

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1.Introducción

Los pavimentos ultra delgados de hormigón con fibras consisten en, básicamente, lograr la optimización del espesor necesario para responder a las solicitudes que deberá enfrentar el pavimento mediante el uso de dimensiones de la losa más pequeñas que las tradicionales, lo que se conocen como losas cortas o losas optimizadas y la incorporación de fibras en el hormigón. Junto con ello, lo que hace realmente competitivo es el hecho de que esta alternativa se aplica directamente sobre el camino existente, sin necesidad de incluir ningún tipo de base implícita en otras soluciones como los tratamientos superficiales de asfalto por lo que el costo directo de la solución resulta realmente ventajoso frente a las otras alternativas.

Los pavimentos ultra delgados de losas cortas con fibras optimizan mucho más el diseño reduciendo el espesor, permite diseñar pavimentos de concreto optimizados y, por lo tanto, de menor costo de construcción. Tiene las mismas virtudes que un pavimento tradicional de concreto.

Las losas cortas buscan mediante una modificación en las dimensiones de las losas que reduce su tamaño de forma tal que las mismas no sean cargadas por más de un set de ruedas del camión, logrando con esto disminuir significativamente las tensiones en dicha losa.

Entonces, la optimización de espesores es posible al tener pavimentos con losas de dimensiones menores en largo y ancho, las cuales se ven sometidas a tensiones menores simplemente porque no hay posibilidad de que los ejes de un vehículo e incluso ambos lados de un mismo eje queden apoyados sobre la misma losa de concreto, disminuye con ello la magnitud de la sollicitación por carga y se reduce la necesidad de contar un espesor mayor del necesario para soportar esta exigencia.

Utilizar dimensiones de losas más pequeñas produce un menor agrietamiento de las mismas y una mayor tolerancia a la carga por eje del camión. A su vez, producto de la disminución en el tamaño de las losas, se logra que el efecto provocado por el alabeo de las losas, debido a gradientes térmicos, de humedad o propiciados por construcción sean menores respecto a los que se presentarían en una losa de tamaño tradicional.

1.2. Justificación

Los problemas que se presentan en el diseño de pavimentos rígidos actuales y tradicionales con la metodología del AASHTO 93, es que se manejan grandes espesores casi siempre en todas las calles de nuestra ciudad y no interesa si es para un tránsito alto, medio o tránsito bajo, esto genera a tener mayores gastos y en cuanto a deterioro siempre están presente ya sea por tensión por carga (tránsito) y tensión por alabeo (temperatura), ya que estos generan fisuras en las juntas longitudinales, transversales y centros de la losa.

Todo esto genera a que se sigan realizando estudios e investigaciones de cómo poder corregir los daños que se presentan en los pavimentos rígidos y minimizar costos.

Gracias a estas investigaciones se encontró el diseño de pavimentos ultradelgados de losas cortas con fibras la cual nos permite retardar la aparición de las primeras fisuras y mejorar la transferencia de cargas en los extremos de las losas debido a que las tensiones en ellas serán menores, esto conlleva a que se pueda reducir el espesor de la losa.

También influye mucho el dimensionamiento que se aplica en las losas cortas para el diseño de pavimento ultradelgado con fibras cortas, por lo que se aplica mayormente en vías de bajo tránsito, pero con altos niveles de solicitud de carga.

Con la utilización de pavimentos ultra delgados de losas cortas queda demostrado ser una excelente alternativa ya que ofrece mejoras en cuanto a la serviciabilidad y durabilidad, así mismo los costos bajan referencialmente hasta que un 30% en comparación a un pavimento de diseño tradicional del AASHTO 93, del mismo modo reduce el tiempo de la apertura al tránsito.

Este diseño de losas cortas con pavimentos ultradelgados, el cual se caracteriza en tener longitudes de menor dimensión, al tener menores longitudes se reducirán los alabeos, al reducir los alabeos se reducirá las tensiones y eso ocasionará la reducción de espesores. Debido a estos parámetros nace la investigación a realizar: Evaluación del diseño de losas cortas (TCP) en pavimentos según tensiones.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

La necesidad de tener mejores vías pavimentadas que permitan un desplazamiento rápido y seguro ya sea una red urbana, rural y carreteras; lleva a evaluar las condiciones actuales en las que se encuentran los pavimentos rígidos y buscar nuevas alternativas de solución. El tener vías en malas condiciones de serviciabilidad genera consigo nuevos problemas como son un aumento en el tiempo de viaje, contaminación por presencia de polvo y acumulación de charcos de agua debido a agrietamiento y erosiones que se generan en los pavimentos.

Los pavimentos rígidos son importantes dentro de toda ciudad, ya que ello mejora las condiciones de vida y una mejor presentación de las calles. Así mismo se debe de conocer las características y propiedades de la subbase y subrasante.

Las dimensiones de las losas cuanto más largas y anchas ocasionan a que los esfuerzos generados por los ejes equivalentes se transmitan todo en una sola losa y lo planchan; esto conlleva a decir que la losa cuanto más larga percibe mayor tensión y por ende requiere un mayor espesor para poder resistir dicha tensión. En todas las calles donde se realice un pavimento rígido en nuestra ciudad se emplea casi siempre un espesor mayor a 17 cm.

Una alternativa de solución es el diseño de losas cortas el cual busca dimensionar las losas de tal forma que cada losa sea cargada solamente por una rueda o por un set de ruedas, esto generará a que se tenga menores tensiones, el cual nos permitirá reducir el espesor de la losa, pero con la misma resistencia que un pavimento realizado con el diseño del AASHTO 93.

1.3.2. Problema

Encontrar una geometría optimizada de las losas cortas que favorezca al diseño de los pavimentos ultradelgados en el dimensionamiento.

Obtener un mejor dimensionamiento de pavimentos de concreto que será a través de una geometría optimizada de las losas de concreto además de condición ultradelgada.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- ✓ Analizar el dimensionamiento apropiado de pavimentos ultradelgados con geometría optimizada, aplicando el programa “Darwin” y “BS-PCA Diseño de pavimentos rígidos” según las condiciones necesarias de las mismas que permitan el dimensionamiento con losas ultradelgadas que resistan las cargas de tráfico y su deformación sea admisible.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Analizar las propiedades y aspectos generales de los pavimentos rígidos y su comportamiento al aplicar las losas cortas.
- ✓ Determinar los parámetros de diseño de pavimentos acorde a condiciones de posibilidad de losas ultradelgadas.
- ✓ Desarrollar una geometría optimizada para satisfacer a los pavimentos ultradelgados
- ✓ Establecer el comportamiento de una losa ultradelgada con geometría optimizada con sus máximos esfuerzos y tensiones.
- ✓ Dimensionar al pavimento ultradelgado con una metodología apropiada.
- ✓ Realizar un análisis de los resultados de los dimensionamientos obtenidos y determinados en el pavimento ultradelgado.

1.5.Hipótesis

Si realiza el dimensionamiento de pavimentos ultradelgados con geometría optimizada, entonces se puede obtener mayor resistencia y menor esfuerzo en cada losa de pavimento.

1.6. Variables

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Metodología	Unidad
Variable dependiente	Geometría optimizada.- Es obtener dimensiones óptimas de las losas para evitar esfuerzos mayores en el pavimento	Largo	Longitud, ancho y Espesor	huincha	Metros
		Ancho			
		Espesor			

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Metodología	Unidad
Variable independiente	Dimensionamiento de pavimentos ultradelgados.- Permite diseñar pavimentos optimizados y por lo tanto de menor costo de construcción.	Modulo resiliente	Resistencias	- Ensayo de carga - Aforo - Ensayo de flexión	kg/cm2
		Tráfico	Volumen de tráfico		veh/día
		Resistencia del Hormigón	Resistencia del asfalto		kg/cm2

1.7. Diseño metodológico

1.7.1. Unidades de estudio y decisión muestra

1.7.1.1. Unidad. – Un pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

1.7.1.2. Población. – Pavimento rígido ultradelgado es el que se ejecuta teniendo como material fundamental el hormigón, bien sea en la base o en toda su estructura. Estos pavimentos se clasifican de acuerdo al tipo de hormigón que se emplee.

1.7.1.3. Muestra. – Los pavimentos ultradelgados con geometría optimizada se caracteriza por ser la estructura que resiste las tensiones producidas por el tránsito y el entorno. Estos pavimentos también se caracterizan por la dimensión de las losas que componen, las cuales se diseñan de forma que no pueda haber por losa más de una rueda o set de ruedas de un vehículo a la vez.

La optimización en la geometría de las losas con respecto a las cargas en el pavimento, permite disminuir el agrietamiento en las losas, aumentar su vida útil y disminuir el espesor dependiendo de las solicitaciones.

1.7.1.4. Muestreo. – Para la realización de la muestra se realiza una serie de procesos.

- Definir el lugar adecuado para estudiar el análisis del dimensionamiento necesario para el diseño.

Para realizar el análisis se obtendrán datos de las siguientes calles seleccionadas de la ciudad de Bermejo:

1. Calle Alfredo Ameller y Madrid
2. Calle Cochabamba y Madrid
3. Avda. 21 de Diciembre y Madrid
4. Calle Mamerto Salinas y Guerreras

5. Calle Oruro y Guadalquivir
 6. Calle Chuquisaca y Virgen de Chaguaya
 7. Calle Barrientos Ortuño y Potosí
 8. Calle La Paz y Germán Bush
 9. Calle Tarija y Beni
 10. Calle Topater y Germán Bush
- Obtener los datos necesarios del respectivo lugar.
 - Analizar en gabinete el dimensionamiento con la geometría optimizada y cómo afecta en el pavimento ultradelgado.

1.7.2. Métodos y técnicas empleadas

El método a utilizar en este tema es el método inductivo que se define de la siguiente manera:

El método inductivo es un proceso utilizado para poder sacar conclusiones generales partiendo de hechos particulares. Es el método científico más usado.

El inductivismo va de lo particular a lo general. Es un método que se basa en la observación, el estudio y la experimentación de diversos sucesos reales para poder llegar a una conclusión que involucre a todos esos casos. La acumulación de datos que reafirmen nuestra postura es lo que hace al método inductivo.

Para poder realizar el proceso de aplicación del tema a estudiar se debe primero estudiar los diferentes conceptos referentes al tema para así tener información necesaria para poder obtener el análisis de dimensionamiento.

Con los datos obtenidos y brindados se comienza a realizar los diferentes procedimientos para obtener resultados del dimensionamiento con geometría optimizada necesarios y óptimos para el diseño de un tramo en particular. Así mismo se efectúa una conclusión y comparación de todo lo obtenido en el estudio de aplicación

Con el método inductivo nos damos cuenta que en este tema vamos a trabajar con un tramo en particular, pero a su vez las dimensiones encontradas o analizadas para ese tramo se pueden realizar en cualquier diseño de carretera sólo se debe observar sus parámetros y características del proyecto.

1.7.2. Técnicas del muestreo.

Las técnicas a utilizar en este proyecto son los ensayos y utilización de software.

El software realiza un rol importante, ya que, con este instrumento se realizará la aplicación que se va a emplear para poder determinar un dimensionamiento de geometría optimizada en las losas cortas y poder llegar a una comparación de las diferentes longitudes.

Cabe mencionar que se usará materiales de escritorios necesarios para realizar los cálculos y obtención de los datos correspondientes para realizar la aplicación y así también el análisis de las mismas.

Ensayos

Este método depende mucho de los datos que me pueden brindar, dependiendo de la ubicación donde se realizará la aplicación. En caso que no llegue a adquirir el valor de la subrasante debo realizar su respectivo ensayo.

Para tener la caracterización se realizaría los correspondientes ensayos de la subrasante y hormigón, como ser:

Granulometría.- Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices. Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Límites de Atterberg.- Se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino sólo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y, finalmente, líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Compactación.- En mecánica de suelos, el ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad a una energía de compactación determinada.

El CBR.- Es un indicador utilizado para medir la capacidad de soporte de explanadas, bases y subbases de firmes. El CBR mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Para la parte de la investigación se realizará lo siguiente:

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

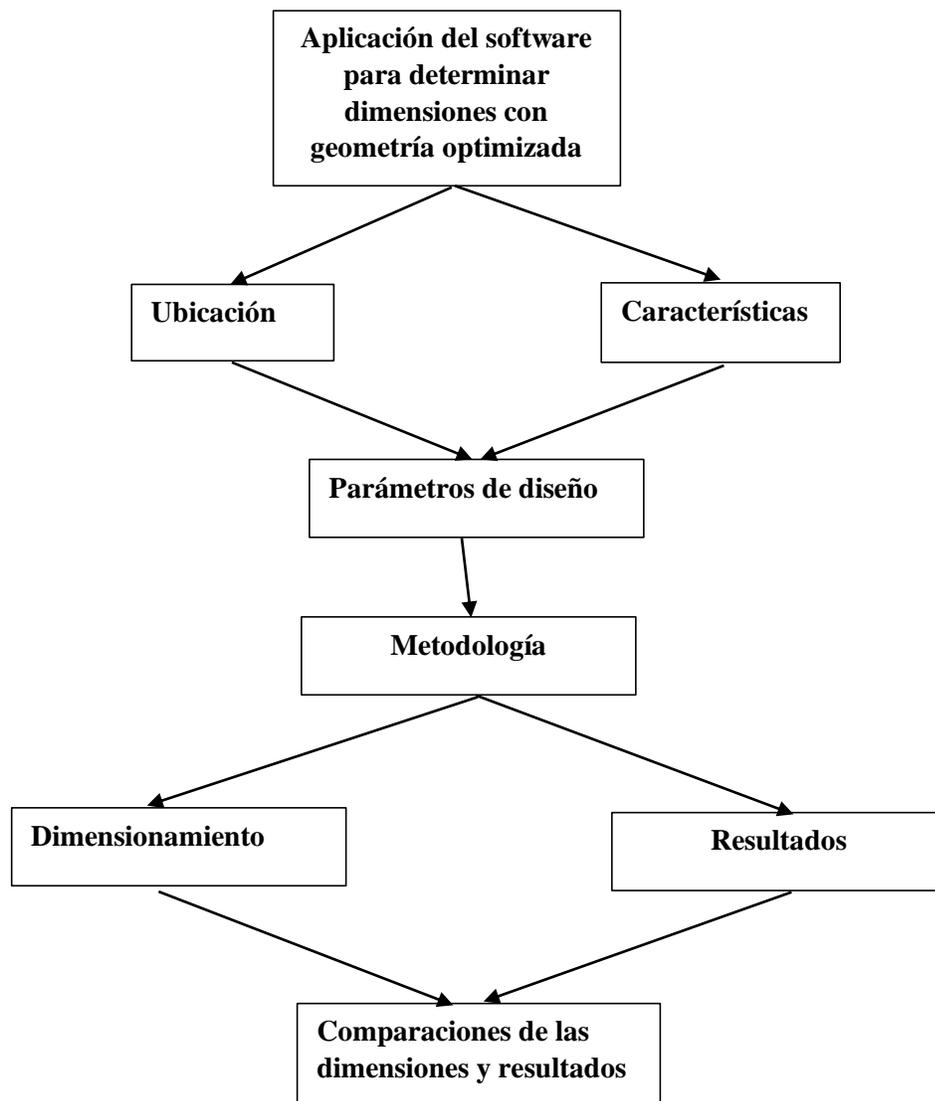
Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado.

Ensayo de resistencia a flexión. - Un ensayo de flexión nos sirve para evaluar el comportamiento esfuerzo-deformación y la resistencia a la flexión de un material. Estos ensayos se llevan a cabo cuando el material es demasiado frágil para ser ensayado por deformación. Se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es preponderante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión.

Ensayo a compresión simple. - El procedimiento tal vez más intuitivo y más simple de valorar la resistencia de un material consiste en someterlo a un esfuerzo axial llevado hasta rotura. Por lo general, este sistema se utiliza en gran variedad de materiales en el ámbito

de la ingeniería y en especial para aquellos en los que se supone una situación de servicio a compresión y de los cuales llega incluso a desestimarse en un cálculo simplificado su resistencia a tracción, tal cual no es inusual en el caso del hormigón, de los aglomerados asfálticos o de las rocas ornamentales. El ensayo de rotura a compresión se utiliza con profusión como parámetro supervisor en el control de calidad de materiales.

1.7.4. Procedimientos de aplicación



1.7.4.1. Proceso para la aplicación

Para comenzar a realizar ésta aplicación es importante tener conocimientos básicos de los pavimentos, sus componentes, comportamientos y sus factores para el diseño de un pavimento.

Es importante obtener un lugar en específico para estudiar sus características y encontrar sus parámetros de diseño necesarios para efectuar una metodología adecuada para el respectivo tramo y así también tener un conocimiento sobre los dimensionamientos adecuados para los pavimentos en general dependiendo de sus parámetros que se involucran en el diseño.

Uno de los estudios fundamentales e importantes que no se debe dejar pasar son los siguientes y que afectan en el diseño de un pavimento:

Estudio de tráfico

Debe ser una de los primeros estudios, principalmente cuando se trata de vías que serán construidas o mejoradas. El estudio de tráfico se encarga de estimar los volúmenes de tránsito esperados en el momento de dar en servicio la vía y su comportamiento a lo largo de la vida útil de ésta. Tiene dos finalidades: la rentabilidad de la vía y el diseño de pavimentos. De acuerdo a los volúmenes esperados se puede determinar el tiempo de la concesión, el costo del peaje y la tasa de retorno de la inversión.

Estudio de suelos

Todas las estructuras a construir, puentes, muros, alcantarillas de cajón, etc., deben de tener su correspondiente estudio de suelos con el fin de diseñar la estructura más adecuada de acuerdo a la capacidad de soporte del suelo donde se va a fundar.

El clima

Para obtener mejores resultados en el dimensionamiento se debe estudiar el clima donde se va a realizar el diseño de carretera con losas cortas para evitar los alabeos de las respectivas losas.

Estudio de la 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.

La subrasante se ajusta a diferentes propiedades que dan una estimación de la calidad de los materiales para las vías, como ser: El módulo resiliente, módulo de poisson, valor de soporte del suelo y módulo de reacción de subrasante “K”.

Una vez obtenido los parámetros necesarios se procede a utilizar programas de software para obtener diferentes dimensiones con geometría optimizada que sean aptas para el lugar donde se va a afectar el diseño con losas cortas de concreto.

Después de obtener los resultados necesarios de los dimensionamientos con su geometría optimizada se procede a realizar comparaciones de las dimensiones y poder observar cuál es recomendable y más segura para el diseño.

1.7.4.2. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

El análisis estadístico nos permite realizar inferencias y sacar conclusiones a partir de los datos. Extrayendo la información contenida en los datos, podremos comprender mejor las situaciones que ellos representan. Por lo que para esto es muy indispensable contar con los datos obtenidos y/o calculados para el análisis del dimensionamiento de los pavimentos ultradelgados.

Media

La media es el valor promedio de un conjunto de datos numéricos, calculada como la suma del conjunto de valores dividida entre el número total de valores.

Existen muchas formas de calcular una media. La más conocida es la media aritmética. Aun así, hay otras formas para calcular la media de un conjunto de valores, como la media geométrica, la ponderada o la armonizada.

La media aritmética es la forma que todos conocemos en la que todas las observaciones tienen la misma ponderación y la solemos calcular con la siguiente fórmula:

$$\text{Media aritmetica} = \frac{\sum_1^N x_i}{N} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{N}$$

Donde:

x= Es el valor de la variable i

N= El número total de variables.

Mediana

Se denomina mediana en estadística al valor que se encuentra en el lugar central de todos los datos de un estudio cuando éstos están ordenados de menor a mayor. El símbolo de la mediana se representa por M_e . La mediana es por tanto el número central de un grupo de números ordenados por su tamaño.

Para hallar la mediana en estadística, se ordenan los números de una muestra según su valor y se determina el que queda en el medio. Si la cantidad de términos es impar, la mediana es el valor central. Si la cantidad de términos es par, suma los dos términos del medio y divide entre 2.

Moda

En lo referente a la estadística se entiende como moda el dato que tiene mayor frecuencia dentro de la distribución. Es un elemento indispensable y fundamental dentro del mundo de la estadística que con frecuencia se escucha en compañía de términos como media, promedio o mediana.

Conocer las características de la moda es fundamental al realizar cualquier investigación que quieras tenga un soporte o validación científica, por esta razón es necesario que conozcas sus características y definiciones de la forma más sencilla.

Para obtener la moda se usa la siguiente fórmula:

$$M = L_i + \left(\frac{D_1}{D_1 + D_2} \right) A_i$$

Donde:

L_i = L -inferior de la clase modal

D_1 = Es el delta de frecuencia absoluta modal y la frecuencia absoluta premodal

D_2 = Es el delta de frecuencia absoluta modal y la frecuencia absoluta postmodal

A_i = Amplitud del intervalo modal

Varianza

La varianza es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media. Formalmente se calcula como la suma de los residuos al cuadrado divididos entre el total de observaciones.

