

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. INTRODUCCION

La tecnología de losas cortas es una nueva metodología para diseñar pavimentos de hormigón, la cual reduce el espesor optimizando el tamaño de estas, disminuyendo por consiguiente un menor agrietamiento de las mismas. La investigación del método de las losas cortas da a conocer los esfuerzos que sufren las losas debido al alabeo y a la posición de los ejes traseros y delanteros de vehículos pesados en los bordes, se consideran factores de deformaciones por alabeo, por la rigidez de las bases, del largo de las losas, tensiones propias del concreto y del efecto de adherencia.

El principio fundamental de este método de diseño 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 crítica en la superficie. La disminución en las dimensiones de la losa permite que siendo de bajo espesor, soporte una gran cantidad considerable de ejes equivalentes antes de comenzar a agrietarse.

Durante la última década, el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile - ICH ha sido participe de actividades que han permitido consolidar una base de conocimiento referente a los pavimentos de hormigón con losas de geometrías de distintas dimensiones. Motivados en análisis preliminares que indicaban que utilizando losa su comportamiento se ha continuado trabajando en el tiempo reciente. Ante la necesidad de responder a frecuentes consultas sobre el tema, el ICH ha venido trabajando en una metodología capaz de comprobar analíticamente las bondades de las losas cortas a partir de la predicción del deterioro del pavimento para unas condiciones dadas; tomando como base un proceso analítico de tensiones y fatigas acumuladas por repetición de sollicitaciones, pudiendo así con los resultados obtenidos relacionarlos y compararlos con lo observado en experiencias reales realizadas en Chile.

Lo que se pretende en este trabajo es realizar la comparación del diseño de las losas cortas frente al diseño de las losas tradicionales del pavimento de concreto aplicado a la ciudad de Bermejo, que para mejorar sus condiciones de los efectos de su comportamiento y dimensionamiento, se propone 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. En este enfoque de diseño, los tamaños y espesor 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.

El proceso consiste en validar este nuevo concepto de diseño de losas cortas, mediante el dimensionamiento en su geometría longitud, ancho y espesor de la vía utilizando herramientas informáticas respectivas, programa Darwin AASTHO-93 y el software BS-PCA, con ello diseñar nuevas dimensiones de las losas de hormigón considerando las condiciones particulares del proyecto. La resistencia será calculada utilizando el análisis de elementos finitos, diseñar modelo de laboratorio de losas para luego someter a ensayos a flexión y a partir de ello obtener la resistencia y deformación de las losas.

De esta manera el uso de tamaños de losas más pequeñas y espesores delgados demuestra una mejor alternativa beneficiando a la sociedad, como una enorme necesidad para racionalizar los recursos.

1.2. JUSTIFICACION

El estudio de la valoración técnica del diseño de las losas cortas frente al diseño de losas tradicionales del pavimento de concreto de las 180 cuadras de la ciudad de Bermejo, se lo realizara con la finalidad de proyectar para el futuro, el uso de la metodología de losas cortas, para que las autoridades en los siguientes años, puedan aplicar esta técnica para mejorar las condiciones de comportamiento y

dimensionamiento en los pavimentos rígidos, para prolongar su vida útil y reducción de costo beneficiando a la sociedad.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El pavimento de una carretera está sujeto a la acción continua de tráfico, transmitiendo las cargas a las losas de concreto, elevación de temperaturas ocasionando expansión excesiva y un diferencial de temperatura a través del espesor de la losas causa alabeo, la ampliación de una carga externa en esta fase causara esfuerzos adicionales de tensión por flexión, estos factores, junto con el envejecimiento natural de los materiales, hacen que la losa sufra un proceso progresivo de fisuración, con lo cual lleva a una disminución de los niveles de seguridad y confort del tráfico.

Al presentarse estos problemas en la losa de concreto justifican la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan mejor comportamiento en el dimensionamiento de la losa y permita una vida útil más larga y una reducción en el espesor de la losa en relación con el pavimento de hormigón convencional.

En la actualidad está en proceso de ejecución el pavimento rígido convencional de la ciudad de Bermejo, pero sabiendo que las losas convencionales presentan fisuraciones a temprana edad y no logrando cumplir su vida útil, además en el lugar existe mucha transitabilidad de tráfico, lo que conlleva a la necesidad de aplicar en nuestro medio, una metodología innovadora que reduzca las fisuraciones en la losa de concreto, con la finalidad de obtener resultados y compararlos con el pavimento rígido convencional, logrando mayor vida útil.

1.3.2. PROBLEMA

¿Cómo se puede demostrar que las tensiones y desplazamientos ocurridos en el pavimento rígido de la ciudad de Bermejo, podrían haberse evitado con un diseño y construcción de losas cortas?

1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE APLICACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar la valoración técnica del diseño de las losas cortas frente al diseño de las losas tradicionales del pavimento de concreto aplicado a la ciudad de Bermejo.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los aspectos generales sobre pavimentos rígidos desde su conceptualización, tipología, características, propiedades, proceso de ejecución y control de calidad que son aplicables en nuestro medio.
- Ubicar un proyecto en nuestro medio como pavimento rígido donde se pueda aplicar la metodología de las losas cortas.
- Realizar la validación mediante la caracterización de los materiales del diseño original del pavimento rígido convencional.
- Aplicar la metodología de las losas cortas en el proyecto de pavimento rígido en la ciudad de Bermejo.
- Realizar la valoración sobre los efectos en la resistencia a flexión y alabeo en las losas cortas en laboratorio.
- Realizar la aplicación de tres software DARWIN, BS-PCA Y EverFE para la modelación de las losas propuestas.
- Evaluar los resultados y análisis comparativo entre el pavimento rígido convencional y frente al pavimento de losas cortas.

1.5. HIPOTESIS

Si se aplica la tecnología de losas cortas a las losas tradicionales entonces reducirá los problemas de tensiones, desplazamientos y alabeos que se generan en el dimensionamiento, de tal manera que se pueda obtener un mejor comportamiento de las características geométricas de las losas cortas que responden ante las cargas con menores tensiones y desplazamientos, como así también con menor retracción y alabeo así también en costos y prolongando la vida útil de la vía.

1.6. DEFINICION DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Dimensionamiento de las losas

1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Comportamiento de las losas

1.6.3. CONCEPTUALIZACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor
VINDEPENDIENTE Dimensionamiento de las losas	Se refiere a la geometría de las losas (la distribución en lo ancho y largo de la vía)	Longitud de las losas convencionales y cortas	3 a 5 m 1.5 a 2.5 m	ASSTHO-93 PCA ABC
		Ancho de las losas convencionales y cortas	3 a 5 m 1.5 a 2.5 m	
		Espesor de las losas convencionales y cortas	30 a 50 cm 15 a 30 cm	
VDEPENDIENTE Comportamiento de las losas	Se refiere al análisis resistencia y espesor de las losas ante la distribución a lo ancho de la vía de las losas	Método de diseño de espesores Darwin PCA	Método	ASSTHO-93 PCA ABC
		Esfuerzo y desplazamiento a partir de elementos finitos	Modelo de elementos finitos	Programa
		Resistencia y deformación de losas en método de laboratorio	Modelo de laboratorio Ensayos a flexión	Ensayos en laboratorio

1.7. ALCANCE

En resumen el alcance que tendrá este trabajo es la Valoración técnica del diseño de losas cortas frente al diseño de las losas tradicionales del pavimento de concreto aplicado a la ciudad de Bermejo.

En el primer capítulo, describe de manera general de que se trata la investigación para la Valoración técnica del diseño de losas cortas frente al diseño de las losas tradicionales.

En el segundo capítulo, comprende la parte teórica, donde se detalla las características y efectos de los pavimentos rígidos.

En el tercer capítulo, comprende la parte teórica de la metodología de losas cortas que es objeto de investigación.

En el cuarto capítulo, comprende la aplicación de la metodología de las losas cortas, realizando análisis y comparación al comportamiento entre el dimensionamiento del pavimento rígido convencional y losas cortas.

En el quinto capítulo, se verifica si se cumplió o no con los objetivos planteados en el perfil y las recomendaciones para la correcta ejecución del presente trabajo.

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES DE PAVIMENTOS RIGIDOS Y SUS CARACTERISTICAS

2.1. PAVIMENTO RIGIDO

Son aquellos en los que la losa de concreto de cemento Portland (C.C.P.) es el principal componente estructural, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión, cuando se generan tensiones y deformaciones de tracción de bajo la losa producen su fisuración por fatiga, después de un cierto número de repeticiones de carga. La capa inmediatamente inferior a las losas de C.C.P. denominada sub-base, por esta razón, puede ser constituida por materiales cuya capacidad de soporte sea inferior a la requerida por los materiales de la capa base de los pavimentos flexibles.

Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitaran y del volumen de tráfico.

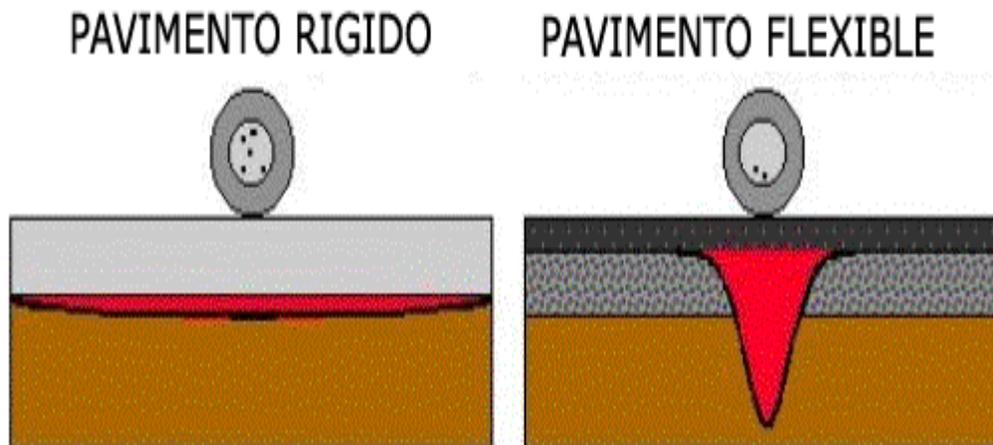
Ante todo se debe conocer que los pavimentos flexibles son aquellos que tienden a deformarse y recuperarse después de sufrir deformación, transmitiendo la carga en forma lateral al suelo a través de sus capas. Está compuesto por una delgada capa de mezclas asfálticas, colocada sobre capas de base y sub-base, generalmente granulares.

En tanto que los Pavimentos Rígidos son aquellos formados por una losa de concreto Portland sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto-resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada.

En función a lo señalado anteriormente; se puede diferenciar que en el pavimento rígido, el concreto absorbe gran parte de los esfuerzos que las ruedas de los vehículos ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores (Base, Sub-base y Sub-rasante).

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. 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 como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Todo lo contrario sucede en los pavimentos flexibles, que al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayor tensiones en la subrasante, como se puede apreciar en la figura 2.1.

Figura 2.1.Esquema Del comportamiento de pavimentos



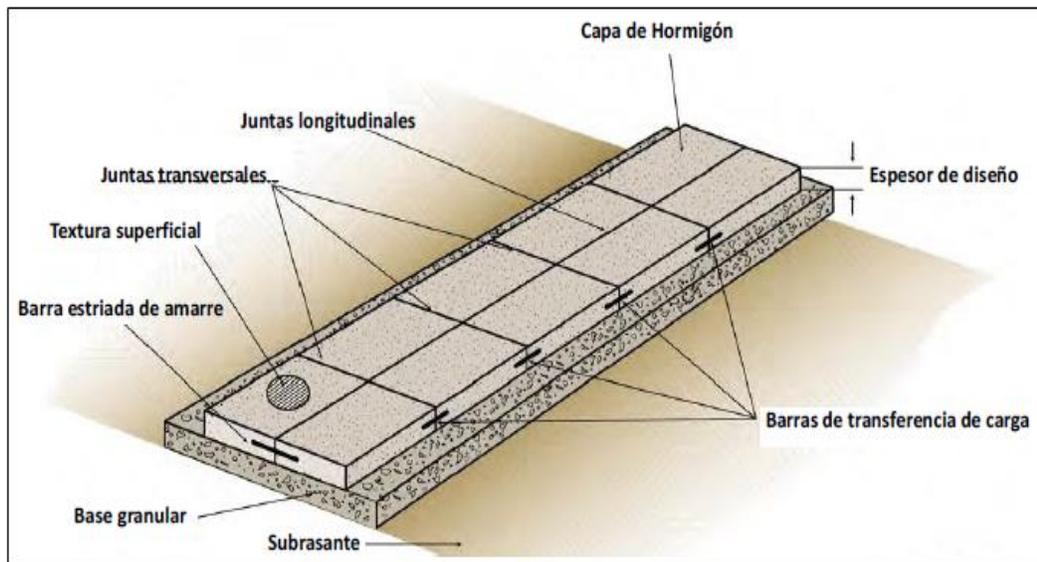
Fuente: pavimentosrigidos.blogspot.com

2.1.1. Capas de un pavimento rígido o concreto

Los pavimentos de concreto cuentan con una serie de capas que se sostienen desde la subrasante hasta la carpeta de rodadura. La calidad de los materiales que conforman las capas va mejorando a medida que se aproximan a la carpeta de rodadura.

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, subbase y la losa de concreto. A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

Figura 2.2. Elementos principales de un pavimento de hormigón



Fuente: adaptado de ACPA PAVEMENT CONSTRUCTION.

a) Subrasante

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta

capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

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.

Es el suelo de cimentación del pavimento pudiendo ser suelo natural, debidamente perfilado y compactado, o material de préstamo, cuando el suelo natural es deficiente o por requerimiento del diseño geométrico de la vía a proyectar.

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular, tales como: GW, GP, SW, SM, ML o incluso SC, siempre que la arcilla no sea de alta plasticidad.

Antes de ser empleado debe ser perfilado y compactado entre el 95 y 100% de la máxima densidad seca obtenida con el ensayo proctor estándar AASHTO T-99.

En el caso de presentar suelo natural conformado por suelos finos y plásticos como CL, MH, CH, CL – ML, con LL entre 50 y 100% se analizará la necesidad de mejorarlos reduciendo su LL para mejorar así el IP.

Si el suelo natural está conformado por suelos tipo MH, CH y OH con LL de 100% será reemplazado por material de préstamo en un espesor mínimo de 30 cm.

b) 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.

Es la capa que está apoyada sobre la subrasante compuesta por materiales granulares de buena gradación. También deberá ser perfilada y compactada entre el 95 y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo proctor estándar. El empleo de subbase implica una mejora en la capacidad de soporte de suelo que se traduce en una reducción del espesor de carpeta de rodadura. Sin embargo, el impacto no es significativo.

El empleo de materiales granulares entre la subrasante y la carpeta de rodadura se debe entender desde el punto de vista de protección de la subrasante ante la pérdida de finos y para hacer más homogéneo el soporte donde se colocará la carpeta de rodadura de concreto.

c) 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.

2.1.2. Funciones de las capas de un pavimento rígido

a) La subbase

La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

Entre otras funciones que debe cumplir son:

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.
- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia del material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua se penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulares a través de las losas.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

b) Losa de concreto

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen. Existe a su vez dos métodos de emplear las losas de concreto para pavimento: método convencional o tradicional y losas cortas.

- Proporcionar una superficie de rodamiento segura y cómoda.
- Soportar las cargas aplicadas por el tránsito y transmitir a la capa de apoyo. esfuerzos cuya magnitud no exceda su capacidad de soporte

- Resiste los efectos abrasivos del tránsito.
- Impedir la penetración del agua superficial.
- Propiedades de deflexión luminosa, importante para la conducción nocturna.
- Desagüe superficial rápido para limitar el espesor de la película de agua.

Figura 2.3. Comparación de tipos de losas mediante la posición de las cargas



Fuente: instituto del cemento y del hormigón (ich), chile 2012.

En la figura 3 se puede observar cómo funciona el método de las losas cortas, en donde su principal función es la reducir los costos de los pavimentos, pues debido a que funciona mejor (estructuralmente) que el concepto tradicional de losas, se prescinde del uso de pasajuntas y sello. Sin embargo, este a su vez dicta ciertos parámetros a seguir como un ancho de juntas no mayor a 2.5mm. El uso de obras de protección que confinen el material y una capa geotextil entre la subrasante y subbase.

c) Subrasante

Funciones que debe cumplir son:

- Constituye la capa superior de la terracería
- Absorber las cargas que la transmiten la sub base y transmitir las a un nivel adecuado al cuerpo del terraplén.

- Absorber cambios volumétricos de las capas inferiores.
- Constituye el elemento de apoyo del pavimento.
- Resiste los esfuerzos transmitidos, en condiciones severas de humedad.

d) Cuerpo del terraplen

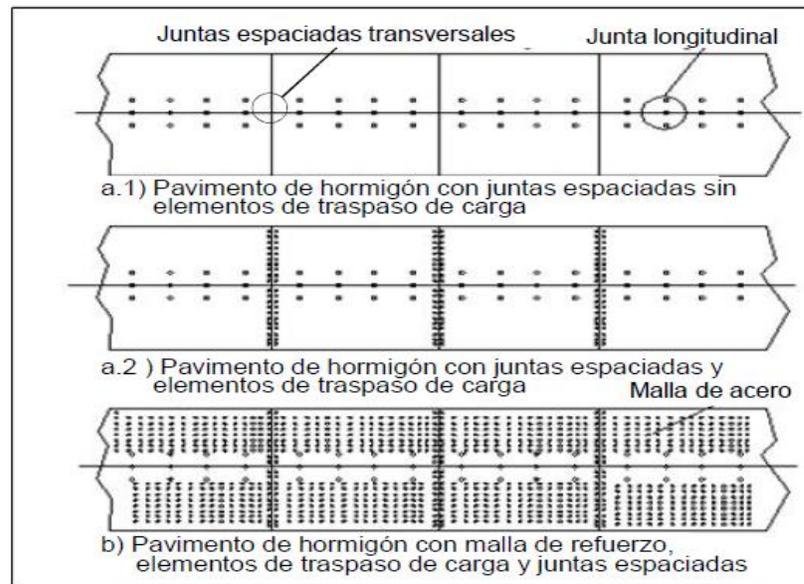
- Proporciona los niveles que requiere la estructura.
- Es de espesor variable y en muchos casos se construye con material del terreno natural.
- Resiste las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos.

2.1.3. Tipos de pavimentos rígidos

Existen diversas formas de usar el hormigón como pavimentos, los que ordenados según menor a mayor costo inicial de construcción, se pueden clasificar en:

- Pavimentos de hormigón simple con juntas espaciadas:
 - Sin elementos de traspaso de carga.
 - Con elementos de traspaso de carga.
- Pavimentos de hormigón con malla de refuerzo, elementos de traspaso de carga y juntas espaciadas.
- Pavimentos de hormigón armado en una o dos direcciones.
- Pavimentos de hormigón armado postensado.

Figura 2.4. Tipos de pavimentos de hormigón



Fuente: ingeniería de carreteras volumen ii

2.1.3.1. Pavimentos de hormigón simple con juntas espaciadas

En este pavimento el concreto u hormigón asume y resiste las tensiones producidas por el tránsito y las variaciones de temperatura y humedad. Este pavimento puede llegar a contener elementos de transferencia de carga, o bien no contenerlos, cada uno con su área aplicación.

En este tipo de pavimentos se requiere realizar juntas de contracción transversal que varían entre 3.5 y 6.0 m. La transferencia de carga entre paños adyacentes se puede dar mediante trabazón de agregados o mediante el empleo de pasadores.

Las juntas inducen el agrietamiento propio del comportamiento del concreto por las tensiones originadas por los cambios de temperatura y humedad. Se recomienda no exceder los 4.5 m.

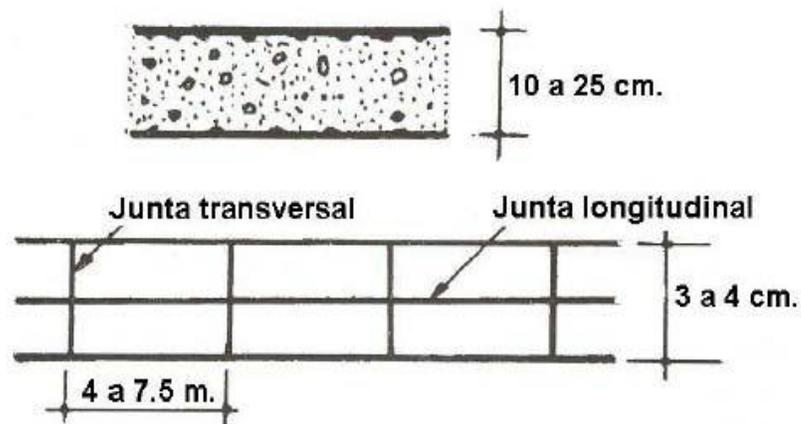
a) Sin elementos de traspaso de carga

Son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas, ésta se logra a través de la trabazón (interlock) de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas.

Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m de largo y 3.5 m de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. Por ejemplo para calles de urbanizaciones residenciales, éstos varían entre 10 y 15 cm, en las denominadas colectoras entre 15 y 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm. En aeropistas y autopistas 20 cm o más.

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan directamente sobre la subrasante.

Figura 2.5. Pavimento de concreto simple sin pasadores



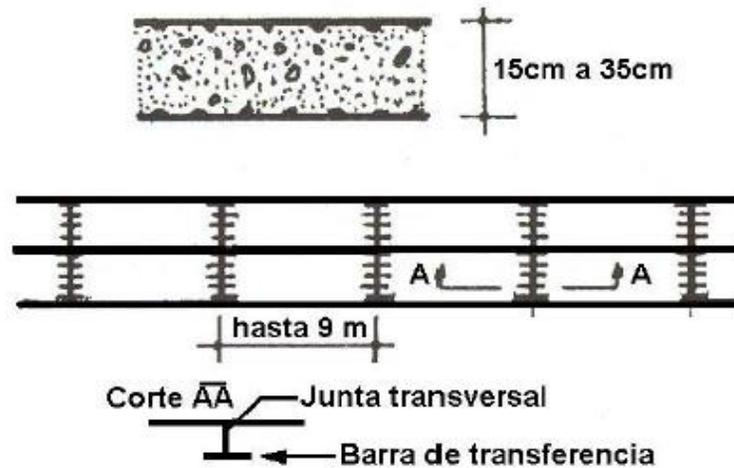
b) Con elementos de traspaso de carga

Los pasadores (dowels) son pequeñas barras de acero liso, que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de

deformación en las juntas. De esta manera, se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamientos).

Según la Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), este tipo de pavimento es recomendable para tráfico diario que exceda los 500 ESALs (ejes simples equivalentes), con espesores de 15 cm o más.

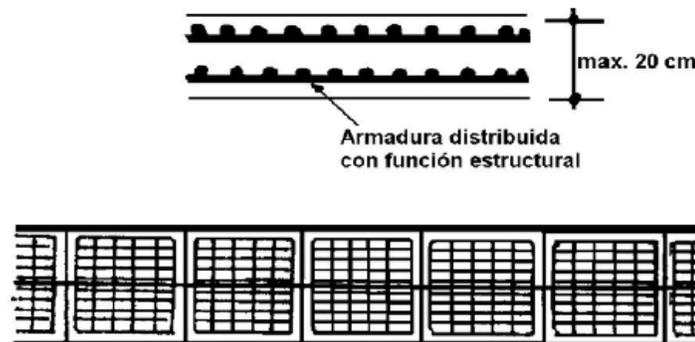
Figura 2.6. Pavimento de concreto simple con pasadores



2.1.3.2. Pavimentos de hormigón con malla de refuerzo, elementos de traspaso de carga y juntas espaciadas

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero electrosoldado. El objetivo de la armadura es mantener las grietas que pueden llegar a formarse bien unidas, con el fin de permitir una buena transferencia de cargas y de esta manera conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural.

Figura 2.7. Pavimento de concreto reforzado

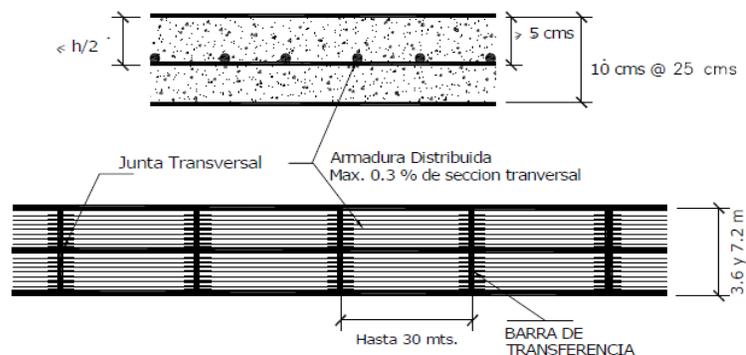


2.1.3.3. Pavimentos de hormigón armado en una o dos direcciones

a) Con Refuerzo de Acero no estructural

El refuerzo no cumple función estructural, su finalidad es resistir las tensiones de contracción del concreto en estado joven y controlar los agrietamientos. Tienen el refuerzo de acero en el tercio superior de la sección transversal a no menos de 5cm. Bajo la superficie. La sección máxima de acero es de 0.3% de la sección transversal del Pavimento.

Figura 2.8. Detalle método constructivo Del refuerzo

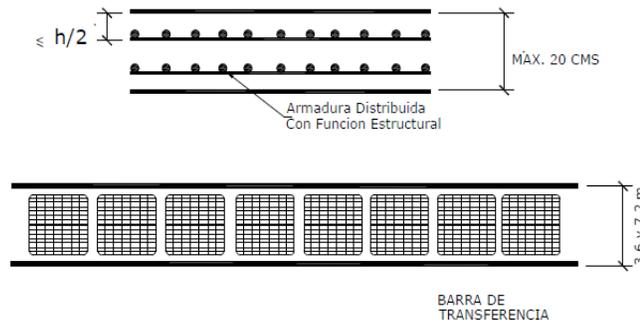


b) Con Refuerzo de Acero estructural

El refuerzo de acero asume tensiones de tracción y compresión, por lo que es factible reducir el espesor de la losa hasta 10 o 12 cm.

Su aplicación principal es en Pisos Industriales y losas que resisten cargas de gran magnitud.

Figura 2.9. Detalle método constructivo de refuerzo estructural



2.1.3.4. Pavimentos de hormigón armado potenzado

Su desarrollo es limitado, las primeras experiencias de este tipo de pavimentos fueron en pavimentos para Aeropuertos.

El diseño trata de compensar su costo vrs reducción del espesor, este tipo de pavimento presenta problemas en su ejecución y mantenimiento.

2.2. PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO RIGIDO

Sobre el pavimento de hormigón recae la responsabilidad estructural y funcional, mientras que las capas inferiores tienen por misión asegurar su apoyo uniforme y estable. El espesor de la losa de hormigón puede ser inferior a 20 cm si el tráfico es muy ligero o llegar a 40 cm en algunas pistas de aeropuertos. El hormigón construido por áridos adecuados, 300-350 kg/m³ de cemento, una relación agua/cemento relativamente baja y aditivos necesarios, se fabrica, transporta, extiende, compacta y cura para conseguir un material homogéneo, resistente a la fatiga por flexión, al desgaste por el tráfico y los eventuales efectos de la helada y de las sales fundentes que puedan emplearse. Se examina a continuación sus características más relevantes.

2.2.1. Rigidez del pavimento

Los hormigones tienen un comportamiento, bajo las acciones del tráfico, fundamentalmente elástico; incluso en condiciones severas de tráfico pesado, intenso y lento y elevadas temperaturas, no experimentan deformaciones viscoplasticas. Con un módulo de Young que fácilmente supera los 40000 MPa y los espesores de losa indicados, los pavimentos de hormigón son estructuras muy rígidas con una gran capacidad de disipación de las tensiones verticales producidas por las cargas: la tensión máxima que le llega al apoyo es solo una pequeña fracción de la presión del contacto. El pavimento no precisa, por tanto, de una base con la misma función que en un firme flexible, sino de un apoyo uniforme y resistente a la erosión, tanto bajo el tráfico de obra como servicio.

Las mismas consideraciones, aunque sea a menor medida, son aplicables al cimiento. Su capacidad de soporte influye menos en el dimensionamiento de la estructura del firme que en

2.2.2. Sensibilidad y agentes externos

Los pavimentos de hormigón no se ven afectados por eventuales depósitos de aceites y combustibles en su superficie, ventaja que puede tener importancia en estacionamientos y en rampas. En zonas sometidas a heladas y cuando se prevea el empleo de sales fundentes en invierno, sea necesario incorporar al hormigón un aireante y asegurarse de una efectividad presencia de aire ocluido.

2.2.3. Características superficiales

La resistencia al deslizamiento se puede conseguir empleando una proporción apreciable de una arena silíceo y dando al hormigón fresco una textura superficial adecuada mediante el arrastre de una arpillera y posterior cepillado, estriado o ranurado. Otras texturas, más parecidas a la de los pavimentos bituminosos, son las obtenidas por la incrustación de gravillas no pulimentables en el hormigón fresco (engravillado) o por eliminación del mortero superficial (denudación) al que se le impide fraguar mediante un riego de agua con sacarosa. Se ha comprobado que, a

igualdad de coeficiente de rozamiento, las texturas longitudinales dan lugar a unos niveles sonoros relativamente reducidos.

La calidad de la rodadura viene marcada por la regularidad superficial obtenida. En ella influyen factores tales como la puesta a punto de la pavimentadora y de sus elementos de acabado, la homogeneidad del hormigón, del camino de rodadura de la maquinaria, los elementos de guiado y la regularidad del ritmo de la puesta en obra.

2.2.4. Durabilidad

La resistencia mecánica del hormigón aumenta con el tiempo y, si el proyecto del pavimento ha sido correcto, su índice de servicio disminuye lentamente. La fatiga a flexión del hormigón es la que determinara finalmente el agrietamiento generalizado del pavimento y la necesidad de su esfuerzo o reconstrucción. En este fenómeno influyen factores tales como el espesor de la losa, la resistencia a flexo tracción del hormigón, la intensidad y el número de aplicaciones de las cargas, el clima, la forma y las dimensiones de las losas y las condiciones de su base de apoyo.

2.2.5. Apertura a la circulación

En general, la apertura a la circulación ordinaria no debe realizarse antes de siete días de la terminación del pavimento. La apertura al tráfico de obra requiere por su parte que la resistencia alcanzada por el hormigón sea al menos el 80 por 100 de la exigida a 28 días. La limitación de plazo no suele ser relevante en obras nuevas, dado que las tareas de terminación, señalización y obras auxiliares suelen durar más tiempo, pero así tiene una incidencia fundamental en obras de refuerzo o reconstrucción de vías existentes con tráfico de difícil o imposible desvío. Para este fin se han desarrollado los pavimentos denominados *fast-track* o de apertura rápida al tráfico con los que, gracias al empleo de un hormigón superplastificado de muy alta resistencia inicial, se puede reducir el plazo a 6- 24 horas.

2.2.6. Conservación y rehabilitación

Un pavimento de hormigón correctamente proyectado y construido requiere poca conservación: eventual sellado de juntas y grietas, reconstruyen de alguna losa, restauración de la macrotextura, etc. Estas operaciones se han simplificado notablemente gracias al empleo de nuevo materiales (resinas sintéticas, hormigones supe plastificados, tratamientos superficiales) y de pequeñas herramientas específicas (serradoras, fresadoras, escarificadoras).

2.3. DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO RIGIDO

2.3.1. Pavimentos de cemento portland método aashto-93

2.3.1.1. Variables de entrada

a) variables de tiempo

Periodo de Análisis: Es el tiempo total que cada estrategia de diseño debe cubrir (establece al inicio). El periodo de análisis comprende varios periodos de vida útil.

TIPO DE CAMINO	PERIODO DE ANÁLISIS
Gran Volumen de tránsito urbano	30-50 años
Gran volumen de tránsito rural	20-50 años
Bajo volumen pavimentado	15-25 años

Vida Útil: Es el periodo que media entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento que éste alcanza un grado de serviciabilidad mínimo.

b) Confiabilidad o nivel de confianza

Confiabilidad es la posibilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil, bajo las condiciones de carga e intemperismo que tienen lugar en ese lapso de tiempo.

Para una construcción por etapas (vida útil < periodo de análisis) se debe componer las confiabilidades de cada etapa para tener la confiabilidad en todo el periodo de diseño, por tanto:

$$R_{etapa} = (R_{total})^{1/n} \quad n = \text{No. de etapas previstas}$$

Cuadro 2.1. Niveles de Confiabilidad Recomendadas por AASHTO

Tipo de camino	Confiabilidad Recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas Interdepartamentales y autopistas	85-99,9	80-99,9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	89-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: guide for desing of pavement structures, aashto 1993

c) Desviación estándar y factor de desviación normal

La curva de diseño propuesta por la AASHTO, de acuerdo a los resultados obtenidos en sus ramos experimentales, no coincide con la curva del comportamiento real del pavimento, a pesar de tener la misma forma, debido a errores asociados a la ecuación de comportamiento propuesta y a la dispersión de la información utilizada en el dimensionamiento del pavimento. Los resultados del diseño para el nivel de confianza elegido deberán ser corregidos utilizando un factor de corrección, que representa la desviación estándar y evalúa los datos dispersos que configuran la curva real de comportamiento del pavimento.

Los factores de desviación normal (ZR) se muestran en la siguiente tabla:

Cuadro 2.2. Desviación Normal de la Confiabilidad

Confiabilidad	Zr
50	0
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
95	-1,645
99	-2,327

Fuente: Guía para el Diseño y la Construcción de Pavimentos Rígidos. Ing. Aurelio Salazar Rodríguez, 1998.

d) Índice de serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Tiene un rango de calificación de 1 a 5. Cuando la evaluación del índice de serviciabilidad se realiza a través de la inventariación de fallas, se utiliza la ecuación matemática siguiente:

$$p = 5.41 - 1.80 \log[1 + S_v] - 0.09 [C_r + P]^{0.5}$$

Donde:

S_v =Variación de las cotas de la rasante en sentido longitudinal en relación a la rasante inicial (Rugosidad en sentido longitudinal).

C_r =Longitud de las grietas principales, selladas o abiertas, expresada en pies lineales por cada 1000 pies² de pavimento.

