

ESTUDIO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LAS LOSAS DE HORMIGÓN DE PAVIMENTO RESPECTO A LA FISURA

ANTECEDENTES

El pavimento rígido es utilizado en el mundo entero como sinónimo de desarrollo y progreso por las muchas ventajas que este ofrece sobre otros métodos de pavimentación. Han demostrado ser una solución duradera, económica y apropiada en la ejecución de obras tanto de nuevas vías como en la rehabilitación de obras de las vías existentes.

En América del Sur, algunos países cuentan con más de 20 años de experiencia en la construcción de sus redes de carreteras con pavimento rígido. Bolivia recién hace unos años empezó a interesarse en este tipo de pavimento, comenzando con el pavimentado de extensas superficies en calles y avenidas de sus ciudades capitales, pero sin optar al mismo tiempo por este en carreteras.

Hoy estamos en los primeros años de la revolución del pavimento rígido en Bolivia, pero para llegar a este momento, tuvieron que pasar algunos años para demostrar que esta tecnología tenía innumerables ventajas técnicas y sobre todo económicas.

La ciudad de Tarija tiene 50,000 m² de este pavimento en la moderna Avenida Circunvalación, manifestando que es la mejor opción de pavimentado y embellecimiento de una ciudad.

Otras ciudades pequeñas también apostaron al pavimento rígido, como Yacuiba que construye 120,000 m² en sus avenidas más importantes y proyecta otros 50,000 m² adicionales. Le sigue Bermejo con 100,000 m², Entre Ríos con 28,000 m², Villamontes, Caraparí y San Lorenzo ya han construido muchos miles de metros cuadrados de pavimento durable y aún continúan en la búsqueda de proyectos y financiamiento para nuevas necesidades.

Todo ello nos posibilita afirmar que el pavimento rígido en Bolivia, al dar sus primeros pasos en ciudades y poblaciones del área urbana y rural, demostró al país que con esas pequeñas decisiones se producen excelentes resultados. Ejemplo claro, la carretera que se construyó entre Potosí y Tarija, con 440 Km.; de hecho que esta carretera se convertirá en uno de los tramos más importantes en Sudamérica y el más extenso que haya realizado el Servicio Nacional de Caminos (en la actualidad Administradora Boliviana de Carreteras).

JUSTIFICACIÓN

Se hace necesario estudiar las patologías en los pavimentos rígidos, por la sentida necesidad existente en varios barrios de nuestra ciudad, de contar con calles y avenidas. Se puede observar que con el paso del tiempo los pavimentos presentan deterioros en su superficie, haciendo que estas calles o avenidas no tengan una transitabilidad vehicular adecuada, ocasionando una incomodidad a los conductores.

El presente trabajo de estudio del comportamiento de las losas de hormigón de pavimento respecto a la fisura, se justifica porque podría facilitar y uniformar criterios para la identificación y recolección de información relacionada con las losas a partir de la aparición de fisuras.

Este estudio se avocará a evaluar las fisuras de los pavimentos rígidos de Los Parrales y de la Av. Circunvalación, con el objeto de determinar sus posibles causas, el proceso destructivo y cómo afecta esto a las losas. El conocimiento de lo citado anteriormente nos guiará a plantear posibles soluciones ante los diferentes tipos de fisuras estudiados.

Con la información obtenida sobre las fisuras en las losas de hormigón para pavimento y los conocimientos estudiados en el tema, se podrá obtener un diagnóstico general en cuanto se refiere al comportamiento de las losas.

Este estudio aportará mucha información importante, a tener en cuenta en la construcción y/o mantenimiento de las losas para pavimento rígido.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación en el tiempo, del comportamiento de las losas respecto a la fisura, determinando así el tipo de fisura, sus posibles causas, proceso destructivo, además de obtener referencias e información del comportamiento general de las losas de pavimento rígido respecto a la fisura, para así tener información que nos permita mejorar la serviciabilidad mediante acciones correctivas en la fisuras de las losas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar sobre los diferentes tipos de fisuras, grietas en pavimentos rígidos.
- Analizar la clasificación de las fisuras y grietas en losas de para pavimentos rígidos y diagnosticar la patología de las mismas
- En la aplicación práctica identificar las losas a estudiar.
- Evaluar los diferentes tipos de fisuras, sus posibles causas y clasificarlas en las losas del área de estudio.
- Hacer un seguimiento de las losas en estudio para obtener información de las mismas sobre su comportamiento en el tiempo.
- Obtener los efectos que se tienen sobre el comportamiento de las losas en estudio.

- Plantear soluciones ante los problemas que se presentan en las losas sobre las fisuras.
- Plantear soluciones específicas correctivas sobre las losas en estudio.
- Plantear conclusiones y recomendaciones sobre el tema de estudio.

ALCANCE

Desarrollar sobre los pavimentos rígidos, sus características, sus principios y establecer sus principales funciones.

Describir el paquete estructural conjunto de capas y los elementos que constituyen los pavimentos rígidos como ser las losas de concreto, capa subbase, capa subrasante; así también establecer sus principales funciones y comportamiento, se analizará el proceso de ejecución de los mismos y todos los pasos que se deben seguir, para llegar a su óptima construcción.

Se describirá las fallas existentes en los pavimentos rígidos, se analizará el porqué de las mismas y cómo afectan a las funciones de las losas del pavimento.

Se profundizará el análisis sobre las fisuras y grietas que aparecen en las losas, y se estudiará la patología de las mismas y cómo estas actúan en las losas.

La parte principal del estudio que es la aplicación y materialización del contenido teórico del proyecto, será realizada aplicando metodologías establecidas las cuales puedan ser implementadas en nuestro medio. El estudio se lo realizara en los Pavimentos rígidos de Los Parrales y de la Av. Circunvalación.

Luego de haber identificado las losas, se procederá a hacer la evaluación de los tipos de fisuras, sus posibles causas y clasificarlas, para así obtener la información necesaria para continuar con el estudio.

Se continuará el estudio haciendo un seguimiento de las fisuras en las losas en estudio, para obtener toda la información necesaria sobre el comportamiento en función del tiempo.

Se analizará la información obtenida de las fisuras en las losas, y así podremos conocer cómo se comportan las losas de pavimento rígido con respecto a la fisura y cómo estas afectan el funcionar de las losas.

Al final del estudio se plantearán acciones correctivas ante los problemas que se presentan en las losas respecto a las fisuras

Las conclusiones serán los resultados a los objetivos planteados, los cuales se determinarán una vez realizada y finalizada la aplicación práctica.

Las recomendaciones surgirán de la experiencia al realizar el proyecto.

BIBLIOGRAFIA

Titulo: "Pavimentos de concreto"

Autor: Gustavo Mendez Fregoso

Editorial: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

País: México

Año: 1992

Titulo: "Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto"

Autor: Dr. Ing. Paulo R. do Lago Helene

Editorial: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

País: México

Año:

Titulo: "Pavimentos de concreto para carreteras Vol. 1"

Autor: Comité Técnico de Pavimentos de Concreto del IMCYC

Editorial: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

País: México

Año: 2002

Titulo: “Pavimentos de concreto para carreteras Vol. 2”

Autor: Comité Técnico de Pavimentos de Concreto del IMCYC

Editorial: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

País: México

Año: 2002

Titulo: “Construcción de losas y pisos de concreto”

Autor: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

Editorial: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

País: México

Año: 2006

Titulo: “Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos”

Autor: Aurelio Salazar Rodríguez

Editorial: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

País: México

Año: 1998

Titulo: “Diseño de Pavimentos (AASHTO – 97)”

Autor: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón

Editorial: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón

País: Bolivia

Año: 1998

Titulo: “Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras”

Autor: Universidad nacional de Colombia y el Instituto nacional de vías de Colombia

Editorial: Universidad nacional de Colombia

País: Colombia

Año: 2006

CAPITULO I: TEORÍA DEL PAVIMENTO RÍGIDO

1.1 Definición

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Entonces, podemos definir a este como aquel que está construido con hormigón, en base a una granulometría adoptada en especificaciones especialmente elaboradas según características propias de cada zona y proyecto en particular, con o sin armadura, que cuenta con juntas de dilatación térmica a distancias moduladas, y que hace posible la circulación expedita de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía requeridos por el usuario y previstos por el proyecto. Generalmente está constituido por un conjunto de capas superpuestas, compuestas por materiales seleccionados, procesados o sometidos a algún tratamiento, las cuales quedan comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento y cuyo comportamiento depende de la calidad y el tipo de los materiales, de su espesor y disposición de la estructura de los pavimentos así como de la calidad de la construcción.

Los pavimentos rígidos o pavimentos de concreto como también se los designa, difieren de los de asfalto o flexibles, primero en que poseen una resistencia considerable a la flexión y segundo, en que son afectados grandemente por los cambios de temperatura.

Debido a la rigidez de la losa y alto módulo de elasticidad del hormigón, se produce una buena distribución de las cargas de las ruedas dando como resultado tensiones muy bajas en la subbase; es por eso que los pavimentos rígidos basan su capacidad portante en la losa de hormigón más que en la subbase.

1.2 Descripción y Características de los Pavimentos Rígidos

Sus características superficiales son muy importantes, pues de ellas dependerá la buena funcionalidad de la carretera. Las características superficiales del pavimento son en realidad las únicas del firme que interesan al usuario, ya que de ellas depende en gran medida su seguridad y la comodidad de circulación. En determinadas circunstancias, las características superficiales de los pavimentos inciden en los costos de funcionamiento, lo que afecta también a la colectividad.

En términos generales, puede decirse que las características estructurales de las losas dependen fundamentalmente de su espesor y de la calidad del concreto empleado, interviniendo en esta última y en forma primordial la resistencia a la tensión, aun cuando la resistencia al desgaste superficial juega también un papel importante.

Otro factor que merece atención son las juntas o fronteras que dividen las losas, ya que de su apropiado diseño y construcción depende no sólo la adecuada transmisión de cargas entre las losas sino también y de una manera fundamental, la calidad de rodamiento y su desempeño futuro.

Además de las características comentadas, el pavimento debe satisfacer determinados atributos funcionales que se mencionan a continuación:

- Resistencia al derrapamiento, obtenida mediante una adecuada textura superficial.
- Regularidad superficial tanto longitudinal como transversal.
- Eliminación rápida del agua en la superficie del pavimento.
- Bajo nivel de ruido para usuarios como en el entorno.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas de los vehículos.
- Condiciones adecuadas de durabilidad de los aspectos anteriores, que inciden en el nivel de mantenimiento requerido.
- Adecuadas propiedades de reflexión luminosa.
- Resistencia al efecto del derrame de combustibles y aceites.

- Posibilidad de pintar marcas viales.
- Buena apariencia.

1.3 Principios de los Pavimentos Rígidos

Un pavimento rígido consta de una losa de concreto relativamente delgada apoyada sobre una capa de subbase o directamente sobre la subrasante.

Este pavimento debe cumplir con dos premisas básicas:

- Que cumpla con su función estructural: Un pavimento se diseña para una vida útil y una cantidad específica de ejes equivalentes. Por lo tanto, este se debe mantener estable y con su capacidad de soporte, por lo menos durante la vida útil de diseño.
- Que brinde un confort adecuado al usuario: El pavimento terminado debe brindar al usuario de la vía un confort en su circulación. Este aspecto ayuda a mantener en niveles aceptables los costos de operación de la vía, que son costos que pagamos todos los usuarios de la misma.
- Para garantizar que un pavimento tenga confort durante la vida útil, se debe tener un diseño adecuado y una excelente construcción y mantenimiento que brinden una superficie de rodadura plana y uniforme.

1.4 Elementos que constituyen los Pavimentos Rígidos y sus funciones

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto, la sub-base que sirve como apoyo y se construye sobre la capa sub-rasante. Estos elementos que constituyen los pavimentos rígidos se describen a continuación (Figura 1.1)

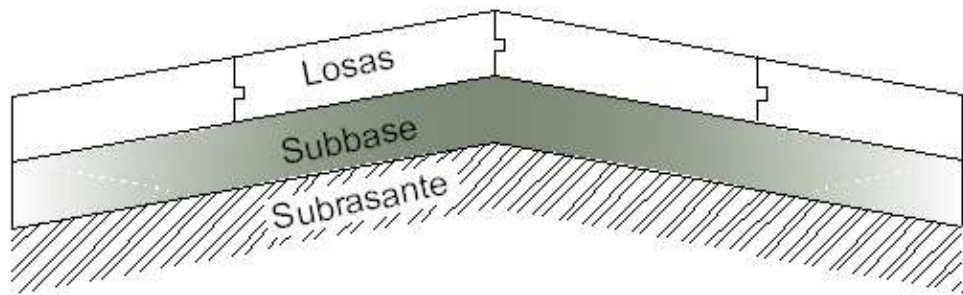


Figura 1.1 Sección transversal del pavimento rígido

1.4.1. Losas de Concreto (Capa de rodadura)

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

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

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

que su finalidad es satisfacer los requerimientos indispensables para la elaboración de la losa de hormigón.

1.4.1.1. Propiedades y Control

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

1.4.2. Subbase

Se define como subbase para pavimentos rígidos la capa de material que subyace a la losa de concreto; tiene como funciones, controlar los cambios volumétricos de la subrasante e incrementar su módulo de reacción. Constituye una plataforma estable de trabajo durante la construcción del pavimento y en ocasiones puede constituir una capa drenante.

Debe mencionarse que eventualmente a esta capa se le denomina base, por su posición inmediatamente bajo la losa. Sin embargo, se le designa como subbase debido a que en general los requerimientos de calidad de los materiales no son tan estrictos como los de una base en un pavimento flexible, teniendo en cuenta que la losa de concreto reduce los esfuerzos impuestos a esa capa por las cargas aplicadas por los vehículos.

Por lo tanto, las funciones de la subbase se podrán clasificar como sigue:

- Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (losa o carpeta asfáltica)
- Para ayudar a controlar los cambios volumétricos ante condiciones severas de subrasante con importantes cambios volumétricos.
- Para ayudar a reducir la expansión diferencial excesiva por congelamiento.
- Para proporcionar una capa drenante.

- Para proporcionar una plataforma de trabajo más estable durante la construcción del pavimento.

1.4.3. Capa Subrasante

Constituye la capa superior del suelo y puede estar formada por el propio terreno natural adecuadamente compactado y perfilado.

Sin embargo, cuando el material local no tiene las características para cumplir tal función, por presentar problemas de expansión, bajo valor relativo de soporte, se recurre a la utilización de materiales seleccionados procedente de un banco, o bien a su tratamiento con productos tales como cemento portland, cal, asfaltos, si el material es inadecuado.

Constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que le son transmitidos, aun en condiciones severas de humedad.

La capacidad de respuesta estructural de la subrasante se determina mediante el módulo de reacción k , que constituye uno de los principales parámetros de diseño de los pavimentos rígidos.

El módulo de reacción k es una característica de resistencia que se considera constante, lo que implica elasticidad del suelo, su valor numérico depende de la textura, compacidad, humedad y otros factores que afectan a la resistencia del suelo.

El valor del módulo de reaccion k , se determina mediante pruebas de placa, las que, aun cuando deben realizarse en la generalidad de los casos, con frecuencia se correlacionan con otros indicadores, tales como los valores de CBR, módulo de resiliencia MR e incluso la clasificación según criterio SUCS del material de la subrasante.

Sin embargo, dichas correlaciones deben considerarse útiles, principalmente para la elaboración de anteproyectos, pero en general no deben considerarse un sustituto de las pruebas directas en proyectos de cierta importancia.

