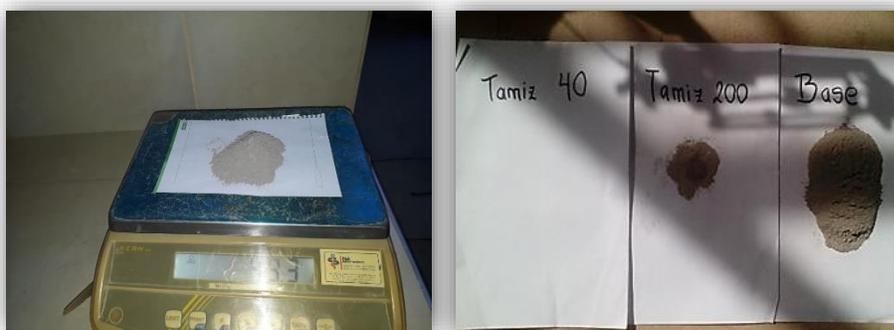
Imagen 3.32 Material utilizado para la caracterización del cemento



Fuente: Elaboración propia

### Finura del cemento

Imagen 3.33 Finura del cemento



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.19 Finura del cemento

Parámetros	Unidad	Observaciones			Promedio de la finura del cemento (%)
Peso retenido en tamiz N° 40 (W N°40)	g	0.00	0.00	0.00	
Peso retenido en tamiz N° 200 (W N°200)	g	0.80	1.60	0.70	2.07
Peso retenido en la base (Wb)	g	49.20	48.40	49.30	
Finura del cemento (F)	%	1.60	3.20	1.40	

Fuente: Elaboración propia

## Peso específico del cemento

Imagen 3.34 Matraz con gasolina



3.35 Introduciendo cemento al matraz



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.36 Inclinar con el fin de eliminar aire del cemento



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.20 Peso específico del cemento

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Volumen gasolina (cm <sup>3</sup> )	Vol. gasolina + volumen cemento (cm <sup>3</sup> )	Volumen desplazado (cm <sup>3</sup> )	Peso específico cemento (gr/cm <sup>3</sup> )
1	64.00	300.00	320.00	20.00	3.200
2	64.00	300.00	325.00	25.00	2.560
3	64.00	300.00	320.00	20.00	3.200
<b>Promedio</b>					<b>2.987</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.6 Fibra de polipropileno

FibroMac® 12 es una fibra de multifilamentos producida a partir de polipropileno. Es incorporada a la mezcla de base (hormigón, morteros, etc.) con el fin de constituir un compuesto homogéneo y controlar la fisuración por retracción. Al ser hidrosoluble es colocado directamente en la mezcladora. (Sus propiedades se encuentran en anexos).

### 3.1.7 Requisitos del hormigón

El hormigón se preparará de acuerdo a las normas del Código Boliviano del Hormigón y cemento Portland o Puzzolánico, empleando agregados graduados.

La composición de la mezcla de hormigón será de manera que:

- Demuestre una buena consistencia plástica, de acuerdo a las exigencias del Código Boliviano del Hormigón Armado CBH-87.
- Después del fraguado y endurecimiento, cumpla las exigencias de resistencia, durabilidad e impermeabilidad en las construcciones de hormigón.

#### 3.1.7.1 Resistencia mecánica de hormigón

La resistencia del hormigón para pavimentos rígidos, se mide por su resistencia a la flexión sobre la base de una propiedad llamada módulo de rotura, que se determina por medio de los ensayos de resistencia al flexo tracción del hormigón, empleando la viga con cargas a los tercios del claro (ASTM C 78).

#### 3.1.7.2 Dosificación del hormigón (Método ACI -211).

#### Áridos SEDECA - San José de Charajas

Tabla 3.21 Características de los agregados

Ensayo	Unidad	Valor
1.- Módulo de finura de la arena (MF)	s/u	3.13
2.- Peso unitario Compactado de la grava ( PUC )	kg/m <sup>3</sup>	1433
3.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2.53
4.- Peso específico de la grava ( $\gamma_g$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2.69
5.- Absorción de la arena ( Aa )	%	3.46
6.- Absorción de la Grava ( Ag )	%	0.96
7.- Humedad de la Arena ( Ha )	%	0.00
8.- Humedad de la Grava ( Hg )	%	0.00
9.- Tamaño máximo Nominal ( TMN )	pulg.	1 1/2"
10.- Tamaño Máximo ( TM )	pulg.	1 1/2"
11.- Peso específico del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	2.987

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22 Características del diseño

Resistencia de diseño ( fck )	<b>350.00</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento ( S ) (Tabla 11.4) (Anexos)	2.00	pulg
Relación Agua / Cemento ( a/c ) (Tabla 11,13) (Anexos)	0.40	s/u
Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario hormigón ( b/bo ) (Tabla 11.15) (Anexos)	0.69	s/u
Requerimiento de Agua ( A ) (Tabla 11.6) (Anexos)	170	kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23 Cálculo de la dosificación

Peso Agregado Grueso ( Pag )	= (b/bo)xPUC	<b>988.46</b>	kg/m <sup>3</sup>
Peso cemento ( Pc )	= A / (a/c )	425.00	kg/m <sup>3</sup>
Volumen de Agregado Grueso ( Vag )	= Pag/γg	<b>367.12</b>	lt/m <sup>3</sup>
Volumen del cemento ( Vc )	= Pc/γc	<b>142.30</b>	lt/m <sup>3</sup>
Volumen de Arena ( Vaf )	= 1000 - Vc - A - Vag	<b>320.58</b>	lt/m <sup>3</sup>
Peso del agregado fino ( Paf )	= Vaf x γf	<b>810.67</b>	kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24 Peso seco de los ingredientes por (m<sup>3</sup>) de hormigón

<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Volumen absoluto lt/m<sup>3</sup></b>	<b>Peso específico gr/cm<sup>3</sup></b>
Cemento	425.00	142.30	3.00
Agua	170.00	170.00	1.00
Grava	988.46	367.12	2.70
Arena	810.67	320.58	2.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25 Peso húmedo de los materiales

Peso Húmedo de la arena ( Pha )	= Paf x ( 1 + Ha )	<b>810.67</b>	kg/m <sup>3</sup>
Peso Húmedo de la Grava ( Phg )	= Pag x ( 1 + Hg )	<b>988.46</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Corrección del agua</b>			
Agua corregida a la grava ( Acg )	= Pag x ( Ag - Hg )	<b>9.46</b>	lt/m <sup>3</sup>

Agua corregida a la Arena ( Acf )	= Paf x (Aa - Ha)	
		<b>28.05</b> lt/m <sup>3</sup>
Total Agua Corregida ( Atc )	= Acg + Acf	
		<b>37.51</b> lt/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26 Peso húmedo de los ingredientes por (m<sup>3</sup>) de hormigón

Ingrediente	Peso seco kg/m <sup>3</sup>	Peso húmedo kg/m <sup>3</sup>
<b>Cemento</b>	425.00	425.00
<b>Agua</b>	170.00	207.51
<b>Grava</b>	988.46	988.46
<b>Arena</b>	810.67	810.67

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27 Proporciones de mezcla

Cemento	Arena	Grava
1.00	1.90	2.30

Fuente: Elaboración propia

## Áridos Piedra Larga

Tabla 3.28 Características de los agregados

Ensayo	Unidad	Valor
1.- Módulo de finura de la arena (MF)	s/u	2.83
2.- Peso unitario Compactado de la grava ( PUC )	kg/m <sup>3</sup>	1476
3.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2.51
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 )	%	1.95
7.- Humedad de la Arena ( Ha )	%	0.00
8.- Humedad de la Grava ( Hg )	%	0.00
9.- Tamaño máximo Nominal ( TMN )	pulg.	1"
10.- Tamaño Máximo ( TM )	pulg.	1"
11.- Peso específico del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	2.987

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29 Características del diseño

Resistencia de diseño ( fck )	<b>350</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento ( S ) (Tabla 11.4) (Anexos)	2.00	pulg
Relación Agua / Cemento ( a/c ) (Tabla 11,13) (Anexos)	0.40	s/u
Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario hormigón ( b/bo ) (Tabla 11.15) (Anexos)	0.66	s/u
Requerimiento de Agua ( A ) (Tabla 11.6) (Anexos)	183.00	kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.30 Cálculo de la dosificación

Peso Agregado Grueso ( Pag )	= (b/bo)xPUC	<b>974.40</b>	kg/m <sup>3</sup>
Peso cemento ( Pc )	= A / (a/c )	<b>457.50</b>	kg/m <sup>3</sup>
Volumen de Agregado Grueso ( Vag )	= Pag/γg	<b>359.92</b>	lt/m <sup>3</sup>
Volumen del cemento ( Vc )	= Pc/γc	<b>153.18</b>	lt/m <sup>3</sup>
Volumen de Arena ( Vaf )	= 1000 - Vc - A - Vag	<b>303.90</b>	lt/m <sup>3</sup>
Peso del agregado fino ( Paf )	= Vaf x γf	<b>764.18</b>	kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.31 Peso seco de los ingredientes por (m<sup>3</sup>) de hormigón

