

## CAPÍTULO I

### 1.1 INTRODUCCIÓN.-

Las vías terrestres se planean y se construyen para que estén en servicio un determinado número de años, que se denomina vida útil de la obra, al cabo del cual se abandonan o se reconstruyen, a fin de prolongar su servicio.

Estas vías al estar en servicio u operación se van deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años .Los deterioros que se tienen pueden ser pequeños al principio, pero pueden ser causa de problemas serios en la vía, que aceleran su deterioro.

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, su economía.

Dado el elevado costo en la construcción del pavimento rígido, surge inmediatamente la necesidad de realizar el dimensionamiento de la geometría de las losas a fin de prolongar su vida útil y reducir los gastos causados por daños mayores.

La construcción del pavimento rígido en el país no cuenta con el conocimiento real de comportamiento a largo plazo en las condiciones que cada región ofrece. Es por este motivo que surge el problema de realizar un dimensionamiento de la geometría de las losas para aplicar una solución oportuna que evite que tales deterioros y fallas se agraven tornándose en problemas mayores que puedan ocasionar la pérdida parcial o total de la superficie pavimentada.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El diseño de pavimentos rígidos hoy en día debe ser competitivo ante las otras alternativas por lo que la geometría de losas de pavimento rígido sea analizada con mayor detalle de manera que las posibilidades de elegir como alternativa más adecuada sea con mayor frecuencia y en mayor cantidad de proyectos.

En ese ámbito los pavimentos rígidos se diseñan en nuestro país bajo criterios de otros países, que son reconocidos mundialmente como PCA, AASTHO y otros que sin embargo no siempre resultan ser los más óptimos para las condiciones nuestras y particulares de algún proyecto.

Establecer con mayor certeza las dimensiones geométricas de las losas en el pavimento rígido de manera que se logre una certeza en su comportamiento ante las cargas de tráfico para garantizar su durabilidad en el periodo de vida útil.

La posibilidad de manejar geometrías apropiadas para un mejor comportamiento de las losas de pavimento rígido podrá permitir a instituciones, consultoras y constructoras de pavimentos rígidos de una Herramienta importante la ejecución de este tipo de obras.

Será un aporte académico importante ya que se ampliará la evaluación para el dimensionamiento de la geometría de las losas en los pavimentos rígidos.

### 1.3.1 SITUACIÓN DEL PROBLEMA

En el campo vial sobre todo en la construcción de pavimentos siempre se tiene la disyuntiva al momento de tomar decisiones si este debe efectuarse con pavimentos flexibles o pavimentos rígidos, para tomar la decisión 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, por ello si se trata de pavimentos rígidos se ha de buscar los elementos que nos den la seguridad de contar con pavimentos que tengan una mayor durabilidad y menor deterioro a través del tiempo, una de las variables que incide mucho en su durabilidad en estas condiciones es la geometría es decir, el ancho, largo y espesor de la losa, sobre estos elementos geométricos es que Debe hacerse un análisis más detallado de manera que se consiga geometrías apropiadas para lograr garantizar una DURABILIDAD.

En nuestro país y particularmente en el departamento de Tarija se tienen experiencias de proyectos de pavimentos rígidos con resultados buenos, pero también con resultados malos como la carretera Tarija – El Puente, dónde el deterioro de las losas es notorio y con una edad que aún no alcanzó ni el 30% de su vida útil, eso nos permite afirmar que es necesario buscar alternativas metodológicas de manera que el diseño se prevea la no ocurrencia de estos deterioros prematuros, por ello basándonos en investigaciones realizadas en otros países como en las experiencias que se tienen en nuestro país y particularmente en el departamento de Tarija planteamos buscar metodologías para optimizar en diseño de la geometría de las losas de pavimentos rígidos que nos permitan garantizar la DURABILIDAD a través del tiempo en condiciones óptimas.

### 1.3.1 PROBLEMA:

¿Es posible realizar el diseño de los pavimentos rígidos a través de un estudio sobre la geometría de las losas en su comportamiento?

## 1.4 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis sobre la incidencia de la geometría de las losas en los pavimentos rígidos en el comportamiento de las mismas a través de ensayos en laboratorio para lograr un diseño más óptimo que satisfaga las condiciones técnicas requeridas y tenga dimensiones geométricas más adecuadas para asegurar su durabilidad en su vida útil.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Analizar los esfuerzos a los que están sometidas las losas de pavimentos rígidos.

Analizar los métodos y procedimientos del dimensionamiento de losas de pavimentos rígidos.

Estudiar la metodología más apropiada para el dimensionamiento de la geometría de las losas en los pavimentos rígidos.

Aplicar los métodos para lograr un dimensionamiento de la geometría de las losas que garantice la durabilidad en su vida útil del pavimento.

Evaluar las incidencias técnicas y económicas que tiene el diseño geométrico de losas de pavimentos rígidos.

Establecer conclusiones y recomendaciones.

### 1.5 HIPÓTESIS:

Si se evalúa el comportamiento de las losas a partir de la geometría de las mismas entonces se podrá determinar cuál es la incidencia y que geometría es la más óptima en los pavimentos rígidos para lograr la durabilidad en la vida útil de la vía

### 1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES:

#### 1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:

Geometría de las losas

Granulometría

Peso específico

Contenido de cemento

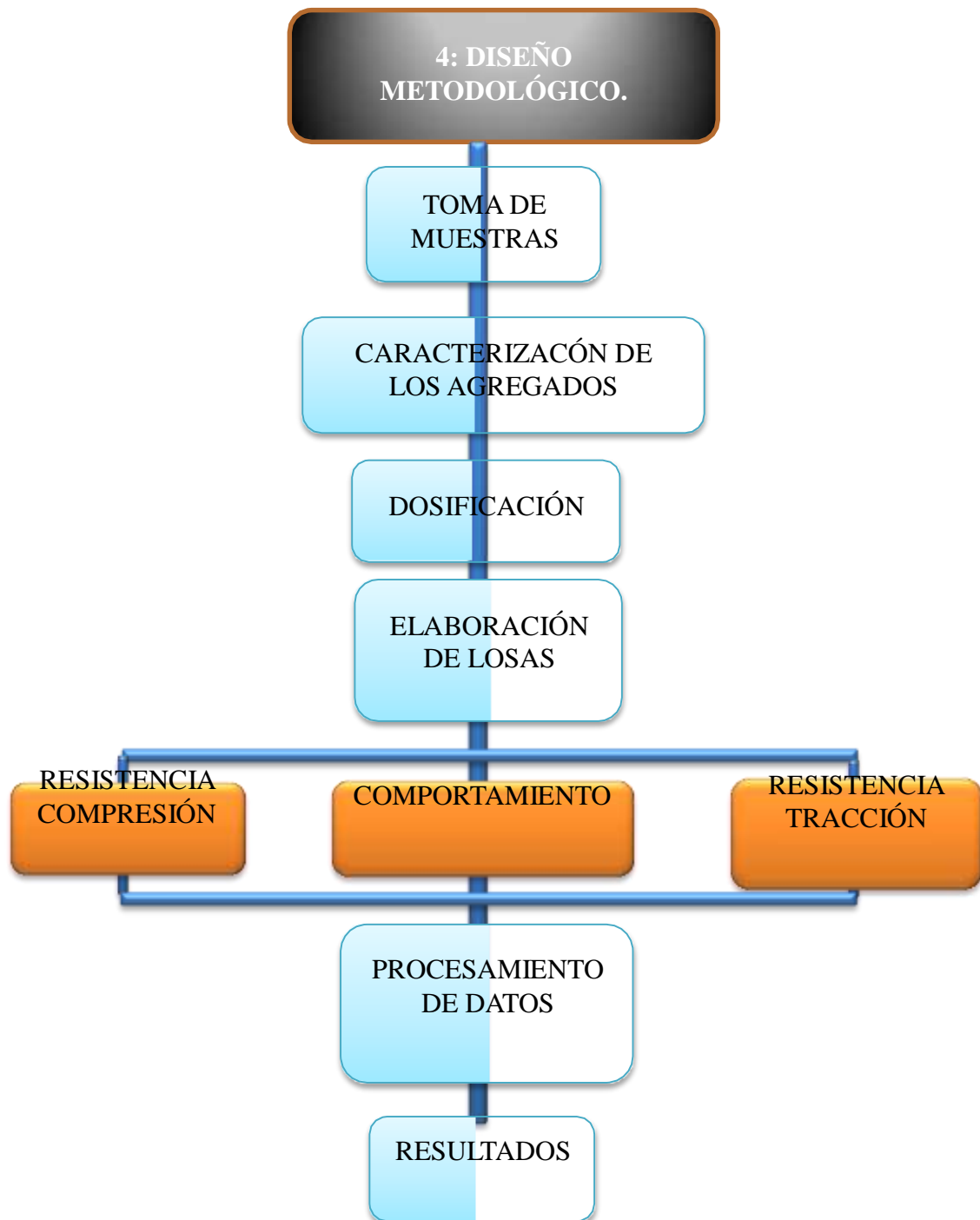
Relación agua cemento(a/c)

Relación ponderal entre el agregado fino y el agregado grueso(F/G)

#### 1.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE:

Comportamiento de las losas

## 1.7 DISEÑO METODOLÓGICO



### 1.7.1 UNIDADES DE ESTUDIO:

Las unidades de estudio son los pavimentos rígidos en general:

**Unidad de Estudio:** La relación geométrica de losas en los pavimentos rígidos y su comportamiento

**Población:** Diferentes medidas geométricas de losas para analizar su comportamiento

**Muestra:** La muestra son los ensayos que se realizará en laboratorio haciendo variar su geometría tanto en ancho, largo y espesor

**Muestreo:** El criterio de muestreo que se adoptará para conseguir la muestra será con materiales que cumplan con las especificaciones haciendo variar el largo y ancho para ver el esfuerzo en el espesor y el esfuerzo en la deformación

### 1.7.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

#### DEFINICIÓN:

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

**Experimental:** Es Experimental, porque se realizarán observaciones y mediciones dentro del trabajo de laboratorio mediante el ensayo de compresión con la prensa hidráulica y tracción con la prensa universal en laboratorio de forestal.

**Aplicativo:** Es Aplicativo porque se va a aplicar a distintas formas de geometría. Se realizara la aplicación de las dimensiones geométricas de la losa en la obtención de deformaciones a través de las formulas racionales.

### 1.7.3 LAS TÉCNICAS DE MUESTREO:

Corresponde al grupo de las no probabilísticas porque su ocurrencia ya está determinada.

### DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS:

Los equipos necesarios y suficientes para la recolección de los datos para el presente trabajo de investigación son:

**FOTOGRAFÍA 1.** *Prensa Hidráulica para Rotura de Vigas*



**FUENTE:** *Elaboración propia*



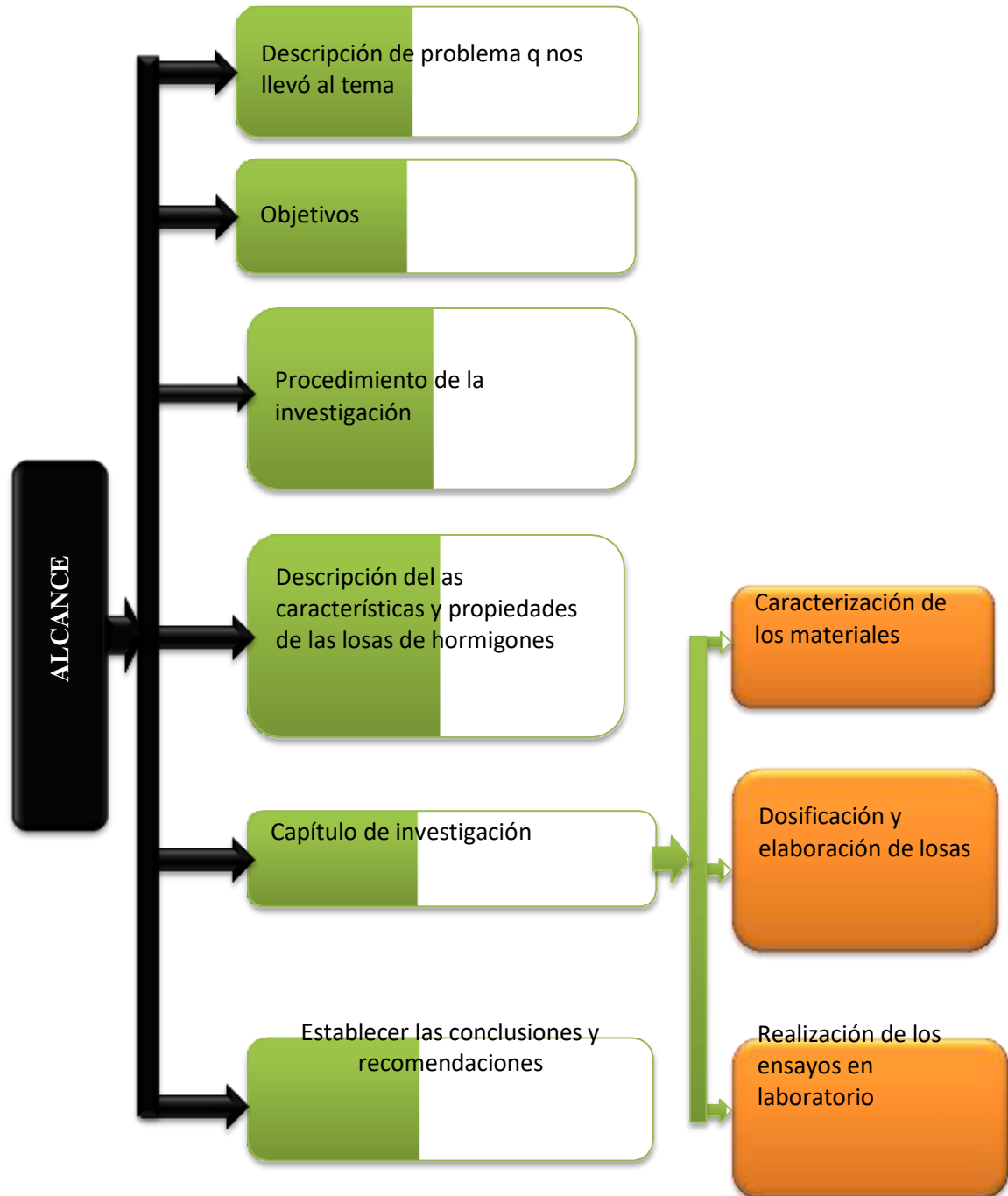
#### PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN:

Losas a escala de diferentes dimensiones largo ancho y espesor que serán sometidas a compresión y flexión con equipos que se cuenta en nuestra universidad como la prensa hidráulica y la prensa universal.

#### PREPARACIÓN PREVIA PARA LA APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS:

Preparación método ACI 211 preparar la arena contar con peso específico de la arena, peso unitario de la arena, granulometría de la arena, equivalente de la arena preparar la grava hacer un estudio de desgaste de los ángeles ensayos de granulometría de la grava, peso unitario de la grava, peso específico de la grava.

## 1.7.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN



## **CAPÍTULO II**

### **“PAVIMENTOS RÍGIDOS Y LA INCIDENCIA DE SUS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS”**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN**

Desde los senderos hechos a fuerza de paso, hasta las grandes carreteras de concreto, el hombre ha modificado su entorno de acuerdo con las necesidades de su tiempo. Actualmente, en la era de las comunicaciones, la necesidad de construir caminos más fuertes y más seguros intensifica su mirada en el concreto, material de grandes posibilidades para el desarrollo de los caminos en el mundo contemporáneo.

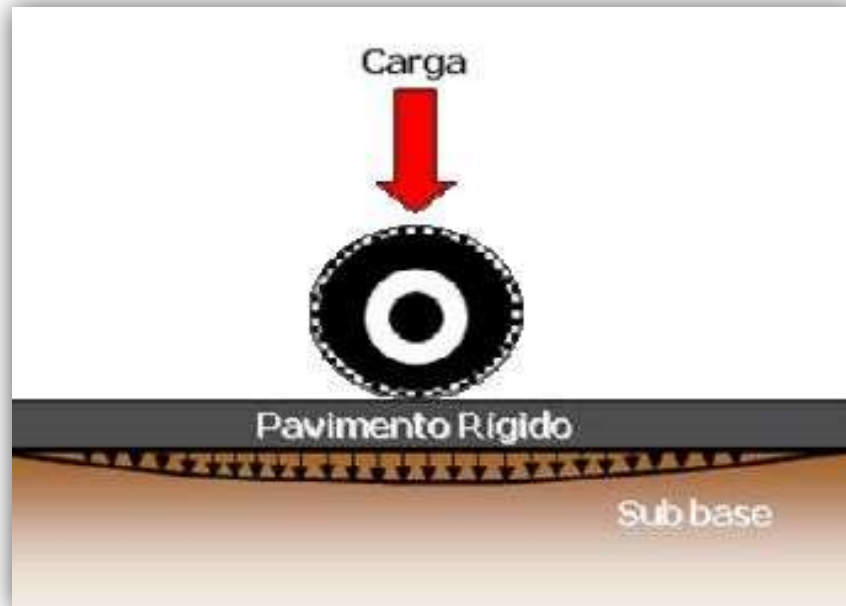
Este tipo de caminos, junto con otros realizados con piedras, grava y arena, fueron diseñados para los bajos volúmenes y velocidades de los primeros vehículos, hasta que la industria automotriz, al ir creciendo a pasos agigantados, fue demandando mejores carreteras y caminos urbanos.

#### **2.2. PAVIMENTO RÍGIDO**

El Pavimento Rígido es una estructura vial que tiene como finalidad resistir los esfuerzos producidos por el tráfico, brindando una superficie de rodadura limpia, cómoda, segura y durable, por medio de losas de hormigón hidráulico que pueden tener o no refuerzo.

Este pavimento se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

**FIGURA 1.-** Esquema Estructural del Pavimento Rígido.



**FUENTE:** *Deterioro de pavimentos rígidos “metodología de medición, posibles causas de deterioro y reparaciones” Ing. Luis F. Altamirano Kauffmann.*

Se denominan así los pavimentos constituidos por losas de hormigón hidráulico, armadas o no, que reposan generalmente sobre una base adecuadamente preparada y, a veces, sobre el propio terreno de la explanada. A causa de su rigidez distribuyen las cargas transmitidas por el tráfico sobre un área relativamente amplia de la base o de la explanada.

En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores.

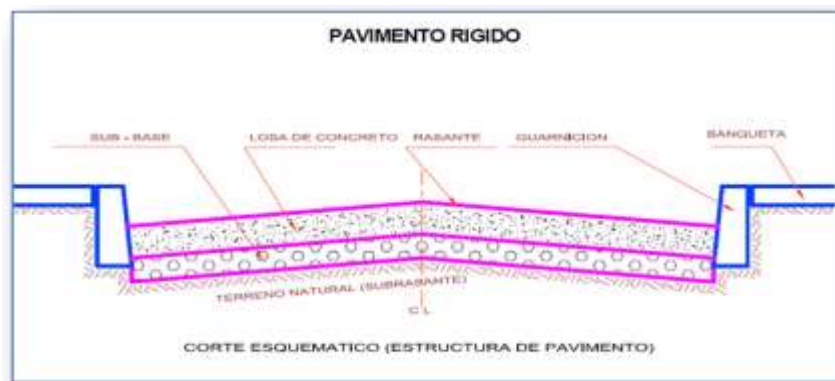
**FIGURA 2.-** Absorción de Esfuerzos que se Ejercen sobre los Pavimentos.