P =Área bacheada en pies² por cada 1000 pies² de pavimento.

El Índice de Servicio Inicial p_0 representa la condición inicial del pavimento, por lo tanto este valor depende del diseño y de la calidad de la construcción, irá disminuyendo con el transcurso del tiempo hasta llegar a un índice de servicio final p_t , que corresponde a un estado límite capas de ser tolerado, antes de que el pavimento sea rehabilitado, mediante un refuerzo o una reconstrucción.

e) Tránsito

Al igual que en pavimentos flexibles el tránsito es transformado a un número de pasadas de ejes tipo de 18 kips (80 kN), denominado ESALs (equivalent simple axial load), a través de los factores de carga LEFs (load equivalent factor), determinados por la AASHTO, cuyo valor se determina en función de un espesor de losa estimado al principio.

Además para el cálculo del tránsito se consideran: el factor de crecimiento [FC], el factor direccional [Fd] y el factor de carril [FC], cuyos valores son iguales a los usados para pavimentos flexibles.

f) Módulo de reacción de la subrasante

Para determinar el Módulo de Reacción de la Subrasante, el método recomienda, inicialmente, determinar los valores característicos del Módulo Resiliente para todos los meses del año, con el fin de evaluar los cambios de humedad que sufre la subrasante y la sub-base en las diferentes estaciones del año, los cuales producen cambios en su capacidad de resistencia.

En base a los valores del Módulo Resiliente de la subrasante y a valores estimados del Módulo Elástico de la sub-base, suponiendo un espesor infinito de la subrasante, (lo cual significa que la capa rígida se encuentra a más de 3 m de profundidad), se determina el valor del módulo de reacción “K” por efecto combinado de la subrasante y la sub-base, utilizando el ábaco.

g) Pérdida de soporte “LS”

Durante la vida de servicio del pavimento la inmersión de las aguas de lluvia a través de las juntas ocasionará la pérdida de finos, lo cual producirá la erosión de la sub-base. La pérdida de soporte ocasionada por efecto de erosión de la sub-base o por movimientos diferenciales verticales del suelo, se evalúa mediante el factor de pérdida de soporte LS, cuyo valor numérico reduce el valor del coeficiente de reacción de la subrasante. Los valores sugeridos por el método para este factor se muestran:

2.3.1.2. Procedimiento para calcular el espesor de losa

El espesor de losa, que corresponde a las condiciones de diseño, se puede calcular resolviendo la ecuación planteada por el método, o mediante el uso del ábaco que proporciona la AASHTO, o mediante programas de computación.

Ecuación para el cálculo del espesor de losa

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7,35 \lg(D+1) - 0,06 + \frac{\lg \frac{\Delta PSI}{4,5-1,5}}{1 + \frac{1,625 \cdot 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 p_t) * \lg \frac{S'_0 C_d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J \left(D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{K} \right)^{0,25}} \right)}$$

W_{18} = Tránsito estimado para el periodo de vida útil en ejes equivalentes de 18 kips (80 kN) “ESALs”

Z_R = Factor de desviación Normal para el nivel de confiabilidad R

S_0 = Desvío estándar de todas las variables

D = Espesor de la losa en pulgadas

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

P_t = Serviciabilidad final

S'_0 = Módulo de rotura del hormigón en (psi)

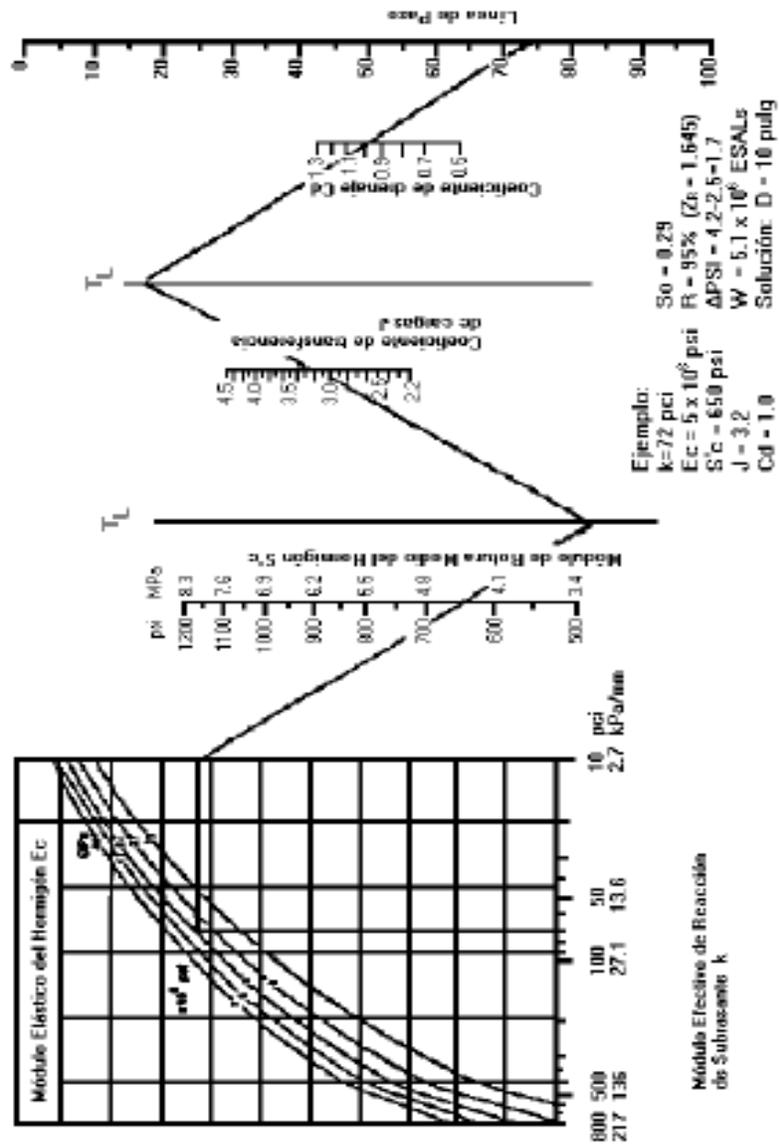
J = Coeficiente de transferencia de cargas

C_d = Coeficiente de drenaje

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón en (psi)

K = Módulo efectivo de reacción de la subrasante (psi/pulg)

Figura 2.7. Ábaco de diseño para pavimentos rígidos.



Fuente: guide for design of pavement structures, aashto, 1993.

2.3.2. Pavimentos de cemento portland método PCA-98

El Método de Diseño de la Asociación del Cemento Portland de los Estados Unidos “PCA”, considera dos criterios de análisis, por fatiga y por erosión:

CRITERIO POR FATIGA: Establece que los esfuerzos inducidos a las losas de hormigón deben mantenerse dentro de límites aceptables.

CRITERIO DE EROSIÓN: Tiene la finalidad de controlar los efectos de la deflexión del pavimento en las zonas críticas, como orillas y esquinas, provocados por la erosión de la capa de apoyo en estos sectores, además de limitar el agrietamiento en zonas de juntas.

Un pavimento sometido a tráfico pesado puede fallar por fenómenos de bombeo (pumping), erosión de la base y escalonamiento de las juntas, antes que por la fatiga que produce la repetición de cargas.

2.3.2.1. Factores de diseño

a) Tránsito

Representa el número de ejes que pasan por el carril de diseño, clasificado por tipo y carga por eje. Para su cálculo se toman en cuenta los parámetros siguientes:

- La distribución de pesos por eje, por cada 1.000 vehículos.
- Las tasas de crecimiento.
- Los factores de distribución del tránsito pesado en el carril de diseño.

Los valores del tránsito promedio diario anual T.P.D.A. deben ser afectados por el factor de distribución por carril, por el factor direccional y por el factor de crecimiento. Para el crecimiento del tráfico se usan los factores de crecimiento, teniendo en cuenta que el factor de crecimiento se ve afectado por:

- Impacto de obra nueva: el tránsito se desviará a la nueva ruta, cuando se conozcan las facilidades y la seguridad que ofrece su pavimento.
- Crecimiento normal de usuarios: que corresponde al crecimiento normal producido por el aumento de la población y del parque automotor.

- Tránsito inducido: es el que se genera por la recomendación y la propaganda que realizan los usuarios regulares de la nueva carretera.
- Tránsito nuevo generado: es el que se origina en la nueva redistribución del uso del suelo, producida por la construcción de la nueva vía.

b) Factor de crecimiento

El método de la PCA considera un crecimiento de tráfico constante, con un tránsito promedio que corresponde a la mitad del periodo de diseño. En la tabla siguiente se registran los valores del factor de crecimiento para periodos de diseño de 20 y 40 años, y tasas de crecimiento anual del 1 al 6%.

Cuadro 2.3. Factores de Crecimiento FC

Tasa de Crecimiento Anual (%)	Periodo de Diseño	
	20 años	40 años
1,0	1,1	1,2
1,5	1,2	1,3
2,0	1,2	1,5
2,5	1,3	1,6
3,0	1,3	1,8
3,5	1,4	2,0
4,0	1,5	2,2
4,5	1,6	2,4
5,0	1,6	2,7
5,5	1,7	2,9
6,0	1,8	3,2

Fuente: Guía para el Diseño y la Construcción de Pavimentos Rígidos. Ing. Aurelio Salazar Rodríguez, 1998

2.3.2.2. Resistencia del concreto

Al igual que el método AASHTO, el de la PCA utiliza la resistencia a la flexión a los 28 días. Es importante aclarar que en el caso del tránsito pesado no gobierna la resistencia del concreto sujeto a fatiga, si no es que el diseño está regido por el criterio de erosión.

En el caso de tránsito medio, el factor de resistencia solo influye en caso de que se usen pasa juntas en las juntas transversales. Finalmente en el caso de tráfico liviano el factor determinante para el diseño es la fatiga.

Generalmente el diseño de pavimentos de concreto se realiza utilizando la resistencia a la flexión a los 28 días, sin embargo se debe considerar que el concreto aumenta su resistencia con la edad, por ejemplo el incremento de resistencia de los 28 días a los 90 días puede ser de 1,13 a 1,25%. Por esta razón algunos proyectistas utilizan la resistencia la flexión a los 90 días.

2.3.2.3. Módulo de reacción de la subrasante

La calidad del suelo que conforma la subrasante es un factor de relativa importancia en el diseño de espesores de un pavimento de hormigón. Esta, usualmente, se caracteriza por el módulo de reacción de la subrasante K , que representa la presión de una placa circular rígida de 76 cm de diámetro dividida por la deformación que dicha presión genera. Su unidad de medida es el kg/cm^3 . Si no es posible realizar el ensayo correspondiente, generalmente se calcula correlacionándolo con otro tipo de ensayo más rápido, tal como el ensayo CBR. Para fines prácticos se proponen las siguientes categorías de subrasante:

Cuadro 2.4. Categoría de subrasante

Categoría Subrasante	Clasificación U.S.C.S.	Clasificación AASHTO	CBR (%)	K (kg/cm^3)
a.) Muy buena	GW, GP, GM, GC	A1-a, A1-b	> 25	> 8
b.) Buena	SC - SM	A2-6, A2-7	6 a 25	4 a 8
c.) Deficiente	ML, CL, MH, CH, OH, OL	A-5, A-6, A7-5, A7-6	2 a 6	2 a 4

Fuente: Guía para el Diseño y la Construcción de Pavimentos Rígidos. Ing. Aurelio Salazar Rodríguez, 1998.

2.3.2.4. Módulo de reacción de la sub-base

El soporte combinado de la sub-base y la subrasante produce un incremento en el módulo de reacción K , el cual depende del espesor adoptado de sub-base y de los materiales elegidos para su construcción, pudiendo ser sub-base granular sin tratar, o

sub-base de materiales estabilizados. Se presentan los valores corregidos del módulo de reacción del terreno, para diferentes espesores y tipos de sub-bases.

Cuadro 2.5. Efecto de las sub-bases granulares sobre los valores de K

K Subrasante (MPa/m)	K Sub-base (MPa/m)			
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
16	19	22	27	33
24	27	31	37	45
30	34	38	44	54
34	38	42	49	59
38	42	46	53	65
41	45	50	56	69
44	48	53	60	72
47	52	56	63	76
49	54	58	65	79
51	56	60	67	81
53	58	62	69	84
54	59	63	70	85
56	61	65	72	87
57	62	66	73	88
59	64	68	75	91
60	65	69	76	92
61	66	70	77	93
62	67	71	78	94
63	68	73	79	96

Fuente: guía para el diseño y la construcción de pavimentos rígidos. ing. Aurelio Salazar rodríguez, 1998

2.3.2.5. Criterio de fatiga

Las curvas de diseño están elaboradas en función de las repeticiones permisibles y la relación de esfuerzos.

Si un grupo de cargas no consume la totalidad de fatiga permisible, el remanente estará disponible para los otros grupos, teniendo cuidado de que la sumatoria de todos los consumos de fatiga nunca sea mayor a 100%.

En este método los esfuerzos por fatiga se determinan en las orillas, de manera que los pavimentos sin acotamiento tendrán mayores concentraciones de esfuerzos; por este

motivo la PCA presenta dos tablas para obtener los esfuerzos equivalentes, que resultan ser los esfuerzos de orilla multiplicados por un factor igual a 0,894.

2.3.2.6. Criterio de erosión

Además de limitar el número de repeticiones de las cargas, para evitar que los esfuerzos flexionantes ocasionen agrietamientos por fatiga, es necesario verificar que no se produzca erosión debajo de las losas. Esto ocurre cuando se reblandece la capa de apoyo o sub-base como consecuencia del ingreso de agua a través de las juntas y grietas, y cuando el suelo tiene un alto contenido de finos. Esta deficiencia se presenta principalmente en pavimentos sin pasajuntas.

2.4. JUNTAS EN PAVIMENTOS

En las losas de un pavimento rígido se presentan diversas clases de esfuerzos. Los más elevados son generados por la circulación de los vehículos sobre ellas, los cuales se controlan con el correcto diseño del espesor de las losas, con la selección adecuada de la resistencia del concreto y con una calidad en la construcción tal que las propiedades determinadas durante el diseño se cumplan.

Otros esfuerzos generados en el pavimento se deben a los movimientos de contracción o expansión del concreto y a las diferencias en la temperatura, o en la humedad, entre la superficie y el apoyo de la losa. Estos esfuerzos se controlan con una adecuada selección de las dimensiones superficiales de las losas, en otras palabras, diseñando las juntas del pavimento.

Las juntas transversales y longitudinales, se construyen para impedir que se presente fisuración del pavimento.

Además, los análisis de los esfuerzos generados en las losas, por cargas colocadas, en diferentes posiciones, han demostrado que estos son mayores en las cercanías de los bordes de las losas y, aun más, en sus esquinas, de lo cual se concluye que las juntas inducen en el pavimento rígido unas zonas de debilidad relativa, por lo que en su

concepción se deben diseñar los mecanismos o tomar las precauciones necesarias para mantener su integridad estructural.

2.4.1. Finalidad de las juntas

Las juntas en los pavimentos de concreto son necesarias por las siguientes razones:

- **Por requisitos de construcción.** Lo más frecuente es construir los pavimentos rígidos por carriles, generándose juntas longitudinales, con una separación determinada mediante un diseño realizado con criterios técnicos.

Además de la junta longitudinal descrita, se presentan juntas de construcción transversales, cuando se suspenden las labores de colocación de concreto, bien sea por la finalización de la jornada laboral, por alguna interrupción en el suministro del material o por averías en algunos de los equipos empleados para su producción, transporte o colocación.

Pero esa interrupción debe ser tan larga como para que el concreto ya colocado haya alcanzado su fraguado final. El tiempo en que esto sucede depende de las propiedades del concreto, del empleo o no de aditivos retardantes y de las condiciones climáticas.

- **Retracción del concreto.** El concreto al endurecer ocupa menos volumen que cuando está fresco, debido fundamentalmente a las reacciones de la hidratación que ocurre durante el fraguado y, en forma secundaria, al enfriamiento producido por el desprendimiento de calor originado en dicha reacción.

La retracción lineal de un elemento de concreto es tanto mayor cuanto menor sea la relación entre su volumen y su área superficial, en el caso de las losas de un pavimento esta relación es muy pequeña, debido al bajo espesor de ellas comparado con su superficie y, por lo tanto, se presenta una retracción longitudinal considerable.

- **Dilatación térmica.** El aumento de temperatura en el concreto ocasiona, en ausencia de restricciones, un incremento en su volumen; y por ser las losas del

pavimento elementos de poco espesor en relación con su área superficial, este aumento de volumen es más notorio es su dimensión longitudinal. Si existe confinamiento (es decir, si se impide el aumento de longitud), se introducen necesariamente esfuerzos de compresión, los cuales, aunque son bien resistidos por el concreto, tienen efectos secundarios perjudiciales, como producir alabeo en las placas e introducir esfuerzos en las estructuras colocadas dentro del pavimento.

- **La aparición de fisuras.** Por alabeo tienen su origen cuando el concreto se ha endurecido, y se somete a los cambios diarios de las condiciones climáticas, entonces se inducen esfuerzos debido a los gradientes de humedad y temperatura. En un día caluroso, la superficie del pavimento tiene mayor temperatura que su apoyo, obligando a las losas a levantarse en el centro y apoyarse en los extremos, lo que produce esfuerzos que pueden generar nuevas fisuras.

Para minimizar el efecto de la dilatación térmica de las losas de concreto se han desarrollado las juntas de expansión, que son discontinuidades transversales en las losas, con una separación suficiente como permitir el movimiento longitudinal de estas.

2.4.2. Elementos de la junta

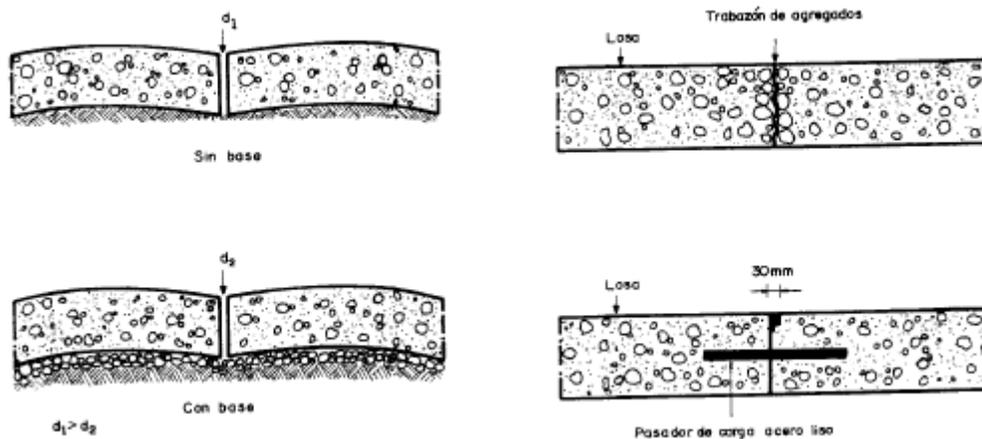
Las principales funciones que debe cumplir una junta son:

- Localización adecuada, de tal manera que se controle eficazmente el agrietamiento potencial causado por cualquiera de los factores descritos.
- Transmisión adecuada de las cargas a la losa adyacente, con el fin de evitar fallas por deformaciones excesivas o pérdidas en la calidad del rodamiento.
- Protección adecuada de la subrasante contra el agua, la junta debe ser impermeable, tal manera que el agua no pueda infiltrarse a través de ella.

De acuerdo con esta función las juntas deben estar provistas de lo siguiente:

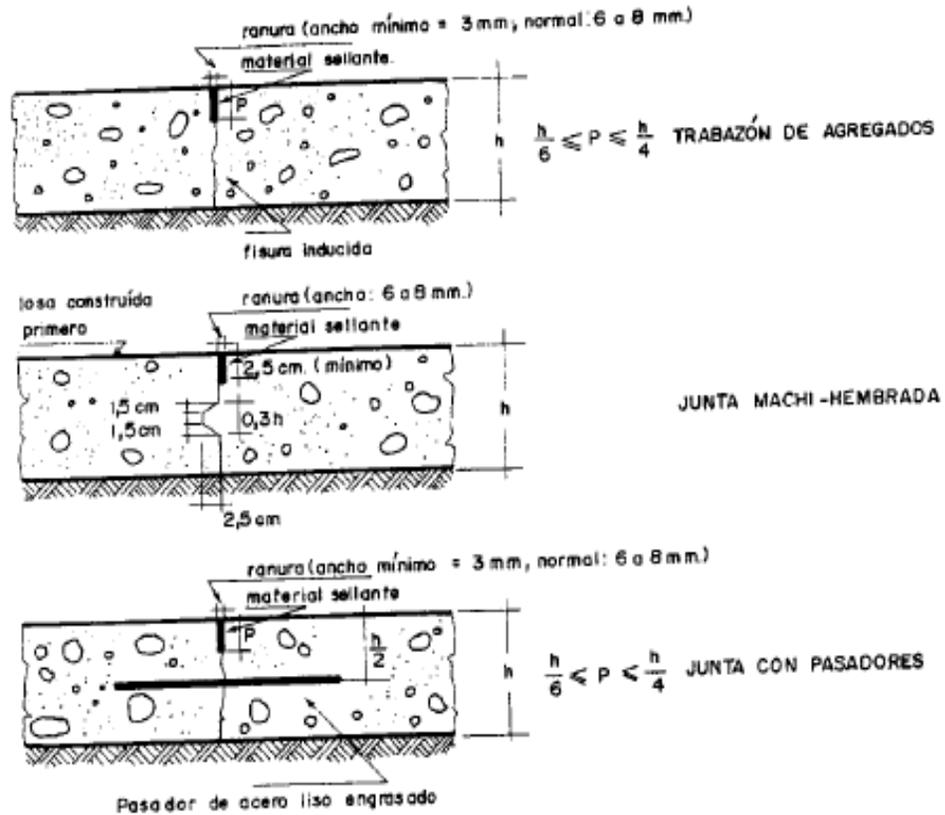
Un mecanismo de transmisión de carga. Los mayores esfuerzos en las losas de concreto, generados por la circulación de los vehículos, se presentan en las esquinas; pero lo más frecuentes y los que generalmente controlan el diseño del espesor son los de borde. Los sistemas de mecanismo de transferencia de carga, los cuales se explicaran a continuación:

Figura 2.11. Sistema de transferencia de cargas



- Pasadores:** En condiciones de tráfico pesado y/o clima severo, es necesario complementar la eficiencia de la trabazón de los agregados mediante el empleo de barras de acero liso, denominadas pasadores, que conectan entre si las losas separadas por juntas. Este tipo de mecanismo transmite tanto fuerzas de cizalladura como momento flector, pero debe permitir el libre movimiento horizontal de las losas, por lo cual al menos una mitad del pasador debe engrasarse, a fin de evitar su adherencia con el concreto que lo rodea.

Figura 2.12. Mecanismo de transmisión de carga y sellado de las juntas



- **Trabazón de agregados.** Cuando se produce la ruptura de la sección del pavimento debido a una reducción en el espesor de la losa (por corte a edad temprana), por una hendidura sobre el concreto fresco, o por una fisura espontánea (debido a un retraso en la ejecución de los cortes o a un incorrecto diseño de la disposición de las juntas), se presenta transmisión de cargas entre los tramos de losa a las losas vecinas, debido a la trabazón de agregados, siempre y cuando la fisura no tenga un ancho superior a un milímetro.

2.4.2. Tipos de juntas

2.4.2.1. Juntas transversales de contracción

Son juntas construidas transversalmente al eje central de la vía y espaciadas para controlar la fisuración transversal de la losa.

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

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

Donde:

ρ = Radio de rigidez relativa (pulgadas)

E = módulo de elasticidad del hormigón (psi)

h = Espesor del pavimento (pulgadas)

μ = relación de Poisson del pavimento

k = módulo de reacción de la subrasante (pci)

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

El intervalo de juntas se diseña para evitar fisuras transversales intermedias. Usualmente, el espacio entre juntas no debe ser mayor a 24 veces el espesor de la losa.

Es importante también mantener las losas lo más cuadradas posibles. El espaciamiento entre juntas transversales tampoco debe exceder en 1.25 al ancho de la losa.

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

2.4.2.2. Juntas transversales de construcción

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

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

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

2.4.2.3. Juntas longitudinales

Son aquellas que van paralelas al eje central de la vía, controlan la fisuración y en algunos casos delimitan las líneas de tráfico.

Cuando se realiza el vaciado en una sola pasada de dos o más carriles, la transferencia de carga generalmente se produce por la trabazón mecánica de los agregados que se origina en la junta después del corte, sin embargo, se recomienda además el colocado de barras corrugadas, diseñadas en base a las recomendaciones de la Guía de Diseño AASHTO o más fácilmente con el software DIPAV. Aunque el tiempo de corte no es tan crítico como en las juntas transversales, es conveniente efectuarlo tan pronto como sea posible especialmente cuando existen subbases estabilizadas u ocurren cambios de temperatura muy bruscos.

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

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

2.4.2.4. Juntas de separación y expansión

Son construidas para permitir el movimiento de las losas sin dañar pavimentos adyacentes, intersección de calles, estructuras de drenaje, puentes y otras estructuras fijas.

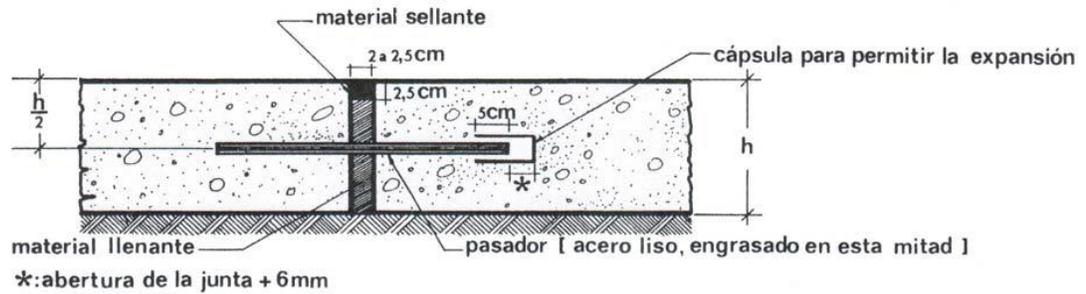
Existen dos tipos de juntas de expansión, dependiendo su necesidad de empleo.

El primer tipo es la junta con barras lisas para transferencia de cargas, cada una de las cuales está provista en uno de sus extremos de un capuchón, que permite que las barras se muevan libremente por expansión y contracción.

Debido a que estas juntas tienen una separación de 2 cm o más, requieren la presencia de un material de relleno preformado, constituido por un material flexible, no extraíble

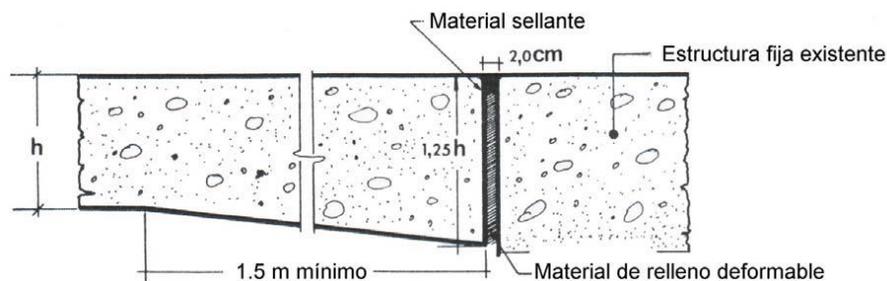
y no absorbente, cubriendo todo el ancho y espesor de la losa, por debajo de 2.5 cm debajo de la superficie, finalmente se colocará el sello que deberá ser compatible con el relleno preformado.

Figura 2.13. Junta de expansión tipo 1



El otro tipo de junta de expansión es aquella que no tiene dispositivos de transferencia de cargas, el espesor de la losa se incrementa gradualmente en un 25 % en el último metro y medio, para reducir los esfuerzos en la junta como se muestra en la imagen 6. En lo que respecta al sello, se siguen las mismas recomendaciones descritas para el primer tipo de junta de expansión. Generalmente este tipo de juntas se construye cuando se tiene una estructura fija rígida tal como un puente en el que no se ha previsto el colocado de barras pasajuntas con anterioridad.

Figura 2.14. Junta de expansión tipo 2



CAPITULO III

METODOLOGIA DEL PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS CON LOSAS CORTAS

3.1. DEFINICION DE LOSAS CORTAS

Son losas de dimensiones menores a las convencionales en pavimentos rígidos, que al reducir su dimensión y distribuir las cargas en varias losas, genera también una reducción del espesor de las mismas.

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

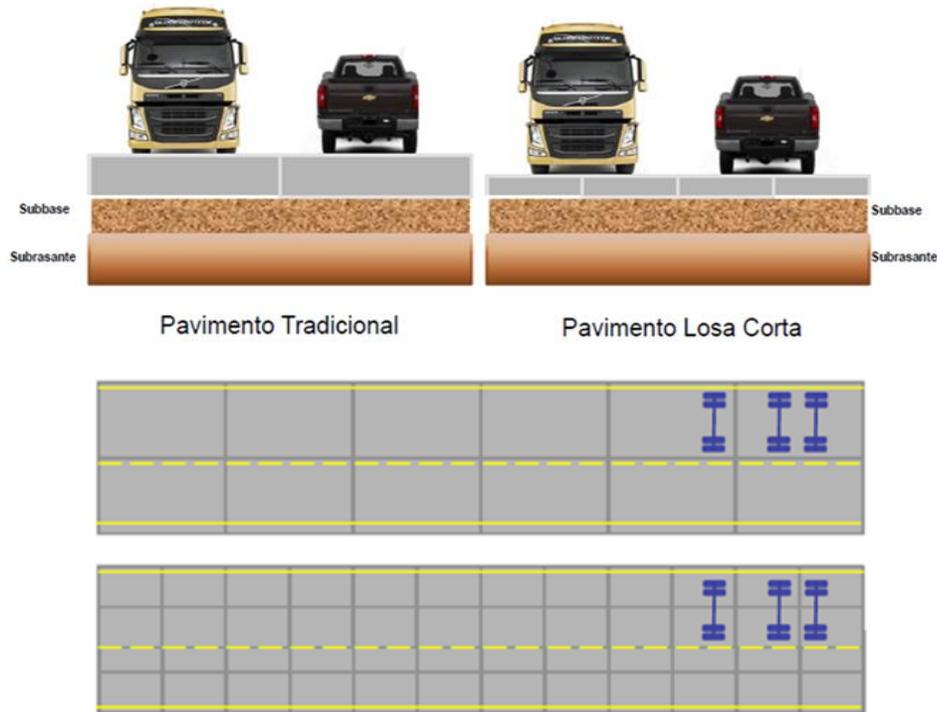
Ventajas del uso de la tecnología de losas cortas

- Reducción del espesor de la losa: Sustanciales ahorros.
- No necesita barras de transferencia de cargas: reducción adicional de costos.
- Las juntas no están supuestas a sellarse: reducción adicional de costos.
- Reparaciones requieren menor tiempo.

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

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

Figura 3.1. Pavimentos de hormigón tradicionales Vs pavimentos de losas cortas



Fuente: Covarrubias, 2007

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

3.2. FUNCIONAMIENTO DE LOSAS CORTAS

3.2.1. Diseño de losas cortas

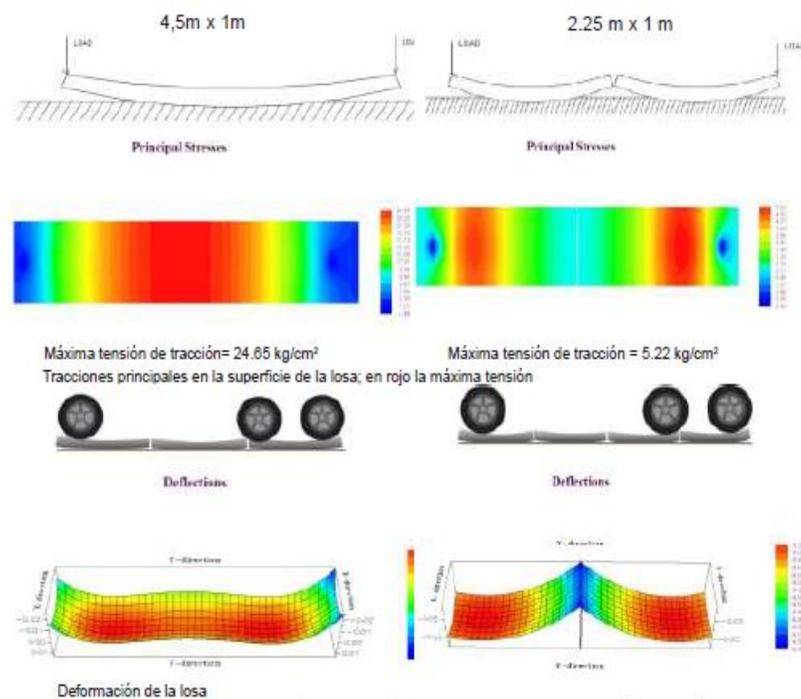
Las losas cortas tienen tres aspectos fundamentales incluidos en sus parámetros de diseño: Las tensiones y los alabeos en las losas de concreto, la configuración de las cargas para el análisis de las tensiones y el efecto de la rigidez de la base.

3.2.1.1. Tensiones y alabeos en las losas de concreto

Según Covarrubias, normalmente los pavimentos de concreto 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 presenta alabeo 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, las fuerzas de tracción se reducen significativamente en la losa. Las tensiones y deformaciones como se muestra en la Figura 3.2. se basan en un espesor de 20 cm de concreto, 1500 kg de carga, y un diferencial de -15°C de temperatura.

Figura 3.2. Comparación de la tensión de tracción de una losa cargada mecánicamente y térmicamente entre una de 4,5m y 2.25, de longitud.