En la medida en que el módulo de reacción k aumenta, el espesor necesario de la losa se reduce para iguales condiciones de tránsito y de resistencia de concreto, de manera que una mejoría en la calidad o resistencia de la capa subrasante se traduce en un ahorro en el espesor del concreto, el cual llega a ser significativo, hasta del orden de 10 por ciento, principalmente cuando se trata de pavimentos para tránsito intenso.

Es conveniente, así mismo, que el valor de este módulo no se reduzca con el tiempo, por lo que debe vigilarse la compactación de dicha capa, evitar variaciones en el contenido de agua así como la presencia de materiales arcillosos en la misma.

Debe mencionarse, por otro lado, que actualmente se están aplicando algunos métodos de diseño de espesores, principalmente del tipo mecanístico-empírico, que se basan en la caracterización de los materiales utilizando el módulo de resiliencia MR , que es una medida de las propiedades elásticas de los suelos, parámetros que ha sido reconocido internacionalmente como un medio para caracterizar los materiales para propósitos de diseño o evaluación de pavimentos.

Sin embargo, debido a que no es fácil determinar el módulo de resiliencia en el laboratorio, debe recurrirse a correlaciones con pruebas de CBR, inclusive propiedades índice de los materiales, como se mencionó anteriormente.

Debe señalarse la conveniencia de llevar a cabo una serie de estudios e investigaciones preliminares a lo largo de la ruta del proyecto, con el fin de determinar las características del suelo que soportará el pavimento y las cargas impuestas por el tránsito, de manera que si se juzga que tales características no son adecuadas para esta función, deberán colocarse materiales de mejor calidad, para formar dicha capa de apoyo o capa subrasante, teniendo en cuenta, además, factores económicos ligados al costo inicial y a los de mantenimiento y operación en el ciclo de vida del pavimento.

En determinadas ocasiones es necesario recurrir a la estabilización de los materiales de la capa subrasante, principalmente cuando los materiales existentes no

cumplen con las características deseadas y no es económico utilizar materiales seleccionados por encontrarse a grandes distancias de la obra.

Los diferentes tipos de materiales requieren diferentes tipos de agentes estabilizadores, siendo los más comunes el cemento portland, los productos asfálticos y la cal.

1.4.3.1. Propiedades físicas de los suelos para sub-rasante

1.4.3.1.1. Propiedades iniciales de los suelos

Las propiedades de los suelos de la Sub-rasante son las variables de entrada más importantes en el diseño de un pavimento. Estas propiedades siempre estarán presentes aunque cambien mediante tratamientos especiales tales como la estabilización, compactación, etc. Para conocer estas propiedades es necesario un muestreo muy amplio que abarque toda la traza del proyecto.

Las probetas se llevan a laboratorio para ser ensayadas (granulometría, humedad, límites de Atterberg, contenido de humedad óptimo, compactación, CBR). Todos estos datos se vuelcan en el perfil edafológico donde se indican los distintos tipos de suelo y su profundidad. También se confecciona una planilla. Junto con el perfil edafológico, constituyen una herramienta fundamental para el conocimiento del proyecto.

1.4.3.1.2. Clasificación de suelos

La clasificación de suelos es un indicador de las propiedades físicas de los suelos. La clasificación que mejor se adapta para reflejar las propiedades de un suelo como subrasante es la de la AASHTO. Sus variables de entrada son la granulometría y plasticidad.

En general un suelo, de acuerdo a su granulometría, se divide en:

- Grava: tamaño < 76,2mm (3") hasta tamiz N° 10 (2 mm)
- Arena gruesa: tamaño < 2mm hasta tamiz N° 40 (0,425 mm)
- Arena fina: tamaño < 0,425mm hasta tamiz N°200 (0,075 mm)

- Limos y arcillas: tamaños menores de 0,075 mm

Según AASHTO, un suelo fino tiene más del 35% que pasa el tamiz N° 200 y se denominan A-4, A-5, A-6 o A-7.

Dos suelos finos con granulometría muy similar pueden tener propiedades muy diferentes según su plasticidad, la que se analiza sobre la fracción que pasa el tamiz N° 40. Esta propiedad se analiza con los límites de Atterberg que son:

- Límite líquido WL o LL: porcentaje de humedad máximo que puede tener un suelo para poder ser amasado.
- Límite plástico WP o LP: porcentaje de humedad mínimo que puede tener un suelo para ser amasado.
- Límite de contracción WS o LS: porcentaje de humedad por debajo del cual el suelo no pierde más volumen.

En ingeniería vial sólo interesan el LL y el LP, cuya diferencia es el índice plástico, que nos indica la plasticidad del material o sea el rango de humedades dentro del cual el suelo puede ser amasado.

Resumiendo, se puede decir que para suelos gruesos la propiedad más importante es la granulometría, mientras que para suelos finos es la plasticidad.

1.4.3.1.3. Relación entre humedad y densidad

La relación entre humedad y densidad para un suelo compactado juega un papel muy importante en las propiedades del mismo. Así se tienen los ensayos Proctor T-99 (Standard) y T-180 (modificado) que permiten determinar la humedad óptima, es decir, la humedad a la que el suelo alcanza su densidad máxima y por lo tanto presenta sus mejores propiedades mecánicas. El valor de esta humedad óptima depende de la energía de compactación brindada al suelo, y en caso de incrementarse ésta, la humedad óptima será menor y la densidad seca máxima mayor, corriéndose el pico de la curva hacia arriba y a la derecha (Fig.1.3).

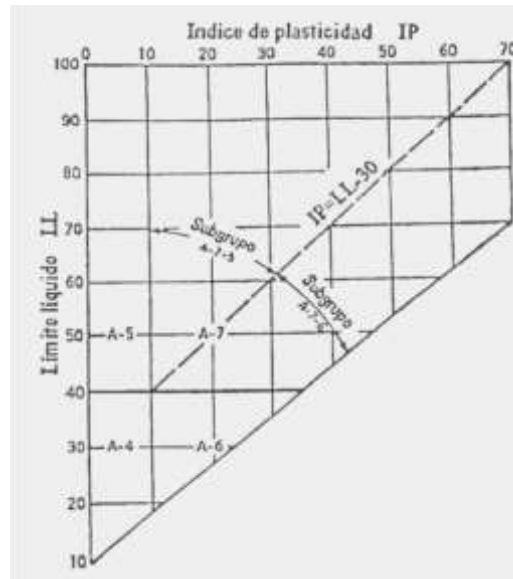


Fig. 1.2 Gráfica de plasticidades de la AASHTO

Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO-97)

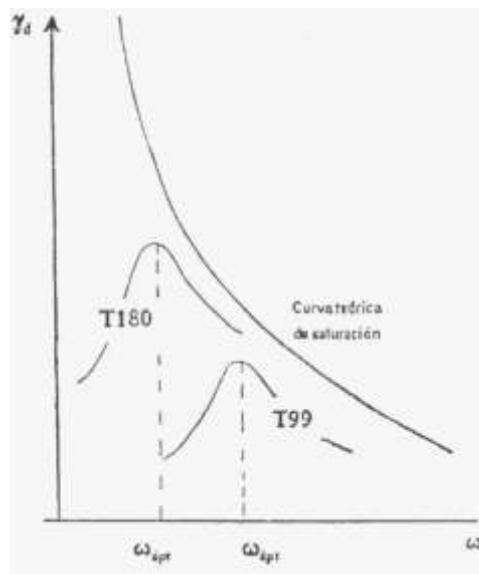


Fig. 1.3 Curvas de humedad densidad de Proctor

Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO-97)

1.4.3.1.4. Ensayos de resistencia

Los ensayos destinados a medir la resistencia de un suelo frente a cargas dinámicas de tránsito son muy variados, siendo las más comunes:

- Relación de valor soporte de California (CBR)
- Valor de resistencia de Hveem (valor R)
- Ensayo del plato de la carga (valor K)
- Penetración dinámica con cono
- Módulo resiliente

1.5 Características y Propiedades de los hormigones

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

1.5.1 Características mecánicas del hormigón

1.5.1.1 Resistencia a compresión y característica del hormigón

La resistencia a compresión simple es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas

En definitiva, los valores recomendables de f_{ck} son 25 y 30 N/mm² para estructuras, reservándose los restantes valores de la serie para obras civiles, obras de hormigón pretensado y prefabricación.

1.5.1.2 Resistencia a tracción del hormigón

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

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

1.6 Proceso de Ejecución y etapas de la construcción del Pavimento Rígido

La ejecución del pavimento de hormigón destinado a soportar altas intensidades de tráfico se orienta hacia una optimización del conjunto de características estructurales y funcionales, combinada con una disminución de los costos de construcción.

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

- Operaciones Previas.
- Fabricación del Hormigón.
- Transporte del Hormigón al Punto de Vertido.
- Puesta en Obra del Hormigón.
- Terminación.
- Curado.
- Ejecución de Juntas.

1.6.1. Operaciones Previas

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

Estas operaciones, por orden cronológico, se pueden dividir en las siguientes:

- Planificación General.
- Localización de Materiales y Ensayos Previos.
- Estudio de Dosificaciones.
- Acopio y Abastecimiento.
- Ejecución de la Subbase.
- Colocación de elementos de guiado o de encofrados.

1.6.2. Fabricación del Hormigón

Los agregados se acopian en las zonas dispuestas para ello con antelación al comienzo de la fabricación, por lo que empieza siendo una operación previa.

Los aditivos no suelen ofrecer dificultades de suministro debido a las pequeñas proporciones en que se utilizan, aunque debe asegurarse su abastecimiento.

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

En el caso de las zonas de estudio (pavimento rígido de Los Parrales y el de la Av. Circunvalación), se utilizó agregados extraídos en canteras cercanas a la zona de proyecto, como ser la del río Guadalquivir y la cantera de la comunidad de el Rancho.

En las dos zonas de estudio se utilizó hormigón dosificado con cemento portland de El Puente, según lo indicaba cada una de las especificaciones de los proyectos.

1.6.3. Transporte del Hormigón al Punto de Vertido

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

La descarga en la extendidora se hace simplemente basculando los distintos camiones a distancias regulares delante de la pavimentadora. Para facilitar la operación de esta última es muy conveniente realizar un preextendido del material descargando éste en la tolva de una extendidora asfáltica.



Figura 1.6. Descarga del camión a la extendidora.

En los proyectos de estudio se utilizaron los hormigones preparados en planta, en la Av. Circunvalación se utilizó el de la planta Betonmix y en el de Los Parrales el de la planta de SOBOCE, según lo indicaba las especificaciones de cada uno de los proyectos.

1.6.4. Puesta en Obra del Hormigón

La construcción de pavimentos de hormigón, se caracteriza por el predominio casi exclusivo de las pavimentadoras de encofrado deslizantes. Los equipos de encofrados fijos han quedado prácticamente relegados a obras en las que no se requieren elevados ritmos de ejecución.



Figura 1.7. Conformación de la losa



Figura 1.8. Colocación del hilo guía

Cuando se utilizan equipos de encofrados deslizantes, el guiado de los mismos se realiza mediante unos sensores que van recorriendo unos hilos que van determinando la posición de la superficie del pavimento, tanto en planta como en alzado (Figura 1.8 y 1.9).



Figura 1.9. Control del hilo guía

Los equipos de encofrados deslizantes permiten obtener una excelente regularidad superficial siempre que el hormigón sea homogéneo y se asegure un suministro del mismo adecuado al avance de la máquina, sin que se produzca ni acumulaciones excesivas del material delante de ella, ni por el contrario, detenciones por falta de hormigón.

Un elemento característico de las máquinas pavimentadoras es la viga terminadora longitudinal, se trata de una maestra que se desplaza transversalmente al sentido de avance, arrastrada por una cadena, estando dotada al mismo tiempo de un movimiento de vaivén hacia atrás y hacia delante (Figura 1.10)

Con ello, se alisan las oscilaciones producidas en la superficie a la salida de la máquina, mejorándose la regularidad superficial.



Figura 1.10. Viga terminadora

Para los pavimento en estudio se utilizaron volquetas, para poder transportar el hormigón ya preparado.

Para el pavimento de la Av. Circunvalación se optó por construir la calzada de hormigón por mitades, es decir que se generó una junta de construcción en correspondencia con la junta longitudinal.

En la construcción de las losas del pavimento de Los Parrales se utilizaron moldes laterales metálicos, rectos, libres de ondulación y de altura igual al espesor de la losa.

1.6.5. Terminación

Una vez extendido el hormigón, es preciso dotar al mismo de una terminación superficial que garantice la obtención de unas adecuadas cualidades antideslizantes.

Hay que mencionar que una de las ventajas que presentan los pavimentos de hormigón es la facilidad con la que pueden dárseles una gran variedad de acabados superficiales y la gran cantidad de tratamientos que es posible aplicar sobre el hormigón endurecido.



Figura 1.11. Microtextura



Figura 1.12. Macrotextura

1.6.6. Curado

Una operación esencial para la obtención de un pavimento de calidad es la realización de un concreto curado para evitar la pérdida del agua, por evaporación superficial, lo que, aparte de provocar fisuras de retracción, da lugar a una disminución de las resistencias del hormigón, en especial en la parte superior del mismo.



Figura 1.13. Curado de la Superficie del pavimento mediante riego

1.6.7. Ejecución de Juntas

La última operación que sufre el pavimento de hormigón consiste en la ejecución de las juntas transversales de contracción y longitudinales si las hay, así como el eventual sellado de las mismas.

Dichas juntas son necesarias para que las fisuras que se producen de forma natural en el hormigón, tanto por la retracción del mismo, que se ve cortada por el rozamiento con la base, como por el efecto combinado de las cargas de tráfico y los gradientes térmicos, aparezcan rectilíneas en superficie y no con bordes irregulares, como ocurriría si se dejase al pavimento fisurar espontáneamente.

Con la disposición de juntas se provocan las fisuras en la secuencia deseada, compatible con las características del hormigón.

El lapso de tiempo que transcurre desde la puesta en obra del hormigón hasta el corte del mismo es muy crítico y depende de numerosos factores: temperatura ambiente, tipo de cemento, etc.

Por un lado, debe haber transcurrido el tiempo suficiente para que el hormigón haya endurecido y pueda soportar los esfuerzos de serrado sin descascarillarse, y por otro no tanto como para que las fisuras de retracción se hayan desarrollado ya, es normal que haya que comenzar a cortar al cabo de 5 ó 6 horas de la puesta en obra.



Figura 1.14. Junta en fresco

Finalmente se realiza o no el sello de juntas que depende principalmente de la pluviometría del lugar. En el caso de los pavimentos estudiados se utilizaron diferentes materiales para sello, los cuales serán indicados mas adelante, no siendo satisfactorios los resultados obtenidos por estos materiales.

CAPITULO II: TEORÍA DE LAS FALLAS EN EL PAVIMENTOS RÍGIDO

2.1. Definición de los tipos de daños en el pavimento rígido

Los diferentes tipos de daños que puede presentar un pavimento rígido, pueden ser agrupados en tres categorías generales:

- Fisuras y grietas
- Deterioro de las juntas
- Deterioro superficial

En este estudio nos enfocaremos en las fallas de la categoría de fisuras y grietas las cuales son el tema central del estudio. A continuación, definiremos la mencionada categoría, presentando su definición, nivel de severidad, la forma de medición, sus posibles causas, su evolución probable y reparaciones que pueden realizarse, (se presenta una posible reparación, que debe ser tomada como una primera aproximación a una solución definitiva la cual será sustentada con ensayos e información detallada). Las fotografías relacionadas con cada tipo de daño, se presentan a medida que se describe cada uno de ellos.