**FUENTE:** Deterioro de pavimentos rígidos “metodología de medición, posibles causas de deterioro y reparaciones” Ing. Luis F. Altamirano Kauffmann.

Los Pavimentos rígidos tienen una capa de hormigón que asegura la fundación resistente para su mayor rigidez, Los factores que afectan el espesor de un pavimento rígido, son principalmente el nivel de carga que ha de soportar, es decir, el tipo y cantidad de vehículos que pasaron sobre él, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto. Por lo general el pavimento consta de dos capas que son la base que muchas veces puede ser la sub-base y la losa o superficie de rodadura de concreto hidráulico.

**FIGURA 3.-** Corte Esquemático con cada una de las Partes de un Pavimento Rígido



**FUENTE:** “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruiz.

Como se ve en la figura 3 el pavimento rígido debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad tiende a distinguir las cargas sobre una zona relativamente amplia del suelo, por lo cual una gran parte de la capacidad estructural es proporcionada por la misma losa.

Las ventajas de un pavimento rígido radican en:

- 1) Velocidad en su construcción.
- 2) Mayor vida útil con alto índice de servicio
- 3) Mantenimiento mínimo
- 4) No se deforma ni deteriora con el tiempo
- 5) Requiere menor estructura de soporte

“Para la elaboración de un pavimento de concreto hidráulico es primordial contar con materiales de la más alta calidad que garanticen su durabilidad y perfecto funcionamiento”

### **2.2.1 PRINCIPIOS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO**

Surgen en los Estados Unidos de Norteamérica como una necesidad en las carreteras para el paso de los vehículos los cuales tenían que hacer largas jornadas de camino de un lugar a otra dada las pésimas condiciones de las carreteras que generalmente eran para el uso de carretas tiradas de caballos. Es entonces cuando se aplica el concreto en las carreteras el cual tiene un gran auge a partir de 1905 en dónde se utilizaba en la mayoría de las carreteras y caminos rurales de los Estados Unidos.

La cronología de la expansión de caminos de concreto en el siglo XX, es la siguiente:

**1920 - 1939:** Uso de pavimentos de concreto hidráulico, en el Sistema de carreteras de los Estados Unidos, difundiéndose en Europa.

**1940 - 1950:** Inicios de la aviación comercial; se construyen aeropuertos que utilizan pistas de concreto.

**1960 - 1970:** Uso intensivo de pavimentos de concreto en el sistema de carreteras y aeropuertos de Estados Unidos.

**1990...:** Era de la sobre carpeta de concreto hidráulico o whitetopping.

Hasta el año de 1920 no se contaba con una investigación seria de dichos pavimentos, por lo que el Departamento de Caminos Públicos y la Junta de investigación de Carreteras iniciaron una investigación sobre los mecanismos necesarios para la construcción de pavimentos de concreto. H. M. Westergaard en el año de 1926 amplió los análisis relacionados con los esfuerzos desarrollados en las losas de pavimentos rígidos. En su teoría consideraba a los pavimentos rígidos como un líquido denso el cual reaccionaba de una manera proporcional a la deformación de una losa en un punto dado.

Este diseño es en la actualidad la base de los métodos de diseño de espesores de los pavimentos rígidos. En el año de 1950 se desarrollaron cartas de influencia para simplificar los cálculos de los pavimentos rígidos, hechas por Gerald Pickett y G.K.Ray.

Las fórmulas teóricas desarrolladas hasta la actualidad poseen algunas limitaciones, por lo que han surgido caminos de prueba, los cuales se hacen a escala para aplicar las fórmulas empíricas en situaciones más reales de pavimentos rígidos. Uno de los caminos de prueba más representativo es el camino de prueba de la AASHTO.

En el año de 1966 La Portland Cement Association (P.C.A) desarrollo un método de diseño basándose en los estudios teóricos de Westergaard y las cartas de influencia de Pickett y Ray.

### 2.2.2. COMPARACIÓN ENTRE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

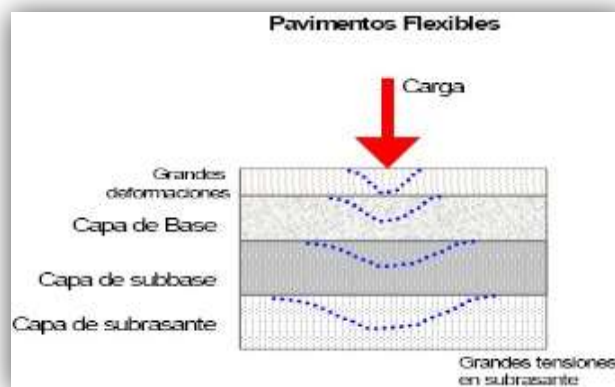
**FIGURA 4.-** Esquema de Comparación de Pavimento Rígido



**Fuente:** *Ingeniería de Carreteras Volumen I, Víctor Sánchez Blanco*

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

**FIGURA 5.-** Esquema de Comparación de Pavimento Flexible



**Fuente:** *Ingeniería de Carreteras Volumen I, Víctor Sánchez Blanco*



### 2.2.3. COMPONENTES DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

#### a) 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.

#### b) Sub-base.

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base. La sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o sub-base adecuada.

**Especificaciones técnicas para la sub-base:**

Esta especificación presenta las disposiciones que son generales a los trabajos sobre afirmados, sub bases granulares ó bases granulares y estabilizadas:

Para la construcción de afirmados y sub bases granulares, los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras clasificados y aprobados por el Supervisor o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Los materiales para base granular solo provendrán de canteras autorizadas y será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica.

En ambos casos, las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los diferentes materiales y los requisitos granulométricos se presentan en la especificación respectiva.

Para el traslado del material para conformar sub bases y bases al lugar de obra, se deberá humedecer adecuadamente los materiales y cubrirlos con una lona para evitar emisiones de material particulado, a fin de evitar que afecte a los trabajadores y poblaciones aledañas de males alérgicos, respiratorios y oculares.

Los trabajos de sub bases y bases consisten en el suministro, transporte, colocación y compactación de los materiales de afirmado o material granular sobre la subrasante terminada (ó sub base si existiera), de acuerdo con la presente especificación.

El material para sub bases y bases se colocará en capas de 10 cm a menos que la capa sea de menor espesor, procediéndose a la compactación utilizando planchas

vibratorias, rodillos vibratorios ó algún equipo que permita alcanzar la densidad especificada.

**Sub-base de afirmado o material granular:**

Se denomina sub base a la capa intermedia de la estructura de un pavimento ubicado entre la subrasante y la capa de base, sus funciones son económicas y estructurales con las siguientes características:

Distribuir las cargas solicitantes, de manera que sobre las subrasantes actúan presiones compatibles con la calidad de ésta.

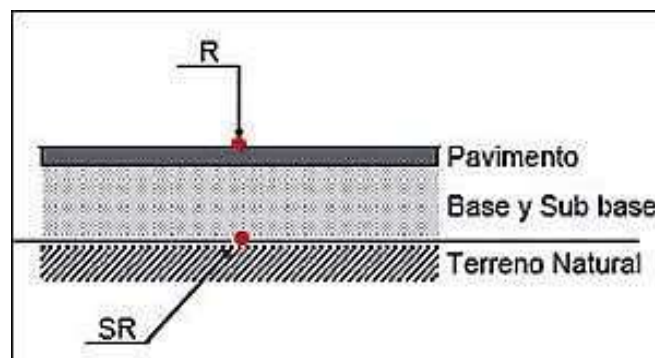
Absorber las deformaciones en las subrasantes, debido a cambios volumétricos.

Servir de dren para evacuar el agua que se infiltra desde arriba o impedir la ascensión capilar hacia la base.

**c) Superficie de rodadura o losa de hormigón**

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.

**FIGURA 6.-** Esquema de un Pavimento Rígido



**Fuente:** Ingeniería de Carreteras Volumen I, Víctor Sánchez Blanco

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.

Normalmente el espesor de la losa puede partir de unos 15 cm. Para tránsito muy ligero, hasta llegar a ser del orden de 40cm. En el caso de autopistas y carreteras con alto nivel de tránsito pesado, requiriendo además concretos homogéneos y de alta calidad, con resistencia a la tensión no inferiores a 3.5 Mpa, y muy comúnmente de 4Mpa o más.

#### COMPONENTES DE LA LOSA:

##### Agregado Grueso y Agregado Fino:

Los agregados gruesos están formados por gravas o por una combinación de grava y material triturado. Los agregados finos están formados por arenas.

Las propiedades de los agregados pueden variar, es el caso de la absorción, la granulometría, el peso volumétrico.

En términos generales, el conjunto de agregados finos y grueso ocupa en volumen de 60 a 75 %, mientras que en peso representa de 70 a 84 %.

En general, todo tipo de agregado debe cumplir ciertos requisitos básicos para su empleo, deben ser partículas duras, limpias, resistentes y libres de sustancias químicas absorbidas, así como libres de recubrimientos de materiales plásticos tales como arcilla o algunos limos que incidan la total adherencia con la pasta del cemento y la hidratación natural del cemento, se tratara de evitar partículas susceptibles a resquebrajarse.

#### Cemento:

Se debe tratar de un cemento aprobado y certificado por el fabricante Durante su almacenamiento debe recibir ventilación, con objeto de que no se acumule humedad.

#### Agua:

El contenido y la calidad del agua utilizada en el pavimento rígido influye mucho en el comportamiento a corto y mediano plazo del mismo.

Se debe evitar que el agua contenga impurezas ya que no solo afectan los tiempos de fraguado y el desarrollo de las resistencias en el concreto, sino que tienen fuerte impacto en su durabilidad, crean manchas permanentes, promueven la corrosión en elementos de refuerzo y originan estabilidad volumétrica.

Las tablas para calcular la carga distribuida permisible, es importante mencionar que el valor del módulo de reacción  $k$  es el terreno natural y no el módulo de reacción  $k$  efectivo que considera la aportación de una capa de base o subbase, lo cual se hace el caso de cargas vehiculares o cargas postes.

### **2.2.4. TIPOS DE PAVIMENTO RÍGIDO**

Esta clasificación está hecha en base a las características que presenta la losa de concreto hidráulico:

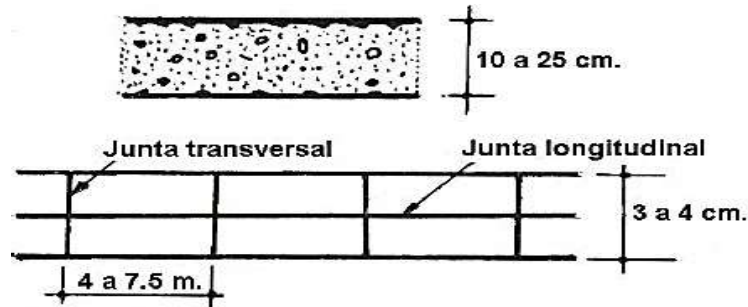
- 1) Pavimentos de concreto simple.
- 2) Pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas.
- 3) Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.
- 4) Pavimentos de concreto pre-esforzado.

A continuación se presentan las características de cada tipo de pavimento.

## 1.-Pavimentos de Concreto Simple:

La característica de este tipo de pavimentos es en que su resistencia depende en forma directa y exclusiva de la resistencia del concreto simple.

FIGURA 7.- Gráfica de Pavimento Rígido Simple



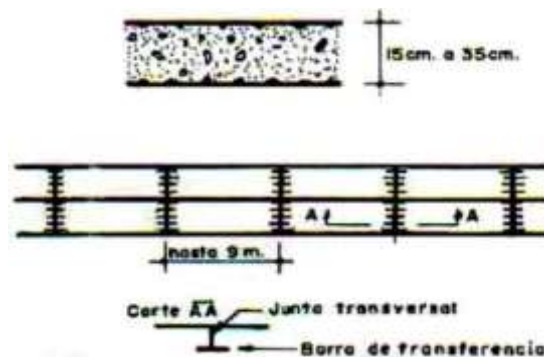
Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruiz.

## 2) Pavimentos de Concreto con Refuerzo en las Juntas:

En los pavimentos de concreto las juntas son consideradas las zonas críticas, por lo cual dichas se entrelazan entre sí por medio de un refuerzo.

Cuando la losa está sometida a la acción de una carga, las varillas que van en dichas juntas cumplen la función de transmitir la carga a las demás losas. La ventaja que ofrece el refuerzo en las juntas es que el espesor de la losa se reduce y la capacidad de carga del pavimento se ve aumentada.

FIGURA 8.- Pavimento Rígido con Refuerzo en las Juntas

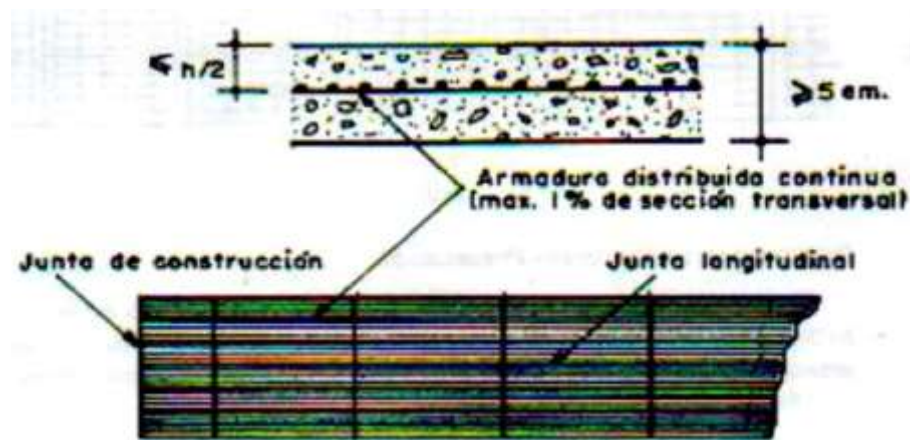


Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruiz.

### 3) Pavimentos de Concreto con Refuerzo Continuo:

En este tipo de pavimentos, también se requiere que existan las juntas, pero en este caso el refuerzo no está limitado a estas, sino que dicho refuerzo se coloca en forma longitudinal y transversal quedando una malla continua en el pavimento, con este tipo de armado se puede tener un control sobre las grietas que aparecen en el concreto, así como también tener un aumento en la capacidad de carga del pavimento, reduciéndose el espesor de la losa.

**FIGURA 9.** *Pavimento Rígido con Refuerzo Continuo*



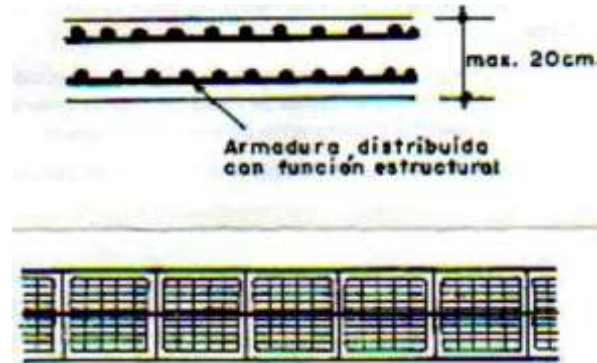
**Fuente:** "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruiz.

### 4) Pavimentos de Concreto Pre-esforzado:

La particularidad de este pavimento, está en que a la losa de concreto hidráulico se le puede aumentar su capacidad estructural, mediante la aplicación de un pre-esfuerzo.

Con esto se logra una reducción del espesor de la losa en forma notable y además las juntas van un poco más alejadas.

**FIGURA 10.- Pavimento Rígido Pre-Esforzado**



**Fuente:** "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruiz

## 2.2.5. PROPIEDADES, CARACTERÍSTICAS Y ESFUERZOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

### 2.2.5.1 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.

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 si esto es si un concreto es fuerte es lógico suponer que sea durable y resistente al desgaste.

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 ( $S'c$ ) ó Módulo de Ruptura (MR).

Módulo de Elasticidad del Concreto ( $E_c$ ).

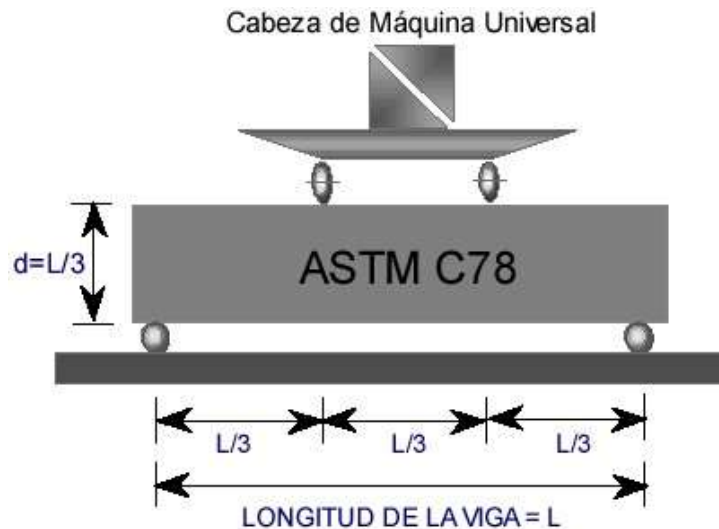
Durabilidad.



**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.

**FIGURA 11.-** 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 1.- Recomendaciones para Módulos de Ruptura**

Módulo de Ruptura Recomendado

Tipo de Pavimento	MR recomendado	
	Kg/cm <sup>2</sup>	psi
Autopistas	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.

Los dos más utilizados son:

- $E_c = 6,750 * MR$
- $E_c = 26,454 * MR ^ 0.77$

Estas fórmulas aplican con unidades inglesas.

**Durabilidad.-** En lugares dónde 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.

### **2.2.5.2. 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 so 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, ésta 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.

### **2.2.5.3. Esfuerzos de Pavimento Rígido**

El pavimento de hormigón como consecuencia de su rigidez y elevado módulo de elasticidad, tiene considerable resistencia a la flexión denominada también de viga y alta capacidad para distribuir las cargas sobre un área de suelo relativamente amplia.

Las presiones sobre el suelo o material debajo del pavimento, son muy pequeñas por la distribución de las cargas sobre una amplia superficie. Por ello la resistencia a la flexión es el factor más importante en la determinación del espesor necesario de la losa y se deduce en consecuencia que los pavimentos de hormigón no requieren subrasantes resistentes.

Los pavimentos de concreto hidráulico están sujetos a los esfuerzos siguientes:

Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.

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

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

Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.

Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Las tensiones producidas por el tráfico y por el gradiente de temperatura, son de mayor importancia que las restantes.

La acción de estos esfuerzos ya sea aislada o conjunta es la que origina un estado de tensiones en la losa. Para disminuir las producidas por las variaciones de temperatura, humedad y retracción del fraguado, el pavimento se divide en losas, por juntas debidamente dispuestas para que las tensiones producidas sean admisibles en la práctica.

Cuando no se toman en cuenta los esfuerzos de tensión generados en la base de la losa se puede generar el agrietamiento de las losas como resultado de la resistencia por fricción que se genera en la interface losa-capa de apoyo.

Los esfuerzos en pavimentos rígidos se analizan en la losa de concreto y provienen de varios efectos:

**a) Por efecto de las cargas**

Estos esfuerzos son, en general, de los más importantes que pueden producirse. Como quiera que la resistencia a la compresión sea importante, los esfuerzos de tensión producidos en la flexión de la losa, son los críticos. Para su cálculo se utilizan fórmulas originalmente obtenidas por Westergaard. Estas fórmulas están sujetas a la hipótesis de que la losa está formada por un material elástico homogéneo e isótropo; que los esfuerzos de interacción entre ella y el suelo soporte son verticales y proporcionales a las deflexiones de la propia losa y que ésta es horizontal y de espesor constante.