Fuente: adaptado de diseño de losas de hormigón con geometría optimizada, 2012

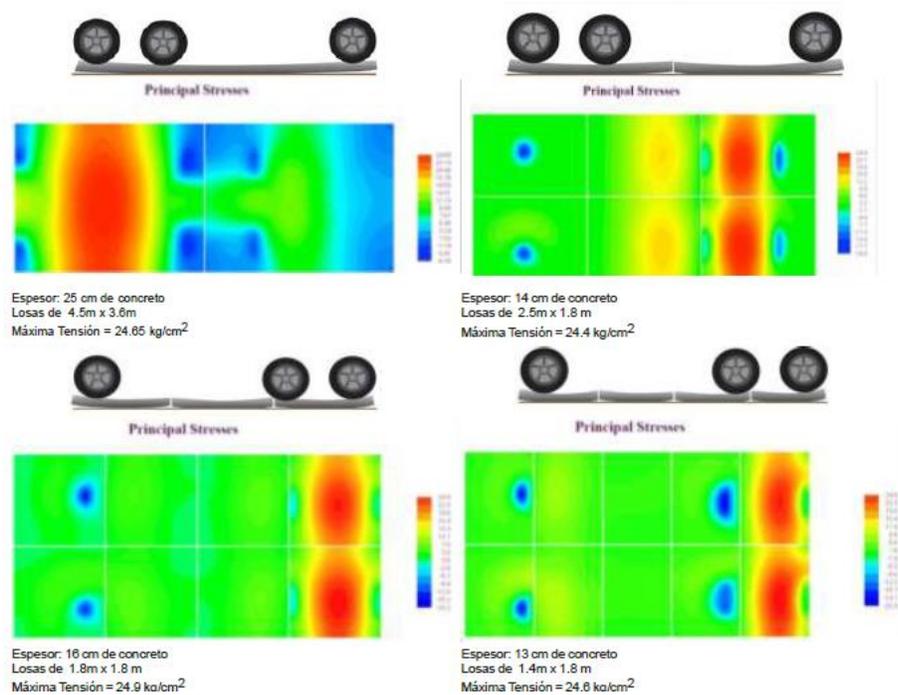
3.2.1.2. Configuración de carga para análisis de tensiones

De acuerdo con Covarrubias, para reducir la tensión de tracción superior causada por la carga simultánea de la losa por ejes de dirección, es necesario dimensionar la losa de tal manera que cada rueda, o un conjunto de ruedas, siempre cargue una sola losa

diferente, tal como se muestra en la Figura 3.3. Como existen diferentes tipos de configuraciones de ejes de camiones, la geometría está diseñada para el tipo de camión que tenga el eje más crítico en la utilización de la carretera.

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 concreto convencional.

Figura 3.3. Comparación entre la dimensión y espesor de losas para tensiones máximas equivalentes en la superficie.



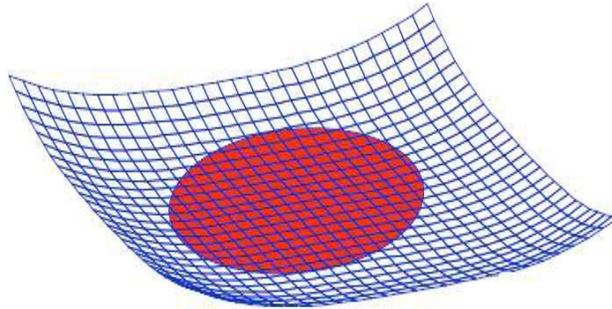
Fuente: adaptado de diseño de losas de hormigón con geometría optimizada, 2012

3.2.1.3. Efecto de la rigidez de la base

De acuerdo con Covarrubias, Al alabearse la losa y levantar sus bordes, su apoyo en la base es un círculo, como se muestra en la figura 3.4 y 3.5, cuya dimensión depende de la rigidez de la base. Si la base es muy rígida, el círculo será pequeño y los voladizos largos. Esto, cuando la losa es cargada por un camión, genera tensiones de tracción

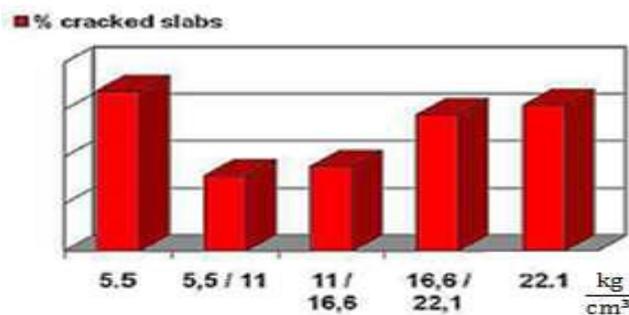
altas en la cara superior. Caso contrario, si la base es muy poco rígida, el círculo rojo será mayor y el largo del voladizo menor, por lo tanto, en este caso las tensiones de tracción en la cara superior serán menores, pero, cuando el camión carga el centro de la losa, aumentarán las tensiones de tracción en la cara inferior.

Figura 3.4. Deformación medida en un pavimento de 15 cm de espesor.



Fuente: pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas, 07

Figura 3.5. Rigidez en función de la base con respecto al porcentaje de losas agrietadas.



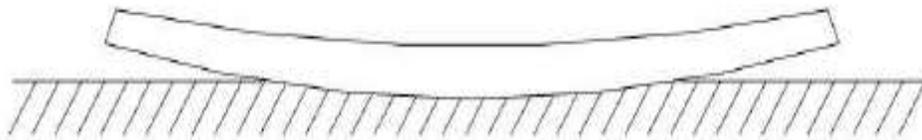
Fuente: adaptado de pavimentos de concreto con losas de dimensiones.

3.2.2. Alabeo de construcción

Según Covarrubias, el alabeo de construcción se genera por una fuerza en la parte superior de la losa. Esta fuerza se debe al secado y la pérdida de calor en la superficie de losa. Esta fuerza que produce el alabeo se genera en las primeras horas después de endurecerse el concreto, y es producida por un gradiente hídrico y térmico superficial.

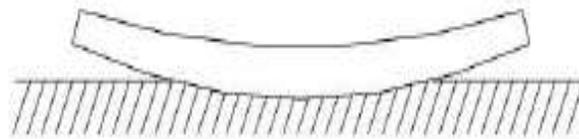
La retracción hidráulica superficial se produce por la diferencia de humedad en la parte superior e inferior de la losa, la cual siempre se encuentra más húmeda en la parte inferior, esto se debe a que la humedad de la tierra se condensa en la losa. La retracción térmica en la superficie se debe a la temperatura inicial del concreto y al calor de hidratación producido por la reacción del cemento, la losa se enfría por la superficie para llegar a su temperatura normal. Esta deformación se produce mientras el concreto se endurece, por lo que retiene esta forma permanentemente, el alabeo de construcción es permanente y se puede medir cuando el gradiente térmico real es cero. Ya que ambos alabeos están medidos en °C se pueden sumar. Se aprecia que la suma en el peor caso es de + 2 °C. Esto significa que la losa está casi siempre con las puntas hacia arriba y en solo algunos momentos plana. Esta fuerza que produce el alabeo depende del largo de la losa, por lo tanto losas pequeñas tienen menos alabeo. Además losas más cortas tendrán menos brazo de palanca, lo que reduce las tensiones superiores. Las losas se alabean con un tercio de su longitud levantada del suelo, es decir en voladizo, se puede deducir que el largo del voladizo para una losa de 4,5 metros es de 1,5 metros. Si la losa tiene un largo de 1,8 metros el voladizo será de 60 centímetros. Se puede apreciar que con el solo hecho de acortar las losas las tensiones de tracción disminuyen en forma considerable, como se muestra en las figuras 3.6 y 3.7.

Figura 3.6. Losa normal AASHTO 4.5m Voladizo de 1.5m



Fuente: pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas, 2007.

Figura 3.7. Losa corta 1.8m, Voladizo 0.6m



Fuente: Pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas, 2007.

3.3. Descripción del método constructivo de losas cortas

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

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

Figura 3.8. Comparación de espesores de pavimentos de concreto tradicionales vs pavimentos de losas cortas



Figura 3.9. Dimensiones de pavimentos tradicionales

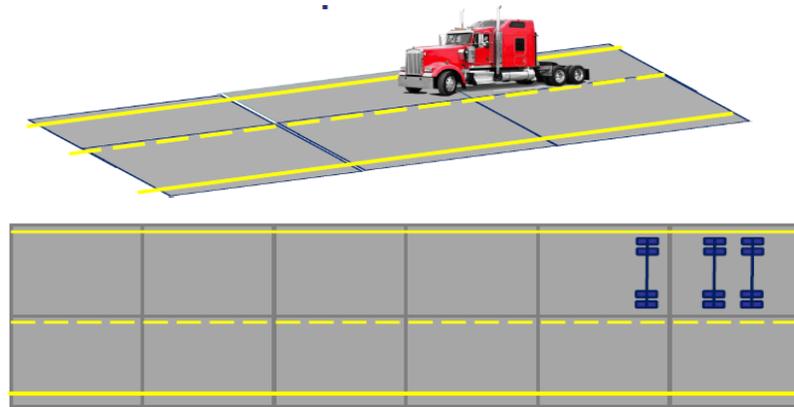
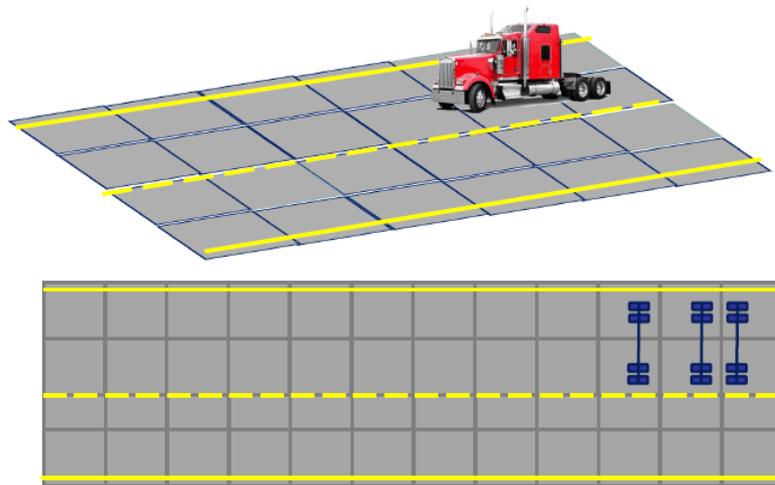


Figura 3.10. Dimensiones de pavimentos de losas cortas



3.3.1. Definición del tamaño de las losas

En general para el análisis de la dimensión de las losas, anteriormente se proponía la construcción de losas de forma geométrica rectangular y cuadradas, donde la dimensión usualmente utilizada oscilaba entre 6m y 3cm, pero con las nuevas propuestas y software de evaluación, se han reducido considerablemente las dimensiones de las mismas.

El Módulo de Rotura (MR) y la resistencia a la compresión del Concreto Hidráulico a los 28 días ($f'c$), es uno de los principales factores utilizados en el diseño y evaluación con elementos finitos.

3.3.1.1. Alternativa del dimensionamiento de las losas

El diseño del pavimento rígido propuesto como alternativa para disminuir el agrietamiento de las losas y una mayor tolerancia de la carga por eje del camión, se está considerando la alternativa cuyos beneficios y características son ampliamente conocidos, resaltando el excelente comportamiento de este tipo de losas ante las solicitaciones del tráfico, efectos de soporte y aspectos medio ambientales.

Se plantean losas cortas para disminuir los esfuerzos de una losa normal, una losa corta tendrá la mitad del esfuerzo que en una losa normal, por eso se plantea esta alternativa, si bien la fisuración y alabeo seguirá presente en las losas no será el mismo ya que no abran los otros esfuerzos producidos en la losa que sumen este efecto y pongan en una situación crítica a la losa hasta provocar su fisuración, para esto disminuimos la longitud y el criterio lógico en el ancho es partir por la mitad la losa y en la longitud hacer el valor más pequeño que cumple con la relación de lados establecida por la norma AASHTO que establece que la relación ancho de losa sobre la longitud debe ser mayor a 0,6m.

3.3.2. Diseño de espesores de las losas

A través de los años los pavimentos de hormigón han demostrado un muy buen comportamiento, superando en muchos años su vida útil proyectada.

Esta realidad ha hecho reevaluar la metodología actual de diseño de pavimentos de hormigón, basada normalmente en los métodos AASHTO y PCA, ya que estaría

obligando a utilizar pavimentos con una capacidad mucho mayor a la que es realmente requerida.

Por otro lado, se recomienda espesores de 20cm como mínimos para carreteras, y según experiencias en países de Latinoamérica sugieren que el espesor mínimo de pavimentos de hormigón para vías urbanas no debería ser inferior a 12cm. Para este último puede utilizarse una carga de tráfico de aproximadamente 1 millón de ejes equivalentes (ESAL) de diseño en 20 años.

Pavimentos delgados han sido construidos recientemente en países como Colombia y Chile, y ser probados en forma experimental, los cuales inicialmente están teniendo un buen comportamiento.

3.3.2.1. Alternativa para disminuir el espesor de las losas de concreto

El diseño del pavimento rígido propuesto como alternativa para disminuir el espesor de las losas de concreto, se está considerando la alternativa herramientas informáticas respectivas, programa DARWin y el software BS-PCA.

Al realizar el diseño del espesor requerido del pavimento de concreto debe ser competente para soportar las cargas de diseño ESAL (valor de la carga de los ejes).

3.3.2.1.1. Programa darwin aashto-93

La guía de diseño AASTHO utilizó modelos basados en regresiones desarrolladas durante los estudios de carreteras. Inicialmente los modelos de regresiones solo podían aplicarse por nomogramas.

Estos gráficos fueron utilizados para el diseño y posterior construcción de miles de pavimentos de pavimentos EEUU. El avance en los sistemas de computación permitió en 1980 calcular los modelos de regresión utilizando programas como el llamado DARWin desarrollado por la AASTHO.

En la actualidad está disponible una última versión llamada WINDARWin, que se emplea los principios de diseño de la guía de 1993.

El procedimiento de diseño establece que un espesor requerido del pavimento de concreto debe ser competente para soportar la carga de diseño ESAL (Valor de la carga de ejes).

3.3.2.1.2. Programa software BS-PCA 1984.

Teniendo en cuenta el auge que se ha dado en los últimos años en la construcción y diseño de pavimentos rígidos en vías urbanas y de la red vial nacional, y también considerando la amplia utilización a nivel nacional del método de diseño de pavimentos rígidos de la Portland Cement Association versión de 1984 (PCA 1984), la Universidad del Cauca dentro de su programa de Maestría en Ingeniería Terrestres del Instituto de Posgrado en Ingeniería Civil consideró conveniente desarrollar un Software que permita dimensionar los espesores de la estructura de pavimentos rígido y a la vez permita sensibilizar la incidencia de los diferentes parámetros en el dimensionamiento del pavimento.

El programa llamado BS-PCA realizado en Visual Basic requiere la introducción de los diferentes parámetros y efectuando los análisis de fatiga y erosión permite obtener el dimensionamiento de la estructura de pavimento. Una vez realizado el dimensionamiento permite realizar un análisis de sensibilidad para evaluar la incidencia de la variación de los respectivos parámetros en el análisis de los dos criterios de diseño fatiga y erosión contemplados por el método.

Esta herramienta se considera de gran utilidad para los ingenieros de pavimentos debido a que facilita la actividad de diseño y permite fácilmente evaluar los cambios que se pueden presentar dentro del proceso constructivo cuando alguna de las variables difiera de las consideraciones inicialmente planteadas en el diseño.

- **DESCRIPCION DEL SOFTWARE BS-PCA**

Datos de entrada: los datos de entrada para efectuar el diseño de un pavimento rígido son los siguientes:

- **Resistencia del apoyo:** se podrá introducir el valor K correspondiente a la resistencia de la capa de subrasante o subbase.

- **Espesor de la losa:** en este campo se deberá digitar el espesor de la losa propuesta.
- **Módulo de rotura de la losa:** valor que corresponde al módulo de rotura de la losa a construir.
- **Bermas:** se tendrá la posibilidad de seleccionar si el pavimento tendrá o no.
- **Pasadores:** se tendrá la posibilidad de seleccionar si el pavimento tendrá o no.
- **Transito:** el sistema permite la entrada de las cargas de tránsito a ser soportadas por el pavimento discriminadas por ejes sencillos, tándem y tridem. El transito introducido podrá ser modificado por dos factores que permiten mayorar las cargas o las repeticiones.
- **Factor de seguridad de carga:** valor que afectara las cargas por eje del tránsito.
- **Factor de mayoración de repeticiones:** valor que permitirá mayorar las repeticiones de carga por ejes digitadas.

3.3.3. Metodo de elemento finitos

El método de los elementos finitos es un método numérico utilizado frecuentemente para obtener la solución aproximada de un sistema de ecuaciones diferenciales parciales, permitiendo encontrar soluciones apropiadas para diversos campos de la ingeniería, uno de los tópicos en el que se utiliza más comúnmente es en los problemas físicos que poseen geometrías muy complicadas lo que hace necesario el uso de un computador para llevar a cabo la implementación del método. Generalmente el método de elementos finitos se programa computacionalmente para calcular los desplazamientos, las deformaciones y tensiones cuando se trata de un problema de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. Dada la dificultad de encontrar la solución a estos problemas de manera analítica, con frecuencia en la práctica los métodos numéricos y, en particular, los elementos finitos, se convierten en una herramienta alternativa para encontrar estas soluciones, ya que la convergencia de esta metodologías puede decirse es buena.

3.3.3.1. Modelación de elementos finitos mediante el software EVERFE

Son ampliamente conocidos los efectos que generan sobre las losas del pavimento las condiciones térmicas, superpuestas con la acción de las cargas del tráfico.

En este sentido, bajo las condiciones y parámetros empleados en la verificación inicial de tensiones. Como se mencionó anteriormente, el programa además de calcular las tensiones en el hormigón, cualidad de interés en el caso particular que se analiza.

- **Software EverFe**

El programa EverFE 2.25 fue desarrollado por el Dr. Bill Davids Profesor Emérito de la Universidad de Maine y permite el análisis y la obtención de esfuerzos y desplazamientos, por medio de elementos finitos tridimensionales, que simulan el comportamiento del pavimento rígido con juntas, bajo la acción de cargas en ejes y efectos térmicos del medioambiente.

EverFE permite modelar hasta 9 losas en una configuración de máximo 3 por 3, pudiendo considerar hasta 3 capas base elásticas, permitiendo que la superior pueda ser modelada como adherida o no adherida a la losa. El apoyo de todo el sistema se realiza sobre una fundación de tipo “Líquido denso”, que puede ser considerada bajo tensión o sin tensión (similar a una fundación tipo Winkler). Para modelar la subrasante de tipo líquido denso, se necesita como dato su rigidez. El concepto está basado en la teoría de Westergaard ampliamente empleada en programas computacionales, que considera la relación entre fuerza y deflexión por medio de resortes elásticos.

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

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

Las barras pasajuntas y de amarre pueden ser ubicadas con precisión a lo largo de las juntas transversales y longitudinales respectivamente y son modeladas mediante el acoplamiento de elementos de flexión de 3 nodos embebidos con elementos convencionales tipo viga de corte de 2 nodos en la abertura de la junta. Estos elementos permiten el cálculo de los esfuerzos internos en las barras.

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

El método empleado por el programa para la resolución del modelo, consiste esencialmente en el método de Newton, que actualiza mediante iteraciones, las limitaciones o condiciones de contacto de cada nodo.

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

CAPITULO IV
VALORACION TECNICA DEL DISEÑO DE LAS LOSAS CORTAS FRENTE
AL DISEÑO DE LAS LOSAS TRADICIONALES DEL PAVIMENTO DE
CONCRETO “APLICADO A LA CIUDAD DE BERMEJO”

4.1. UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La zona del proyecto de estudio es el tramo del Pavimento Rígido de las 180 cuadras de la ciudad de Bermejo.

4.1.1. ANTECEDENTES

El Proyecto: “CONSTRUCCION PAVIMENTO 180 CUADRAS CIUDAD DE BERMEJO”, con un área de 230.330,58 m² comprende un número de calles de 183 de la ciudad que aún no están pavimentadas en diferentes barrios de Bermejo.

Nombre del proyecto: Construcción Pavimento 180 Cuadras Ciudad de Bermejo.

Localización: 2da Sección de la Prov. Arce. Ciudad de Bermejo.

Clasificación Sectorial: Sector: Urbanismo en Vivienda.

Sub-sector: Urbanismo.

Componente del proyecto: Estudio Integral TESA Construcción de la Obra.

Fase que postula: Construcción de la Obra. (Licitación Pública).

Entidad promotora: Gobierno Municipal de Bermejo.

Entidad Ejecutora y operadora: Gobierno Autónomo Departamental de Tarija.

El principal problema de la ciudad de Bermejo en cuanto se refiere a infraestructura vial urbana, es el mal estado de las calles en algunos barrios de la ciudad, esta realidad en la vías urbanas no permite seguridad y confort al usuario del transporte urbano y usuarios en general; tampoco permite optimizar los costos de operación del transporte,

ya sean estos públicos o privado, así mismo el mal estado de las calles genera una contaminación ambiental en desmedro de la salud de la población. De acuerdo a la información obtenida del desarrollo del estudio, del total de calles pavimentadas de la ciudad, aproximadamente el 65% corresponde a pavimento rígido, 15% a pavimento flexible y un 20% de pavimento articulado. Estos indicadores muestran la imperiosa necesidad de efectuar un mejoramiento de las vías urbanas con una adecuada pavimentación para conectar los principales centros educativos, deportivos, culturales, de salud y de consumo de la región, además de vincular las arterias principales a fin de descongestionar las calles pavimentadas existentes de la zona central. Es en ese sentido que se propone la ejecución de este proyecto cuyas conclusiones describan con explicitud, los resultados del diseño estructural y geométrico, así como los costos de ejecución de tan importante obra que beneficiara a toda la región.

4.2. CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

a) Características generales de la ciudad de Bermejo

La ciudad de Bermejo Capital de la Segunda Sección de la Provincia Arce situada al sud del Departamento de Tarija, se encuentra ubicada a los 22° 42' de latitud sud y 64° 21' de longitud oeste.

Bermejo, se encuentra a 213 km. de la ciudad de Tarija (Capital del Departamento), fue creado por Decreto Ley del 7 de Diciembre de 1956, con una extensión aproximada de 1200 km², actualmente su influencia socioeconómica alcanza un área de 4.595,00 km² (denominado Triángulo de Bermejo) que representa el 12.30 % de la superficie total del departamento. El centro de la ciudad se encuentra a 409 m.s.n.m.

La micro localización del proyecto se encuentra en la Ciudad de Bermejo, concretamente en los barrios: Luis de Fuentes, San José, Lapacho, 1° de Mayo, Avaroa, Municipal, Miraflores, Aeropuerto, Santiago, San Juan, Las Palmeras, Azucarero, 21 de Diciembre, 15 de Abril, Barrio Lindo, Bolívar, 27 de Mayo, Moto Méndez, Barrio Central, Aniceto Arce, San Bernardo, San Antonio y 2 de Agosto.

La ubicación física de las 180 cuadras, no tienen sucesión de continuidad en las calles y barrios mencionados, sino que conforman segmentos o tramos de las calles identificadas que se unen con tramos de calles adyacentes.

La ciudad de Bermejo Capital de la Segunda Sección de la Provincia Arce situada al sur del Departamento de Tarija, se halla ubicada a los 22° 42' de latitud sud y 64° 21' de longitud oeste, se distingue por su vegetación y clima tropical; limita al norte con el resto de la Provincia Arce, al sud, este y oeste con la República Argentina.

El acceso a la zona del sitio del Proyecto, se realiza mediante las distintas calles de la ciudad de Bermejo, que permiten un acceso libre a todos los barrios que forman parte del proyecto.

Bermejo se encuentra a 200 kilómetros de la ciudad de Tarija, se puede llegar mediante una carretera asfaltada que une ambas ciudades.

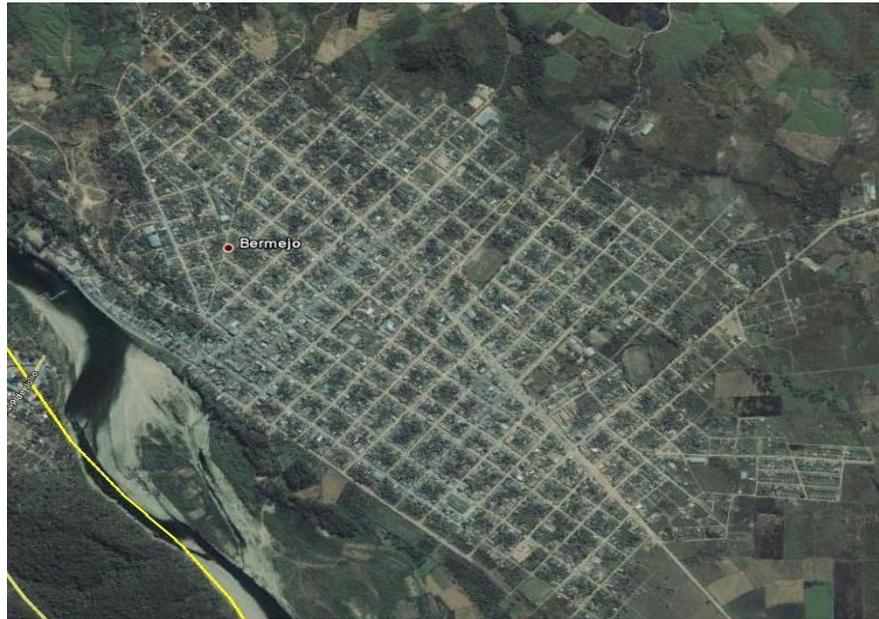
Límites Territoriales:

Los límites del Municipio de Bermejo son los siguientes: al norte, con la serranía de San Telmo y la comunidad Colonia Ismael Montes (San Telmo Río Tarija), al sur con el río Bermejo y la República Argentina, al este con el río Grande de Tarija y la República Argentina y al oeste con la comunidad de San Telmo, río Bermejo y la República Argentina.

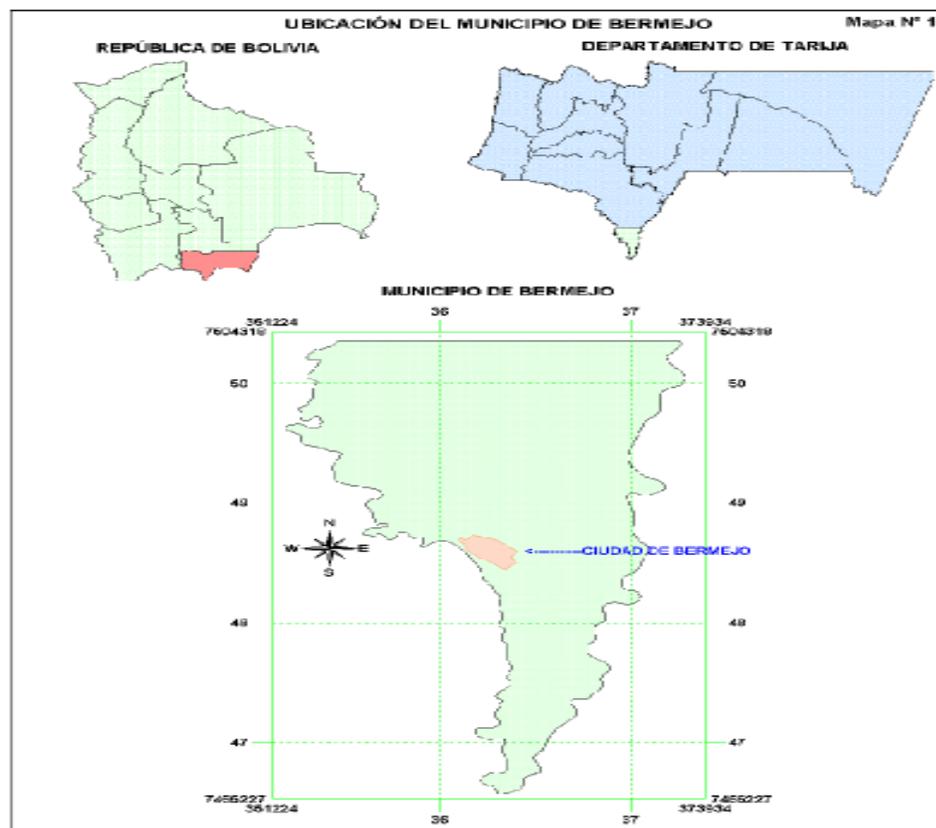
Extensión:

La extensión del municipio de Bermejo es de aproximadamente de 380,90 Km², la misma que se divide en área urbana y rural.

Figura 4.1. Ubicación satelital de Bermejo



Fuente: google earth



Clima

a) Condiciones climáticas:

Existe una zona climática predominante: la zona de clima cálido semihúmedo que comprende toda el área del municipio.

Para la determinación de los parámetros climáticos se ha recurrido a las estaciones climatológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología regional Tarija (SENAMHI - TARIJA) ubicadas en Bermejo, Yacuiba y Salinas. Estas estaciones por su ubicación dentro y alrededor del área de municipio, reflejan de manera confiable y fidedigna las condiciones climatológicas reinantes en la zona.

Temperatura:

La zona se encuentra sometida a frecuentes intercambios de masas de aire tropical y polar y debido a su situación geográfica se encuentra una gran parte del año bajo la influencia del sistema de alta presión del Atlántico Sur, por lo que los vientos que provienen del norte o noreste son cálidos y secos provocando ocasionalmente temperaturas superiores a los 40°C, incluso en los meses de agosto y septiembre.

En general la temperatura, puede alcanzar valores máximos de hasta 47°C en los meses de octubre, noviembre y diciembre; y mínimos extremos de hasta - 3°C en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, cuando se presentan los denominados “surazos”.

Estructura política y administrativa del municipio

El Municipio de Bermejo está estructurado política y administrativamente de la siguiente manera: La ciudad de Bermejo, capital del municipio tiene 27 barrios reagrupados en 5 distritos. El área rural está conformada por cuatro cantones que constituyen 4 distritos que aglutinan a 24 comunidades rurales.

El área urbana está conformada por 27 barrios los mismos que son los siguientes y están distribuidos de acuerdo al siguiente cuadro: Petrolero, 27 de Mayo, 21 de Diciembre, Municipal, Campamento Y.P.F.B., Juan Pablo II, Víctor Paz, Central, Aniceto Arce, Bolívar, Lindo, Avaroa, Luis de Fuentes, 1° de Mayo, Lapacho,

Aeropuerto, Miraflores, San José , 15 de Abril, Las Palmeras, Moto Méndez, San Bernardo, San Antonio, 2 de Agosto , San Juan, Azucarero y Campamento IAB San Santiago.

4.3. OBTENCION DE MATERIALES DE LA REGION

En cuanto a la primera etapa consiste en reconocer en campo el lugar preciso de donde se extraerá la muestra en la cantidad suficiente para realizar tanto la caracterización como el estudio para ello se debe tener en cuenta la accesibilidad a la zona de donde se extraerá la muestra. En este caso, el lugar de donde se extrajo la muestra es del acopio de la empresa constructora "LIROSO" encargada de la construcción de las 180 cuadras del pavimento rígido, ubicado en la ciudad de Bermejo; los materiales pétreos fueron extraídos del río Tarija.

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Bermejo que se ajustan dentro de las normativas vigentes; Además de tener una disponibilidad.

La segunda etapa es realizada en Laboratorio de Suelos y Asfaltos en la Institución de SEDECA de Tarija, donde se realizaran todas las pruebas necesarias con los materiales y equipos adecuados, para un posterior procesamiento de datos.

Figura 4.2. Obtención de los agregados del Acopio



Fuente: Elaboración propia

4.4. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES

4.4.1. Caracterización de los Agregados grueso y fino

➤ **Análisis granulométrico por tamizado (ASTM C136 AASTHO T27)**

Este ensayo tiene por objeto determinar la granulometría de los agregados hasta el tamiz #200, mediante su división y separación con una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaño decreciente.

La muestra tiene que ser representativa lo cual se obtiene por cuarteo.

El peso de la muestra de agregado fino necesario para el ensayo es de 1000 gr de arena natural.

El peso de la muestra de agregado grueso necesario para el ensayo es de 5000 gr de grava natural y 5000 gr de gravilla natural.

Se debe registrar los pesos del material retenido en cada tamiz, luego calcular el porcentaje retenido en cada tamiz.

Expresar la granulometría como porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y expresando el resultado para los siguientes tamices como la diferencia entre el porcentaje que pasa en el tamiz inmediatamente anterior al de cálculo y el retenido en el tamiz de cálculo. Aproximar los porcentajes que pasan al entero más cercano.

Los resultados de la granulometría pueden expresarse en forma gráfica en un sistema de coordenadas ortogonales; en las abscisas, a escala logarítmica, se indican las aberturas de los tamices y en las ordenadas, a escala lineal, los valores de los porcentajes que pasan en cada tamiz, obtenidos de acuerdo a lo calculado en porcentaje del retenido en cada tamiz.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO:

Análisis sin lavado

a) Antes de realizar el ensayo se debe preparar la muestra, para lo cual se debe separar mediante cuarteo la cantidad necesaria hasta obtener una muestra representativa.

- b) Se coloca el juego de tamices desde el tamaño correspondiente al tamaño máximo hasta el tamiz N° 200 y al final la base.
- c) Verter el material en el juego de tamices previamente ensamblados y dispuestos, de arriba abajo, en orden decreciente de tamaños de abertura con el fondo y la tapa. El orden de los tamices a utilizar tanto para muestra de agregado grueso y fino es el siguiente:

Figura 4.3. Tamizado manual por la serie de tamices.



Fuente: Elaboración propia

- d) Se agita el juego de mallas, horizontal con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. Se quita la tapa y se separa la malla, vaciando la fracción de agregado que haya sido retenida en ella sobre lavadores de metal limpios. Finalmente se hacen las pesadas de las muestras retenidas en cada malla y en la base de fondo, procediendo en la forma indicada, todos los pesos retenidos se anotan en el registro.

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA

Cuadro 4.1. Granulometría para ensayos material grueso, fino y porcentaje que pasa cada tamiz

Peso Total Seco	5000 gr	5000 gr	1000 gr	Abertura
Tamiz	Grava	Gravilla	Arena	Tamiz
Nº	% Que Pasa	% Que Pasa	% Que Pasa	mm.
2"	100	100	100	50.8
1 1/2"	100	100	100	38.1
1"	38.8	100	100	25.4
3/4"	2.03	82.6	100	19.1
1/2"	0	27.43	100	12.7
3/8"	0	10.1	100	9.5
Nº 4	0	0	95	4.75
Nº 8	0	0	84.13	2.36
Nº 16	0	0	77.33	1.18
Nº 30	0	0	65.5	0.6
Nº 50	0	0	24	0.3
Nº 100	0	0	6.26	0.15
Nº 200	0	0	2.7	0.075

Fuente: elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

Dosificación de agregados para la granulometría combinada

Objetivo

La dosificación de agregados tiene por objeto lograr una mezcla cuya gradación se encuentre dentro de los límites recomendados en una especificación determinada, se cuenta con procedimientos analíticos y gráficos; dentro de estos el método de prueba y error es el más utilizado, ya que con la ayuda de programas de computación como Excel es cómodo elaborar tablas de cálculos y establecer una combinación de varios agregados.