Los niveles de severidad son criterios adoptados para diferenciar la gravedad del daño; estos se basan fundamentalmente en la apreciación del grado de deterioro que pueda presentar cada daño en particular. En términos generales, los niveles de severidad adoptados en el presente manual son: severidad baja, severidad media y severidad alta; a medida que se van definiendo los diferentes tipos de daño se van definiendo también las características de cada nivel de acuerdo cada deterioro en particular.

Cuando en un mismo tipo de daño se advierten varios niveles de severidad es preciso reportar la más alta, es decir, si para un mismo tipo de daño en un mismo lugar se presentan deterioros con severidad baja y media, se debe reportar el daño con severidad media. En ocasiones ocurre que en un mismo sitio se advierten dos o más tipos de daño, en este caso se debe reportar el daño que más incomodidad presente a los usuarios de la vía, por ejemplo, si en un mismo sitio se presentan simultáneamente grietas longitudinales, transversales y levantamiento localizado, se debe reportar el levantamiento localizado.

2.1.1 GRIETAS Y FISURAS

En este manual, las grietas de ancho menor a 0,03 mm se denominan fisuras. En la Figura 2.1 se muestra el ancho que define una grieta. Este grupo de deterioros incluye todas las discontinuidades y fracturas que afectan las losas de concreto.

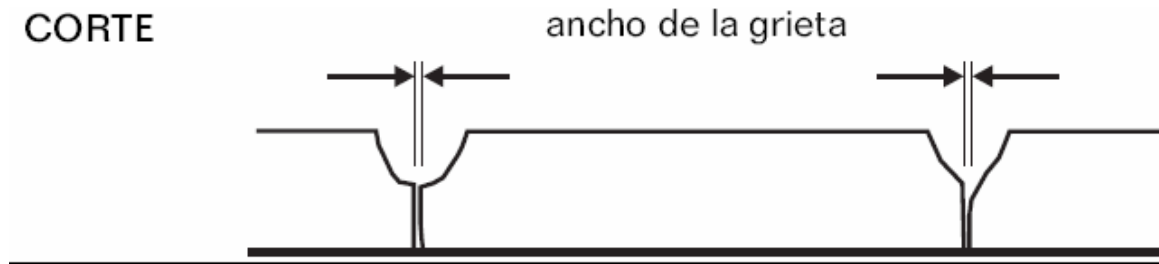


Figura 2.1. Corte transversal de una losa, mostrando el ancho de una grieta

2.1.1.1 Fisuras de Esquina (GE): Este tipo de deterioro genera un bloque de forma triangular en la losa; se presenta generalmente al interceptar las juntas transversal y longitudinal, describiendo un ángulo mayor que 45° , con respecto a la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo sobre la junta de la losa varía entre 0,3 m y la mitad del ancho de la losa. (Figura 2.2 y 2.3). Este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta el ancho de la grieta (Figura 4), las severidades están dadas como sigue:

- Baja: Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm.). Escalonamiento imperceptible y el bloque de la esquina está completo.
- Media: Aberturas entre 0,003 m y 0,01 m (3 – 10 mm).
- Alta: Aberturas mayores a 0,01 m (10 mm). Se presenta escalonamiento y el bloque de la esquina está dividido en varias partes.

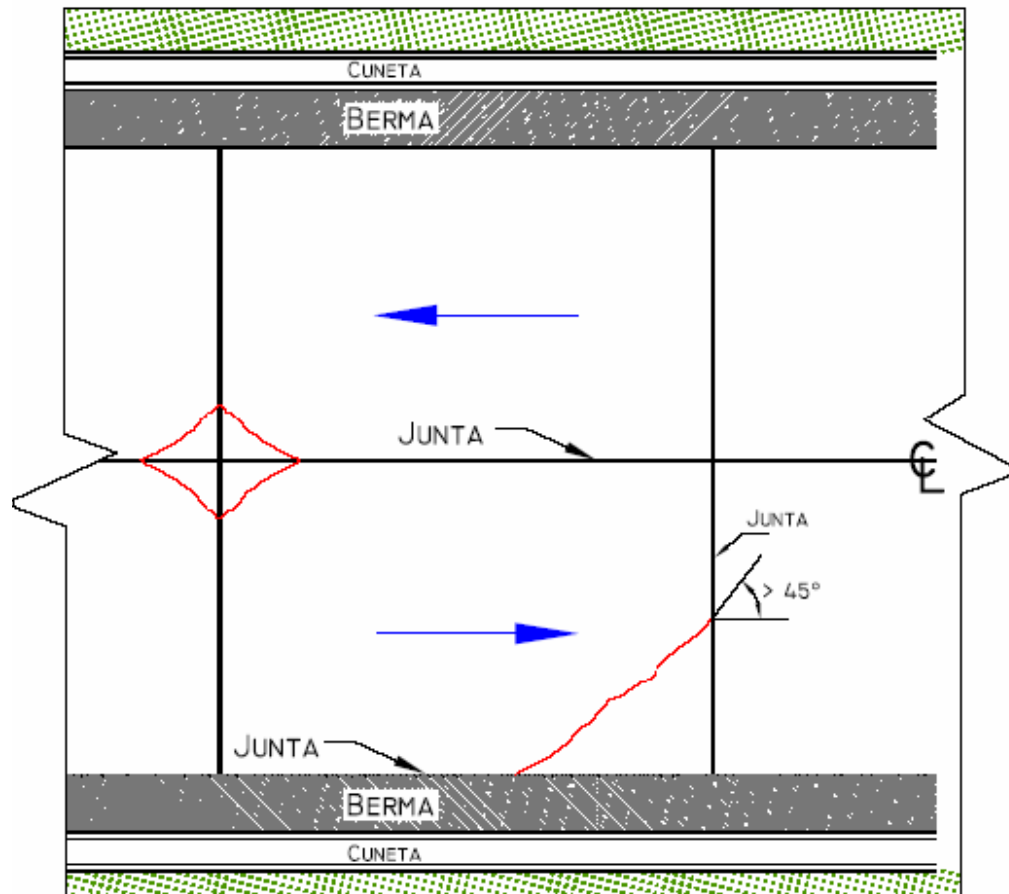


Figura 2.2 Vista en planta: Grieta de Esquina



Figura 2.3 Vista típica de una grieta de esquina

Medición del deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metros y el ancho de su abertura, reportando la cantidad de grietas de esquina presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas; éstas siempre serán reportadas y tendrán un nivel de severidad bajo.

Posibles Causas: Las principales causas de la formación de grietas de esquina son:

- Asentamiento de la base y/o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.
- Alabeo térmico.
- Sobrecarga en las esquinas.
- Deficiente transmisión de cargas entre las losas adyacentes.

Evolución probable: Se pueden generar o incrementar los escalonamientos y producir fracturas múltiples en las losas.

2.1.1.2. Fisuras longitudinales (GL): Grietas predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia (L) mucho mayor que la mitad de la longitud de la losa (Figura 2.4 y 2.5). Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

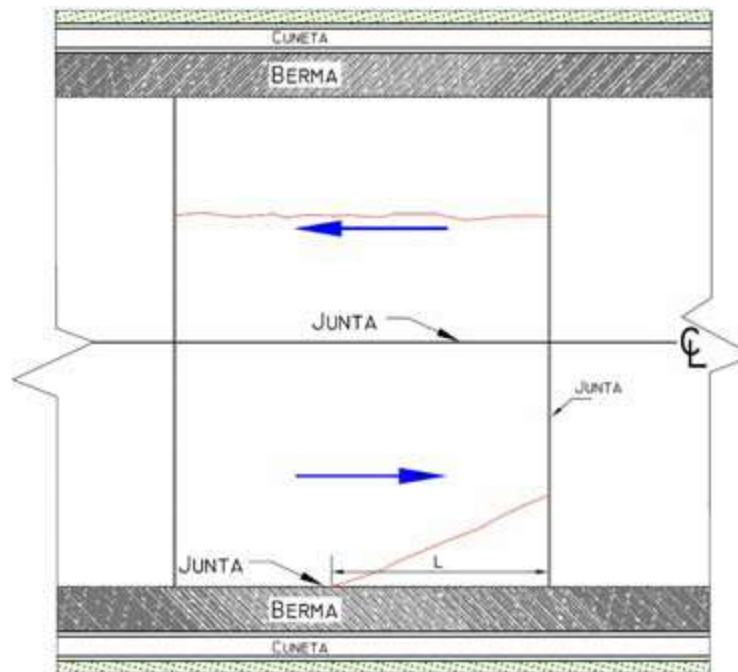


Figura 2.4 Características de las Grietas longitudinales



Figura 2.5 Grieta longitudinal

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la abertura de la grieta, los niveles de severidad de las grietas longitudinales se clasifican en:

- Baja: grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm.). Escalonamiento imperceptible.
- Media: Abertura entre 0,003 m y 0,01 m (3 – 10 mm).
- Alta: > Aberturas mayores a 0,01m (10 mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0,015 m (15 mm).

Medición del Deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metros, reportando la cantidad de grietas longitudinales presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas; éstas siempre serán reportadas y tendrán algún nivel de severidad.

Posibles Causas: Las principales causas de las grietas longitudinales son:

- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.
- Alabeo térmico.
- Losa de ancho excesivo.
- Carencia de una junta longitudinal.
- Mal posicionamiento de las dovelas y/o barras de anclaje.
- Aserrado tardío de la junta.
- Contracción del concreto

Evolución probable: Los deterioros con mayor probabilidad de ocurrencia como consecuencia de la evolución de las grietas longitudinales, son:

- Incremento de los escalonamientos.

- Fracturas múltiples en las losas.

2.1.1.3 Grietas transversales (GT) Grietas que se presentan perpendiculares al eje de circulación de la vía (Figura 2.6 y 2.7). Pueden extenderse desde la junta transversal hasta la junta longitudinal, siempre que la intersección con la junta transversal esté a una distancia del borde (T) mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con la junta longitudinal se encuentra a una distancia inferior que la mitad del largo de la losa (L). Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

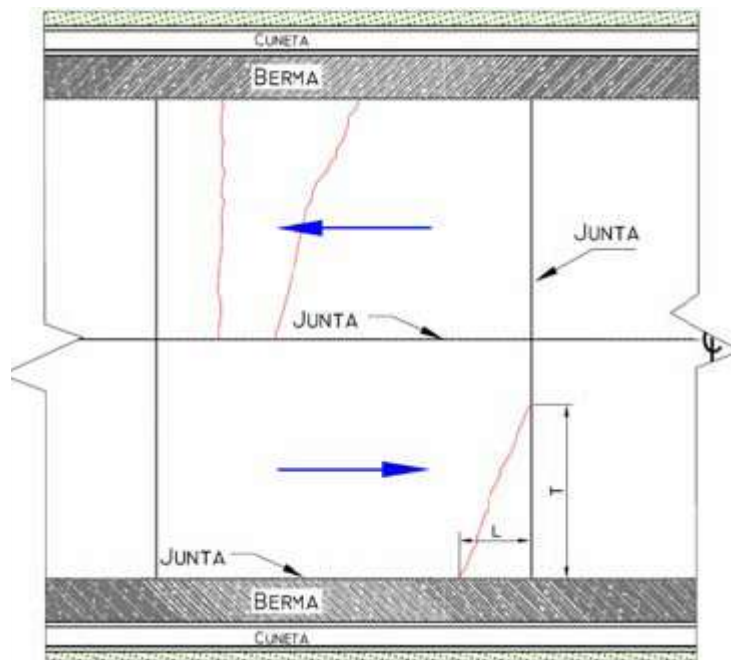


Figura 2.6 Vista en Planta de las Grietas Transversales.



Figura 2.7 Vista típica de una Grieta Transversal.

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la abertura de la grieta, los niveles de severidad de las grietas longitudinales se clasifican en:

- Baja: Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm.). Escalonamiento imperceptible.
- Media: Abertura entre 0,003 m y 0,01 m (3 – 10 mm).
- Alta: > Aberturas mayores a 0,01m (10 mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0,006 m (6 mm)

Medición del Deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metros, reportando la cantidad de grietas transversales presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán algún nivel de severidad.

Posibles Causas Las principales causas de las grietas transversales, son:

- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Losas de longitud excesiva.
- Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones.
- Gradiente térmico que origina alabeos.
- Problemas de drenaje.
- Cargas excesivas

Evolución probable: El daño con mayor probabilidad de aparición, como consecuencia de la evolución de las grietas transversales son las grietas en bloque, también puede haber escalonamiento por la entrada de agua.

2.1.1.4 Fisuras en los extremos de los pasadores (GP): Cercanas al extremo de los pasadores o dovelas, pueden ser ocasionadas por la mala ubicación de los pasadores o por su movimiento durante el proceso constructivo (Figura 2.8 y 2.9). Este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Niveles de Severidad: Teniendo en cuenta la abertura de la grieta, los niveles de severidad de las grietas longitudinales se clasifican en:

- Baja: Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm.). Escalonamiento imperceptible.
- Media: Abertura entre 0,003 m y 0.01 m (3 – 10 mm).
- Alta: > Aberturas mayores a 0,01m (10 mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0,006 m (6 mm).

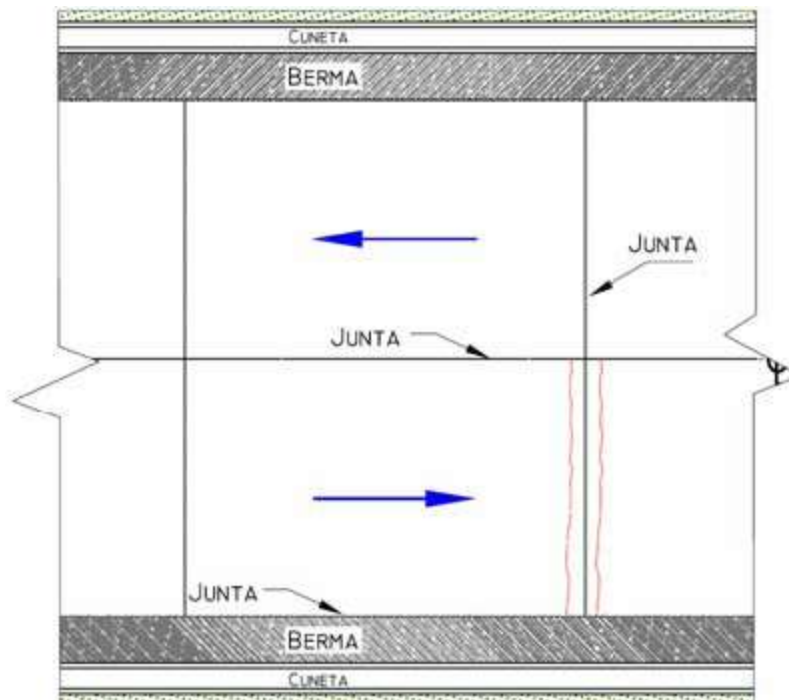


Figura 2.8 Vista en planta de grietas en los extremos de los pasadores.



Fotografía 2.9 Vista típica de una grieta en los extremos de los pasadores

Medición del deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metros, reportando la cantidad de grietas presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas; éstas siempre serán reportadas y tendrán algún nivel de severidad.

Posibles Causas: Las principales causas de las grietas en los extremos de los pasadores, son:

- Mala ubicación de los pasadores
- Corrosión o desalineamiento de los pasadores
- Movimiento durante el proceso constructivo
- Diámetros de barras muy pequeños y cargas de tráfico muy altas.

Evolución probable: Se puede generar escalonamiento de las grietas y/o agrietamiento en bloque.