También se puede calcular como la desviación típica al cuadrado. Dicho sea de paso, entendemos como residuo a la diferencia entre el valor de una variable en un momento y el valor medio de toda la variable.

Fórmula para calcular la varianza

La unidad de medida de la varianza será siempre la unidad de medida correspondiente a los datos pero elevada al cuadrado. La varianza siempre es mayor o igual que cero. Al elevarse los residuos al cuadrado es matemáticamente imposible que la varianza salga negativa. Y de esa forma no puede ser menor que cero.

$$\text{Var}(X) = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{X})^2}{n}$$

Desviación estándar

La desviación estándar es la medida de dispersión más común, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos.

La desviación estándar se puede utilizar para establecer un valor de referencia para estimar la variación general de un proceso.

Fórmula para calcular la desviación estándar

$$DE = \sqrt{\frac{\sum |x - \mu|^2}{N}}$$

Donde:

x = Valor de un conjunto de datos

μ = Media del conjunto de datos

N = Número de datos

Coefficiente de variación

El coeficiente de variación o coeficiente de variación de Spearman es una medida aplicada en la ciencia de las estadísticas, que relaciona la desviación estándar y la media aritmética de un conjunto de datos definiendo la dispersión relativa de la muestra en estudio.

En palabras más simples, es el promedio o variación ambicionada de un conjunto de datos, respecto a la media aritmética.

En el conjunto de las distintas medidas de dispersión aplicadas en la estadística, éstas se encuentran en las mismas unidades por la cual están siendo medidas, siendo dimensionales. No obstante, no resuelve posibles problemas que se pueden presentar.

Cuando se va a estudiar un cotejo de situaciones con unidades de medida distintas, se requiere una medida adimensional de la variabilidad. Dicha medida es el coeficiente de variación.

Expuesto lo anterior, el coeficiente de variación permite comparar la variabilidad de muestras o poblaciones distintas pues elimina la dimensionalidad de las dos variables.

El coeficiente de variación de Spearman, suele ser denotado por las siglas (C.V.) y se puede calcular de la siguiente manera:

$$CV = \frac{DE}{x}$$

Donde:

DE = Desviación estándar

x = Media

1.7.5. Alcance del estudio

En resumen, este proyecto va enfocada a elaborar un análisis de losas de dimensiones optimizadas en pavimentos de concreto, previamente a establecer el procedimiento para la realización de este análisis se hará una recopilación de la información necesaria para realizar este análisis o aplicación para dejar establecido una base teórica necesaria para la comprensión de este tema. Posteriormente se establecerá un procedimiento, donde realizaremos las posibles dimensiones de las losas cortas con geometría optimizada para poder realizar las comparaciones de los resultados. Se realizará este procedimiento por medio de programas computarizados que proporcionen los resultados necesarios para que se asemeje lo más posible al comportamiento real que tienen estos pavimentos.

Comenzamos realizando un planteamiento del problema para poder comenzar con posibles conclusiones y resultados y llevar a cabo los objetivos de esta aplicación.

Obtener conocimientos de la definición de pavimentos y los tipos de pavimentos, así también sus componentes y comportamientos que tiene cada pavimento y sus factores que influyen en el diseño y en este caso en el dimensionamiento de una losa corta para un respectivo tramo.

Después de obtener conocimientos básicos del tema a estudiar vamos a utilizar programas computarizados para realizar la aplicación planteada en este proyecto para poder realizar un análisis del dimensionamiento de pavimentos ultradelgados con losas cortas.

En el programa vamos a obtener varias dimensiones de losas de concreto donde realizaremos una comparación de cada resultado obtenido y ver cuál es más optimizado dependiendo de los factores que involucran en una carretera para su respectivo diseño con losas cortas.

Una vez obtenido los resultados observamos si llegamos a satisfacer los objetivos planteados anteriormente y así también realizar recomendaciones para las posibles correcciones que se lleven a cabo de cada dimensionamiento y factores que se obtenga.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS RÍGIDOS ULTRADELGADOS

2.1. Pavimentos

Estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos:

Con seguridad.

Con comodidad.

Con el costo óptimo de operación.

Superficie uniforme.

Superficie impermeable.

Color y textura adecuados.

Resistencia a la repetición de cargas.

Resistencia a la acción del medio ambiente.

Que no transmita a las capas inferiores esfuerzos.

Mayores a su resistencia.

Es importante tener en cuenta que el pavimento puede revestirse con diferentes materiales, como piedras o maderas. El término, sin embargo, suele asociarse en algunos países al asfalto, el material utilizado para construir calles, rutas y otras vías de comunicación. Las denominadas mezclas asfálticas y el hormigón son los materiales más habituales para crear el pavimento urbano, ya que tienen un buen rendimiento de soporte y permiten el paso constante de vehículos sin sufrir grandes daños. En los últimos años se ha promovido el desarrollo de pavimento que sea sostenible y que respete el medio ambiente. En este sentido cabe mencionar la creación de pavimento que combina el asfalto con el polvo de caucho que se obtiene a partir de neumáticos reciclados y la utilización del producto conocido como noxer (producto que aplicado sobre el asfalto ayuda a purificar el aire en entornos urbanos), que tiene la capacidad de absorber la contaminación que producen los tubos de escape de los vehículos.

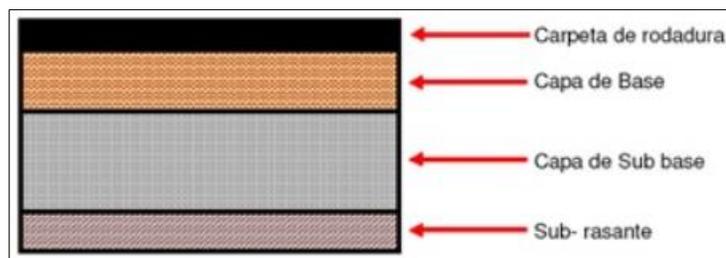
2.2. Tipos de pavimentos

2.2.1. Pavimentos asfálticos o flexibles

Son aquellos construidos con materiales asfálticos y materiales granulares. En general, están constituidos por una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de base y una capa de sub-base las que usualmente son de material granular. Estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante.

Corte transversal.

Figura 2.1. Corte transversal del pavimento asfáltico



Fuente: Morales Rosales, 2017

La capa de rodadura de un pavimento flexible puede construirse con un hormigón bituminoso, mezclas de arena y betún, o mediante tratamientos superficiales con riegos bituminosos.

Está sometida a los esfuerzos máximos y condiciones más severas impuestas por el clima y el tráfico.

La capa de base se compone generalmente de áridos, que han sido tratados o no con cemento portland, cal, asfalto u otros agentes estabilizantes. Esta capa tiene como principal función, la de soportar las cargas aplicadas y distribuir estas cargas a la sub-base o al terreno.

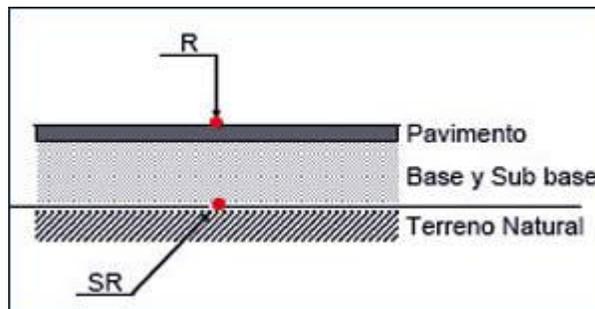
La capa de sub-base se compone de materiales menor calidad y costo que los empleados en la capa de base. Se componen de materiales estabilizados o no, o de terreno estabilizado.

Las sub-bases transmiten cargas al terreno y en algunos casos pueden actuar de colaborador del drenaje de las aguas del subsuelo y para prevenir la acción destructiva de las heladas.¹

2.2.2. Pavimentos de concreto o rígidos

Pavimentos contruidos con hormigón de cemento portland y materiales granulares. Los pavimentos rígidos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante. La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto.

Figura 2.2. Corte transversal del pavimento rígido



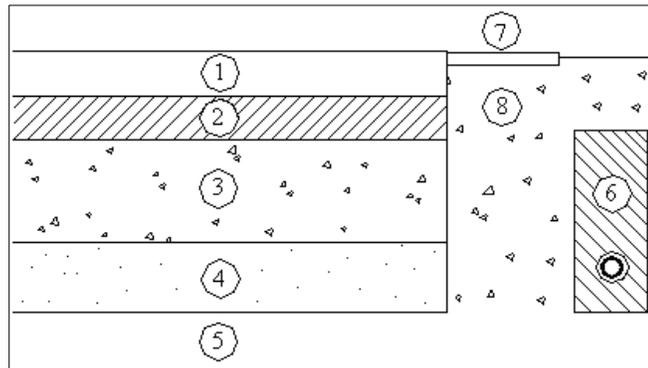
Fuente: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario

2.3. Componentes en pavimentos

En la siguiente figura se muestra esquemáticamente, los componentes principales de un pavimento asfáltico. Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está formada por las capas de sub-base y suelo compactado.

¹ https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_ano/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf

Figura 2.3. Sección típica de un pavimento.



Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos, Brasil, 2000.

- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| 1. Capa de rodadura | 5. Subrasante |
| 2. Capa base | 6. Sub-drenaje longitudinal |
| 3. Capa sub-base | 7. Revestimiento de hombreras |
| 4. Suelo compactado | 8. Sub-base de hombreras |

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

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

La capa base tiene las siguientes funciones:

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

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

La capa de suelo reforzado, puede estar presente en una estructura de pavimento, para poder reducir el espesor de la capa sub-base.

El suelo compactado, es el mismo suelo del terraplén, que está escarificado y compactado a una cierta profundidad dependiendo de su naturaleza o de las especificaciones del proyecto.²

2.4. Utilización de fibras en pavimentos

El diseño de pavimentos de concreto con fibra estructural permite obtener pavimentos de menor espesor, a partir de considerar que la fibra contribuye a controlar y contener las tensiones que se producen a partir de la fisuración por fatiga del material, además aumenta la transferencia de carga en las juntas y eventualmente elimina la necesidad de confinamiento lateral en cierto tipo de proyectos. Adicionalmente, la fibra se encarga de contener la evolución de cualquier grieta que se produzca durante la vida útil del pavimento contribuyendo con ello a mantener la serviciabilidad del pavimento.

Entre las principales ventajas de la adición de fibras al concreto, ya sea de acero o polipropileno, se pueden mencionar:

- Se produce unión de las microfisuras del concreto formando un entramado que evita su rotura frágil.
- Mejora el comportamiento a cargas cíclicas (fatiga).
- Aumenta la capacidad última de la losa por punzonamiento.
- En pavimentos se puede disminuir los espesores cuando las tensiones principales se encuentran en la cara inferior, como por diseño es en las losas de geometría optimizada.

² <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/09/componentes-de-un-pavimento.html>

Figura 2.4. Pavimento de concreto con losas cortas



Crédito: Mauricio Salgado Torrez

2.5. Dimensionamiento de losas cortas en pavimentos

2.5.1. Consideraciones generales

La tecnología de las losas cortas por tanto busca mediante una modificación en las dimensiones de las losas que reduce su tamaño de forma tal que las mismas nunca sean cargadas por más de un set de ruedas del camión, logrando con esto disminuir significativamente las tensiones en dicha losa (Covarrubias, 2010).

Dicho de otra forma, la optimización de espesores es posible al tener pavimentos con losas de dimensiones menores en largo y ancho, las cuales se ven sometidas a tensiones menores simplemente porque no hay posibilidad de que los ejes de un vehículo e incluso ambos lados de un mismo eje queden apoyados sobre la misma losa de concreto, disminuye con ello la magnitud de la sollicitación por carga y se reduce la necesidad de contar un espesor mayor del necesario para soportar esta exigencia.

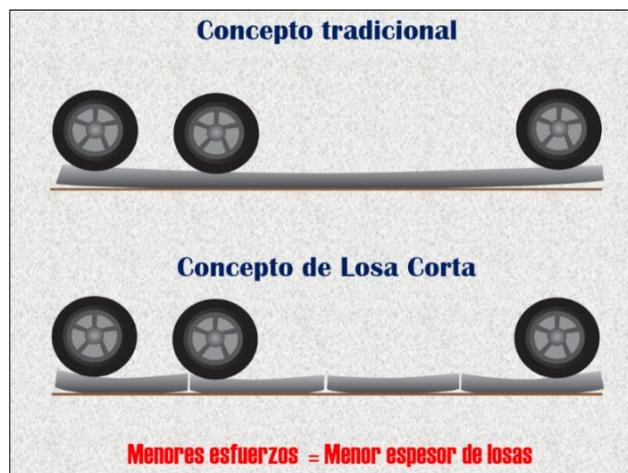
Utilizar dimensiones de losas más pequeñas produce un menor agrietamiento de las mismas y una mayor tolerancia a la carga por eje del camión. A su vez, producto de la disminución en el tamaño de las losas, se logra que el efecto provocado por el alabeo de

las losas, debido a gradientes térmicos, de humedad o propiciados por construcción sean menores respecto a los que se presentarían en una losa de tamaño tradicional.

No obstante lo anterior, mientras por un lado es posible someter a esfuerzos menores las losas con dimensiones más cortas, el número de juntas por unidad de longitud es mayor frente a lo tradicional debido a la disminución en el distanciamiento entre las mismas, razón por la cual debieron introducirse algunas modificaciones de tipo constructivo, para no afectar la regularidad superficial, tales como la adopción del corte delgado sin sello como la configuración típica para las juntas en caso de utilizar la geometría optimizada.

De otro lado, como complemento al desarrollo de las losas cortas se estudió el incorporar fibras dentro del concreto con miras a lograr en primer lugar una mayor optimización del espesor del pavimento que se requiere para soportar las cargas, y segundo, considerar dentro el diseño que ante la eventual aparición de fisuras, éstas no se abrieran ni progresaran y se contuviera así la evolución de su desarrollo.³

Figura 2.5. Demostración de los esfuerzos y alabeos de las losas



Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos, Brasil, 2000

En el 2005 el panorama cambió, especialistas del área estaban pensando cómo revertir esta situación y apareció la losa corta o de geometría optimizada que vino a provocar la

³ <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/pavimentos-de-losas-en-chile>

gestación de diferentes técnicas que se comenzaron a desarrollar en pro de mejorar el uso de esta nueva tecnología, señala J. Covarrubias, gerente general de TCPavements (TCP).

Las losas cortas, una invención chilena, se han logrado validar de acuerdo a sus promotores en el mercado de América Latina e incluso está siendo integrado a las técnicas aprobadas por Estados Unidos. Este tipo de pavimentación en concreto es más eficiente que las técnicas tradicionales. Dichas losas posibilitan la reducción de espesores hasta en un 30%, en relación al concreto tradicional y por consiguiente la disminución de costos.

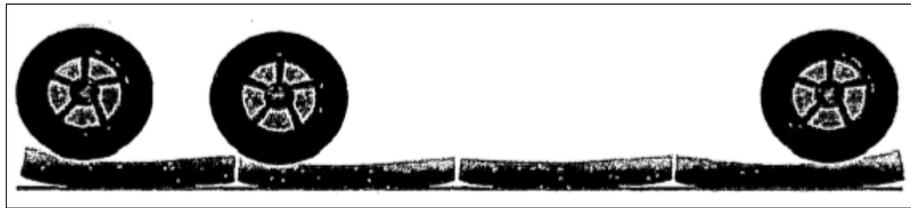
En cuanto a estudios de losas cortas según M. Becerra (2012, p.225-226). El análisis se debe realizar mediante la estimación de esfuerzos y deformaciones máximas admisibles para una estructura de pavimento de concreto, de esta manera, el análisis se limita a modelar, dentro de algún programa de elementos finitos aplicado para pavimentos. Los esfuerzos y deformaciones que el diseñador aceptará después del paso de cargas de tránsito, pudiendo considerarse la acción del clima mediante la inclusión de gradientes térmicos y de humedad.

Desde hace unos años, investigaciones realizadas por el Instituto Chileno del Cemento y Hormigón (ICH), y estudios independientes por parte del Dr. Juan Pablo Covarrubias, en la Universidad de Illinois, han logrado justificar el empirismo con el que se trabajarán inicialmente en losas optimizadas en algunos países de Centro América, fortaleciendo la teoría mecanicista para este tipo de innovaciones.

2.5.2. Concepto de diseño de losas con geometría optimizada

El concepto general de capas delgadas de concreto es que mediante la reducción de esfuerzos de tracción en el pavimento, conlleva a la reducción del espesor de las losas. Los esfuerzos de tracción en una losa de concreto son una función de las condiciones ambientales y de la carga. Estos esfuerzos de tracción se reducen mediante la modificación del tamaño de la losa de los más comunes de 4.50 m por 3.60 m. a aproximadamente losas de 1.80 m x 1.80 m. Propuesto por el diseño de pavimento ultradelgados, de esta forma sólo una rueda carga sobre la losa en cualquier momento o situación.

Figura 2.6. Losas con geometría optimizada



Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos, Brasil, 2000

Con la reducción de tamaño y espesor de la losa, las deflexiones del pavimento aumentan significativamente, por lo tanto, el potencial de bombeo, la erosión y la deformación permanente de las capas de subbase llegan a ser fundamentales. En forma similar al problema adoptado por el método BS - PCA para el diseño de pavimento rígido lo que demuestra que en cierto espesor de losa podría proporcionar una vida de fatiga infinita, pero la erosión o bombeo podrían ser el factor de control.

Por lo tanto, la menor geometría de la losa requiere especial atención durante las fases de diseño y construcción con una particular atención en el diseño y las especificaciones de las capas de soporte y sistema de juntas.

2.6. Comportamiento del pavimento de concreto o rígido

2.6.1. Comportamiento estructural

Figura 2.7. Comportamiento estructural del pavimento rígido



Fuente: Luis F. Altamirano Kauffmann “Deterioro de Pavimentos Rígidos” – 2007

El comportamiento estructural del pavimento de concreto está asociado a la capacidad estructural que tiene para soportar o resistir las solicitaciones de carga al que estará sometido durante su período de vida útil; ya que las cargas de los vehículos pesados producen una pérdida lenta y progresiva de la capacidad de soporte de la estructura del pavimento.

Los pavimentos de concreto de cemento portland, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, distribuye las cargas de tránsito sobre áreas relativamente extensas del suelo subyacente, por lo que la mayor parte de la capacidad estructural es provista por la misma losa. Cabe resaltar que el comportamiento de las losas depende estrechamente de las condiciones de contorno como son el apoyo sobre la subbase y las restricciones en los bordes que le imponen las losas adyacentes.

La principal característica estructural de los pavimentos de concreto es la transmisión de cargas a través de juntas o grietas. Por lo tanto, la forma más frecuente de establecer la capacidad estructural de un pavimento de concreto es determinando la deflexión o desplazamiento vertical a lo largo de las juntas y borde del pavimento, bajo una carga normalizada de referencia, ya que deflexiones excesivas producen bombeo de la subbase y posteriormente pérdida de soporte de la estructura del pavimento, lo que origina la rotura de la losa de concreto.

La otra variable básica que interviene en el estudio de la capacidad estructural del pavimento es la cuantificación adecuada de las solicitaciones. En esta cuestión se descubre la interrelación entre características superficiales y estructurales.

La capacidad estructural y funcional están íntimamente relacionadas. En efecto un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución de su capacidad funcional ya que hay un incremento en rugosidad, ruido y un riesgo para los ocupantes que lo transiten. No obstante, hay otro tipo de fallas estructurales que pueden progresar sin que los usuarios lo noten hasta etapas muy avanzadas. También puede haber una

pérdida de la capacidad funcional sin que esto implique una pérdida de la capacidad estructural (ej. pérdida de fricción).

Por otro lado, el efecto de superposición más conocido, aunque difícil de cuantificar, es el crecimiento exponencial del daño en el pavimento debido a que las cargas dinámicas se incrementan con la mala regularidad superficial. Es decir, un mismo eje de 13 tn es mucho más “agresivo” para el pavimento en un tramo de mala regularidad que en otro en buen estado. La inversa también suele ser cierta, un tramo de mala regularidad presenta, muy probablemente, un estado estructural deficiente.

En general, el comportamiento estructural de un pavimento se relaciona con su condición física, esto es, con la ocurrencia de agrietamientos, fallas, peladuras, u otras situaciones que podrían afectar exclusivamente la capacidad de soporte de la estructura del pavimento o en todo caso requerir mantenimiento.

2.6.2. Comportamiento funcional

El comportamiento funcional de un pavimento de concreto está asociado a la capacidad funcional que tiene para brindar una superficie segura y cómoda al usuario. En este contexto la regularidad o rugosidad superficial es la característica predominante, entre otras características tenemos:

Textura.

Adecuada fricción superficial.

Trazado de la carretera, incluyendo peralte y radio de curvatura.

Fisuras.

La regularidad o rugosidad superficial es la característica más percibida por el usuario ya que afecta la calidad de la rodadura. Se relaciona con los efectos de las vibraciones, tales como niveles de deterioros, probabilidad de dañar a las mercancías transportadas, desgaste de los vehículos y consumo de energía. La comodidad depende principalmente del vehículo y del perfil longitudinal de la carretera.