Procedimiento

Se busca una combinación de los tres agregados que se utilizarán: Grava 1", Gravilla 3/4" y Arena, para esto se ha utilizado el programa Excel de Windows mediante la elaboración de una tabla con fórmulas para que realice dichos cálculos de la cual se obtiene los porcentajes para cada uno de los agregados antes mencionados, y considerando que el Tamaño Máximo del agregado que se tiene es de 1".

Se procede a asignar un porcentaje a cada agregado, la sumatoria de dichos porcentajes será el 100 por ciento de los agregados; por ejemplo:

Primeramente se realizó la dosificación tentativa de la grava y gravilla donde se encontró el resultado de mezcla de:

Agregado Grueso 1"	5 %
Agregado Medio 3/4"	95 %
TOTAL	100%

Después se realizó la combinación de la grava en total de acuerdo a la dosificación tentativa y la arena, demostrando obtener una curva graduada de acuerdo a los siguientes porcentajes:

Grava	53%
Arena	47 %
TOTAL	100 %

El porcentaje acumulado que pasa de cada agregado multiplicado por el porcentaje encontrada obteniendo el valor para cada tamiz respectivamente y luego se suma los porcentajes encontrados de los agregados y también verificando que los agregados tenga una buena gradación para así obtener buenos resultados en la resistencia.

Granulometría: se utiliza la especificación granulométrica del Manual de Carretera Administración Boliviana de Caminos ABC.

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA

Cuadro 4.2. Combinaciones granulométricas

RESUMEN								
Mat. Componentes (% que pasa)					Especificaciones			
TAMIZ		ARENA	GRAVA	COMBINACIÓN	GRAVA		ARENA	
Nº	mm	47.0%	53.0%	100.0%	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
2"	50.80	100.00	100.00	100.0	100	100		
1 1/2"	38.10	100.0	100.0	100.0	100	100		
1"	25.40	100.0	96.9	98.4	95	100		
3/4"	19.00	100.0	78.6	88.6				
1/2"	12.70	100.0	26.0	60.8	25	60		
3/8"	9.51	100.0	9.6	52.1			100	100
No. 4	4.76	95.0	0.0	44.7	0	10	95	100
No. 8	2.38	84.1	0.0	39.5	0	5		
No. 16	1.19	77.3	0.0	36.3			45	80
No. 30	0.60	65.5	0.0	30.8				
No. 50	0.30	24.0	0.0	11.3			10	30
No. 100	0.15	6.3	0.0	2.9			2	10
No. 200	0.07	2.7	0.0	1.3			0	5

Fuente: elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

➤ **Determinación del Peso Específico y Absorción del agregado grueso (Grava y Gravilla) (ASTM C127 AASHTO T85)**

El ensayo describe como objeto la determinación del peso específico aparente y el peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por medio de 24 horas a temperatura ambiente.

Se realizó el ensayo con tres muestras, cada una de 5000 gr, se siguieron los pasos como se muestra a continuación:

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

La muestra a ser evaluada se satura y pesa en su condición saturada superficialmente seca:

a) Aproximadamente 5 kg. De material retenidos en la malla N°4 (4.75 mm) se lava y seca hasta que alcance peso constante.

Figura 4.4. Pesaje del material retenido en el tamiz N° 4



Fuente: elaboración propia

b) La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua.

c) Los agregados se sacan del agua y secan superficialmente con ayuda de una toalla.

Figura 4.5. Secado superficial de la muestra saturada 24 hrs antes.



Fuente: elaboración propia

- d) Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca.
- e) La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el sumergido en agua.
- f) La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante a una temperatura de 110°C , se enfría a la temperatura ambiente y se pesa.

Figura 4.6. Peso muestra sumergido.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.7. Secado de la muestra en horno



Fuente: elaboración propia

g) La gravedad específica se calcula según:

A: peso en el aire del agregado seco al horno

B: peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco

C: peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua

$$\text{gravedad específica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{gravedad específica seca de bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{gravedad específica saturada superficialmente seca bulk, } G_{ssb} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{absorción(\%)} = \frac{(B - A) * 100}{A}$$

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Cuadro 4.3. Resumen de resultados de peso específico grava

AGREGADO	PESO ESPECIFICO APARENTE (Gr/cm ³)	PESO ESPECIFICO BULK (Gr/cm ³)	PESO ESPECIFICO BULK S.S.S (Gr/cm ³)	(%) PORCENTAJE DE ABSORCION
Grava	2.669 gr/cm ³	2.593 gr/cm ³	2.622 gr/cm ³	1.10 gr/cm ³

Fuente: elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

➤ **Determinación del Peso Específico y Absorción del agregado fino (Arena) (ASTM C128 AASTHO T84)**

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

El método es como sigue:

Aproximadamente 1000 gr. de agregado fino se seca a peso constante.

Se sumerge el material por 24 horas en agua.

La muestra se extiende en una superficie plana y se expone a una corriente de aire caliente.

La condición saturada superficialmente seca se alcanza cuando el material cae al invertirse el cono en el que la muestra del material fue suavemente compactada.

Aproximadamente 300 gr. del material en la condición saturada superficialmente seca se colocan en un matraz que se llena con agua y se eliminan los aires atrapados.

El agregado se saca del matraz, se seca al horno a peso constante

La gravedad específica se calcula de la siguiente manera:

A: peso en el aire del agregado seco al horno

B: peso del matraz (picnómetro) con agua

C: peso del matraz (picnómetro) con el agregado y agua hasta la marca

D: Peso del material saturado superficialmente seco (500+10 gr)

$$\text{gravedad específica seca aparente, } G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{gravedad específica seca bulk, } G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$\text{gravedad específica sat. sup. seca bulk, } G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$$

$$\text{absorción(\%)} = \left(\frac{D - A}{A} \right) * 100$$

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

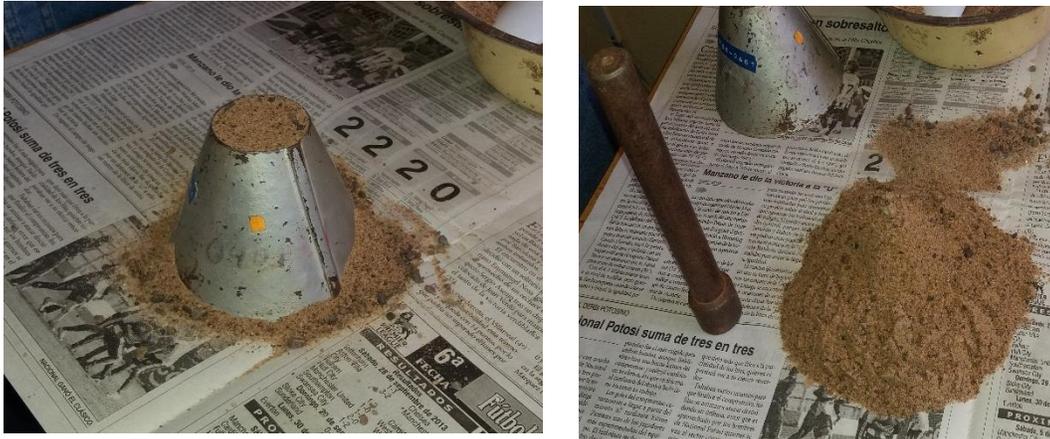
a) Previo a la realización del ensayo, se debe pesar una muestra de 300 gr, la cual debió haber sido lavado y secado.

Figura 4.8. Pesaje muestra lavado y secado.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.9. Verificación de la condición muestra saturada con superficie seca.



Fuente: elaboración propia.

- b) Pesar el picnómetro vacío en una balanza de precisión de ± 0.1 gr.
- c) Llenar el picnómetro con agua destilada hasta la marca de aforo y pesar la misma en una balanza de precisión.
- d) Retirar el agua del picnómetro tratando que no quede residuos de la misma, seguido colocamos la muestra de agregado dentro del picnómetro con la ayuda de un embudo.
- e) A continuación se vierte agua dentro del picnómetro hasta que esta cubra la tercera parte del mismo.

Figura 4.10. Muestra en el matraz



Fuente: elaboración propia

Figura 4.11. Peso de la muestra más agua



Fuente: elaboración propia

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Cuadro 4.4. Resumen de resultados de peso específico de la arena

AGREGADO	PESO ESPECIFICO APARENTE (Gr/cm ³)	PESO ESPECIFICO BULK (Gr/cm ³)	PESO ESPECIFICO BULK S.S.S (Gr/cm ³)	(%) PORCENTAJE DE ABSORCION
Arena	2.737 gr/cm ³	2.622 gr/cm ³	2.664 gr/cm ³	1.60 gr/cm ³

Fuente: elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

➤ **Determinación del Peso Unitario de los agregados (Grava y gravilla)** **(AASHTO T19 ASTM C29)**

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

- Calibración de los moldes

Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16°C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

- Preparación de la muestra

Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente. Por ningún motivo se debe secar la muestra en el horno.

- Calculo

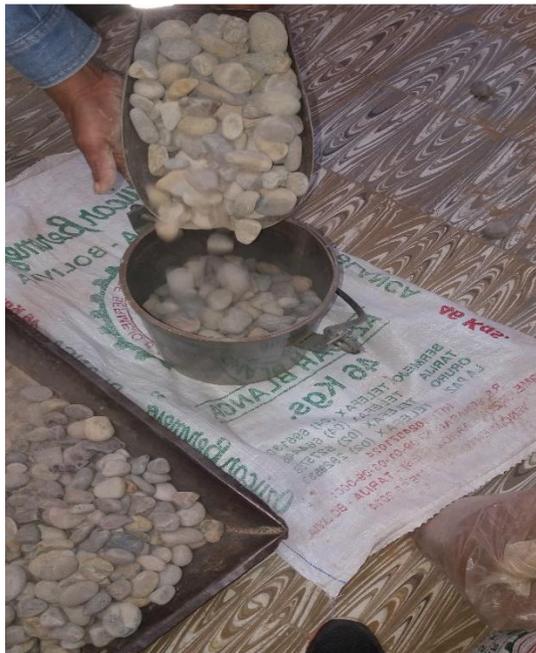
El peso neto del agregado o de la mezcla dentro del molde se obtiene restando del peso del molde más muestra compactada el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se debe multiplicando su peso neto por el inverso del volumen del molde.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Peso unitario suelto:

- a) El molde se llena en exceso por medio de una pala y el agregado se va descargando desde una altura no mayor de 5 cm por encima de la parte superior del molde.

Figura 4.12. Llenado del molde con agregado



Fuente: elaboración propia

- b) La superficie del agregado se nivela con una regla metálica de modo que los pequeños salientes de los pedazos mayores del agregado grueso compensen los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del molde.
- c) Se pesa el molde junto con el agregado.

Figura 4.12. Enrazado con la regla metálica



Fuente: elaboración propia

Figura 4.13. Peso del agregado suelto



Fuente: elaboración propia

Peso unitario Compactado:

a) El molde se llena en tres capas aproximadamente iguales y cada capa se golpea 25 veces con la barra metálica, distribuyendo uniformemente los golpes sobre la

superficie. Después que cada capa ha sido golpeada, el agregado sobrante debe quitarse nivelando con la barra apoyada en el borde del molde.

Figura 4.14. Varillado con la barra metálica



Fuente: elaboración propia

b) Al golpear la primera capa no debe permitirse que la barra metálica golpee fuertemente el fondo del molde. Se debe emplearse la fuerza necesaria para que la barra de apisonar penetre la última capa del agregado colocado en el molde, al golpear la segunda y tercera capa.

c) se pesa el molde junto con el agregado.

Figura 4.15. Enrazado con la barra apoyada en el borde del molde.



Fuente: elaboración propia

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Cuadro 4.5. Resumen de resultados de peso unitario de la grava

AGREGADO	PESO UNITARIO SUELTO (Gr/cm ³)	PESO UNITARIO VARILLADO (Gr/cm ³)	PESO UNITARIO (Gr/cm ³)
Grava	1,675 gr/cm ³	1,705 gr/cm ³	1,690 gr/cm ³

Fuente: elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

➤ **Determinación del Peso Unitario de los agregado fino (AASHTO T19 ASTM C29)**

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

- Calibración de los moldes

Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16°C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

- Preparación de la muestra

Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente. Por ningún motivo se debe secar la muestra en el horno.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Peso unitario suelto:

- a) El molde se llena en exceso por medio de una pala y el agregado se va descargando desde una altura no mayor de 5 cm por encima de la parte superior del molde.
- b) La superficie del agregado se nivela con una regla metálica de modo que los pequeños salientes de los pedazos mayores del agregado grueso compensen los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del molde.
- c) Se pesa el molde junto con el agregado.

Peso unitario Compactado:

- a) El molde se llena en tres capas aproximadamente iguales y cada capa se golpea 25 veces con la barra metálica, distribuyendo uniformemente los golpes sobre la superficie. Después que cada capa ha sido golpeada, el agregado sobrante debe quitarse nivelando con la barra apoyada en el borde del molde

b) Al golpear la primera capa no debe permitirse que la barra metálica golpee fuertemente el fondo del molde. Se debe emplearse la fuerza necesaria para que la barra de apisonar penetre la última capa del agregado colocado en el molde, al golpear la segunda y tercera capa.

c) se pesa el molde junto con el agregado

Figura 4.16. Llenado del agregado en el molde



Fuente: elaboración propia

Figura 4.17. Molde llenado hasta la tercera parte de su capacidad



Fuente: elaboración propia

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Cuadro 4.6. Resumen de resultados de peso unitario de la Arena

AGREGADO	PESO UNITARIO SUELTO (Gr/cm ³)	PESO UNITARIO VARILLADO (Gr/cm ³)	PESO UNITARIO (Gr/cm ³)
Arena	1,641 gr/cm ³	1,835 gr/cm ³	1,763 gr/cm ³

Fuente: elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

➤ **Ensayo de Desgaste del Agregado grueso por medio de la máquina de los Ángeles (ASTM C131 AASHTO T96)**

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”), por medio de la máquina de los ángeles.

La gradación que se use será la que más se aproxime a la del agregado bajo en ensayo:

Cuadro 4.7. Tabla de pesos del agregado grueso y N° de esferas para el Desgaste de los Ángeles.

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

Fuente: NORMA ASTM, C131.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- a) El material debe ser tamizado según las mallas que se indican teniendo un material de tamaños máximo de $1\frac{1}{2}$ " y mínimo de $\frac{1}{2}$ ". Mezclar las cantidades que el método indique según la tabla anterior.
- b) La muestra de ensayo y la carga que son 12 esferas, se colocara en la máquina de desgaste de los Ángeles y se pondrá en funcionamiento la maquina a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto. Se utilizara la gradación tipo A para este ensayo; la maquina se hará girar 500 revoluciones, para las gradaciones.
- c) Al final del ensayo el material será descargado de la máquina y se tamiza por la malla N°12.

Figura 4.18. Colocado de la muestra en la máquina de los ángeles con el N° de esferas correspondiente.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.19. Muestra después del ensayo en la máquina de los ángeles.



Fuente: elaboración propia

Figura 4.20. Pesaje de la muestra retenida en el tamiz N°12



Fuente: elaboración propia

CÁLCULOS

El porcentaje de desgaste es la relación entre el material que pasa el tamiz N° 12 y el peso inicial.

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{final}} \times 100$$

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Cuadro 4.8. Resumen de resultados del desgaste de los Ángeles

AGREGADO	MATERIAL	PESO INICIAL gr	PESO FINAL gr	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
GRAVA	A	5000	3840	23,2	35% MAX

Fuente: elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO I

➤ Ensayo de Solubilidad de los Agregados usando Sulfato de Sodio (ASTM C88 AASTHO T104)

Este método de ensayo estima la capacidad de los agregados de disolver cuando están sujetos a las acciones climáticas en concretos y otras aplicaciones. Esto es conseguido por repetidas inmersiones en solución saturada de sulfato de sodio, seguidas por secado al horno hasta una deshidratación parcial o completa, en donde la sal se precipita en los espacios porosos permeables.

La fuerza de expansión interna, derivada de al rehidratación de la sal en la re-inmersión, simula la expansión del agua en el enfriamiento.

Los valores para el porcentaje de pérdida permitido por este método son usualmente diferentes para agregado grueso y fino.

Solución requerida:

El volumen de la solución debe ser de por lo menos 5 veces el volumen de los sólidos de toda muestra inmersa al mismo tiempo.

Para prevenir la contaminación de la solución con agentes externos y para reducir la evaporación, cuidar que la solución este todo el tiempo cubierta cuando su acceso no sea necesario. Se permite que la solución enfríe hasta una temperatura de $21 \pm 1^\circ\text{C}$.

Volver a menear y permitir a la solución permanecer en la temperatura designada por lo menos 48 horas antes de usarla.

Previo a cada uso disolver el bollo de sal que hubiere en el contenedor y determinar la gravedad específica que debe estar entre **1,151 y 1,174**.

Muestras:*Agregado Fino*

El agregado fino debe pasar el tamiz 3/8". La muestra no debe ser menor a 100 gr en cada uno de los siguientes tamices.

pasa	retenido
3/8"	N°4
N°4	N°8
N°8	N°16
N°16	N°30
N°30	N°50

Agregado grueso

El material más fino que el tamiz N° 4, no es tomado en cuenta

Serie de tamices	Cantidad requerida
3/8"-N°4	300±5
3/4"-3/8"	1000±10
3/4"-1/2"	670±10
1/2"-3/8"	330±5
1 1/2"-3/4"	1500±50
1 1/2"-1"	1000±50
1"-3/4"	500±30
2 1/2"- 1 1/2"	5000±300
2 1/2"-2"	3000±300
2"- 1 1/2"	2000±200
>2 1/2" aumentar 1 Y en cada fracción	7000±1000

Si las muestras contienen menos de un 5% de cualquiera de los tamaños específicos anteriormente, ese tamaño no debe ensayarse, pero debe considerarse que ese tamaño inferior próximo; o si uno de estos tamaños está ausente, deben considerarse que ese tamaño tiene la misma pérdida que el tamaño inferior próximo o uno superior próximo cualquiera que esté presente.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Preparación de las muestras

Agregado fino

- a) Lavar completamente la muestra sobre el tamiz N°50, secar a temperatura constante 110±5°C, y separar en los diferentes tamaños, de la siguiente manera:
- b) Hacer una separación rápida de las muestras gradadas según lo necesitado y especificado.

c) De las fracciones obtenidas de esta manera, seleccionar muestras que produzcan 100 gr después del final del tamizado. No usar agregado fino que se adherencia a la malla del tamiz en la preparación de la muestra.

d) Pesar las muestras de cada fracción retenida.

Agregado grueso

a) Lavar completamente y secar la muestra de agregado grueso a peso constante $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y separarlos en diferentes tamaños por tamices. Pesar cantidades diferentes tamaños, combinarlos hasta la designación total de peso.

b) La muestra se lava y se seca completamente y sus respectivas fracciones.

Almacenaje de la muestra en la solución

a) primeramente sumergir la muestra en la solución preparada de sulfato de sodio por lo menos de 16 hrs ni más de 18 hrs de manera que tal la solución la cubra con por lo menos $\frac{1}{2}$ " a la muestra.

b) Cubrir el contenedor para reducir la evaporación y prevenir adiciones accidentales a las muestras.

c) Mantener la muestra inmersa en la solución a temperatura 21°C .

Secado de la muestra después de la inmersión

a) Después del periodo de inmersión sacar las muestras de la solución, permitiendo el drenaje por lo menos 15 minutos y colocar en el horno del secado.

b) Secar las muestras hasta que lleguen el peso constante. Establecer el peso requerido a peso constante como sigue:

c) Verificar el peso de las perdidas, sacando y pesando las muestras del horno sin hacer enfriar en intervalos de 2 a 4 hrs.

d) Generalmente las arenas tienen un tiempo de secado mayor que las gravas.

- e) Después que la muestra seque, sacarlas del horno y enfriarlas, entonces la muestra será nuevamente sumergida en la solución preparada.
- f) Repetir el número de ciclos que se requieran.
- g) Después de complementar el último ciclo y después que la muestra ha sido enfriada, lavar la muestra para liberarla del sulfato de sodio. La muestra deberá permanecer en sus contenedores.
- h) El sulfato de sodio es secado, y secar después cada fracción de la muestra a temperatura constante 110°C .
- i) tamizar el agregado fino sobre el mismo tamiz sobre el cual fue retenido antes del ensayo y tamizar el agregado grueso igualmente. Para los agregados finos, el método y al duración es al misma que para la preparación de las muestras. Para los agregados gruesos el tamizado lo hará con la mano y una agitación necesaria para que pasen las partículas que redujeron su tamaño
- j) Pesar el material retenido en cada tamiz y registrar cada cantidad. La diferencia entre cada una de esta sumas y el peso de la fricción inicial de cada tamiz es la perdida en el ensayo y esta expresada en porcentaje del peso inicial.

Figura 4.21. Agregados secados en el horno



Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA:

Cuadro 4.9. Resumen de resultados de Durabilidad de los agregados método de los Sulfatos.

AGREGADO	% PERDIDA DE PESO	% PERDIDA TOTAL	ESPECIFICACION ASTM
GRUESO	1.32	4.66	12 % MAX
FINO	3.34		

Fuente: elaboración propia

Ver planillas en ANEXO I

4.4.2. Caracterización del Cemento

El cemento a utilizar es cemento EL PUENTE con procedencia de Tarija, Es un cemento de tipo IP-30 esto debido que es del medio y cumple las especificaciones.

Las características más importantes del Cemento son: Peso específico y finura de molino.

➤ **Determinación del Peso específico del Cemento (ASTM C188 AASHTO C188)**

Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el peso específico del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto.

El peso específico expresa la relación entre la muestra de cemento y volumen absoluto.

$$PE = m/V_{\text{absoluto}}$$

Donde:

m: Muestra del Cemento

Vabsoluto: Volumen de la materia solida

El peso específico real varia muy poco de unos cementos a otros, oscilando entre 3 y 3,15 gr/cm³. La limitación establecida por algunas normas igual o superior a 3gr/cm³ cumple prácticamente siempre.

El valor del peso específico del cemento se adoptó de las especificaciones técnicas de SOBOCE se adjunta certificado de calidad del mismo.

Ver planillas en ANEXO I.

4.5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE LAS LOSAS CORTAS EN EL PAVIMENTO RIGIDO EN ESTUDIO.

4.5.1. Evaluación, Analisis e Identificación de las losas

Primeramente se realizó una investigación previa al proyecto en estudio del pavimento rígido de las 180 cuadras de la ciudad de Bermejo.

Se procedió a visitar el lugar de estudio para realizar una previa inspección y ubicar las losas de muestreo.

Teniendo en el proyecto 180 cuadras en diferentes barrios se eligió cuatro cuadras de diferentes condiciones geométricas.

Cuadro 4.10. Evaluación estructural de las losas

<i>Losas de muestreo</i>	
<i>Calle</i>	<i>Entre</i>
Ameller	Avaroa y Topater
Busch	Uriondo y Héroes del chaco
Potosí	Luis Arancibia y pasaje Rosedal
Luis de Fuentes	Cañeros y Campero
Belgrano	Pando y kleming

Fuente: Elaboración propia

En estas las losas de muestreo se realizará la alternativa de losas cortas, se efectuó una inspección a las dichas losas para verificar las características generales, por lo tanto se procedió a medir el dimensionamiento de cada losa. Las dimensiones obtenidas de las losas de muestreo se someterán a ensayos de laboratorio llevándolas a escala de centímetros tanto como losas convencionales y losas cortas.

En las 180 cuadras las dimensiones que predominan son las de 4 m de largo y 3,5 m de ancho, ya que estas cuadras de muestreo tienen diferentes condiciones geométricas por esta razón se optó realizar el estudio a las cuatro cuadras, siendo similar dimensiones y condiciones a las restantes 180 cuadras que ya no son necesarias realizarlas el estudio.

➤ **Análisis e Identificación de las losas de estudio**

Cuadro 4.11. Análisis de losas cortas

<i>Avenida- calle</i>	<i>condición</i>	<i>Tipo de analisis</i>
Calle Ameller entre Avaroa y Topater	ancho de un solo sentido de circulación	Losa normal vrs losa corta
Calle Busch entre Uriondo y Héroes del Chaco	ancho constante	Losa normal vrs losa corta
Calle Potosí entre Luis Arancibia y Pasaje Rosedal	ancho de un solo sentido de circulación	Losa normal vrs losa corta
Calle Luis de Fuentes entre Cañeros y Campero	Ancho constante y variables de doble sentido de circulación	Losa normal vrs losa corta
Calle Belgrano entre Pando y Kleming	Ancho variable	Losa normal vrs losa corta

Fuente: Elaboración propia

Se realizara el analisis a las cuatro cuadras de diferente condición y dimensionamiento, efectuando el analisis de dichas losas en laboratorio y en gabinete.

El dimensionamiento del ancho, largo y espesor de las losas cortas brinda las bondades en cuestión de absorción de esfuerzos y mejores de condiciones de esfuerzos a flexión.

Las dimensiones de las losas en estudio son las siguientes:

Respecto al largo de las losas cortas la reducción que tiene que cumplir es la relación siguiente:

$$\frac{\text{ancho (m)}}{\text{largo (m)}} > 0.6$$

- **Calle Belgrano entre Pando y kleming**

Ancho variable

Ancho inicial: 6 m

Ancho final: 12 m

DIMENSIONAMIENTO DE LAS LOSAS	
CONVENCIONAL # 1	LOSA MODELO CORTA # 1
<p>Diagrama de una losa convencional de 6m de ancho por 6m de largo. El ancho se divide en dos secciones de 3m cada una. El largo se divide en dos secciones de 3m cada una. Se indica el sentido del tráfico con una flecha hacia la derecha.</p>	<p>Diagrama de una losa modelo corta de 6m de ancho por 3m de largo. El ancho se divide en dos secciones de 2.5m cada una. El largo se divide en dos secciones de 1.5m cada una. Se indica el sentido del tráfico con una flecha hacia la derecha.</p>
Condicion que debe cumplir: $\frac{30}{50} = 0.6 > 0.6$ Según norma	

- **Calle Ameller entre Avaroa y Topater**

Ancho de un solo sentido de circulación

Ancho del carril: 12 cm

DIMENSIONAMIENTO DE LAS LOSAS	
LOSA CONVENCIONAL # 2	LOSA MODELO CORTA # 2
Condicion que debe cumplir:	$\frac{30}{30} = 1 > 0.6$ según norma

- **Calle Potosí entre Luis Arancibia y Pasaje rosedal**

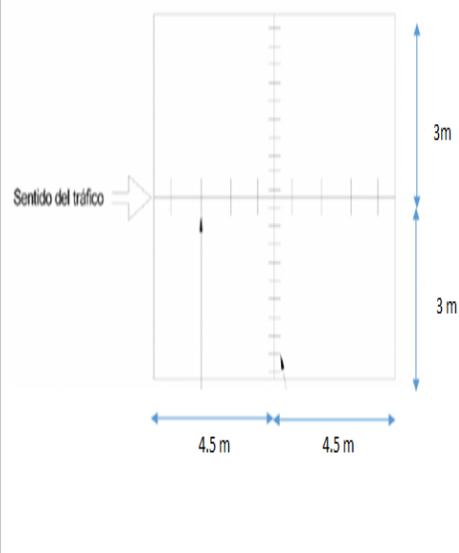
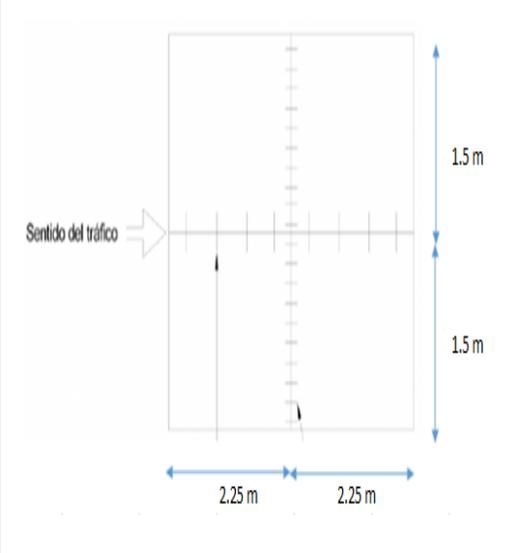
Ancho de un solo sentido de circulación

Ancho: 12 m

DIMENSIONAMIENTO DE LAS LOSAS	
LOSA CONVENCIONAL # 3	LOSA MODELO CORTA # 3
Condicion que debe cumplir:	$\frac{30}{40} = 0.75 > 0.6$ según norma

- **Calle Busch entre Uriondo y Héroes del chaco**

Ancho constante

DIMENSIONAMIENTO DE LAS LOSAS	
LOSA CONVENCIONAL # 4	LOSA MODELO CORTA # 4
	
Condicion que debe cumplir:	$\frac{30}{45} = 0.66 > 0.6$ según norma

Con las dimensiones reales de losas convencionales que están en metros se lo llevara a escala en centímetros, realizando losas modelos convencionales y cortas para someterlas a ensayos de laboratorio.

Ensayos que se realizaran ensayos a las probetas cubicas a diferentes escalas.

ANALISIS DE CAMBIO DE ESCALA PARA MOLDES UTILIZADOS EN EL LABORATORIO PORQUE SE REDUJO ESCALA “X” “Y” Y NO “Z”.

Las dimensiones de las losas en estudio de las 180 cuadras; respecto al largo de la losa la reducción tiene que cumplir es la relación:

$$\frac{\text{ancho (m)}}{\text{largo (m)}} > 0.6$$

Siendo estos valores de “X” y “Y” ancho y largo de las losas y el espesor del pavimento “Z”. Ya que para el estudio se redujo las dimensiones de las losas, de manera que tengan dimensiones trabajables en los ensayos de aplicación de carga y medición de deformaciones, aplicadas por las prensas de laboratorio y para lograr una equivalencia con las dimensiones reales; no se pudo investigar con losas de dimensiones reales siendo necesario una reducción de la losa de laboratorio y que tengan un mismo comportamiento.

No se redujo el espesor “Z” de 18 cm del pavimento convencional de las 180 cuadras, ya que la carga axial que se considera para la evaluación del pavimento, es la carga que cae sobre un espesor definido de pavimento y ese espesor está definido con el valor “Z”.

El peso axial se aplica sobre el espesor de losa cuyo esfuerzo influirá según el espesor del pavimento.

El peso que se ejerce en la losa no tiene nada que ver con el dimensionamiento ancho y largo; solo con el espesor en un punto.

Ya sé si se reduce el espesor de 18 cm a 10 cm teniendo un mismo esfuerzo y misma carga esta última tendera a romperse no tendrá mismo funcionamiento que el espesor real del pavimento.

Entonces ya no se hubiera podido demostrar que una losa corta tendría mejor funcionamiento que una convencional.

ANALISIS AL CAMBIO DE ESCALA AL ESPESOR REAL:

Losa convencional critica

losa corta

DIMENSIONAMIENTO DE LAS LOSAS	
LOSA CONVENCIONAL # 4	LOSA MODELO CORTA # 4
<p style="text-align: center;">Sentido del tráfico →</p> <p style="text-align: center;">4.5 m 4.5 m</p> <p style="text-align: right;">3 m 3 m</p>	<p style="text-align: center;">Sentido del tráfico →</p> <p style="text-align: center;">2.25 m 2.25 m</p> <p style="text-align: right;">1.5 m 1.5 m</p>
Condicion que debe cumplir:	$\frac{30}{45} = 0.66 > 0.6$ según norma



Pavimento Tradicional



Pavimento Losa Corta

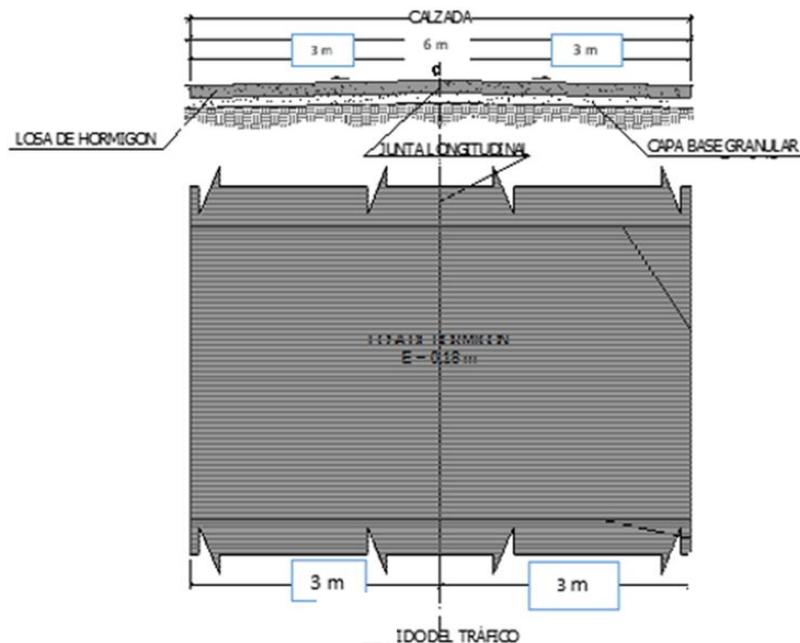
Dimensiona éstas de forma tal que ellas nunca sean cargadas por más de un set de ruedas del camión, logrando con esto disminuir significativamente las tensiones en dicha losa.

Una posibilidad es disminuir un 10% al espesor de 18 cm a 1,8 cm y no tendría un mismo comportamiento ya que un esfuerzo de 4,2 ton con lo que se trabaja en diseño lo va romper a este espesor entonces no va tener esfuerzos reales que va soportar una losa delgada.