<b>Ingrediente</b>	<b>Peso Seco kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Volumen Absoluto lt/m<sup>3</sup></b>	<b>Peso específico gr/cm<sup>3</sup></b>
Cemento	457.50	153.18	3.00
Agua	183.00	183.00	1.00
Grava	974.40	359.92	2.70
Arena	764.18	303.90	2.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.32 Peso húmedo de los materiales

Peso Húmedo de la arena ( Pha )	= Paf x ( 1 + Ha )	<b>764.18</b>	kg/m <sup>3</sup>
Peso Húmedo de la Grava ( Phg )	= Pag x ( 1 + Hg )	<b>974.40</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Corrección del agua</b>			
Agua corregida a la grava ( Acg )	= Pag x ( Ag - Hg )	<b>19.05</b>	lt/m <sup>3</sup>

Agua corregida a la Arena ( Acf )	= Paf x (Aa - Ha)	
		<b>21.04</b> lt/m <sup>3</sup>
Total Agua Corregida ( Atc )	= Acg + Acf	
		<b>40.09</b> lt/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.33 Peso húmedo de los ingredientes por (m<sup>3</sup>) de hormigón

Ingrediente	Peso seco kg/m <sup>3</sup>	Peso húmedo kg/m <sup>3</sup>
<b>Cemento</b>	457.50	457.50
<b>Agua</b>	183.00	223.09
<b>Grava</b>	974.40	974.40
<b>Arena</b>	764.18	764.18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.34 Proporciones de mezcla

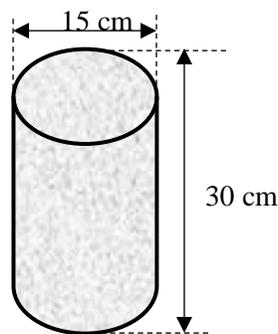
Cemento	Arena	Grava
1.00	1.70	2.10

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.7.3 Dosificación de mezcla por moldes

#### Dimensión del molde de probetas cilíndricas

Imagen 3.37 Dimensión de los moldes de probetas cilíndricas



Fuente: Elaboración propia

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = 0.0052 \text{ m}^3$$

### Probetas circulares con áridos “SEDECA - San José de Charajas”

Tabla 3.35 Dosificación sin refuerzo de fibra de polipropileno

	0.00 % de fibra de polipropileno	
	Seco	Húmedo
	(Kg) para 4 probetas	(Kg) para 4 probetas
<b>Cemento</b>	10.80	10.80
<b>Agua</b>	4.30	5.30
<b>Grava</b>	25.10	25.10
<b>Arena</b>	20.60	20.60
		61.80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.36 Dosificación con refuerzo de fibra de polipropileno

	0.75 % de fibra de polipropileno		1.00 % de fibra de polipropileno	
	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo
	(Kg) para 2 probetas	(Kg) para 2 probetas	(Kg) para 2 probetas	(Kg) para 2 probetas
<b>Cemento</b>	5.40	5.40	5.40	5.40
<b>Agua</b>	2.20	2.60	2.20	2.60
<b>Grava</b>	12.60	12.60	12.60	12.60
<b>Arena</b>	10.10	10.10	10.00	10.00
<b>Fibra</b>	0.20	0.20	0.30	0.30
		30.90		30.90

Fuente: Elaboración propia

### Probetas circulares con áridos “Piedra Larga”

Tabla 3.37 Dosificación sin refuerzo de fibra de polipropileno

	0.00 % de fibra de polipropileno	
	Seco	Húmedo
	(Kg) para 4 probetas	(Kg) para 4 probetas
<b>Cemento</b>	11.60	11.60
<b>Agua</b>	4.70	5.70
<b>Grava</b>	24.80	24.80
<b>Arena</b>	19.40	19.40
		61.50

Fuente: Elaboración propia

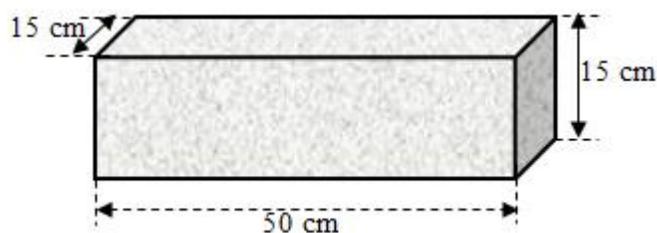
Tabla 3.38 Dosificación con refuerzo de fibra de polipropileno

	0.75 % de fibra de polipropileno		1.00 % de fibra de polipropileno	
	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo
	(Kg) para 2 probetas	(Kg) para 2 probetas	(Kg) para 2 probetas	(Kg) para 2 probetas
<b>Cemento</b>	5.80	5.80	5.80	5.80
<b>Agua</b>	2.30	2.80	2.30	2.80
<b>Grava</b>	12.40	12.40	12.40	12.40
<b>Arena</b>	9.50	9.50	9.40	9.40
<b>Fibra</b>	0.20	0.20	0.30	0.30
		30.80		30.80

Fuente: Elaboración propia

### Dimensión del molde de vigas

Imagen 3.38 Dimensión de los moldes de vigas



Fuente: Elaboración propia

$$V = h * l * a$$

$$V = 0.01125 \text{ m}^3$$

### Vigas con áridos “SEDECA - San José de Charajas”

Tabla 3.39 Dosificación sin refuerzo de fibra de polipropileno

	0.00 % de fibra de polipropileno	
	Seco	Húmedo
	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes
<b>Cemento</b>	11.20	11.20
<b>Agua</b>	4.50	5.50
<b>Grava</b>	26.00	26.00
<b>Arena</b>	21.30	21.30
		64.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.40 Dosificación con refuerzo de fibra de polipropileno

	0.25 % de fibra de polipropileno		0.50 % de fibra de polipropileno		0.75 % de fibra de polipropileno		1.00 % de fibra de polipropileno	
	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo
	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes
<b>Cemento</b>	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20
<b>Agua</b>	4.50	5.50	4.50	5.50	4.50	5.50	4.50	5.50
<b>Grava</b>	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
<b>Arena</b>	21.20	21.20	21.00	21.00	20.90	20.90	20.70	20.70
<b>Fibra</b>	0.20	0.20	0.30	0.30	0.50	0.50	0.60	0.60
		64.00		64.00		64.00		64.00

Fuente: Elaboración propia

**Vigas con áridos “Piedra Larga”**

Tabla 3.41 Dosificación sin refuerzo de fibra de polipropileno

	0.00 % de fibra de polipropileno	
	Seco	Húmedo
	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes
<b>Cemento</b>	12.00	12.00
<b>Agua</b>	4.80	5.90
<b>Grava</b>	25.70	25.70
<b>Arena</b>	20.10	20.10
		63.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.42 Dosificación con refuerzo de fibra de polipropileno

	0.25 % de fibra de polipropileno		0.50 % de fibra de polipropileno		0.75 % de fibra de polipropileno		1.00 % de fibra de polipropileno	
	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo
	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes	(Kg) para 2 moldes
<b>Cemento</b>	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
<b>Agua</b>	4.80	5.90	4.80	5.90	4.80	5.90	4.80	5.90
<b>Grava</b>	25.70	25.70	25.70	25.70	25.70	25.70	25.70	25.70
<b>Arena</b>	20.00	20.00	19.80	19.80	19.60	19.60	19.50	19.50
<b>Fibra</b>	0.20	0.20	0.30	0.30	0.50	0.50	0.60	0.60
		63.70		63.70		63.70		63.70

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.8 Vaciado del hormigón en moldes

Como ya se ha dicho, vamos a fabricar probetas cilíndricas de 15cm de diámetro x 30cm de altura y probetas rectangulares (vigas) de dimensiones 15x15x50cm, de hormigón.

Imagen 3.39 Preparación de moldes para probetas cilíndricas y rectangulares



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.40 Mezclado de hormigón



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.41 Cono de Abrams (asentamiento)



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.42 Llenado de moldes de probetas cilíndricas



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.43 Llenado de moldes de probetas rectangulares



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.9 Curado de probetas cilíndricas y rectangulares (vigas) después de desencofrar

Imagen 3.44 Desmolde de vigas



Imagen 3.45 Curado de probetas circulares



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.10 Evaluación de resistencias en probetas cilíndricas de hormigón

Imagen 3.46 Pesado de probeta



Imagen 3.47 Máquina con carga centrada



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.11 Evaluación de fallas por compresión en probetas cilíndricas de hormigón

#### Rotura de probetas cilíndricas sin refuerzo de fibras de polipropileno

Imagen 3.48 Rotura de probeta cilíndrica con 0.00 % de fibra de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

### Probetas circulares con refuerzo de fibras de polipropileno

Imagen 3.49 Rotura de probeta cilíndrica con 0.75 % de fibra de polipropileno



Imagen 3.50 Rotura de probeta cilíndrica con 1.00 % de fibra de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.43 Controles de rotura de probetas cilíndricas de áridos "Piedra Larga"