La textura de un pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y seguridad de los usuarios y necesario para la conservación de carreteras, este parámetro influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interfase rueda-pavimento y de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, que tiene gran importancia para la adecuada adherencia entre la rueda y el pavimento. La fricción superficial de un pavimento es la fuerza desarrollada en la interfase rueda de pavimento que resiste el deslizamiento cuando se aplican las fuerzas de frenado. La fricción o resistencia al deslizamiento también es un valor crítico en la seguridad, ya que cuando los pavimentos están mojados el agua actúa como lubricante y reduce el contacto entre la rueda y pavimento. Si la película de agua es gruesa y al vehículo circula a gran velocidad, las ruedas pierden contacto con el pavimento, creando el peligroso fenómeno de hidroplaneo.

El trazado de la carretera se relaciona con los cambios angulares vertical y horizontal del pavimento. Una curva de radio demasiado pequeño, para la velocidad del proyecto, puede requerir reducciones de velocidad y además causar accidentes, especialmente cuando se combina con peraltes elevados o incluso contraperaltes. Carreteras con pendientes longitudinales extremas son antieconómicas y peligrosas.

La aparición de fisuras es el primer aviso de una carretera con problemas. Es señal de tensiones, debidas a condiciones climáticas o de cargas de tráfico que han sobrepasado los límites de la resistencia del pavimento. Es la señal para el ingeniero de que los costos de conservación van a aumentar sino se actúa con prontitud.

2.6.3. Comportamiento del pavimento de concreto en el mundo

El diseño de pavimentos ha evolucionado con el tiempo, desde una perspectiva artística y netamente empírica hasta ser considerado toda una ciencia, según M. Becerra.⁴

⁴ MBA. Ing. Mario Becerra Salas. “Diseño, Construcción y Supervisión”

Antes de 1920, los espesores de las capas que conforman los pavimentos se basaron netamente en la experiencia, es decir, la misma estructura era utilizada sin discriminar la clase de vía, el tipo de suelo o el tránsito esperado. Con el tiempo, las entidades administradoras de caminos y la industria de los materiales de construcción, desarrollaron métodos de diseño de pavimentos intentando sustentar un comportamiento adecuado del mismo, teniendo en cuenta la inversión de dinero que significa construir y mantener un camino.

A continuación, se presentan los principales hitos en la historia mundial de los pavimentos de concreto.

Westergaard en 1926, plantea la primera teoría relacionada al comportamiento estructural de los pavimentos de concreto, como consecuencia de lo expresado por Hertz respecto a los esfuerzos en losas suspendidas. Es sin duda el estudio teórico más extenso e importante, que inició en 1926 y terminó en 1948.

Relaciona el cálculo de esfuerzos y deflexiones en los pavimentos de concreto, los estudios consideraron las temperaturas en la losa, así como tres posiciones de carga en una losa alargada: aplicada cerca de la esquina, aplicada cerca de la junta, pero a una distancia considerable de la esquina y aplicada en el interior del paño a una distancia considerable de toda junta y esquina. El análisis asume de manera simplificada que la presión de reacción entre las subrasante y la carpeta de rodadura en cualquier punto es proporcional a la deflexión en ese punto, independientemente de las deflexiones en otros puntos. También asumió que el contacto entre la subrasante y la carpeta de rodadura se da a plenitud.

Pickett en 1951, comparó la carga crítica en la esquina obtenida en los estudios de Westergaard con mediciones realizadas en el campo, encontrando que las estimaciones realizadas en las aproximaciones teóricas del esfuerzo cuando se tenía la carga crítica aplicada en la esquina de la losa eran siempre muy pequeñas. Pickett asumió que parte de la losa no está totalmente apoyada sobre el suelo, para lo que desarrolló fórmulas semi empíricas que concordaban con los resultados de los experimentos en campo.

Lamentablemente, debido a la complejidad de las fórmulas y al estado de arte de la tecnología, no se le prestó mayor atención.

Entre los años 1950 y 1960 se llevó a cabo el AASHTO Road Test en Otrawa, Illinois (USA). El AASHTO Road Test definió la ecuación empírica fundamental que guiaría las metodologías de diseño AASHTO hasta el suplemento de 1998. Nótese que esta metodología se basa en el concepto de pérdida de serviciabilidad del pavimento por el paso de los vehículos y el tiempo.

Con el ingreso de los procesadores, se realizaron soluciones numéricas que asumen que no existe pleno contacto entre la subrasante y la carpeta de rodadura, como son los métodos de los elementos discretos y el de los elementos finitos.

Aunque los estudios de Westergard contribuyeron en gran medida al desarrollo de los métodos de diseño, nunca dejó de reconocer que los resultados teóricos debían ser revisados comparándolos con resultados en campo del comportamiento del pavimento.

Otros desarrollos importantes que se dieron en paralelo fueron:

1. La concepción de las propiedades de fatiga del concreto
2. Los conceptos de bombeo con los que se demostró que la subrasante debía ser protegida. Debido a estos ensayos se decidió introducir capas granulares que protejan la pérdida de finos en la subrasante.
3. Los métodos probabilísticos que dieron origen al término de confiabilidad, ampliamente utilizado en los métodos de diseño AASHTO 1986, 1993, el suplemento 1998, la guía de diseño empírica mecanicista MEPDG 2002.

2.6.4. Estructura del pavimento rígido o concreto

Las capas que conforman el pavimento rígido son: subrasante, subbase, y losa o superficie de rodadura como se muestra en la Figura.

Los elementos y funciones de un pavimento rígido son:

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. Se considera como la cimentación del pavimento y una de sus funciones principales es la de soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, así como evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

Subbase

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

Losa (superficie de rodadura)

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

2.7. Tipos de pavimentos rígidos

Es un elemento rígido horizontal de distribución de cargas provenientes del tráfico vehicular con lo que puede estar constituido con armadura de acero o solo de concreto simple, regularmente viene acompañado de una sola capa o subbase y subrasante, lo cual se identifican diferentes tipos de pavimentos:

Pavimento de concreto armado en masa vibrado

Dada a su gran versatilidad, es la más empleada en los proyectos. Está distribuido en losas conformadas por juntas para librarse de la aparición de fisuras debido a la contracción del concreto.

Pavimento continuo de concreto armado

Muy resistente, aunque también demasiado costoso, por lo que sólo es el más apropiado para tráfico pesado.

Pavimento de concreto armado compactado

Su construcción en obra se elabora mediante extendedoras y compactadoras dada su menor relación agua/cemento – entre 0.35 y 0.40.

Pavimentos de concreto armado pretensado

La introducción de tendones de acero que sometan a compresión a la losa facilita disminuir considerablemente su espesor y aumentar su longitud.

2.8. Factores para el diseño de los pavimentos

Es importante conocer los factores que influyen en el diseño de los pavimentos; no se pretende realizar una revisión exhaustiva, pero sí conceptualizar de manera clara y precisa los aspectos que influyen en el diseño de los pavimentos, de tal forma que se conozca los fundamentos básicos y no haya dudas en secciones posteriores.

2.8.1. Tráfico

Es el factor más importante a considerar en el diseño de los pavimentos. El tránsito está compuesto por vehículos de diferentes pesos y número de ejes que producen tensiones y deformaciones en el pavimento.

2.8.2. Determinación del tráfico

Existe una diversidad de vehículos que circulan sobre los pavimentos durante su vida útil de diseño. La clasificación de estos vehículos es presentando en el Reglamento Nacional de Vehículos {2003, p. 78-85}, donde nos muestra características como el número, tipo, peso de los ejes de los vehículos. Además, se realizará el conteo para estimar el índice medio diario (IMD), que representa el promedio de vehículos que pasan por un punto en un periodo de tiempo, este podrá ser índice medio diario anual (IMDA), índice medio diario mensual (IMDM) o índice medio diario semanal (IMDS).

2.8.3. Factor direccional y factor carril

El factor direccional representa al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, usualmente corresponde a la mitad del tránsito presentado en ambos sentidos. El factor carril corresponde al carril que recibe el mayor número de ejes equivalentes.

En base a ambos factores descritos se obtiene el factor ponderado, que fue desarrollado según la guía AASHTO 93.

2.8.4. Proyección del tránsito

La tasa de crecimiento del tránsito está correlacionado con el crecimiento económico y éste a su vez relacionado con el producto bruto interno (PBI), usualmente las tasas de crecimiento varían de 2% a 6%.

2.8.5. Factor equivalente de carga

Conocido como LEF (Load Equivalent Factor) por sus siglas en inglés. Con el objeto de convertir el tráfico a un número de ESAL de 18 kips, se utiliza factores equivalentes de carga FEC. Estos factores se han obtenido a partir de los resultados del AASHTO ROAD TEST.

2.8.6. Factor camión

El factor camión (FC) nos brinda una manera de expresar el daño que produce el tráfico, en términos del deterioro que produce un vehículo en particular, hay que considerar la suma de los daños producidos por cada eje de ese tipo de vehículo. De este criterio nace el concepto de Factor Camión, que se define como el número de ESAL's por número de vehículo.

2.8.7. Estudio de los suelos

Un Estudio de Suelo, también conocido como Estudio Geotécnico, es un conjunto de actividades que nos permiten obtener la información de un determinado terreno.

En esta sección se hará el estudio y descripción de los aspectos fundamentales relacionados con el suelo, puesto que es importante conocer las características de la capa donde se asentarán los pavimentos.

A modo general podemos decir que hay 2 grandes grupos de suelos

1. Los suelos granulares (suelos buenos)

Son suelos compuestos por gravas y arenas. Este material puede estar compuesto por partículas de piedras pequeñísimas (pero posibles de ver a simple vista) y también se encuentran piedras más grandes y bolones.

Este tipo de suelos es más firme y amplifica menos las ondas sísmicas. También son suelos muy resistentes frente a las cargas que deben soportar.

2. Los suelos finos (suelos malos)

Este tipo de suelo se componen por las arcillas y limos, que son unas partículas pequeñísimas (tipo polvo) que pese a tener buena cohesión, sufren grandes cambios al contacto con el agua.

Por esta razón, su resistencia dependen de la humedad a la que estén expuestas. Por eso no son los mejores suelos para fundar los cimientos de una edificación.

Los cuerpos de aguas subterráneos afectan y alteran el comportamiento de determinados tipos de suelo.

El estudio de suelo tiene una función muy práctica y te permitirá conocer:

- La características físicas, químicas y mecánicas del suelo donde estás pensando construir o realizar un diseño.
- Su composición estratigráfica, es decir las capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad.
- Ubicación de cuerpos de agua (napa freáticas) si las hay.
- Planificar el diseño que se va a realizar en el lugar a estudiar el suelo

2.9. Materiales

Los materiales deben cumplir con las especificaciones técnicas mínimas de acuerdo a las normativas vigentes en el país, también debe estudiarse la disponibilidad de los materiales en la zona, para una correcta elección de la estructura del pavimento que sean factibles técnica y económicamente.

2.10. Materiales para los pavimentos rígidos (concreto hidráulico)

Los pavimentos de concreto hidráulico tendrán que cumplir las especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras.

Definiremos algunos aspectos que considero son necesarios conocer.

Concreto hidráulico

El concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran partículas de un medio ligado denominado agregado. En términos sencillos se podría entender al concreto hidráulico como la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y cuando el caso lo requiera, aditivos.

Los materiales deben presentar las siguientes características:

Cemento

Se define como cemento a los materiales pulverizados, que, por la adición de una cantidad de agua, forman una pasta capaz de endurecer bajo el agua como al aire.

Agregado fino

Es aquel que proviene de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz NTP 4.75 mm (No. 4) y cumple con los límites establecidos en las normas.

Agregado grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (No 4). El agregado grueso puede consistir de piedra partida, grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, o una combinación de ellos. Estará conformado por partículas cuyo perfil sea preferentemente angular o semi angular, limpias, duras, compactas, resistentes, de textura preferentemente rugosa, y libres de material escamoso o partículas blandas.

Agua

Indica que el agua en combinación con el material cementante reacciona químicamente para la formación de gel y que la masa de concreto en conjunto adquiera propiedades que en su estado no endurecido facilite manipulación y trabajabilidad, y en su estado endurecido lo convierte en un producto con las características deseadas.

Aditivos

Se podrán usar aditivos de reconocida calidad para modificar las propiedades del concreto, con la finalidad de adecuarlo a las condiciones especiales del pavimento por construir. Su empleo se deberá definir por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con las dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin que se perturben las propiedades restantes de la mezcla, ni representen peligro para la armadura que pueda tener el pavimento. Los aditivos a usar pueden ser inclusores de aire, reductores de agua, acelerantes y retardantes de fragua; los cuales deben cumplir las especificaciones indicadas en las normas.

Hidratación y curado del concreto

La hidratación es la reacción química que se produce por el contacto del agua con el cemento, para cumplir con el ciclo de hidratación es necesario que se provea de un adecuado procedimiento de curado, así como el tiempo necesario.

Se define como curado al periodo durante el cual el concreto es mantenido húmedo y a temperatura adecuada, tales que permitan completar la hidratación del cemento, así como alcanzar las resistencias deseadas. El curado podrá ser mediante: humedad, productos químicos y láminas para cubrir el concreto.

- El curado por humedad, es el método más sencillo y efectivo. Consiste en inundar la superficie con agua¹⁵. Es importante que la temperatura del agua y del concreto no exceda los 70°C para evitar un choque térmico.
- En el caso de los productos químicos, se empleará un producto de calidad certificada que, aplicado mediante aspersión sobre la superficie del pavimento garantice el correcto curado de éste. El producto por utilizar, debe satisfacer todas las especificaciones de calidad que indique su fabricante.

La efectividad de los productos de curado se debe demostrar mediante experiencias.

- Las láminas para cubrir el concreto pueden ser: cubiertas húmedas de tela, costales, paja o arena húmedos en un espesor de 25 mm., y deben permanecer húmedas durante todo el periodo de curado. Otros tipos de cubierta pueden ser de polietilenos generalmente en color blanco, los cuales deben extenderse tan pronto termine las operaciones de acabado superficial.

2.11. Pavimentos ultradelgados con geometría optimizada

Las dimensiones típicas de losas de pavimentos de hormigón son de 3.6 m. de ancho por 4,5 m de longitud (AASHTO 93) con espesores de entre 15 a 35 cm., dependiendo del nivel de tráfico, el clima y los materiales. El espesor requerido depende principalmente de la carga por eje y el número de repeticiones de carga, resistencia del hormigón, la longitud de la losa, y las condiciones climáticas durante el curado (alabeo de construcción)

Con el fin de reducir los efectos de la interacción de la carga y las tensiones de alabeo, se ha propuesto una nueva metodología de diseño de losas de hormigón mediante la optimización del tamaño de la losa, definiendo la geometría según el tráfico de camiones esperado (Covarrubias, 2005). En este enfoque de diseño, los tamaños de las losas se eligen de manera tal que no más de un set de ruedas del camión quede sobre una losa. Mediante la distribución de las cargas mecánicas hacia múltiples losas, las tensiones de tracción se reducen, así como las tensiones de alabeo debido a la reducción del tamaño de las losas. Un pavimento diseñado de esta forma, permite reducir el espesor de la capa de hormigón en hasta 10 cm.

Con el fin de validar este nuevo concepto de diseño, varias secciones de prueba a gran escala fueron construidos y probados en la Universidad de Illinois para entender el modo de falla y resistencia a la fatiga de este sistema. Además, para generalizar el concepto de diseño y los resultados de las pruebas a gran escala para una gran cantidad de variables de entrada, los análisis de tensiones tenían que ser completados para tener en cuenta los casos que no fueron probados directamente.

El uso de tamaños de losas más pequeñas y espesores delgados, el diseño del pavimento requiere de otras modificaciones con el fin de lograr la vida de diseño y la serviciabilidad esperada.

La siguiente es una lista de ajustes adicionales que se deben considerar al sistema:

Debido al mayor número de juntas de contracción y el deseo de no sellar las juntas, una hoja de sierra delgada de menos de 2.5 mm. de ancho debe utilizarse para limitar el ingreso de material incompresible en la junta.

Debido a la cantidad de juntas de contracción sin sellar es necesario tener una base granular que sea menos susceptible al agua y que reduzca al mínimo la probabilidad de bombeo y por ende escalonamiento. El material de base granular fino que pasa el tamiz de 75 mm debe ser menor al 8% y debe tener un índice CBR mayor a 50%.

Debe haber una capa de geotextil entre la base y el suelo natural que actúe como una capa de separación. Este geotextil impide la penetración de la subrasante a la base, así evita la migración de finos de la subrasante a la base.

Debido a la gran cantidad de cortes de sierra, la transferencia de carga es realizado principalmente por el roce de los agregados en la junta y por lo tanto, barras de transferencia de carga y barras de amarre no son parte del diseño estándar de este sistema, exceptuando las juntas de construcción.

Con el fin de evitar que las losas delgadas se muevan lateralmente, deben estar sujetas en el borde longitudinal con una berma de hormigón, estacas (o pines) de acero verticales o con incorporación de fibras estructurales las que se han utilizado con éxito en proyectos anteriores. En la actualidad, un sistema de transferencia de carga específica se está estudiando para los diseños de gran volumen.

2.12. Pavimentos ultradelgados

Cuando nos hablan de un pavimento en concreto nos imaginamos un pavimento de espesor considerable que puede ser mayor a 20 cm y magnitud de losas que pasan de los 3 m, sin embargo, existen pavimentos de menores dimensiones que pueden soportar grandes cargas y tener una vida útil considerable. Los métodos convencionales de diseño de pavimentos tienen en cuenta factores de daño como erosión y fatiga, pero no consideran la distribución de los esfuerzos de acuerdo con las dimensiones de la losa (largo y ancho).

Estos pavimentos, junto con estar compuestos por losas de menores dimensiones que las tradicionales, incorporan fibra estructural en la mezcla del hormigón.

Este tipo de pavimentos se coloca directamente sobre el terreno, sin base, en caminos en que el suelo de subrasante se encuentra en un alto nivel de compactación debido al paso histórico de vehículos, camiones y maquinaria, luego de un perfilado.

Los pavimentos ultradelgados se refiere a pavimentos de hormigón ultra delgados (8-12 cm de espesor), los cuales se diseñan para caminos de bajo tránsito y pueden ser colocados sin construir una base granular, directamente sobre el camino granular existente previamente nivelado, aprovechando el nivel de compactación que éste tenga dado el tránsito histórico y el uso de maquinaria en el tiempo. Los pavimentos ultradelgados se diseñan con hormigón reforzado con fibra para extender su vida útil en el tiempo.

La nueva metodología diseña losas de concreto que son, en promedio, 7 cm más delgadas para vías de alto tráfico en comparación con el diseño tradicional de pavimentos AASHTO (1993). Además, este método también es capaz de diseñar de manera eficiente pavimentos de concreto para vías de menor volumen de tráfico que no son cubiertas con los actuales métodos de diseño de pavimento, ofreciendo una alternativa a soluciones en otros materiales.

Para el diseño de pavimentos ultradelgados, se pueden utilizar juntas con o sin sellos. Normalmente los diseños no consideran sello de juntas, pero para esto se debe tomar en consideración un diseño apropiado, como un espesor delgado de corte de juntas (menor a 2,5 mm) y una base no susceptible a erosión por presencia de agua.

El desarrollo tecnológico ha llevado el concepto de dimensionar losas optimizadas su geometría, por lo tanto, el principio del sistema dimensionar las losas optimizadas de tal manera que sólo exista un juego de ruedas sobre cada losa, distribuyendo de mejor manera la carga en el pavimento para evitar el agrietamiento por flexión, lo cual ayuda a mejorar la calidad, en la extensión de la vida útil del pavimento y en menor espesor del pavimento.

2.12.1. Metodología de diseño AASHTO 93

El diseño de pavimento rígido de acuerdo a la Metodología AASHTO93, considera dimensiones típicas, que se modifican de acuerdo con el tránsito vehicular, el clima y el material. Referente al espesor de diseño está definido por las cargas vehiculares en EE (ejes Equivalentes) y el aporte estructural del concreto, donde se asume el valor empírico del ancho hasta 3.6 m y se incorpora al diseño definitivo (AASHTO, 2007). El alabeo de las losas genera una condición de tensiones desfavorable cuando éstas se cargan en sus extremos, condición que se da con el tránsito de camiones en losas de dimensiones que permitan ser cargadas por un eje delantero y uno trasero a la vez, o por ambas ruedas de un mismo eje. Con el fin de reducir los efectos de la interacción de la carga con la losa alabeada, se origina la idea de las losas de geometría optimizada, que se basa en diseñar las losas con una geometría tal que no permita que haya más de una rueda o set de ruedas por losa a la vez, reduciendo así las tensiones que se generan en losas con dimensiones tradicionales (Covarrubias, 2012). Según el Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el método AASHTO 93 determina que para una infraestructura vial nueva su nivel de servicio es alto, el cual disminuye debido a las repeticiones de carga en un determinado tiempo (MTC, 2014). La metodología establece un nivel de servicio final que debe de conservarse hasta finalizar el periodo de diseño. 5 El diseño se realiza mediante un proceso iterativo, que finaliza

cuando de la ecuación de AASHTO93 se obtienen resultados equilibrados; el espesor de diseño, resultado de este proceso iterativo debe mantenerse en condiciones óptimas de servicio durante el periodo de diseño, soportando el tráfico vehicular sin que se genere deterioro del pavimento (MTC, 2014).