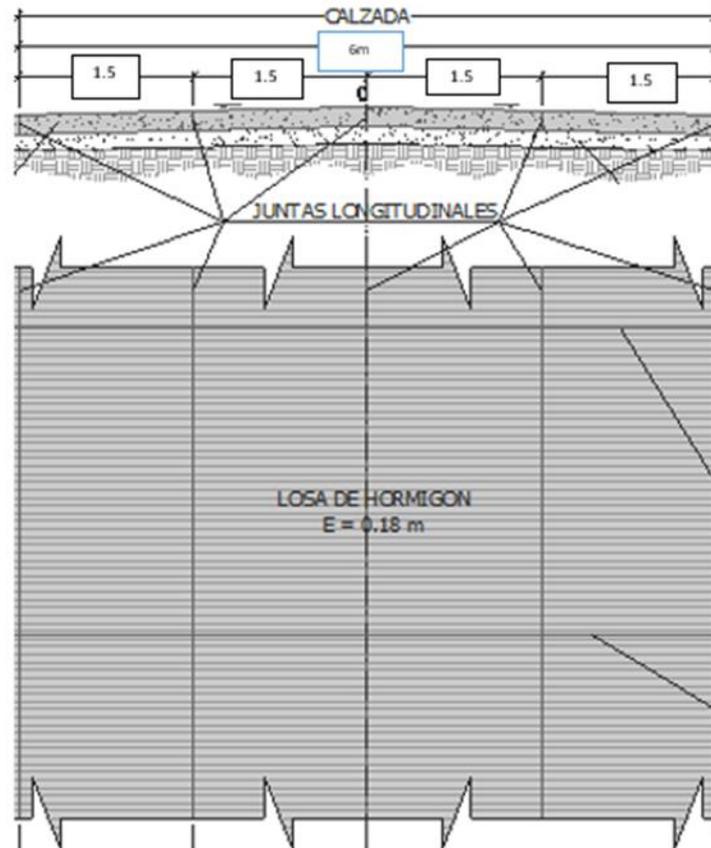
No se trabajó con una losa delgada por ese motivo, sino con un espesor real para poder observar la resistencia y deflexiones que pueda producir esta losa convencional vrs losa corta.

Se consideró la alternativa variando la geometría de las losas convencionales (3m x 4,5m losa crítica) a cortas (1,5m x 2,25m). Los motivos para plantear esta opción se consideran mejor desempeño del pavimento rígido de las losas cortas.

LOSAS TRADICIONALES DE 3 m DE ANCHO SECCIÓN TRANSVERSAL



**LOSA CORTA DE 1,5 m DE ANCHO
SECCION TRANSVERSAL**



**ANALISIS Y VERIFICACION DE ASENTAMIENTOS EN FUNCION A LA
REDUCCION DEL AREA CON LAS LOSAS CORTAS**

Cuando la losa es más grande se puede asentar más por los alabeos que se producen por las cargas, porque en una losa entra todas las cargas de dos ejes. Ya que los asentamientos son diferentes en las losas cortas y convencionales por el área de ambas.



La losa corta va entrar en una sola rueda el esfuerzo es menor y por lo mismo el asentamiento es menor. Corta es más rígida con el peso no tiende a deflectarse.

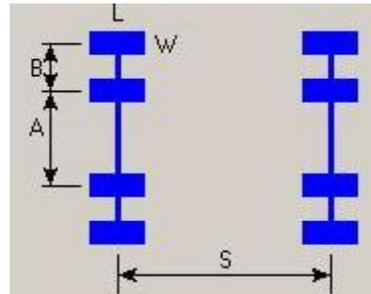
La losa normal con el peso que tiene tiende a deformarse y mayor asentamientos.

Las losas en estudio del pavimento convencional la más crítica son de dimensionamiento 4.5mx2.5m para estudiar la losa se redujo las dimensiones pero no se quiso demostrar que al reducir a 45cmx25cm son iguales y van a tener mismo comportamiento. Ya que no era posible poner en la maquina en laboratorio se redujo el dimensionamiento. Demostrando que la losa corta tendrá mejor comportamiento y menor asentamiento.

COMPORTAMIENTO LOSA CONVENCIONAL VRS LOSA CORTA

Especificación de las cargas de las ruedas y los ejes

Definición de geometría de eje de rueda



En estas pruebas se analizará la respuesta del pavimento para ejes simple, tándem y los parámetros geométricos y se muestra a continuación:

Eje Simple

A	1500 mm
B	350 mm
L	200
W	150
Carga total	100 KN

Eje Tandem

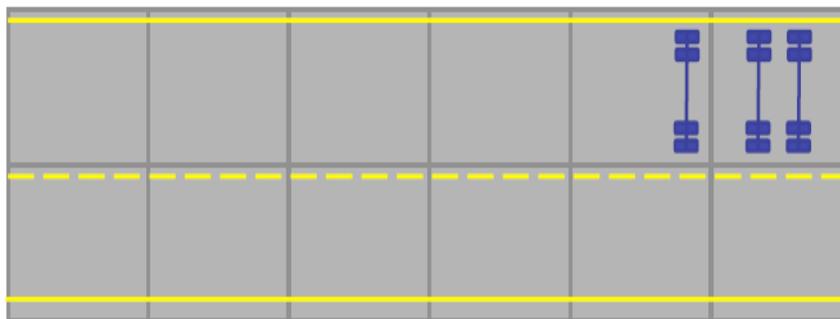
A	1500 mm
B	350 mm
L	200
W	150
S	1250
Carga total	160 KN

Eje Tridem

A	1500 mm
B	350 mm
L	200
W	150
S	1250
Carga total	200 KN

LAS POSICIONES DE LOS EJES SE ILUSTRAN A CONTINUACIÓN:

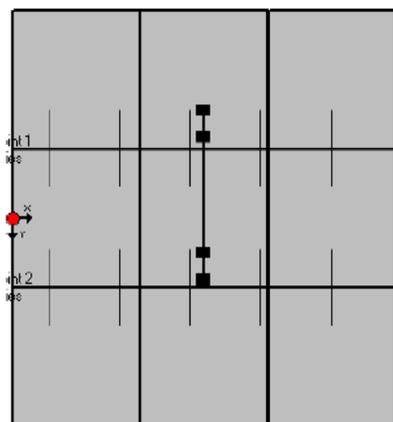
Comportamiento losa convencional



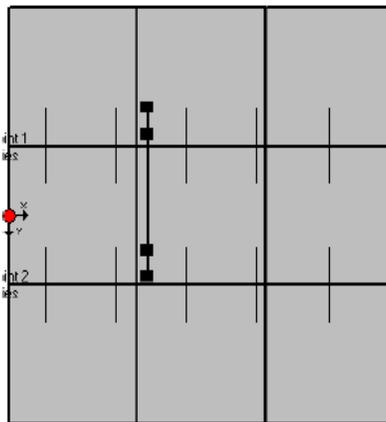
Comportamiento de losa corta

Eje Simple

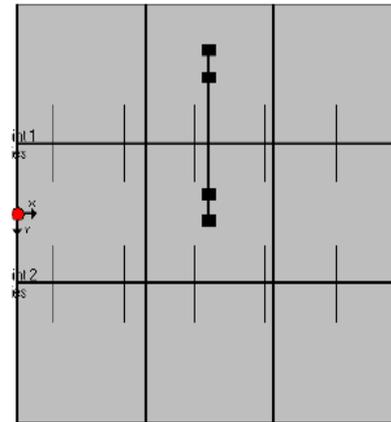
Losa cargada en el Borde



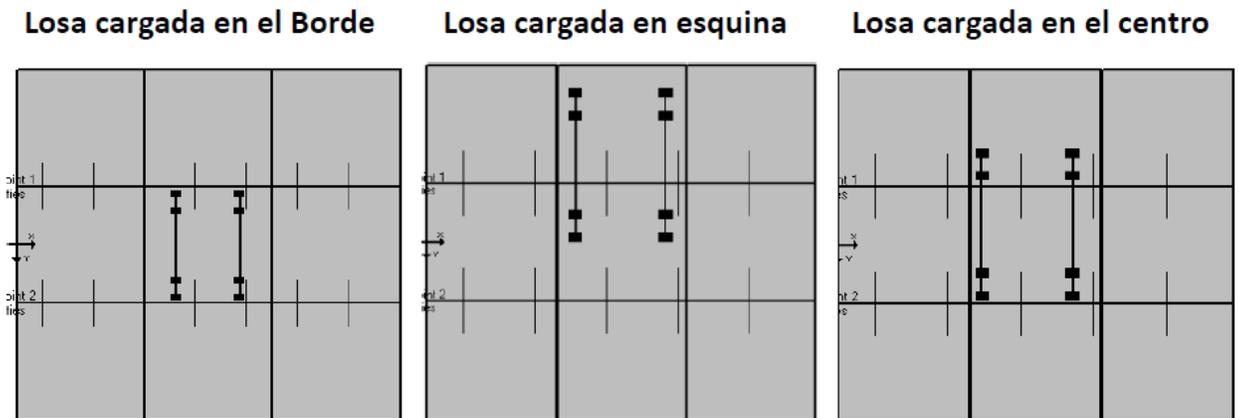
Losa cargada en esquina



Losa cargada en el centro



Eje Tándem



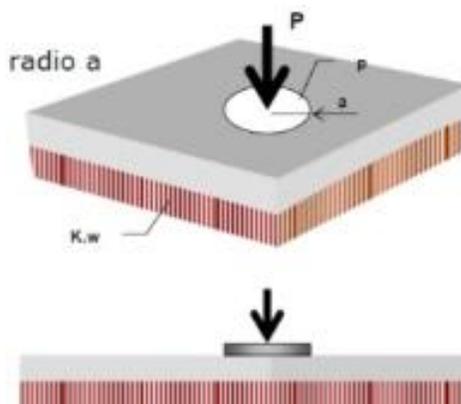
ANALISIS LOSA CONVENCIONAL VRS LOSA CORTA

La losa normal va tener una Deformación más grande donde se genera mayor alabeo.

La losa corta va tener una deformación más pequeña generando menores alabeos.

Las deflexiones críticas en el pavimento ocurren en la esquina de la losa de concreto, donde la carga del eje está posicionada en la junta, con las llantas en o muy cerca de la esquina. Cabe indicar que al proporcionar apoyo lateral al pavimento, se reducen considerablemente las deflexiones en la esquina. La ubicación de las cargas de las llantas del tráfico pesado en la parte externa del borde del pavimento crea condiciones más severas que cualquier otra posición de carga; al mover hacia dentro la posición de las llantas, unas pocas pulgadas desde el borde, los efectos decrecen substancialmente.

Gráficos de analisis



Esfuerzos en las losas convencionales es mucho mayor que en la losa corta esto se pudo demostrar en laboratorio que la losa corta tiene un mejor comportamiento.

4.5.2. Analisis en laboratorio de las Losas Convencionales y Cortas

4.5.2.1. Dosificación de Mezcla de hormigón Probetas Cilíndricas

La dosificación de mezcla de hormigón es la determinación de la combinación más económica y practica de los agregados, cemento y agua, que producirá una mezcla con el grado de trabajabilidad requerido y desarrollara el endurecimiento adecuado.

Se consideró una dosificación pensando obtener los requisitos de trabajabilidad y resistencia de un hormigón para pavimento.

La metodología de cálculo del diseño de mezcla se emplea la metodología de ACI, para el valor de la relación agua/cemento, combinación de agregados se ajustarán a parámetros y gráficos que líneas más adelante se mencionarán.

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del hormigón, siendo también el factor que se emplea frecuentemente para definir su calidad.

➤ Características de la mezcla

Trabajabilidad y cohesión

La trabajabilidad (docilidad) es una característica esencial del concreto. Es la facilidad de colocación, consolidación y terminación del concreto recién colocado sin que se produzca segregación, exudación o sangrado.

En nuestro caso se evalúa mediante el ensayo de asentamiento por el Cono de Abraham.

En las mezclas de pruebas se observó una muy buena trabajabilidad y una cohesión entre partículas estas apoyadas por la considerable cantidad de cemento en la mezcla, la proporción de agregados gruesos y finos.

Resistencia

La resistencia a compresión del concreto encontrado corresponde a la resistencia determinado a los 28 días de edad, en probetas cilíndricas; llegando a una resistencia superior a los 250 kg/cm² especificado en las especificaciones técnicas del proyecto.

- Componente de la mezcla de concreto

Cemento

El cemento a utilizar es cemento EL PUENTE con procedencia de Tarija, Es un cemento de tipo IP-30 con las siguientes características.

Cuadro 4.12. Características del Cemento

ANÁLISIS QUÍMICO	UNIDAD	RESULTADO DEL ENSAYO	REQUISITOS SEGÚN NB 011
PPF	%	3.47	
MgO	%	3.25	menor a 6,0
SO ₃	%	2.0	menor a 4,0
R.I.	%	15.96	
CAL LIBRE	%	0.79	
ENSAYOS FÍSICOS	UNIDAD		
Tiempo inicial de fraguado: (NB 063)	h:min.	161	mayor a 0:45
Tiempo final de fraguado: (NB 063)	h:min.	4.54	menor a 7:00
Expansión (Le-Chatelier C-A): (NB 643)	mm	0	menor a 8
Finura, Superficie Especifica según Blaine: (NB 472)	cm ² /g	4636	mayor a 2600
Peso específico: (NB 064)	g/cm ³	3.02	No especifica
ENSAYOS MECÁNICOS	UNIDAD		
NORMA NB 470 (ASTM C1099)			
Resistencia a la compresión	3 días MPa	22.57	mayor a 10
En mortero normalizado a:	7 días MPa	26.9	mayor a 17
	28 días MPa	31.42	mayor a 30

Fuente: resultados obtenidos, según los métodos descritos por la norma boliviana NB 011.

Agua

El agua es de características aceptables para su utilización en la mezcla de concreto.

Agregado grueso

Son partículas minerales procedentes del acopio, cuyas características físicas son los siguientes:

Cuadro 4.13. Características del Agregado grueso para la Dosificación

PARAMETROS	RESULTADOS	ESPECIFICACION	CONCLUSION
ABRASION DE LOS ANGELES	23.2	MAX. 30%	Cumple
DURABILIDAD SULFATO DE SODIO	1.32	MAX. 12%	Cumple
MATERIAL QUE PASA N°200	0	MAX. 1%	Cumple
PESO ESPECIFICO	2669		
ABSORCION	1.10	MAX. 2%	Cumple
PESO UNITARIO SUELTO	1675		
PESO UNITARIO COMPACTADO	1690		

Fuente: elaboración propia

El agregado grueso resulta de la combinación de dos tamaños de agregados:

1" - 1/2" :5%

3/4" - N 4 :95%

Agregado fino

El agregado fino (Arena Natural) es una arena cuya procedencia es del acopio de la empresa constructora "LIROSO", cumple con la característica física y granulométrica de las Especificaciones Técnicas, una arena con un buen módulo de fineza de 2.48.

En el siguiente cuadro se muestra las características físicas de la arena.

Cuadro 4.14. Características del Agregado grueso para la Dosificación

PARAMETROS	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES	CONCLUSION
DURABILIDAD SULFATO DE SODIO	3.34	MAX. 12%	Cumple
MATERIAL QUE PASA N°200	2.7	MAX. 3%	Cumple
PESO ESPECIFICO	2737		
ABSORCION	1.6	MAX. 2%	Cumple
PESO UNITARIO SUELTO	1691		
PESO UNITARIO COMPACTADO	1763		

Fuente: elaboración propia

- **Características del diseño de la mezcla de concreto**

Selección de la resistencia promedio

La resistencia promedio para una resistencia que asumimos de 250 Kg/cm², considerando un control de calidad bueno.

Selección del tamaño máximo del agregado

Se seleccionó como tamaño máximo 1", este tamaño de agregado porque reducirá en una mayor estabilidad de volumen de la mezcla, evitará la pérdida de asentamiento especialmente en los bordes, producirá un concreto de menor costo, con la menor tendencia a desarrollar fisuras debido a efectos térmicos o a retracción autógena, plástica o por disecación.

Selección del asentamiento

El concreto utilizado en pavimentación debe evitar tener agua en demasía que produzca un sangrado excesivo durante su colocación, y grietas de contracción al endurecer, aunque sin afectar la trabajabilidad y compactación del concreto.

La consistencia del hormigón será determinada por medio del cono de asentamiento según Norma Boliviana 589 91.

Se realizó bajo un asentamiento de 4 cm, cumpliendo estar entre el rango especificado de asentamiento de las mezcla estará comprendido entre 2 a 5 cm.

Grafico 4.22. Realizando la medición del Slump



Fuente: elaboración propia

Selección del contenido de agua

Se tomó de acuerdo a la norma la relación agua/ cemento de 0.52, donde la mezcla tiene buena trabajabilidad del hormigón y lograr el asentamiento deseado. Para la cantidad de agua mínima necesario el valor encontrado es de 202.8 lt /m³

Selección de la relación de agua/cemento

Con objeto de controlar el contenido de agua, así como alcanzar las resistencias de proyecto y la durabilidad deseada del concreto, se limita la relación agua/cemento, pero tomando en cuenta que, la relación agua/cemento adoptado debe ser siempre la menor posible.

El valor de diseño es de 0,52 garantizando de esta manera la calidad de la mezcla.

Selección de la cantidad de cemento

De acuerdo a las Especificaciones nos recomiendan utilizar un contenido mínimo de cemento de 330 kg por condiciones de desgaste.

El diseño contempla utilizar 390 Kg/m³ para garantizar las resistencias especificadas, la permeabilidad, la cohesión de la mezcla, la trabajabilidad y una contingencia técnica.

Selección de la proporción de los agregados

De acuerdo a los dos tipos de material (grava y gravilla) se dosifico para conseguir que cumpla en las especificaciones además se aplicó criterios recomendados para obtener una mezcla de agregados óptimos en la característica de trabajabilidad y colocación de la mezcla considerando el equipo a emplear.

La mayor cantidad de agregado grueso en la mezcla reduce los asentamientos en los bordes de la calzada, y hace necesario reducir la cantidad de agua mejorando la relación agua/cemento. Por esta razón se diseñó con una combinación de 53% de agregado grueso y 47% de agregado fino.

- **Curvas de gradación óptima**

Las mezclas de concreto producidas con una combinación de agregados bien gradados tienden a:

1. Reducir la necesidad de agua
2. Proporcionar y mantener una trabajabilidad adecuada
3. Requerir una terminación mínima
4. Consolidarse sin segregarse
5. Mejorar la resistencia y el desempeño prolongado

La granulometría combinada de los agregados se usa para calcular los factores de grosor y de trabajabilidad del hormigón.

➤ **Diseño final**

Componentes de la mezcla en peso:

Cuadro 4.15. Dosificación en m³

Cemento:	390.0 kg/m ³
Agua:	202.8 kg/m ³
Grava:	979.8 kg/m ³
Arena:	823.7 kg/m ³

Fuente: elaboración propia

Ver planillas en ANEXO II

➤ **Fabricación del hormigón**

El llenado de las probetas se realiza en 3 capas, se coloca hormigón hasta cubrir la tercera parte de la altura del molde cada vez. Una vez colocada cada capa, se la compacta con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre la superficie.

La primera capa, los golpes deben atravesarla íntegramente pero no golpear el fondo del molde. La compactación de la segunda y la tercera capa se realiza atravesando cada una de ellas y penetrando solamente la parte superior de la capa siguiente. Finalmente, se enrasa la probeta al nivel del borde superior del molde, mediante, retirando el sobrante de hormigón y trabajando la superficie hasta conseguir una cara perfectamente plana y lisa.

Figura 4.23. Varillado al hormigón



Fuente: elaboración propia

Figura 4.24. Enrasado superficial



Fuente: elaboración propia

La finalidad de compactar el hormigón dentro de los moldes es la de eliminar los huecos que pueden quedar dentro de la masa por diferencias en las formas y tamaños de los componentes que, al disminuir la sección de la probeta, le hacen perder resistencia.

➤ **Curado de probetas**

Las probetas deben retirarse de los moldes, de preferencia a las 24 horas, pero se permite un margen entre las 20 y 48 horas después de elaborados.

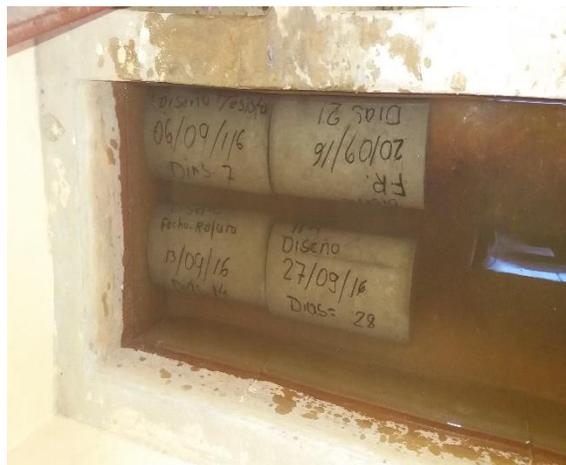
Transcurriendo este tiempo procede a transportarlos al laboratorio a una condición húmeda hasta el momento del ensayo. Disponer los cilindros en una pileta con agua.

Figura 4.25. Desmolde de las probetas



Fuente: elaboración propia

Figura 4.26. Curado de las probetas



Fuente: elaboración propia.

4.5.2.2. Determinación de la Resistencia a Compresión de probetas cilíndricas (ASTM C39 AASTHO T22)

Ensayo de resistencia a compresión.

El objetivo final de la fabricación de probetas de es el control de la calidad del hormigón a través del ensayo a compresión de las mismas. El valor de resistencia es un indicador concreto a la hora de proyectar estructuras.

Este ensayo se realiza por medio de una prensa que comprime la probeta hasta provocarle la rotura a la misma, obteniendo de esta manera el valor último de carga (llamado carga de rotura) para ese tipo de hormigón fabricado. El tiempo que transcurre entre la preparación de las probetas y la edad de ensayo son 28 días.

Se realizó ensayos a las probetas a los 7, 14,21 y 28 días.

Se anotará la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la compresión.

Figura 4.27. Probeta en la prensa



Fuente: elaboración propia

Figura 4.28. Rotura de la probeta a los 28 días.



Fuente: elaboración propia

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA

Cuadro 4.16. Resumen de la Resistencia a Compresión

N° PROBETA	RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS (Kg/m ²)
1	281.11
2	280.28
3	279.2
4	283.21

Fuente: elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO II

4.5.2.3. Elaboración de las losas modelos Cortas y Convencionales

➤ Fabricación de Probetas cubicas para las losas

La fabricación de probetas cubicas se elaboró de diferentes dimensiones esto dependiendo de las dimensiones geométricas de las losas en estudio, tanto como para convencionales y cortas normalizadas para caracterizar la resistencia a flexión.

Para la fabricación de las probetas, se necesitó un moldaje adecuado para contener el hormigón durante el proceso de fraguado hasta que éste alcanzara la resistencia adecuada.

Las probetas utilizadas para la realización de los ensayos fueron las siguientes:

Cuadro 4.17. Probetas utilizadas en el estudio

CANTIDAD	DIMENSIONES LOSA MODELO CONVENCIONAL (cm)	DIMENSIONES LOSA MODELO CORTA (cm)	ENSAYO
16	50*30*18	25*15*18	flexión
16	30*30*18	15*15*18	flexión
16	40*30*18	20*15*18	flexión
16	45*30*18	22.5*15*18	flexión

Fuente: elaboración propia.

Para la fabricación de las probetas cúbicas de diferentes dimensiones se utilizaron moldajes estandarizados de acero.

Figura 4.29. Moldes cúbicos

Fuente: elaboración propia

➤ **Dosificación para las Losas Cortas y Convencionales**

La dosificación para las losas se utiliza la misma método de Dosificación ACI que las probetas cilíndricas solamente cambiando los volúmenes de cada molde de estudio que son de diferentes dimensiones.

Cuadro 4.18. Dosificación en m³ de las losas

DOSIFICACION m ³	LOSA CONVENCIONAL				LOSA CORTA			
	DIMENCION	DIMENCION	DIMENCION	DIMENCION	DIMENCION	DIMENCION	DIMENCION	DIMENCION
	50*30*18	30*30*18	40*30*18	45*30*18	25*15*18	15*15*18	20*15*18	22.5*15*18
Cemento:	390	390	390	390	390	390	2.106	390
Agua:	202.80	202.80	202.80	202.80	202.80	202.80	1.10	202.80
Grava:	920.91	920.91	920.91	920.91	920.91	920.91	4.97	920.91
Arena:	887.58	887.58	887.58	887.58	887.58	887.58	4.79	887.58

Fuente: elaboración propia.

Ver planilla en ANEXOS II

Figura 4.30. Elaboración del hormigón y vaciado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.31. Enrasado y desmolde de la losa



Fuente: Elaboración propia.

➤ **Curado de losas**

Los especímenes deberán retirarse de los moldes entre las 24 y 48 horas después del moldeado y se curarán de la misma manera que los cilindros. Se los somete a una piscina con agua para luego realizar el ensayo de flexión.

Figura 4.32. Curado de las losas



Fuente: Elaboración propia

4.5.2.4. Determinación de la Resistencia a Flexión y Deformación de las losas modelos y Convencionales (ASTM C78 AASTHO T97)

Para la determinación de Resistencia a flexión de las losas en estudio se realizaron de la siguiente manera:

Para las losas convencionales se realizara el método de la viga simple cargada en los tercios de la luz; esto debido ya en una losa convencional está cargada por dos ejes de rueda de un auto.

Para las losas cortas se realizara el método de la viga simple cargada en el punto central; esto debido ya que la losa corta tendrá menor dimensionamiento está cargada por un eje de rueda de un auto.

- **Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en los tercios de la luz a las losas convencionales.**

Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, por medio del uso de una viga simple cargada en los tercios de la luz.

Equipos utilizados

Para la ejecución de este ensayo se empleó la Máquina de ensayos universal.

El equipo utilizado para el ensayo fue la maquina universal de la Facultad de ciencias agrícolas y forestales en el laboratorio de la tecnología de la madera.

El método de carga en los tercios deberá utilizarse en la realización de ensayos de flexión, empleando bloques de carga, los cuales asegurarán que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y sin excentricidad.

Todos los aparatos utilizados en el ensayo de flexión del concreto deben ser capaces de mantener la longitud especificada de la luz entre apoyos, y las distancias entre los bloques de aplicación de carga.

Figura 4.33. Máquina de ensayo universal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.34. Deformímetro con dial



Fuente: Elaboración propia

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO:

Medición de las probetas

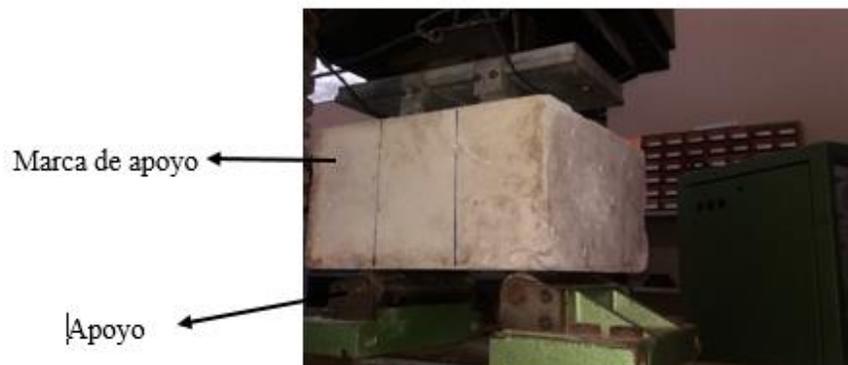
Se miden las probetas marcando el tercio medio de cada una de ellas, lugar en que se aplicará la carga. Se marca también el lugar en que la losa convencional donde debe ser apoyada.

Posición de las probetas

Se limpia la superficie de la máquina donde la probeta será apoyada.

Se coloca la probeta en forma horizontal sobre los apoyos alineándola con las marcas hechas para esto.

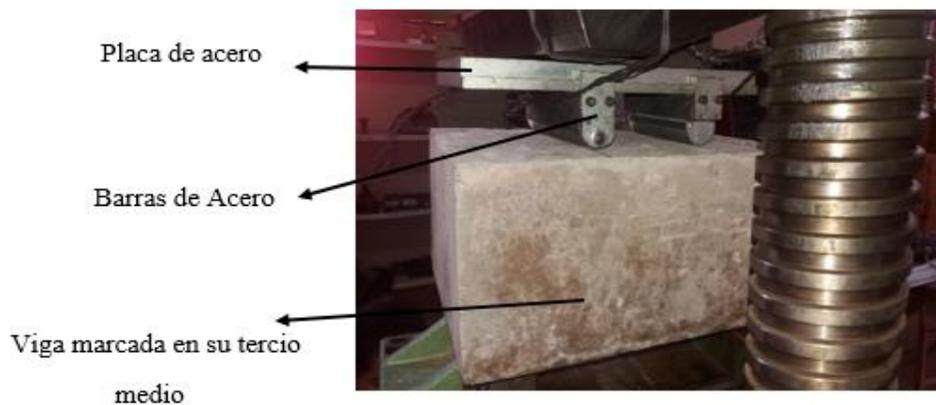
Figura 4.35. Apoyo de la probeta en la máquina de prueba.



Fuente: Elaboración propia

Se colocan unas barritas de acero sobre la marca de los tercios medios de la probeta y sobre estas una placa de acero que distribuirá la fuerza ejercida por la máquina.

Figura 4.36. Posición de las barras y la placa de acero sobre la probeta



Fuente: Elaboración propia.

Se asienta la parte superior de la máquina, guiándola suavemente, para obtener un apoyo sobre placa lo más uniforme posible.

Figura 4.37. Losa convencional en posición de ensayo



Fuente: Elaboración propia

Todas las vigas ensayadas presentaron la fractura dentro del tercio medio de la luz, por lo que no fue necesario descartar ningún resultado.

Se obtuvo valores de la prensa a flexión universal cargas y deformaciones.

➤ **Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central a las losas cortas.**

Esta norma tiene por objeto establecer los procedimientos que deben seguirse en la determinación de la resistencia a la flexión de un pequeño espécimen de concreto por medio del uso de una viga simple cargada en el punto central.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO:

Medición de las probetas

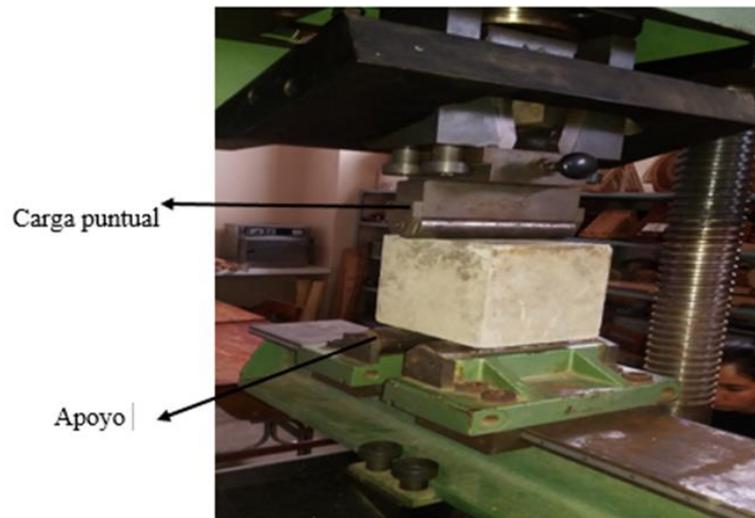
Se miden las probetas marcando el punto central de cada una de ellas, lugar en que se aplicará la carga. Se marca también el lugar en que la losa corta donde debe ser apoyada.

Posición de las probetas

Se limpia la superficie de la máquina donde la probeta será apoyada.

Se coloca la probeta en forma horizontal sobre los apoyos alineándola con las marcas hechas para esto.

Figura 4.38. Apoyo de la probeta losa corta en la máquina de prueba.



Fuente: Elaboración propia

Se colocan unas barritas de acero sobre la marca del punto central de la probeta y sobre estas una placa de acero que distribuirá la fuerza ejercida por la máquina.

Figura 4.39. Posición de las barras y la placa de acero sobre la probeta



Fuente: Elaboración propia.

Se asienta la parte superior de la máquina, guiándola suavemente, para obtener un apoyo sobre placa lo más uniforme posible.

Se obtuvo valores de la prensa a flexión universal cargas y deformaciones.

RESULTADOS DE LA PRÁCTICA

Cuadro 4.19. Resumen de Resistencia a flexión losas convencionales y cortas.

RESISTENCIA A FLEXION (Mpa)							
RESISTENCIA A FLEXION LOSA CONVENCIONAL				RESISTENCIA A FLEXION LOSA CORTA			
L. convencional 1	L. convencional 2	L. convencional 3	L. convencional 4	L.corta 1	L.corta 2	L.corta 3	L.corta 4
4.31	4.34	4.31	4.41	4.95	5.39	5.22	5.30
4.40	4.41	4.36	4.48	5.64	5.46	5.34	5.62
4.67	4.57	4.67	4.85	6.52	6.31	5.80	6.54
4.70	4.62	4.71	4.87	6.67	6.36	6.15	6.56

Fuente: Elaboración propia.

Ver planilla en ANEXOS II

4.5.2.6. Determinación del alabeo de las losas convencionales y losas cortas

Tomando en cuenta que el alabeo de losas se produce en el levantamiento de las esquinas de las losas se hace necesario realizar las mediciones en las esquinas inicial y final de la losas modelo de laboratorio tanto como la convencional y corta después de someterle a cargas de deformación.

➤ Medición del alabeo

Tomando en cuenta que el alabeo de las losas de concreto se manifiesta mediante el levantamiento de las esquinas de la losa debido a diferentes razones, el alabeo fue determinado realizando el levantamiento topográfico utilizando nivel de ingeniero para poder determinar las cotas terreno en cada punto de las losas modelos de laboratorio.

El alabeo resulta de la resta de la cota inicial que las obtuvimos mediante levantamiento topográfico y las cota del medio.