Nº	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura (KN)	Lectura (MPa)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Fibra de polipropileno
1	19/09/2018	03/10/2018	14	176.63	321	18.16	185.43	<b>218.16</b>	0.00%
2	19/09/2018	10/10/2018	21	176.63	344	19.48	198.89	<b>212.63</b>	
3	19/09/2018	10/10/2018	21	176.63	346	19.55	199.52	<b>213.31</b>	
4	19/09/2018	17/10/2018	28	176.63	373	21.11	215.41	<b>215.41</b>	
5	15/10/2018	22/10/2018	7	176.63	262	14.81	151.07	<b>209.72</b>	0.75%
6	15/10/2018	31/10/2018	16	176.63	317	17.93	182.95	<b>208.42</b>	
7	15/10/2018	22/10/2018	7	176.63	255	14.40	146.97	<b>204.02</b>	1.00%
8	15/10/2018	31/10/2018	16	176.63	309	17.49	178.50	<b>203.36</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.44 Controles de rotura de probetas cilíndricas de áridos "SEDECA - San José de Charajas"

Nº	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura (KN)	Lectura (MPa)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Fibra de polipropileno
9	25/09/2018	09/10/2018	14	176.63	452	25.55	260.91	<b>306.96</b>	0%
10	25/09/2018	16/10/2018	21	176.63	496	27.73	286.44	<b>306.23</b>	
11	25/09/2018	16/10/2018	21	176.63	495	27.60	285.63	<b>305.37</b>	
12	25/09/2018	23/10/2018	28	176.63	534	29.67	308.56	<b>308.56</b>	
13	15/10/2018	22/10/2018	7	176.63	374	21.18	216.10	<b>299.98</b>	0.75%
14	15/10/2018	31/10/2018	16	176.63	455	25.73	262.59	<b>299.15</b>	
15	15/10/2018	22/10/2018	7	176.63	365	20.66	210.79	<b>292.61</b>	1%
16	15/10/2018	31/10/2018	16	176.63	445	25.21	257.22	<b>293.03</b>	

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.12 Evaluación de resistencias en vigas de hormigón

Imagen 3.51 Pesado de viga



Imagen 3.52 Viga en posición horizontal



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.53 Máquina con carga centrada



Imagen 3.54 Rotura de viga

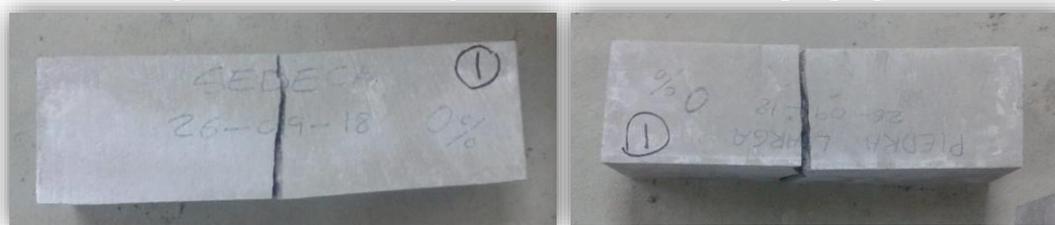


Fuente: Elaboración propia

### 3.1.13 Evaluación de fallas por flexión en vigas de hormigón

#### Vigas sin refuerzo de fibras de polipropileno

Imagen 3.55 Rotura de viga con 0.00 % de fibra de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

#### Vigas con refuerzo de fibras de polipropileno

Imagen 3.56 Rotura de viga con 0.25 % de fibra de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.57 Rotura de viga con 0.50 % de fibra de polipropileno



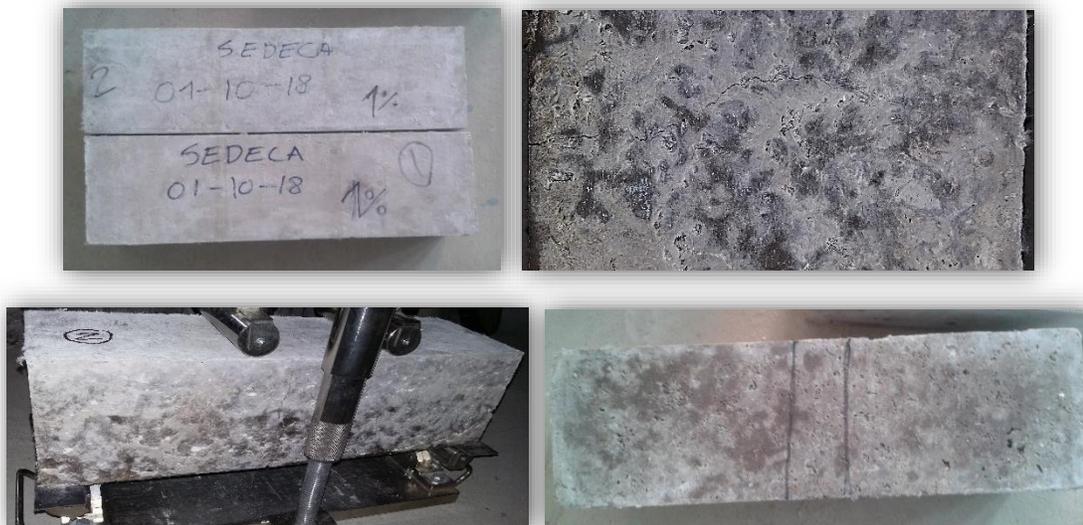
Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.58 Rotura de viga con 0.75 % de fibra de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.59 Rotura de viga con 1.00 % de fibra de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.45 Controles de rotura de vigas de áridos "Piedra Larga"

N°	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Espesor (cm)	Lectura (KN)	Lectura (MPa)	Resistencia 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Res. promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fibra de polipropileno
1	26/09/2018	24/10/2018	28	15.00	22.00	3.02	<b>33.24</b>	<b>33.85</b>	0.00%
2	26/09/2018	24/10/2018	28	15.00	23.00	3.14	<b>34.45</b>		
3	02/10/2018	30/10/2018	28	15.00	21.00	2.87	<b>31.58</b>	<b>33.77</b>	0.25%
4	02/10/2018	30/10/2018	28	15.00	24.00	3.27	<b>35.96</b>		
5	27/09/2018	25/10/2018	28	15.00	22.00	2.99	<b>32.79</b>	<b>33.47</b>	0.50%
6	27/09/2018	25/10/2018	28	15.00	23.00	3.11	<b>34.15</b>		
7	03/10/2018	31/10/2018	28	15.00	22.00	3.00	<b>32.94</b>	<b>31.58</b>	0.75%
8	03/10/2018	31/10/2018	28	15.00	20.00	2.75	<b>30.22</b>		
9	27/09/2018	25/10/2018	28	15.00	20.00	2.78	<b>30.52</b>	<b>30.22</b>	1.00%
10	27/09/2018	25/10/2018	28	15.00	20.00	2.72	<b>29.92</b>		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.46 Controles de rotura de vigas de áridos "SEDECA - San José de Charajas"

N°	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Espesor (cm)	Lectura (KN)	Lectura (MPa)	Resistencia 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Res. promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fibra de polipropileno
1	26/09/2018	24/10/2018	28	15.00	26.10	3.59	<b>39.44</b>	<b>39.82</b>	0.00%
2	26/09/2018	24/10/2018	28	15.00	26.60	3.66	<b>40.20</b>		
3	02/10/2018	30/10/2018	28	15.00	25.60	3.67	<b>38.68</b>	<b>38.16</b>	0.25%
4	02/10/2018	30/10/2018	28	15.00	24.90	3.39	<b>37.63</b>		
5	01/10/2018	29/10/2018	28	15.00	24.80	3.44	<b>37.48</b>	<b>37.25</b>	0.50%
6	01/10/2018	29/10/2018	28	15.00	24.50	3.40	<b>37.02</b>		
7	03/10/2018	31/10/2018	28	15.00	23.90	3.29	<b>36.12</b>	<b>36.42</b>	0.75%
8	03/10/2018	31/10/2018	28	15.00	24.30	3.34	<b>36.72</b>		
9	01/10/2018	29/10/2018	28	15.00	23.70	3.30	<b>35.81</b>	<b>35.59</b>	1.00%
10	01/10/2018	29/10/2018	28	15.00	23.40	3.26	<b>35.36</b>		

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 METODOLOGÍA 2

Aplicación del método de elementos finitos que permite el desarrollo de modelos estructurales, para determinar los esfuerzos críticos en las losas del pavimento. Para la realización de nuestra investigación ocuparemos el programa Everfe 2.24.

Los valores empleados en esta metodología de investigación, serán los que ya están definidos por los distintos parámetros, en el diseño del pavimento rígido que

actualmente se encuentra en funcionamiento en las zonas de estudio, siendo estos una base para la aplicación de este método, el cual nos permite desarrollar la simulación de modelos de prueba, con el programa computacional (Everfe).

Con los resultados obtenidos a través de las simulaciones en el programa computacional, el cual mediante un sistema de ecuaciones, nos permite obtener valores de deformaciones y esfuerzos para diferentes configuraciones geométricas de losas, se podrá elaborar predicciones de la respuesta de los pavimentos ante los esfuerzos aplicados por las cargas.

### **3.2.1 Ubicación del tramo de estudio**

La localidad de Villamontes, se encuentra ubicada en la provincia Gran Chaco del Departamento de Tarija, a 289 Km de la ciudad.

El pavimento rígido abarca gran parte del trazo urbano de la población de Villamontes, las zonas comprendidas en los Barrios Bolívar, Pilcomayo, Avaroa, Ferroviario, El Chañar y Litoral.