La segunda hipótesis implica continuidad entre losa y apoyo. Westergaard estudió tres condiciones de carga: en esquina, en el borde y en el centro de la losa.

Para la carga en esquina, la tensión máxima se produce en el plano bisector y el lecho superior de la losa.

La carga en el borde produce la tensión máxima en el lecho inferior y en la dirección paralela al borde de la losa. Cuando la carga obra en el centro, el esfuerzo máximo actúa en el lecho inferior y es, teóricamente el mismo en cualquier dirección.

**Localizaciones críticas de carga**

**Interior:** Ocurre cuando la carga es aplicada en el interior de la superficie de la losa, lejana a los bordes.

**Borde:** Ocurre cuando la carga es aplicada en el borde de la superficie de la losa, lejana a las esquinas.

**Esquina:** Ocurre cuando el centro de la carga está en la bisectriz del ángulo de la esquina.

### Fórmulas de Westergaard ( $\mu=0.15$ )

La presencia del término  $h^2$  en el denominador de las 3 fórmulas, sugiere que el espesor de la losa es crítico en la reducción de esfuerzos por carga a niveles aceptables.

FIGURA 12.-. Fórmulas de Westergaard y sus Significados de Términos

Interior	$\sigma_i = \frac{0.3162 P}{h^2} \left[ 4 \log (l/b) + 1.069 \right]$	esfuerzo de tensión en el fondo de la losa
Borde	$\sigma_b = \frac{0.572 P}{h^2} \left[ 4 \log (l/b) + 0.359 \right]$	esfuerzo de tensión en el fondo de la losa
Esquina	$\sigma_e = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right]$	Esfuerzo de tensión en la parte superior de la losa

SIGNIFICADO DE LOS TÉRMINOS DE LAS FÓRMULAS	
$\sigma_i, \sigma_b, \sigma_e$	Esfuerzos máximos en las localizaciones respectivas
P	Carga por rueda
h	Espesor de la losa
a	Radio del área cargada
l	Radio de rigidez relativa
b	Radio de la sección resistente
b	$\sqrt{1.6 (a)^2 + h^2} - 0.675 (h)$

FUENTE: "Pavimentos Rígidos" Universidad Nacional de Colombia

### Suposiciones para las fórmulas de Westergaard:

La losa actúa como un sólido homogéneo, isotrópico y elástico en equilibrio.

La losa tiene sección transversal uniforme.

Todas las fuerzas son normales a la superficie.

No hay fuerzas friccionales o de corte.

El eje neutro se encuentra en la mitad de la losa.

La deformación por corte es despreciable.

La losa se considera infinita para carga en el interior y semi-infinita para carga en el borde.

La carga se aplica sobre un área circular.

### **b) Esfuerzos por temperatura**

Estos esfuerzos pueden llegar a significar en la losa incluso más que los debidos a las cargas. Son principalmente de dos tipos: los de alabeo, que se producen cuando un lecho de la losa y el otro están a temperatura diferente, estableciéndose por ende flujo de calor transversalmente a la losa y los provocados por la restricción impuesta por el suelo de apoyo cuando la losa, calentada o enfriada uniformemente, trata de expandirse o contraerse. Los esfuerzos de alabeo se producen cuando la temperatura ambiente sufre una alteración más o menos brusca, por ejemplo cuando una noche fría sigue a un día cálido

#### **.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.

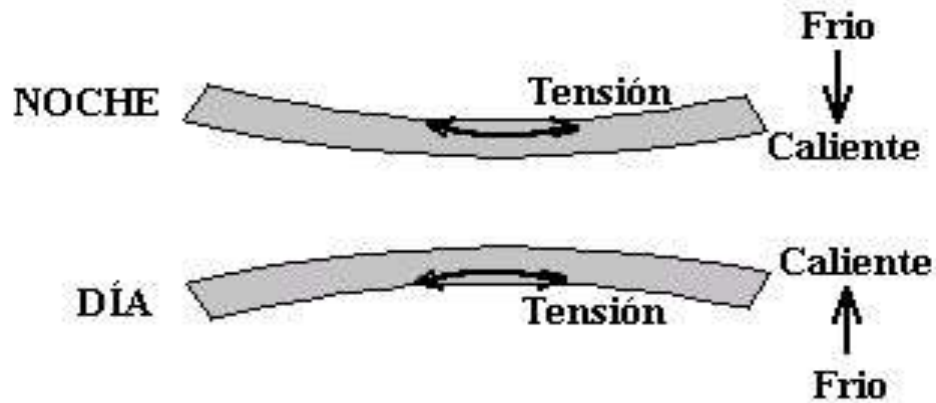
El gradiente produce un alabeo en la losa.

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.



FIGURA 13.- Esquema de Alabeo de Gradiente Térmico



FUENTE: "Pavimentos Rígidos" Universidad Nacional de Colombia

FIGURA 14.- Esfuerzos en Diferentes Puntos de la Losa

Borde de la losa	$\sigma_t = \frac{C * E * \alpha * \Delta t}{2}$
Interior de la losa	$\sigma_t = \frac{E * \alpha * \Delta t}{2} \left[ \frac{(C_1 + \mu C_2)}{1 - \mu^2} \right]$
Esquina de la losa	$\sigma_t = \frac{E * \alpha * \Delta t}{3(1 - \mu)} \left[ \sqrt{\frac{a}{l}} \right]$

$\sigma_t$	Esfuerzo en el sitio considerado
E	Módulo elástico del concreto
$\alpha$	Coefficiente de dilatación térmica del concreto (0.000005/°F)
$\Delta t$	Diferencia de temperatura entre las dos caras de la losa (gradiente)
C	Coefficiente que depende de la longitud de la losa y del radio de rigidez relativa
$C_1$	Coefficiente en la dirección en la cual se calcula el esfuerzo
$C_2$	Coefficiente en la dirección perpendicular a $C_1$
$\mu$	Relación de Poisson del concreto
a	Radio del área cargada en el borde de la losa
l	Radio de rigidez relativa

FUENTE: "Pavimentos Rígidos" Universidad Nacional de Colombia

Debido a que  $C_i$  es inversamente proporcional al módulo de reacción del soporte ( $k$ ), los esfuerzos por alabeo se incrementan cuando el soporte es muy rígido, ya que éste no puede asumir el contorno del pavimento.

Como  $C_i$  es directamente proporcional a la longitud de la losa, el aumento de ésta incrementa los esfuerzos por alabeo térmico.

### Radio de rigidez relativa (Westergaard)

FÓRMULA 1.- De Westergaard y sus Significados  
de Términos

$$l = \sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1-\mu^2)k}}$$

$h$  = espesor de la losa

$k$  = módulo de reacción del soporte

#### c) Esfuerzos producidos por cambios de humedad

Además, existen otros esfuerzos posibles en la losa de concreto, tales como los de fraguado inicial, los causados por cambios de humedad en el concreto o los de infiltración, debidos al acuñaamiento de agregados y materias extrañas en las grietas que puedan formarse en la losa, pero en general estos esfuerzos son de pequeña magnitud y no suelen tomarse en cuenta en los análisis.

Variaciones volumétricas importantes en el suelo soporte pueden inducir en la losa de concreto esfuerzos considerables de valuación muy difícil, por lo que deben evitarse cuidadosamente.

Debe notarse que la condición crítica para el diseño de la losa no se obtendrá calculando todos los esfuerzos mencionados y sumándolos. Esto sería, sin duda una condición excesivamente conservadora. Por ejemplo en un día caluroso tras noche fría habría una combinación de esfuerzos por carga, más esfuerzos por alabeo, pero la losa contraída en la noche, tenderá a expandirse en el día, por lo que la reacción de la restricción en el suelo soporte será de compresión; por lo tanto, ahora:

crit    c arg as   alabeo   restricción

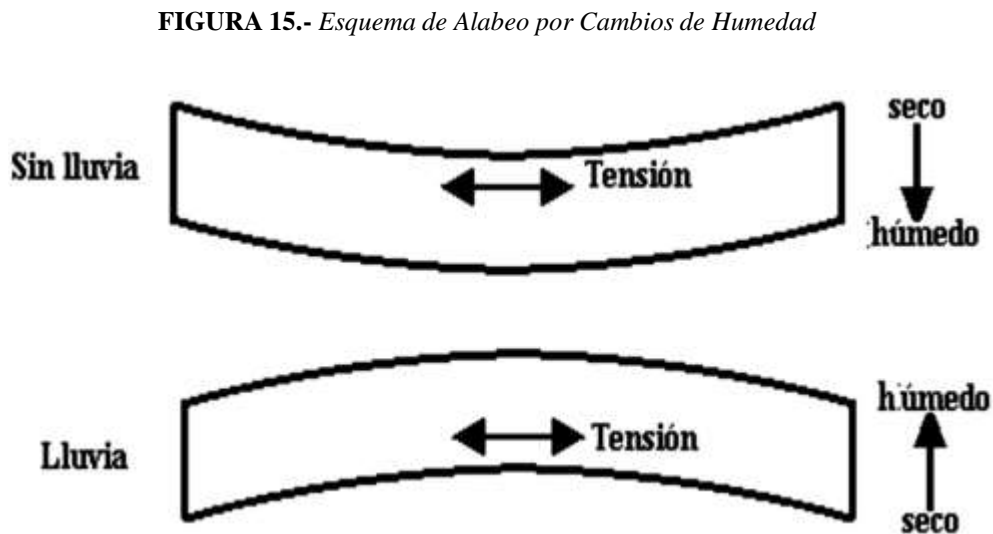
### Alabeo por cambios de humedad:

El alabeo también se produce por cambios de humedad en la losa.

Estos esfuerzos suelen ser opuestos a los producidos por cambios cíclicos de temperatura.

En climas húmedos, la humedad de las losas es relativamente constante.

En climas secos, la superficie se encuentra más seca que el fondo.



FUENTE: "Pavimentos Rígidos" Universidad Nacional de Colombia

## **2.2.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA EL PAVIMENTO RÍGIDO**

El hormigón o concreto de uso común o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

### **2.2.6.1 Capa subrasante.**

Es el terreno de fundación del pavimento, constituye la capa superior de la terracería y por lo consiguiente la capa de apoyo de los pavimentos; la cual puede estar formada por el propio terreno natural, perfilado y compactado adecuadamente. Sin embargo, cuando el material local no tiene las características para cumplir tal función, por presentar problemas de expansión, bajo valor relativo de soporte, etc., se recurre a la utilización de materiales seleccionados de mejor calidad procedente de un banco de material. Por lo anteriormente dicho constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que le son transmitidos, aun en condiciones severas de humedad.

#### **Características de la capa subrasante.**

Los materiales que se utilicen como capa subrasante deberán ser, de preferencia, del tipo: GW, SW, SM, ML, siempre que la porción fina, o sea la arcilla, no sea de alta plasticidad. Este material deberá ser compactado del 95 al 100 % de la prueba de compactación AASHTO T-99 o estándar.

Cuando los materiales sean del tipo CL, MH, CH y cuando su límite líquido, LL, esté comprendido entre 50% y 100%, se analizará la posibilidad de mejorarlos, con la finalidad de reducir los valores del LL y, en consecuencia, del IP. Cuando el terreno de apoyo sea del tipo MH, CH y OH con LL = 100%, serán desechados como

material de apoyo. Para ello se recomienda una sustitución del material en espesores mínimos de 30 cm. En todos los casos en que se encuentren bolsas de material con alto contenido de materia orgánica se deberá proceder a su sustitución total con material limoso mezclado con arena y/o grava.

Cuando en el corte de suelos naturales afloren fragmentos de roca, éstos no serán admitidos como lecho de apoyo. De ser así, se deberá proceder a la remoción de estos fragmentos endurecidos.

### **Ensayos para determinar la resistencia del terreno.**

En el diseño de pavimentos, es fundamental conocer las propiedades de los suelos que nos permiten entender sus características generales y sus comportamientos. Algunas de estas pruebas son las siguientes:

#### **Plasticidad.-**

Límite líquido.

Límite plástico.

#### **Prueba Proctor.**

Se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Su objetivo es determinar el peso volumétrico seco máximo que pueda alcanzar un material y la humedad óptima que deberá hacerse la compactación; determinar también el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos los caminos relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Proctor.

Está limitada a los suelos que pasen totalmente la malla No. 4, o que, cuando mucho, tengan un retenido de 10% y que este retenido pase totalmente por la malla 3/8".

Cuando el material tenga retenido en la malla 3/8", debe determinarse la humedad óptima y el peso volumétrico máximo con la prueba Porter estándar, así como también se trate de arenas de río, arenas producto de trituración, tezontles arenosos y en general en todos aquellos materiales que carezcan de cementación.

**Prueba Porter.**

Esta prueba determina el peso volumétrico seco máximo de compresión Porter y la humedad óptima en los suelos con material mayor de 3/8" y los cuales no se les pueden hacer la prueba Proctor.

**Valor relativo de soporte.**

Es un índice de resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad. Se expresa como el porcentaje de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo respecto a la profundidad de penetración del pistón en una piedra tipo triturada. Por lo tanto,  $P_2$  es la carga en kg necesaria para hacer penetrar el pistón en el suelo en estudio y  $P_x=1360$  kg, la que se precisa para penetrar la misma cantidad en la muestra tipo de piedra triturada, el valor relativo de soporte del suelo es:

---

**Módulo de reacción (K).**

Es una característica de resistencia que se considera constante, lo que implica elasticidad del suelo. Su valor numérico depende de la textura, compacidad, humedad y otros factores que afectan la resistencia del suelo. La determinación de k se hace mediante una placa circular de 30" de diámetro bajo una presión tal que produzca una deformación del suelo de 0.127 cm. En general se puede decir que el módulo de reacción k es igual al coeficiente del esfuerzo aplicado por la placa entre la deformación correspondiente, producida por este esfuerzo.

### **2.2.6.2 Capa subbase.**

Se define como capa subbase para pavimentos rígidos la capa de material que se ubica antes de la losa de concreto. Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad del soporte de las losas y se construye por lo general con materiales granulares, los cuales cuando el tránsito llega a ser muy pesado e intenso, se hace necesario estabilizar este material; para evitar que bajo su acción sufran erosiones indeseables se recurre a subbases de grava-cemento. Por otra parte cuando el tránsito es ligero el material de la capa subrasante es de buena calidad, se suprime la subbase. Debe mencionarse que eventualmente a esta capa se la denomina base, por su posición inmediata bajo la losa. Sin embargo se le designa como subbase debido a que en general los requerimientos de calidad de los materiales no son tan estrictos como los de una base en un pavimento flexible, teniendo en cuenta que la losa de concreto reduce los esfuerzos impuestos a esta capa por las cargas aplicadas por los vehículos.

### **Características de las subbases.**

La subbase es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante.

La subbase tiene por objeto:

Servir de capa de drenaje al pavimento.

Controlar o eliminar en lo posible cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante.

Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas protegiendo así al pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de helada. Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en los suelos limosos donde la ascensión capilar del agua es considerable.

El material de la sub-base debe ser seleccionada y tener mayor capacidad que el terreno de fundación compactado, este material puede ser grava, arena, grava o granzón, escoria de los altos hornos y residuos de material de cantera. En algunos

casos es posible emplear para la sub-base material de la subrasante mezclado con granzón, cemento, etc.

El material debe tener las características de un suelo A1 o A2 aproximadamente. Su límite líquido debe ser inferior al 35% y su índice plástico no mayor a 6. El CBR no podrá bajar del 15%.

Si la función principal de la sub-base es de servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular y la cantidad de material fino que pasa el tamiz No 200 no deberá ser mayor al 8%.

En la actualidad como elemento drenante en la sub-base se está utilizando con mucha frecuencia geotextiles. El geotextil se define como cualquier textil permeable usado en fundaciones, roca o suelo. Sus propiedades hidráulicas son considerables, convenientes para las funciones de filtración y drenaje.

### **Granulometría.**

A manera de guía, en la tabla 2.1, de la especificación AASHTO M 147, se muestran granulometrías críticas del material de subbase cuando se emplean subbases con materiales de tamaño uniforme, semejantes a la granulometría A, puede ser necesario tomar ciertas precauciones para evitar la intrusión de los suelos finos subyacentes hacia la subbase.



**TABLA 2.-Requisitos Granulométricos de Materiales para Subbases**  
*Mezcla Suelo – Agregados AASTHO M147*

Tamaño de la Malla	Porcentaje que pasa en peso					
	A	B	C	D	E	F
2"	100	100	...	...	...	...
1"	...	75-95	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	...	...
Nº 4	25-65	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
Nº 200	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

**FUENTE: AASTHO M147**

Adicionalmente el material deberá cumplir con lo que se indica a continuación:

Límite Líquido	25 % máx.
Índice de Plasticidad	6 % máx.
Desgaste de los Ángeles	40 % máx.
Contracción Lineal	4 % máx.
Equivalente de Arena	25 % min.
C.B.R.	$\geq 40$

**Espesor.**

Ya que la finalidad principal de la capa de la subbase es evitar el efecto del bombeo de finos, no es necesario ni tampoco económico utilizar subbases gruesas. Los espesores de subbase de 10 a 15 cm se especifican generalmente en proyectos comunes de construcción, como una manera práctica de garantizar el espesor mínimo de 5 a 7.5 cm, necesario para evitar el bombeo.

**2.2.6.3 Clima.****Condiciones de clima frío.**

Cuando se elabora concreto en épocas de invierno, se presentan numerosos problemas que hacen necesaria una planeación anticipada. Antes de la iniciación de los trabajos deben tenerse a la mano los materiales para la protección de la subrasante y las capas de base y para el curado del concreto.

**Condiciones de clima cálido.**

Durante la fabricación del concreto en condiciones de clima cálido, deben tomarse las precauciones necesarias para colocarlo a la mínima temperatura que sea práctica. Las temperaturas del concreto deben ser controladas para asegurar su adecuada colocación, compactación, acabado y curado y para evitar el agrietamiento debido a contracciones plásticas del propio concreto. Tolerancias en los espesores, los pavimentos y las bases de concreto deben construirse con los espesores marcados en los planos del proyecto. Generalmente será suficiente realizar una revisión cuidadosa de la elevación de la cimbra y de la profundidad hasta la subrasante o la sub-base, haciendo mediciones con el auxilio de cordeles. Si se considera necesario verificar el espesor del pavimento después de construido, se hará efectuando mediciones en corazones extraídos de él con broca. Los corazones se tomarán a los intervalos que fije el ingeniero y deberán tener un diámetro mínimo de 10 cm. La medición de ellos debe efectuarse de acuerdo con la norma ASTM C174.

#### **2.2.6.4 Capa de rodadura (Losa de hormigón).**

Constituye la parte fundamental del pavimento rígido, debiendo 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 factores ambientales durante su vida útil, de manera que solo deban ser necesarias algunas actuaciones locales y esporádicas de conservación, de poca importancia y costo.

Un pavimento rígido se halla constituido por un elemento estructural fundamental una losa de concreto; debido a la rigidez que presenta esta losa, esta clase de pavimentos no requieren, al menos desde un punto de vista teórico, apoyarse sobre una explanada o capa de elevada capacidad de soporte.

Normalmente el espesor de la losa puede partir de unos 15 cm para tránsito muy ligero, hasta llegar a ser del orden de 40 cm en el caso de autopistas y carreteras con alto nivel de tránsito pesado, requiriendo además concretos homogéneos y de alta calidad, con resistencias a la tensión no inferiores a 3.5 MPa, y muy comúnmente de 4 MPa o más.