Figura 4.40. Levantamiento topográfico



Fuente: Elaboración propia

➤ **Obtención de las cotas de las losas convencionales y cortas mediante nivelación**

- Tener un conocimiento correcto del equipo de medición ya sea inicialmente en la calibración y en la manipulación al realizar los ensayos de medición correctamente.
- El material y equipo de trabajo. Para la ejecución de las mediciones se requiere de tres personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo, en este caso el nivel de ingeniero, y realiza las lecturas, un auxiliar que las anota y una tercera persona que debe trasladarse con la mira para poder lecturar en el punto exacto donde se precise conocer la cota.
- Las mediciones se realizaron en forma continua en cuatro puntos al inicio, medio y final de la losa modelo de laboratorio tanto para las losas convencionales y cortas.
- Con los datos obtenidos por medio del levantamiento topográfico, se somete al cálculo del alabeo que se presenta en las losas modelo.
- Los valores son registrados en las planillas de campo, se traslada los datos de campo a gabinete para el desarrollo de cálculo. Se obtuvieron valores en las losas convencionales hasta 0,9 mm como máximo y mínimo de 0.3mm de alabeo.

Losas cortas hasta 0,5mm como máximo y mínimo 0,2mm de alabeo.

Figura 4.41. Medición de las cotas en las losas



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL ALABEO

Cuadro 4.20. Alabeo de las losas

N°	Losa convencional	Losas corta	Alabeo losa convencional	Alabeo losa corta
	cotas	cotas	(m)	(m)
1	1848.26700	1848.26640	0.00000	0.00000
	1848.26610	1848.26610	0.00090	0.00030
	1848.26620	1848.26620	0.00080	0.00020
	1848.26750	1848.26630	0.00000	0.00000
2	1848.26800	1848.26770	0.00000	0.00000
	1848.26730	1848.26740	0.00070	0.00030
	1848.26750	1848.26730	0.00050	0.00040
	1848.26820	1848.26771	0.00000	0.00000
3	1848.26500	1848.26510	0.00000	0.00000
	1848.26450	1848.26485	0.00050	0.00025
	1848.26440	1848.26482	0.00060	0.00028
	1848.26520	1848.26530	0.00000	0.00000
4	1848.26100	1848.26100	0.00000	0.00000
	1848.26040	1848.26040	0.00060	0.00030
	1848.26050	1848.26050	0.00050	0.00030
	1848.26150	1848.26150	0.00000	0.00000

Fuente: Elaboración propia

Ver planilla en ANEXOS II

4.5.3. Diseño de espesores y dimensionamiento de la losa propuesta

4.5.3.1. Ejecución del programa DARWin 3.0 ASTHO-93

El diseño de espesores se efectúa con el programa DARWin 3.0 AASHTO-93 para la ejecución del programa se necesitan datos iniciales que estos serán obtenidos del estudio del pavimento rígido 180 cuadras de la ciudad de Bermejo.

Con los datos obtenidos, se ha realizado el diseño final empleando el software "DARWin 3.0", desarrollado por la AASHTO.

A continuación se enumeran las variables utilizadas para el diseño con una breve descripción y justificación del valor adoptado.

ESALs de 80KN (18kips) Sobre el Período Inicial de Desempeño.-

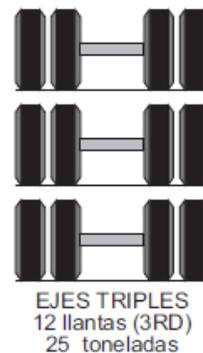
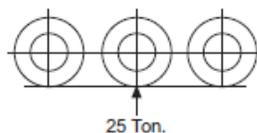
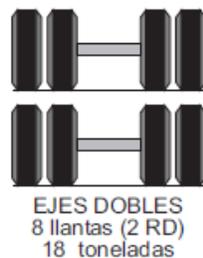
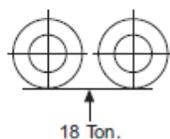
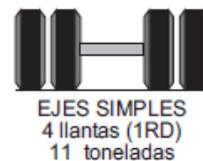
Es el número acumulado de Ejes Equivalentes de 18.000,00 lb que se espera que el pavimento pueda soportar en su período inicial de desempeño (en el caso del presente proyecto 20 años). Para la determinación de los ESALs, se ha aplicado el cálculo de los factores de camión para todos los vehículos, tomando los mismos tipos y cargas que ha considerado el Consultor, e interpolando linealmente de las tablas del Apéndice "D" de la Guía AASHTO.

Trafico de Diseño.-

Para determinar el tráfico actual en las vías urbanas de la ciudad de Bermejo que están en el área de proyecto del presente estudio, en la cual se desarrollaron aforos ubicando para ello distintas estaciones dentro del área de proyecto.

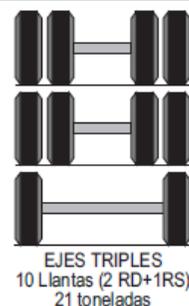
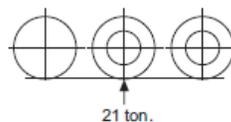
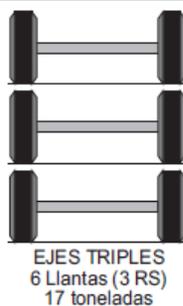
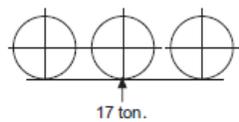
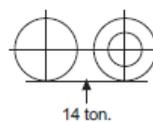
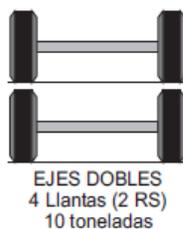
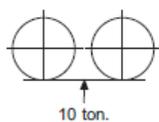
LIMITES DE PESOS PERMITIDOS POR EJES

(Expresado en toneladas)



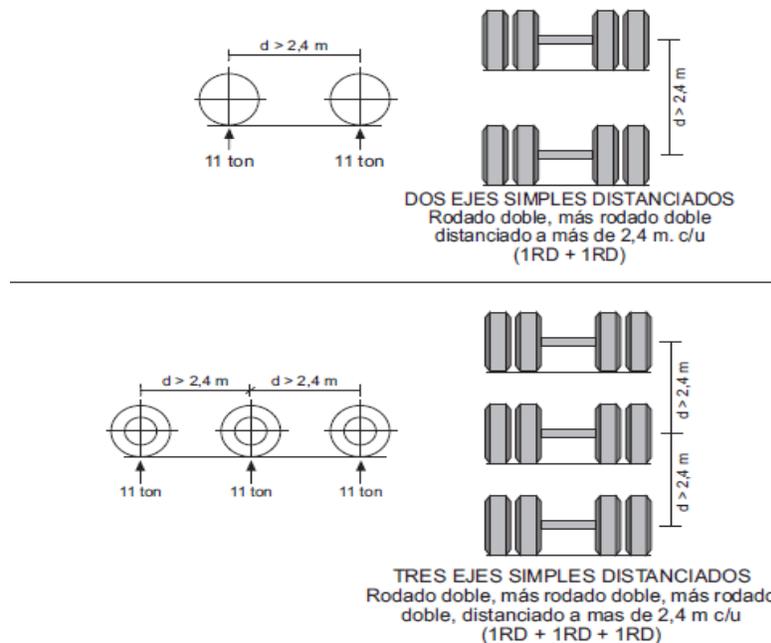
LIMITES DE PESOS PERMITIDOS POR EJES - OTRAS COMBINACIONES

(Expresado en toneladas)



COMBINACIONES DE EJES DISTANCIADOS

(Expresado en toneladas)



Si bien los aforos de tráfico permiten conocer el TPD, para los estudios de transporte, se debe determinar el tráfico representativo anual, lo que se conoce con el nombre de Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA); para lo que se debe tomar en cuenta las variaciones del flujo vehicular a lo largo del año; esto se obtiene afectando el TPD con el factor estacional mensual

(FEM) correspondiente al mes en que se realizó la encuesta.

TRÁFICO PROMEDIO DIARIO (VÍAS URBANAS DE BERMEJO)

VIA CRITICA	TPD	FEM	TPDA
La Paz - Buch	124	0,9663	120

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de realizar la proyección del tráfico promedio diario se procede a calcular los ESAL'S que equivalen al número acumulado de ejes equivalentes de 80 KN (18 Kips)

que el pavimento puede soportar en su período inicial de desempeño vale decir, desde su apertura al tráfico hasta su rehabilitación mayor.

Cargas tipo.-

ANÁLISIS DE CARGAS POR EJE DE VEHICULOS PESADOS

Los aforos no han permitido registrar las cargas transportadas por los camiones.

Para el análisis de las cargas transportadas se han tomado solamente los registros de los vehículos que llevaban alguna carga. En el cuadro siguiente se muestra los registros del estudio Bermejo - los Ingenios que como explicamos tomaremos como referencia para la época crítica de zafra cuyos vehículos en algunos casos usan las vías urbanas en su recorrido.

CARGA MEDIA TRANSPORTADA POR CAMIONES CARRETERA TRAMO BERMEJO – LOS INGENIOS

TIPO DE VEHÍCULO	CARGA MEDIA TRANSPORTADA
Camión Pequeño (Hasta 5 Ton) 2 ejes simples	3,30 Ton
Camión Mediano (De 5.5 a 9.5 Ton) 2 ejes simples	5,10 Ton
Camión Grande (Mas de 10 Ton) 1 eje simple y 1 eje simple de 4 llantas 1 eje simple y un eje doble tipo tándem	9,40 Ton 14,00 Ton

Fuente: Estudio de la carretera tramo Bermejo –Los Ingenios

La Ley de Cargas establece los siguientes pesos máximos permitidos de vehículos:

PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS POR LEY DE CARGAS

	PESO MÁXIMO PERMITIDO (TONELADAS)
Peso bruto total para vehículos	45
Peso bruto total para eje simple	7
Peso bruto total para eje simple de cuatro llantas	11
Peso bruto total para eje doble tipo tándem	18
Peso bruto total para eje triple tipo tri dem	25

Fuente: Ley de cargas.

Asumiendo que el peso del vehículo vacío (peso tara) es de 7 toneladas, se puede determinar las cargas máximas permitidas por tipo de vehículo.

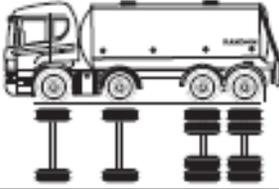
CARGAS OBSERVADAS Y CARGAS PERMITIDAS

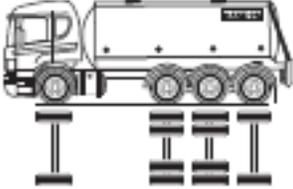
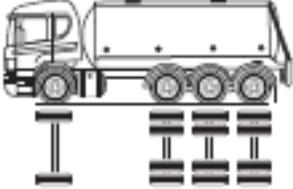
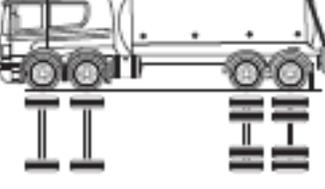
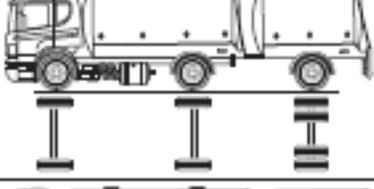
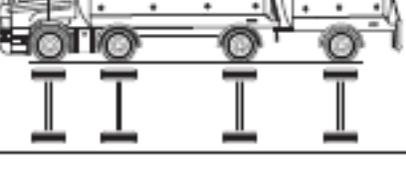
TIPO DE CAMION	CARGA MEDIA TOTAL (TONELADAS)	CARGA TOTAL PERMITIDA POR LEY (TONELADAS)
Camiones pequeños (2 ejes simples)	3,30	14,00
Camiones medianos (2 ejes simples)	5,10	14,00
Camiones grandes (1 eje simple y 1 eje simple de 4 llantas)	9,40	18,00
Camiones de 3 ejes (1 eje simple y 1 eje doble tipo tándem)	14,00	25,00

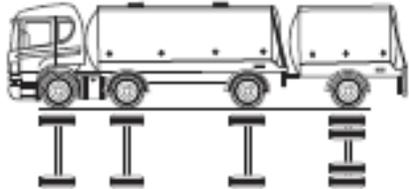
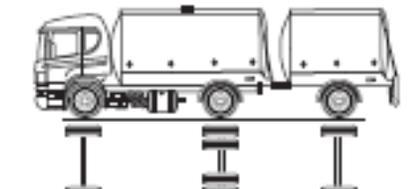
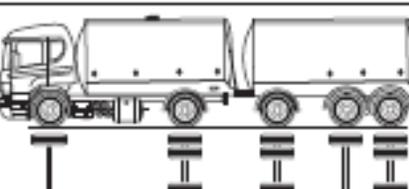
Fuente: Elaboración propia.

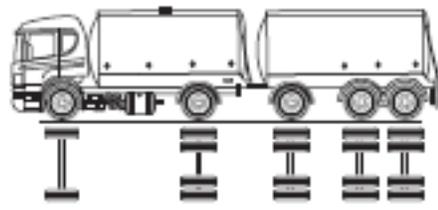
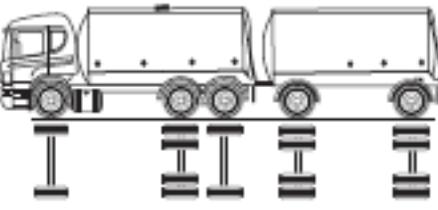
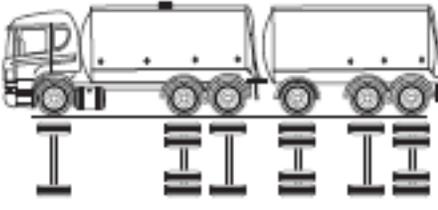
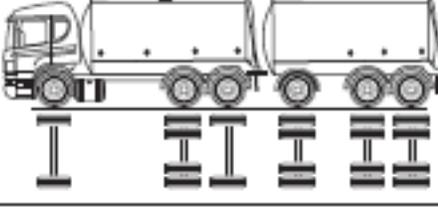
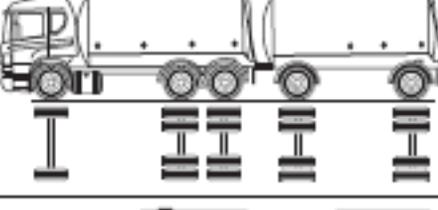
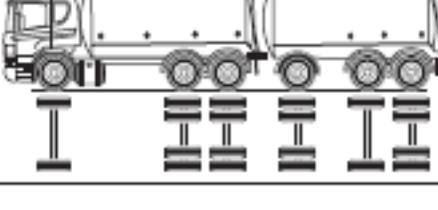
El cuadro anterior muestra que el promedio de cargas de los vehículos que probablemente transiten por las vías urbanas no sobrepasan las cargas admitidas por Ley. Tampoco se han registrado casos individuales que sobrepasen el límite permitido. Sin embargo luego de la implementación del pavimentado de las vías urbanas, sería recomendable la instalación de una estación de control de cargas que evite la sobrecarga que origina el deterioro prematuro del pavimento de las vías urbanas.

PESOS Y DIMENSIONES MÁXIMAS POR TIPO DE VEHÍCULO

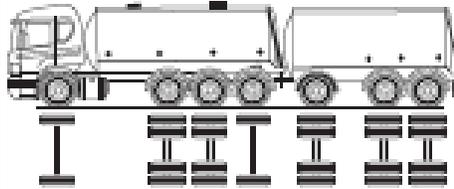
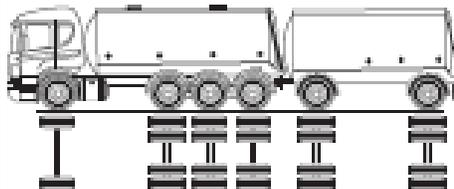
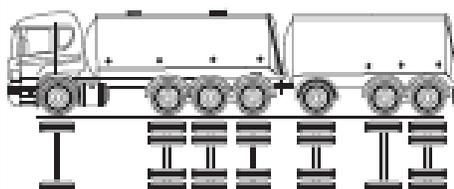
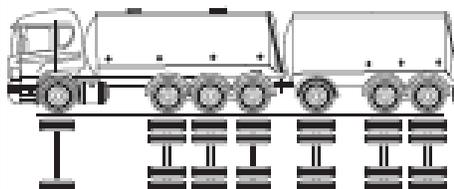
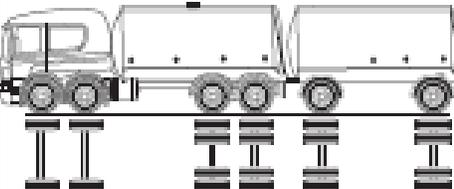
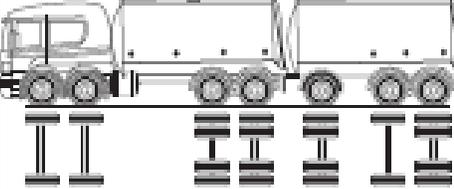
Nº	Descripción gráfica de los Vehículos	Nº de ejes/ llantas	Long. max. m.	Eje deñnt.	Peso por eje en Ton.				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
CAMIONES									
1		1RS-1RS	11,50	7	7				14
2		1RS-1RS-1RS	12,20	7	7	7			21
3		1RS-1RD	11,50	7	11				18
4		1RS-1RD1RS	12,20	7	14				21
5		1RS-2RD	12,20	7	18				25
6		1RS-1RS-2RD	12,20	7	7	18			32

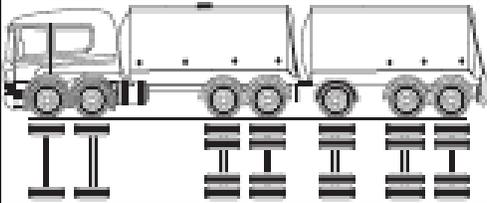
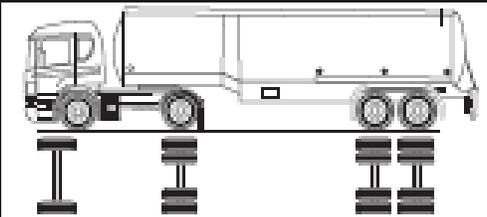
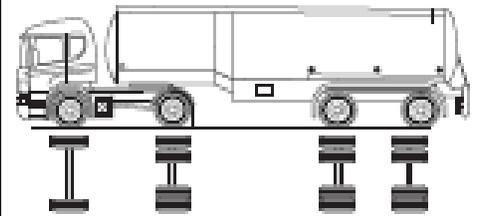
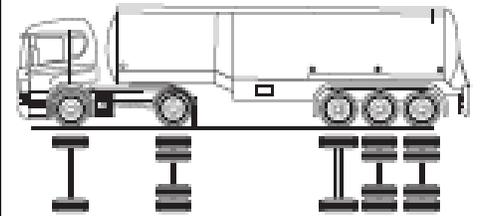
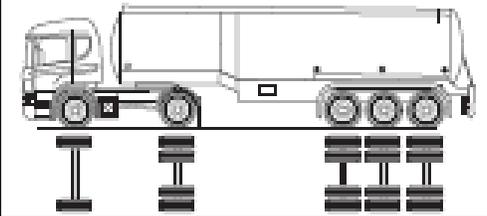
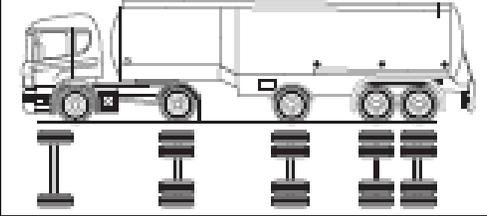
Nº	Descripción gráfica de los Vehículos	Nº de ejes/lantas	Long. max. m.	Eje delant.	Peso por eje en Ton.				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
7		1RS-2RD1RS	12,20	7	21				28
8		1RS-3RD	12,20	7	25				32
9		2RS-2RD	12,20	10	18				28
CAMIONES CON REMOLQUES									
10		1RS-1RS 1RS	18,00	7	7	7			21
11		1RS-1RS 1RD	18,00	7	7	11			25
12		1RS-1RS-1RS 1RS	18,00	7	7	7	7		28

N°	Descripción gráfica de los Vehículos	N° de ejes/ llantas	Long. max. m.	Eje delant.	Peso por eje en Ton.				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
13		1RS-1RS-1RS 1RD	18,00	7	7	7	11		32
14		1RS-1RD 1RS	18,00	7	11	7			25
15		1RS-1RD 1RD	18,00	7	11	11			29
16		1RS-1RD 1RS-1RS	20,50	7	11	7	7		32
17		1RS-1RD 1RD-1RD	20,50	7	11	11	11		40
18		1RS-1RD 1RD-1RS1RD	20,50	7	11	11	14		43

Nº	Descripción gráfica de los Vehículos	Nº de ejes/llantas	Long. max. m.	Eje delant.	Peso por eje en Ton.				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
19		1RS-1RD 1RD-2RD	20,50	7	11	11	18		45
20		1RS-1RD1RS 1RD-1RD	20,50	7	14	11	11		43
21		1RS-1RD1RS 1RD-1RS1RD	20,50	7	14	11	14		45
22		1RS-1RD1RS 1RD-2RD	20,50	7	14	11	18		45
23		1RS-2RD 1RD-1RD	20,50	7	18	11	11		45
24		1RS-2RD 1RD-1RS1RD	20,50	7	18	11	14		45

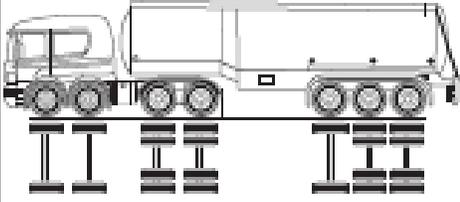
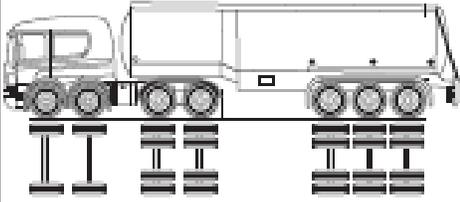
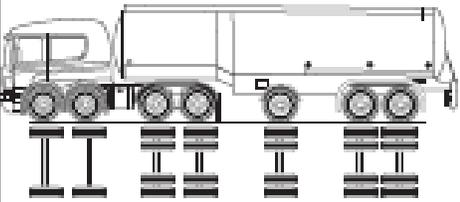
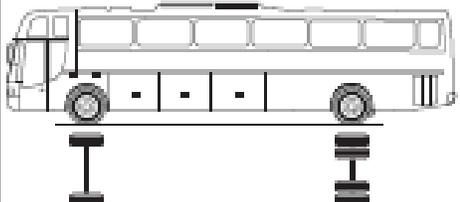
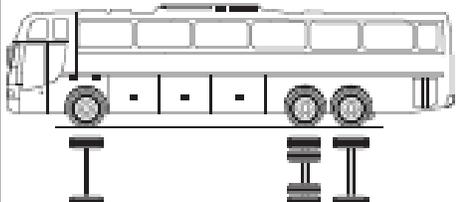
Nº	Descripción gráfica de los Vehículos	Nº de ejes/ llantas	Long. max. m.	Eje delant.	Peso por eje en Ton.				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
25		1RS-2RD 1RD-2RD	20,50	7	18	11	18		45
26		2RS-2RD 1RD-1RD	20,50	10	18	11	11		45
27		2RS-2RD 1RD-1RS1RD	20,50	10	18	11	14		45
28		2RS-2RD 1RD-2RD	20,50	10	18	11	18		45
29		1RS-2RD1RS 1RD-1RD	20,50	7	21	11	11		45
30		1RS-2RD1RS 1RD-1RS1RD	20,50	7	21	11	14		45

Nº	Descripción gráfica de los Vehículos	Nº de ejes/ llantas	Long. max. m.	Eje delant.	Peso por eje en Ton.				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
31		1RS-2RD 1RS 1RD-2RD	20,50	7	21	11	18		45
32		1RS-3RD 1RD-1RD	20,50	7	25	11	11		45
33		1RS-3RD 1RD-1RS1RD	20,50	7	25	11	14		45
34		1RS-3RD 1RD-2RD	20,50	7	25	11	18		45
35		2RS-2RD 1RD-1RD	20,50	10	18	11	11		45
36		2RS-2RD 1RD-1RS1RD	20,50	10	18	11	14		45

Nº	Descripción gráfica de los Vehículos	Nº de ejes/ lantaras	Long. max. m.	Eje delant	Peso por eje en Ton.				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
37		2RS-2RD 1RD-2RD	20,50	10	18	11	18		45
TRACTOCAMIONES CON SEMIRREMOLQUE									
38		1RS-1RD 2RD	18,00	7	11	18			36
39		1RS-1RD 1RD-1RD	18,00	7	11	11	11		40
40		1RS-1RD 1RS2RD	18,00	7	11	21			39
41		1RS-1RD 3RD	18,00	7	11	25			43
42		1RS-1RD 1RD-2RD	18,00	7	11	11	18		45

Nº	Descripción gráfica de los Vehículos	Nº de ejes/ llantas	Long. max. m.	Eje delant.	Peso por eje en Ton.				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
43		1RS-1RD1RS-2RD	18,00	7	14	18			39
44		1RS-1RD1RS-1RD-1RD	18,00	7	14	11	11		43
45		1RS-1RD1RS-1RS2RD	18,00	7	14	21			42
46		1RS-1RD1RS-3RD	18,00	7	14	25			45
47		1RS-1RD1RS-1RD-2RD	18,00	7	14	11	18		45
48		1RS3RD-2RD	18,00	7	18	18			43

Nº	Descripción gráfica de los Vehículos	Nº de ejes/ lantaras	Long. max. m.	Eje de/ant.	Peso por eje en Ton.				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
49		1RS-2RD 1RD-1RD	18,00	7	18	11	11		45
50		1RS-3RD 1RS3RD	18,00	7	18	21			45
51		1RS-3RD 3RD	18,00	7	18	25			45
52		1RS-2RD 1RD-2RD	18,00	7	18	11	18		45
53		2RS-2RD 2RD	18,00	10	18	18			45
54		2RS-2RD 1RD-1RD	18,00	10	18	11	11		45

N°	Descripción gráfica de los Vehículos	N° de ejes/ lantas	Long. max. m.	Eje delant.	Peso por eje en Ton.				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
55		2RS-2RD 1RS2RD	18,00	10	18	21			45
56		2RS-2RD 3RD	18,00	10	18	25			45
57		2RS-2RD 1RD-2RD	18,00	10	18	11	18		45
OMNIBUS									
58		1RS-1RD	13,20	7	11				18
59		1RS-1RD1RS	13,20	7	14				21

DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALENTES PAVIMENTO DE HORMIGÓN

Composición de tráfico vehicular	Livianos		Buses			Camiones			Otros	Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
Distribución	Composición Vehicular (%)										
	78,81%		6,92%			4,89%	7,18%	4,78%	1,52%	0,05%	100,00%
	75,31%		6,92%			17,77			1,57%		100,00%
Pavimento Rígido			Pf = 2,5 Pi = 4.2		Total vehíc. =		5.482.300		Período de diseño (años) = 30		
Factores Equivalentes Vehiculares	No se considera		0,0007672			0,5298	4,3383	4,4894	7,5807		Total
Total Vehículos			289			170.165	1.130.813	1.757.746	649.011		3.780.024
Ejes Acumulados											
									Total	1.854.012	

Fuente: Elaboración Propia.

TRÁFICO PROMEDIO DIARIO TOTAL = 751 veh/día

NUMERO DE VEHICULOS EN EL PERIODO DE VIDA = 751 x 365 x 20 = 5.453.100 veh

NUMERO DE EJES POR BUSES = 5.482.300 x 0.0007672 x 6,92% = 291 ejes de buses

NUMERO DE EJES POR CAMIONES TIPO 6 = 5.482.300 x 5,89% x 0.5298 = 171.076 ejes de camiones tipo 6

NUMERO DE EJES POR CAMIONES TIPO 7 = 5.482.300 x 7.18% x 4.3383 = 1.707.681 ejes de camiones tipo 7

NUMERO DE EJES POR CAMIONES DE TIPO 8 Y 9 = 5.482.300 x 4.78% x 4.4894 = 1.176.464 ejes de camiones tipo 8 y 9

NUMERO DE EJES POR CAMIONES DE TIPO 10,11 Y 12 = 5.482.300 x 1.57% x 7.5807 = 652.486 ejes camiones tipo 10,11 y 12

EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS = 1.853.999

Serviciabilidad Inicial: (po)

Es una medida de la suavidad del pavimento o facilidad de conducción inmediatamente después de la construcción. La serviciabilidad tiene un rango de 0 a 5. El valor 5 es el pavimento perfectamente suave, y 0 sería un pavimento impasable. El valor recomendado por AASHTO para pavimentos rígidos carreteros nuevos es **4,50**.

Serviciabilidad final: (pt)

Es la serviciabilidad mínima tolerable del pavimento, en la misma escala de 0 a 5. Cuando la serviciabilidad del pavimento alcanza su valor terminal y requiere una rehabilitación. En contraste con la serviciabilidad inicial que se mide en base a los registros de construcción, la serviciabilidad terminal es una función de muchos factores, incluyendo clasificación del pavimento, volumen de tráfico y ubicación. Valores típicos de serviciabilidad terminal están entre 2 y 3, dependiendo de la clasificación funcional de la carretera, las recomendaciones de AASHTO para la selección de la serviciabilidad terminal son:

- Volumen Alto (>10.000 TPDA) 3,0 - 3,5
- Volumen Medio (3,000 - 10,000 TPDA) 2,5 – 3,0
- Bajo Volumen (< 3,000 TPDA) 2,0 – 2,5

Módulo de Ruptura Promedio del Hormigón a los 28 Días: (S´c)

Es el esfuerzo de tensión en la fibra extrema bajo la carga de rotura. El módulo de ruptura requerido como dato para el procedimiento de diseño es el valor promedio determinado después de 28 días usando el ensayo de carga del tercio central (AASHTO T97, ASTM C78). Es muy difícil derivar una correlación a-priori entre el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión, se adoptará un valor promedio **S´c = 680 psi**, usual para proyectos de pavimentación, el mismo que se verificará durante la construcción mediante ensayos de vigas a la flexión. Las dosificaciones de hormigón corresponden en forma aproximada a este valor.

Módulo Elástico Promedio de la Losa a los 28 días: (Ec)

Es la medida de la rigidez de la losa. Mientras más alto sea el valor del módulo elástico, más rígida será la losa. Los esfuerzos, deformaciones y deflexiones están influenciados por el valor del módulo elástico. Este valor se determina usando los procedimientos descritos en ASTM C 469. Sin embargo, puede determinarse a partir de otra información de resistencia del hormigón. En nuestro caso la estimación corresponde al valor aproximado de: **3.000.000**

Psi. El diseño es poco sensible a esta variable.

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante: (k)

Es la medida del soporte provisto para la losa de hormigón por las capas inferiores, se denomina módulo efectivo de reacción de la subrasante por que considera la variación estacional y el soporte provisto por el terraplén.

En nuestro caso, se dispone de valores de CBR, a partir de los cuales se ha correlacionado el valor de "k". El espesor de la losa es poco sensible al valor de "k", puesto que la presión que transmite el pavimento rígido al suelo de fundación es muy baja, de manera que si se duplica el valor de "k", el espesor se reducirá en aproximadamente 1,00 cm. Por este motivo, no se ha considerado el aporte estructural del terraplén. AASHTO-97 sugiere no considerar el aporte estructural de la base ni el Factor de Pérdida de Soporte, de manera que se ha considerado directamente "k" de la subrasante en base a los CBR correspondientes a la subrasante natural con un 95% de compactación.

Los resultados de laboratorio presentados por el consultor se incluyen en los acápites 4.11.2; Estudio Geotécnico, con un valor de 3% de CBR se adopta un módulo K de **10 pci.**

Nivel de Confianza:

Como se define por la Guía de Diseño AASHTO, la confianza (**R**) es la probabilidad (expresada como porcentaje) de que una estructura de pavimento sobreviva al tráfico del período de diseño. Generalmente, a medida que los volúmenes de tráfico se

incrementan, las consecuencias de la falla prematura son mayores, por tanto, las rutas de alto volumen de tráfico deben construirse con un mayor nivel de confianza. Las recomendaciones AASHTO para la selección de los valores de confianza son:

VALORES DE CONFIANZA (EN FUNCIÓN DE LA FUNCIONALIDAD)

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	URBANA	RURAL
Interestatal y Otras Autopistas	85,00 – 99,90	80,00 – 99,90
Arterias Principales	80,00 – 99,00	75,00 – 95,00
Coletores	80,00 – 95,00	75,00 – 95,00
Local	50,00 – 80,00	50,00 – 80,00

Fuente: Guía de Diseño de la AASHTO

En el presente caso se adopta un valor del **80%**.

Desviación Estándar Global: (So)

Toma en cuenta todos los errores o variabilidad asociada con los datos de diseño y construcción, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, suelo de fundación, estimaciones de tráfico, condiciones climáticas y calidad de construcción. En la ausencia de valores nacionales, la Guía de Diseño AASHTO provee valores recomendados para pavimentos rígidos. Para el caso donde la variación del tráfico futuro proyectado no se considera, la Guía de Diseño AASHTO recomienda un valor de **0,35**.

Se recomienda para pavimentos rígidos, valores de desviación estándar entre los límites:

$$0,30 \leq S_0 \leq 0,40$$

Coefficiente de Transferencia de Carga: (J)

Se usa en el diseño de pavimentos rígidos para considerar el apoyo lateral provisto en las esquinas de la losa. Los dispositivos de transferencia de cargas, interacción de agregados, y la presencia de bermas de hormigón vinculadas tienen un efecto en este

valor, coeficientes de transferencia de carga más altos corresponden a menor soporte provisto para el pavimento, con menor soporte, se espera que el pavimento será más susceptible al bombeo, y otros deterioros relacionados con juntas y esquinas.

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

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CARGA

TIPO DE PAVIMENTO	BERMA DE ASFALTO		BERMA DE H° VINCULADO	
	DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA		DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA	
	SI	NO	SI	NO
Junta Sencilla y Junta reforzada	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
Continuamente Reforzada	2,9 – 3,2	N/D	2,3 – 2,9	N/D

Fuente: Guia de la AASTHO, Parte II, Sección 2.4.2.

Se ha realizado el diseño considerando una berma de asfalto con dispositivo de transferencia, por lo que el factor adoptado es de **3,20**

Coeficiente Global de Drenaje.-

El coeficiente de drenaje (**Cd**) incorpora el efecto de drenaje en la vida de los pavimentos rígidos. El efecto de drenaje en el desempeño de los pavimentos es una función de la calidad del drenaje (tiempo requerido para que el agua escurra) y la cantidad de tiempo durante el año en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

La calidad del drenaje depende de las permeabilidades de la base y los materiales de fundación, el diseño de las secciones transversales estructurales y de la presencia de drenes longitudinales de borde. Este valor no es fácil de determinar y en el presente

caso se adoptará simplemente por las características de clasificación de suelos proporcionadas por el consultor y los datos de pluviometría.