2.12.2. Metodología de las losas cortas con pavimentos ultradelgados

La tecnología de las losas cortas, busca mediante una modificación en las dimensiones de las losas que reduce su tamaño de forma tal que las mismas nunca sean cargadas por más de 6 un set de ruedas del camión, logrando con esto disminuir significativamente las tensiones en dicha losa (Covarrubias, 2012).

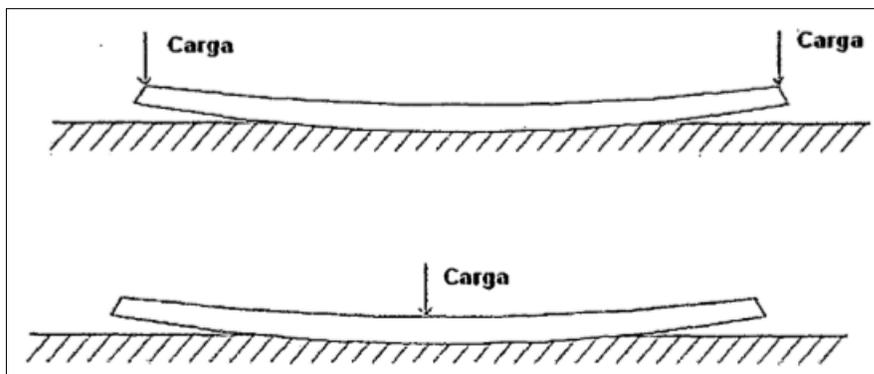
Mediante la aplicación de la metodología de pavimentos ultradelgados se logra reducir el espesor del pavimento de concreto; considerando la relación directa entre la posición de las cargas del tránsito vehicular y la geometría de pavimento rígido, donde cada losa reciba las cargas de sólo un set de ruedas. El diseño, así como la construcción de este tipo de losas, son dimensionadas de tal manera que no se cargue por más de un set de ruedas, generando la disminución considerable del efecto de las tensiones, obteniendo losas cortas y de menor espesor (TCP, 2007).

2.12.3. Factores que afectan en el comportamiento de los pavimentos ultradelgados

2.12.3.1. Efecto de la rigidez de la subbase en el largo del voladizo y tensiones de tracción

En el diseño AASHTO, se considera como óptimo un largo de losa de 4,5 metros, con un ancho igual al ancho de la pista. Esta dimensión de la losa hace que el camión la pise con el eje delantero en un borde y los ejes traseros en el otro borde. En el sentido transversal, las ruedas de un lado del camión pisan cerca de un borde y las del otro lado cerca del otro borde. En ambos casos el camión “plancha” la losa, generando las grietas transversales y longitudinales.

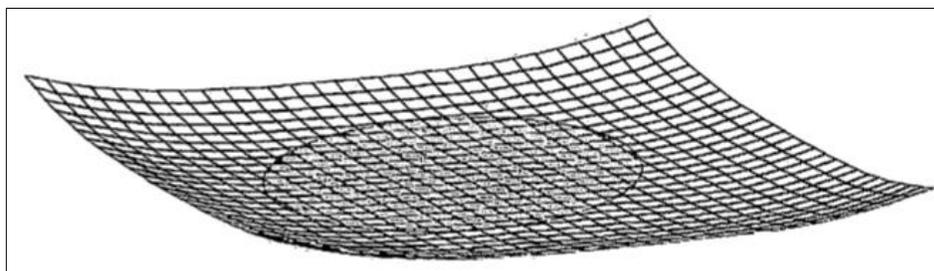
Figura 2.8. Efecto de la rigidez de la subbase



Fuente: Luis F. Altamirano Kauffmann “Deterioro de Pavimentos Rígidos” – 2007

Al alabearse la losa y levantar sus bordes, su apoyo en la base es un círculo, cuya dimensión depende de la rigidez de la base. Si la base es muy rígida, el círculo será pequeño y los voladizos largos. Esto genera tensiones de tracción altas en la cara superior, cuando la losa es pisada por un camión. Al revés, si la base es poco rígida, el círculo rojo será mayor y el largo del voladizo menor, por lo tanto las tensiones de tracción en la cara superior serán menores, pero aumentarán las tensiones de tracción en la cara inferior cuando el camión pisa el centro de la losa. Lo aconsejable es trabajar con valores de soporte del suelo entre 30 y 50% para encontrar una rigidez ideal.

Figura 2.9. Alabeo de la losa



Fuente: Luis F. Altamirano Kauffmann “Deterioro de Pavimentos Rígidos” – 2007

2.12.3.2. Efecto del largo de la losa

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

2.12.3.3. Efecto del alabeo en las losas de concreto

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

El alabeo causado por secado se debe a un diferencial de humedad entre la parte superior e inferior de la carpeta, la parte superior siempre está seca mientras que la parte inferior se encuentra bajo la acción de la humedad de la tierra condensada bajo el pavimento. Esto produce un alabeo hacia arriba. El alabeo de construcción es permanente y se puede medir cuando el gradiente térmico real es cero. De esta forma se puede cuantificar.

El alabeo por construcción se reducirá considerablemente con la aplicación de buenas prácticas constructivas. Un proceso de curado eficiente mantendrá la humedad superficial en la losa antes de que se produzca la rigidez del elemento de concreto, no utilizar materiales impermeables bajo el pavimento, no saturar la base antes de colocar la carpeta y controlar la temperatura de la base son algunos de los factores que ayudan a reducir el alabeo. (Covarrubias, 2007).

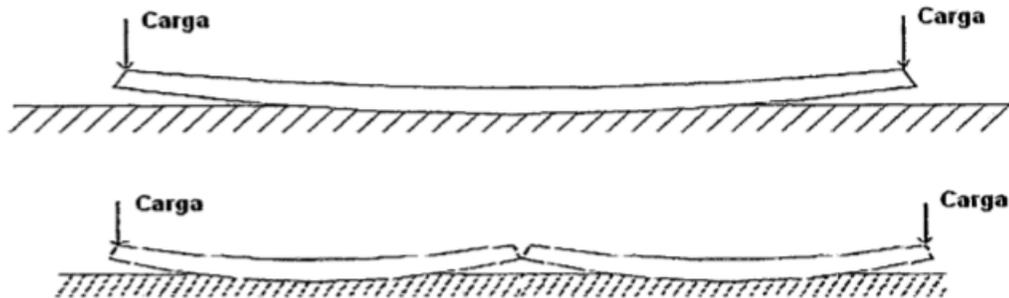
La colocación del concreto en la tarde, reduce el alabeo por retracción térmica de la losa. Si se efectúa durante las horas más calurosas del día, la parte superior de la carpeta se secará y endurecerá a mayor velocidad. Si se generan cortes en la superficie de la losa, se puede cortar la fuerza y reducir su magnitud.

Esto muestra lo importante que es aserrar las juntas lo antes posible, antes que se genere la fuerza de retracción. Mientras mayor sea la longitud de la losa, mayores fuerzas de

alabeo se presentarán. Es así que las losas de menor longitud tienen menores fuerzas de superficie, lo que disminuye el alabeo (Covarrubias, 2007).

2.12.3.4. Tensiones en losas cortas

Figura 2.10. Tensiones en las losas cortas



Fuente: Luis F. Altamirano Kauffmann “Deterioro de Pavimentos Rígidos” – 2007

Podemos apreciar que en losas de largo y ancho tradicional, los ejes delanteros y traseros y las ruedas de un mismo eje de los camiones se posan y cargan la losa en los bordes, planchándolas cuando tienen los bordes levantados (Covarrubias, 2007). Esta posición de las cargas genera tensiones de tracción en la cara superior de las losas, generando grietas que se inician de arriba hacia abajo. Cuando la losa tiene un largo menor a la distancia entre los ejes delantero y trasero del camión o un ancho menor a la distancia entre ruedas de un mismo eje, como indican los diseños de pavimentos delgados, las losas son cargadas con un set de ruedas por losa. Esto disminuye en forma importante las tensiones en el concreto, disminuyendo el consumo de fatiga por pasada y mejorando el comportamiento.

Normalmente, los pavimentos de hormigón convencionales son de 3,5m a 6 m de largo, los ejes delanteros y traseros aplican carga simultáneamente cerca de las juntas transversales. Esta posición de la carga, induce tensiones de tracción superficiales en la parte superior del pavimento, especialmente cuando la losa está curvada hacia arriba. Si las secciones se cortaran de manera tal que la longitud de la losa resulte en que ni los ejes

delantero ni trasero estén simultáneamente sobre la misma sección de la losa (Covarrubias, 2008), las fuerzas de tracción se reducen significativamente en la losa.

2.13. Geometría de las Losas

Dimensiones del diseño geométrico del diseño de carreteras define las variaciones de espesor con las cargas vehiculares, las juntas transversales de acuerdo a las dimensiones de losas determinado las transmisiones de cargas (MTC,2018, p19)

El largo y ancho de las losas tiene un importante efecto en las tensiones del concreto, que es la causa del agrietamiento producido por fatiga. También tiene un efecto la posición de las ruedas sobre las losas. Esta combinación de posición de las ruedas y la geometría de las losas es una innovación que está protegida por solicitudes de patente presentadas a nivel mundial. (S. BURBOA (2010, p.15-21))

En los últimos años, el estudio de las losas de concreto y su comportamiento han dado como resultado la aplicación de nuevas tecnologías para el diseño de carreteras. Este sistema consiste en rediseñar las dimensiones de las losas, losas tradicionales que generalmente están entre los 4.50m por 3.60m a losas cortas con dimensiones apropiadas para el diseño. Debido a este redimensionamiento se pueden disminuir los espesores de las capas de concreto para las carpetas de rodadura.

2.13.1. Funcionamiento de las losas cortas

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

En los últimos años, el estudio de las losas de concreto y su comportamiento han dado como resultado la aplicación de nuevas tecnologías para el diseño de carreteras. Este sistema consiste en rediseñar las dimensiones de las losas, las losas tradicionales que generalmente están entre los 4.50 m por 3.60 m a losas cortas de 1.80 m por 1.80 m. Debido a este redimensionamiento se pueden disminuir los espesores de las capas de concreto para las carpetas de rodadura, además se deja a un lado la utilización de acero de refuerzo.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS ULTRADELGADOS CON GEOMETRÍA OPTIMIZADA

3.1. Ubicación

El proyecto se encuentra en el municipio de Bermejo, situado al extremo sur del departamento de Tarija, pertenece a la segunda sección de la provincia Arce, constituyéndose en su capital; se encuentra rodeado, en el sur-este por el río Bermejo, y el sur-oeste por el río Grande de Tarija.

El material en específico fue adquirido en el barrio Paraíso entre la calle Avaroa y calle Juan Lechín para poder realizar su respectivo estudio y saber sus características y qué tipo de suelo existe en el municipio de Bermejo.

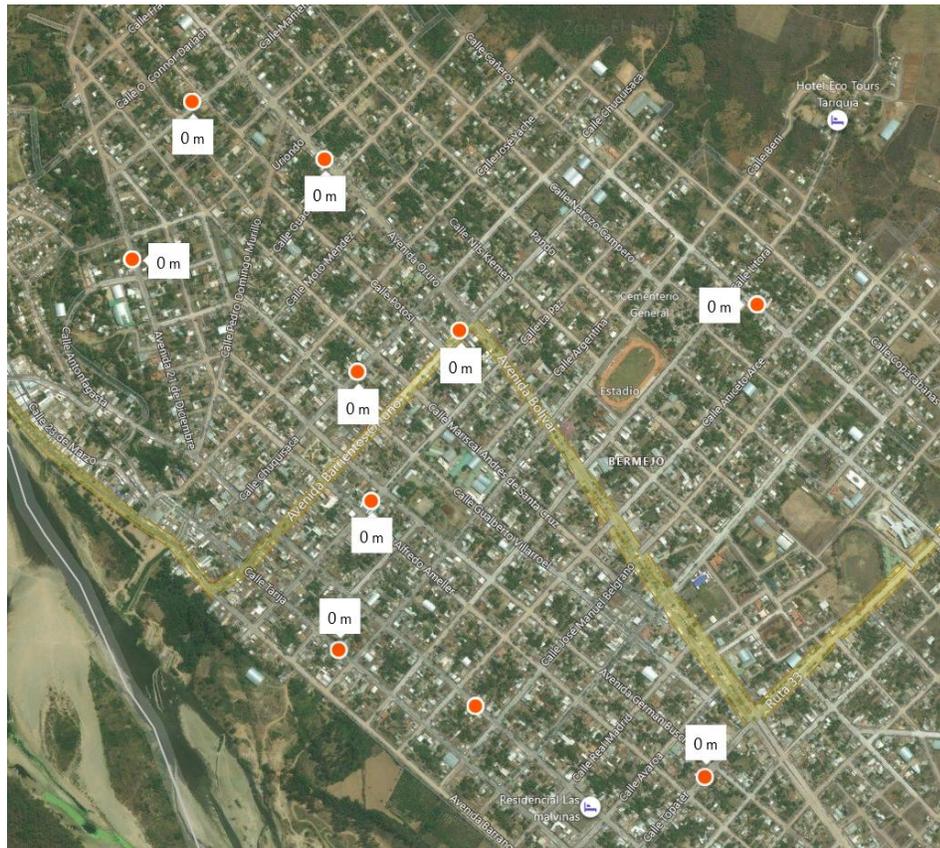
Figura 3.11. Imagen Satelital del municipio de Bermejo



A continuación, se da a conocer las direcciones de las calles donde se realiza el análisis del dimensionamiento de las losas cortas:

- 1) Calle Alfredo Ameller y Madrid
- 2) Calle Cochabamba y Madrid
- 3) Avda. 21 de Diciembre y Antofagasta
- 4) Calle Mamerto Salinas y Guerreras
- 5) Calle Oruro y Guadalquivir
- 6) Calle Chuquisaca y Virgen de Chaguaya
- 7) Calle Barrientos Ortuño y Potosí
- 8) Calle La Paz y Germán Busch
- 9) Calle Tarija y Beni
- 10) Calle Topater y Germán Busch

Figura 3.12. Imagen satelital de las calles para realizar el análisis



Fuente: Elaboración propia

3.2. Características

3.2.1. Latitud y longitud

Geográficamente el Municipio de Bermejo se encuentra ubicado entre las coordenadas 22°35'24'' y 22°52'09'' de latitud sud, 64° 26'' 30'' y 64° 14' 16'' de longitud oeste, situándose a una altitud media de 400 m.s.n.m.

3.2.2. Topografía

El cuadro siguiente, identifica las zonas de acuerdo a su pendiente y características.

Tabla 3.1. Topografía según pendientes

Pendientes (i%)	Ubicación	Características
40 -30%	Noroeste del E.U. Prop, Y.P.F.B. Municipal, 21 de Diciembre, 27 de Mayo, Petrolero	Laderas frágiles, asoleamiento extremo, buenas vistas, no presenta erosión por la abundante vegetación, inadecuado para los usos urbanos por las pendientes extremas.
30 - 15%	Barrios: Lapacho, San José, Miraflores, 15 de Abril, Central y parte del Barrio Lindo	Zonas accidentadas, bueno asoleamiento, ventilación aprovechable, amplia visibilidad, suelos accesibles para la construcción, pero con requerimiento de movimiento de tierras, presenta dificultades para la planeación de redes de servicio, viabilidad y construcción entre otras.
15 - 10%	Barrios: 1° de Mayo, Aeropuerto, parte del barrio Lindo y Aniceto Arce	Pendientes variables, asoleamiento constante, ventilación adecuada, buenas vistas, zona apta para la construcción, facilidad para el drenaje.
10 - 5%	Barrios: Luis de Fuentes, 2 de Agosto, Avaroa, Campamento de I.A.B., Azucarero, Bolivar, Moto Mendez y parte de Aniceto Arce	Sensiblemente plano, asoleamiento regular, ventilación adecuada, no presenta problemas para el tendido de redes subterráneas de drenaje y agua, no presenta problemas a la vialidad, ni a la construcción civil, pendiente óptima para usos urbanos.
5 -2%	Barrios: San Juan, Las Palmeras, San Bernardo y San Antonio	Prácticamente plano, asoleamiento regular, ventilación media, visibilidad limitada, problemas de estancamiento de agua, problemas para el tendido de redes subterráneas de drenaje, por ello el costo resulta elevado.

Fuente: Plan de ordenamiento territorial de Bermejo, 2003.

3.2.3. Clima

Bermejo posee un clima cálido, semi-húmedo, característico de las llanuras chaqueñas; derivando en temperaturas elevadas casi todo el año, con una temperatura media anual de 23,5 °C.

Un fenómeno climático natural que predomina en la región, es el "surazo", que se manifiesta en fuertes vientos provenientes del sur, generando cambios bruscos de temperatura y humedad ambiental; originando que la temperatura baje rápidamente, llegando en algunos casos por debajo de 0°C, frecuentemente se presenta en los meses de: junio, julio, agosto y esporádicamente en septiembre.

3.2.4. Suelos

Los suelos de Bermejo, se caracterizan por ser moderadamente profundos a profundos, de textura franco arcilloso, con bloques sub-angulares y poca presencia de afloramientos rocosos; respecto a su fisiografía y topografía.

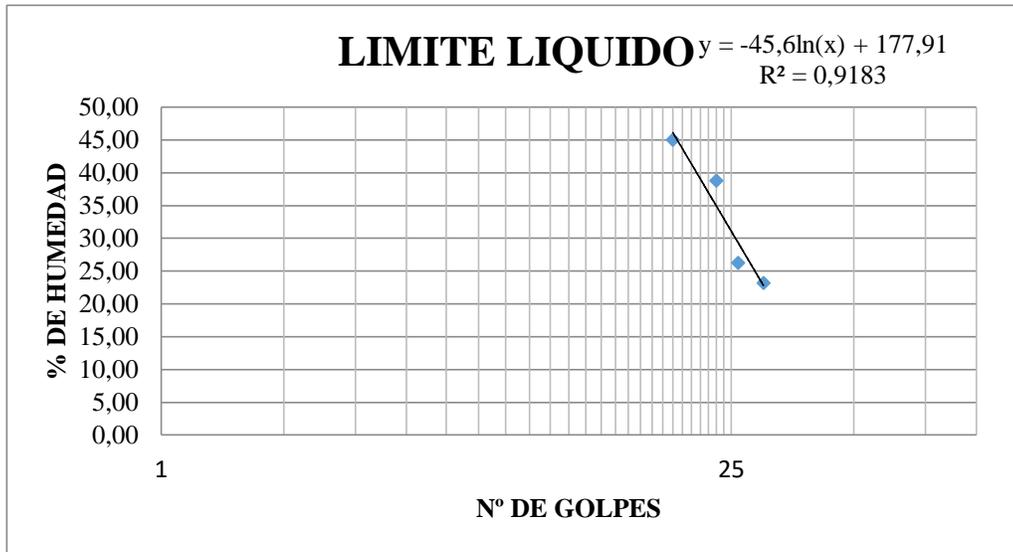
Las serranías presentan suelos altamente susceptibles a la erosión, de textura gruesa, en directa relación con la roca madre extensamente exteriorizada. Los valles presentan suelos profundos a muy profundos con texturas medias o finas. El estudio de suelos realizado en el triángulo de Bermejo en una superficie de 9.188 has., reveló que 8.300 has. son apropiadas para uso agrícola bajo riego y 879 has. aptas para ganadería.

3.3. Caracterización de la subrasante

Para determinar las características de la subrasante se elaboraron estudios en laboratorio donde se realiza con el suelo obtenido de la ciudad de Bermejo para su respectivo estudio y caracterización de toda la zona.