El hormigón de tipo vibrado utilizado para trabajos de pavimentación debe satisfacer ciertas características muy particulares, que marcan diferencias con respecto a los hormigones utilizados en otro tipo de obras, por lo que puede clasificarse como un hormigón de alto comportamiento. A continuación se indican las características que son fundamentales para la correcta elaboración de la mezcla, que su finalidad es satisfacer los requerimientos indispensables para la elaboración de la losa de hormigón.

#### **Calidad del Hormigón.**

Las mezclas del Concreto Hidráulico para Pavimentos deben de estar previstas para:

- a) Garantizar una durabilidad satisfactoria dentro de las condiciones de requerimiento del Pavimento.
- b) Para asegurar la resistencia deseada a la flexión.

La flexión en los Pavimentos de Concreto Hidráulico, bajo las cargas aplicadas porros neumáticos, produce esfuerzos de comprensión y tensión. Los esfuerzos de

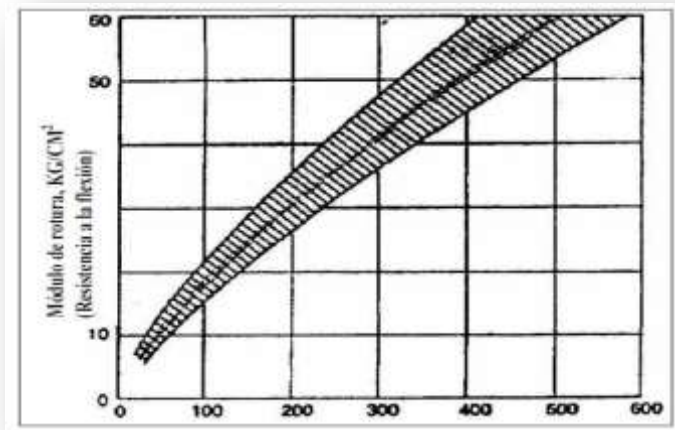
compresión son pequeños en relación a la resistencia de la misma, y sin mayor incidencia en el espesor de la losa.

Por lo tanto el concreto hidráulico que se utiliza en los pavimentos se especifica por su resistencia a la flexión, medida por el Módulo de Rotura a Flexión, a los 28 días. El Módulo de Rotura a Flexión (MR) expresada en  $\text{kg/cm}^2$ , generalmente varía entre los siguientes valores:

$$40 \leq MR \leq 50$$

A continuación se presenta un gráfico de la correlación entre el Módulo de Rotura a Flexión (MR) y la resistencia a la compresión del Concreto Hidráulico a los 28 días

( $f'c$ ). **FIGURA:16** Gráfico de Correlación



**FUENTE: AASTHO M 147**

— (—)

$$0.10f'c \leq MR \leq 0.17f'c$$

Dónde:

P = Carga de Rotura.

L = Distancia entre apoyos.

b = ancho de la viga.

d = peralte de la viga.

En Pavimentos de Concreto Hidráulico se exige:

$$MR \geq 40 \text{ kg/cm}^2 \text{ o sea } f'c \geq 280 \text{ kg/cm}^2.$$

Aceptándose  $f'c \geq 210 \text{ kg/cm}^2$  para tráfico ligero.

**Propiedades y Control.**

La calidad de un concreto se define en términos de trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Estos aspectos de la calidad del concreto fueron optimizados en el proyecto, encontrar un método de diseño que garantice estas características con el resultado de un concreto económico es una tarea importante.

Los objetivos particulares que se busca son:

Su trabajabilidad para su colocado fácilmente.

Resistencia y durabilidad satisfactoria.

El logro de mezcla competitiva a costos los más bajos posibles.

Dentro de las actividades de control que se debe poner atención en la ejecución de losa de hormigón, podemos mencionar las más importantes:

Verificación previa de la calidad y consolidación de los materiales que componen las capas de transición o de apoyo.

Evaluación y aceptación de los materiales que conformaran el hormigón, respaldados mediante certificados de calidad y abalados por ensayos físico-químicos de un laboratorio de materiales.

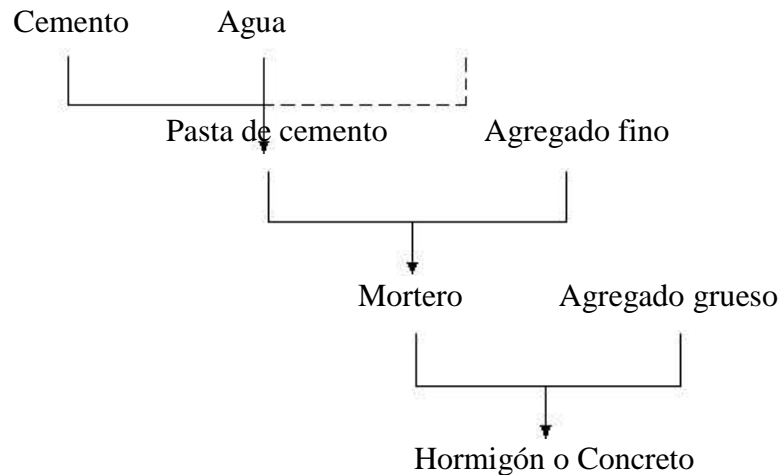
Verificación y oportuna corrección al diseño y dosificación de la mezcla.

Control del transporte, colocación, vibrado, terminado y curado de la losa de hormigón.

**Características y propiedades del hormigón.**

El hormigón, o concreto de uso común o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

### Esquema de Integración del Hormigón.



Las propiedades que presenta el hormigón, en estado fresco y endurecido difieren una de otra, de igual forma los fenómenos como la retracción, la temperatura, características mecánicas, reológicas (relación entre el esfuerzo y la deformación) y durabilidad del hormigón.

### Características mecánicas del hormigón.

#### a.- Resistencia a compresión y característica del hormigón.

La resistencia a compresión simple es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas. El concepto de resistencia característica se refiere, por antonomasia, a la resistencia a compresión medida sobre probetas cilíndricas 15 x 30 de veintiocho días de edad, fabricadas, conservadas y rotas según métodos normalizados; pero puede hacerse extensivo a cualquier tipo de ensayo, clase de probeta, modo de conservación y edad del hormigón, ya que se trata de una definición de tipo estadístico. Siempre que se hable, en esta obra, de resistencia característica, nos referimos a la primera definición, salvo advertencia en contrario.

Para consideraciones promedio el  $H^o$  que posee un módulo de rotura (método IRAM 1547-ASTM C 78) comprendido entre 40 y 50  $\text{kg/cm}^2$  a los 28 días resulta económicamente más conveniente.

#### **b.- Resistencia a tracción del hormigón.**

Para ciertos elementos de hormigón, como en el caso de pavimentos, puede ser más interesante el conocimiento de la resistencia a tracción que la de compresión, por reflejar mejor ciertas cualidades, como la calidad y limpieza de los áridos.

La resistencia a tracción que ofrece un hormigón se puede definir como el esfuerzo inverso al de compresión, que actúa de forma paralela a la línea axial mayor de un elemento sometido a alguna acción o sollicitación de carga.

### **2.2.7 MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA LOSA DE HORMIGÓN.**

#### **a.- Cemento.**

Los cementos son los conglomerantes hidráulicos, o sea materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen tanto en el aire como bajo el agua. Los cementantes que se utilizan para la fabricación del hormigón son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aun estando inmersos en ella, característica que los distingue de los cementantes aéreos que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire.

Los cementos para hormigón hidráulico son elaborados a base de clinker Portland en nuestro medio, por cuyo motivo se justifica centrar el interés en éste. Para la elaboración del clinker Portland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal y sílice, y accesoriamente óxido de fierro y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización, ya sea en seco o en húmedo.

La materia prima así procesada, ya sea en forma de polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de  $1400^{\circ}\text{C}$ , hasta que alcanza un estado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos no mayores a

6 cm. Cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clinker Portland.

Una vez frío, el clinker en proporción en masa entre el 95 y 100%, se muele conjuntamente con una reducida proporción de yeso en masa entre 0 y 5%, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento Portland simple, el mismo que se constituye en el cemento que se ha utilizado tradicionalmente para la fabricación del concreto hidráulico en el país.

En la siguiente tabla obtenida de la Norma Boliviana (IBNORCA) se muestra algunas características del cemento.

**TABLA 3.- Análisis Químico-Físico y Mecánico de los Cementos.**

<b>Análisis Químico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Requisitos Según NB 011</b>
Oxido de Magnesio: (NB 061)      MgO	%	menor a 6,0
Óxido de Azufre: (NB 061)      SO <sub>3</sub>	%	menor a 4,0
Pérdidas Por Calcinación: (NB 061)      PPC	%	menor a 7,0
<b>Ensayos Físicos</b>	<b>Unidad</b>	
Tiempo inicial de fraguado: (NB 063)	h:min.	mayor a 0:45
Tiempo final de fraguado: (NB 063)	h:min.	menor a 10:00
Expansión (Le Chatelier C-A): (NB 643)	mm	menor a 10:00
Finura, Superficie Específica según Blaine: (NB 472)	cm <sup>2</sup> /g	mayor a 2600
Peso específico: (NB 064)	g/cm <sup>3</sup>	No especifica

**FUENTE:** Obtenida de la Norma Boliviana



<b>Ensayos Mecánicos</b>		<b>Unidad</b>	
<b>Norma NB 470 (ASTM C1099)</b>			
Resistencia a la compresión	3 días	MPa	mayor a 17
En mortero normalizado a:	7 días	MPa	mayor a 25
	28 días	MPa	mayor a 40

<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>AJUSTE PRINCIPAL</b>
I	Cemento normal u ordinario, destinado a obras de concreto en general.	Sin ajuste específico en este aspecto.
II	Destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.	Moderado C3A
III	Cemento Portland de alta resistencia inicial.	Alto C3S
IV	Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.	Alto C2S, moderado C3A
V	Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos.	Bajo C3A

El cemento Portland más usado en nuestro país, es el TIPO I (ASTM)

**TABLA 4.- Categorías Resistentes de los Cementos.**

Categorías resistentes		Resistencias a la compresión (MPa) (NB 470) (1)		
		Mínimas a 3 días	Mínimas a 7 días	Mínimas a 28 días
Alta	40 MPa	17	25	40
Media	30 MPa	-	17	30
Corriente	25 MPa	-	15	25

**FUENTE:** *Obtenida de la Norma Boliviana*

**b.- Requisitos del agua.**

El agua es un elemento fundamental en la elaboración del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido; por lo que debe tenerse muy en cuenta la calidad de la misma.

En todos los casos, deberá ser limpia y libre de aceites, ácidos, azúcar, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial al pavimento terminado. En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. El pH medido según norma ASTM D-1293, no podrá ser inferior a cinco (5).

El agua deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla 2.4. Se excluye al agua de mar en este apartado.

**TABLA 5.- Valores Característicos y límites máximos tolerables de sales**

Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua		
Valores en partes por millón (ppm)		
Impurezas	Tipo de cemento	
	Cementos ricos en calcio	Cementos resistente a los sulfatos (RS)
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo	2 000	2 000
Sólidos en suspensión en aguas recicladas <sup>[1]</sup> : (finos de cemento y de agregados), máximo	50 000	35 000
Cloruros como Cl <sup>[2]</sup> :		
• Para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes <sup>[3]</sup> , máximo	400	600
• Para concretos reforzados que estén en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares <sup>[3]</sup> , máximo	700	1 000
Sulfato como SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> <sup>[2]</sup> , máximo	3 000	3 500
Magnesio como Mg <sup>++</sup> <sup>[2]</sup> , máximo	100	150
Carbonatos como CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> , máximo	600	600
Bióxido de carbono disuelto como CO <sub>2</sub> , máx	5	3
Alcalis totales como Na <sup>+</sup> , máximo	300	450
Total de impurezas en solución, máximo	3 500	4 000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido) <sup>[4]</sup> , máximo	150	150
Potencial de hidrógeno (pH), mínimo	6	6,5

FUENTE: *Manual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System*  
Volumen 04 031999

### c.- Aditivos.

Los aditivos son sustancias que se pueden agregar al concreto con el fin de modificar algunas de sus propiedades, o para inducirle algunas características adicionales: trabajabilidad, reducción de agua de mezclado, incorporación de aire, modificación de los tiempos de fraguado, proporcionar diferentes grados de impermeabilidad. No obstante que en prácticamente en todos los concretos es posible utilizar aditivos, existen tres criterios básicos que deberán tomarse en cuenta:

La adición de aditivo a la mezcla deberá lograr el objetivo buscado sin alterar su proporcionamiento básico.

Su empleo estará justificado desde el punto de vista económico.

Se investigará que el producto no tenga efectos nocivos en la mezcla, tanto de forma inmediata como a largo plazo.

En pavimentos rígidos se emplean más frecuentemente dos tipos de aditivos: los inclusores de aire y los reductores de agua. Sin embargo, algunas aplicaciones especiales demandan características específicas del concreto hidráulico, por lo que en ocasiones se pueden emplear superfluidificantes, retardantes e incluso acelerantes de fraguado y para climas bastantes fríos se suele emplear inclusores de aire.

El almacenamiento de aditivo requiere del cuidado de varios aspectos:

No se debe dejar contaminar ni sufrir daño.

Los depósitos de aditivo nunca se deben exponer a frío ni calor excesivo y los aditivos nunca deben congelarse.

Es importante realizar ensayos de control de calidad a estos productos químicos para asegurar una correcta aplicabilidad.

#### **d.- Agregados.**

Empleados para la confección de hormigones, pueden emplearse arenas y gravas naturales o procedentes de machaqueo, que reúnan en igual o superior grado las características de resistencia y durabilidad que se le exijan al hormigón.

#### **Agregado Grueso.**

Los agregados tanto gruesos como finos constituyen en conjunto cerca del 75% del volumen de la mezcla de concreto, por lo que su calidad influye grandemente en sus características, principalmente de trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

El agregado grueso corresponde a la fracción cuyas partículas son mayores a 4.76 mm (malla N°4), se tiene un tamaño máximo hasta de 63.5 mm (2 1/2") en concretos vibrados. Es importante, para prevenir la segregación de tamaños en su manipulación, previamente a la elaboración del concreto, fraccionar el agregado grueso en dos porciones como mínimo, separadas por la malla de 19 mm (3/4") cuando el tamaño máximo es de 38,1 mm (1 1/2") o por la malla de 25.4 mm (1") cuando el tamaño máximo sea de 50.8 mm (2") o de 63.5 mm (2 1/2").

Los agregados deben tener como principales características el ser duros, sanos, resistentes al interperismo e inertes a la reacción química con los álcalis del cemento. Los agregados con partículas blandas, disgregables o laminares son inconvenientes y deben por lo tanto evitarse en la construcción de pavimentos.

Con objeto de obtener concretos de alta calidad, facilitar su construcción, evitar riesgos de segregación y lograr un mejor acabado superficial, el tamaño máximo recomendado generalmente para el concreto es de 5 cm.; no debe ser mayor que la cuarta parte del espesor de la capa en que se pretende utilizar. Debe también mencionarse que, a mayor tamaño máximo, se requiere menor cantidad de pasta de cemento y, por lo tanto, menor consumo de cemento para alcanzar la resistencia requerida, debiendo vigilarse que la granulometría de los agregados sea la adecuada.

La forma de la partícula es importante tanto en los agregados finos como en los gruesos. Cuando existan partículas planas y alargadas o de forma angulosa, se requerirá mayor porcentaje de material fino y mayor contenido de agua y cemento para producir un concreto trabajable, que cuando el agregado es redondeado, como suele ser el caso de los agregados naturales.

El agregado producto de trituración de roca o de fragmentos puede reunir características muy satisfactorias cuando la forma de sus partículas no se aparta apreciablemente de la forma cúbica; a este respecto debe mencionarse la influencia que ejerce la naturaleza del material y el tipo de trituradora en la forma resultante de las partículas.

La granulometría del agregado grueso para un tamaño máximo dado puede variar considerablemente sin afectar apreciablemente el contenido de cemento, siempre y cuando el contenido de arena se mantenga próximo al óptimo para lograr una buena trabajabilidad; sin embargo, la curva granulométrica deberá quedar en todo momento dentro de los límites especificados, salvo que se cuente con experiencia local de buen comportamiento de mezclas efectuadas con curvas granulométricas fuera de dichos límites.

**TABLA 6.- Características Físico –Químicas de los Agregados Gruesos**

Desgaste a los Ángeles	$\leq 30 \%$
Tamaño máximo	$\leq 50 \text{ mm.}$
Peso Unitario valores entre	1,20 y 1,50 gr./cm <sup>3</sup>
Absorción de agua 24 horas ( la perdida)	no excederá del 3% en peso
<b>No contendrá sustancias perjudiciales en exceso de los siguientes limites</b>	
Fragmentos Blandos	3 % en peso
Carbón y lignito	1 % en peso
Terrones de arcilla	0,5 % en peso
Material que pasa el tamiz N° 200	1 % en peso
Durabilidad con sulfato de sodio ( la perdida)	luego de 5 ciclos no excederá el 12%

**FUENTE:** *Manual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System*  
*Volumen 04 031999*

La distribución por tamaño de las partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. En las tablas que a continuación presentamos, se muestran las mallas utilizadas en el cribado del agregado grueso.

**TABLA 7.-Granulometría del Agregado Grueso.**

Tamiz cuadrada ASTM	Malla	Porcentaje en Peso que pasa Según el tamaño máximo		
		2.5 cm. ( 1" )	4 cm. ( 1 1/2" )	5 cm. ( 2" )
2 1/2"		...	...	100
2"		...	100	90-100
1 1/2"		100	90-100	...
1"		90-100	...	35-70
3/4"		...	35-70	...
1/2"		25-60	...	10-30
3/8"		...	10-30	...
Nº 4		0-10	0-5	0-5
Nº 8		0-5	...	...

FUENTE: *Manual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System*  
Volumen 04 031999

### **Agregado Fino.**

Es el agregado de mayor responsabilidad; a diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento, puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena.

Las mejores arenas son las de río, ya que, salvo raras excepciones, son cuarzo puro, por lo que no hay que preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad.

La arena de mina suele tener arcilla en exceso, por lo que generalmente es preciso lavarla. Las arenas de mar, si son limpias, pueden emplearse en hormigón, previo lavado con agua dulce.

Las arenas que provienen del machaqueo de granitos, basaltos y rocas análogas son también excelentes, con tal de que se trate de rocas sanas que no acusen un principio de descomposición.

Deben rechazarse de forma absoluta las arenas de naturaleza granítica alterada (caolinización de los feldespatos).

Las arenas de procedencia caliza son de calidad muy variable. Siempre resultan más absorbentes y requieren más cantidad de agua de amasado que las silíceas.

Su resistencia al desgaste es baja, por lo que los hormigones sometidos a este efecto (por ejemplo, en pavimentos) deben confeccionarse con arena silícea, al menos en un 30 % de la totalidad de la arena.

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de los hormigones, sobre todo cuando se dosifica en volumen. Por ello es siempre necesario tenerla en cuenta.

Respecto a los agregados finos, para el caso de pavimentos, se puede exigir las siguientes características:

**TABLA 8.-Características Físico –Químicas de los Agregados Finos.**

Módulo de finura	> 2,3 y < 3,10
Peso Unitario valores entre	1,20 y 1,50 gr./cm <sup>3</sup>
Absorción de agua 24 horas ( la perdida)	no excederá del 5% en peso
<b>No contendrá sustancias perjudiciales en exceso de los siguientes limites</b>	
Carbón y lignito	0,5 % en peso
Terrones de arcilla	3,0 % en peso
Material que pasa el tamiz N° 200, vía húmeda	3,0 % en peso
Otra sustancias como álcalis, sales, mica, partículas blandas, etc.	1 % en peso

**FUENTE:** *Manual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System*

Volumen 04



La distribución por tamaño de las partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. En la tabla que a continuación presentamos, se muestran las mallas utilizadas en el cribado del agregado fino.