El Municipio de Villamontes, se encuentra ubicado entre las coordenadas 21°00 y 22°14' de Latitud Sud y 62 °17' y 64° 00' de Longitud Oeste.

### **3.2.2 Resumen climatológico**

El clima de Villamontes se clasifica como cálido y templado. Los veranos aquí tienen una buena cantidad de lluvia, mientras que los inviernos tienen muy poca. La temperatura promedio en Villamontes es 24° C. La precipitación media aproximada es de 787 mm.

En invierno las temperaturas pueden bajar hasta extremos de -5 °C a -7 °C en las noches, causado por el ingreso de periodos cortos con “surazos” vientos fríos y húmedos, y en verano las temperaturas pueden subir hasta 49 °C.

Tabla 3.47 Datos históricos del tiempo Villamontes

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Temperatura media (°C)	28.8	28.4	25.1	22.4	20.4	18.3	17.1	20.9	23.2	26.7	27.8	28.5
Temperatura min. (°C)	22.5	22.7	19.6	16.8	14.8	12.5	9.7	12.8	15.5	20.1	21.3	22.1
Temperatura máx. (°C)	35.1	34.1	30.7	28.1	26.1	24.1	24.6	29	30.9	33.4	34.3	35
Temperatura media (°F)	83.8	83.1	77.2	72.3	68.7	64.9	62.8	69.6	73.8	80.1	82.0	83.3
Temperatura min. (°F)	72.5	72.9	67.3	62.2	58.6	54.5	49.5	55.0	59.9	68.2	70.3	71.8
Temperatura máx. (°F)	95.2	93.4	87.3	82.6	79.0	75.4	76.3	84.2	87.6	92.1	93.7	95.0
Precipitación (mm)	151	129	162	60	37	15	8	1	2	43	76	103

Fuente: <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/bolivia/tarija/villamontes-31868/>

### 3.2.3 Geología

El paisaje geomorfológico donde se encuentra ubicado Villamontes, corresponde a un conjunto de serranías paralelas sub andinas, con altura y grados de disección muy variables.

Geológicamente corresponden al periodo carbónico y terciario, compuesto por rocas areniscas, conglomerados y limonitas con un cierto grado de fracturamiento afectadas por una fase de plegamiento plioceno.

Este conjunto de serranías encierra una serie de valles, con tamaño y forma variables, sedimentos aluviales y coluviales del cuaternario.

### 3.2.4 Estudio de suelos

El suelo es el resultado de la acción conjunta del clima y de los organismos vivos sobre la corteza terrestre. Está formado por una mezcla de partículas minerales y orgánicas, que resulta de la desintegración mecánica y de la descomposición química de rocas pre-existentes, la incorporación de materia orgánica por descomposición de tejidos vegetales y animales y la organización de estos elementos en capas más o menos definidas, forman el perfil del suelo.

Los suelos pueden ser residuales o transportados, según se les encuentre en el mismo lugar en el que se han generado o en lugar diferente.

El transporte por aire o agua y la sedimentación de estos dos medios constituyen el mecanismo usual que da lugar a un suelo transportado.

### 3.2.5 Elementos del alineamiento en el diseño

#### Elementos del alineamiento horizontal

Número de carriles	= 2
Número de sentidos	= 1 y 2
Ancho de carril	= 4.50 y 5.0m.
Pendiente Transversal	= 1.5 y 2 %

#### Elementos del alineamiento vertical

Al igual que el alineamiento horizontal el alineamiento vertical se tomó los parámetros correspondientes para su diseño.

Pendiente longitudinal

Pendiente mínima	= 0.5 %
Pendiente máxima	= 10 %

Para el diseño del paquete estructural se tienen los valores de los métodos de Westergard y AASTHO.

### 3.2.6 Diseño de la estructura en pavimentos rígidos

#### Método de Westergaard

$$S = \frac{3P}{h^2} * \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right] \quad l = \sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12 * (1 - \mu^2) * K}}$$

Esfuerzo máximo a flexión  $S = 35.5 \text{ Kg/cm}^2$

Modulo elástico del concreto  $E = 2800000 \text{ Kg/cm}^2$

Relación de Poisson del concreto	$\mu = 0.15$
Módulo de reacción del soporte	$K = 3.5 \text{ Kg/cm}^2$ (Para un CBR subrasante 4%)
Carga por rueda	$P = 8.2 \text{ Tn}$ (Carga / eje)
Radio del área cargada	$a = 20 \text{ cm}$ (para carga /rueda 4100 Kg.)

**Iterando:  $h = 18 \text{ cm}$**

### Método AASTHO

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_o + 7,35 \times \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 1}{(D + 1)^8}}$$

$$+ (4,22 - 0,32p_t) \times \log_{10} \left[ \frac{S_c * C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 * J \left[ D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c / k)^{0,25}} \right]} \right]$$

Una vez definidos los valores de los distintos parámetros, entrando con los mismos en la ecuación general del método AASHTO, se obtiene el espesor de losa necesario.

### Serviciabilidad inicial ( $p_0$ )

La serviciabilidad inicial está referida al momento inmediato después de la construcción y dependerá de la calidad de ejecución y nivel de control durante la construcción del pavimento, es decir, a mayor calidad en la ejecución, mayor será la serviciabilidad. De acuerdo a las anteriores aseveraciones la AASTHO ha elaborado una tabla donde se califica a la serviciabilidad inicial.

En la guía para el diseño de pavimentos ASSTHO-93 y suplemento ASSTHO-97 se recomienda, que para pavimentos rígidos la serviciabilidad inicial debe ser igual  $p_0 = 4.5$ , valor que ha sido adoptado para los tres tramos en estudio.

### Serviciabilidad final ( $p_t$ )

En el presente estudio, considerando la importancia de las vías estudiadas, se adopta un valor de  $p_t = 2.5$ .

### Módulo promedio de ruptura del hormigón a los 28 días ( $S'_c$ )

En la práctica del diseño de pavimentos se ha generalizado el empleo de valores promedio de módulo de rotura deberá verificarse durante la construcción mediante ensayos de vigas a la flexión. Las dosificaciones de hormigón corresponden en forma aproximada a este valor de  $S'_c = 4.50 \text{ MPa}$ ,

### Módulo de elasticidad ( $E_c$ )

Sin embargo, puede determinarse el valor del módulo de elasticidad a partir de la resistencia a compresión a la flexión del hormigón. En nuestro caso, se ha utilizado la siguiente expresión:

$$E_c = 1000[S'_c(kPa) - 3370]/43.5$$

De esta fórmula se obtiene el valor aproximado de  $E_c = 26,000 \text{ MPa}$ . El diseño es poco sensible a esta variable.

### Módulo efectivo de reacción de la sub rasante ( $K$ )

El valor de este módulo obtenido es: **Para CBR = 5.0 %  $\Rightarrow K = 51 \text{ KPa/mm}$**

### Nivel de confianza ( $R$ )

Bajo el criterio la AASTHO elaboró la tabla que se presenta a continuación, donde se muestran niveles de confianza en función del tipo de camino y su ubicación.

Tabla 3.48 Valores de confianza (en función de la funcionalidad)

Clasificación funcional	Urbana	Rural
Interestatal y otras autopistas	85.0 – 99.9	80.0 - 99.9
Arterias principales	80.0 – 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 – 95.0	75.0 - 95.0
Local	50.0 – 80.0	50.0 - 80.0

Fuente: Guía de diseño AASHTO

**R = 80 %**

### Desviación estándar global ( $S_o$ )

Toma en cuenta la variabilidad de los datos de diseño, la variabilidad del tráfico durante la vida útil del pavimento, la variabilidad de los fenómenos naturales, variabilidad durante los procesos constructivos, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, suelo de fundación, etc. En ausencia de valores nacionales, la guía de diseño AASHTO recomienda valores recomendados para pavimentos rígidos. Para el caso donde la varianza del tráfico futuro proyectado no se considera, la guía de diseño AASHTO recomienda un valor de 0.35. Por lo tanto el valor adoptado será de  $S_o = 0.35$ .

### Coefficiente de transferencia de carga ( $J$ )

Como una guía general para el rango de coeficientes de carga, se debe usar coeficientes mayores para valores bajos de  $K$ , altos coeficientes termales y mayores variaciones de temperatura. El pavimento es altamente sensible al valor  $J$  y se presentan dos posibilidades: con bermas vinculadas o sobreebanco de hormigón, o bien con berma de asfalto. La siguiente tabla provee recomendaciones para la selección del coeficiente de transferencia de carga:

Tabla 3.49 Coeficientes de transferencia de carga

Tipo de pavimento	Berma de asfalto		Berma de Ho.	
	Dispositivo de		Dispositivo de	
	Sí	No	Sí	No
Junta sencilla y junta reforzada	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Continuamente reforzada	2.9 – 3.2	N/D	2.3 – 2.9	N/D

Fuente: AASHTO Guía de diseño

Se ha realizado el diseño considerando una berma de asfalto, por lo que el factor adoptado es  $J = 3.2$ .