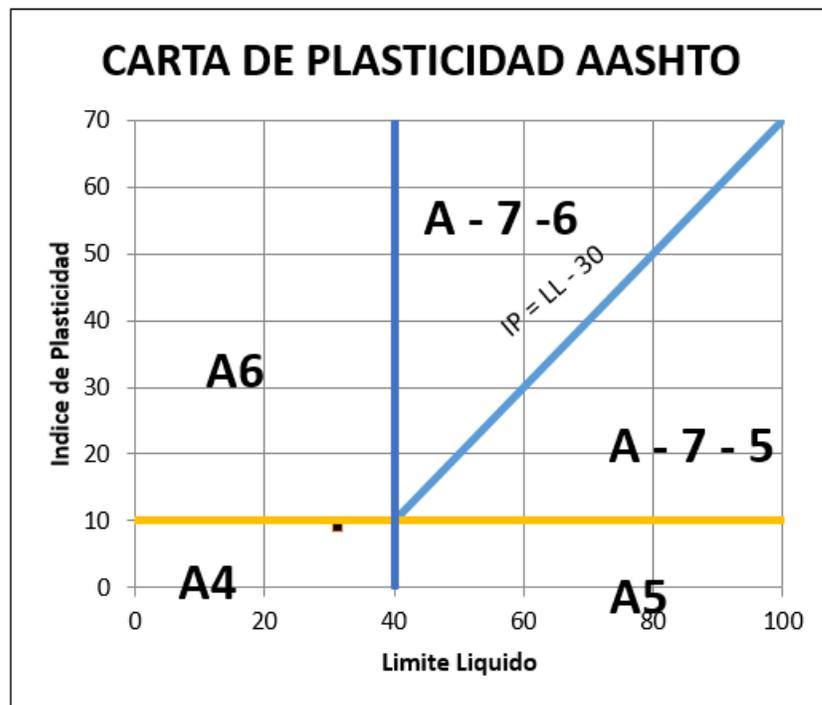
3.3.2. Límites

Ilustración 3.2. Límite líquido



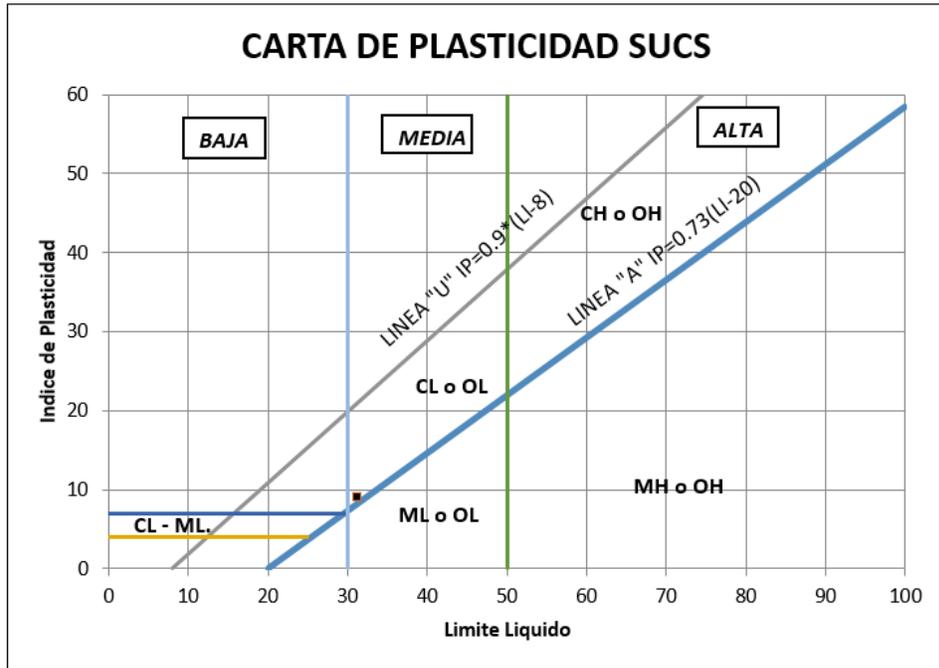
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3.3. Carta de plasticidad AASHTO



Fuente: Elaboración propia

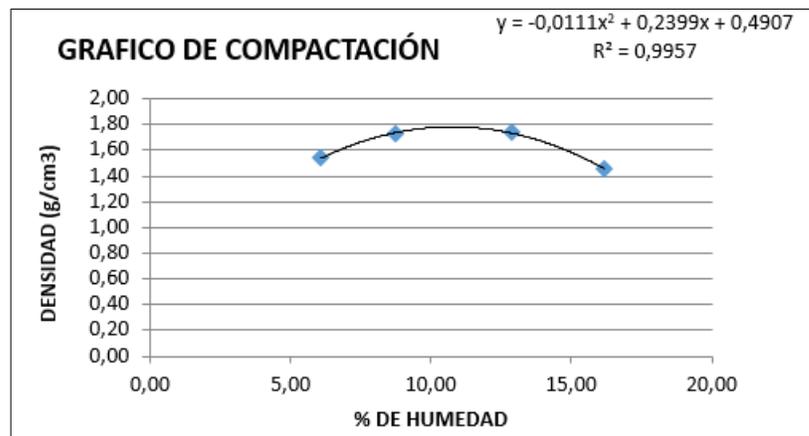
Ilustración 3.4. Carta de plasticidad SUCS



Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Compactación

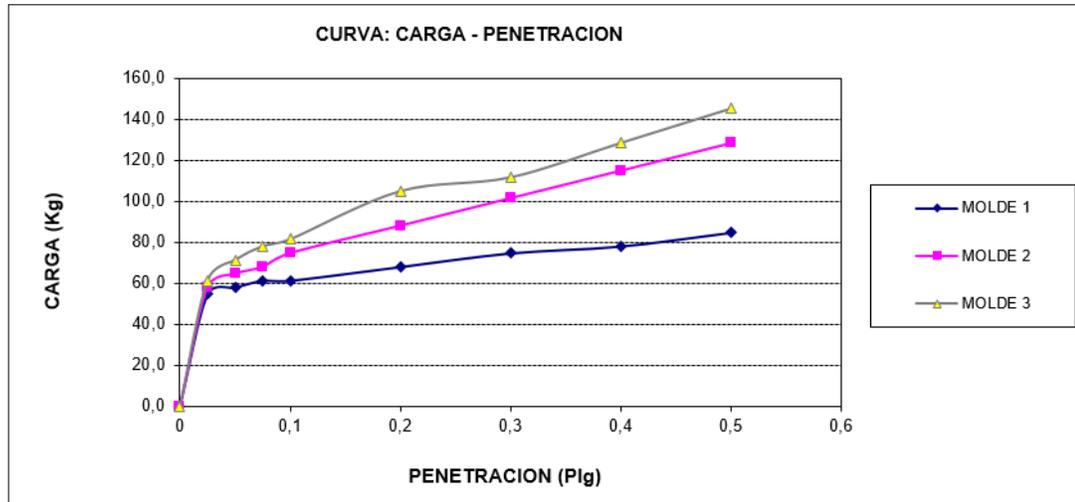
Ilustración 3.5. Gráfico de compactación



Fuente: Elaboración propia

3.3.4. California Bearing Ratio (CBR)

Ilustración 3.6. Curva: Carga - Penetración



Fuente: Elaboración Propia

3.4. Parámetros de diseño

El dimensionamiento de pavimentos ultradelgados con losas cortas involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

- La ecuación para la determinación de tráfico en ejes equivalentes es:

$$w_{18} = TPD * fc * fd * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^n * 365$$

Donde:

TPD= Tránsito promedio diario

Fc=Factor de crecimiento para un período de diseño en años. Adoptamos un valor de

fc = 0,619

Fd= Factor direccional. Adoptamos un valor de fd= 0.5

N= Período de diseño y vida útil. Trabajamos con un valor de n=30 años para pavimento rígido

I= índice de crecimiento

- **Ecuación para determinar el TPD_{fut}**

$$TPD_{fut} = TPD_{actual} \left(1 + \frac{i}{100}\right)^n$$

Donde:

TPD_{fut} = Tránsito promedio diario futuro

TPD_{actual} = Tránsito promedio diario actual

i = Índice de crecimiento

n = Número de años

El TPD_{actual} se obtiene de los datos proporcionados de la localidad de Bermejo, sirve para conseguir el tránsito promedio diario futuro con el que vamos a trabajar y determinar el w_{18} para utilizar los programas.

- **Resultados del ajuste de función exponencial**

Tabla 3.2. Determinación de valor del índice de crecimiento

Tipo de vehículo	i %
Livianos	7.2
Buses	4.2
Camiones	3.9

Fuente: Proyecto “Estudio de tráfico de 150 cuadras”

El análisis del crecimiento del parque vehicular muestra crecimientos que oscilan entre 3.9% y 7.2%.

Utilizaremos para el proyecto el factor más desfavorable, es decir el valor más alto para la proyección que consideramos el más crítico que es de 7.20%.

- **Serviciabilidad inicial**

El índice de serviciabilidad inicial se establece como condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos rígidos un valor inicial deseable de 4.5

- **Serviciabilidad final**

Tabla 3.3. Índice de serviciabilidad final

Pt	Clasificación
3	Autopistas
2.50	Colectores
2.25	Calles comerciales e industriales
2.00	Calles residenciales y estacionamientos

Fuente: Manual Centro americano de Normas Para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001

- **Módulo efectivo de la subrasante**

Se determina mediante una tabla de comparación, el valor de “k” el cual obteniendo un valor del C.B.R = 7% se obtiene un total de $k = 5 \text{ kg/cm}^3$

- **Desviación estándar**

Se recomienda utilizar para desviación estándar valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Para pavimentos rígidos: 0.30 – 0.40

En construcción nueva: 0-35

En sobre-capas: 0.40

Para el proceso de aplicación trabajaremos con 0.40 para pavimentos rígidos

- **Confiabilidad**

Tabla 3.4. Niveles de confiabilidad “R” en función del tipo de carretera

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista regional	85 – 99.9	80 – 99.9
Troncales	80 - 99	75 - 95
Colectores	80 - 95	50 - 80

Fuente: Manual Centro americano de Normas Para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001

- **Datos de tráfico proporcionados de la localidad de Bermejo**

Tabla 3.5. Lugar de aforo N° 1 – Alfredo Ameller y Madrid

Hora	Fecha					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
De 07:00 a 09:00	28	48	56	36	32	44
De 11:00 a 13:00	16	40	36	36	32	44
De 17:00 a 19:00	32	52	60	28	52	24
Promedio	25	47	51	33	39	37

Fuente: Proyecto “Pavimentación de 150 cuadras de la ciudad de Bermejo”

Tabla 3.6. Lugar de aforo N° 2 – Cochabamba y Madrid

Hora	Fecha					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
De 07:00 a 09:00	16	8	16	40	60	96
De 11:00 a 13:00	16	12	12	48	80	68
De 17:00 a 19:00	8	16	12	40	28	68
Promedio	13	12	13	43	56	77

Fuente: Proyecto “Pavimentación de 150 cuadras de la ciudad de Bermejo”

Tabla 3.7. Lugar de aforo N° 3 - Avda. 21 de Diciembre y Antofagasta

Hora	Fecha					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
De 07:00 a 09:00	28	12	28	32	76	60
De 11:00 a 13:00	40	24	24	32	44	20
De 17:00 a 19:00	48	28	20	44	40	56
Promedio	39	21	24	36	53	45

Fuente: Proyecto “Pavimentación de 150 cuadras de la ciudad de Bermejo”

Tabla 3.8. Lugar de aforo N° 4 – Mamerto Salinas y Guerreras

Hora	Fecha					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
De 07:00 a 09:00	48	20	32	20	24	36
De 11:00 a 13:00	24	44	24	28	24	36
De 17:00 a 19:00	48	44	40	32	36	24
Promedio	40	36	32	27	28	32

Fuente: Proyecto “Pavimentación de 150 cuadras de la ciudad de Bermejo”

Tabla 3.9. Lugar de aforo N° 5 - Oruro y Guadalquivir

Hora	Fecha					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
De 07:00 a 09:00	20	28	20	32	24	28
De 11:00 a 13:00	36	36	32	36	40	36
De 17:00 a 19:00	36	60	20	24	28	28
Promedio	31	41	24	31	31	31

Fuente: Proyecto “Pavimentación de 150 cuadras de la ciudad de Bermejo”

Tabla 3.10. Lugar de aforo N° 6 – Chuquisaca y Virgen de Chaguaya

Hora	Fecha					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
De 07:00 a 09:00	28	52	48	28	32	44
De 11:00 a 13:00	36	60	48	28	32	40
De 17:00 a 19:00	24	52	44	32	48	24
Promedio	29	55	47	29	37	36

Fuente: Proyecto “Pavimentación de 150 cuadras de la ciudad de Bermejo”

Tabla 3.11. Lugar de aforo N° 7 - Barrientos Ortuño y Potosí

Hora	Fecha					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
De 07:00 a 09:00	76	112	72	80	120	84
De 11:00 a 13:00	116	100	96	52	56	80
De 17:00 a 19:00	60	112	44	100	88	112
Promedio	84	108	71	77	88	92

Fuente: Proyecto “Pavimentación de 150 cuadras de la ciudad de Bermejo”

Tabla 3.12. Lugar de aforo N° 8 - La Paz y Germán Busch

Hora	Fecha					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
De 07:00 a 09:00	8	36	28	32	32	36
De 11:00 a 13:00	24	40	20	20	32	28
De 17:00 a 19:00	44	32	28	36	36	32
Promedio	25	36	25	29	33	32

Fuente: Proyecto “Pavimentación de 150 cuadras de la ciudad de Bermejo”

Tabla 3.13. Lugar de aforo N° 9 – Tarija y Beni

Hora	Fecha					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
De 07:00 a 09:00	52	40	28	28	28	52
Da 11:00 a 13:00	40	48	28	24	28	40
De 17:00 a 19:00	40	40	36	28	40	36
Promedio	44	43	31	27	32	43

Fuente: Proyecto “Pavimentación de 150 cuadras de la ciudad de Bermejo”

Tabla 3.14. Lugar de aforo N° 10 – Topater y Germán Busch

Hora	Fecha					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
De 07:00 a 09:00	40	32	52	52	80	108
De 11:00 a 13:00	36	68	60	68	32	40
De 17:00 a 19:00	44	60	44	24	44	44
Promedio	40	53	52	48	52	97

Fuente: Proyecto “Pavimentación de 150 cuadras de la ciudad de Bermejo”

3.5. Metodología de dimensionamiento en el área de estudio

3.5.1. Aplicación del programa “Darwin” para el dimensionamiento de losas cortas

Se realizó la aplicación del programa “Darwin” para obtener una dimensión del espesor del pavimento que se podría llegar a diseñar en la ciudad de Bermejo según las características que presenta las respectivas calles.

3.5.1.1. Dimensionamiento de espesores según “Darwin”

1) Calle Alfredo Ameller y Madrid

Tráfico en ejes equivalentes	211.001
Serviciabilidad inicial	4.5
Serviciabilidad final	2.5
Módulo de ruptura del hormigón	5.500 kPa
Módulo de elasticidad del concreto	22.500,000 kPa
Módulo efectivo de la subrasante	49 kPa/mm
Confiabilidad	80
Desviación estándar	0.4
Transferencia de carga entre losas	2.8
Coeficiente de drenaje	1
Cálculo del diseño del espesor específico	85 mm

2) Calle Cochabamba y Madrid

Tráfico en ejes equivalentes	177.001
Serviciabilidad inicial	4.5
Serviciabilidad final	2.5
Módulo de ruptura del hormigón	5.500 kPa
Módulo de elasticidad del concreto	22.500,000 kPa
Módulo efectivo de la subrasante	49 kPa/mm
Confiabilidad	80
Desviación estándar	0.4
Transferencia de carga entre losas	2.8
Coeficiente de drenaje	1
Cálculo del diseño del espesor específico	81 mm

3) Avda. 21 de Diciembre y Antofagasta

Tráfico en ejes equivalentes	194.630
Serviciabilidad inicial	4.5
Serviciabilidad final	2.5
Módulo de ruptura del hormigón	5.500 kPa
Módulo de elasticidad del concreto	22.500.000 kPa
Módulo efectivo de la subrasante	49 kPa/mm
Confiabilidad	80
Desviación estándar	0.4
Transferencia de carga entre losas	2.8
Coeficiente de drenaje	1
Cálculo del diseño del espesor específico	83 mm

4) Calle Mamerto Salinas y Guerreras

Tráfico en ejes equivalentes	198.268
Serviciabilidad inicial	4.5
Serviciabilidad final	2.5
Módulo de ruptura del hormigón	5.500 kPa
Módulo de elasticidad del concreto	22.500.000 kPa
Módulo efectivo de la subrasante	49 kPa/mm
Confiabilidad	80
Desviación estándar	0.4
Transferencia de carga entre losas	2.8
Coeficiente de drenaje	1
Cálculo del diseño del espesor específico	84 mm

5) Calle Oruro y Guadalquivir

Tráfico en ejes equivalentes	163.707
Serviciabilidad inicial	4.5
Serviciabilidad final	2.5
Módulo de ruptura del hormigón	5.500 kPa
Módulo de elasticidad del concreto	22.500.000 kPa
Módulo efectivo de la subrasante	49 kPa/mm
Confiabilidad	80
Desviación estándar	0.4
Transferencia de carga entre losas	2.8
Coeficiente de drenaje	1
Cálculo del diseño del espesor específico	78 mm

6) Calle Chuquisaca y Virgen de Chaguaya

Tráfico en ejes equivalentes	211.910
Serviciabilidad inicial	4.5
Serviciabilidad final	2.5
Módulo de ruptura del hormigón	5.500 kPa
Módulo de elasticidad del concreto	22.500.000 kPa
Módulo efectivo de la subrasante	49 kPa/mm
Confiabilidad	80
Desviación estándar	0.4
Transferencia de carga entre losas	2.8
Coeficiente de drenaje	1
Cálculo del diseño del espesor específico	86 mm

7) Calle Barrientos Ortuño y Potosí

Tráfico en ejes equivalentes	472.933
Serviciabilidad inicial	4.5
Serviciabilidad final	2.5
Módulo de ruptura del hormigón	5.500 kPa
Módulo de elasticidad del concreto	22.500.000 kPa
Módulo efectivo de la subrasante	49 kPa/mm
Confiabilidad	80
Desviación estándar	0.4
Transferencia de carga entre losas	2.8
Coeficiente de drenaje	1
Cálculo del diseño del espesor específico	90 mm

8) Calle La Paz y Germán Busch

Tráfico en ejes equivalentes	163.707
Serviciabilidad inicial	4.5
Serviciabilidad final	2.5
Módulo de ruptura del hormigón	5.500 kPa
Módulo de elasticidad del concreto	22.500.000 kPa
Módulo efectivo de la subrasante	49 kPa/mm
Confiabilidad	80
Desviación estándar	0.4
Transferencia de carga entre losas	2.8
Coeficiente de drenaje	1
Cálculo del diseño del espesor específico	78 mm

9) Calle Tarija y Beni

Tráfico en ejes equivalentes	200.087
Serviciabilidad inicial	4.5
Serviciabilidad final	2.5
Módulo de ruptura del hormigón	5.500 kPa
Módulo de elasticidad del concreto	22.500.000 kPa
Módulo efectivo de la subrasante	49 kPa/mm
Confiabilidad	80
Desviación estándar	0.4
Transferencia de carga entre losas	2.8
Coeficiente de drenaje	1
Cálculo del diseño del espesor específico	84 mm

10) Calle Topater y Germán Busch

Tráfico en ejes equivalentes	311.044
Serviciabilidad inicial	4.5
Serviciabilida final	2.5
Módulo de ruptura del hormigón	5.500 kPa
Módulo de elasticidad del concreto	22.500.000 kPa
Módulo efectivo de la subrasante	49 kPa/mm
Confiabilidad	80
Desviación estándar	0.4
Transferencia de carga entre losas	2.8
Coeficiente de drenaje	1
Cálculo del diseño del espesor específico	95 mm

3.4.2. Aplicación del programa “BS-PCA diseño de pavimentos rígidos”

Este software sirve para el cálculo de pavimentos rígidos basado en el método de la PCA del 84, este programa se realizó utilizando las ecuaciones del cálculo de pavimentos de la PCA, por lo cual se presenta una gran precisión al utilizar comparativamente los monogramas y los cálculos realizados por el programa. El programa “BS-PCA” es compatible con las últimas versiones del sistema operativo de Windows.