**TABLA 9.-Serie de Mallas Estándar y Límites de Tolerancia Para la Arena**

<b>Tamiz cuadrada</b>	<b>Malla ASTM</b>	<b>Porcentaje en Peso que pasa Según el tamaño máximo</b>
3/8"		100
Nº 4		95 – 100
Nº 8		85 – 100
Nº 16		45 – 80
Nº 30		23 – 60
Nº 50		10 – 30
Nº 100		2 – 10

**FUENTE:** *Manual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System*  
Volumen 04

## **2.2.8.-PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS**

### **2.2.8.1.-DIMENSIONAMIENTO DE LOSAS**

El diseño geométrico es el resultado del *análisis de la geometría vial* de un proyecto (Altimetría y Planimetría).

En los Pavimentos de Concreto Hidráulico, este detalle en nuestro medio, es el menos considerado, porque esta variable define todos los sistemas de servicios públicos que deben ser analizados y diseñados previamente al diseño geométrico final de la estructura del pavimento, de tal manera, que permita, sin necesidad de romper la estructura, realizar las nuevas instalaciones y el mantenimiento correspondiente de las mismas.

### **2.3.-DIMENSIONAMIENTO DE ESPESORES**

El diseño completo de un sistema vial necesita del conocimiento de todas las variables que hemos mencionado anteriormente, complementando estas con un excelente diseño de juntas, por lo tanto, existen muchas metodologías de diseño en el mundo y que, según el profesor Jeuffroy, se clasifican en tres grupos:

- Teóricas
- Empíricas
- Semiempíricas

#### **a.- Teóricas.**

Son aquellas metodologías que asimilan o modelan la estructura del pavimento en función del estudio elástico de sistemas multicapas, sometidos a cargas estáticas. Entre ellos tenemos a Boussinesq, Burmister, Hogg, Westergard, Peattie- Jones, Jeuffroy y Bachélez, Picket, Ivannoff, etc.

Algunos incluyen propiedades Visco-Elásticas en las capas de la estructura y problemas de carga variable, como el caso del Laboratorio Central de Puentes y Caminos de Francia.

#### **b.- Empíricos**

Estas renuncian a la utilización de los resultados de la mecánica y se limitan a una clasificación de suelos y de tipos de pavimentos más usuales experimentales. Entre ellos, tenemos a Steele, Aviación Civil Americana, CIUSA, etc.

#### **c.- Semiempíricos.**

Llamadas últimamente “Diseños Mecanicistas-Empíricos” combinan los resultados anteriores y preparan circuitos de ensayos en Laboratorio o Vías de servicio. Estos métodos son los que tienen mayor difusión y son a la vez los más racionales.

Tomando esta última clasificación, la avanzada tecnológica ha desarrollado técnicas que permiten diseñar la estructura del pavimento de forma muy práctica y racional, a través de los llamados catálogos y/o nomogramas de diseño ,estos son llevados a sistemas COMPUTARIZADOS, que están permitiendo muchas alternativas SOLUCIÓN. Algunos de estos métodos de Diseño del Espesor de la Losa son:

PCA  
AASHTO 1993  
AASHTO 1998  
AASHTO 2002 (Evalúa Costos)

Estos métodos son utilizados para prevenir agrietamientos de la losa de Hormigón.

### **2.3.1 Diseño de losa.**

Actualmente, se usan dos métodos de diseño para calcular el espesor de pavimentos de hormigón: el método de la Asociación de Cemento Portland (PCA) y el método de la Asociación Americana de la Organización de Transporte de Carreteras del Estado (AASHTO). En Estados Unidos en 1994, 35 agencias estaban utilizando el método AASHTO, y 5 el método PCA; los últimos 6 estaban utilizando su propio método de diseño. En Canadá, se usan ambos métodos.

#### **Localizaciones críticas de carga**

**Interior:** Ocurre cuando la carga es aplicada en el interior de la superficie de la losa, lejana a los bordes.

**Borde:** Ocurre cuando la carga es aplicada en el borde de la superficie de la losa, lejana a las esquinas.

**Esquina:** Ocurre cuando el centro de la carga está en la bisectriz del ángulo de la esquina.

#### **Fórmulas de Westergaard ( $\mu=0.15$ )**

La presencia del término  $h^2$  en el denominador de las 3 fórmulas, sugiere que el espesor de la losa es crítico en la reducción de esfuerzos por carga a niveles aceptables.

**FIGURA 17.-** Fórmulas de Westergaard y sus Significados de Términos

Interior	$\sigma_i = \frac{0.3162 P}{h^2} \left[ 4 \log (l/b) + 1.069 \right]$	esfuerzo de tensión en el fondo de la losa
Borde	$\sigma_b = \frac{0.572 P}{h^2} \left[ 4 \log (l/b) + 0.359 \right]$	esfuerzo de tensión en el fondo de la losa
Esquina	$\sigma_e = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right]$	Esfuerzo de tensión en la parte superior de la losa

SIGNIFICADO DE LOS TERMINOS DE LAS FORMULAS	
$\sigma_i, \sigma_b, \sigma_e$	Esfuerzos máximos en las localizaciones respectivas
P	Carga por rueda
h	Espesor de la losa
a	Radio del área cargada
l	Radio de rigidez relativa
b	Radio de la sección resistente
b	$\sqrt{1.6 (a)^2 + h^2} - 0.675 (h)$

FUENTE: *Manual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System*

Volumen 04

### Suposiciones para las fórmulas de Westergaard:

La losa actúa como un sólido homogéneo, isotrópico y elástico en equilibrio.

La losa tiene sección transversal uniforme.

Todas las fuerzas son normales a la superficie.

No hay fuerzas friccionales o de corte.

El eje neutro se encuentra en la mitad de la losa.

La deformación por corte es despreciable.

La losa se considera infinita para carga en el interior y semi-infinita para carga en el borde.

La carga se aplica sobre un área circular.

### a) Esfuerzos por temperatura

Estos esfuerzos pueden llegar a significar en la losa incluso más que los debidos a las cargas. Son principalmente de dos tipos: los de alabeo, que se producen cuando un lecho de la losa y el otro están a temperatura diferente, estableciéndose por ende flujo de calor transversalmente a la losa y los provocados por la restricción impuesta por el suelo de apoyo cuando la losa, calentada o enfriada uniformemente, trata de expandirse o contraerse.

Los esfuerzos de alabeo se producen cuando la temperatura ambiente sufre una alteración más o menos brusca, por ejemplo cuando una noche fría sigue a un día cálido.

#### Alabeo por gradiente térmico:

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

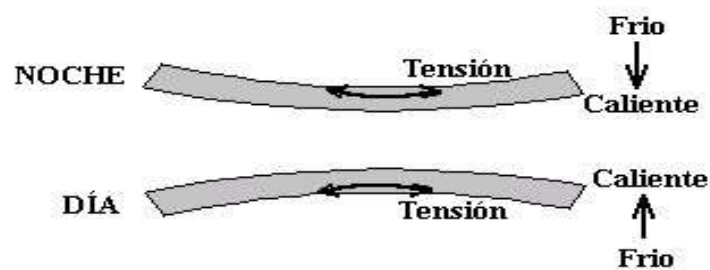
Este ciclo térmico crea un gradiente térmico en la losa.

El gradiente produce un alabeo en la losa.

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.

**FIGURA 18.-** Esquema de Alabeo de Gradiente Térmico



FUENTE: Obtenida de la Norma Boliviana

## Fórmulas de bradbury

**FIGURA 19.-** Fórmulas de Bradbury y sus Significados de Términos

Borde de la losa	$\sigma_t = \frac{C * E * \alpha * \Delta t}{2}$
Interior de la losa	$\sigma_t = \frac{E * \alpha * \Delta t}{2} \left[ \frac{(C_1 + \mu C_2)}{1 - \mu^2} \right]$
Esquina de la losa	$\sigma_t = \frac{E * \alpha * \Delta t}{3(1 - \mu)} \left[ \sqrt{\frac{a}{l}} \right]$

$\sigma_t$	Esfuerzo en el sitio considerado
E	Módulo elástico del concreto
$\alpha$	Coefficiente de dilatación térmica del concreto (0.000005/°F)
$\Delta t$	Diferencia de temperatura entre las dos caras de la losa (gradiente)
C	Coefficiente que depende de la longitud de la losa y del radio de rigidez relativa
$C_1$	Coefficiente en la dirección en la cual se calcula el esfuerzo
$C_2$	Coefficiente en la dirección perpendicular a $C_1$
$\mu$	Relación de Poisson del concreto
a	Radio del área cargada en el borde de la losa
l	Radio de rigidez relativa

**FUENTE:** *Manual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System*  
Volumen 04

Debido a que  $C_i$  es inversamente proporcional al módulo de reacción del soporte (k), los esfuerzos por alabeo se incrementan cuando el soporte es muy rígido, ya que éste no puede asumir el contorno del pavimento.

Como  $C_i$  es directamente proporcional a la longitud de la losa, el aumento de ésta incrementa los esfuerzos por alabeo térmico.

### Radio de rigidez relativa (Westergaard)

$$l = \sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1-\mu^2)k}}$$

h = espesor de la losa

k = módulo de reacción del soporte.

#### b) Método de Diseño PCA.

Este método se basa en dos criterios específicos, uno relativo a la resistencia a la fatiga del hormigón y el otro a la erosión de la base. En el primer caso, se supone que la carga máxima se aplica en medio de la losa justo sobre la junta longitudinal que da la tensión máxima con la losa. En el segundo caso, se supone que la carga máxima se aplica en una esquina de la losa para generar deflexión máxima de la losa.

Cuando se usa este método de diseño, hay que conocer cuatro parámetros fundamentales:

El módulo de ruptura del hormigón.

El módulo de reacción de la fundación.

El periodo de diseño.

Las características del tráfico.

#### c) Método de Diseño AASHTO.

Este método se basa en el uso de una ecuación empírica desarrollada por la observación de algunos pavimentos de hormigón estudiados durante ensayos de AASHTO sobre carreteras. Los criterios de diseño son:

El número de equivalentes cargas axiales de 80 KN,

El espesor de la losa,

El módulo de elasticidad del hormigón,  
El módulo de ruptura del hormigón,  
El módulo de reacción de la fundación,  
El coeficiente de transferencia de carga en las juntas  
El coeficiente de drenaje

**d) Comparación del Método PCA y ASSHTO.**

Huang ha descubierto que en el caso de losas gruesas (espesor más de 200 mm), el método PCA está dando espesores de losa más delgados que el método AASHTO, pero que era a la inversa para losas delgadas (espesor menos de 200 mm). Puede decirse que básicamente las diferencias entre los dos métodos no son tan grandes.

**2.3.2. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO**

El dimensionamiento de pavimentos de hormigón destinados a soportar altas intensidades de tráfico se orienta hacia una optimización del conjunto de características estructurales y funcionales, combinada con una disminución de los costos de construcción.

**2.3.3. ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN**

En la construcción de un pavimento rígido pueden distinguirse las siguientes etapas:

Operaciones Previas.

Fabricación del hormigón.

Transporte del Hormigón al Punto de Vertido.

Puesta en Obra del Hormigón.

Terminación.

Curado.

Ejecución de Juntas.



## **OPERACIONES PREVIAS.**

Incluye todas las actividades que debe realizarse o al menos comenzar antes de empezar la ejecución del pavimento de hormigón.

Planificación General

Localización de materiales y Ensayos Previos

Estudio de dosificaciones

Acopio y Abastecimiento

Ejecución de la subbase

**Colocación de elemento** Fabricación del Hormigón.

## **FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN**

Los agregados se acopian en las zonas dispuestas para ello con antelación al comienzo de la fabricación, por lo que empieza siendo una operación previa. Los aditivos no suelen ofrecer dificultades de suministro debido a las pequeñas proporciones en se utilizan, aunque debe asegurarse su abastecimiento.

En general, la dosificación de los componentes sólidos debe ser ponderal, mientras que los líquidos pueden dosificarse por peso o por volumen. A partir de una determinada producción, las plantas son automáticas, realizándose las distintas operaciones tanto de pesado, vaciado de tolvas desplazamientos de los distintos componentes, comienzo y terminación del amasado, adición del agua, etc., por medio de mecanismos más o menos sofisticados que reducen en gran manera la participación del operador y los riesgos de error. En el caso de las zonas de estudio.

## **TRANSPORTE DEL HORMIGÓN AL PUNTO DE VERTIDO**

El procedimiento más corriente es el transporte con camión basculante convencional, por su simplicidad de reposición, aunque también se puede hacer uso de camiones amasadores, pero una de las razones por la que no es muy utilizado es por la lentitud de descarga del hormigón.

### **2.3.4.-ESPECIFICACIONES**

Generalmente la especificación sobre dosificación de una mezcla de concreto está en función del uso que se le vaya a dar, condiciones de exposición, geometría del elemento que se va a formar y dos aspectos primordiales:

Resistencia

Durabilidad

### **2.3.5.-INFLUENCIA DE GEOMETRÍA Y COMPORTAMIENTO DE LAS LOSAS DE PAVIMENTO RÍGIDO**

Debido a que el concreto presenta deformaciones de acortamiento durante su operación, las que se producen desde el fraguado, debe ser dimensionado en secciones de un largo máximo para configurar lo que se denomina una “losa de concreto”, y que da lugar a las denominadas juntas del pavimento, este dimensionamiento permite controlar el agrietamiento, las deformaciones y los esfuerzos asociados por alabeo y cargas.

El efecto de estas deformaciones es generalmente el levantamiento de los bordes en las juntas, lo que produce y se denomina “alabeo de la losa”, y que tiene como consecuencia una disminución de las zonas de apoyo sobre la base. Debido al peso de la zona levantada, este alabeo le induce esfuerzos de tracción al concreto, las cuales aumentan más al ser dicha zona cargada por el tránsito, lo cual constituye el principal criterio que busca controlar el diseño del pavimento de concreto.

Debido a que la rigidez del concreto es mucho mayor que la rigidez del material de apoyo de la base granular que la soporta, la capacidad de carga está principalmente

determinada por la capacidad de la losa a deformarse y soportar estas deformaciones repetitivas al paso de los vehículos, efecto que le genera esfuerzos durante su uso, y que la llevan a fallar principalmente por fatiga (acciones repetitivas de carga del tránsito). La losa tiene un gran efecto repartidor de cargas, las cuales provienen de su peso propio y de las cargas que sobre ella circulan, por lo que la presión de contacto entre la losa y la base es sólo una pequeña fracción de la carga superficial, efecto que se denomina usualmente como “acción de viga” de los pavimentos rígidos y que le permiten no exigir tanta capacidad a la base de apoyo, comparándolo con otros tipos de pavimentos, como en el caso del pavimento flexible.

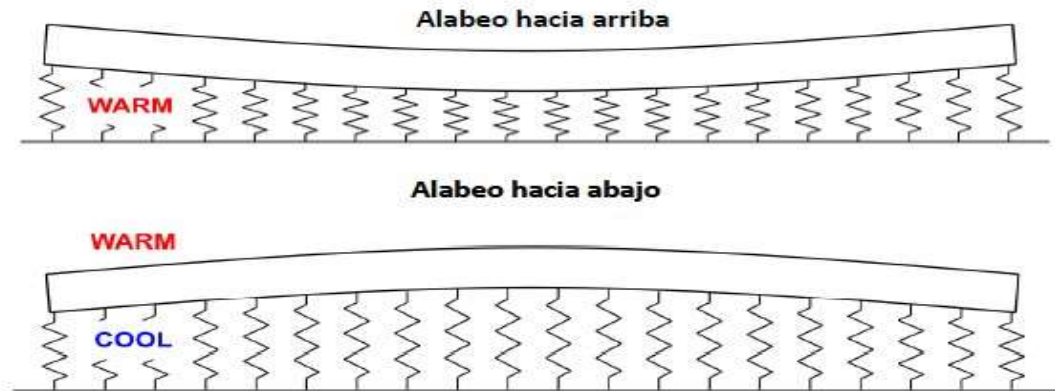
En el presente capítulo presentaremos una descripción teórica de los esfuerzos en el pavimento rígido, sobre las juntas realizadas en las losas y la definición sobre que es el análisis por el método de elementos finitos así como la realización de diversas pruebas utilizando este método.

### **2.3.6.- ESFUERZOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS**

#### **a) Esfuerzos debido al alabeo de la losa**

Durante el día cuando la temperatura en la parte más alta de las losas es mayor que en el fondo, la parte de encima tiende a expandirse con respecto al eje neutro durante el cual el fondo tiende a contraerse. Sin embargo, el peso de la losa restringe la expansión y la contracción de la misma, de esta manera, el esfuerzo de compresión son inducidos en lo alto de la losa cuando el esfuerzo de tensión ocurre en el fondo. En la noche cuando la temperatura en la parte superior de la losa es inferior que en el fondo, la parte superior tiende a contraerse con respecto al fondo, así, el esfuerzo de tensión son inducidos en la parte superior y los esfuerzos de compresión en la parte inferior.

**FIGURA 20.-***Curvatura Debido al Gradiente de Temperatura*



**FUENTE:** *Pablo Emilio Sánchez Campos*

Otra explicación de los esfuerzos debido al alabeo puede ser hecha por la teoría de placa sobre una fundación líquida (Winkler). Una fundación líquida se caracteriza por una serie de resortes anexos a las placas. Cuando la temperatura en la parte alta de la losa es mucho mayor que en el fondo, la parte alta es más larga que el fondo y la losa se curva hacia abajo. Los resortes de los bordes de afuera están en compresión y empujan la losa hacia arriba donde los resortes en el interior están en tensión y halan la losa hacia abajo. Como resultado, en lo alto de la losa se encuentra en compresión y el fondo está en tensión.

Cuando la temperatura en lo alto es más bajo que en el fondo, la losa se curva hacia arriba. Los resortes exteriores halan la losa abajo y donde los resortes interiores empujan la losa hacia arriba, así resulta en tensión en lo alto y compresión en el fondo.

Westergaard (1926) desarrollo ecuaciones para la determinación de los esfuerzos debido a la curvatura en pavimentos de concreto basados en la teoría de la placa.

#### **b) Esfuerzos debido a las cargas**

Pueden ser utilizados tres métodos para determinar los esfuerzos y también las deflexiones en pavimentos de concreto hidráulicos:

Fórmulas de forma cerrada.

Cartas de Influencia-Pickett and Ray (1951).

Programas de Computadora utilizando el Método de Elementos Finitos.