### Coefficiente global de drenaje ( $C_d$ )

El coeficiente de drenaje incorpora el efecto del drenaje en la vida de los pavimentos rígidos. El efecto del drenaje en el desempeño de los pavimentos es una función de la

calidad del drenaje (tiempo requerido para que el agua escurra) y la cantidad de tiempo durante el año en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Para la selección del coeficiente de drenaje, AASHTO provee la siguiente tabla, donde la calificación dada al drenaje se relaciona con el tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación:

Tabla 3.50 Coeficientes de drenaje

Calidad de drenaje	Menos de 1 %	1 - 5%	5 - 25%	Más de 25 %
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente: Guía de diseño AASHTO

Las condiciones morfológicas de la zona, las obras de drenaje provistas y descritas con anterioridad, indican un drenaje entre regular y bueno, las características de precipitación de la zona nos llevan a deducir que entre el 5 y 25% del tiempo el pavimento estará en niveles cercanos a la saturación, por lo tanto el coeficiente global de drenaje adoptado es  $C_d = 1.10$ .

### Factor de fricción (F)

El factor de fricción indica la fuerza requerida para hacer deslizar la losa sobre la sub base en términos del peso de la losa; de acuerdo a la AASTHO para sub bases granulares se tiene un factor de fricción, como es el caso del presente estudio, de  $F = 1.50$ .

### Cálculos de proyecto pavimento rígido zona urbana de Villamontes

Periodo de diseño = 20 años

Módulo K = 51

Imagen 3.60 Diseño de pavimentos (AASHTO – 93) y DIPAV – 2.0

Rígido	Módulo	ESALs	Información Adicional	Barras de Amarre	Reservorio de Juntas	Gráfico
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5					
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5					
Módulo de Rotura del Hormigón (S <sub>c</sub> )(MPa) - (psi)	4.5	MPa	====>	652.67	psi	
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi)	26,000	MPa	====>	3,770,981.18	psi	
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.10					
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2					
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	51	kPa/mm	====>	188.01	pci	...
Confiabilidad (R)(%)	80					
Desviación Estándar (So)	0.35					
Número de Ejes Equivalentes ESALs	3,081,612					
Espesor de Losa (mm)	183					
<input checked="" type="radio"/> Espesor <input type="radio"/> ESALs		<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Borrar todo"/>		<input type="button" value="Calcular ESALs"/>		

Fuente: Elaboración propia

**Espesor de la losa h = 18 cm**

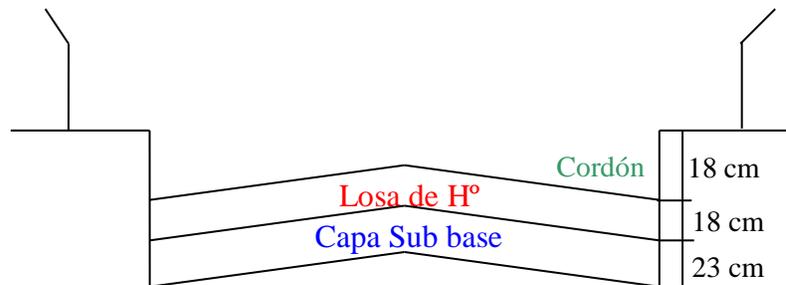
Espesor capa sub base: CBR subrasante = 5%  
 Con ese CBR en el ábaco de CBR: h = pavimento = 41 cm

Tabla 3.51 Espesor capa sub base

Espesor pavimento	cm
Espesor de sub-base	23
Espesor losa	18

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.61 Sección transversal típica pavimento de hormigón



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.7 Determinación de esfuerzos en losas de pavimento rígido mediante el uso del programa Everfe 2.24

El programa computacional Everfe 2.24 es un software de fácil y versátil aplicación, permite el análisis y la obtención de esfuerzos y desplazamientos, por medio de elementos finitos tridimensionales, que simulan el comportamiento del pavimento rígido con juntas, bajo la acción de cargas en ejes y efectos térmicos del medioambiente.

Configuración de losas (2x2) que están en una sola capa de base y que se somete a una combinación de carga de eje de rueda y térmica.

Prueba de la losa que tendrá una superficie geométrica rectangular de 300 x 190 cm y una prueba para una superficie rectangular de 450 x 350 (losa tradicional) con un espesor constante.

#### 3.2.7.1 Datos requeridos para la obtención de esfuerzos – desplazamiento con el programa Everfe

Para la determinación de esfuerzos y desplazamientos con ayuda del software Everfe se necesita ingresar los siguientes datos, los cuales se detallan en las tablas que se presentan a continuación:

Tabla 3.52 Datos necesarios para la obtención de esfuerzo – desplazamiento según Everfe para el diseño de losa corta

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
Dimensiones de losa (mm)	3000 x 1900
Espesor de pavimento (mm)	180
Espesor de la capa sub base (mm)	230
Módulo de elasticidad del concreto (MPa)	26000
Coefficiente de Poisson del concreto	0.15
Coefficiente de expansión térmica	1.1x10 <sup>-5</sup>
Densidad de la losa (kg/m <sup>3</sup> )	2400
Módulo de elasticidad del acero (MPa)	200000
Coefficiente de Poisson del acero	0.30
Módulo de elasticidad de la capa sub base (MPa)	120
Coefficiente de Poisson de la capa sub base	0.20
Densidad de la capa sub base (kg/m <sup>3</sup> )	1700

Valor de reacción combinado de la sub rasante (MPa/mm)	0.120
Carga (KN)	80
Número de pasadores	30

Fuente: Elaboración propia

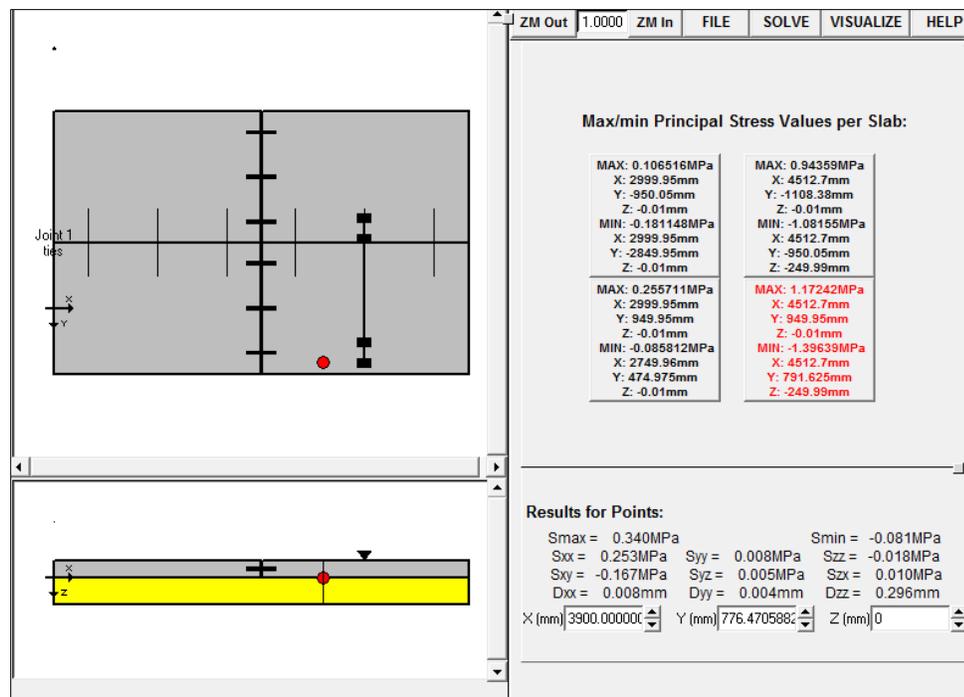
### 3.2.8 Introducción de datos al programa Everfe para el cálculo de esfuerzos y desplazamientos en las diferentes dimensiones de losa

Con las configuraciones definidas y los datos preestablecidos del pavimento rígido, se procede a la aplicación del método de elementos finitos, mediante la simulación de modelos de prueba; con el programa computacional (Everfe), la descripción y el manual de uso de este programa será detallado en anexos.

### 3.2.9 Procesamiento de datos y cálculo de esfuerzo - desplazamiento

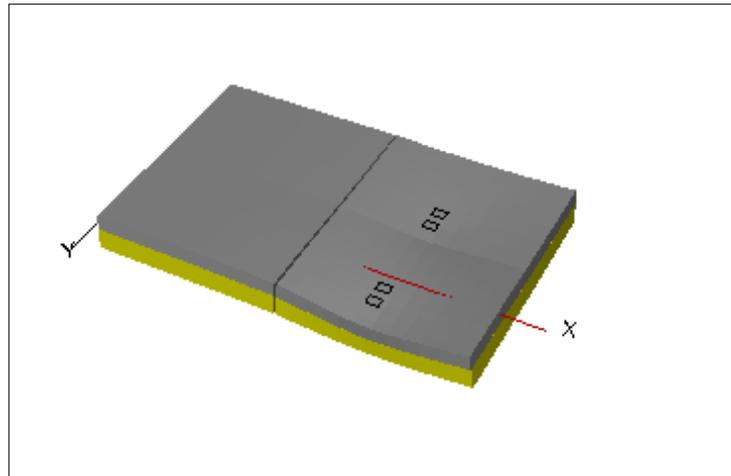
#### 3.2.9.1 Losa corta de dimensión 300 x 190 cm