El período de tiempo durante el año que el pavimento está expuesto a niveles cercanos a la saturación es una función de las características de precipitación y evapotranspiración que son inherentes al clima particular de la región.

Para la selección del coeficiente de drenaje, AASHTO provee la siguiente tabla:

COEFICIENTES DE DRENAJE

CALIDAD DE DRENAJE	MENOS DE 1 %	1 - 5%	5 - 25%	MÁS DE 25 %
Excelente	1,25 - 1,20	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10
Buena	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00
Regular	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90
Pobre	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80
Muy Pobre	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,70

Fuente: Guía de Diseño de la AASHTO Parte I, Sección 1,8 y Parte II, Sección 2.4.1.

NIVELES DE CALIDAD DE DRENAJE

CALIDAD DE DRENAJE	AGUA REMOVIDA DENTRO DE:
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	Agua no drena

Fuente: Guía de Diseño de la AASHTO Parte I, Sección 1,8 y Parte II, Sección 2.4.1.

Las condiciones hidrológicas del terreno, indican un drenaje entre regular y bueno y las características de precipitación de la zona nos llevan a deducir que entre el 5 al 25% del tiempo, el pavimento estará en niveles cercanos a la saturación, por tanto el valor adoptado corresponde a **1,10**.

Módulo Resiliente.- No se tomó en cuenta este parámetro ya que para el diseño del espesor se utilizó el software Darwin ASSTHO-93 tomando en cuenta módulo de reacción de la subrasante k.

Módulo resiliente es un parámetro que se utilizaba para el diseño de espesor por el método AASHTO tradicional.

$$M_R = 17,6 * CBR^{0,64} \text{ (MPa) para CBR entre 2 y 12\%}$$

$$M_R = 22,1 * CBR^{0,55} \text{ (MPa) para CBR entre 12 y 80\%}$$

➤ **Verificación de la carga de los ejes equivalentes para el diseño propuesto**

Utilizando los parámetros obtenidos del diseño original del pavimento rígido de las 180 cuadras. Se redujeron los espesores de 1 cm, se comenzó de 18 cm espesor del diseño original del pavimento hasta reducir a 15 cm.

Obteniendo los siguientes resultados:

Trabajando con un **espesor de 18cm**:

Se presentan los resultados del software DARWin junto a los detalles correspondientes al proceso de cálculo.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (unselected) and 'Pavimento rígido' (selected).
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '80 % Zr=-0.841' and a text box for 'So' with the value '0.35'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.5) and 'PSI final' (2.5).
- Módulo de reacción de la subrasante:** A text box for 'k' with the value '10' and the unit 'pci'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): 3000000
 - Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 680
 - Coefficiente de transmisión de carga - (J): 3.20
 - Coefficiente de drenaje - (Cd): 1.10
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular D' (unselected) and 'Calcular W18' (selected). The result 'D = 7.2' is displayed.
- Ejes de 18 kips:** The result 'W18 = 1575876' is displayed.

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Espesor 17 cm:

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 80 % $Z_r = -0.841$ So 0.35

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.5 PSI final 2.5

Módulo de reacción de la subrasante
 k 10 pci

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) 3000000 Coeficiente de transmisión de carga - (J) 3.20
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) 680 Coeficiente de drenaje - (Cd) 1.10

Tipo de Análisis
 Calcular D $D =$ 6.8
 Calcular W18

Ejes de 18 kips
W18 = 1106938

Calcular Salir

Espesor de 16cm:

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 80 % $Z_r = -0.841$ So 0.35

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.5 PSI final 2.5

Módulo de reacción de la subrasante
 k 10 pci

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) 3000000 Coeficiente de transmisión de carga - (J) 3.20
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) 680 Coeficiente de drenaje - (Cd) 1.10

Tipo de Análisis
 Calcular D $D =$ 6.4
 Calcular W18

Ejes de 18 kips
W18 = 766572

Calcular Salir

Espesor de 15cm:

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 80 % Zr=-0.841 So = 0.35

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.5 PSI final 2.5

Módulo de reacción de la subrasante
 k 10 pci

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) 3000000
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) 680
 Coeficiente de transmisión de carga - (J) 3.20
 Coeficiente de drenaje - (Cd) 1.10

Tipo de Análisis
 Calcular D D = 6
 Calcular W18 Ejes de 18 kips W18 = 520749

Calcular Salir

Se obtiene diferentes valores de cantidad de repeticiones de carga para toda la vida útil. Reduciendo el espesor y dimensiones nos lleva a encontrar menores de repeticiones de carga y disminuyendo considerablemente la carga en la losa demostrando mediante este calculo que se presentara menor esfuerzo.

- Losa convencional entra todo el eje y toda rueda.
- Losa corta no entre todo el eje y toda la rueda. Disminuye considerable la carga.

Obteniendo el valor en kip resultado que es favorable ya que comprueba que el diseño de losas cortas podrá resistir las cargas por eje en las losas.

4.5.3.2. Ejecución del software BS-PCA 98

Para la realización del software BS-PCA 98 se consideraron los datos de diseño del pavimento rígido 180 cuadras de la ciudad de Bermejo, mismos datos que se utilizó para el anterior programa de DARWin.

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

La erosión se cuantifica en términos de porcentaje del daño total por erosión, se recomienda optimizar el diseño obteniendo un valor cercano al 100%, ya que si se tienen valores menores a dicho porcentaje, se estaría determinando una estructura sobre diseñada.

La fatiga se cuantifica en términos de porcentaje de absorción de la fatiga, se recomienda optimizar el diseño obteniendo un valor cercano al 100% ya que si se tienen valores menores porcentaje, se estaría determinando una estructura sobre diseñada.

Estos dos criterios son importantes para tomar en cuenta en el programa. Valores que se colocan k es de 10 PCI, pavimento con pasadores y sin bermas, para sensibilizar el diseño el espesor de la losa de 7.2 pulgadas, se toma resistencia de 680 Psi y numero de repeticiones de carga del diseño se va ir incrementando desde 1,2. La siguiente figura muestra la pantalla de cálculo:

Puede verse que cumple satisfactoriamente con los criterios, el diseño de espesor de 18 cm cumple satisfactoriamente.

4.5.3.3. Aplicación del modelo de Elementos Finitos

El diseño del pavimento rígido 180 cuadras de la Ciudad de Bermejo, propuesto se está considerando cambiar a la alternativa de losas cortas, cuyos beneficios y características son ampliamente conocidos, resaltando el excelente comportamiento de este tipo de losas ante las solicitaciones de tráfico.

Las características geométricas de las losas cortas responden ante las cargas con menores tensiones y desplazamientos, así como menor retracción y alabeo.

Para lograr los objetivos propuestos se realizara por medio del software EverFE que modela pavimentos en elementos finitos y verifica tensiones en losa.

RESULTADOS DEL PROGRAMA UTILIZADO: EVERFE

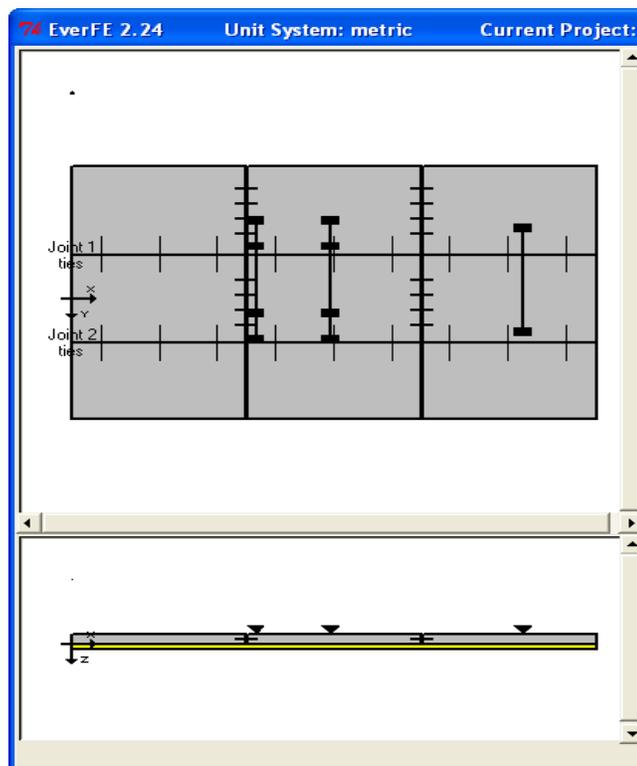
ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS CRITICOS

DISEÑO PROPUESTO DE LOSA

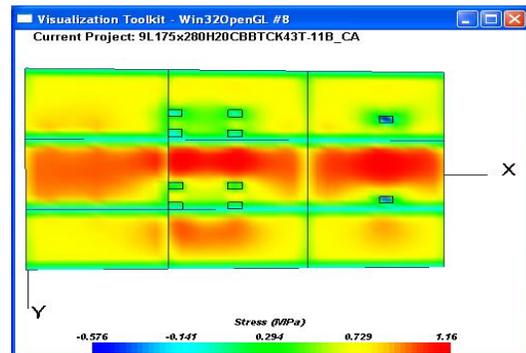
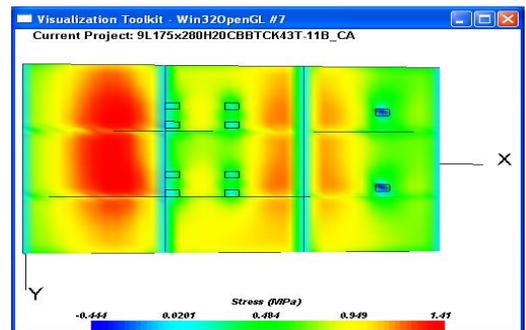
PROYECTO: PAVIMENTO RIGIDO DE LAS 180 CUADRAS – CIUDAD DE BERMEJO

<p>losas cortas 1.5x2.25m Espesor 18cm</p>	<p>AUTOBUS Posición carga: ESQUINA</p>
---	--

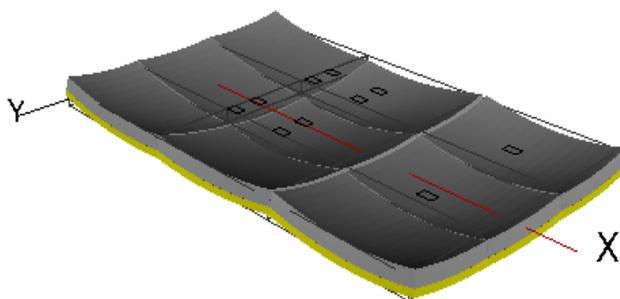
Esquema del modelo



Tensión máxima de tracción en dirección del eje X en la parte superior de la losa 1.45 MPa y 1.18 en la dirección Y.



Desplazamiento:



1.45 < 2.02 MPa

Tensión menor a la admisible
(43% de 4.3 MPa)

La losa corta es efectiva

ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS CRITICOS

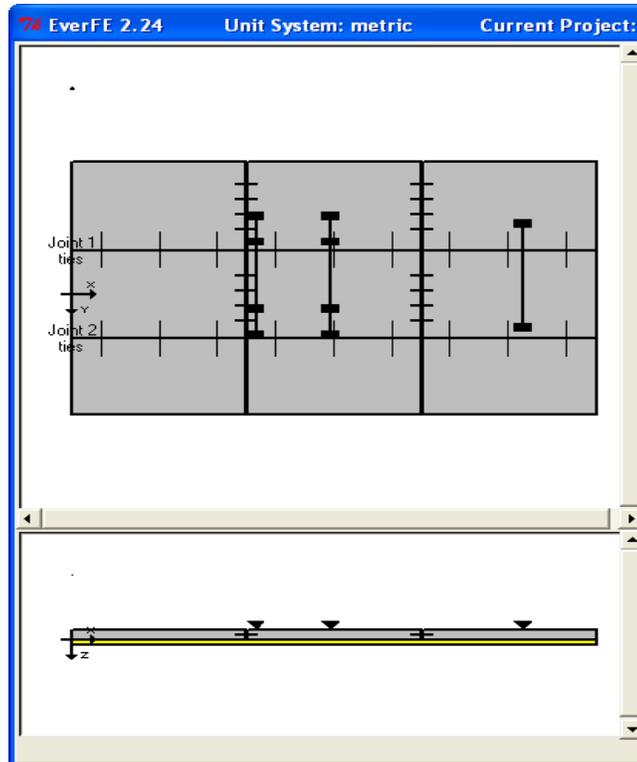
LOSA CONVENCIONAL MAS CRITICA

losas de 4,5mx3m Espesor 18cm

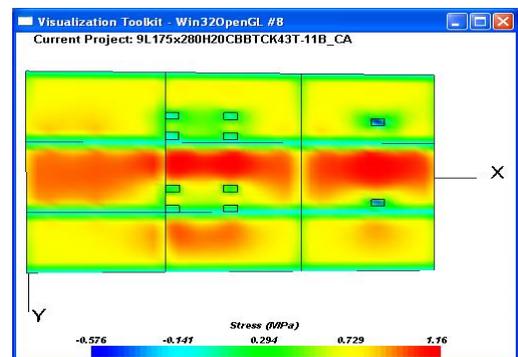
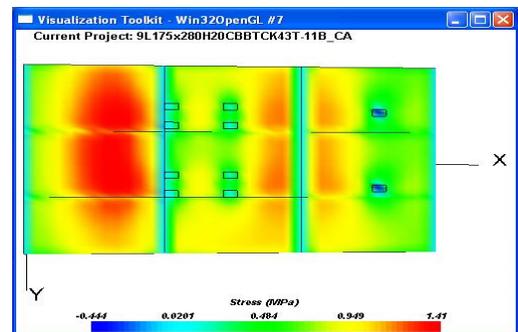
Tractocamión c/sobrecarga

Posición carga: ESQUINA

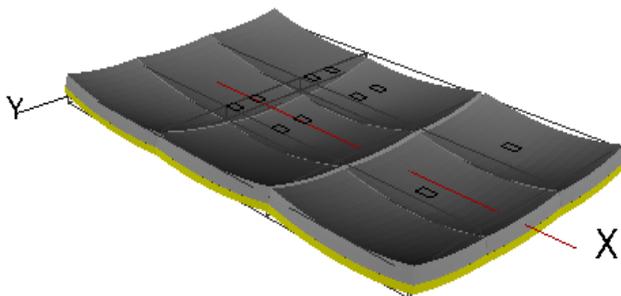
Esquema del modelo



Tensión máxima de tracción en dirección del eje X en la parte superior de la losa 1.69 MPa y 1.37 en la dirección Y.



Desplazamiento:



$$1.69 < 2.02 \text{ MPa}$$

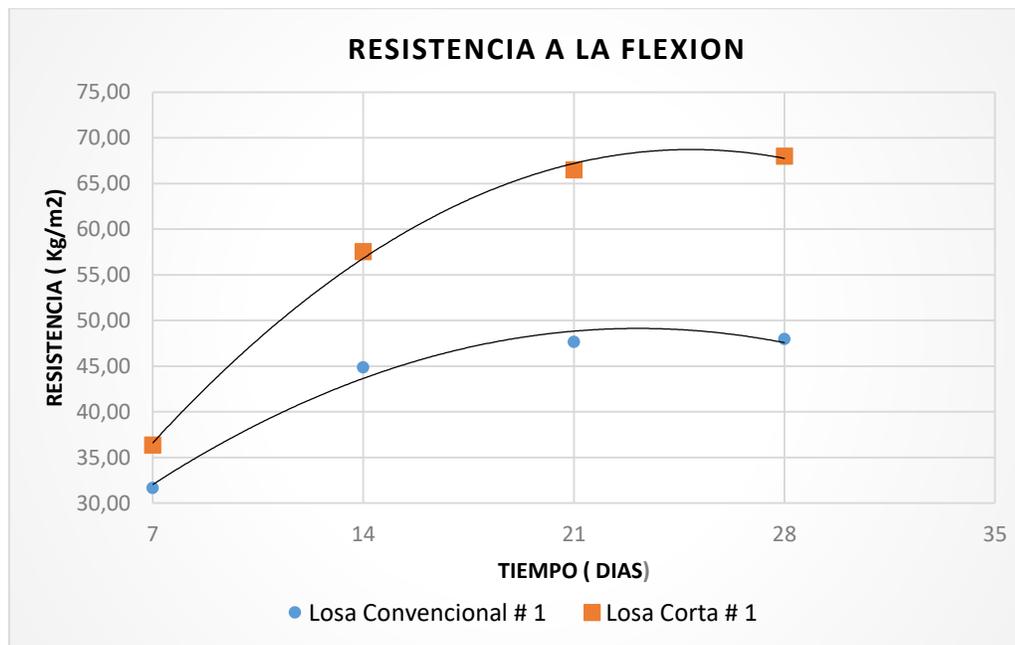
Tensión menor a la admisible

La losa corta es efectiva

4.6. EVALUACION DE LOS RESULTADOS Y ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOSA CORTA VRS LOSA CONVENCIONAL

4.6.1. Resistencia a Flexion de las Losas Cortas y Convencionales.

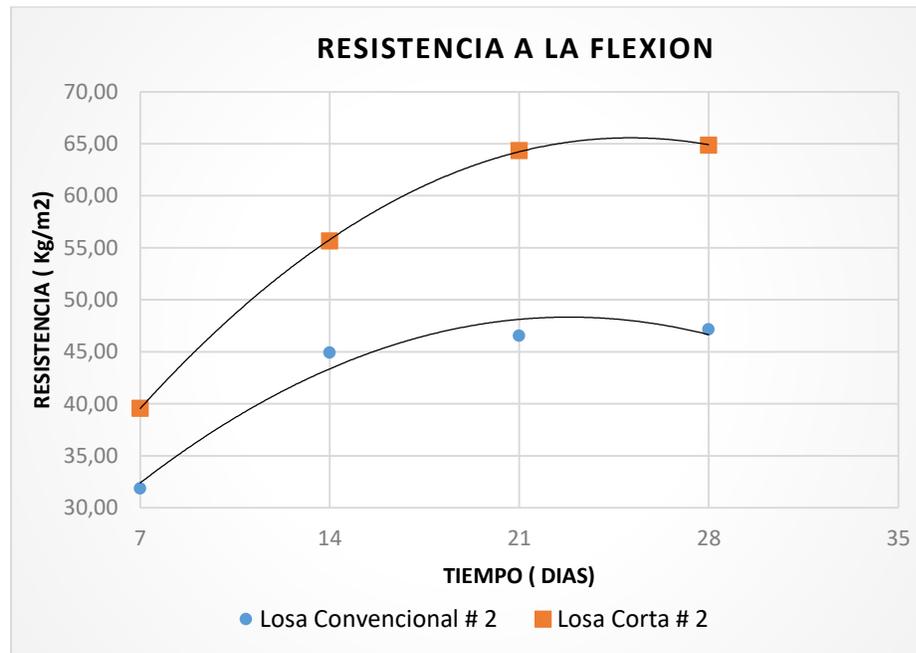
Figura 4.42. Resistencia a Flexion de la Losa Convencional # 1 vs Losa Corta # 1



Se observa en la gráfica (4.42) los resultados de la resistencia a flexión de la losa convencional # 1 es de 47,97 kg/cm² y losa corta # 1 es de 67,99 kg/cm², donde se verifica que la resistencia de la losa convencional es menor a la losa corta para los 28 días, también observando que sube en forma escalonada hasta alcanzar la resistencia a los 28 días. A si mismo verificando que a partir de los 21 días de ruptura sube lo mínimo y acercándose al 100% de resistencia de los 28 días.

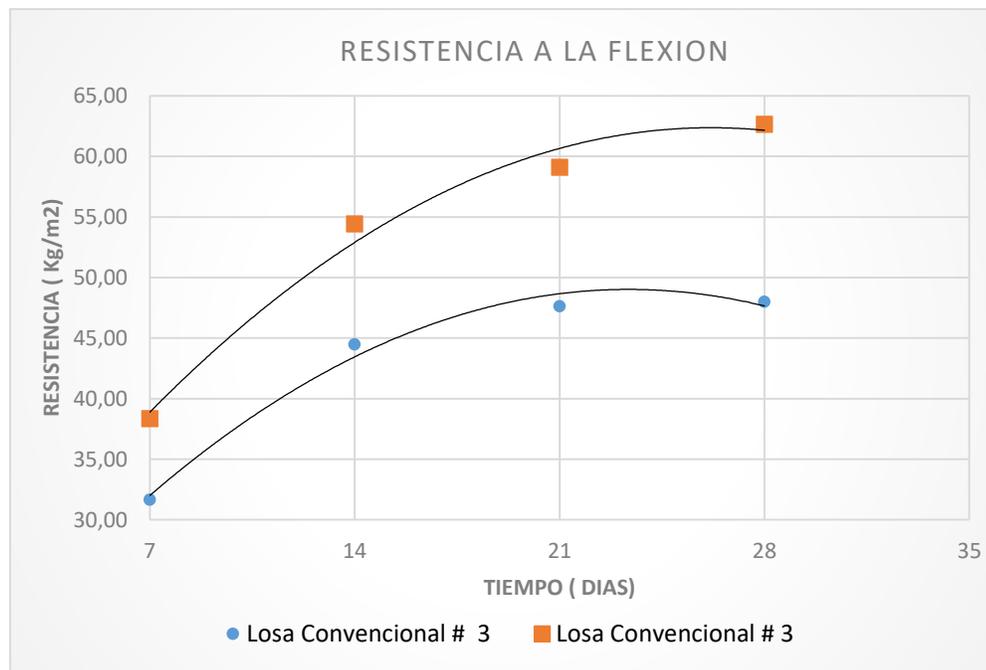
Se logra demostrar que la losa corta es mucho más efectiva y tener una resistencia superior a comparación de la convencional superando la resistencia a flexión a 4.3 Mpa de las especificaciones técnicas del proyecto

**Figura 4.43. Resistencia a Flexion de la
Losa Convencional # 2 vs Losa Corta # 2**



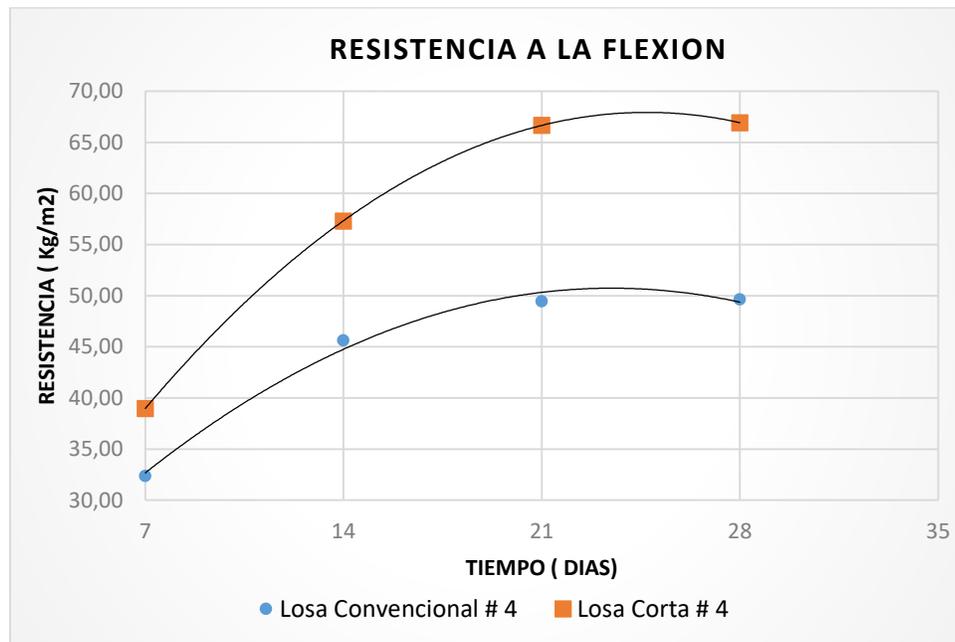
Se observa en la gráfica (4.43) los resultados de la resistencia a flexión de la losa convencional # 2 es de 47,16 kg/cm² y losa corta # 2 es de 64,87 kg/cm², donde se observa losa corta tiene mayor resistencia y obteniendo el 27,30% de efectividad.

Figura 4.44. Analisis de la Resistencia a Flexion de la Losa Convencional # 3 vs Losa Corta # 3



Se observa en la gráfica (4.44) los resultados de la resistencia a flexión de la losa convencional # 3 es de 47,99 kg/cm² y losa corta # 3 es de 62,66 kg/cm², donde se observa losa corta tiene mayor resistencia y obteniendo el 23,41% de efectividad.

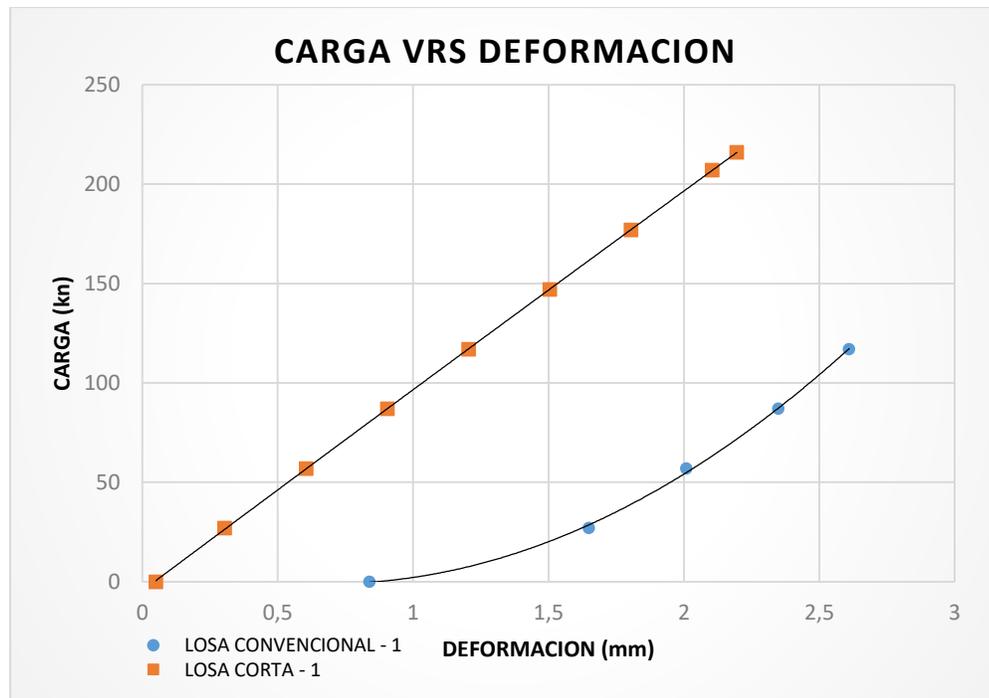
Figura 4.45. Analisis de la Resistencia a Flexion de la Losa Convencional # 4 vs Losa Corta # 4



Se observa en la gráfica (4.45) los resultados de la resistencia a flexión de la losa convencional # 4 es de 49,66 kg/cm² y losa corta # 4 es de 66,93 kg/cm², donde se observa losa corta tiene mayor resistencia y obteniendo el 25,80% de efectividad.

4.6.2. Deformación de la Losa convencional vrs Losa Corta

Figura 4.46. Deformación de la Losa Convencional # 1 vs Losa Corta # 1

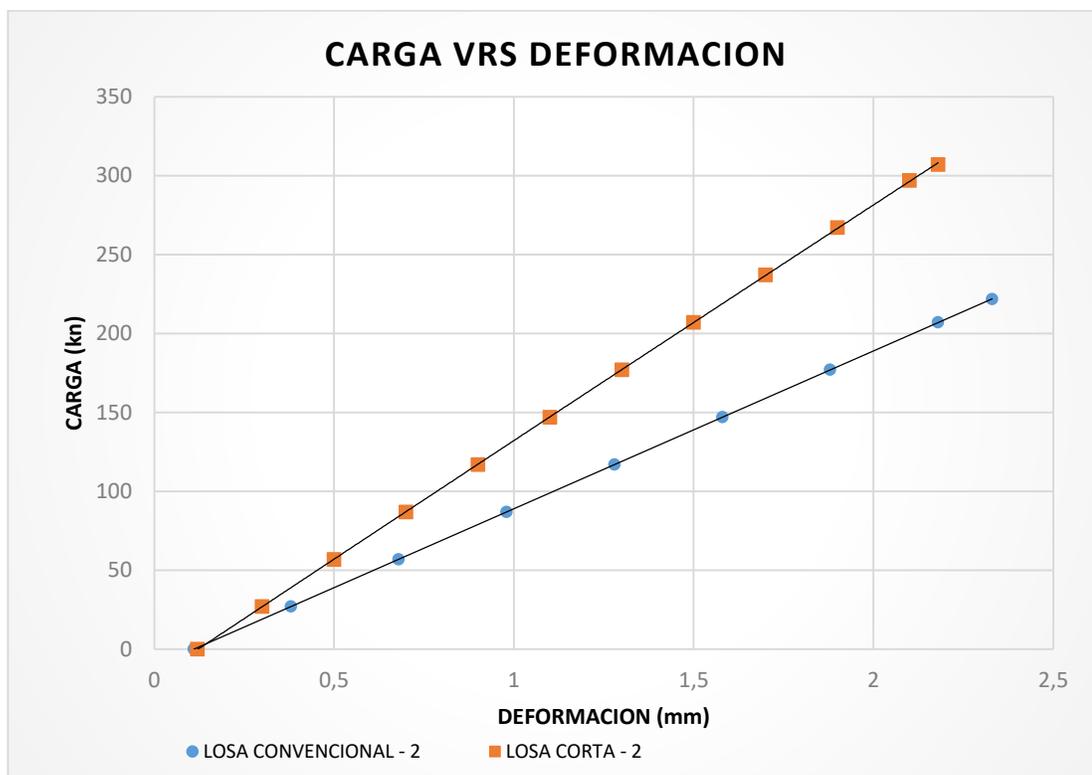


Se observa en la gráfica (4.46) los resultados de las cargas y deformaciones, obteniendo el valor de 2,61mm de deformación de la losa convencional #1 y 2,195mm de deformación de la losa corta # 1, de tal manera se ve que losa convencional soporta cargas bajas y deformaciones altas, A si mismo comprobando la losa corta con cargas altas y deformaciones baja, como se verifica en la gráfica.

Se demuestra que la losa corta supera los resultados positivos tanto con una superior y deformación mínima, a la losa convencional.

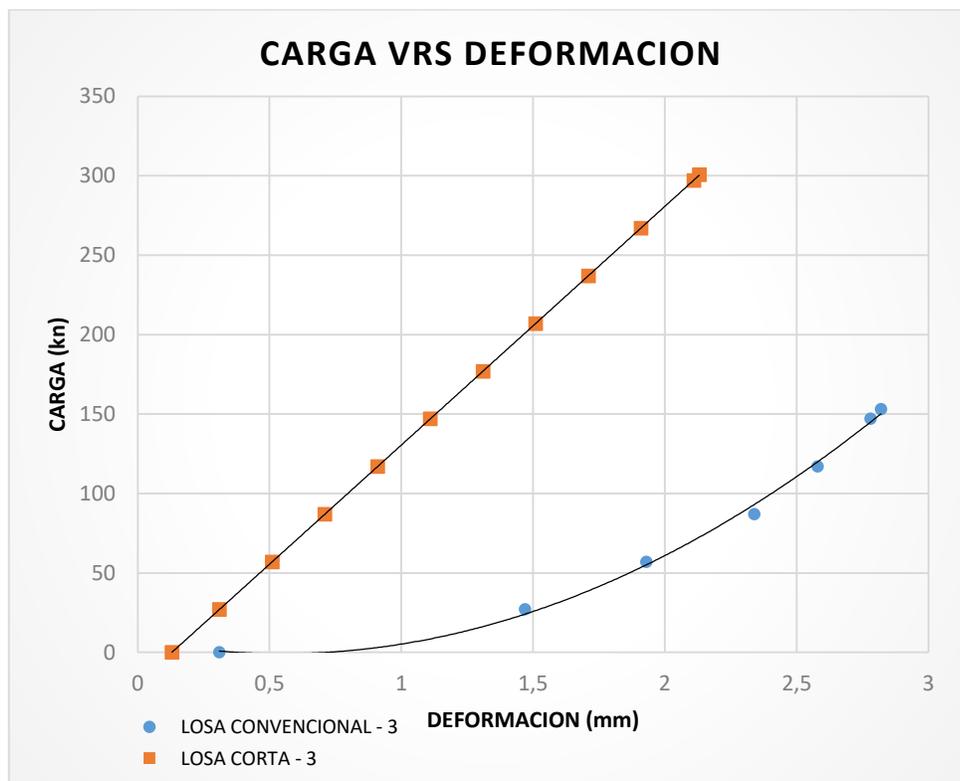
Demostrando la optimización de las losa de menor dimensiones soporta resistencias mayores y menores deformaciones.