2.1.1.5 Fisuras en bloque o Fracturación múltiple (GB): Aparecen por la unión de grietas longitudinales y transversales formando bloques a lo largo de la placa. Este grupo también comprende las grietas en “Y” (Figura 2.10 y 2.11). Aunque se presenta en todos los tipos de pavimentos rígidos, es más frecuente que se presente en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Niveles de Severidad: Siempre se considera un deterioro de severidad alta.

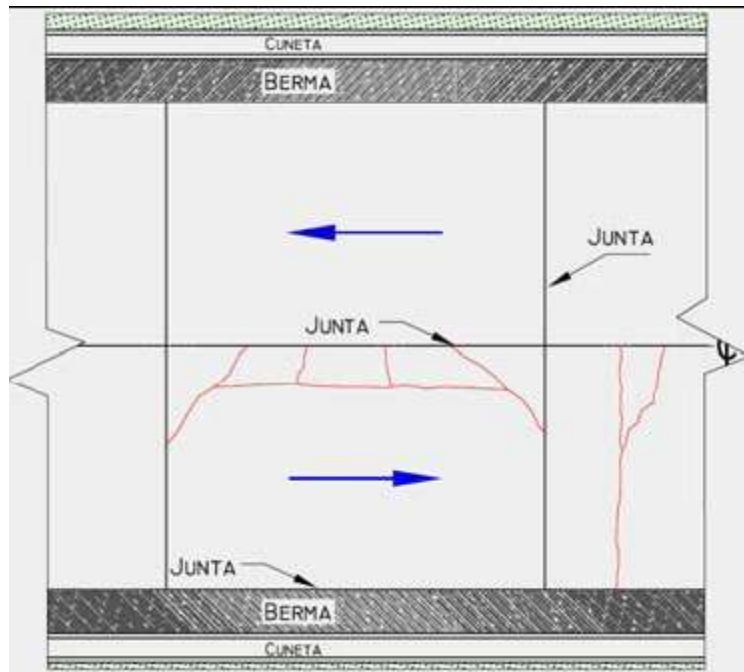


Figura 2.10 Características de las grietas en bloque



Fotografía 2.11 Vista típica de las grietas en bloque

Medición del deterioro: Se mide el área afectada en metros cuadrados de cada placa y por severidad.

Posibles Causas: La fracturación múltiple, puede ser causada por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente. Es la evolución final del proceso de fisuración, que comienza formando una malla más o menos cerrada; el tránsito y la continua flexión de las losas aceleran la subdivisión en bloques más pequeños, favoreciendo el desportillamiento de sus bordes. Pueden presentar diversas formas y aspectos, pero con mayor frecuencia son delimitados por una junta y una fisura.

Evolución probable: La evolución más probable de las grietas en bloque es el deterioro total de la estructura y/o hundimientos.

CAPITULO III: TEORÍA DEL COMPORTAMIENTO DE LA LOSAS RESPECTO A LA FISURACIÓN

3.1 Introducción

Es motivo de gran preocupación nacional la forma en que se comportan los pavimentos de las redes viales, principalmente en lo que concierne a vehículos pesados.

Se vuelve objeto de la mayor importancias, el conocimiento del estado actual y futuro de los caminos, las relaciones vehículos-pavimento-usuario y las implicaciones económicas del estado superficial del pavimento en la economía del transporte, así como de las decisiones tomadas por el organismo encargado de las redes viales respecto a los trabajos de conservación, rehabilitación o reconstrucción que deban ejecutarse, para alcanzar un nivel de servicio predeterminado, incluida la eficiencia técnica y económica de cada estrategia propuesta.

3.2 Importancia del comportamiento de los pavimentos durante su ciclo de operación.

En los métodos de diseño de pavimentos se han introducido conceptos que si bien tienen un fundamento teórico, deben ser permanentemente calibrados y revisados para asegurar una concordancia satisfactoria entre la predicción y la realidad, sobre todo al considerar la influencia que pueden tener en el comportamiento de los pavimentos los factores climáticos, la variabilidad de los materiales, procedimientos constructivos y la utilización de nuevos productos y materiales, entre otros factores, además de las acciones de mantenimiento ejercidas.

Los organismos encargados de la conservación, demandan la implementación de sistemas de información, análisis y definición de las estrategias convenientes para establecer las prácticas de conservación y rehabilitación que satisfagan las necesidades técnicas y financieras de las redes viales.

Dichos organismos requieren contar con la información que les permita saber qué hacer, cuándo y dónde hacerlo, así como el monto de los fondos necesarios para ello, además de las repercusiones económicas de dichas actuaciones.

La información anterior depende de dos aspectos importantes basados en el comportamiento de los pavimentos: por una parte, conocer las condiciones en las que este se encuentra en un momento determinado, es decir, conocer la historia de su comportamiento desde nuevo o a partir de la última rehabilitación importante, que marque el inicio de un nuevo ciclo de vida, hasta el momento en que se hace la evaluación. Por otra parte, es necesario anticipar o predecir su comportamiento futuro, definiendo su periodo de vida remanente, así como la implicación económica asociada. Lo anterior permitirá evaluar las condiciones actuales y futuras del pavimento y definir las diferentes opciones o estrategias de conservación o rehabilitación aplicables, así como su respectiva valoración económica.



Figura 3.1 Gráfico de la vida útil de un pavimento

El comportamiento de un pavimento está caracterizado por la forma en que evolucionan diferentes parámetros distintivos de la manera en que está cumpliendo con su función a través del tiempo.

Los principales parámetros son:

- Calidad de rodamiento, o serviciabilidad
- Resistencia al deslizamiento
- Deterioros

➤ Capacidad estructural

3.3 Evaluación del estado actual del pavimento y comportamiento

El conocimiento de las condiciones en que se encuentra y de su comportamiento a través del tiempo, son tópicos de vital importancia para el organismo encargado de su diseño, construcción, conservación y operación.

El conocimiento de dichos tópicos se obtiene mediante un proceso de investigación, tanto en el campo como en el gabinete, recabando información de tipo documental o efectuando mediciones en el campo de los principales indicadores que manifiestan las condiciones en las que se encuentra el pavimento. Este proceso es generalmente conocido como evaluación del pavimento.

Entre otras cosas, la evaluación de un pavimento, además de proporcionar la información de su estado en el momento en que se realice, proporciona información de gran utilidad para constituir la experiencia del organismos que contribuye a la constante mejora en los aspectos de diseño y construcción de pavimentos nuevos o sometidos a procesos de rehabilitación, así como la eficiencia técnica y económica de estos últimos.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que los resultados de la evaluación efectuada en un momento dado constituyen la información sobre el estado o condición del pavimento en ese momento, pero si se comparan los resultados correspondientes a las evaluaciones en dos etapas de la vida de este, se tendrá información sobre su comportamiento en el lapso cubierto por las dos evaluaciones.

En resumen, el proceso de evaluación del pavimento efectuado en forma periódica es muy importante por lo siguiente:

- Proporciona información para verificar las predicciones efectuadas en el diseño y actualizarlas en caso necesario.
- Permite efectuar la programación de las medidas de conservación y su reprogramación en caso necesario.
- Proporciona información para mejorar los métodos de diseño.

- Permite mejorar las técnicas de construcción y conservación.
- Proporciona la información para determinar las necesidades de un tramo en particular o de toda una red.
- Principalmente por el tema en estudio, nos proporciona información del comportamiento del pavimento con respecto a diferentes parámetros, como ser las fisuras.

3.3.1 Evaluación sistematizada y seguimiento

La forma en que un pavimento cumple con sus funciones básicas, (seguridad, comodidad y economía) se puede determinar en función a su comportamiento, el cual a su vez puede definirse como una medida del servicio acumulado, o como la forma en que cumple con su función, para lo cual se establecen parámetros para valorar el comportamiento, como en nuestro caso la evolución de las fisuras en el mismo, que son funciones directas de la historia de su comportamiento o del servicio prestado.

Los deterioros como las fisuras, pueden considerarse como las consecuencias visibles del efecto de varios mecanismos que generalmente conducen a una reducción de la capacidad de servicio del pavimento, de tal manera que cuando se integran en un análisis, debidamente ponderados, pueden generar una curva de degradación del mismo, que indica la forma en que pierde sus características a través del tiempo, hasta llegar al fin de su ciclo de vida.

De acuerdo con lo anterior, puede decirse que la principal característica desde el punto de vista de la operatividad de un pavimento, en cualquier momento de su ciclo de vida, lo constituye la serviciabilidad que proporciona a los usuarios. Por otra parte, la variación de la serviciabilidad con el tiempo, es una medida del comportamiento este, lo cual permite facilitar la toma de decisiones en los aspectos de la conservación y operación de los mismos.

Entonces se destaca la necesidad e importancia de conocer las condiciones en las que se encuentra el pavimento, obteniendo datos confiables a través de un seguimiento o monitoreo sistemático.

Por lo tanto, para definir su comportamiento, es importante conocer la forma en la que varían sus características a través del tiempo, o sea establecer condiciones iniciales en el estudio, (primera medición), y mediante el seguimiento poder llegar a los resultados finales.

Para llevar a cabo lo anterior, se debe establecer un procedimiento de evaluación sistematizada y seguimiento, de acuerdo a las necesidades e intereses del estudio.

3.4 Seguimiento de las fisuras en la losas de pavimento

Como se ha mencionado en los incisos anteriores, el seguimiento de las fisuras en las losas de un pavimento consiste en obtener en general un volumen considerable de información que será necesario almacenar, analizar, interpretar y utilizar para conocer el progreso de las fisuras y permitir la realización de cuadros de comportamiento y/o evolución de las fisuras de una respectiva zona, las mismas que tendrán similitud de evolución por las características del paquete estructural y del lugar.

Así mismo, deberá definirse el nivel, tipo y cantidad de información básica requerida para establecer el banco de datos necesario, de acuerdo con las necesidades y objetivos del estudio.

3.4.1 Tipo de información requerida

Para obtener el tipo de información requerida es muy conveniente elaborar planos o esquemas, de forma gráfica preferentemente, que contengan toda la información concerniente al punto de partida del seguimiento de las fisuras.

En el plano o figura, deberán aparecer conceptos básicos para el seguimiento, como ser:

- Nomenclatura asignada a la losa en estudio, la misma que puede ser con números, letras o mixta.
- Sentido del tráfico.
- Tipo de fisura.

- Todas las medidas realizadas, como ser, aberturas y largos (cuando sea necesario).
- Fechas de las respectivas mediciones.

Por otra parte, deberán definirse las técnicas de evaluación de cada uno de los parámetros establecidos para el monitoreo constante, para lo cual deberá seleccionarse el equipo a utilizar.

3.4.2 Captura de información

Existen diferentes métodos de captura de información, los cuales se diversifican por la metodología de registro y procesamiento de datos. A continuación se explicarán los métodos más utilizados en nuestro medio:

- Método clásico.- Se basa en la medición de longitudes y anchos de fisuras mediante el uso de herramientas tales como flexómetro, escalímetro, los mismos que deben ser usados de manera tal que proporcionen datos precisos, datos que deben ser registrados en campo a través de una planilla debidamente adaptada para la toma y registro de datos, la cuál debe estar acondicionada para adicionar una fotografía y/o dibujo donde se debe indicar y graficar las características de la fisura.

- Método moderno.- La toma de datos de este método es igual al método clásico, se diferencia en el registro de datos, el mismo que se realiza en campo a través de una cámara digital y el procesamiento de datos es realizado en gabinete. Este método es el más eficiente porque minimiza el tiempo de medición y registro de datos y disminuye la necesidad de personal.

En este estudio el método utilizado será el método moderno.



Figura 3.2 Captura de información

3.4.3 Sistematización del seguimiento

El sistema de seguimiento del comportamiento de fisuras en pavimentos de hormigón, es el sistema más avanzado y preciso para la obtención de longitudes y anchos de fisuras, mediciones que para ser representativas deben realizarse cada cuatro semanas aproximadamente, tiempo estimado en el que existirá variaciones perceptibles que debe realizarse las veces que así se determine en el estudio y sean las suficientes para conocer el comportamiento de las fisuras, variaciones que deben ser medidas bajo una misma temperatura.

3.4.4 Procesamiento y análisis de información

Previo al procesamiento y análisis de información, es conveniente contar con esquemas y tablas que contengan la información necesaria concerniente al seguimiento de las fisuras.

El procesamiento y análisis de información se realiza en gabinete, con toda la información registrada en las tablas y esquemas; se procede a dar la definición de cada fisura en estudio, nivel de severidad inicial y nivel de severidad concluido el

tiempo de estudio, posibles causas de las fisuras, evolución durante el tiempo de estudio y posible evolución a futuro.

Losa 1 B

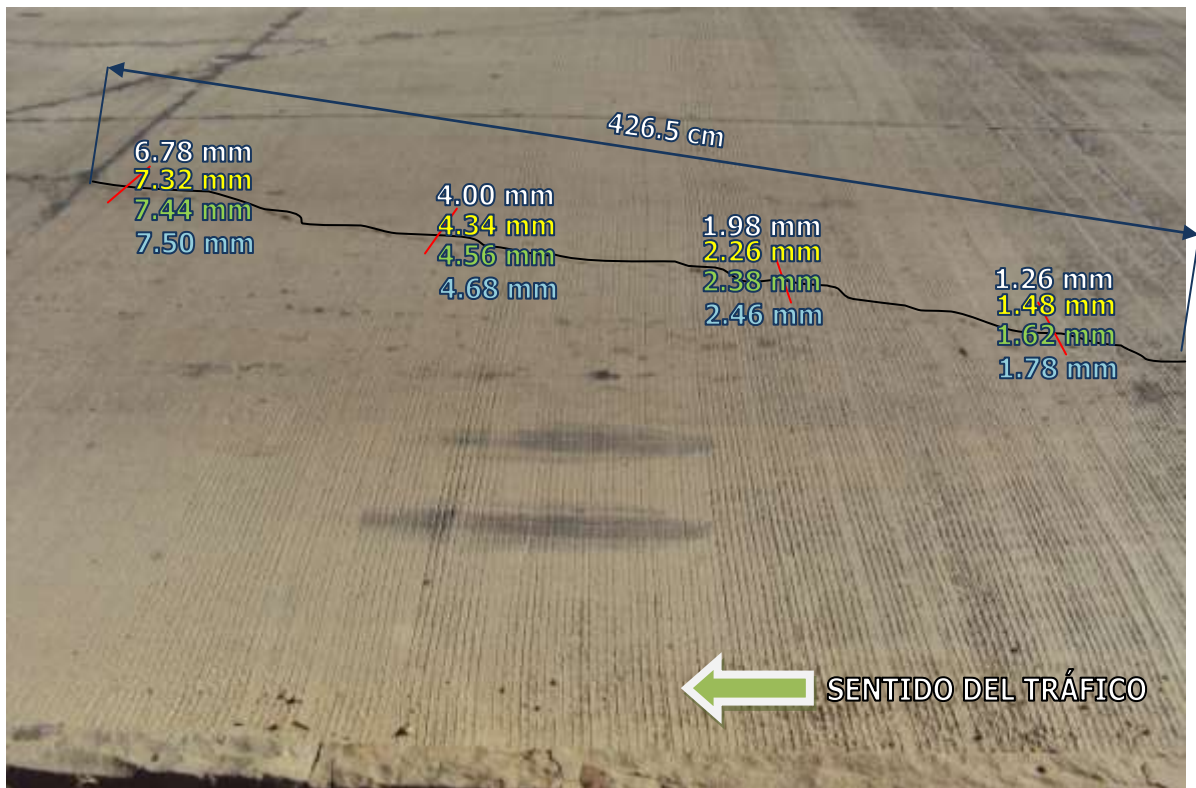


Figura 3.3 Esquema utilizado para la recolección de información

Fisura Longitudinal				
Detalle	1 ^{ra} medicion	2 ^{da} medicion	3 ^{er} medicion	4 ^{ta} medicion
Fecha	14/08/2011	18/09/2011	16/10/2011	12/11/2011
Largo (cm)	426.50	426.50	426.50	426.50
Ancho (mm)	6.78	7.32	7.44	7.50
Ancho (mm)	4.00	4.34	4.56	4.68
Ancho (mm)	1.98	2.26	2.38	2.46
Ancho (mm)	1.26	1.48	1.62	1.78

Figura 3.4 Ejemplo de tabla utilizada para la recolección de información

Con los datos de las mediciones tabuladas, se crea gráficas de comportamiento de las fisuras de cada una de las losas estudiadas, gráficas que deben mostrar la cantidad de días de seguimiento y la abertura mayor de las fisuras estudiadas; con dichos puntos se debe generar una línea de tendencia polinómica de tercer orden para poder apreciar con mayor facilidad la evolución que presentaron estas aberturas respecto al tiempo de duración del estudio.