Imagen 3.62 Cálculo de esfuerzos y desplazamientos en el borde de la losa



Fuente: Elaboración propia

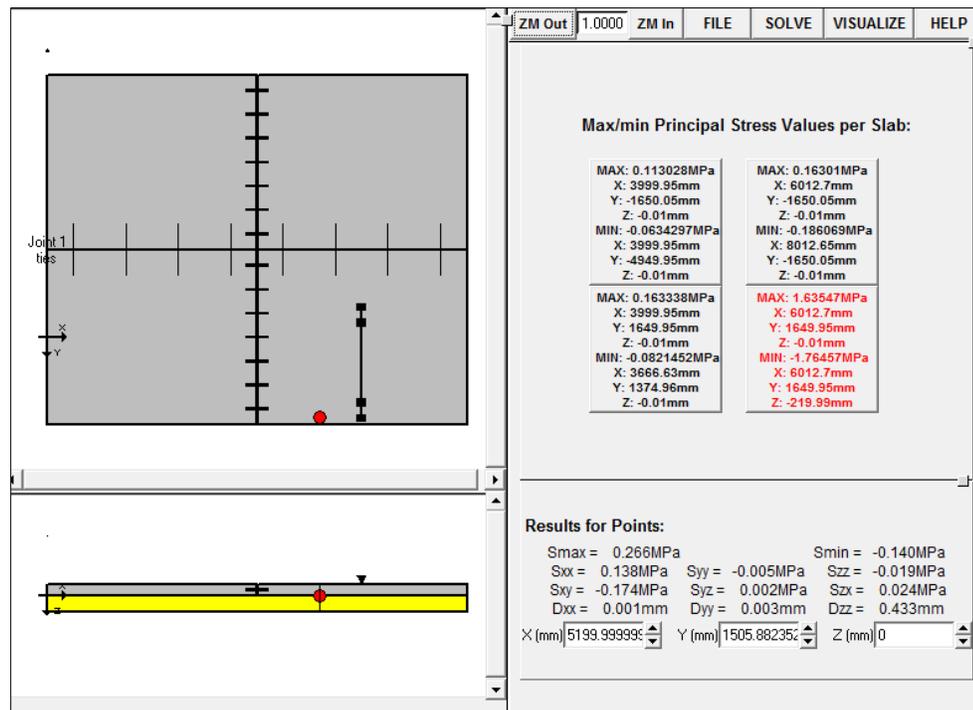
Imagen 3.63 Gráfica de desplazamientos en el borde de la losa



Fuente: Elaboración propia

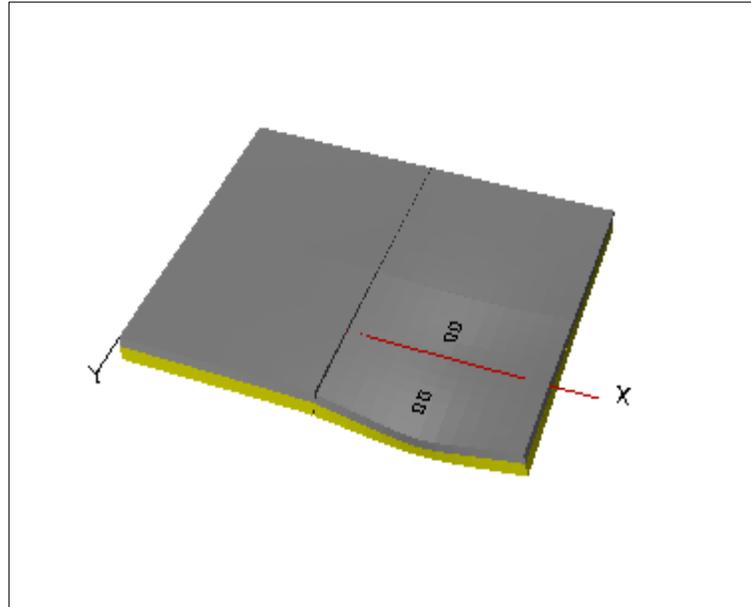
### 3.2.9.2 Losa tradicional de dimensión 450 x 350 cm

Imagen 3.64 Cálculo de esfuerzos y desplazamientos en el borde de la losa



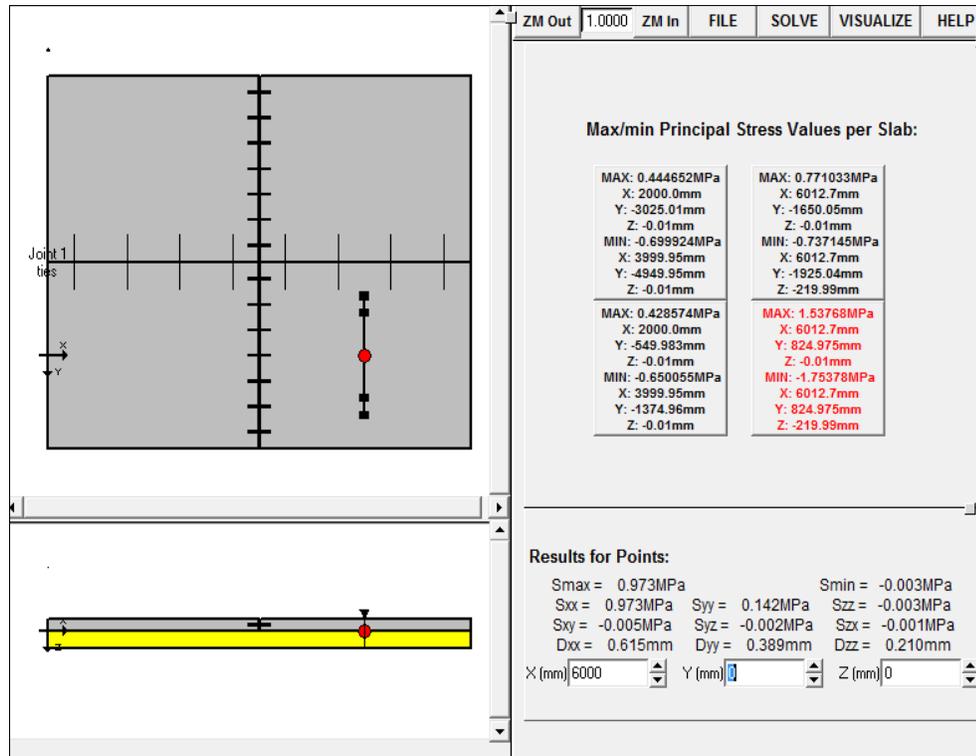
Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.65 Gráfica de desplazamientos en el borde de la losa



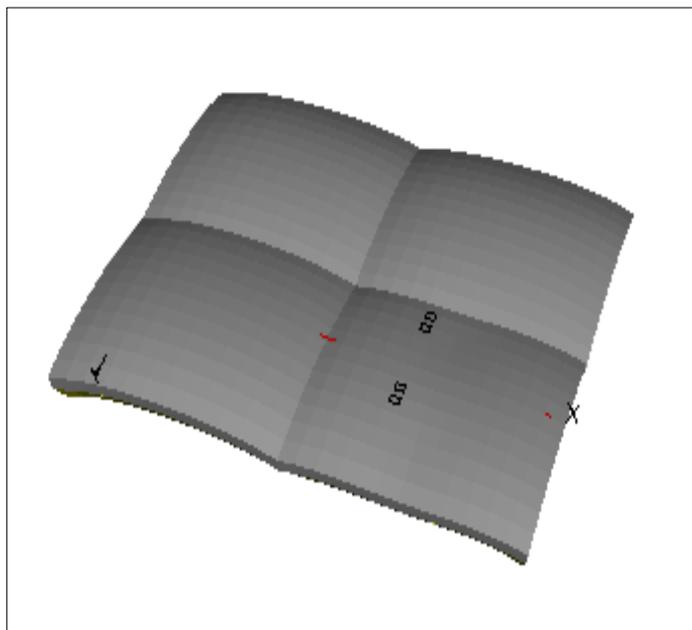
Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.66 Cálculo de esfuerzos y desplazamientos en el interior de la losa



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.67 Gráfica de desplazamientos en el interior de la losa



Fuente: Elaboración propia

### 3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.3.1 Metodología 1

Para la caracterización de los áridos componentes del concreto que se utilizó en la ejecución de la investigación, se hizo una comparación con los rangos de la norma ASTM C-33 de construcción.

Tabla 3.53 Rangos de valores específicos según la norma ASTM C-33

	<b>Unidades</b>	<b>Max.</b>	<b>Min.</b>
Tamaño máximo (grava)	mm	38	-
Tamaño máximo (arena)	mm	9.51	-
Módulo de finura (arena)	-	3.10	2.30
Peso específico (arena y grava)	g/cm <sup>3</sup>	2.90	2.40
Peso volumétrico (arena y grava)	Kg/m <sup>3</sup>	1760	1200
Desgaste de los Ángeles (grava)	%	< 40	-

Fuente: Norma ASTM C-33

Tabla 3.54 Resultados de los ensayos de laboratorio

	Unidades	Piedra Larga		San José de Charajas	
		Grava	Arena	Grava	Arena
Tamaño máximo	mm	25.40	4.75	38	4.75
Módulo de finura	-	-	2.83	-	3.10
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	2.71	2.51	2.69	2.53
Peso volumétrico	Kg/m <sup>3</sup>	1476	1714	1486	1769
Desgaste de los ángulos	%	24.35	-	21.10	-

Fuente: Elaboración propia

Realizando esta comparación a través de la norma ASTM se comprobó que los áridos (grava y arena) de los bancos de material Piedra Larga y San José de Charajas cumplen con las condiciones especificadas de construcción para la elaboración del concreto en pavimentos rígidos.