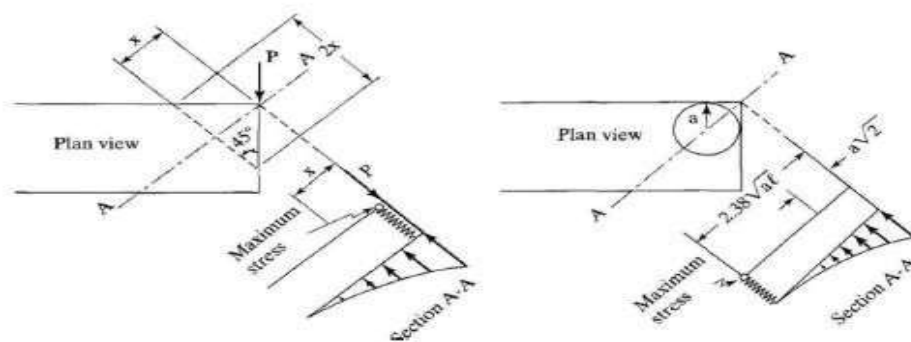
Las fórmulas originalmente desarrolladas por Westergaard pueden ser aplicadas solamente por una carga de una llanta simple con un área de influencia circular, semicircular, elíptica ó semi-elíptica. Las cartas de influencia desarrolladas por Pickett y

Ray (1951) pueden ser aplicadas para cargas llantas múltiples y de cualquier configuración. Ambos métodos son aplicables solamente para una losa larga y con una fundación líquida, la base líquida asume la función de la subrasante y esta pasa ser un conjunto de resortes. Si las cargas son aplicadas para losas múltiples sobre una fundación líquida, sólida o fundación de capas con transferencias de carga a través de juntas, podría ser usado el método de elementos finitos.

### c) Fórmulas de forma cerrada

Estas fórmulas son aplicadas solamente para losas muy largas con carga de llanta simple aplicada cerca de la esquina, en el interior de una losa a la distancia considerable de cada borde y cerca del borde lejos de cualquier esquina.

**FIGURA 21.-** Representación de una Esquina Cargada



**FUENTE:** Pablo Emilio Sánchez Campos

### **Esquinas Cargadas.**

La fórmula de Glodbeck (1919) y Older (1924) es una de las más antiguas para el uso en el diseño de pavimentos de concreto. La fórmula está basada sobre una concentración de carga  $P$  aplicada en la esquina de la losa mostrada en la figura 3.6. Cuando la carga es aplicada en la esquina, el esfuerzo en la losa es simétrico con respecto a la diagonal. Para una sección que atraviesa a la distancia  $x$  desde la esquina, el momento de flexión es  $Px$  y el ancho de la sección es  $2x$ . Cuando el soporte de la subrasante es negligente y la losa es considerada como una viga cantilever, el esfuerzo de tensión en lo alto de la losa es:

**FORMULA 2.-** *Esfuerzo de Tensión en lo alto de la losa*

$$\sigma_c = \frac{Px}{\frac{1}{8}(2x)h^2} = \frac{3P}{h^2} \quad |$$

**FUENTE:** *Pablo Emilio Sánchez Campos*

Dónde  $\sigma_c$  es el esfuerzo debido a la carga en la esquina,  $P$  es la carga concentrada y  $h$  es el espesor de losa. Observar que  $\sigma_c$  es independiente de  $x$ , es decir, cada sección cruzada no importando que tan lejos de la esquina esté, tendrá el mismo esfuerzo. Si la carga es realmente una carga concentrada aplicada justo en la esquina, la ecuación anterior es una solución exacta porque en la sección cruzada cerca a la carga con  $x$  aproximándose a 0, la reacción de la subrasante es muy pequeña y puede ser ignorada.

La Figura muestra una carga circular aplicada cerca de la esquina de una losa. Debido a que el esfuerzo máximo de la sección no es cerca de la esquina, la fuerza de reacción total de la subrasante es absolutamente grande y no puede ser ignorada. Westergaard.

(1926) aplicó un método de aproximaciones sucesivas y obtuvo las siguientes dos ecuaciones:

**FÓRMULA 3.-** *Esfuerzo de Tensión en la Esquina de la Losa*

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right] t$$

**FUENTE:** *Pablo Emilio Sánchez Campos*

**FÓRMULA 4.-** *Deflexión en la Esquina de la Losa*

$$\Delta_c = \frac{P}{kl^2} \left[ 1.1 - 0.88 \left( \frac{a\sqrt{2}}{l} \right) \right]$$

**FUENTE:** *Pablo Emilio Sánchez Campos*

Dónde  $\Delta_c$  es la deflexión de la esquina, es el radio relativo de rigidez (stiffness),  $a$  es el radio de contacto y  $k$  es el módulo de reacción de la subrasante. Westergaard encontró también que el momento máximo ocurre a la distancia de  $2.38 \sqrt{a}$  desde la esquina. Para una carga concentrada con  $a=0$  las dos ecuaciones anteriores son idénticas. Ioannides (1985) aplicó el método de elementos finitos para evaluar la solución de Westergaard. Sugirieron el uso de las siguientes dos ecuaciones:

**FÓRMULA 5.-** *Esfuerzo de Tensión por Elementos Finitos*

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{c}{l} \right)^{0.6} \right]$$

**FUENTE:** *Pablo Emilio Sánchez Campos*

**FÓRMULA 6.-** *Deflexión en la Esquina por Elementos Finitos*

$$\Delta_c = \frac{P}{kl^2} \left[ 1.205 - 0.69 \left( \frac{c}{l} \right) \right]$$

**FUENTE:** *Pablo Emilio Sánchez Campos*

Dónde  $c$  es la longitud lateral de un área de contacto cuadrada. Encontraron que el momento máximo ocurre a una distancia de  $1.80c$  desde la esquina. Si la carga es aplicada a través de un área circular, el valor de  $c$  debe ser seleccionada tal que el cuadrado y el círculo tengan la misma área de contacto:  $c = 1.772a$

### **Cargado en el interior de la losa.**

La antigua fórmula desarrolla por Westergaard (1926) por el esfuerzo en el interior de una losa bajo un área circular cargada de radio  $a$  es:

**FÓRMULA 7.-** *Esfuerzo de Tensión en el Interior de la Losa*

$$\sigma_i = \frac{3(1+\nu)P}{2\pi h^2} \left( \ln \frac{l}{b} + 0.6159 \right)$$

**FUENTE:** *Pablo Emilio Sánchez Campos*

Dónde  $l$  es el radio relativo de rigidez (stiffness) y

$b=a$  cuando  $a \geq 1.724h$

$b= \sqrt{1.642a^2 + h^2} - 0.675h$  cuando  $a < 1.724h$

Para una relación de Poisson de 0.15 y en términos de base 10 logarítmica la ecuación de  $\sigma_i$  puede ser escrita como:

**FÓRMULA 8.-** *Esfuerzo de Tensión con Relación de Poisson*

$$\sigma_i = \frac{0.316P}{h^2} \left[ 4 \log \left( \frac{l}{b} \right) + 1.069 \right]$$

**FUENTE:** *Pablo Emilio Sánchez Campos*

La ecuación de deflexión debida al cargado en el interior de la losa (Westergaard, 1939) es:



**FÓRMULA 9.- Esfuerzo de Tensión Westergaard**

$$\Delta_i = \frac{P}{8kt^2} \left\{ 1 + \frac{1}{2\pi} \left[ \ln\left(\frac{a}{2l}\right) - 0.673 \right] \left(\frac{a}{l}\right)^2 \right\}$$

**FUENTE:** Pablo Emilio Sánchez Campos

**Cargado en los bordes.**

El esfuerzo debido al cargado en los bordes fue presentado por Westergaard (1926, 1933, 1948) en diferentes documentos. En los documentos de 1948, presentó la solución generalizada para esfuerzos y deflexiones máximos producidos por áreas elípticas y semielípticas colocadas en los bordes de la losa. Ajustando la longitud mayor y menor de los semi-ejes de la elipse al radio de contacto “a”, conducen a la correspondiente solución para un área circular ó semi-circular cargada. En el caso del semi-círculo, su borde recto está en línea con el borde de la losa. Los resultados obtenidos de estas nuevas fórmulas difieren significativamente de las fórmulas del apartado anterior.

De acuerdo a Ioannides (1985) las siguientes 8 ecuaciones son las mejores para su utilización:

Para  $\nu=0.15$ , las cuatro ecuaciones anteriores pueden ser escritas como:

**2.3.7.- JUNTAS****a) Consideraciones generales**

Para realizar el diseño de un pavimento rígido, se debe contar con conocimiento de los métodos disponibles y del comportamiento del concreto, así con información mínima confiable que permita realizar la mejor aproximación de variables de entrada que lleven a un diseño de calidad que asegure la vida útil del pavimento.

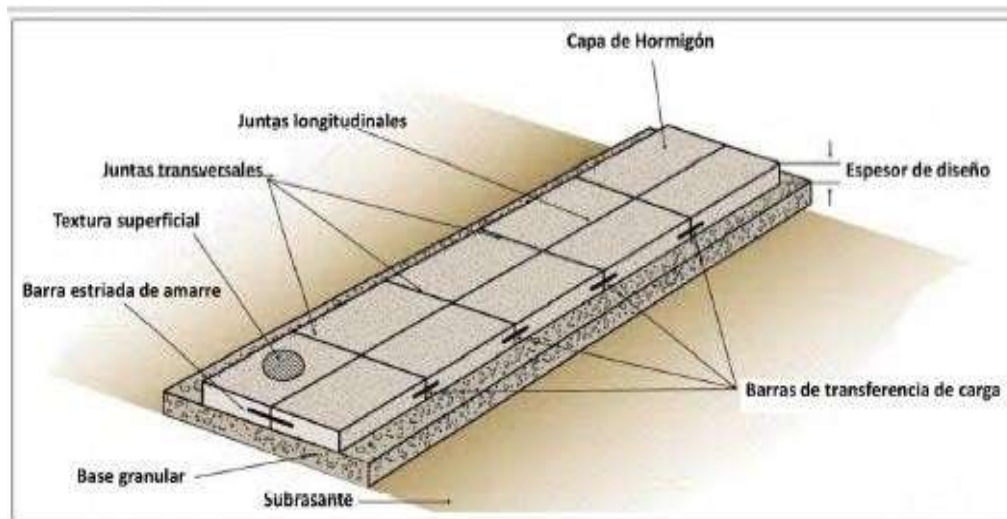
En este artículo se indican los parámetros que se debe considerar para la realización del diseño de un pavimento de concreto.

### b) 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:

- ✚ Juntas longitudinales.
- ✚ Juntas transversales de dilatación.
- ✚ Juntas transversales de contracción.
- ✚ Juntas transversales de construcción.

**FIGURA 22.-** Elementos Principales que Componen un Pavimento



**FUENTE:** Pablo Emilio Sánchez Campos

En la Figura 22 se presentan los elementos principales que componen un pavimento de concreto, de manera de identificar en ella los tipos de juntas y barras, las que serán descritas en los contenidos siguientes.

### **c) Juntas transversales de construcción**

Para los constructores estas son las juntas principales, porque no es fácil definir dónde se parara la obra. Si la junta transversal de construcción se va a realizar en el tercio medio, de una losa de un carril adyacente es necesario que la junta de construcción este dotada de hierros para cocerla evitando con ellos los movimientos relativos y eliminando la posibilidad de que se desarrolle una fisura en la losa adyacente.

El método más común para finalizar las labores de construcción es rematando la obra contra una formaleta de madera que genera una cara lisa, por lo cual es necesario dotar esta junta de pasadores de carga, así en el resto del pavimento la transferencia de cargas se está haciendo a través de la trabazón de agregados, y por ende la formaleta tiene que estar dotada de agujeros que permitan insertar las dovelas.

La formaleta se deja en su sitio hasta el momento de reiniciar las obras cuando se remueve. También se puede hacer una junta de construcción cortando el concreto, en cuyo caso se extiende el concreto pasando por el sitio en que debe quedar la junta, y luego con la ayuda de sierras se corta y se remueve el concreto que este más allá del sitio de la junta de construcción.

Para alcanzar un buen resultado con el corte del concreto es necesario que las últimas tandas de concreto desarrollen más rápido la resistencia inicial. Al igual que con las juntas de construcción formaleteadas, es necesario poner dovelas, por lo que en este caso se necesita perforar agujeros para instalarlas.

Las juntas transversales de construcción no necesitan el corte inicial para debilitar la sección, solo es necesario hacer el corte secundario para conformar la caja en la que se aloja el material de sello.

#### **d) Juntas transversales de expansión**

En las juntas transversales de expansión a uno de los extremos de las dovelas se les monta una cápsula de 50 mm de longitud, que permita absorber los movimientos de expansión de las losas, dicha cápsula se debe dotar con sistema que impida que se caiga, o se salga de la dovela durante la colocación.

Las condiciones que se le piden a las dovelas en las juntas de expansión, en cuanto al alineamiento y a la lubricación, son las mismas que las pedidas en las juntas transversales de contracción.

Dado que las juntas de expansión son más anchas que las de contracción a la canastilla en la que se van a fijar las dovelas de estas juntas, se le dota de un material de sello preformado y compresible con una altura idéntica a la losa de concreto.

#### **e) Junta sin dovelas**

La característica de las juntas de expansión sin dovelas en el diseño del pavimento por métodos tradicionales es que el espesor de la losa se incrementa para reducir los esfuerzos de borde. El incremento del espesor es del orden de un 20% y la transición se desarrolla suavemente en una longitud de 6 a 10 veces el espesor de la losa.

#### **f) Junta Transversal de contracción**

Son las juntas que se generan al final del día o cuando se suspende la colocación del concreto. Estas juntas se deben localizar y construir en el lugar planeado siempre que sea necesario. Si es posible se hará coincidir las juntas de construcción con una de contracción, si no, se hará en el tercio medio de la placa. Siempre se deben construir perpendicularmente al centro de la vía aun cuando las de contracción tengan esviaje.

### **g) Junta longitudinal de contracción**

Las juntas longitudinales, cuando el pavimento se construye con un ancho de dos o más carriles, se cortan de manera similar a las juntas transversales de contracción, solo que el momento del corte no es tan crítico, pero se deben cortar rápidamente si la subbase es estabilizada, apenas se corten las juntas transversales. En cuanto a las barras de anclaje, los equipos de formaletas deslizantes tienen dispositivos para insertarlas.

Por el poco movimiento que tienen estas juntas no necesita de una caja para el sello, basta hacer un corte de 3 a 6 mm de ancho, con una profundidad igual a la tercera parte del espesor de la losa. Sin embargo, si se pide la caja para el sello, esta se puede hacer con un equipo multidisco que corta a la profundidad y anchos deseados.

Con el fin de optimizar el costo de los selladores de las juntas, en las longitudinales se puede utilizar un sellador diferente como consecuencia de los menores movimientos de estas juntas.

### **h) Junta longitudinal de construcción**

En estas juntas hay dos aspectos para tener en cuenta, la inserción de las barras de anclaje y el sellado de las juntas. Respecto a la inserción de las barras de anclaje esto se puede hacer introduciendo, en el concreto fresco, las barras dobladas en un ángulo de 90°, perforando agujeros en las losas y luego meter las barras en ellos y asegurarlas con un mortero epóxico para que puedan cumplir con su función, que es anclar las losas.

Cuando se opta por insertar las barras dobladas en un ángulo de 90° se debe preferir el acero de 40,000 psi al de 60,000 psi ya que toleran mejor las deformaciones.

Las juntas longitudinales de construcción necesitan una caja para el sello, muy ancha para poder acomodar las variaciones longitudinales, en el borde de las losas, generadas por el proceso constructivo, pero el corte y el sellado son similares al de las juntas longitudinales de contracción.

### **2.3.8.- TRANSFERENCIA DE CARGA**

La transferencia de carga en la junta es de vital importancia para el caso de los pavimentos de concreto sin barras de traspaso de carga, ya que a mayor capacidad de transferencia, la carga en una losa se distribuye en una mayor área con el apoyo de las losas vecinas. La transferencia de carga del pavimento proviene de la trabazón mecánica entre los agregados bajo la junta aserrada, y en el caso de que el pavimento tenga barras de transferencia de carga estas aportan adicionalmente a generar traspaso de carga.

Para considerar estos efectos en el análisis mecanicista de losas de geometría definida, se sugiere modelar las siguientes condiciones para la transferencia de carga:

En el Borde: Considerar tres supuestos de transferencia de carga distintas según el tipo de borde:

- ✚ 0% (Borde Libre, Vereda)
- ✚ 10% (Berma Granular/ Asfáltica)
- ✚ 50% (Berma de Concreto amarrada )

### CAPÍTULO III

## INVESTIGACIÓN SOBRE EL EFECTO DE LA GEOMETRÍA DE LOSAS EN SU DIMENSIONAMIENTO Y COMPORTAMIENTO

### 3.1.- UBICACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE ESTUDIO.

a).-Proyecto Incidencia de la geometría de losas de pavimento rígido en su comportamiento

**FIGURA 23.-***Mapa Geográfico de Tarija*



**FUENTE:** *Internet*

El área de influencia del proyecto está definida en el Departamento de Tarija, - Bolivia, situado al sureste del país, limita al oeste con el departamento de Potosí, al norte con el departamento de Chuquisaca, al este con Paraguay y al sur con Argentina Tiene una área de 37 km<sup>2</sup> , una población de 391 habitantes. Comunidad Rancho Sud:

**FOTOGRAFÍA 2.** *Extracción de Áridos*



**FUENTE:** *Elaboración propia Rancho Sud*

### 3.2.-CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

**FOTOGRAFÍA 3.** *Materiales que Componen la Mezcla*



**AGUA**



**CEMENTO**



**GRAVA**



**ARENA**

**FUENTE:** *Elaboración propia*



### 3.2.1.- GRANULOMETRÍA DE LA ARENA

**FOTOGRAFÍA 4.** *Cuarteo de Arena para Granulometría*



**FUENTE:** *Elaboración propia*

**FOTOGRAFÍA 5.** *Tamizado y Pesado de la Arena*



**FUENTE:** *Elaboración propia Laboratorio de suelos y Hormigones*

## Resultados Obtenidos

Los porcentajes que pasaron los tamices correspondientes son:

**TABLA 10.- Granulometría del Agregado Fino - Arena**

Peso Total (gr.)						500	
Tamices	tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret.	% que pasa del total	Especificacion	
	(mm)					ASTM C-33	
3/8	9,52	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
Nº4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,0	95	100
Nº8	2,38	34,10	34,10	6,82	93,2	80	100
Nº16	1,19	114,50	148,60	29,72	70,3	50	80
Nº30	0,59	117,10	265,70	53,14	46,9	25	60
Nº50	0,30	123,10	388,80	77,76	22,2	10	30
Nº100	0,15	80,80	469,60	93,92	6,1	2	10
BASE		29,90	499,50	99,90	0,1		
<b>SUMA</b>		<b>499,50</b>					
<b>PÉRDIDAS</b>		<b>0,5</b>					
<b>MF</b>		<b>2,61</b>					

FUENTE: *Elaboración propia*

**TABLA 11.- Curva Granulométrica del Agregado Fino - Arena**



<b>HUMEDAD</b>	
<b>DATO</b>	<b>Gr</b>
<b>Peso Muestra Húmeda</b>	11300
<b>Peso Muestra seca</b>	1118,10
<b>Peso Agua</b>	11,90
<b>% de Humedad</b>	1,1

<b>ABSORCIÓN</b>	
<b>DATO</b>	<b>Gr</b>
<b>Peso Muestra Húmeda (SSS)</b>	500
<b>Peso Muestra seca</b>	489
<b>Peso Agua</b>	11
<b>% de Absorción</b>	2,2

FUENTE: *Elaboración propia*

### 3.2.2.- PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA

**FOTOGRAFÍA 6.** *Secado de la Arena*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

**FOTOGRAFÍA 7.** *Molde Cónico con Arena*



**FOTOGRAFÍA 8.** *Matraz con Arena Sumergida*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio de Suelos y Hormigones*