1. Calle Alfredo Ameller y Madrid

Cargado de espectro de carga de ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : **1,8634**

Factor de Esfuerzo : **0,4141** Factor de Erosión : **2,8844**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	2	61333
2	4	47250
3	6	35166
4	8	42200
5	10	25050
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar **Salir**

Fuente: Elaboración propia

Cargado de espectro de carga de ejes tándem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : **1,589**

Factor de Esfuerzo : **0,3531** Factor de Erosión : **3,0065**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	12	61333
2	14	47250
3	16	35166
4	18	42200
5	20	25050
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar *Salir*

Fuente: Elaboración propia

Diseño pavimentos rígidos PCA con pasadores

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 49,03 **Mpa/m**

Espesor de la Losa : 191 **mm**

Módulo de Rotura Losa : 4,5 **Mpa**

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

Tn Factor de Seguridad Carga : 1,2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos **Ejes Tandem** **Ejes Tridem**

Total Consumo Esfuerzo (%) : **91,3584**

Total Consumo Erosión (%) : **14,985**

Calcular

Imprimir

Salir

Fuente: elaboración propia

2. Calle Cochabamba y Madrid

Cargado de espectro de carga de ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : **1,8915**

Factor de Esfuerzo : **0,4203** Factor de Erosión : **2,8984**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	2	52553
2	4	35640
3	6	49862
4	8	20437
5	10	18858
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar **Salir**

Fuente: Elaboración propia

Cargado de espectro de carga de ejes tándem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : **1,6095**

Factor de Esfuerzo : **0,3577** Factor de Erosión : **3,0184**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	12	59908
2	14	43256
3	16	36084
4	18	17950
5	20	20152
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar **Salir**

Fuente: Elaboración propia

Diseño pavimentos rígidos PCA con pasadores

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 49,03 Mpa/m

Espesor de la Losa : 189 mm

Módulo de Rotura Losa : 4,5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

Tn

Factor de Seguridad Carga : 1,2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%) : 99,7521

Total Consumo Erosión (%) : 12,1522

Cargar

Guardar

Calcular

Imprimir

Salir

Fuente: Elaboración propia

3. Avda. 21 de Diciembre y Antofagasta

Cargado de espectro de carga de ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : 1,8768

Factor de Esfuerzo : 0,4171

Factor de Erosión : 2,891

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	2	45975
2	4	56950
3	6	47870
4	8	19785
5	10	24050
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar Salir

Fuente: Elaboración propia

Cargado de espectro de carga de ejes tándem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : **1.5978**

Factor de Esfuerzo : **0.3551** Factor de Erosión : **3.0119**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	12	48562
2	14	37480
3	16	49570
4	18	38456
5	20	20562
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar **Salir**

Fuente: Elaboración propia

Diseño pavimentos rígidos PCA con pasadores

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 49.03 **Mpa/m**

Espesor de la Losa : 190 **mm**

Módulo de Rotura Losa : 4.5 **Mpa**

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

Tn Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos **Ejes Tandem** **Ejes Tridem**

Total Consumo Esfuerzo (%) : **96.7658**

Total Consumo Erosión (%) : **14.2737**

Calcular **Imprimir** **Salir**

Fuente: Elaboración propia

4. Calle Mamerto Salinas y Guerreras

Cargado de espectro de carga de ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : **1,8361**

Factor de Esfuerzo : **0,408** Factor de Erosión : **2,8713**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	2	57548
2	4	45742
3	6	39478
4	8	18996
5	10	36504
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar *Salir*

Fuente: Elaboración propia

Cargado de espectro de carga de ejes tándem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : **1,5708**

Factor de Esfuerzo : **0,3491** Factor de Erosión : **2,9953**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	12	61540
2	14	35120
3	16	40020
4	18	37570
5	20	24018
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar *Salir*

Fuente: Elaboración propia

Diseño pavimentos rígidos BS - PCA

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 49.03 Mpa/m

Espesor de la Losa : 193 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

Tn

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 99.246

Total Consumo Erosión (%): 13.5851

Cargar Guardar Calcular Imprimir Salir

Fuente: Elaboración Propia

5. Calle Oruro y Guadalquivir

Cargado de espectro de carga de ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : 1.9786

Factor de Esfuerzo : 0.4397

Factor de Erosión : 2.9431

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	2	54670
2	4	39740
3	6	40120
4	8	19870
5	10	9308
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar Salir

Fuente: Elaboración propia

Cargado de espectro de carga de ejes tándem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : **1,6786**

Factor de Esfuerzo : **0,373** Factor de Erosión : **3,0571**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	12	49781
2	14	50020
3	16	31570
4	18	22586
5	20	9751
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar **Salir**

Fuente: Elaboración propia

Diseño Pavimentos Rígidos PCA con pasadores

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 49.03 **Mpa/m**

Espesor de la Losa : 183 **mm**

Módulo de Rotura Losa : 4.5 **Mpa**

Con Bemas

Con Pasadores

TRANSITO

Tn Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos **Ejes Tandem** **Ejes Tridem**

Total Consumo Esfuerzo (%) : **98.5892**

Total Consumo Erosión (%) : **11.705**

Calcular **Imprimir** **Salir**

Fuente: Elaboración propia

6. Calle Chuquisaca y Virgen de Chaguaya

Cargado de espectro de carga de ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : **1,8632**

Factor de Esfuerzo : **0,414** Factor de Erosión : **2,8844**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	2	61201
2	4	45457
3	6	49986
4	8	30482
5	10	24785
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar *Salir*

Fuente: Elaboración propia

Cargado de espectro de carga de ejes tándem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : **1,5888**

Factor de Esfuerzo : **0,3531** Factor de Erosión : **3,0064**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	12	58746
2	14	67473
3	16	35054
4	18	28775
5	20	21863
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar *Salir*

Fuente: Elaboración propia

Diseño Pavimentos Rígidos PCA con pasadores

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 49.03 Mpa/m

Espesor de la Losa: 191 mm

Módulo de Rotura Losa: 4.5 Mpa

Con Bermas
 Con Pasadores

TRANSITO: Tn

Factor de Seguridad Carga: 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones: 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 88.6515

Total Consumo Erosión (%): 13.2298

Cargar
Guardar
Calcular
Imprimir
Salir

Fuente: Elaboración propia

7. Calle Barrientos Ortuño y Potosí

Cargado de espectro de carga de ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente: 1.6605

Factor de Esfuerzo: 0.369 Factor de Erosión: 2.7803

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	2	161196
2	4	89391
3	6	64998
4	8	79762
5	10	161196
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar Salir

Fuente: Elaboración propia

Cargado de espectro de carga de ejes tándem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : **1.4479**

Factor de Esfuerzo : **0.3218** Factor de Erosión : **2.9183**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	12	124104
2	14	84873
3	16	97509
4	18	96789
5	20	69659
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar *Salir*

Fuente: Elaboración propia

Diseño pavimentos rígidos BS - PCA con pasadores

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 49.03 **Mpa/m**

Espesor de la Losa : 207 **mm**

Módulo de Rotura Losa : 4.5 **Mpa**

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

Tn Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos **Ejes Tandem** **Ejes Tridem**

Total Consumo Esfuerzo (%) : **87.9768**

Total Consumo Erosión (%) : **23.1241**

Cargar

Guardar

Calcular

Imprimir

Salir

Fuente: Elaboración propia

8. Calle La Paz y Germán Busch

Cargado de espectro de carga de ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : **1,8913**

Factor de Esfuerzo : **0,4203** Factor de Erosión : **2,8984**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	2	53706
2	4	46702
3	6	43464
4	8	34597
5	10	19799
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar **Salir**

Fuente: Elaboración propia

Cargado de espectro de carga de ejes tándem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : **1,6093**

Factor de Esfuerzo : **0,3576** Factor de Erosión : **3,0184**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	12	59132
2	14	48257
3	16	69704
4	18	32517
5	20	11342
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar **Salir**

Fuente: Elaboración propia

Diseño Pavimentos Rígidos BS - PCA con pasadores

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 49.03 Mpa/m

Espesor de la Losa : 189 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

Tn

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%) : 90.7719

Total Consumo Erosión (%) : 13.7765

Cargar Guardar Calcular Imprimir Salir

Fuente: Elaboración propia

9. Calle Tarija y Beni

Cargado de espectro de carga de ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : 1.8497

Factor de Esfuerzo : 0.411

Factor de Erosión : 2.8779

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	2	58798
2	4	40943
3	6	29950
4	8	38761
5	10	31635
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar Salir

Fuente: Elaboración propia

Cargado de espectro de carga de ejes tándem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : **1.5798**

Factor de Esfuerzo : **0.3511** Factor de Erosión : **3.0008**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	12	50978
2	14	49863
3	16	29762
4	18	44081
5	20	25403
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar *Salir*

Fuente: Elaboración propia

Diseño pavimentos rígidos BS - PCA con pasadores

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 49.03 **Mpa/m**

Esesor de la Losa : 192 **mm**

Módulo de Rotura Losa : 4.5 **Mpa**

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

Tn Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos **Ejes Tandem** **Ejes Tridem**

Total Consumo Esfuerzo (%) : **99.415**

Total Consumo Erosión (%) : **14.7641**

Cargar

Guardar

Calcular

Imprimir

Salir

Fuente: Elaboración propia

10. Calle Topater y Germán Busch

Cargado de espectro de carga de ejes simples

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : **1,782**

Factor de Esfuerzo : **0,396** Factor de Erosión : **2,8451**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	2	85601
2	4	69462
3	6	58108
4	8	39979
5	10	57895
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar **Salir**

Fuente: Elaboración propia

Cargado de espectro de carga de ejes tandem

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : **1,5348**

Factor de Esfuerzo : **0,3411** Factor de Erosión : **2,9731**

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	12	78459
2	14	70372
3	16	60896
4	18	51581
5	20	49737
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar **Salir**

Fuente: Elaboración propia

Diseño pavimentos rígidos BS - PCA con pasadores

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 49.03 Mpa/m

Espesor de la Losa: 197 mm

Módulo de Rotura Losa: 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

Tn

Factor de Seguridad Carga: 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones: 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 98.8519

Total Consumo Erosión (%): 19.5042

Cargar

Guardar

Calcular

Imprimir

Salir

Fuente: Elaboración propia

3.5. Metodología

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

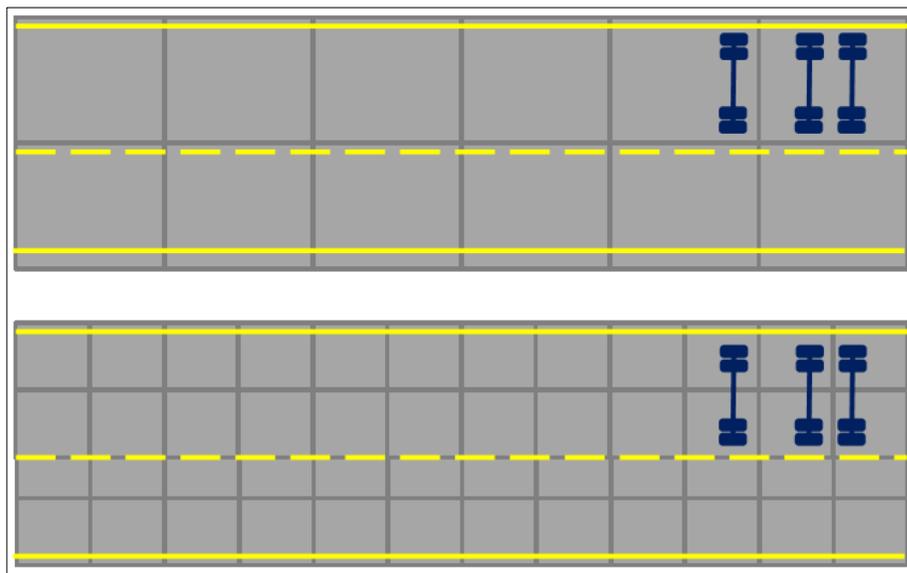
Se ha desarrollado una nueva metodología o aplicación para diseñar pavimentos rígidos, la cual reduce el espesor de losas optimizando el tamaño de éstas, dada la geometría de los ejes de los camiones. El principio fundamental de la aplicación y del análisis consiste en diseñar el tamaño de la losa para que no más de un set de ruedas se encuentre en una determinada losa, minimizando así la tensión de tracción crítica en la superficie.

Las dimensiones típicas de losas de pavimentos rígidos en Bolivia son de 3.6 m de ancho por 4,5 de longitud (AASHTO 93) con espesores de entre 15 a 35 cm, dependiendo del nivel de tráfico, el clima y los materiales. El espesor requerido depende principalmente de la carga por eje y el número de repeticiones de carga, resistencia del hormigón, la longitud de la losa y las condiciones climáticas durante el curado (alabeo de construcción).

Con el fin de reducir los efectos de la interacción de la carga y las tensiones de alabeo, se ha propuesto una nueva metodología de diseño de losas de hormigón mediante la optimización del tamaño de la losa, definiendo la geometría según el tráfico de camiones esperado (Covarrubias, 2005). En este enfoque de diseño, los tamaños de las losas se eligen de manera tal que no más de un set de ruedas del camión quede sobre una losa. Mediante la distribución de las cargas mecánicas hacia múltiples losas, las tensiones de tracción se reducen, así como las tensiones de alabeo debido a la reducción del tamaño de las losas. Un pavimento diseñado de esta forma permite reducir el espesor de la capa de hormigón en hasta 10 cm.

Con el fin de validar este concepto de aplicación de losas cortas se utilizó programas computarizados para analizar el posible espesor que puede llegar a obtener las losas en la ciudad de Bermejo, dependiendo de su tráfico y otros aspectos importantes que se tomó en cuenta para su aplicación.

Figura 3.13. Comparación en planta de la losa tradicional respecto de la losa corta



Fuente: Taller de Criterios de Diseño de Pavimentos de concreto

Normalmente en los pavimentos de hormigón convencionales los ejes delanteros y traseros aplican carga simultáneamente cerca de las juntas transversales. Esta posición de la carga, induce tensiones de tracción superficiales en la parte superior del pavimento, especialmente cuando la losa está curvada hacia arriba. Si las secciones se cortarían de manera tal que la longitud de la losa resulte en que ni los ejes delantero ni trasero estén simultáneamente sobre la misma sección de la losa (Covarrubias, 2008), las fuerzas de tracción se reducen significativamente en la losa.

La reducción de tensiones de tracción en la parte superior de la losa permite una vida útil más larga y una reducción en el espesor de la losa en relación con el diseño de pavimentos de hormigón convencional. Se utilizó en programa “Darwin” y el “BS-PCA” para reducir el espesor de la losa y así conocer el valor del espesor con respecto al tráfico de cada calle que se realizó el análisis de dimensiones.

El análisis que se quiere desarrollar con el programa computacional es que será capaz de optimizar el espesor y la geometría de cada losa para cualquier conjunto de clima, materiales, y tráfico. En primer lugar, el tamaño de la losa es seleccionada de tal manera que sólo un set de ruedas se encuentra cargando cada losa, típicamente entre 1.4 a 2.5 m.

3.6. Análisis de losas ultradelgadas con geometría optimizada

Se muestra a continuación las calles las cuales vamos a estudiar y analizar su geometría de las losas cortas.

Se tomó la decisión de realizar estas calles por el tráfico analizado y que son las más transitables en la ciudad de Bermejo, por lo tanto, se realiza el estudio de diseño con losas cortas para que se obtenga mayor resistencia y a su vez menor carga de los ejes vehiculares.

Tabla 3.15. Nombre del tramo de la calle

N°	Nombre del tramo de la calle
1	Calle Alfredo Ameller entre Madrid y Avda. Luis de Fuentes
2	Calle Cochabamba entre Madrid y Avaroa
3	Avda. 21 de Diciembre entre Antofagasta y Tijerina
4	Calle Mamerto Salinas entre Guerreras y Genovevarios
5	Calle Oruro entre Guadalquivir y Uriondo
6	Calle Chuquisaca entre Virgen de Chaguaya y Mariscal Andrés de Santa Cruz
7	Calle Barrientos Ortuño entre Potosi y Oruro
8	Calle La Paz entre German Busch y Alfredo Ameller
9	Calle Tarija entre Beni y Argentina
10	Calle Topater entre German Busch y Alfredo Ameller

Fuente: Elaboración propia

Para realizar un análisis apropiado en la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos mediante la aplicación del programa de AASHTO de “Darwin”.

Tabla 3.16. Tabla de resultados de “Darwin”

N°	Nombre del tramo	Espesor calculado (mm)
1	Calle Alfredo Ameller y Madrid	85
2	Calle Cochabamba y Madrid	81
3	Avda. 21 de Diciembre y Antofagasta	83
4	Calle Mamerto Salinas y Guerreras	84
5	Calle Oruro y Guadalquivir	78
6	Calle Chuquisaca y Virgen de Chaguaya	86
7	Calle Barrientos Ortuño y Potosí	90
8	Calle La Paz y Germán Bush	78
9	Calle Tarija y Beni	84
10	Calle Topater y Germán Bush	95

Fuente: Elaboración propia

Los siguientes resultados se obtuvieron del programa “BS- PCA Diseño de pavimentos rígidos”

Tabla 3.17. Tabla de resultados de “BS – PCA Diseño de pavimentos rígidos”

N°	Nombre del tramo	Total consumo esfuerzo (%)	Total consumo erosión (%)	Valor dado del espesor (mm)
1	Calle Alfredo Ameller y Madrid	91.3584	14.985	191
2	Calle Cochabamba y Madrid	99.7521	12.1522	189
3	Avda. 21 de Diciembre y Antofagasta	96.7658	14.2737	190
4	Calle Mamerto Salinas y Guerreras	99.246	13.5851	193
5	Calle Oruro y Guadalquivir	98.5892	11.705	183
6	Calle Chuquisaca y Virgen de Chaguaya	88.6515	13.2298	191
7	Calle Barrientos Ortuño y Potosí	87.9768	23.1241	207
8	Calle La Paz y Germán Bush	90.7719	13.7765	189
9	Calle Tarija y Beni	99.415	14.7641	192
10	Calle Topater y Germán Bush	98.8519	19.5042	197

Fuente: Elaboración propia

Analizando las anteriores tablas de resultados podemos visualizar que la primera tabla de resultados que determina el programa “Darwin” son valores de espesores menores, los cuales si bien son correctos de un diseño, no son apropiados en la construcción ya sea para una losa convencional y losa corta, sin embargo son los resultados que determina el programa de Darwin.

Con fines comparativos se procede a realizar un cálculo con el programa “BS-PCA Diseño de pavimentos rígidos”, cuyos resultados se muestra en la segunda tabla determinando los coeficientes de erosión y fatiga.

En la siguiente tabla se muestran los resultados que se analizan desde la geometría de las losas:

Tabla 3.18. Tabla de la geometría de las losas

N°	Dimensión de la calle		Dimensión de losa	
	Longitud	Ancho	Largo	Ancho
1	80	12	3	3
2	100	12	3,5	3
3	78	12	3	3
4	108	10	4	2,5
5	100	8	5	4
6	100	12	3	3
7	150	12	4	3
8	114	12	5	3
9	132	12	3	3
10	100	8	4	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.19. Dimensiones para analizar su geometría

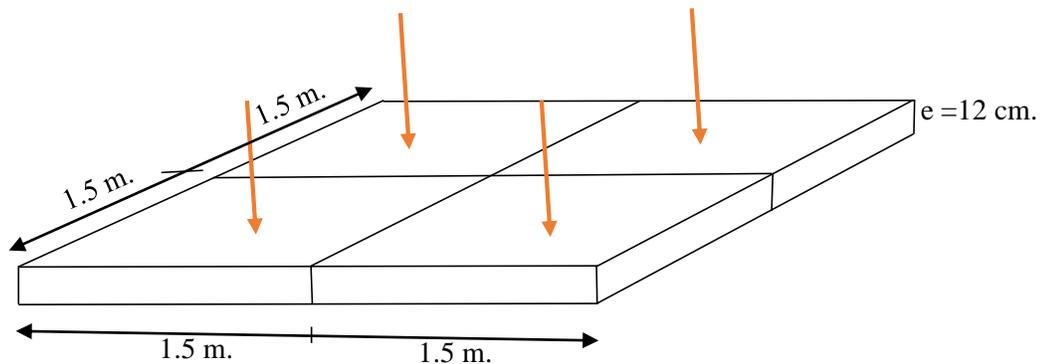
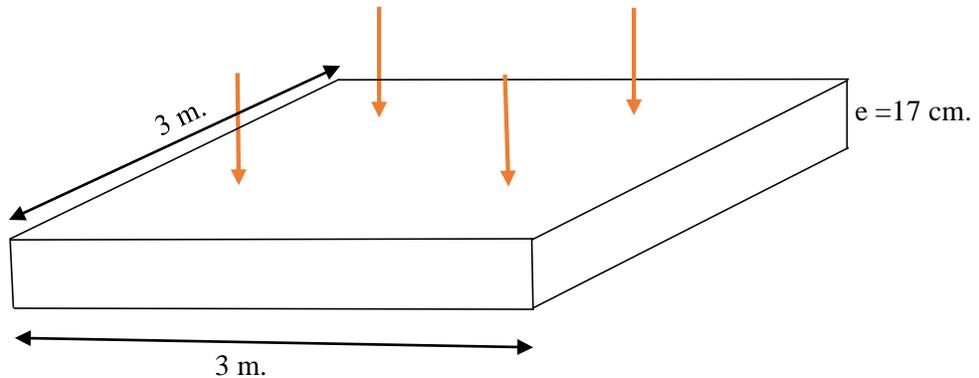
Largo (m)	Ancho (m)
3	3
3.5	3
4	2.5
5	4
4	3
5	3

Fuente: Elaboración propia

3.7. Análisis comparativo

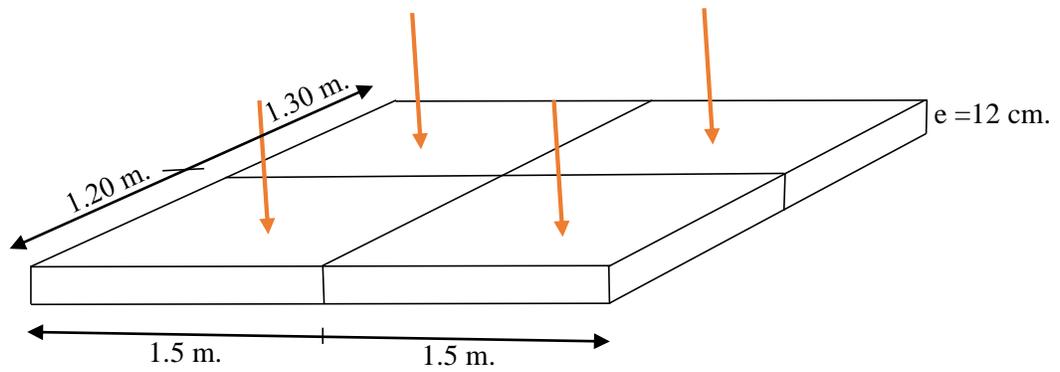
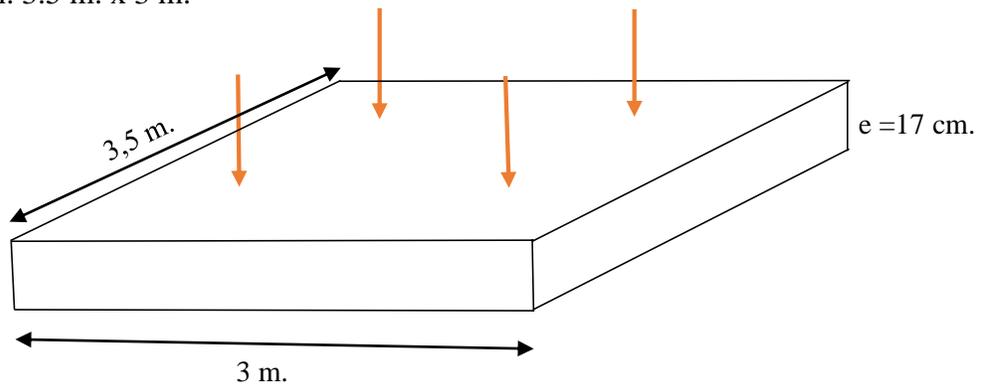
En las siguientes ilustraciones se realiza un análisis comparativo con losa normal y lo que llega a pasar cuando se convierte o se diseña con una losa con geometría optimizada.