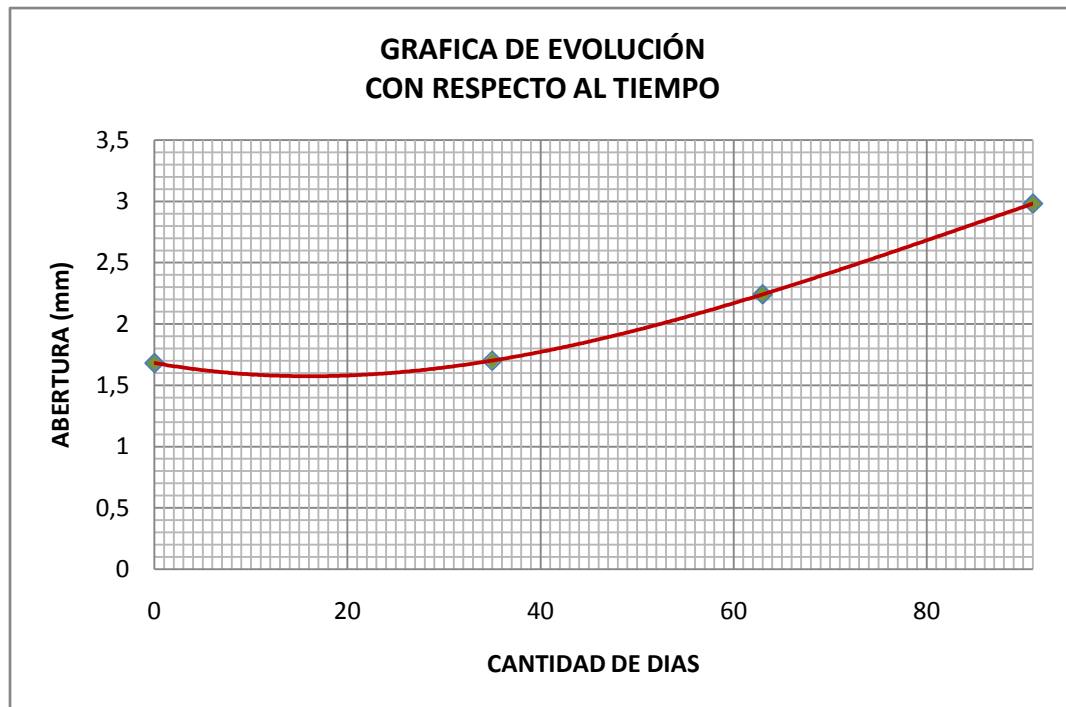


Figura 3.5 Formato de Gráfica utilizado para poder apreciar la evolución de las fisuras

CAPITULO IV: APLICACIÓN PRÁCTICA Y RESULTADOS OBTENIDOS

4.1.Ubicación del Área de Estudio

- a) Características Generales del Departamento de Tarija
- Límites Territoriales: Tarija es uno de los nueve departamentos autónomos en los que se divide Bolivia; está situado en el sudeste del país. Limita al oeste con Potosí, al norte con Chuquisaca, al este con Paraguay y al sur con Argentina.

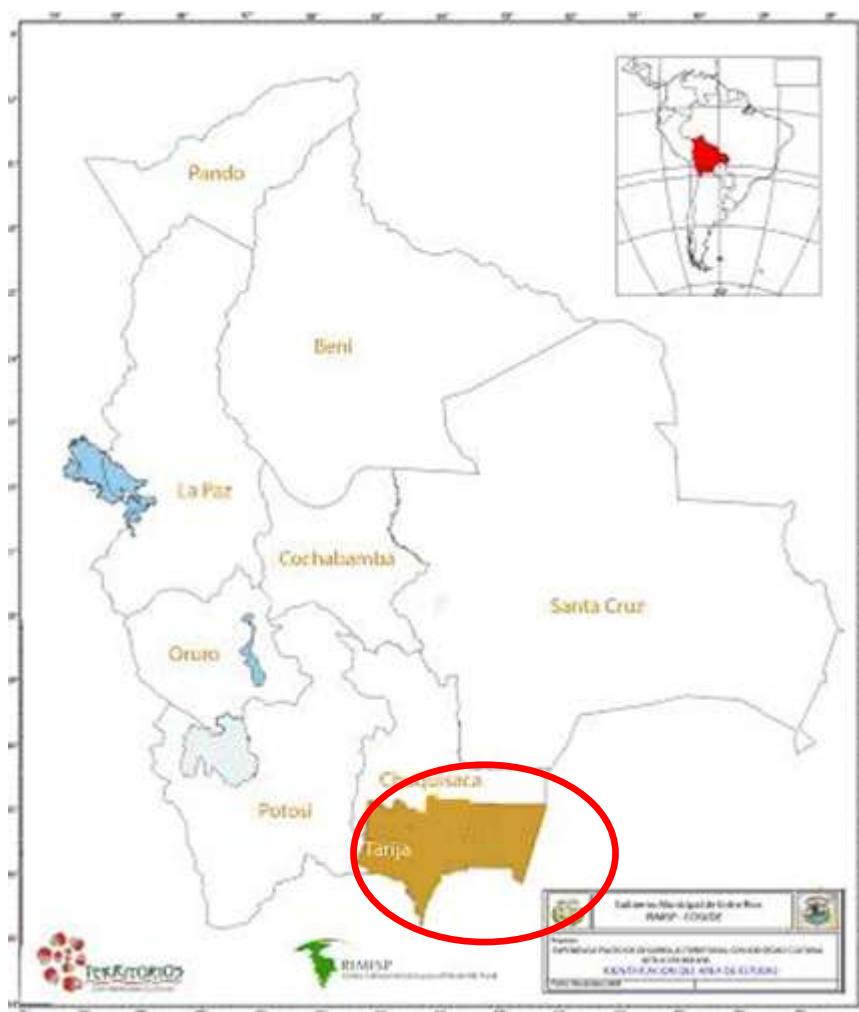


Figura 4.1. División política de la República de Bolivia

- Superficie: La superficie del departamento de Tarija, comprende una extensión territorial de 37.623 km², que aproximadamente representa el 3 % de la superficie del territorio nacional, es el departamento más pequeño de Bolivia.
- Datos Demográficos: El departamento de Tarija el año 2001 contaba con un total de 450.276 habitantes y cuya tasa de crecimiento fue de 3.18%.
- División Política: El departamento de Tarija está constituido por 6 provincias, 11 secciones municipales.

Provincia	Capital	km ²	Población	Municipios
Aniceto Arce	Padcaya	5.205	56.413	Bermejo Padcaya
Burnet O'Connor	Entre Ríos	5.309	20.148	Entre Ríos
Cercado	Tarija	2.078	178.926	Tarija
Eustaquio Méndez	San Lorenzo	4.861	33.081	San Lorenzo El Puente Avilés Yunchará
Gran Chaco	Yacuiba	17.428	143.549	Caraparí Villamontes Yacuiba
José María Avilés	Uriondo	2.742	18.159	Valle de la Concepción

Tabla 4.1. División Política del departamento de Tarija

b) Características Físicas del Departamento de Tarija

- Temperatura: La temperatura promedio del departamento de Tarija oscila entre los 17 °C a 23 °C en el valle y 25°C a 35°C en la región tropical.

- Altitud: Tiene una altitud media sobre el nivel del mar de 1.957 m.

4.1.1. Zona de Estudio Municipio de Tarija

La zona del proyecto de Estudio sobre el comportamiento de las losas de Hormigón de Pavimento respecto a la Fisura, se encuentra íntegramente en la primera sección del municipio de Tarija de la provincia Cercado del departamento de Tarija.

4.1.1.1. Características Generales del Municipio de Tarija

- Límites Territoriales: El Municipio de Tarija está ubicado en el centro-oeste del departamento de Tarija, es la única sección municipal de la provincia Cercado. Limita al noroeste con Méndez, al este con Burnet O'Connor, al sur con Arce y al suroeste con Avilés.



Figura 4.2. División política del departamento de Tarija.

Fuente: Atlas Bolivia.

- Ubicación Geográfica: Geográficamente el municipio de Tarija se encuentra ubicado entre las coordenadas 21° 31' 54" de Latitud Sur y 64° 43' 52" de Longitud Oeste.
- Extensión Territorial: El municipio de Tarija, posee una extensión territorial de 2.078 km², que representa el 5.6 % de la superficie del territorio departamental y el 0,20 % del territorio Nacional.
- Actividad Económica: La principal actividad económica del Municipio es la industria vitivinícola, se producen vinos y singanis de gran calidad para el consumo nacional y la exportación, tiene también plantas de procesamiento de derivados lácteos, industrias madereras, fábricas de cerámica roja y envasadoras de frutas. La mayoría de estos productos tienen mercados dentro y fuera de Bolivia.

4.1.1.2. Zona de estudio pavimento rígido de Los Parrales

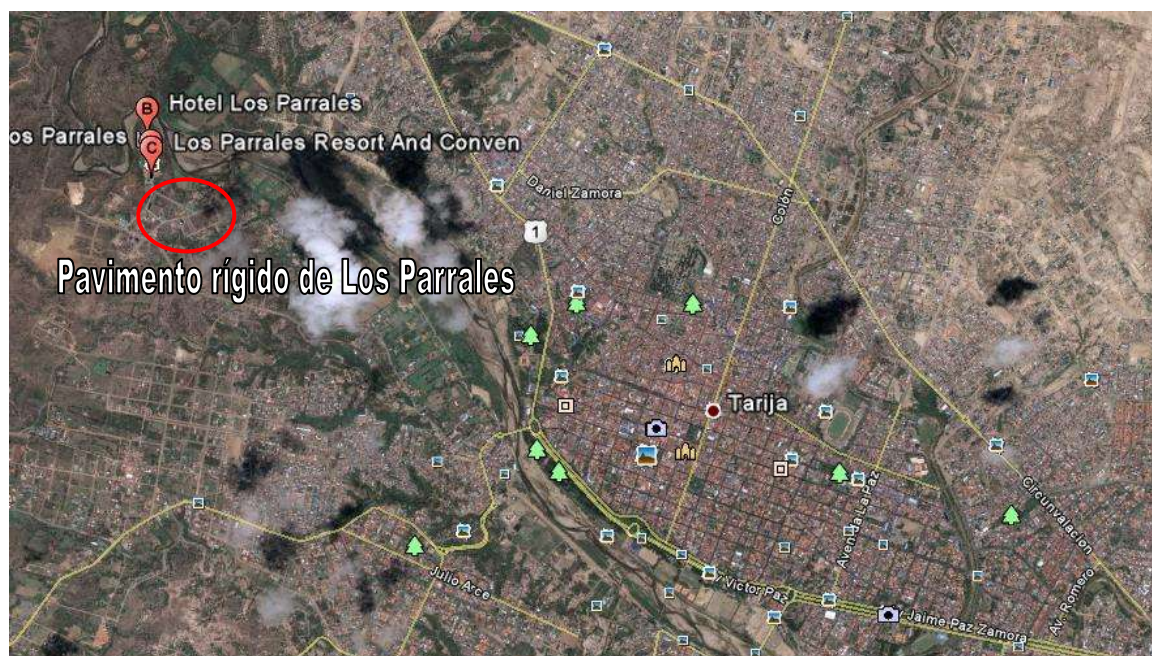


Figura: 4.3 Ubicación de la zona de estudio en una imagen de la ciudad de Tarija



Figura: 4.4 Zona residencial el Carmen de Aranjuez, Km 3.5, donde esta ubicado el tramo de estudio del Pavimento Rígido de Los Parrales

4.1.1.3. Zona de estudio pavimento rígido de la Av. Circunvalación



Figura: 4.5 Ubicación de la zona de estudio en una imagen de la ciudad de Tarija



Figura: 4.6 Av. Circunvalación, tramo desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 1+000.

4.2. Antecedentes

4.2.1. Antecedentes de Los Parrales

En el año 2000 se terminó la construcción del pavimento rígido del hotel Los Parrales de la ciudad de Tarija, a cargo de una empresa constructora local.

Luego de terminados los trabajos preliminares, se iniciaron las obras de pavimentado del tramo. Este tramo de pavimentado no fue construido con un paquete estructural, sumado a la ruptura de varios puntos de agua potable, esto ocasionó la falla a gran escala en los primeros 100 m del proyecto. Este tramo tuvo que ser rehabilitado a espesor completo, mientras que en el resto del pavimentado y debido al mal aserrado o en otros casos al aserrado tardío de juntas, se presentaron fisuras de diferente tipo las cuales sólo fueron selladas con alquitrán para ser impermeabilizadas.

Dentro de la información técnica de relevancia, tiene las siguientes características:

- Longitud Total: 350 m
- Área de pavimento: 1.167m^2
- Número de carriles: 2
- Espesor de la carpeta: 16 cm
- Cantidad de hormigón utilizado: 186.7 m^3
- No cuenta con pasadores ni pasajuntas

Material de sello utilizado para las juntas:

El material de utilizado para el sello de juntas fue de asfalto homogéneo constituido por mezclas plásticas de relleno mineral y asfalto o de caucho y asfalto. El contenido de relleno mineral comprendido entre 15 y 25 % en peso y el de caucho entre 5 y 10 %.

Características geológicas de la obra

La obra se ubica en una zona de arcillas altamente expansivas, con potenciales efectos de erosiones hidráulicas. Material no recomendable para ser utilizado como subrasante.

4.2.2. Antecedentes de la Av. Circunvalación

En Noviembre del 2002 se inauguró la construcción de la Fase I de la Avenida Circunvalación de Tarija, a cargo de una empresa constructora local, y en Mayo del 2004 se continuó con la FASE II a cargo de otra empresa constructora local.

Luego de terminados los trabajos preliminares, se iniciaron las obras de pavimentado del tramo. A continuación de este ítem de pavimentación y respetando los índices de resistencia que debía cumplir la losa de hormigón, se desarrollaron los trabajos de ejecución de bermas y sellado de juntas; posteriormente, se desarrolló las mediciones de rugosidad y relevamiento de deterioros.

La Avenida Circunvalación es la Avenida más importante de la ciudad de Tarija, diseñada para la circulación de vehículos de gran tonelaje siendo un “alivio” para el tráfico que circula por la ciudad de Tarija.