## Resultados Obtenidos

TABLA 12.- Pesos Específicos de la Arena

PESO MUESTRA (gr)	PESO DE MATRÁZ (gr)	MUESTRA + MATRAZ + AGUA (gr)	PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOLUMEN DEL MATRÁZ "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
500	200.8	1001.5	300.70	488.40	500.00	2.45	2.51	2.60	2.32
500	200.8	1002.5	301.70	489.40	500.00	2.46	2.52	2.61	2.33
500	200.8	1000.5	299.70	487.40	500.00	2.44	2.50	2.59	2.31
						2.45	2.51	2.60	2.32

FUENTE: *Elaboración propia*

### 3.2.3.- PESO UNITARIO DE LA ARENA

**FOTOGRAFÍA 9.** *Molde Cilíndrico de 3Litros de Volumen*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

**FOTOGRAFÍA 10.** *Molde Cilíndrico con Muestra Suelta*



**FOTOGRAFÍA 11.** *Molde Cilíndrico con Muestra Compactado*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

## Resultados Obtenidos

## Peso Unitario Suelto:

**TABLA 13.-** *Peso Unitario Suelto de la Arena*

<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)</b>	<b>PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)</b>
<b>1</b>	2605	3000	7342,2	4737,2	1.58
<b>2</b>	2605	3000	7344,2	4739,2	1.60
<b>3</b>	2605	3000	7340,2	4735,2	1.56
<b>PROMEDIO</b>					1.58

FUENTE: *Elaboración propia*

## Peso Unitario Compacto:

**TABLA 14.-** *Peso Unitario Compactado de la Arena*

<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)</b>	<b>PESO RECIP. + MUESTRA APISIONADA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA APISIONADA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO APISIONADO (gr/cm3)</b>
<b>1</b>	2605	3000	7567	4962	1.65
<b>2</b>	2605	3000	7569	4964	1.67
<b>3</b>	2605	3000	7565	4960	1.63
<b>PROMEDIO</b>					1.65

FUENTE: *Elaboración propia*

### 3.2.4. EQUIVALENTE DE ARENA

**FOTOGRAFÍA 12.** *Muestra de Arena Introdúcida al Matraz*



**FOTOGRAFÍA 13.** *Lectura do de Alturas*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

.Datos obtenidos después de la lecturación:

**TABLA 15.-** *Equivalente de Arena*

ARENA ZONA EL RANCHO			
N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de Arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	10,5	11,00	95,45
2	10,6	11	96,36
3	10,4	10,90	95,41
Pr			95,74

**FUENTE:** *Elaboración propia*



---

Equivalente de Arena (%)	NORMA
95,74	> 75%

FUENTE: *Elaboración propia laboratorio*

### 3.2.5.- GRANULOMETRIA DE LA GRAVA

**FOTOGRAFÍA 14.** *Agregado Grueso*



FUENTE: *Elaboración propia laboratorio*

**FOTOGRAFÍA 15.** *Tamizado y Pesado de la Grava*



FUENTE: *Elaboración propia*

## Resultados Obtenidos

TABLA 16.- Granulometría del Agregado Grueso

Tamices	Tamaño	Peso Retenido	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	Peso Total (gr.)	
			(gr)	(%)		5000	
						% Que pasa s/g	
						Especif. ASTM	
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	0,00	100,0	95	100
1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,0		
3/4	19,05	0,00	0,00	0,00	100,0	35	70
1/2	12,7	3950,00	3950,00	79,00	21,0		
3/8	9,52	848,00	4798,00	95,96	4,0	10	30
Nº4	4,75	200,00	4998,00	99,96	0,0	0	5
Nº8	2,38	0,20	4998,20				
BASE	0	1,7	4999,90	100,00	0,0		
<b>SUMA =</b>		<b>4999,90</b>					
<b>PÉRDIDAS =</b>		<b>0,10</b>					
<b>MF =</b>		<b>6,96</b>					
<b>TAMAÑO MAX =</b>		<b>3/4"</b>					

FUENTE: Elaboración propia

**TABLA 17.-** Curva Granulométrica del Agregado Grueso - Grava



FUENTE: *Elaboración propia*

**TABLA 18.-** Porcentajes de Humedad y Absorción

HUMEDAD	
DATO	Gr
Peso Muestra Húmeda	5744
Peso Muestra seca	5719
Peso Agua	25
% de Humedad	0,44

ABSORCIÓN	
DATO	gr
Peso Muestra Húmeda (SSS)	4000
Peso Muestra seca	3954
Peso Agua	46
% de Absorción	1.16

### 3.2.6.- PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA

**FOTOGRAFÍA 16.** *Muestra de Grava Sumergida*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

**FOTOGRAFÍA 17.** *Secado de la Grava*



**FOTOGRAFÍA 18.** *Sumergido Muestra en Agua*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

## Resultados Obtenidos

TABLA 19.- *Peso Específico de la Grava*

MU EST RA	PESO MUEST RA	PESO MUEST RA	PESO MUESTR A	PESO ESPECÍ FICO	PESO ESPECÍ FICO	PESO ESPECÍ FICO	%
Nº	SECAD A "A"	SATUR ADA CON	SATURA DA DENTRO	A GRANEL	SATURA DO CON	APAREN TE	DE ABSOR CIÓN
	(gr)	SUP. SECA "B"	DEL AGUA "C"	(gr/cm3)	SUP. SECA	(gr/cm3)	
		(gr)	(gr)		(gr/cm3)		
<b>1</b>	5904.9	6003.2	3700.00	2.56	2.61	2.68	1.66
<b>2</b>	5905.8	5002.1	3701.00	2.57	2.61	2.68	1.63
<b>3</b>	5906.0	5004.3	3699.00	2.56	2.60	2.68	1.66
<b>PROMEDIO</b>				2.56	2.61	2.68	1.65

FUENTE: *Elaboración propia*

### 3.2.7.- PESO UNITARIO DE LA GRAVA

**FOTOGRAFÍA 19.** *Molde Cilíndrico de 10 Lts. de Volumen*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

**FOTOGRAFÍA 20.** *Grava sin Compactar*



**FOTOGRAFÍA 21.** *Grava Compactada*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

## Resultados Obtenidos

## Peso Unitario Suelto:

**TABLA 20.-** *Peso Unitario Suelto de la Grava*

<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)</b>	<b>PESO RECIPIENTE +MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)</b>
<b>1</b>	2613.8	3000	6658.8	4044.59	1.348
<b>2</b>	2614.8	3000	6659.8	4044.60	1.348
<b>3</b>	2612.8	3000	6657.8	4044.60	1.348
<b>PROMEDIO</b>					1.348

FUENTE: *Elaboración propia*

## Peso Unitario Compactado:

**TABLA 21.-** *Peso Unitario Compactado de la Grava*

<b>MUES- TRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)</b>	<b>PESO RECIPIENTE + MUESTRA APISIONADA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA APISIONADA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO APIONADO (gr/cm3)</b>
<b>1</b>	2613.8	3000	7014.5	4400.70	1.467
<b>2</b>	2614.8	3000	7015.5	4400.70	1.467
<b>3</b>	2612.8	3000	7013.5	4400.70	1.467
<b>PROMEDIO</b>					1.467

FUENTE: *Elaboración propia*

## 3.2.8.- DESGASTE DE LOS ÁNGELES

FOTOGRAFÍA 22. Máquina Desgaste de los Ángeles

FUENTE: *Elaboración propia laboratorio*

TABLA 22.- Desgaste de los Ángeles

METODO		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL AEMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
<b>PESO TOTAL</b>		<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N° DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACION		30	15	15	15

FUENTE: *Elaboración propia*



**TABLA 23.-Resultados de Desgaste de los Ángeles**

DATOS DE LABORATORIO

METODO A		METODO B		METODO C		METODO D	
TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO
1"	1250	1/2"	2500	1/4"	2500	Nº8	5000
3/4"	1250	3/8"	2500	Nº4	2500		
1/2"	1250						
3/8"	1250						

$$\% \text{ DESGASTE} = (P_{\text{INICIAL}} - P_{\text{FINAL}}) / P_{\text{INICIAL}} * 100$$

MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
A	5000	5000	0,00	35% MAX
B	5000	4016,5	19,67	35% MAX
C	5000	5000	0,00	35% MAX
D	5000	5000	0,00	35% MAX

OK!!!!

FUENTE: *Elaboración propia*

## 3.2.9.-FINURA DEL CEMENTO

Resultados Obtenidos

TABLA 24. Finura del Cemento

<b>DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO</b>					
<b>PARAMETRO</b>	<b>UNID.</b>	<b>OBSERVACIONES</b>			<b>Promedio de la finura del Cemento</b>
<b>Peso retenido en Tamiz N°40 + Peso de la Hoja (WN°40)</b>	g	0.17	0.14	0.15	
<b>Peso retenido en Tamiz N°200 + Peso de la Hoja (WN°200)</b>	g	6.13	6.5	7.2	13.53 %
<b>Peso retenido en la Base + Peso de la hoja (Wb)</b>	g	43.25	43.1	41.76	
<b>Finura del Cemento (F)</b>	%	12.6	13.28	14.7	

FUENTE: *Elaboración propia*

### 3.3.-DOSIFICACIÓN ACI-211.1

.Determinación de la razón Agua/Cemento

**TABLA 25.** *Determinación de la Razón Agua / Cemento*

Tabla # 24 Relación entre la razón Agua /cemento y la resistencia promedio a compresión del hormigón (ACI 211,1-Rev.85)			
Resistencia promedio a compresión a 28 días		Razón agua/cemento (en masa)	
Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
45	450	0,38	-
42	420	0,41	-
40	400	0,43	-
35	350	0,48	0,4
30	300	0,55	0,46
28	280	0,57	0,48
25	250	0,62	0,53
21	210	0,68	0,59
20	200	0,7	0,61
15	150	0,8	0,71
14	140	0,82	0,74

**FUENTE:** *Elaboración propia*

**TABLA 26.-Determinación del Tipo de Asentamiento**

Tabla # 25 Asentamientos de cono recomendado para diferentes tipos de construcción (ACI 211,1-Rev.85)	
Tipo de construcción	Rango de asentamiento de cono (cm)
Fundaciones armadas y bases	2 – 8
Fundaciones y muros de sub-estructura simple	2 – 8
Vigas y muros armados	2 – 10
Columnas de edificios	2 – 10
Pavimentos y losas	2 – 8
Hormigón masivo	2 – 8

**FUENTE:** *Elaboración propia*

## Determinación de la dosis de agua

**TABLA 27.-** Determinación Aproximada para Dosis de Agua y Contenido de Aire

Tabla # 26 Requerimientos aproximados para dosis de agua (l/m <sup>3</sup> ) y contenido de aire (%) para diferentes trabajabilidades y tamaños máximos nominales de áridos (ACI 211,1-Rev.85)								
Tamaño máximo nominal del árido (mm)								
	10	12,5	20	25	40	50	70	150
Hormigón sin aire incorporado								
3 – 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 – 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 – 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad de aire atrapado aproximado (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Hormigón con aire incorporado								
3 – 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 – 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 – 18	215	205	190	185	170	165	160	-
Cantidad de aire total promedio recomendada (%)								
Exposición suave	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición extrema	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

FUENTE: *Elaboración propia*

**TABLA 28.- Determinación de la Dosis de Grava**

Tabla # 27 Volumen aparente de árido grueso seco por metro cúbico de hormigón (ACI 211,1-Rev.85)				
Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Volumen aparente seco compactado de árido grueso para distintos Módulos de finura de la arena.			
	2,4	2,6	2,8	3
10	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
20	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
40	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Determinación de la dosis de arena está dada

$$A_f \text{ [kg/m}^3\text{]} = \gamma_f \left[ 1000 - \left( W + \frac{C}{\gamma} + \frac{A_g}{\gamma_g} + 10a \right) \right]$$

Que:

$\gamma_f$  = densidad real sss o peso específico del árido fino (arena).

$\gamma$  = peso específico del cemento

$A_g$  = dosis de árido grueso o grava

$a$  = dosis de aire (%)

$\gamma_g$  = densidad real sss o peso específico del árido grueso (grava).

$C$  = dosis de cemento (kg/m<sup>3</sup>)

$W$  = dosis de agua (kg/m<sup>3</sup>)

## Ajuste de la Dosificación

## DOSIFICACION METODO ACI.

Resistencia a compresión a los 28 días del hormigón (kg/cm<sup>2</sup>) 350

## DATOS DE LABORATORIO

## Peso específico del cemento

Cemento Portland El Puente 3.14  
 (gr/cm<sup>3</sup>)= 3

## Peso específico aparente

Arena (gr/cm<sup>3</sup>) = 2.60 TM (mm) = 20  
 Grava (gr/cm<sup>3</sup>) = 2.68 TMN (mm) = 20

## Peso Unitario compactado

Arena (gr/cm<sup>3</sup>) = 1.654  
 Grava (gr/cm<sup>3</sup>) = 1.467

## Porcentaje de Absorción

% Absorción de Arena = 2.32  
 % Absorción de Grava = 1.65

## Peso Unitario suelto

Arena (gr/cm<sup>3</sup>) = 1.58  
 Grava (gr/cm<sup>3</sup>) = 1.348

## Contenido de Humedad de los agregados

% Humedad de Arena = 1.1  
 % Humedad de Grava = 0,44

## Módulo de Finura

Arena = 2.61  
 Grava = 6,96

## CÁLCULO DE LA DOSIFICACIÓN

Asentamiento (cm) =	4	Tabla # 2
Tamaño máximo nominal (mm) =	20	
Contenido de aire (%) =	2	Tabla # 3
Agua de mezclado (lt/m3) =	185	Tabla # 3

## Resistencia de diseño

Debido a que se tiene un control en los materiales se puede asumir una desviación estándar de (30)

Se adopta la mayor resistencia.

$f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 1,34 * Ss$	390.2	kg/cm2
kg/cm2	$f'cr = f'c + 2,33 Ss - 35$	384.9	kg/cm2

La norma ACI recomienda también lo siguiente

No se tomara en cuenta por esto no es económico y es cuando no se tiene el control adecuado en los materiales.

$f'c < 210$ kg/cm2	$f'cr = f'c + 70 =$	420	
	Razón agua/cemento	0.48	(Tabla # 1)

## Contenido de cemento

Cemento (kg/m3) =	385.42
-------------------	--------

Volumen de agregado grueso por volumen Unitario de hormigón

Volumen de agregado grueso (m3)=	0.64	De Tabla # 4
Peso de agregado grueso (kg/m3) =	1122,56	

## Volumen de materiales sin considerar agregado fino (m3)

Material	Peso seco	P. Específico	Volumen
Agua (kg/m3) =	185	1000	0.185
Cemento (kg/m3) =	385.42	2900	0.133
Grava (kg/m3) =	1122,56	2680	0.418
Aire (%) =	1.5	-	0.015
		V. total (m3)	0.752

## Determinación del Volumen de agregado fino

Vol. agregado fino (m3) =	0.248
Peso agregado fino (kg/m3)=	645,15



**TABLAS 29.-** *Diseño en Estado Seco, Corrección por humedad y diseño en estado húmedo*

DISEÑO EN ESTADO SECO				
Material	Peso seco	Relación de mezcla		
Agua (kg/m <sup>3</sup> ) =	185			
Cemento (kg/m <sup>3</sup> ) =	385,42	Cemento	Arena	Grava
Grava (kg/m <sup>3</sup> ) =	1122,56	1	1,7	2,9
Arena (kg/m <sup>3</sup> ) =	645,15			
Aire (%) =	1.5			

CORRECCIÓN POR HUMEDAD	
Para agregado fino (kg/m <sup>3</sup> ) =	683,86
Para agregado grueso (kg/m <sup>3</sup> ) =	1145,56
Agua en el agregado fino (lt/m <sup>3</sup> ) =	3.8
Agua en el agregado grueso (lt/m <sup>3</sup> ) =	-7.8

DISEÑO EN ESTADO HÚMEDO	
Material	Peso Húmedo
Agua (kg/m <sup>3</sup> ) =	181
Cemento (kg/m <sup>3</sup> ) =	385.42
Grava (kg/m <sup>3</sup> ) =	1145,56
Arena (kg/m <sup>3</sup> ) =	683,86
Aire (%) =	1.5

FUENTE: *Elaboración propia*

## PARA 3 VIGAS

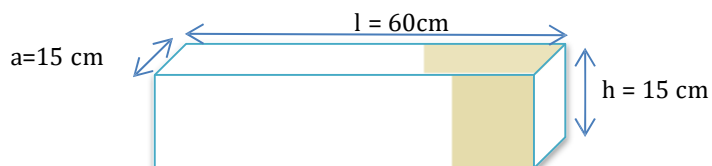
**TABLA30.-** *Diseño de la Dosificación en Estado Húmedo para vigas*

### DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN EN ESTADO HÚMEDO

Material	Peso Húmedo
Agua (kg/m <sup>3</sup> ) =	7.55
Cemento (kg/m <sup>3</sup> ) =	16.00
Grava (kg/m <sup>3</sup> ) =	47.00
Arena (kg/m <sup>3</sup> ) =	28.00

FUENTE: *Elaboración propia*

Dosificación Aconsejada por molde



$V = h \cdot l \cdot a$

Volumen del molde =

### 3.3.1.-VACIADO DEL HORMIGÓN EN MOLDES

**FOTOGRAFÍA 23.** *Pesado de los Materiales que Integran la Mezcla*



FUENTE: *Elaboración propia laboratorio*

**FOTOGRAFÍA 24.** *Preparación de Moldes para Vigas*

**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

**TABLA31.-** *Diseño de la Dosificación en Estado Húmedo*

#### DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN EN ESTADO HÚMEDO

Material	Peso Húmedo
Agua (kg/m <sup>3</sup> ) =	7.55
Cemento (kg/m <sup>3</sup> ) =	16.00
Grava (kg/m <sup>3</sup> ) =	47.00
Arena (kg/m <sup>3</sup> ) =	28.00

**FUENTE:** *Elaboración propia*

**FOTOGRAFÍA 25.** *Mezclado de Hormigón*

**FUENTE:** *Elaboración propia*

*laboratorio*

**FOTOGRAFÍA 26.** *Cono de Abrams*



**FOTOGRAFÍA 27.** *Asentamiento*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

**FOTOGRAFÍA 28.** *Llenado de Moldes*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

### 3.3.2.-CURADO DE LAS VIGAS DESPUES DE DESENCOFRAR

**FOTOGRAFÍA 29.** *Desmolde de Vigas*



**FOTOGRAFÍA 30.** *Curado de Vigas*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

### 3.3.3.- EVALUACIÓN DE RESISTENCIAS EN LAS VIGAS DE HORMIGÓN

**FOTOGRAFÍA 31.** *Máquina con Carga Centrada*



**FOTOGRAFÍA 32.** *Rotura de Vigas*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

### 3.3.4.-VACIADO DE LAS LOSAS

**TABLA 32.** *Diseño de la Dosificación en Estado Húmedo para Losas*

Material	Peso Húmedo
Agua (kg/m <sup>3</sup> ) =	7.55
Cemento (kg/m <sup>3</sup> ) =	16.00
Grava (kg/m <sup>3</sup> ) =	47.00
Arena (kg/m <sup>3</sup> ) =	28.00

**FUENTE:** *Elaboración propia*

### 3.3.5.- EVALUACIÓN DE RESISTENCIAS EN LAS LOSAS DE HORMIGÓN

**FOTOGRAFÍA 33.** *Máquina con Carga Centrada*



**FOTOGRAFÍA 34.** *Rotura de Losas*



**FUENTE:** *Elaboración propia laboratorio*

TABLA N° 33. Planilla de Datos

$$f_{\alpha,f} = \frac{3 * F}{a^2}$$

$$f_{\alpha} = f_{ct,f} * 0.5$$

$$f_{ct} = \left( \frac{3 * F}{a^2} \right) * 0.5$$

F = Carga directa aplicada con la prensa de flexotracción  
a = Dimensión o lado de la sección de la viga  
fct,f = Resistencia a Flexotracción  
fct = Resistencia a Tracción