Se evaluó el cemento antes de usar como aglomerante en la mezcla para la elaboración de las probetas y vigas en estudio, de acuerdo a la norma NMX - C-414.

Tabla 3.55 Rangos de valores específicos del cemento según la norma NMX-C-414

	Unidades	Max.	Min.
Peso específico (cemento)	g/cm <sup>3</sup>	3.15	2.90
Finura del cemento	%	< 10	< 5

Fuente: Norma NMX-C-414

La relación que se utiliza para determinar el porcentaje de finura es la siguiente:

Si el % Finura es menor al 5%, significa que este es un cemento Portland de endurecimiento rápido.

Si el % es menor que el 10%, es que es un cemento Portland para uso ordinario.

Tabla 3.56 Resultados de los ensayos de laboratorio cemento “El Puente”

	Unidades	Cemento
Peso específico (cemento)	g/cm <sup>3</sup>	2.99
Finura del cemento	%	2.07

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las especificaciones, este cemento es de endurecimiento rápido y sus valores están dentro del rango especificado por norma.

Haciendo una verificación del proceso de ruptura en las probetas circulares y vigas que representan a una losa de pavimento rígido se tuvo los siguientes resultados:

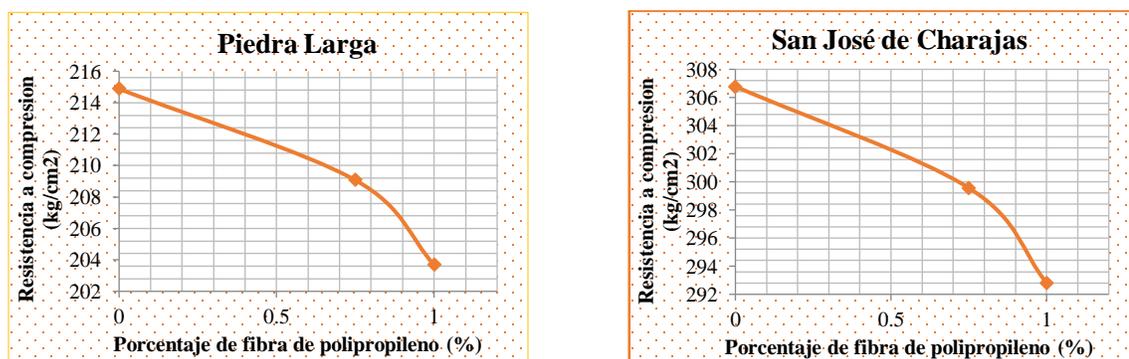
### Probetas cilíndricas

Tabla 3.57 Controles de rotura de probetas cilíndricas

N°	Edad (días)	Piedra Larga			San José de Charajas		
		Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Fibra de polipropileno	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Fibra de polipropileno
1	14	185.43	<b>218.16</b>	0.00%	260.91	<b>306.96</b>	0.00%
2	21	198.89	<b>212.63</b>		286.44	<b>306.23</b>	
3	21	199.52	<b>213.31</b>		285.63	<b>305.37</b>	
4	28	215.41	<b>215.41</b>		308.56	<b>308.56</b>	
5	7	151.07	<b>209.72</b>	0.75%	216.10	<b>299.98</b>	0.75%
6	16	182.95	<b>208.42</b>		262.59	<b>299.15</b>	
7	7	146.97	<b>204.02</b>	1.00%	210.79	<b>292.61</b>	1.00%
8	16	178.50	<b>203.36</b>		257.22	<b>293.03</b>	

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.68 Gráfica de resistencia a compresión vs porcentaje de fibra de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

Se hace la comparación de resultados entre las probetas cilíndricas sin refuerzo de fibras de polipropileno y las probetas cilíndricas con refuerzo de fibras de polipropileno, analizando la carga máxima permisible y el módulo de ruptura promedio de las vigas ensayadas. El dato de comparación a utilizar es el módulo de ruptura promedio, para verificar significativamente el decremento proporcionado por las fibras de polipropileno.

De acuerdo a la gráfica de resultados de resistencia del concreto con inclusión de fibra de polipropileno se comprueba que la resistencia a compresión tiene un decremento de valores no significativos y que afectan a su comportamiento debido a una modificación de proporciones en los componentes que reducen su resistencia; sin embargo favorecen a un mejor comportamiento en su deformación y absorción de esfuerzos en la losa que evitan su deterioro.

Los valores de resistencia a compresión tienen un decremento de 4.5% ante una inclusión de 1% de fibra de polipropileno y 2.4% con la inclusión de 0.75% de fibra de polipropileno lo que muestra que esta reducción no es negativa.

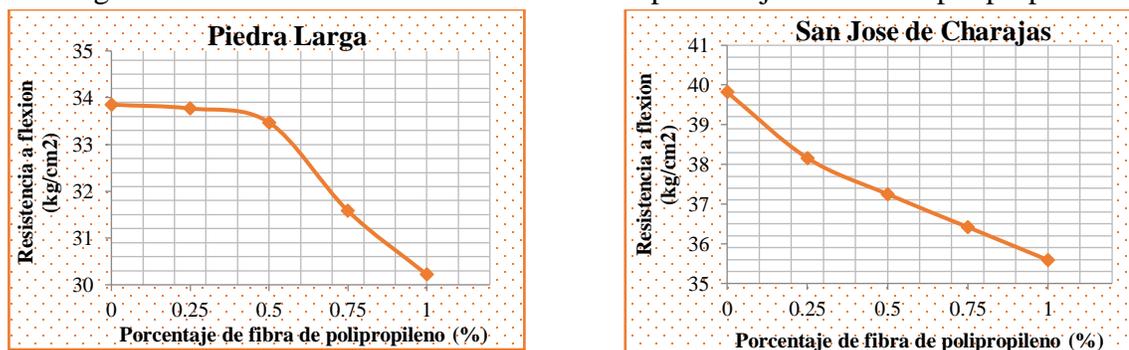
## Vigas

Tabla 3.58 Controles de rotura de vigas

N°	Edad (días)	Piedra Larga			San José de Charajas		
		Resistencia 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Res. promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fibra de polipropileno	Resistencia 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Res. promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fibra de polipropileno
1	28	33.24	33.85	0.00%	39.44	39.82	0.00%
2	28	34.45			40.20		
3	28	31.58	33.77	0.25%	38.68	38.16	0.25%
4	28	35.96			37.63		
5	28	32.79	33.47	0.50%	37.48	37.25	0.50%
6	28	34.15			37.02		
7	28	32.94	31.58	0.75%	36.12	36.42	0.75%
8	28	30.22			36.72		
9	28	30.52	30.22	1.00%	35.81	35.59	1.00%
10	28	29.92			35.36		

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.69 Gráfica de resistencia a flexión vs porcentaje de fibra de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

Se hace la comparación de resultados entre las vigas sin refuerzo de fibras de polipropileno y las vigas con refuerzo de fibra de polipropileno, analizando la carga máxima permisible y el módulo de ruptura promedio de las vigas ensayadas. El dato de comparación a utilizar es el módulo de ruptura promedio, para verificar significativamente el decremento proporcionado por las fibras de polipropileno.

De acuerdo a la gráfica de resultados de resistencia del concreto con inclusión de fibra de polipropileno se comprueba que la resistencia a flexión tiene un decremento de valores no significativos y que afectan a su comportamiento debido a una modificación de proporciones en los componentes que reducen su resistencia; sin embargo, favorecen a un mejor comportamiento en su deformación y absorción de esfuerzos en la losa que evitan su deterioro.

Los valores de resistencia a flexión tienen un decremento de 4.1% ante una inclusión de 0.25% de fibra polipropileno, 6.4% con la inclusión de 0.5% de fibra de polipropileno, 8.5% con la inclusión de 0.75% de fibra de polipropileno y 10% con la inclusión de 1% de fibra de polipropileno.

Sin embargo en el proceso de rotura de testigos a compresión y flexión se evidencia un mejor comportamiento interno de la mezcla no permitiendo la deformación y fisuración de la mezcla.

En cuanto al control de fisuración, si el volumen de fibra de polipropileno va incrementando en su dosificación la fisuración es menor, en cuanto es superior la fibra de polipropileno solo aparece una fisura.