Dimensión: 3 m. x 3 m.



En ésta dimensión de 3 m. x 3 m. se observa que en la losa normal se obtiene todas las cargas de los ejes de los vehículos por lo cual tendrá más deformación y menos resistencia. Se divide la dimensión de la losa normal en dos partes para obtener una menor dimensión y que cada eje de un vehículo esté ubicado en una losa corta para que permita una mayor resistencia y menor alabeo de la losa.

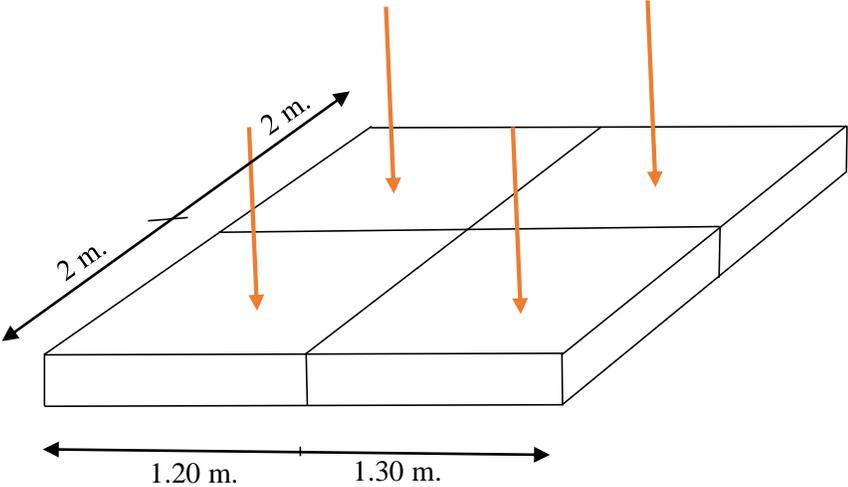
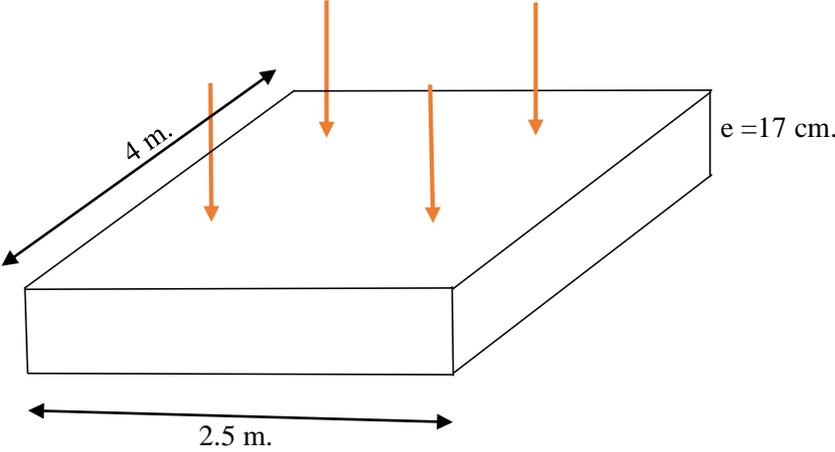
Dimensión: 3.5 m. x 3 m.



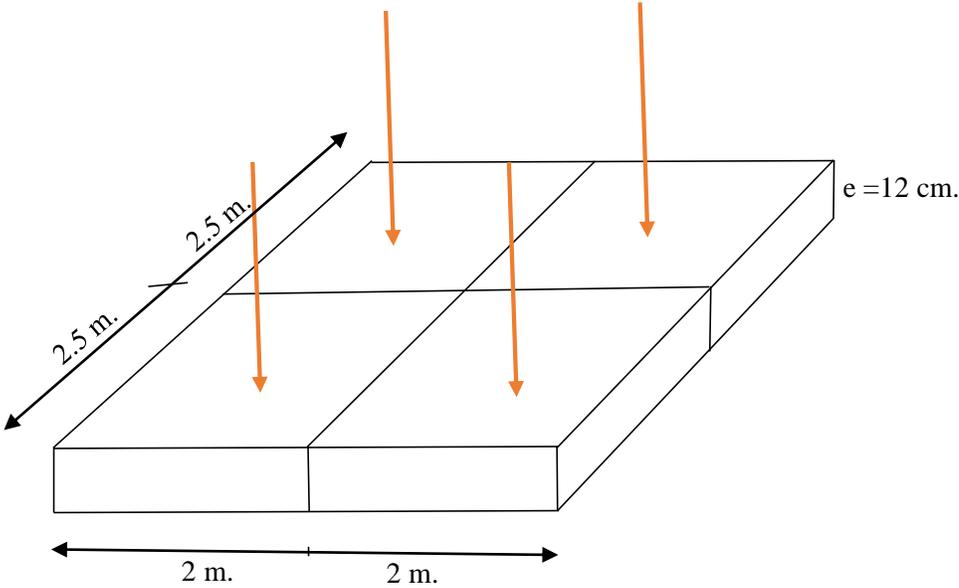
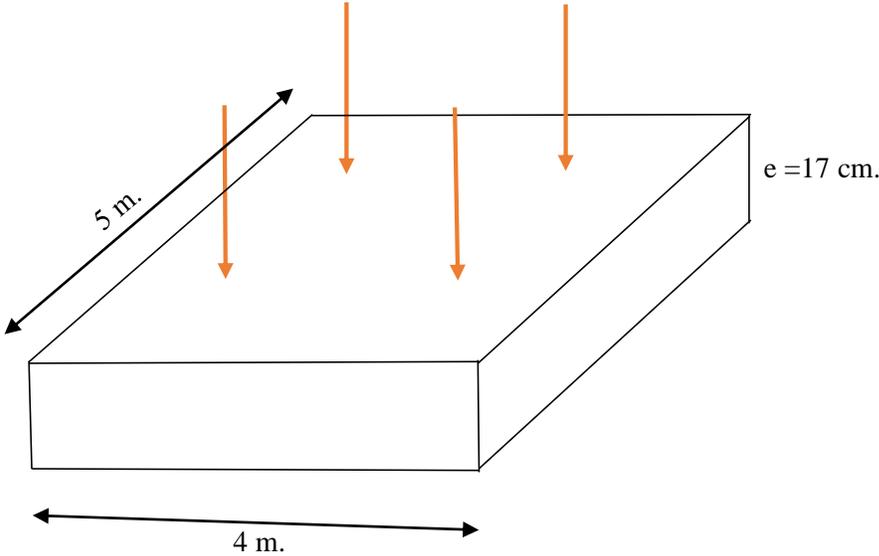
En éste caso cuando una longitud de la losa normal es de 3.5 m. se llega a dividir a una losa de 1.20 m. y 1.30 m. para evitar deformaciones mucho mayores y así no obtener agrietamientos ni cargas muy elevadas que no pueda soportar la losa.

Lo mismo sucede con las ilustraciones que se muestra a continuación:

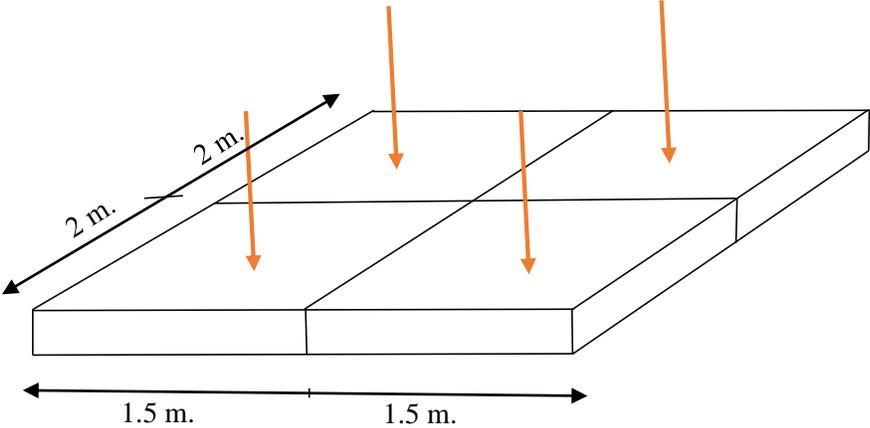
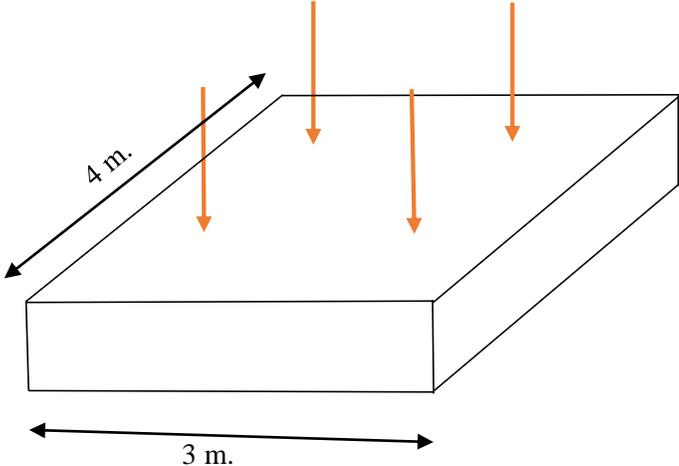
Dimensión: 4 m. x 2.5 m.



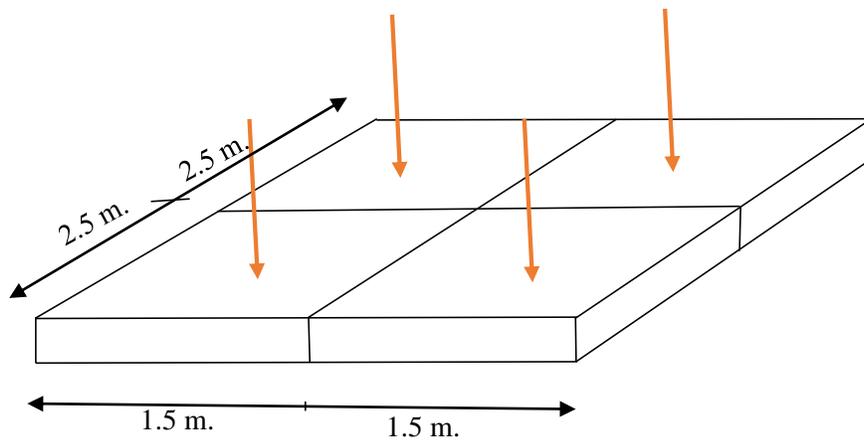
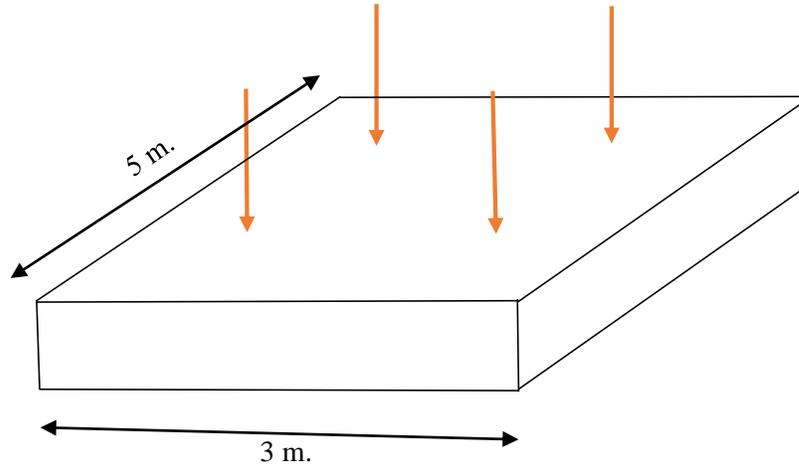
Dimensión: 5 m. x 4 m.



Dimensión: 4 m. x 3 m.



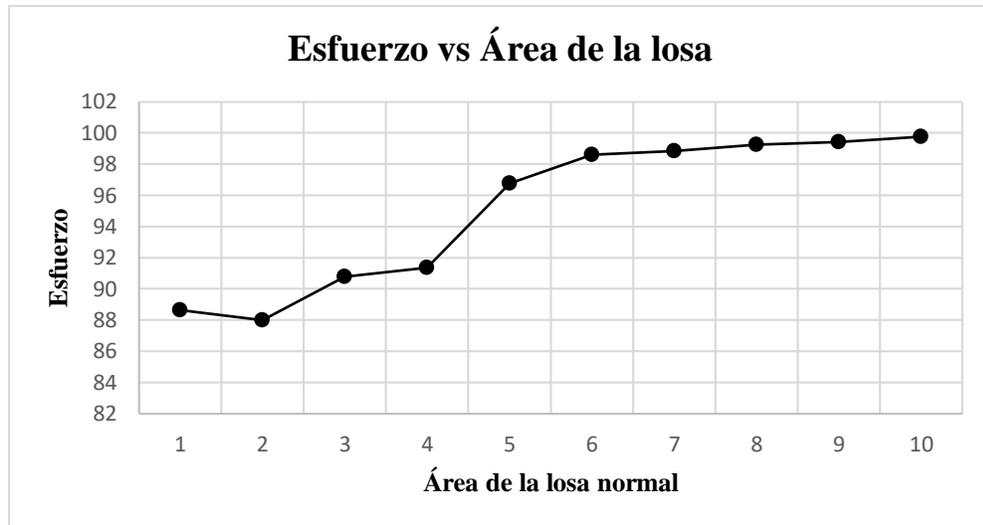
Dimensión: 5 m. x 3 m.



De acuerdo a las gráficas anteriores se analiza que, dependiendo de la geometría de las losas del pavimento rígido, se distribuyen las cargas de tráfico incidiendo en su comportamiento y las deformaciones que presente en la vida útil del pavimento.

3.8. Gráficas comparativas

Ilustración 3.7. Gráfico de esfuerzo vs área de la losa



Fuente: Elaboración propia

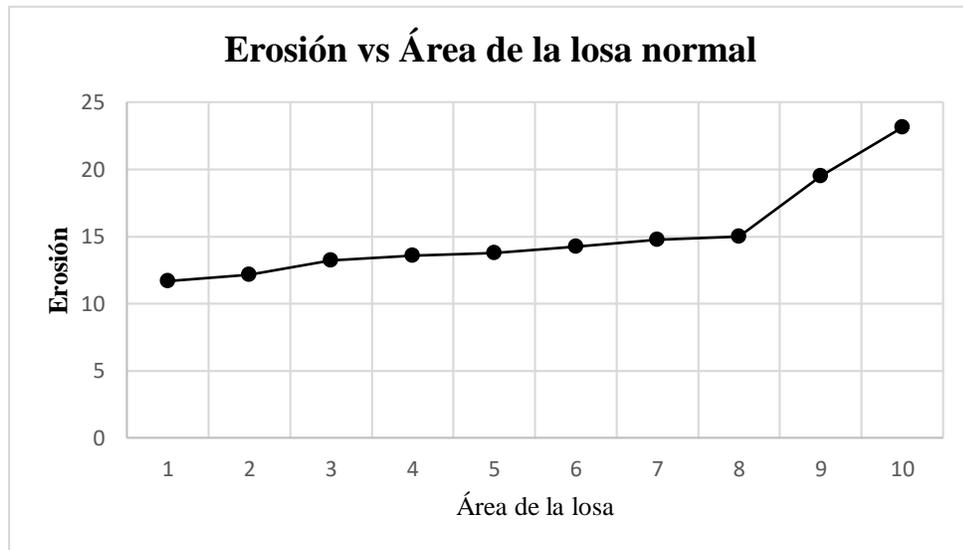
Ilustración 3.8. Datos para obtener la gráfica

Total consumo esfuerzo (%)	Área de la losa normal
88,6515	9
87,9768	12
90,7719	15
91,3584	9
96,7658	9
98,5892	24
98,8519	12
99,246	10
99,415	9
99,7521	10.5

Fuente: Elaboración propia

Al realizar las siguientes gráficas se observa que mientras sea más elevado el valor del esfuerzo el área de la losa es menor, pero también existen algunos puntos (calles) que el valor del área es mayor y el esfuerzo disminuye, eso puede ocurrir cuando en esa ubicación el número de tráfico es menor y puede variar

Ilustración 3.9. Gráfica erosión vs área de la losa normal



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3.10. Datos para obtener la gráfica

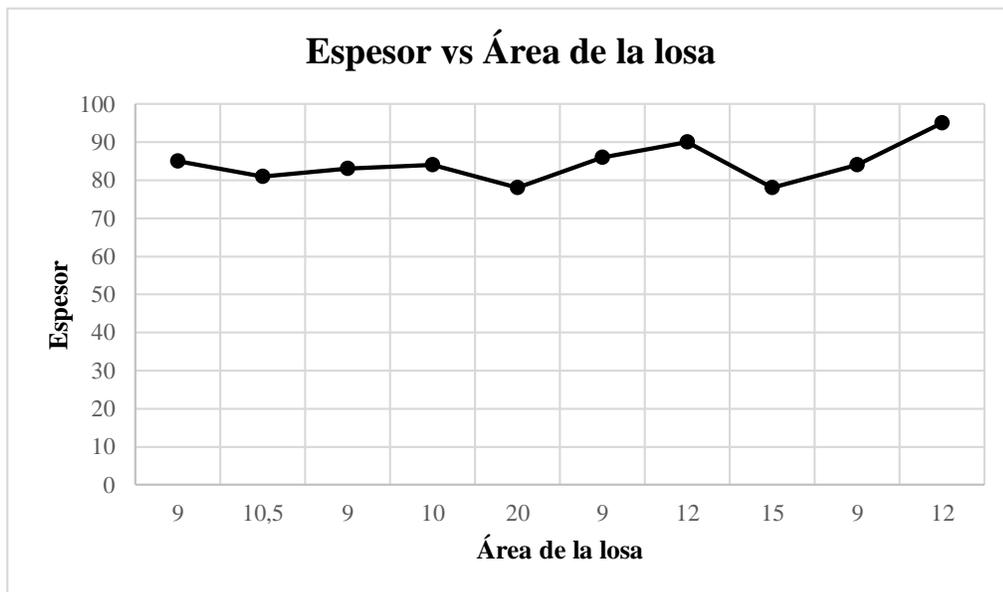
Total consumo erosión (%)	Área de la losa normal
11,705	27
12,1522	20
13,2298	30
13,5851	67.5
13,7765	32
14,2737	27
14,7641	40.5
14,985	20
19,5042	24
23,1241	50

Fuente: Elaboración propia

En este caso la erosión tiene datos similares, el desgaste ocurre variando las dimensiones de la losa normal, es decir que mientras exista una losa normal de mayor área, el desgaste será mucho mayor ya sea por el tráfico y por las cargas que obtiene cada losa.

Las losas cortas tienen un menor desgaste por que no existen varias cargas sobre ellas, se trata de minimizar desgaste y cargas en el diseño de un pavimento con losas cortas.