Dentro de la información técnica de relevancia, tiene las siguientes características:

- Inversión realizada 14.080.838 Bs
- Longitud Total: 5.3 Km
- Área de pavimento: 77.450 m²
- Número de carriles: 4
- Espesor de la carpeta: 20 cm
- Cantidad de cemento utilizado: 169.969 bolsas
- Cantidad de hormigón utilizado: 21.245 m³
- Ancho de calzada: 7 m
- Losas de 3.75 m de ancho y 4 m de largo
- Cuenta con barras pasadores para transferencia de cargas

Material de sello utilizado para las juntas:

Todas las juntas son aserradas, para el sellado de las mismas se utilizó cemento asfáltico de penetración 85-100, resultando el mismo demasiado blando para el clima que soporta la obra, verificándose en la observación realizada de reconocimiento que

se generaron ampollas de cemento asfáltico por ablandamiento debido a las temperaturas en la zona.

Características geológicas de la obra

La obra se ubica en una zona de arcillas altamente expansivas, con potenciales efectos de erosiones hidráulicas.

4.3. Inspección previa

Previamente al inicio de los trabajos de campo, se efectuó un recorrido de inspección a lo largo de la vía a fin de verificar las características generales que presentaba y las condiciones en que se encontraba la estructura del pavimento.

4.4. Selección de losas a estudiar

4.4.1. Pavimento Rígido de Los Parrales

Para iniciar con el estudio del comportamiento del pavimento rígido respecto a las fisuras en el tramo de Los Parrales, se procedió a seleccionar las losas que formaron parte del estudio, sin la necesidad de dividir el proyecto en tramos, por ser un pavimento de poca envergadura.

Se seleccionó diferentes tipos de fisuras, las cuales no estuvieran muy evolucionadas para realizar el seguimiento al progreso que presentarán respecto al tiempo.

4.4.2. Pavimento Rígido Av. Circunvalación

Para iniciar con el estudio del comportamiento del pavimento rígido respecto a las fisuras en la avenida Circunvalación, se procedió a seleccionar 1 Km de longitud de dicho pavimento, longitud que se dividió en diez tramos de 100 m cada uno, de los cuales se seleccionó los 20 m más afectados con fisuras, distancia que contenía aproximadamente 10 losas afectadas.

4.5. Clasificación de fisuras

Luego de seleccionadas las diferentes fisuras en las losas de las dos zonas de estudio, se procedió a identificarlas y clasificarlas según lo explicado en el anterior acápite.

En los dos pavimentos en estudio se pudo apreciar diferentes tipos de fisuras, las cuales clasificamos de la siguiente manera:

- Fisuras longitudinales
- Fisuras transversales
- Fisuras de esquina
- Fisuras en bloque o fracturación múltiple

Esta clasificación está plasmada o indicada en los esquemas y tablas que se crearon para el seguimiento de las fisuras.

4.6. Metodología de seguimiento

En las dos metodologías explicadas en los siguientes subtítulos, se utilizó el mismo formato para la nomenclatura de las losas, la cual se basa en la utilización de un número y una letra para cada losa.

El número hace referencia al número asignado a la losa que presenta deterioro a lo largo del tramo en estudio, mientras que la letra está relacionada con la cantidad de filas de losas que se encuentran en el ancho de calzada. La asignación de letras se realiza de derecha a izquierda.

precisión de medida con este instrumento es de 0.02 mm; es por esta razón que fue material esencial en la realización del presente proyecto.

- Flexómetro: Instrumento de medida, cuya precisión es de 0.001 m.
- Cámara digital: Equipo esencial para la captura de información mediante el método moderno.
- Termómetro: Instrumento de medida de temperatura en grados centígrados.

La primera medición de aberturas y longitudes fue realizada en las fisuras de las losas seleccionadas, mismas que serán la base de datos para conocer su evolución y el comportamiento del pavimento respecto a estas.

El método de seguimiento que se aplicó al presente estudio es el método moderno, el cual, como ya se explicó anteriormente, se basa en registrar los datos o información requerida a través de una cámara digital, y el procesamiento de los datos se lo realiza en gabinete.

La primera medición es muy importante ya que con la información obtenida se comenzó la realización de esquemas, utilizando fotografías de las losas, en las cuales se señaló la fisura a estudiar, el lugar exacto en el que se midió sus diferentes aberturas, longitud cuando era necesario y el sentido del tráfico

Asimismo se clasificó las fisuras en estudio, y con la información recabada en la primera medición se definió un nivel de severidad inicial para cada fisura estudiada.

Mencionar que se realizó la corrección de errores para todas las medidas de aberturas y longitudes del proyecto, cuyo procedimiento se basó en el cálculo del promedio de los valores de un mismo punto, obteniendo así el valor final de la medida que se utilizó para el seguimiento a la fisura estudiada.

Paralelamente se crearon tablas en las cuales se tabularon la medidas tomadas y se indicó la fecha en la que se comenzó con la medición.

Luego de realizada la primera medición se continuó con el seguimiento de las fisuras de las losas seleccionadas para el estudio. El seguimiento se realizó con el

método moderno cada 4 semanas aproximadamente, tiempo estimado en el cual existirán variaciones perceptibles en las mediciones de las fisuras, variaciones que deben ser realizadas con la misma temperatura, para así no obtener variaciones por dilatación o contracción de las losas.

Luego de ser efectuada cada medición, se tabularon los datos en la tabla ya mencionada y en los esquemas plasmados en las fotografías.

Finalizado el seguimiento, luego de 4 mediciones diferentes en 3 meses y medio de estudio, y con toda la información registrada en las tablas y esquemas indicados, se procedió a dar una definición de cada fisura en estudio, nivel de severidad inicial y nivel de severidad concluido el tiempo de estudio, posibles causas de las fisuras, evolución durante el tiempo de estudio y posible evolución a futuro y el comportamiento de la losa respecto a las mismas.

Con los datos de todas las mediciones tabuladas, se crearon gráficas de comportamiento de las fisuras en cada una de las losas, graficas en las que se muestran el número de medición realizada y la abertura mayor de las fisuras estudiadas, puntos que fueron conectados con una línea de tendencia logarítmica para poder apreciar con mayor facilidad la evolución que presentaron las aberturas de las fisuras respecto al tiempo de duración del estudio.

4.6.2. Pavimento Rígido de la Av. Circunvalación

Para iniciar con el estudio del comportamiento del pavimento rígido respecto a las fisuras presentes en la avenida Circunvalación, se procedió a seleccionar 1 Km de longitud de dicho pavimento, longitud que se dividió en diez tramos de 100 m cada uno, de los cuales se seleccionó 20 m por tramo, distancia que contenía aproximadamente 10 losas afectadas por fisuras, las mismas que fueron objeto de estudio del presente proyecto.

Los materiales necesarios para realizar las medidas de aberturas y longitudes de las fisuras fueron:

- Escobilla: Necesaria para limpiar y despejar del lugar de medida todo material que perjudicara a la correcta toma de dimensiones.
- Pintura: Necesaria para identificar los tramos de estudio, nomenclatura de losas, lugar exacto de toma de medida de aberturas y longitud de fisura.
- Escalímetro: Llamado también pie de rey, tiene aplicación como instrumento mecánico de medición de espesores, aberturas, interiores y profundidades. La precisión de medida con este instrumento es de 0.02 mm; es por esta razón que fue material esencial en la realización del presente proyecto.
- Flexómetro: Instrumento de medida, cuya precisión es de 0.001 m.
- Cámara digital: Equipo esencial para la captura de información mediante el método moderno.
- Termómetro: Instrumento de medida de temperatura en grados centígrados.

La primera medición de aberturas y longitudes fue realizada en las fisuras de las losas seleccionadas, mismas que serán la base de datos para conocer su evolución y el comportamiento del pavimento respecto a estas.

El método de seguimiento que se aplicó al presente estudio es el método moderno, el cual como ya se explicó anteriormente; se basa en registrar los datos o información requerida a través de una cámara digital, y el procesamiento de los datos se lo realiza en gabinete.

La primera medición es muy importante ya que con la información obtenida se comenzó la realización de esquemas, utilizando fotografías de las losas, en las cuales se señaló la fisura a estudiar, el lugar exacto en el que se midió sus diferentes aberturas, longitud cuando era necesario y el sentido del tráfico

Así mismo, se clasificó las fisuras en estudio, y con la información recabada en la primera medición se definió un nivel de severidad inicial para cada fisura estudiada.

Mencionar que se realizó la corrección de errores para todas las medidas de aberturas y longitudes del proyecto, cuyo procedimiento se basó en el cálculo del promedio de los valores de un mismo punto, obteniendo así el valor final de la medida que se utilizó para el seguimiento a la fisura estudiada.

Se crearon tablas en las cuales se tabularon la medidas tomadas y se indicó la fecha en la que se comenzó con la medición.

Luego de realizada la primera medición se continuó con el seguimiento de las fisuras de las losas seleccionadas para el estudio. El seguimiento se realizó con el método moderno cada 4 semanas aproximadamente, tiempo estimado en el cual existirán variaciones perceptibles en las mediciones de las fisuras, variaciones que deben ser realizadas con la misma temperatura, para así no obtener variaciones por dilatación o contracción de las losas.

Luego de ser efectuada cada medición, se tabularon los datos en la tabla ya mencionada y en los esquemas plasmados en las fotografías.

Finalizado el seguimiento luego de 4 mediciones diferentes en 3 meses y medio de estudio, y con toda la información registrada en las tablas y esquemas indicados, se procedió a dar una definición de cada fisura en estudio, nivel de severidad inicial y nivel de severidad concluido el tiempo de estudio, posibles causas de las fisuras, evolución durante el tiempo de estudio y posible evolución a futuro y el comportamiento de la losa respecto a las mismas.

Con los datos de todas las mediciones tabuladas, se crearon gráficas de comportamiento de las fisuras en cada una de las losas, graficas en las que se muestran la cantidad de días en la que fue realizada la medición y la abertura mayor de las fisuras estudiadas, puntos que fueron conectados con una línea de tendencia polinómica de tercer orden para poder apreciar con mayor facilidad la evolución que presentaron las aberturas de las fisuras respecto al tiempo de duración del estudio.

4.7. Seguimiento de las fisuras en las losas en estudio

Para comenzar con el seguimiento de las fisuras, se dividió el mismo en dos partes:

- Seguimiento de las fisuras en el Pavimento Rígido de Los Parrales.
- Seguimiento de las fisuras en el Pavimento Rígido de la Av. Circunvalación.

4.7.1. Seguimiento de las fisuras en el Pavimento Rígido de Los Parrales.

El seguimiento se realizó en trece losas que contaban con las características para el estudio con la metodología indicada anteriormente, y se procedió a la creación de esquemas y tablas los cuales contienen toda la información referente a dicho seguimiento; dichos esquemas y tablas son mostrados a continuación:

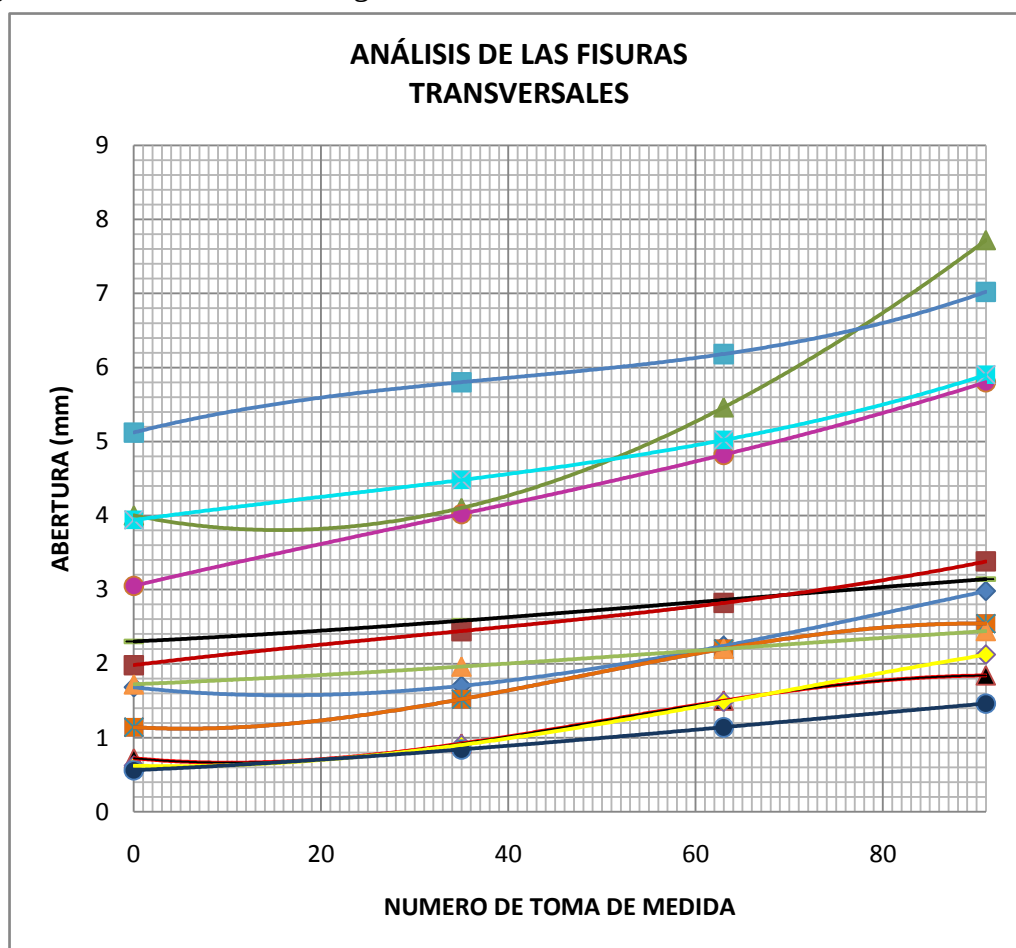
4.7.2. Seguimiento de las fisuras en el Pavimento Rígido de la Av. Circunvalación.

El seguimiento se realizó en cuarenta y dos losas que contaban con las características para el estudio con la metodología indicada anteriormente, y se procedió a la creación de esquemas y tablas los cuales contienen toda la información referente a dicho seguimiento; dichos esquemas y tablas son mostrados a continuación:

4.8. Análisis de la información obtenida

4.8.1. Pavimento Rígido de Los Parrales

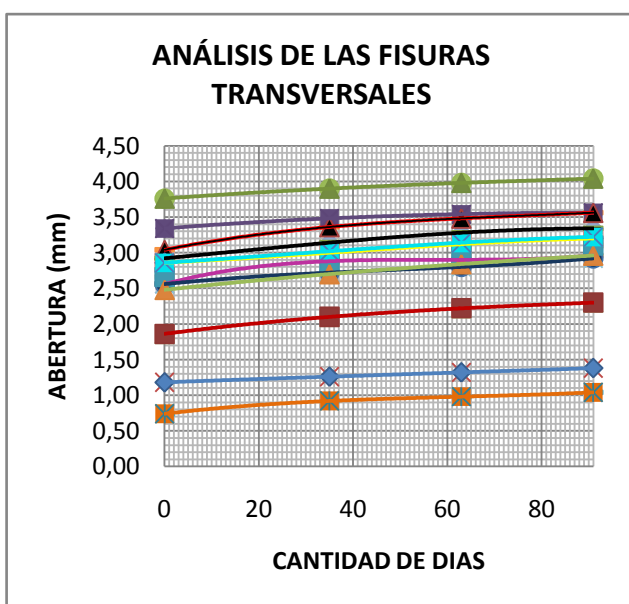
El análisis de la información obtenido finalizado el seguimiento planteado en el presente estudio, luego de realizado el seguimiento de las fisuras del pavimento rígido de Los Parrales, es el siguiente:



Los resultados del seguimiento realizado en el pavimento rígido de los Parrales mostraron que las fisuras tuvieron una mayor variación de aberturas respecto al pavimento rígido de la avenida Circunvalación, debido principalmente a la inexistencia de paquete estructural. Todos los tipos de fisuras analizados en este pavimento tuvieron un comportamiento similar, cuya dimensión de aberturas tuvieron una evolución a mayor escala con respecto a las fisuras analizadas en el Pavimento Rígido de la Av. Circunvalación.