Losa N°	Especificación	Geometría de losas	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)
1	Pavim. Rígido	0,5x0,6x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	15	51,8
2	Pavim. Rígido	0,5x0,7x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	15	51,1
3	Pavim. Rígido	0,5x0,8x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	15	50,8
4	Pavim. Rígido	0,5x0,6x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	15	51,8
5	Pavim. Rígido	0,6x0,6x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	15	51,5
6	Pavim. Rígido	0,8x0,6x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	15	50,0
7	Pavim. Rígido	0,5x0,6x0,048	01/05/2015	15/05/2015	14	15	52,0
8	Pavim. Rígido	0,6x0,8x0,052	01/05/2015	15/05/2015	14	15	52,2

FUENTE: *Elaboración propia*





TABLA N° 34, Planilla de Resultados

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA VIGAS DE HORMIGÓN Y LOSAS A FLEXIÓN												
LOSA N°	ESPECIFICACIÓN	GEOMETRÍA DE LOSAS	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA (KN)	CARGA (Kg.)	RES. COMPRESIÓN(Kg/cm <sup>2</sup> )	FACTOR DE CORRECCIÓN	PROYECCIÓN 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	RES. FLEXIÓN (fct) 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
1	pavimento rígido	0,5x0,6x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	900	120,00	122,32	135,916	0,914	148,704	44,61
2	pavimento rígido	0,5x0,7x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	900	121,80	124,16	137,956	0,914	150,936	45,28
3	pavimento rígido	0,5x0,8x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	900	122,60	124,97	138,856	0,914	151,921	45,58
4	pavimento rígido	0,5x0,6x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	900	119,00	121,30	134,778	0,914	147,459	44,24
5	pavimento rígido	0,6x0,6x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	900	119,90	122,22	135,802	0,914	148,580	44,57
6	pavimento rígido	0,7x0,6x0,04	01/05/2015	15/05/2015	14	900	121,80	124,16	137,954	0,914	150,935	45,28
7	pavimento rígido	0,5x0,6x0,048	01/05/2015	15/05/2015	14	900	123,00	125,38	139,314	0,914	152,422	45,73
8	pavimento rígido	0,6x0,8x0,052	01/05/2015	15/05/2015	14	900	124,50	126,91	141,013	0,914	154,281	46,28

FUENTE: *Elaboración propia*

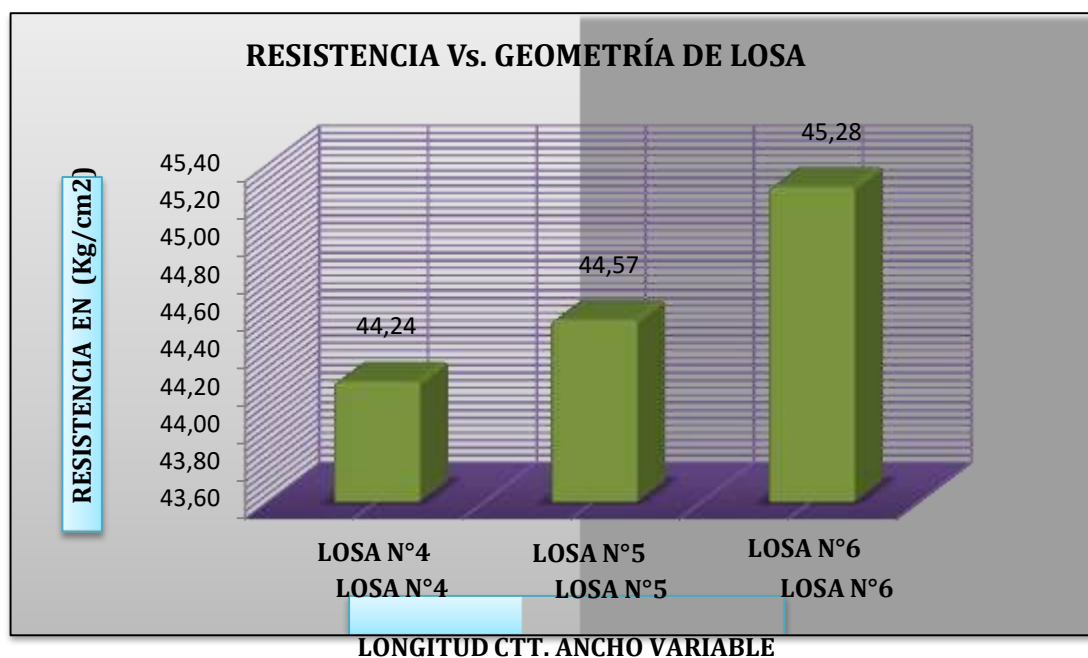
### 3.3.6.-GRÁFICOS INTERPRETATIVOS

**FIGURA 24.-** Comparación de Resistencia Ancho ctt. Long. Variable



FUENTE: *Elaboración propia*

**FIGURA 25.-** Comparación de Resistencia. Long. Ctt. Ancho Variable



FUENTE: *Elaboración propia*

**FIGURA 26.- Resistencia en Función al Espesor**



**FIGURA 27.- Resistencia Relación Ancho vs. Longitud**





Incidencia del espesor de la losa.

$$h \sqrt{\frac{a}{h}} \quad \frac{a}{h} \left[ \left( \frac{a}{h} \sqrt{\frac{a}{h}} \right) \right] \quad \sqrt{\frac{h}{( )}}$$

**DATOS:** Para determinar el espesor de la Losa N° 7

	200	a			4100
h	24		a	25	
	0,15			161	
	6				

- Fórmula para determinar el radio de rigidez relativa en centímetros [ ]

$$\sqrt{\frac{h}{( )}} \Rightarrow \sqrt{\frac{200 \cdot 24}{12 \cdot (1 - 0,15) \cdot 6}} \quad 14,08$$

- Fórmula para determinar el esfuerzo en la esquina de la losa en [ ]

$$\frac{a}{h} \left[ \left( \frac{a}{h} \sqrt{\frac{a}{h}} \right) \right] \Rightarrow \frac{3 \cdot 4100}{24} \left[ \left( \frac{25 \cdot 2}{14,08} \right) \right]$$

-15,75

- Fórmula para determinar el espesor de la losa en [ ]

$$h \sqrt{\frac{a}{h}} \Rightarrow h \sqrt{\frac{3 \cdot 4100}{161}} \quad 26$$

Incidencia del espesor de la losa.

$$h \sqrt{\frac{a^2}{12 \cdot (1 - \mu)} \cdot \frac{3}{26}} \quad \frac{3 \cdot a^2}{h \cdot 26} \left[ \left( \frac{a \cdot \sqrt{3}}{12 \cdot (1 - \mu)} \right) \right] \quad \sqrt{\frac{h}{12 \cdot (1 - \mu) \cdot 6}}$$

**DATOS:** Para determinar el espesor de la Losa N° 8

	200	a	4100
h	26		a
	0,15		25
	6		12,3

- Fórmula para determinar el radio de rigidez relativa en centímetros [ ]

$$\sqrt{\frac{h}{12 \cdot (1 - 0,15) \cdot 6}} \Rightarrow \sqrt{\frac{200 \cdot 26}{12 \cdot (1 - 0,15) \cdot 6}} = 14,95$$

- Fórmula para determinar el esfuerzo en la esquina de la losa en [ ]

$$\frac{3 \cdot 4100}{26} \left[ \left( \frac{25 \cdot 2}{14,95} \right) \right]$$

-12,3

12

- Fórmula para determinar el espesor de la losa en [ ]

$$h \sqrt{\frac{3 \cdot 4100}{12,3}} = 31,62$$

### 3.5.2 Incidencia de la longitud de la losa para determinar el esfuerzo

- Fórmula para determinar el esfuerzo de flexión en función a la longitud de la losa.

**DATOS:** Para determinar el esfuerzo de la Losa N° 1

3  
2,4  
2

$$\text{—————} \Rightarrow \frac{3 \cdot 2,4 \cdot 2}{2} = 7,2 \text{ Tn/m}^2$$

**DATOS:** Para determinar el esfuerzo de la Losa N° 2

3,5  
2,4  
2

$$\text{—————} \Rightarrow \frac{3,5 \cdot 2,4 \cdot 2}{2} = 8,4$$

**DATOS:** Para determinar el esfuerzo de la Losa N° 3

4  
2,4  
2

$$\text{—————} \Rightarrow \frac{4 \cdot 2,4 \cdot 2}{2} = 9,6 \text{ Tn/m}^2$$

### 3.5.3 Incidencia de la longitud y espesor de la losa.

- Fórmula para determinar la separación entre pasadores en función a longitud de losa.

$$\frac{\quad}{h}$$

**DATOS:** Para determinar la separación de pasadores de Losa N°1

3,1	$l$	300	2
1,6	$h$	20	
1400		0,0024	

$$\frac{\quad}{a \quad h} \quad \Rightarrow \quad \frac{\cdot 1,59 \cdot 1400}{4 \cdot 300 \cdot 20 \cdot 0,0024} \quad 96,52$$

**DATOS:** Para determinar la separación de pasadores de Losa N° 2

3,1	$l$	350	2
1,6	$h$	24	
1400		0,0024	

$$\frac{\quad}{a \quad h} \quad \Rightarrow \quad \frac{\cdot 1,59 \cdot 1400}{4 \cdot 350 \cdot 24 \cdot 0,0024} \quad 68,94$$

**DATOS:** Para determinar la separación de pasadores de Losa N° 3

3,1	$l$	400	2
1,6	$h$	26	
1400		0,0024	

$$\frac{\quad}{a \quad h} \quad \Rightarrow \quad \frac{\cdot 1,59 \cdot 1400}{4 \cdot 400 \cdot 26 \cdot 0,0024} \quad 55,68$$



### 3.5.4 Incidencia del ancho y espesor de la losa

#### 3.5.3 Incidencia del ancho y espesor de la losa.

- Fórmula para determinar la separación entre pasadores en función al ancho de losa.

$$\frac{1400}{a \cdot h}$$

**DATOS:** Para determinar la separación de pasadores de Losa N° 4

$$\begin{array}{r} 3,1 \\ 1,6 \end{array} \quad \begin{array}{l} a \\ h \end{array} \quad \begin{array}{l} 250 \\ 20 \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ 2 \end{array}$$

$$\frac{1400}{a \cdot h} \quad \Rightarrow \quad \frac{0,0024 \cdot 1,59 \cdot 1400}{4 \cdot 250 \cdot 20 \cdot 0,0024} \quad 115,82$$

**DATOS:** Para determinar la separación de pasadores de Losa N° 5

$$\begin{array}{r} 3,1 \\ 1,6 \end{array} \quad \begin{array}{l} a \\ h \end{array} \quad \begin{array}{l} 300 \\ 24 \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ 2 \end{array}$$

$$\frac{1400}{a \cdot h} \quad \Rightarrow \quad \frac{0,0024 \cdot 1,59 \cdot 1400}{4 \cdot 300 \cdot 24 \cdot 0,0024} \quad 80,43$$

**DATOS:** Para determinar la separación de pasadores de la Losa N° 6

$$\begin{array}{r} 3,1 \\ 1,6 \end{array} \quad \begin{array}{l} a \\ h \end{array} \quad \begin{array}{l} 400 \\ 26 \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ 2 \end{array}$$

$$\frac{1400}{a \cdot h} \quad \Rightarrow \quad \frac{0,0024 \cdot 1,59 \cdot 1400}{4 \cdot 400 \cdot 26 \cdot 0,0024} \quad 55,68$$

**FIGURA 28.-** Comparación de Espesores de losa Vs. Radio de Rigidez



FUENTE: *Elaboración propia*

**FIGURA 29.-** Comparación de Espesores de losa Vs. Esfuerzo



FUENTE: *Elaboración propia*

FIGURA 30.- Comparación de Longitud Vs. Esfuerzo

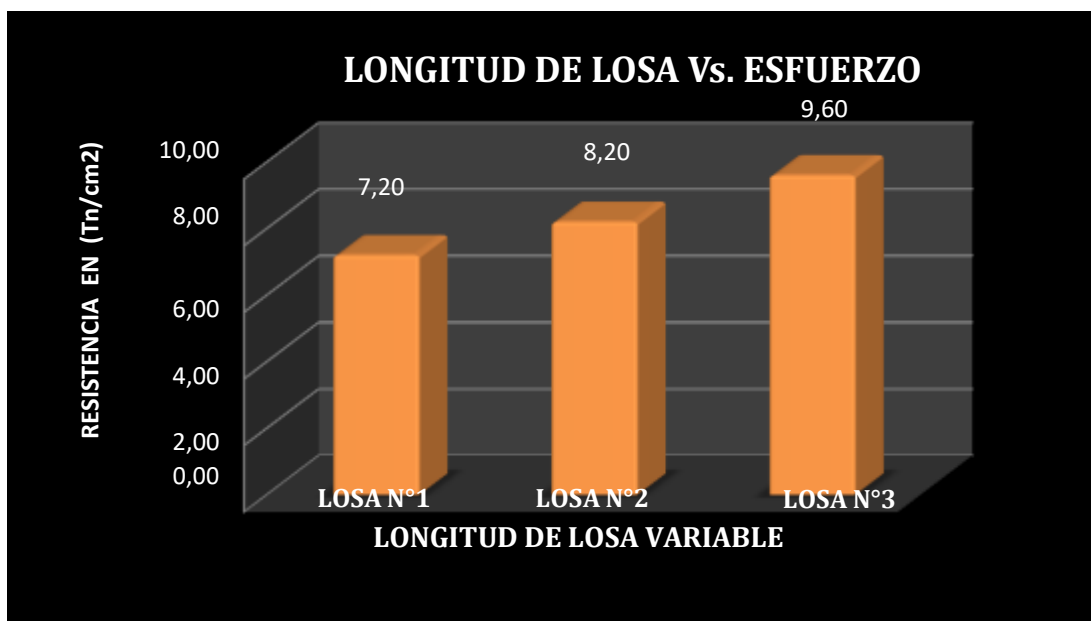
FUENTE: *Elaboración propia*

FIGURA 31.- Comparación de Ancho Vs. Separación

FUENTE: *Elaboración propia*

### 3.6.-ANÁLISIS DE RESULTADOS

En cuanto a los valores obtenidos en laboratorio, saltan a la vista ciertas observaciones importantes para el análisis, tales como las losas de mayor geometría reaccionaron mejor que las losas de menor geometría, como se muestra en la figura losa n°1 tiene un valor de resistencia igual a 44,61kg/cm<sup>2</sup> losa n°2 un valor de 45,28kg/cm<sup>2</sup> y losa n°3 un valor de 45,58kg/cm<sup>2</sup> esto demuestra que las losas de mayor longitud se comportan mejor que las losas de menor longitud.

Se evidencia que la geometría mayor tiene un efecto favorable en la reducción de la fisuración temprana de los hormigones de pavimentos tales como la losa n°3, losa n°6 y losa n°8 mientras que las losas n°1 losa n°4 y losa n°7 tienden a aumentar el grado de fisuración debido a la disminución de dimensión en ancho como en largo.

Tras la investigación sobre el tema incidencia de la geometría en pavimentos rígidos se llega a la conclusión de que la geometría de la losa n°3, losa n°6 y losas n°8 hace que se reduzca en forma importante las fisuras, reducir el deterioro temprano de las losas y por ende aumenta su periodo de vida útil del pavimento rígido.

Tras la investigación sobre el tema incidencia de la geometría en pavimentos rígidos se llega a la conclusión de que la geometría de la losa n°1, losa n°4 y losas n°7 hace que se aumente en forma importante las fisuras, aumenta el deterioro temprano de las losas y por ende reduce su periodo de vida útil del pavimento rígido.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1.- CONCLUSIONES

Al finalizar la presente investigación las conclusiones a las que se pudo llegar son:

- ✚ Hacer un análisis de resultados mediante gráficos y en cierta medida con la ayuda de la estadística, nos ha ayudado a establecer la variación de resistencias que existe entre cada geometría de losas.
- ✚ En cuanto a los valores obtenidos en laboratorio, saltan a la vista ciertas observaciones importantes para el análisis, tales como las losas de mayor geometría reaccionaron mejor que las losas de menor geometría, como se muestra en la figura losa n°1 tiene un valor de resistencia igual a 44,61kg/cm<sup>2</sup> losa n°2 un valor de 45,28kg/cm<sup>2</sup> y losa n°3 un valor de 45,58kg/cm<sup>2</sup> esto demuestra que las losas de mayor longitud se comportan mejor que las losas de menor longitud.
- ✚ En base a la experiencia recolectada en laboratorio la posibilidad de diseñar losas con longitudes grandes son mayores a las losas de menor tamaño como se puede apreciar en la figura n°24.
- ✚ Se evidencia que la geometría mayor tiene un efecto favorable en la reducción de la fisuración temprana de los hormigones de pavimentos tales como la losa n°3, losa n°6 y losa n°8 mientras que las losas n°1, losa n°4 y losa n°7 tienden a aumentar el grado de fisuración debido a la disminución del área de contacto con las llantas de los vehículos tanto en ancho como en largo.

- ✚ Tras la investigación sobre el tema incidencia de la geometría en pavimentos rígidos se llega a la conclusión de que realmente la geometría adecuada hace que se reduzca en forma importante las fisuras y no solo en el fenómeno de contracción plástica, sino también a implementación de carga.

#### **4.2.- RECOMENDACIONES**

En base a todas las experiencias recaudadas creemos que las recomendaciones más puntuales son las siguientes:

- ✚ Los equipos utilizados para la rotura de las vigas de hormigón son de vital importancia ya que los mismos, deben ser precisos y exactos en los resultados que arrojan ya que estos le darán la confiabilidad y aceptación o rechazo al trabajo para el cual están siendo usados.
- ✚ Se recomienda capacitar al personal del laboratorio de nuestra carrera en la utilización de los equipos, máquinas de ensayo etc. También se carece de equipos, esto a su vez se convierte en un inconveniente para los estudiantes que se sienten interesados en campos como la investigación de nuevas teorías dentro de la ingeniería civil, sería bueno que este tema se convierta en un foco de atención para las autoridades dentro de la carrera y de este modo caminar hacia una calidad académica cada vez mejor.
- ✚ Lo que se recomienda es que se puedan encarar emprendimientos que puedan profundizar esta idea en busca de nuevas interrogantes y respuestas.
- ✚ Se insta a los estudiantes de ingeniería civil, indagar en nuevos temas de investigación no quedándose estancos en rutinas disciplinarias que si bien son

la base, no deben convertirse en el culmen de sus capacidades intelectuales he interrogativas.

- ✚ Este trabajo puede servir como soporte para referencias bibliográficas, siempre y cuando los métodos y teorías planteadas se sometan a comparaciones y verificaciones correspondientes esto para una mayor seguridad del lector.
  
- ✚ Hay que tener mucho cuidado cuando se está realizando el cálculo de la dosificación porque es muy importante que tengamos una dosificación buena para así mismo tener un pavimento resistente.
  
- ✚ Recomendamos tomar en cuenta la importancia de la utilización de geometrías adecuadas para que podamos garantizar resultados que atiendan los requerimientos de calidad de un pavimento rígido pero que no demanden costos elevados a una construcción de un pavimento rígido.