Figura 4.47. Analisis de la Deformacion de la Losa Convencional # 2 vs Losa Corta # 2



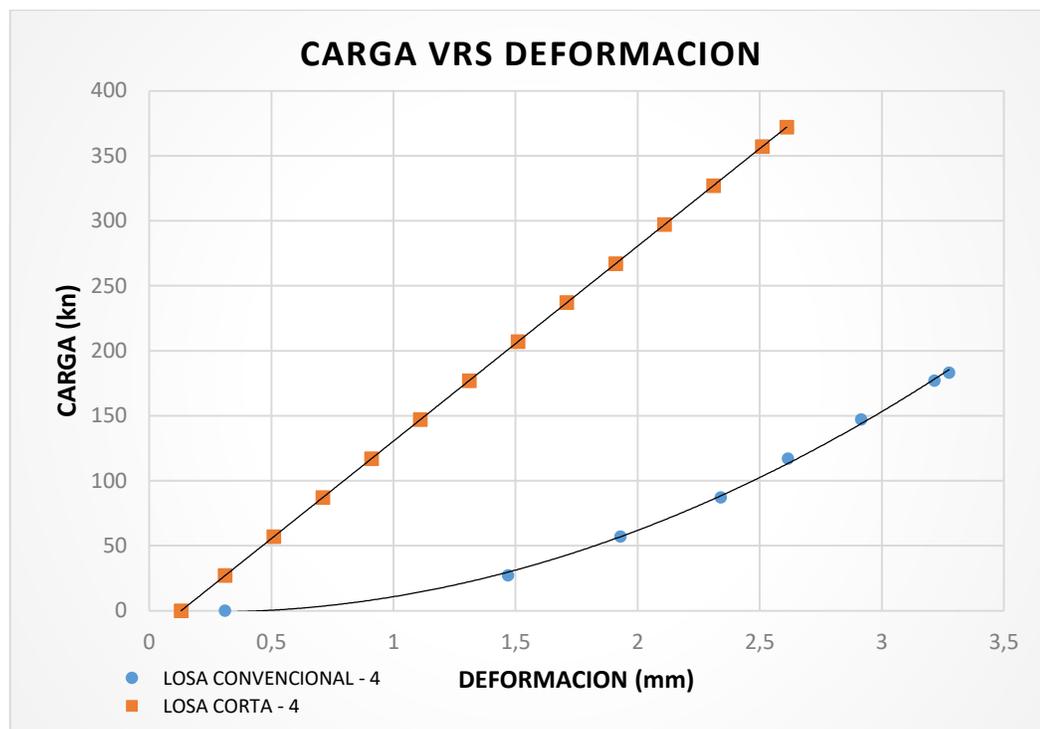
Se observa en la gráfica (4.47) los resultados de las cargas y deformaciones, obteniendo el valor de 2,33mm de deformación de la losa convencional #2 y 2,18mm de deformación de la losa corta # 2, de tal manera se ve que losa convencional soporta cargas bajas y deformaciones altas, A si mismo comprobando la losa corta tiende menor deformación y obteniendo el 15% de mejor comportamiento.

**Figura 4.48. Deformacion de la
Losca Conventional # 3 vs Losca Corta # 3**



Se observa en la gráfica (4.48) los resultados de las cargas y deformaciones, obteniendo el valor de 2,82mm de deformación de la losa convencional #3 y 2,13mm de deformación de la losa corta # 3, de tal manera se ve que losa convencional soporta cargas bajas y deformaciones altas, A si mismo comprobando la losa corta tiende menor deformación y obteniendo el 69% de mejor comportamiento.

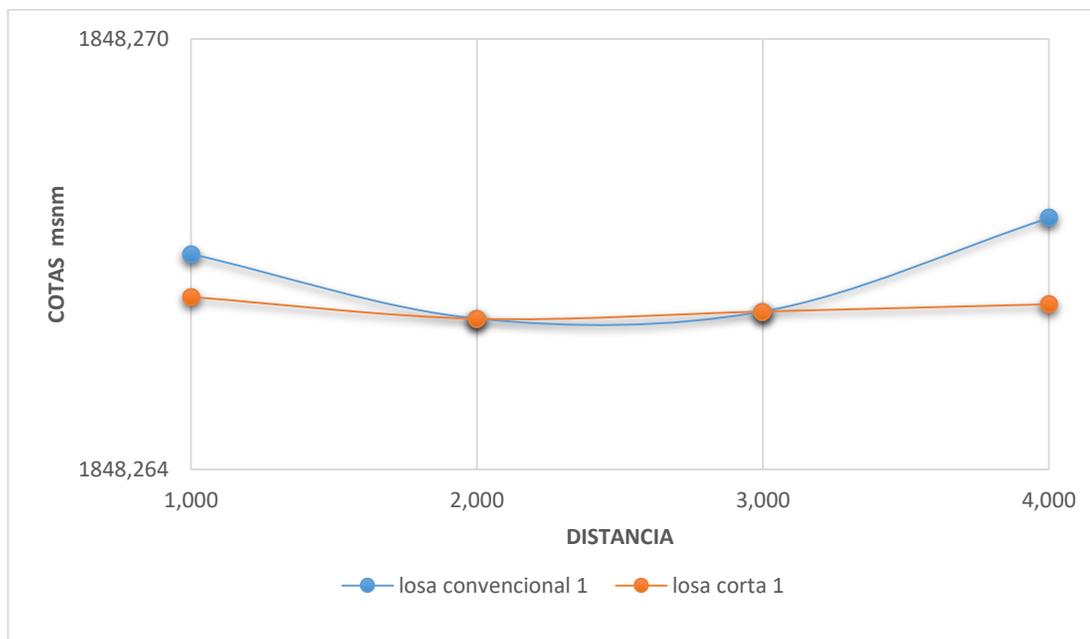
**Figura 4.49. Deformacion de la
Losca Convencional # 4 vs Losca Corta # 4**



Se observa en la gráfica (4.49) los resultados de las cargas y deformaciones, obteniendo el valor de 3.28mm de deformación de la losa convencional #4 y 2,61mm de deformación de la losa corta # 4, de tal manera se ve que losa convencional soporta cargas bajas y deformaciones altas, A si mismo comprobando la losa corta tiende menor deformación y obteniendo el 67% de mejor comportamiento.

4.6.3. Alabeo de la Losa convencional vrs Losa Corta

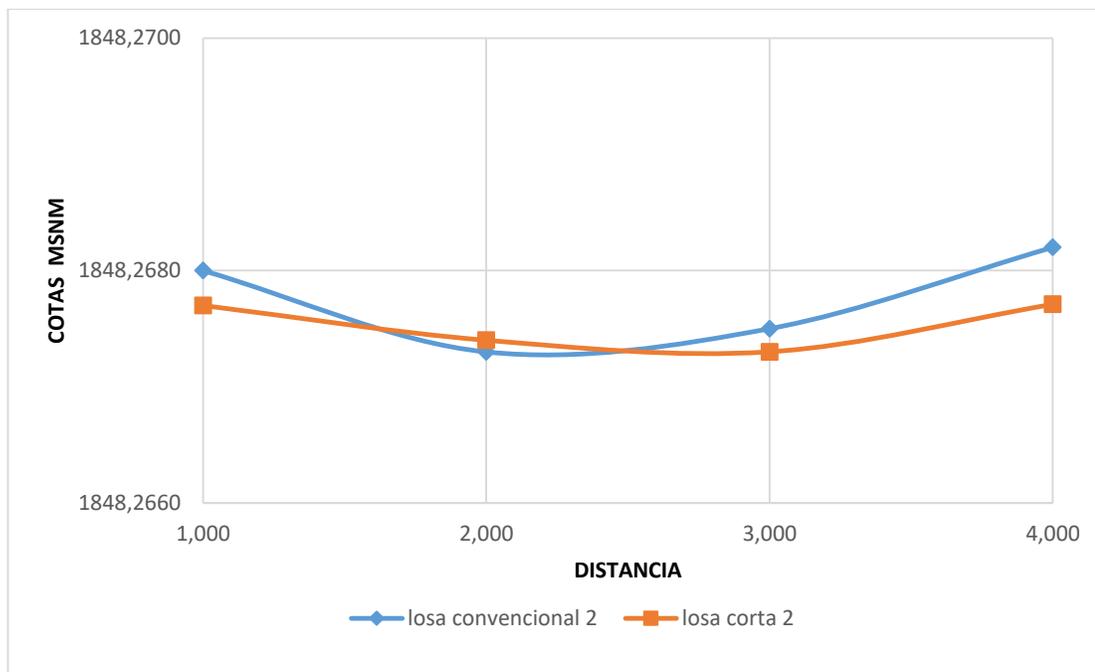
Figura 4.50. Alabeo
Losa Convencional # 1 vs Losa Corta # 1



Se observa en la gráfica (4.50) en el punto medio de la losa se produce el alabeo valores de losa convencional de 0,0009m y la losa corta de 0,0003m demostrando que el mayor alabeo se presenta en la losas convencional y menor alabeo en la losa corta.

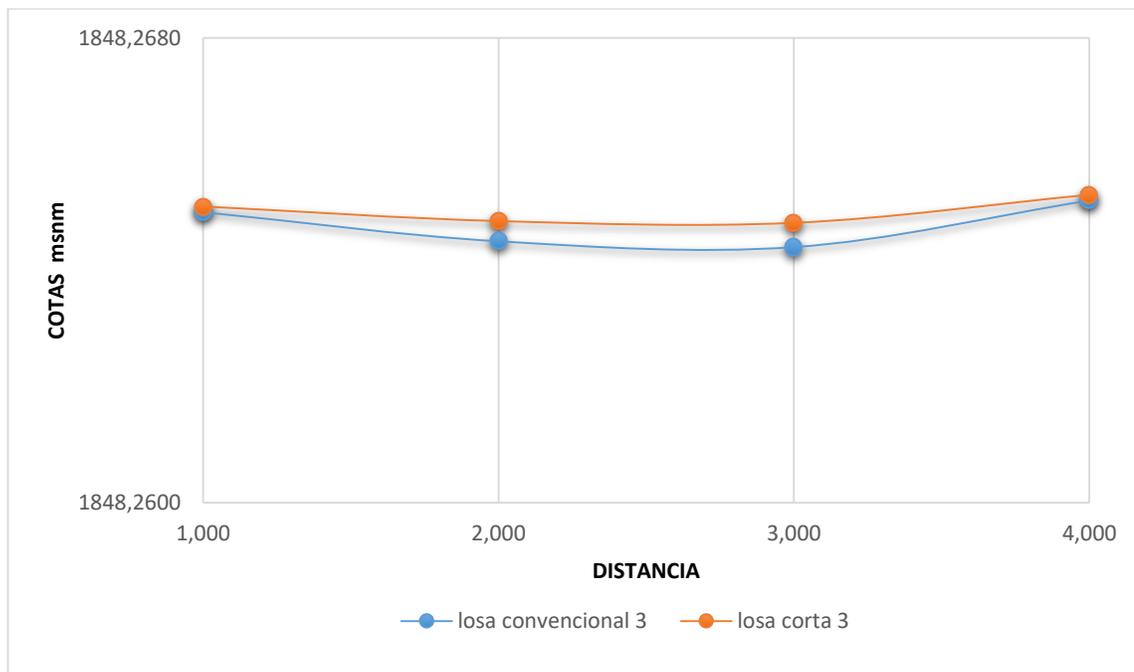
Donde la losa corta tiene mejor comportamiento frente a la convencional.

Figura 4.51. Alabeo
Losa Convencional # 2 vs Losa Corta # 2



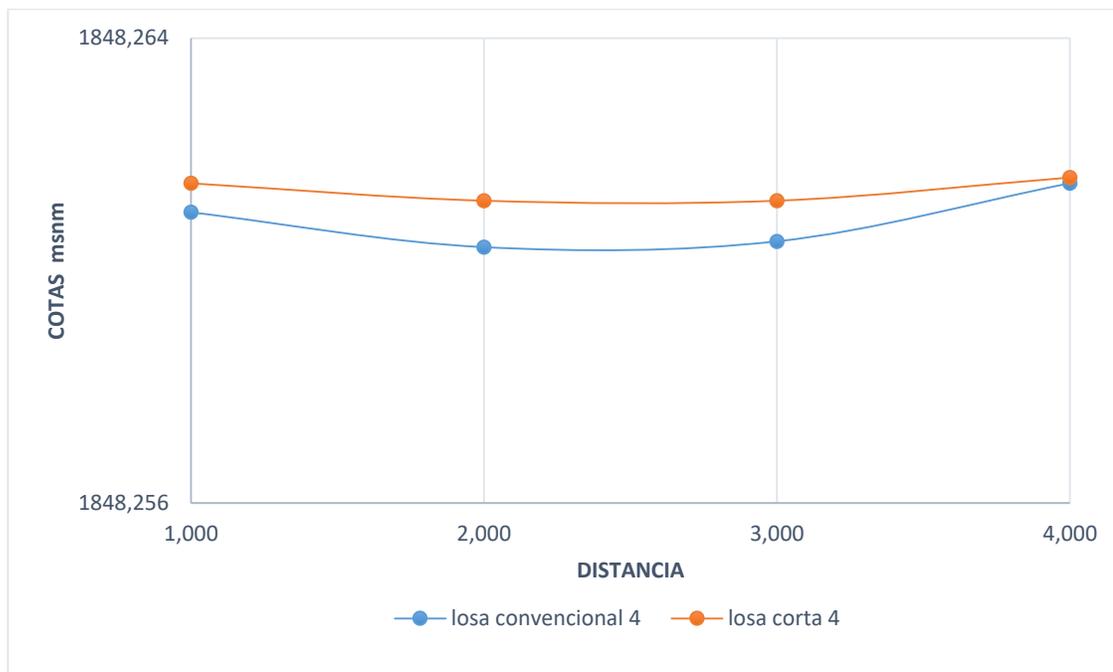
Se observa en la gráfica (4.51) en el punto medio de la losa se produce el alabeo valores de losa convencional de 0,0007m y la losa corta de 0,0003m demostrando que el mayor alabeo se presenta en la losas convencional y menor alabeo en la losa corta. Donde la losa corta tiene mejor comportamiento frente a la convencional.

Figura 4.52. Analisis Del Alabeo
Losa Convencional # 3 vs Losa Corta # 3



Se observa en la gráfica (4.52) en el punto medio de la losa se produce el alabeo valores de losa convencional de 0,0005m y la losa corta de 0,00025m demostrando que el mayor alabeo se presenta en la losas convencional y menor alabeo en la losa corta. Donde la losa corta tiene mejor comportamiento frente a la convencional.

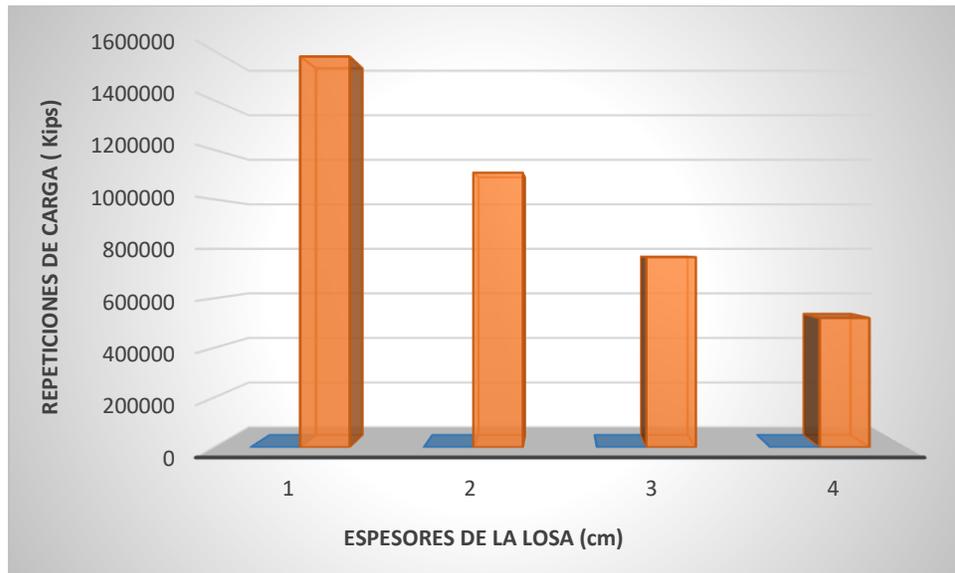
Figura 4.53 Alabeo
Losa Convencional # 4 vs Losa Corta # 4



Se observa en la gráfica (4.53) en el punto medio de la losa se produce el alabeo valores de losa convencional de 0,0006m y la losa corta de 0,0003m demostrando que el mayor alabeo se presenta en la losas convencional y menor alabeo en la losa corta. Donde la losa corta tiene mejor comportamiento frente a la convencional.

4.6.4. Diseño de espesor Programa DARWin AASTHO-93

Figura 4.54. Repetición de carga vrs Espesor



Con el programa se reduce el espesor de 1 cm hasta llegar a los 15 cm de espesor, logrando tener el espesor óptimo para el diseño y pueda soportar las Repeticiones de cargas del tráfico.

Obteniendo valores favorables ya que comprueba que el diseño propuesto podrá resistir las cargas por eje en las losas.

Evaluando primero los resultados obtenidos con el software DARWin -AASTHO' 93, que se presentan en el cuadro puede verse que la variación de las repeticiones de cargas respecto a los espesores de losa, como era de esperarse a menor espesor menor repeticiones.

Los resultados del método AASTHO' 93 obtenidos nos demuestra que en la losa corta no va entrar todo el eje y toda la rueda al contrario de la losa convencional que tiene que soportar todo el eje y toda la rueda, logrando disminuir la carga sobre la

losa corta, por lo tanto la reducción del espesor y dimensión puede tener menor esfuerzos y soportar al tráfico.

4.6.5. Software BS-PCA

Cabe señalar que el espesor de la losa se considera no adecuado si cualquiera de los totales del factor de fatiga y de erosión son mayores al 100%, por lo que habrá que utilizar un espesor mayor para hacer otra iteración; si la absorción total de fatiga y el daño total de erosión fueran menores que 100%, será necesario utilizar un espesor menor para hacer una nueva iteración, seguir iterando hasta obtener un espesor de losa de concreto óptimo con ambos totales del factor de fatiga y del factor de erosión cercanos al 100%.

Obteniendo valores del programa de:

Consumo de fatiga % 93,35

Consumo de erosión % 89.03

Puede verse que el diseño cumple satisfactoriamente tanto como el consumo de fatiga y erosión estando cercanos al 100% donde nos muestra que es óptimo el diseño de espesor de 18 cm y que lograra soportar las repeticiones de carga sobre las losas y evitando deflexiones que se producen en los bordes.

4.6.6. Programa EVERFE esfuerzos y Desplazamientos Criticos diseño propuesto de losa

Se ha realizado el análisis de la optimización del dimensionamiento de la losa bajo la premisa de haberse aceptado que el uso de las losas cortas es la opción más conveniente. Por lo tanto, la adopción de las losas de menores dimensiones permite que se disminuya los esfuerzos en el hormigón.

Para mejorar las condiciones de las losas, la disminución de esfuerzos se va producir por la carga disminuida que va entrar a una losa corta comparada con la carga que entraría en una losa convencional.

Verificamos con el cálculo de los esfuerzos de la losa mediante el programa de elementos finitos EVERFE 2.24. Donde obtuvimos los siguientes valores:

ESFUERZO MÁXIMO EN LA LOSA

Losa convencional más crítica	1,69 Mpa
Losa corta propuesta	1,45 Mpa

Las tensiones en el hormigón de la losa convencional más solicitada es mayor a la tensión de la losa propuesta, por lo que se llega observar que el diseño de la losa corta es mucho más efectiva.

El valor hallado corresponde a 1,45 Mpa, inferior en este caso al 43% del Módulo de Ruptura de 4.3 Mpa.

4.7. TRATAMIENTO ESTADISTICO

IDENTIFICACION	RESISTENCIA A FLEXION (Mpa)
LOSA CONVENCIONAL #1	4.31
	4.4
	4.67
	4.7
Media	4.52
Mediana	4.535
D. estándar	0.19
Varianza	0.0378
Coefficiente de variación	4.30
LOSA CONVENCIONAL #2	4.34
	4.41
	4.57
	4.62
Media	4.485
Mediana	4.49
D. estándar	0.13
Varianza	0.02
Coefficiente de variación	2.94
LOSA CONVENCIONAL #3	4.31
	4.36
	4.67
	4.71
Media	4.5125
Mediana	4.515
D. estándar	0.21
Varianza	0.04
Coefficiente de variación	4.58
LOSA CONVENCIONAL #4	4.41
	4.48
	4.85
	4.87
Media	4.6525
Mediana	4.665
D. estándar	0.24
Varianza	0.06
Coefficiente de variación	5.19

IDENTIFICACION	RESISTENCIA A FLEXION (Mpa)
LOSA CORTA #1	4.95
	5.64
	6.52
	6.67
Media	5.945
Mediana	6.08
D. estándar	0.80
Varianza	0.6464
Coefficiente de variación	13.52
LOSA CORTA #2	5.39
	5.46
	6.31
	6.36
Media	5.88
Mediana	5.885
D. estándar	0.53
Varianza	0.28
Coefficiente de variación	8.96
LOSA CORTA #3	5.22
	5.34
	5.8
	6.15
Media	5.6275
Mediana	5.57
D. estándar	0.43
Varianza	0.18
Coefficiente de variación	7.62
LOSA CORTA #4	5.3
	5.62
	6.54
	5.56
Media	5.755
Mediana	5.59
D. estándar	0.54
Varianza	0.29
Coefficiente de variación	9.41

4.8. COMPARACION DE COSTO ECONOMICO LOSA CONVENCIONAL VRS CORTA

PRESUPUESTO UNITARIO

		Item: CARPETA DE H° S° C/PAV. DESLIZANTE	Unidad: M3			
		Proyecto: CONSTR. PAV. 180 CUADRAS CIUDAD DE BERMEJO				
Nº	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
A MATERIALES						
1	-	AGUA	m³	0,20	4,00	0,80
2	-	ARIDOS	m³	1,40	130,00	182,00
3	-	CEMENTO	t	0,33	1.110,00	366,30
4	-	ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE	kg	1,40	20,00	28,00
5	-	COMPUESTO DE CURADO	kg	1,00	30,00	30,00
> D TOTAL MATERIALES (A) = 607,10						
B MANO DE OBRA						
1	-	TECNICO ESPECIALISTA	hr	0,15	22,00	3,30
2	-	OPERADOR EQUIPO PESADO 2	hr	0,40	14,00	5,60
3	-	TECNICO	hr	0,02	20,00	0,44
4	-	CHOFER	Hr.	0,28	13,00	3,58
5	-	CAPATAZ	HR.	0,06	15,00	0,95
6	-	ALBAÑIL	hr	0,15	15,00	2,22
7	-	PEON	hr	0,63	8,75	5,51
8	-	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hr	0,09	20,00	1,70
> E SUBTOTAL MANO DE OBRA (B) = 23,30						
F		Cargas Sociales		55,00% de	(E) =	12,82
O		Impuesto al Valor Agregado		14,94% de	(E+F) =	5,40
> G TOTAL MANO DE OBRA (E+F+O) = 41,51						
C EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS						
1	-	PLANTA DOSIFICADORA DE HORMIGÓN	hr	0,07	2.000,00	130,00
2	-	DUMPER CON TORNILLO CAP 6 M3	hr	0,24	100,00	24,00
3	-	GRUPO ELECTRÓGENO 50 KVA	hr	0,40	70,00	28,00
4	-	CAMIÓN CISTERNA 10.000 LT.	hr	0,03	180,00	5,40
5	-	PAVIMENTADORA DESLIZANTE	hr	0,02	900,00	18,00
6	-	CAMIONETA 4X4	hr	0,01	30,00	0,17
H		Herramientas menores		5,00% de	(G) =	2,08
> I TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO (C+H) = 207,64						
> J SUB TOTAL (D+G+I) = 856,25						
L		Gastos grales. y administrativ		5,00% de	(J) =	42,81
M		Utilidad		10,00% de	(J+L) =	89,91
> N PARCIAL (J+L+M) = 988,97						
P		Impuesto a las Transacciones		3,09% de	(N) =	30,56
> Q TOTAL PRECIO UNITARIO (N+P) = 1.019,53						
> PRECIO ADOPTADO: 1.019,53						
Son: Un Mil Diecinueve con 53/100 Bolivianos						

Item: JUNTA LONGITUDINAL C/ACERO CORR. D=1/; Unidad: M						
Proyecto: CONSTR. PAV. 180 CUADRAS CIUDAD DE BERMEJO						
Nº	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIALES				
1	-	ACERO CORRUGADO	kg	0,99	9,00	8,95
> D TOTAL MATERIALES (A) = 8,95						
	B	MANO DE OBRA				
1	-	PEON	hr	0,12	8,75	1,05
> E SUBTOTAL MANO DE OBRA (B) = 1,05						
	F	Cargas Sociales		55,00% de	(E) =	0,58
	O	Impuesto al Valor Agregado		14,94% de	(E+F) =	0,24
> G TOTAL MANO DE OBRA (E+F+O) = 1,87						
	C	EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
	H	Herramientas menores		5,00% de	(G) =	0,09
> I TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO (C+H) = 0,09						
> J SUB TOTAL (D+G+I) = 10,91						
	L	Gastos grales. y administrativ		5,00% de	(J) =	0,55
	M	Utilidad		10,00% de	(J+L) =	1,15
> N PARCIAL (J+L+M) = 12,60						
	P	Impuesto a las Transacciones		3,09% de	(N) =	0,39
> Q TOTAL PRECIO UNITARIO (N+P) = 12,99						
> PRECIO ADOPTADO: 12,99						
Son: Doce con 99/100 Bolívanos						

		Item: JUNTA TRANSVERSAL ACERO LISO D=1"	Unidad: M			
		Proyecto: CONSTR. PAV. 180 CUADRAS CIUDAD DE BERMEJO				
Nº	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIALES				
1	-	ACERO LISO D=1" Y CANASTILLO	kg	7,50	8,00	60,00
2	-	SOLDADURA	kg	0,14	8,50	1,19
3	-	PINTURA ANTICORROSIVA	galón	0,01	140,00	0,70
4	-	GRASA	kg	0,10	25,00	2,50
> D TOTAL MATERIALES						(A) = 64,39
	B	MANO DE OBRA				
1	-	ALBAÑIL	hr	0,10	15,00	1,50
2	-	AYUDANTE	hr	0,02	10,00	0,20
3	-	CAPATAZ	HR.	0,01	15,00	0,15
4	-	SOLDADOR	hr	0,01	10,00	0,10
5	-	CHOFER	Hr.	0,00	13,00	0,01
6	-	PEON	hr	0,01	8,75	0,09
> E SUBTOTAL MANO DE OBRA						(B) = 2,05
	F	Cargas Sociales		55,00% de	(E) =	1,13
	O	Impuesto al Valor Agregado		14,94% de	(E+F) =	0,47
> G TOTAL MANO DE OBRA						(E+F+O) = 3,65
	C	EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
1	-	MOTOSOLDADOR	hr	0,01	10,00	0,10
2	-	CAMIONETA 4X4	hr	0,00	30,00	0,03
	H	Herramientas menores		5,00% de	(G) =	0,18
> I TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO						(C+H) = 0,31
> J SUB TOTAL						(D+G+I) = 68,36
	L	Gastos grales. y administrativ		5,00% de	(J) =	3,42
	M	Utilidad		10,00% de	(J+L) =	7,18
> N PARCIAL						(J+L+M) = 78,95
	P	Impuesto a las Transacciones		3,09% de	(N) =	2,44
> Q TOTAL PRECIO UNITARIO						(N+P) = 81,39
> PRECIO ADOPTADO:						81,39
Son: Ochenta y Uno con 39/100 Bolivianos						

VARIACION ENTRE LOSA CORTA VRS LOSA CONVENCIONAL

LOSA CONVENCIONAL:

Hormigón H°S° = 2,43 m³*1019,63 Bs/m³ = 2477,70 Bs

Longitud de juntas = 3+4,5 = 7,5 m

Junta longitudinal

- Pasadores = 10*07 = 7 m*12,99 Bs/m = **90,93 Bs**

Junta transversal

- Pasajuntas = 10*07 = 7m*81,39 Bs/m = **569,73 Bs**

COSTO: 2477,70 Bs + 90,93 Bs + 569,73 Bs = 3138,36 Bs

LOSA CORTA PROPUESTA:

Hormigón H°S° = 2,43 m³*1019,63 Bs/m³ = 2477,70 Bs

Longitud de juntas = 1,5(4) + 2,25(4) = 15 m

Junta longitudinal

- Pasadores = 20*07 = 14 m*12,99 Bs/m = **181,86 Bs**

Junta transversal

- Pasajuntas = 20*07 = 14 m*81,39 Bs/m = **1139,46 Bs**

COSTO: 2477,70 Bs + 181,86 Bs + 1139,46 Bs = 3799,02 Bs

Losa convencional tiene un 100% de pasadores y pasajuntas

90,93.....100%

181,86.....x x=187,62

$\Delta = 187,62 - 100 = 87,61\%$

Un 87,61% aumenta las juntas transversales y longitudinales en las losas cortas

En monto total es de **3138,36 Bs losa convencional**

En monto total es de **3799,02 Bs losa corta es mucho más alto precio a comparación de la losa corta.**

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

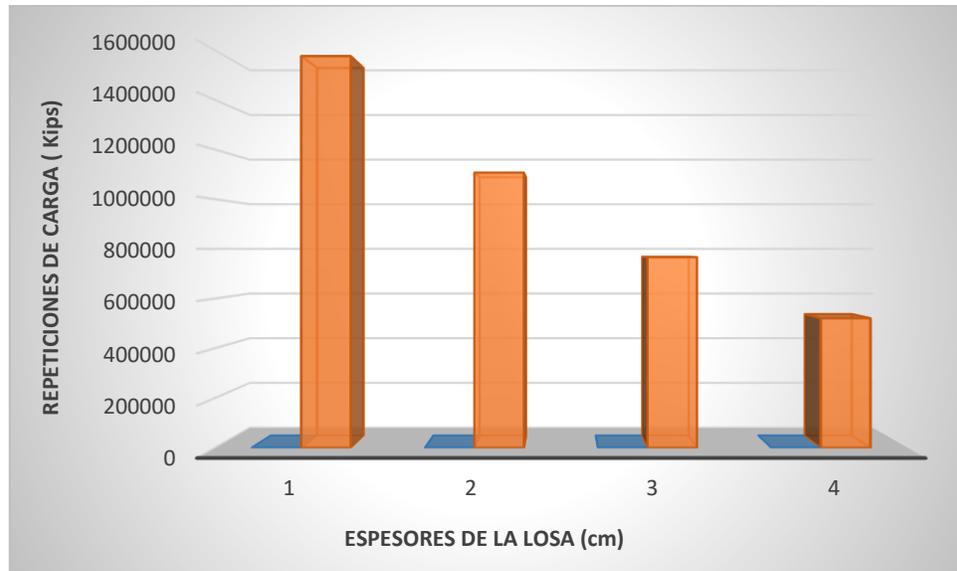
5.1. CONCLUSIONES

- Se logró cumplir los objetivos planteados, se demostró que al utilizar dimensiones de losas más pequeñas produce mejor comportamiento de las mismas y mayor tolerancia a la carga por eje del camión frente a las losas tradicionales.
- Se identificó la zona de aplicación del proyecto que tenga losas convencionales para realizar la metodología de las losas cortas.
- Se realizó la caracterización de los agregados para obtener una mezcla cuya gradación entre dentro de las especificaciones, para lograr obtener una dosificación adecuada y resistencias a flexión aceptables.
- Se elaboró probetas cubicas a diferentes escalas dependiendo de las dimensiones geométricas de las losas en estudio tanto como para convencionales y cortas, llevándolas a laboratorio y demostrando mejores resistencias a flexión de las losas cortas frente a las losas convencionales.
- De acuerdo a los resultados presentados se puede observar que disminuyendo la dimensión de la losa tiene mejores resistencias a flexión.

CONVENCIONAL	CORTA
RESISTENCIA A FLEXION (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A FLEXION (Kg/cm ²)
47,97	67,99
47,16	64,87
47,99	62,66
49,66	66,93

Demostrando que la losas cortas en todas las diferentes dimensiones de estudio tiene una resistencia superior y de mayor efectividad a comparación de la losa convencional.

- Las deformaciones en las losas de estudio se obtuvieron valores máximos de deformación 3,28mm y mínimas de 2,13mm, demostrando de tal manera que la losa convencional soporta cargas bajas y deformaciones altas y losa corta con cargas bajas y deformaciones altas. Se demuestra que la losa corta supera los resultados positivos de deformación.
- Se presentó el alabeo en las losas convencionales valores máximos de 0,0009m y mínimo de 0,00025m, demostrando que el alabeo que se presenta en las losas convencionales es mayor que la losa corta. Donde la losa corta tiene mejor comportamiento frente a la losa convencional.
- Para la realización de diseño del espesor de la losa se fue reduciendo de 10 cm logrando tener el valor óptimo y que pueda soportar las repeticiones de cargas de tráfico.



La reducción de espesor va disminuyendo de 18, 17,16 y 15cm y obteniendo repeticiones de carga 1575876, 1106983,766572 y 520749 kips, obteniendo valores favorables ya que para el diseño propuesto podrá resistir las cargas por

eje en las losas. Ya que el diseño de losas cortas nunca sean cargadas por más de un set de ruedas del camión y teniendo mayor tolerancia a la carga por eje del camión.

- Se obtuvo valores del software BS-PCA, 93,35% de consumo de fatiga y 89,03% de consumo de erosión, puede verse que el diseño cumple satisfactoriamente tanto como en el consumo de fatiga y erosión estando cercanos al 100% donde nos muestra que es óptimo el diseño de espesor de 18cm que logra soportar las repeticiones de carga sobre las losas y evitando deflexiones.
- Se ha realizado el análisis de la optimización del dimensionamiento de la losa bajo la premisa de haberse aceptado que el uso de las losas cortas es la opción más conveniente. Por lo tanto la adopción de las losas menores dimensiones permiten la disminución de esfuerzos en el hormigón.
- Verificamos con el cálculo de los esfuerzos de la losa mediante el programa de elementos finitos EverFE donde obtuvimos valores losa convencional más crítica del proyecto es de 1,69 Mpa y la losa corta propuesta de 1,45 Mpa demostrando que las tensiones en el hormigón de la losa convencional más solicitada es mayor que la tensión de la losa propuesta por lo que el diseño de la losa corta es mucho más efectiva. El valor hallado corresponde a 1,41Mpa inferior en este caso al 43% del módulo de ruptura de 4,3Mpa.

5.2. RECOMENDACIONES

- Con los resultados mostrados anteriormente se recomienda utilizar en nuestro medio la optimización de las losas cortas que es la opción más conveniente y efectiva que una losa convencional, logrando disminuir significativamente las tensiones, alabeos y fisuraciones en dicha losa.

- Se recomienda realizar una dosificación de los agregados que este dentro de las especificaciones ya que estos influyen directamente al hormigón, para lograr con esto una buena resistencia a flexión de las losas.
- Se recomienda tener mucho cuidado al utilizar los equipos para realizar la medición ya que se necesita precisión de los mismos.
- Es recomendable tener cuidado con el manipuleo de la maquina universal para la ruptura de las losas a flexión, ya que es no al utilizarle de buena manera los resultados pueden variar.
- Es importante y se recomienda utilizar con sumo cuidado y manuales los programas software para obtener buenos resultados sobre las losas.