Ilustración 3.11. Gráfica espesor vs área de la losa



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3.12. Datos para obtener la gráfica

Espesor	Área de la losa
85	9
81	10.5
83	9
84	10
78	20
86	9
90	12
78	15
84	9
95	12

Fuente: Elaboración propia

Se realiza un análisis con los espesores determinados por el programa “Darwin” para obtener una comparación de cómo varía sus espesores de acuerdo a su área, porque mientras más grande el área de una losa mayor tiene que ser el espesor de diseño para evitar deformaciones cercanas.

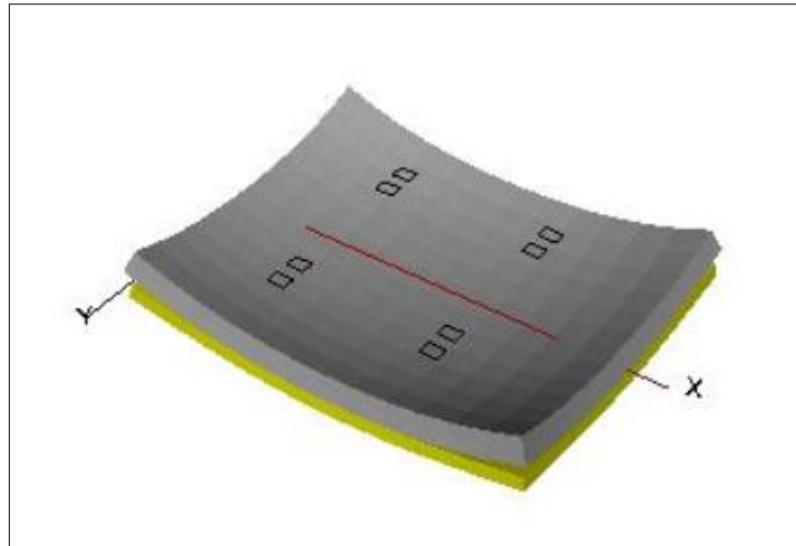
3.9. Resultados

3.9.1. Visualización de resultados con el programa “EverFe 2.24”

Para poder visualizar de mejor manera las cargas que se llegan a efectuar en una o más losas se realiza la aplicación del programa EverFe 2.24, el cual, es una herramienta de análisis de elementos finitos en 3D para simular el comportamiento de los sistemas de pavimentos de rígidos simplemente unidos a las cargas de los ejes y a los efectos ambientales.

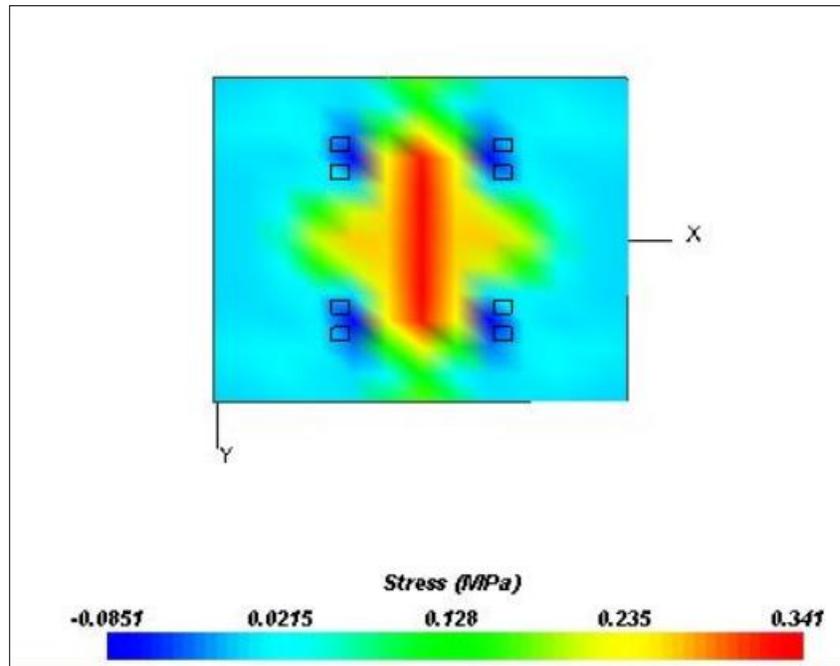
3.9.2. Análisis realizado con el programa EverFe para una losa

Figura 3.14. Forma desplazada de losa y base



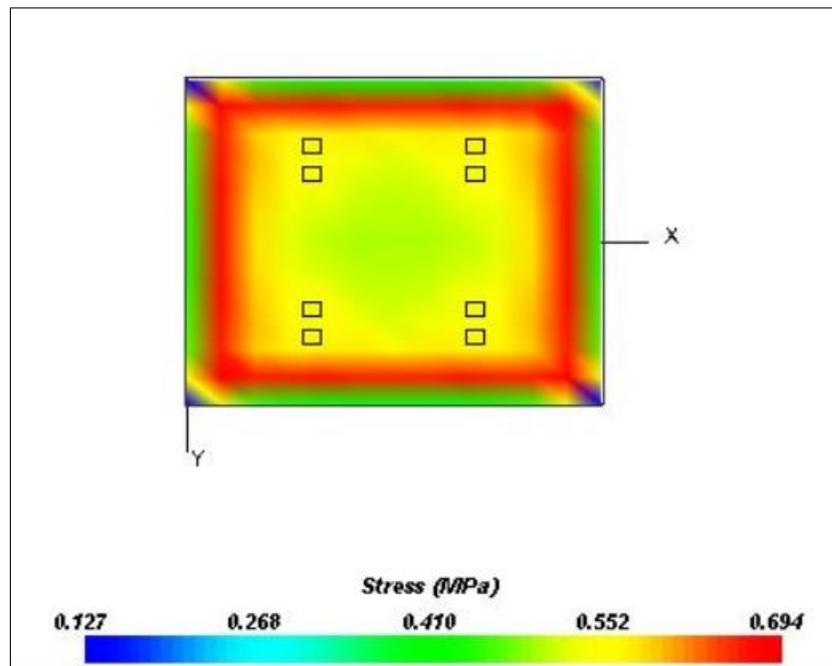
Fuente: Diseño en el programa EverFe

Figura 3.15. Máxima tensión principal sobre la losa



Fuente: Diseño en el programa EverFe

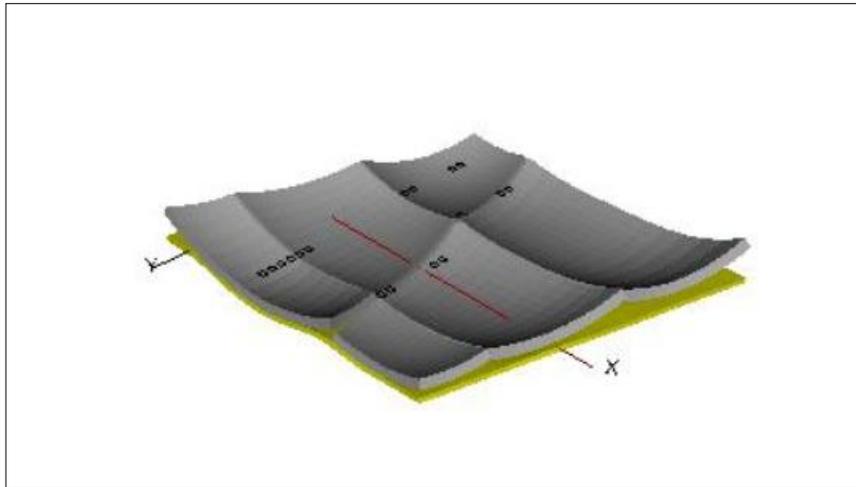
Figura 3.16. Máxima tensión principal en el espesor medio de la losa



Fuente: Diseño en el programa EverFe

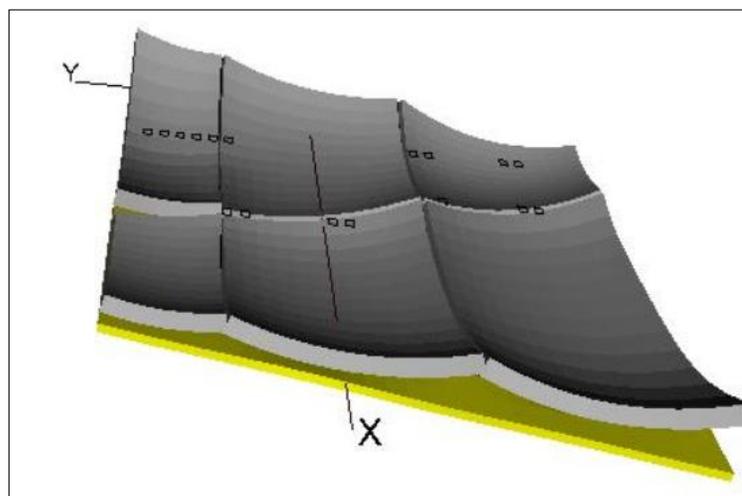
3.9.3. Análisis realizado con el programa EverFe para una losa múltiple

Figura 3.17. Forma desplazada



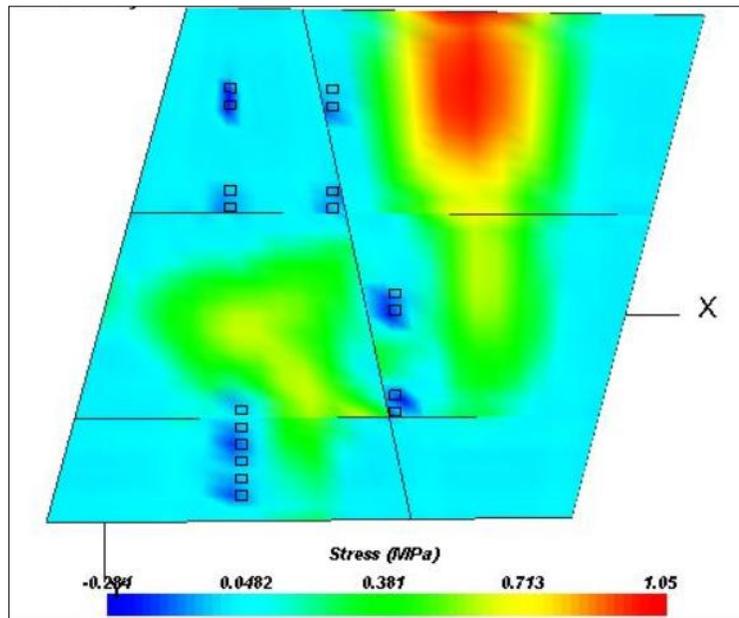
Fuente: Diseño en el programa EverFe

Figura 3.18. Vista que muestra desplazamientos articulares diferenciales



Fuente: Diseño en el programa EverFe

Figura 3.19. Tensiones en el plano x-y en la parte superior de las losas



Fuente: Diseño en el programa EverFe

3.10. Comparación

El análisis comparativo entre la losa tradicional con la losa corta es amplio, puesto que en su diseño influyen muchos factores que involucran en las cargas y deformaciones que puede llegar a tener tanto la losa tradicional como la losa corta, dependiendo del tráfico y otros factores ya mencionados.

Figura 3.20. Estructuras equivalentes

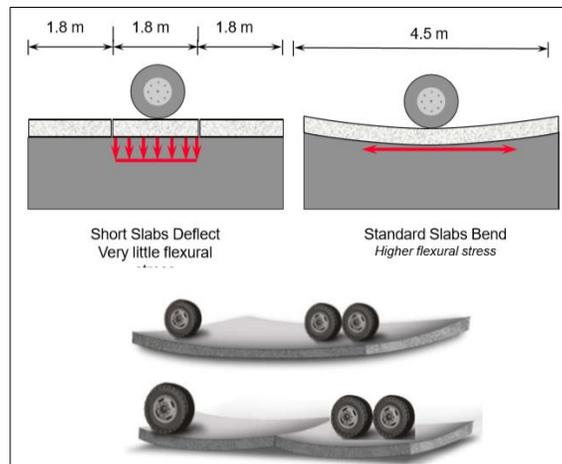


Fuente: Taller de Criterios de Diseño de Pavimentos de Concreto. Ing. Mauricio Salgado Torres M.Sc.

Al observar la figura anterior se puede observar que a menor tamaño de losa las tensiones se reducen y disminuyen el alabeo relativo, se podría decir que las losas cuadradas podrían funcionar mejor

3.10.1. Impacto del espaciamiento entre juntas en la flexión

Figura 3.21 Impacto del espaciamiento entre juntas en la flexión



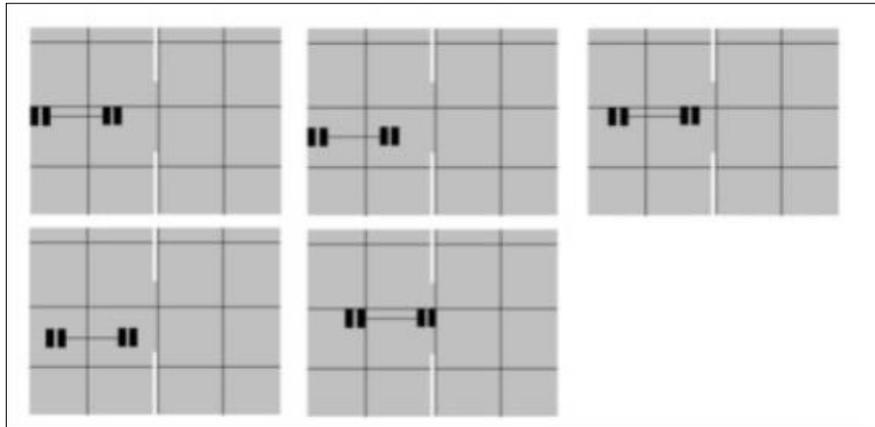
Fuente: Taller de Criterios de Diseño de Pavimentos de Concreto. Ing. Mauricio Salgado Torres M.Sc.

El pavimento rígido experimenta cambios volumétricos debido a la temperatura y a las variaciones en su contenido de agua incluso dentro del espesor del pavimento, ello hace que las losas que lo constituyen tiendan a sufrir esfuerzos de tensión que en ocasiones rebasan a los que las losas pueden soportar.

Los esfuerzos de tensión generados por cambios volumétricos se ven incrementados por los del tipo friccionante o de arrastre, generados en la interfase losa-capa de apoyo, pues esta última se opone a que las losas se expandan o sufran contracción producida por agentes ambientales y por la disminución del agua dentro del concreto al secarse. Cuando no se toman en cuenta estos esfuerzos, aparecen grietas sin control, es decir, al azar.

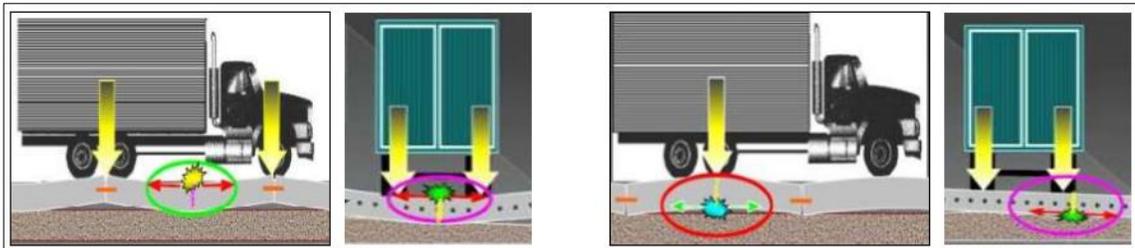
3.10.2. Efectos de las cargas

Figura 3.22. Posiciones de carga consideradas por las losas como tensiones de tracción críticas



Fuente: Taller de Criterios de Diseño de Pavimentos de Concreto.
Ing. Mauricio Salgado Torres M.Sc.

Figura 3.23 Efectos de las cargas



Fuente: Taller de Criterios de Diseño de Pavimentos de Concreto.
Ing. Mauricio Salgado Torres M.Sc.

Los esfuerzos causados por la carga de tráfico en una losa de pavimento de hormigón dependen de la ubicación de la carga, entre otros factores.

Si la carga se realiza en el interior de la losa, lejos de las esquinas, el nivel de tensión es generalmente bajo. Por lo tanto, las soluciones analíticas se han desarrollado para cargas aplicadas en las esquinas, bordes y en el interior de las losas de pavimento de hormigón.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.6. Conclusiones

- Los pavimentos ultradelgados con geometría optimizada son una mejor opción que permite tener un comportamiento de resistencia de esfuerzos y menores deformaciones.
- Con la aplicación de los dos programas se determina la variación de espesores que se diseña para losas cortas, dependiendo de los parámetros de diseño y el lugar donde se va a realizar el diseño de losas cortas con geometría optimizada.
- En el programa de “Darwin” se aprecia los espesores menores para la zona estudiada, se desarrolló el análisis en 10 diferentes calles de la ciudad de Bermejo con sus respectivos parámetros de diseño y el tráfico correspondiente. En este software se observa valores de espesores de losas cortas de 85 mm, 81 mm, 83 mm, 84 mm, 78 mm, 86 mm, 90 mm, 78 mm, 84 mm, 95 mm, observando que están entre los rangos de 78 mm a 95 mm.
- En el software BS- PCA se utilizó en valor de resistencia k de apoyo de 49.03 Mpa/m (determinado en los cálculos de caracterización de laboratorio), se utilizó un módulo de rotura de 4.5 Mpa, no se diseñó con bermas, pero sí con pasadores. Se determinan deformaciones de 91.3584; 99.7521; 96.7658; 98.5892; 88.6515; 87.9768; etc.
- Se verificó el tipo de suelo según la caracterización de laboratorio que es una clasificación A-4 de tipo limo arcilloso.
- El tráfico determinado en la zona de estudio nos muestra que los ejes equivalentes varían entre $1,8 \cdot 10^5$ y $4,72 \cdot 10^5$, de cuyos valores dependen los espesores determinados por el método Darwin y cuyo comportamiento será afectado en función a este espesor.

- Se observó mediciones de las losas convencionales de dimensiones de 3 m. x 3m.; 3.5 m. x 3; 4 m. x 2.5 m.; 5 m. x 4 m.; 4 m. x 3 m. y 5 m. x 3 m., el cual se distribuyó cargas para observar su respectivo comportamiento.
- Al obtener las mediciones reales de las losas convencionales, se optó por dividir sus respectivas dimensiones para observar sus efectos que pueda tener de una geometría de 3 m. x 3 m. con espesor de 17 cm. a convertir en una losa corta de 1.5 m. x 1.5 m. con espesor que puede variar de 8 cm a 12 cm.
- Con este método de diseño el cual optimiza las dimensiones de las losas cortas para minimizar el espesor requerido, dado que sólo un set de ruedas se encuentra cargando en cada losa, además estos nuevos conceptos de diseño de losas cortas pueden ser diseñadas con espesores de apenas 8 cm de espesor según estudios y análisis.
- Con el análisis realizado se concluye que, espesores de losa con rangos de 8 a 12 cm. no tiene deformación en las losas cortas y si existiera, sería una deformación mínima porque no existe mucho tráfico en las zonas estudiadas. Así también se observa que determina cargas menores en las losas ya que no hay muchas repeticiones de automóviles y no hay un nivel alto de tráfico.
- Para obtener resultados y poder visualizar mejor el lugar donde se producen las cargas y las posibles deformaciones de las losas cortas se utilizó el programa EverFe 2.24, donde se observa los ejes que afectan en las losas y así su carga que presenta.
- El desarrollo de las losas con geometría optimizada permite dimensionar losas cortas de tal manera que sólo exista un juego de ruedas sobre cada losa, en el cual se distribuye de mejor manera la carga en el pavimento para evitar el agrietamiento por flexión, lo cual ayuda a mejorar la calidad, en la extensión de la vida útil del pavimento y el menor espesor del pavimento.

4.2. Recomendaciones

- Con el empleo de losas cortas no se pretende reemplazar los métodos conocidos y practicados, sino, que sea una alternativa de aplicación en vías principales y de menor importancia, permitiendo el estudio de su comportamiento y confiabilidad para su masificación.
- Se recomienda utilizar losas de dimensiones optimizadas realizando un análisis dependiendo de las condiciones geográficas y temperaturas, así mismo para obtener un mejor desempeño de este tipo de pavimento, se recomienda siempre tomar en cuenta el dimensionamiento de los ejes y ancho de los carriles.
- No hay que dejar de lado los pavimentos ultradelgados como alternativas para vías de tráfico menor. Se debe estudiar algún método específico de diseño para ellos.
- Para realizar un pavimento ultradelgado con losas cortas se debe realizar un monitoreo o análisis del lugar donde se va efectuar el diseño y verificar qué dimensiones de losas cortas son adecuadas para ese diseño, dependiendo de los factores que involucra y verificando el tráfico que exista, ya que, es recomendable trabajar con losas cortas en carreteras o calles de menor tráfico para evitar la deformación y exceso de carga.
- Para obtener un mejor desempeño del pavimento ultradelgado, se recomienda tomar en cuenta el dimensionamiento de los ejes del vehículo de diseño y ancho de los carriles.
- Se recomienda el empleo del diseño de losas cortas con pavimentos ultradelgados como una alternativa de aplicación en vías principales y de menor importancia, permitiendo el estudio de su comportamiento y confiabilidad para su masificación.