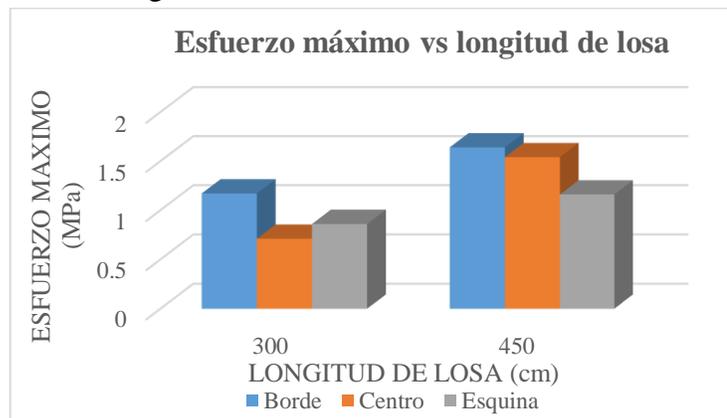
### 3.3.2 Metodología 2

Tabla 3.59 Esfuerzos máximos absolutos

<b>Esfuerzos máximos absolutos (MPa)</b>				
<b>Longitud (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Borde</b>	<b>Centro</b>	<b>Esquina</b>
300	190	1.17	0.71	0.86
450	350	1.64	1.54	1.16

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.70 Gráfica de esfuerzos máximos



Fuente: Elaboración propia

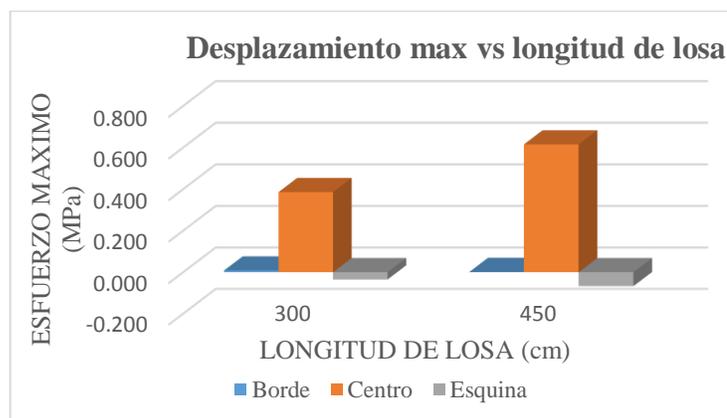
Según los resultados obtenidos con el software Everfe 2.24 se determinó que los esfuerzos máximos producidos debido a cargas impuestas por el tránsito tienen lugar en el borde de la losa, como se lo pudo establecer con la aplicación del estudio de las losas cortas y losas tradicionales; siendo las dimensiones de losas diferentes.

Tabla 3.60 Desplazamiento máximos

Desplazamientos máximos (mm)				
Longitud (cm)	Ancho (cm)	Borde	Centro	Esquina
300	190	0.008	0.386	-0.035
450	350	0.001	0.615	-0.067

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.71 Gráfica de desplazamiento máximo



Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos con el software Everfe 2.24, el desplazamiento máximo se produce en la esquina de la losa para las dos alternativas del tramo de estudio.

### 3.4 PRESUPUESTO GENERAL DE LOSAS DE CONCRETO

#### Losas tradicionales

Tabla 3.61 Presupuesto general de losas tradicionales

Actividad	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Dólares Americano)	Precio Total
Transporte de hormigón en dumper con tornillo	m <sup>3</sup> -km	1	0,55	0,55
Carpeta de hormigón simple, colocada con pavimentadora deslizante	m <sup>3</sup>	1	94,12	94,12
Junta longitudinal con acero corrugado, D=12 mm, L=0.80 m c/1.00 m	m	1	0,54	0,54
Junta transversal con acero liso, D=1" c/0.50 m, L=0.45 m	m	1	2,61	2,61
Corte y sellado de juntas	m	1	3,29	3,29
			<b>Total</b>	101.11

Fuente: Elaboración propia

#### Losas cortas con fibras de polipropileno

Tabla 3.62 Presupuesto general de losas cortas con fibras de polipropileno

Actividad	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Dólares Americano)	Precio Total
Transporte de hormigón en dumper con tornillo	m <sup>3</sup> -km	1	0,55	0,55
Carpeta de hormigón simple, colocada con pavimentadora deslizante	m <sup>3</sup>	1	169,57	169,57
Junta longitudinal con acero corrugado, D=12 mm, L=0.80 m c/1.00 m	m	1	0,66	0,66
Junta transversal con acero liso, D=1" c/0.50 m, L=0.45 m	m	1	2,89	2,89
Corte y sellado de juntas	m	1	3,29	3,29
			<b>Total</b>	176.96

Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### 4.1 CONCLUSIONES

La presente investigación permitió extraer las siguientes conclusiones:

- Realizando la comparación de los resultados obtenidos de la caracterización de los áridos, a través de la norma ASTM C-33 se comprobó que los áridos (grava y arena) de los bancos de material Piedra Larga y San José de Charajas cumplen con las condiciones especificadas de construcción para la elaboración del concreto en pavimentos rígidos.

	Unidades	Piedra Larga		San José de Charajas	
		Grava	Arena	Grava	Arena
Tamaño máximo	mm	25.40	4.75	38	4.75
Módulo de finura	-	-	2.83	-	3.10
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	2.71	2.51	2.69	2.53
Peso volumétrico	Kg/m <sup>3</sup>	1476	1714	1486	1769
Desgaste de los ángeles	%	24.35	-	21.10	-

- De acuerdo a la norma NMX-C-414, con valores de laboratorio se verificó la finura del cemento utilizado en la investigación y se comprobó que es un cemento Portland para uso ordinario porque tiene una finura de 2.07% y no supera al 10%.
- Los valores de resistencia a compresión tienen un decremento de 4.5% ante una inclusión de 1% de fibra de polipropileno y 2.4% con la inclusión de 0.75% de fibra de polipropileno lo que muestra que esta reducción no es negativa.
- Los valores de resistencia a flexión tienen un decremento de 4.1% ante una inclusión de 0.25% de fibra polipropileno, 6.4% con la inclusión de 0.5% de fibra de polipropileno, 8.5% con la inclusión de 0.75% de fibra de polipropileno y 10% con la inclusión de 1.0% de fibra de polipropileno.
- En el proceso ruptura las vigas con 0.0% y 0.25% de fibras de polipropileno, se dividió la viga dentro del 1/3 de la longitud; sin embargo, en las vigas con 0.50%, 0.75% y 1.0 % de fibra de polipropileno, aparecieron leves fisuras a través del incremento de la dosificación de la fibra de polipropileno en el concreto.

- Basados en las configuraciones de los ejes de carga y en el dimensionamiento propuesto de las losas en los pavimentos rígidos, realizadas en este trabajo investigación, se determina como losas de dimensiones cortas, aquellas que un solo set de ruedas se apoya por cada losa, y esto fue posible en la losas de dimensión menor de 3.0 x 1.9 metros, porque esta dimensión se adecúa a las distancias de los ejes de los vehículos que transitarán por las zonas en estudio.
- Una vez realizadas las respectivas simulaciones en el transcurso de la metodología 2, en el software Everfe 2.24 podemos analizar un conjunto de 4 losas en una configuración de 2 x 2, introduciendo las dimensiones de las mismas (300 x 190 cm para losas cortas y 450 x 350 cm para losas tradicionales) y el espesor de la capa sub base (230 cm) que se encuentra por debajo de la losa de hormigón y constante para ambas dimensiones. De igual manera, se puede introducir diferentes tipos de cargas de tráfico (ejes simples) e introducir un gradiente térmico para la obtención más precisa de los esfuerzos y desplazamientos. Este programa admite la configuración de los pasadores de las losas.
- La obtención de resultados permite visualización de los esfuerzos máximos a compresión y tensión, así como un gráfico de los desplazamientos producidos en el paquete estructural.

<b>Esfuerzos máximos absolutos (MPa)</b>				
<b>Longitud (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Borde</b>	<b>Centro</b>	<b>Esquina</b>
300	190	1.17	0.71	0.86
450	350	1.64	1.54	1.16
<b>Desplazamientos máximos (mm)</b>				
<b>Longitud (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Borde</b>	<b>Centro</b>	<b>Esquina</b>
300	190	0.008	0.386	-0.035
450	350	0.001	0.615	-0.067

- Según los resultados obtenidos con el software Everfe 2.24 se determinó que los esfuerzos máximos producidos debido a cargas impuestas por el tránsito tienen lugar en el borde de la losa, como se lo obtuvo con la aplicación del estudio en losas cortas y losas tradicionales; siendo las dimensiones de losas diferentes en

cada análisis. De igual manera, se observa que los desplazamientos máximos se producen en la esquina de la losa para ambas alternativas.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Continuar con el estudio sobre el diseño de losas de dimensiones cortas, con la finalidad de perfeccionar una metodología alternativa que sea viable para el diseño de pavimentos rígidos en nuestro medio.
- Trabajar en el desarrollo de especificaciones para la construcción de losas de dimensiones cortas en pavimentos rígidos; ya que las características especiales de este tipo de pavimentos requiere consideraciones que deben ser incorporadas en normativas y manuales de construcción utilizados en el país.
- Se recomienda realizar un estudio del progreso del deterioro de pavimentos contruidos con losas de dimensiones cortas menores a las tradicionales para poder determinar la funcionalidad de estos en la práctica.
- Tomar en cuenta todos los factores que influyen en el diseño de un pavimento rígido y registrarlo en tablas donde sea más accesible la información y no se tenga que tomar mucho tiempo en buscar manuales específicos de diseño.
- Es importante la utilización del programa EVERFE 2.24 para hacer una comparación y evaluación de los esfuerzos y desplazamientos obtenidos conforme a datos reales de campo, ya que la sub rasantes y pavimento presentan un deterioro que es diferente a los valores originales de diseño.