4.8.2. Pavimento Rígido de la Av. Circunvalación

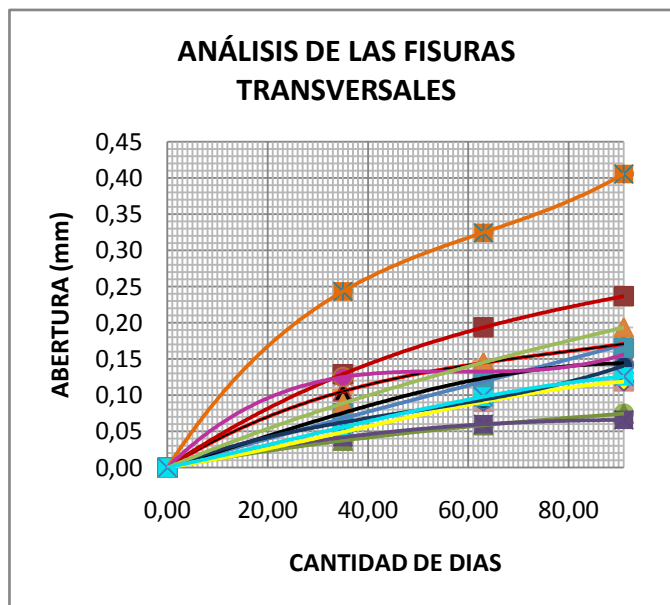
El análisis de la información obtenida finalizado el seguimiento planteado en el presente estudio, luego de realizado el seguimiento de las fisuras del pavimento rígido de la Avenida Circunvalación, es el siguiente:

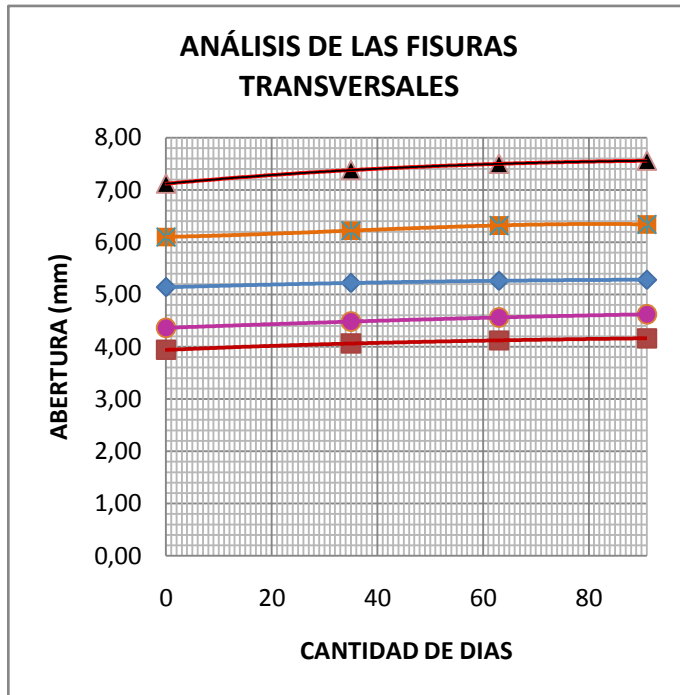


En esta gráfica se muestran todos los valores de las mayores mediciones de cada una de las fisuras transversales, fisuras con aberturas menores a 4 mm.

En la gráfica se puede apreciar la evolución de dichas fisuras, la cual es mayor en comparación a las fisuras con valores de aberturas superiores a 4 mm.

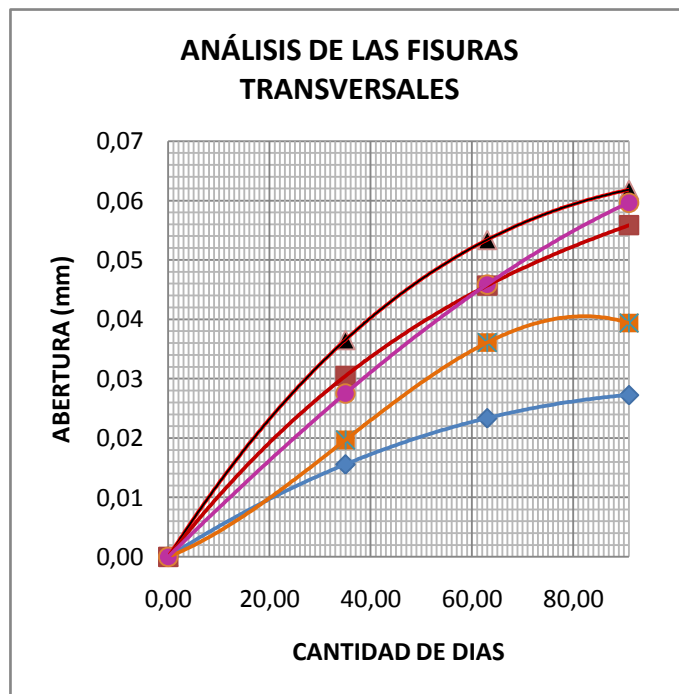
Gráfica que muestra la evolución de dichas fisuras en porcentaje con relación a la primera medida. Esta gráfica nos da una pauta de la magnitud con la que varían las fisuras transversales con aberturas menores a 4 mm.

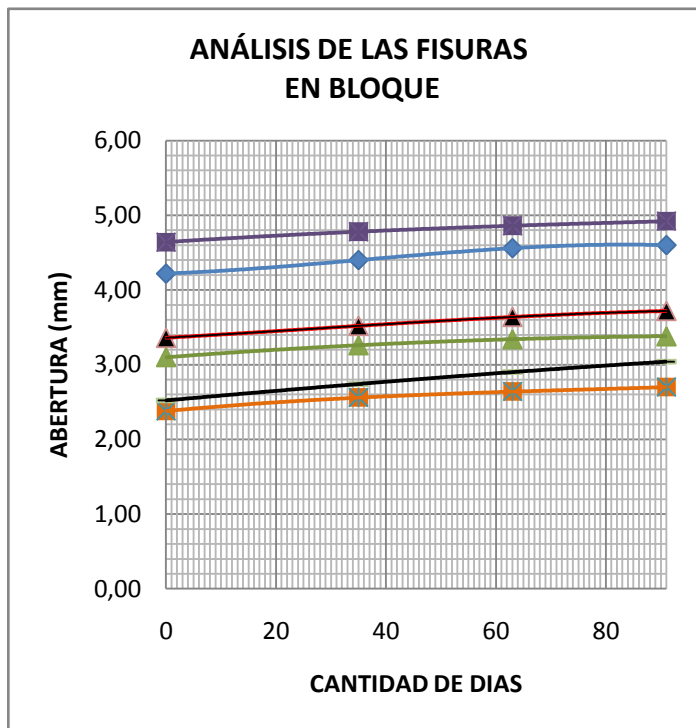




En esta gráfica se puede observar la variación de las aberturas en las fisuras con respecto al tiempo, de fisuras transversales con aberturas mayores a 4 mm, la cual disminuye un poco en relación a las de aberturas menores a 4 mm.

Gráfica que muestra la evolución de dichas fisuras en porcentaje con relación a la primera medida. Esta gráfica nos da una pauta de la magnitud con la que varían las fisuras transversales con aberturas mayores a 4 mm.

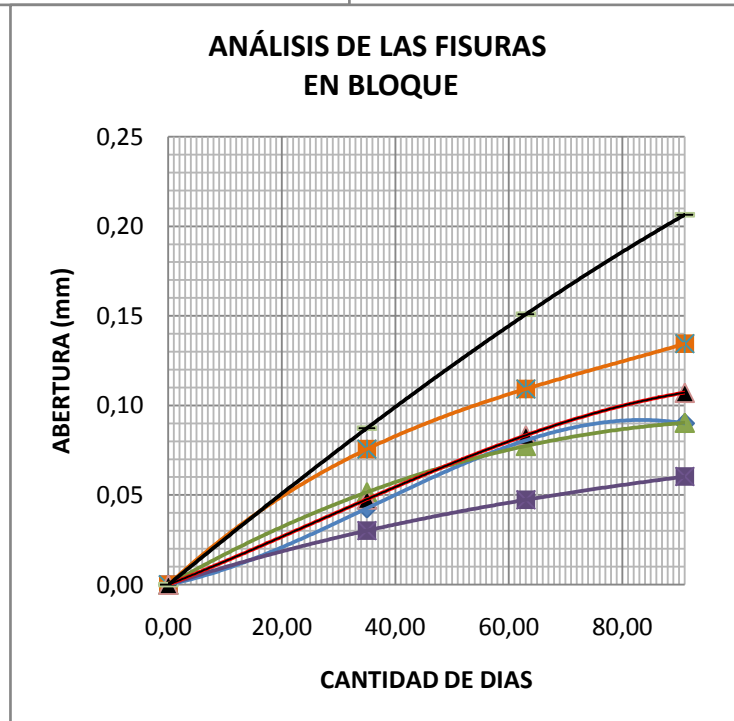


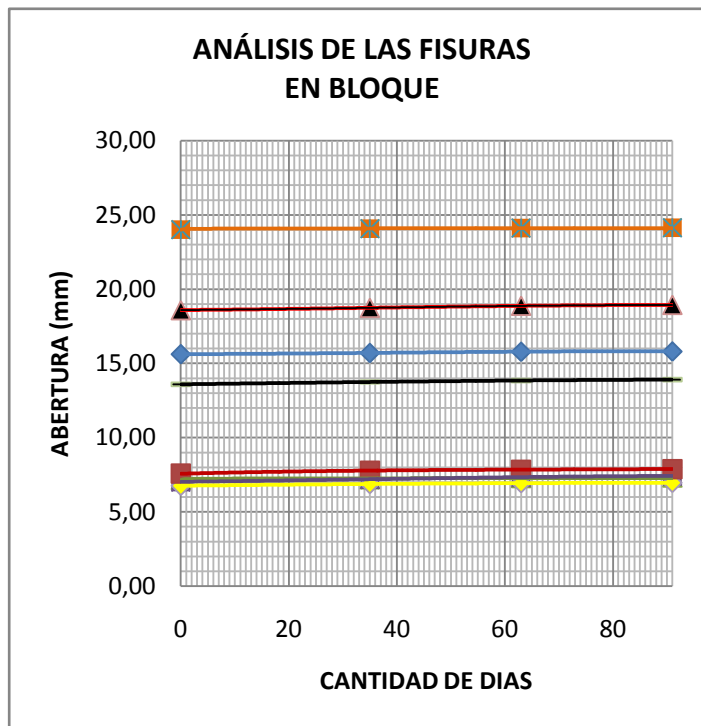


En esta gráfica se muestran todos los valores de las mayores mediciones de cada una de las fisuras en bloque, fisuras con aberturas menores a 5 mm.

En la gráfica se puede apreciar la evolución de dichas fisuras, la cual es mayor en comparación a las fisuras con valores de aberturas superiores a 5 mm

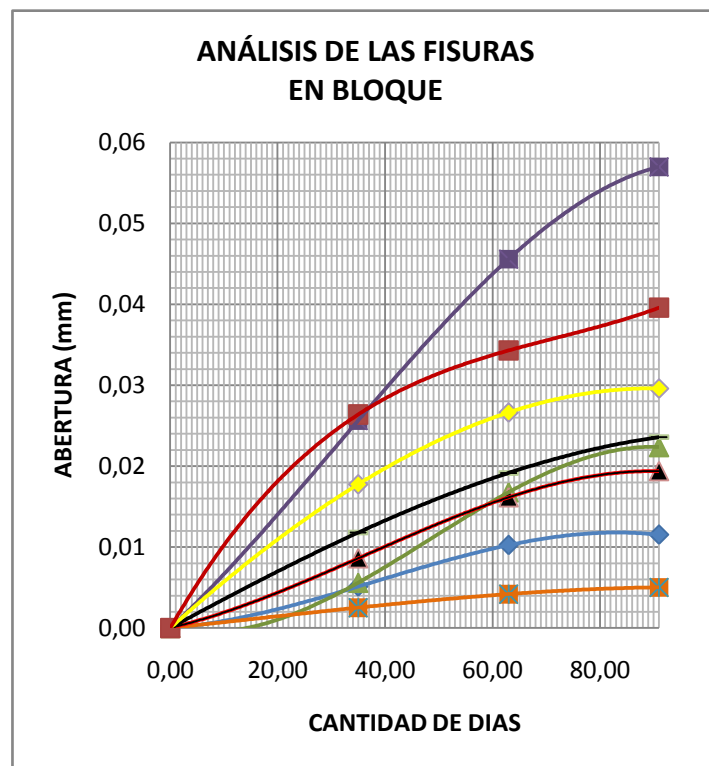
Gráfica que muestra la evolución de dichas fisuras en porcentaje con relación a la primera medida. Esta gráfica nos da una pauta de la magnitud con la que varían las fisuras transversales con aberturas menores a 5 mm.

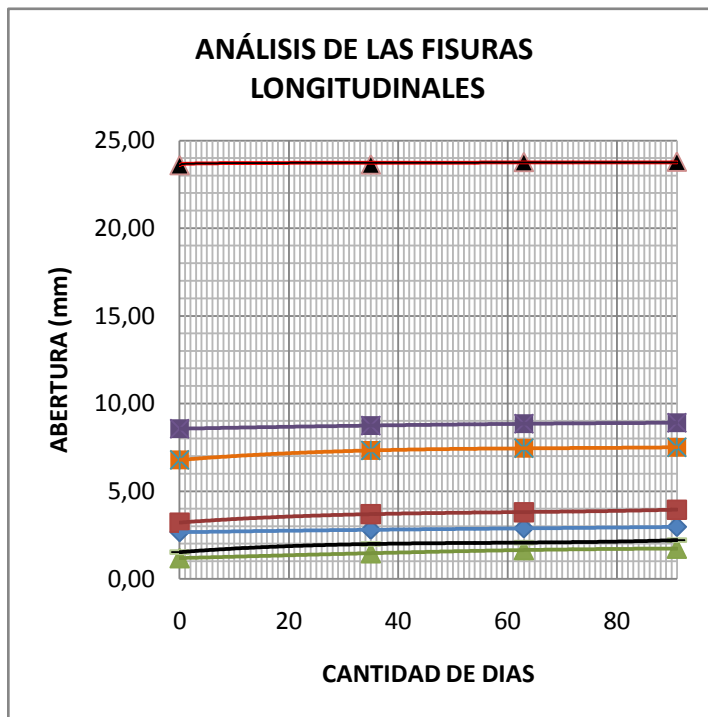




En esta gráfica se puede observar la variación de las aberturas en las fisuras con respecto al tiempo, de fisuras transversales con aberturas mayores a 5 mm, la cual disminuye un poco en relación a las de aberturas menores a 5 mm.

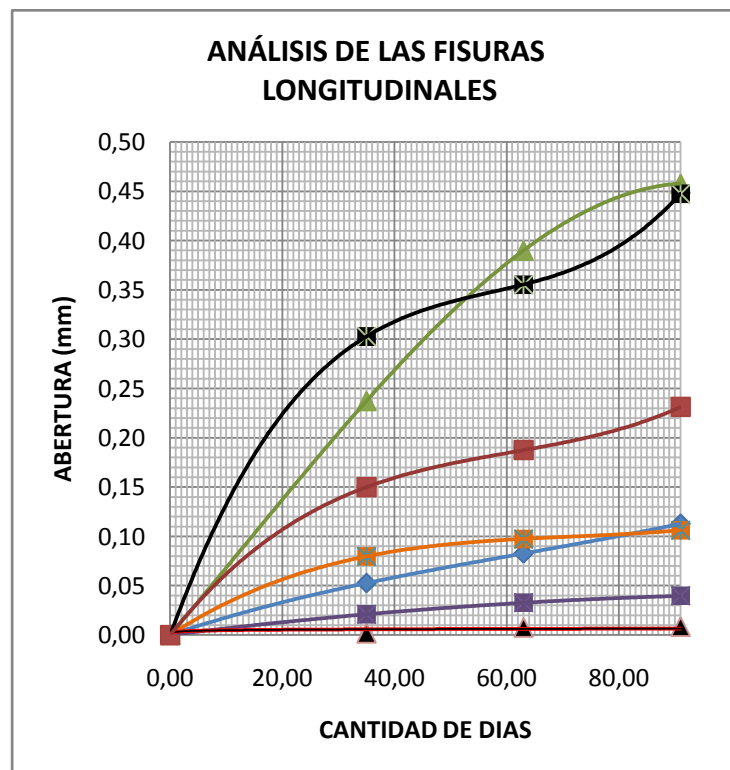
Gráfica que muestra la evolución de dichas fisuras en porcentaje con relación a la primera medida. Esta gráfica nos da una pauta de la magnitud con la que varían las fisuras transversales con aberturas mayores a 5 mm.

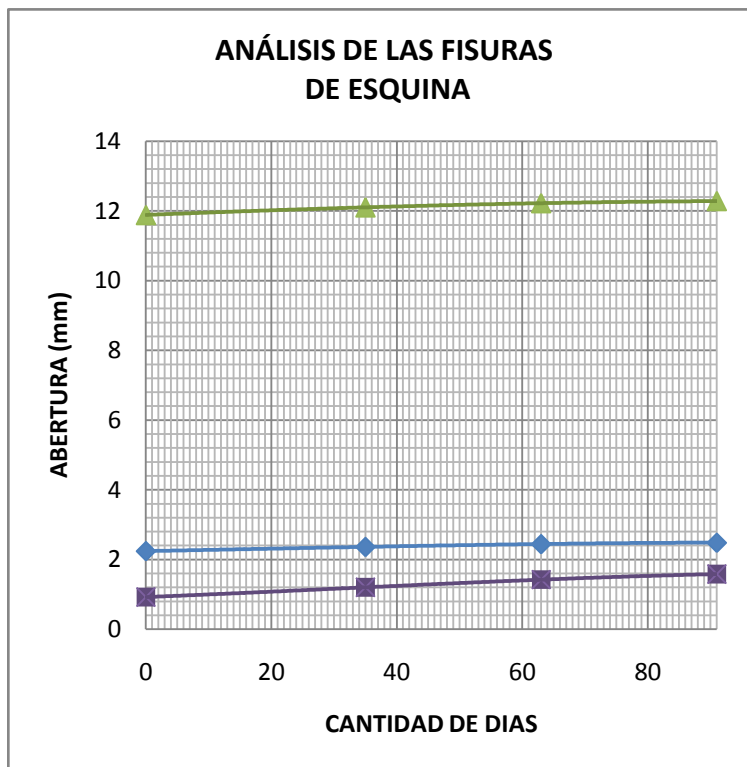




En esta gráfica se muestran todos los valores de las mayores mediciones de cada una de las fisuras longitudinales. En la gráfica se puede apreciar que la evolución de las fisuras con aberturas menores a 10 mm es mayor en comparación con la fisura con aberturas mayores a 10 mm.

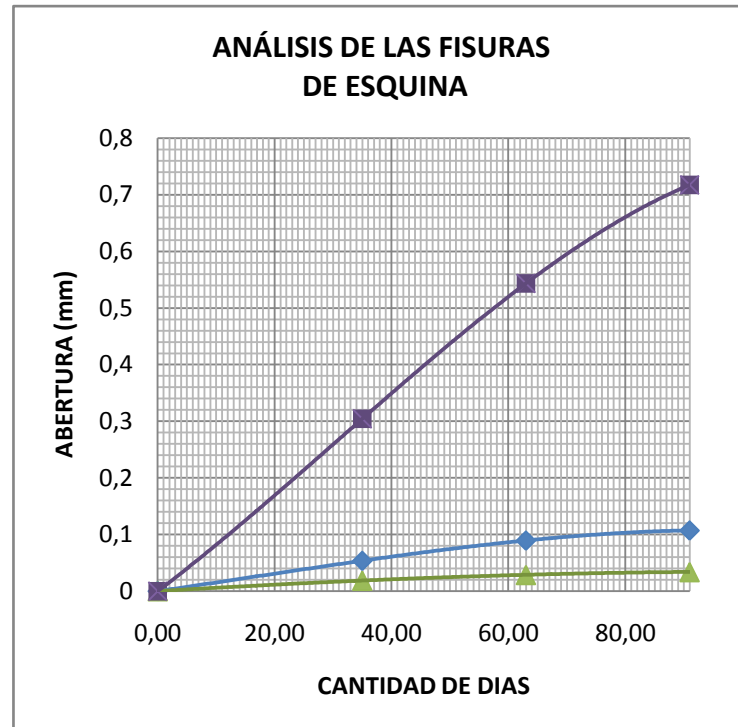
Gráfica que muestra la evolución de dichas fisuras en porcentaje con relación a la primera medida. Esta gráfica nos da una pauta de la magnitud con la que varían las fisuras longitudinales.





En esta gráfica se puede observar la variación de las aberturas en las fisuras con respecto al tiempo, de fisuras de esquina, las cuales tienen una variación similar a la de las fisuras en bloque.

Gráfica que muestra la evolución de dichas fisuras en porcentaje con relación a la primera medida. Esta gráfica nos da una pauta de la magnitud con la que varían las fisuras de esquina.



4.9. Diagnóstico y definición de acciones correctivas

Es muy conveniente que el ingeniero conozca los detalles de las técnicas y acciones utilizadas en la conservación, rehabilitación y refuerzo de los pavimentos rígidos, con el propósito de que defina sus áreas de aplicación, requerimientos constructivos y de materiales, equipos, así como su vida útil y costo, para poder llevar a cabo los análisis necesarios que le permitan elegir la estrategia recomendable en cada caso.

Como ya se ha mencionado, la existencia de fisuras en un pavimento rígido puede ser un indicador de la existencia de un posible defecto estructural. La importancia de una fisura la marca su abertura, por la capacidad de transferencia de cargas del tránsito que puede producirse por efecto de la trabazón mecánica de los agregados. Esta transferencia es buena en fisuras de menos de 0.5 mm de abertura y se pierde completamente en fisuras anchas de más de 1.5 mm de abertura que se convierten en verdaderas juntas irregulares no previstas, en las que los efectos de borde, las intrusiones y las filtraciones pueden acelerar el proceso.

4.9.1. Acciones correctivas para fisuras transversales

Si la fisura presenta una abertura inferior 0.5 mm no es necesario ningún tratamiento, si bien conviene observarla periódicamente.

Si es de espesor medio, con una abertura comprendida entre 0.5 y 1.5 mm, es suficiente con sellarla, procediendo a cajearla previamente. Si se hubiese producido un deterioro en los bordes de la fisura, es necesario reconstruirlos a base de mortero de cemento y resinas. Para ello se cajea la fisura, en una profundidad mínima de 3 cm, evitando ángulos agudos y procurando que los bordes sean lo más rectos posibles. Es importante dejar una cimbra siguiendo la línea de la fisura, de manera que una vez reconstruidos los bordes, quede una nueva junta en la losa.

Cuando la fisura presente una abertura superior a 1.5 mm no queda más remedio que realizar una reparación a espesor completo de la losa. El ancho mínimo de la

reparación debe ser de 1.5 a 2 m y si está a menos de 2 m de una junta transversal, deberá abarcar hasta esta área.

4.9.2. Acciones correctiva para fisuras longitudinales

Si hay pasajuntas y la fisura longitudinal se sitúa sobre el tercio central de ellas, según su espesor, no sería necesaria ninguna actuación o se precisaría únicamente su sellado, previa reparación. En caso contrario, puede ser necesaria la reconstrucción en espesor completo, teniendo cuidado de que el borde longitudinal de la reparación no coincida con la zona de rodada. No debe impedirse la adherencia de las pasajuntas colocadas a través de la junta longitudinal, pues su misión en este caso es la de barras de unión y debe tomarse la precaución de reconstruir las juntas transversales afectadas por la reparación.

En el caso de que las fisuras no fueran anchas puede ser suficiente efectuar un cosido con grapas. Para ello se realiza un cajeadado con una profundidad del orden de un tercio del espesor de la losa. A continuación se colocan, mediante un taladro (40 mm de diámetro y 50 mm de profundidad), unas grapas metálicas hechas con barras de sección circular de 20 mm, que cosan ambos lados de la losa fisurada y se procede al relleno del cajeadado con un mortero de cemento o de resina.

4.9.3. Acciones correctivas de fisuras de esquina

La reparación de este tipo de fisura se traduce necesariamente en la reconstrucción a espesor completo de la losa, de una zona rectangular que rebase a la dañada al menos 30 cm por cada lado, achaflanando las esquinas y sellando las juntas próximas a la reparación si ni lo estuvieran. Es necesario evitar que el borde longitudinal de la reparación caiga dentro de la zona de rodadas y que el parche evite el movimiento de la losa principal. Para evitar esto último es necesario aislar la zona reparada, disponiendo en su perímetro un relleno compresible de 5 mm de espesor y sin introducir pasajuntas transversales.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Para los próximos años, el pavimento rígido se consolida como el líder de los nuevos proyectos de pavimentación, las excelentes características de esta tecnología, tales como, un mínimo costo de mantenimiento, seguridad al usuario, menores costos de operación vehicular y gran durabilidad, permiten asegurar las inversiones realizadas hasta el momento y también aquellas que se vienen proyectando; serán las mejores decisiones en Bolivia.

De las losas de estudio:

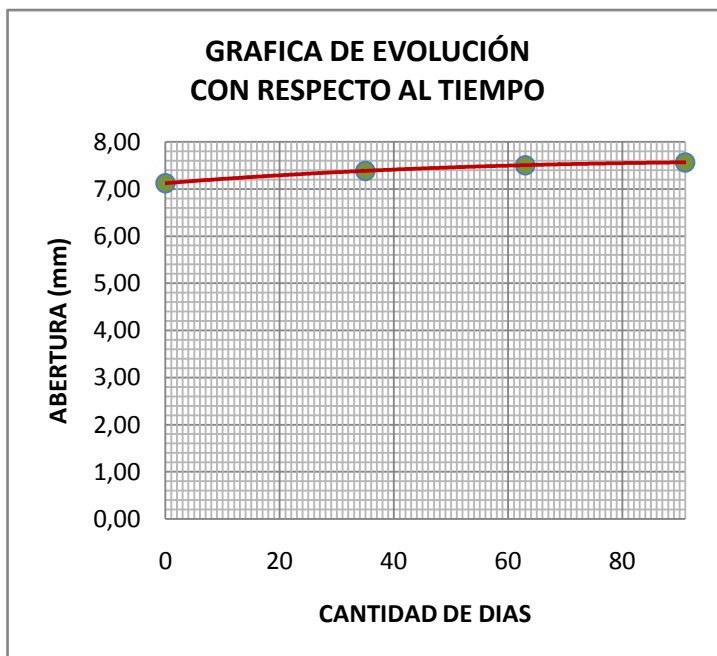
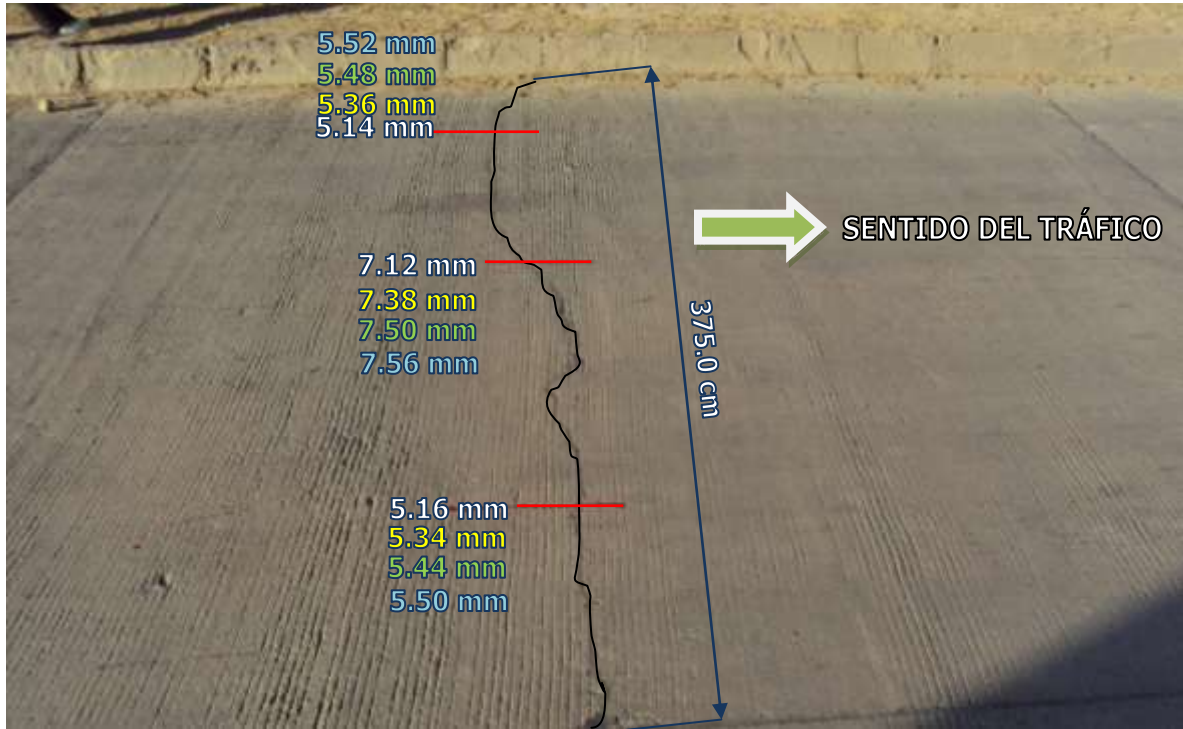
- Se identificó las que formaron parte del estudio y se profundizó sobre los diferentes tipos de fisuras, grietas de los pavimentos rígidos de Los Parrales, y de la Av. Circunvalación, y se analizó la clasificación y patología de las mismas.
- Se realizó el seguimiento mediante el método moderno y se obtuvo información de las mismas sobre su comportamiento.
- Se obtuvo información sobre la evolución de las fisuras y su comportamiento en las losas estudiadas.

Conclusiones sobre las fisuras en el pavimento rígido de la Av. Circunvalación

- Las transversales, fueron las que tuvieron menor evolución de dimensiones respecto al tiempo, sin embargo son las que existen en mayor cantidad en el proyecto estudiado, que en la mayoría de los casos llegan a trabajar o a comportarse como juntas transversales, una de las razones por la cual no evolucionan al mismo tiempo que los otros tipos.
- Estas cuando alcanzan su máxima evolución no tienen una variación considerable, cuando estas superan los 4 mm de abertura aproximadamente tienen una variación imperceptible y cuando tienen aberturas entre 0.5 y 4

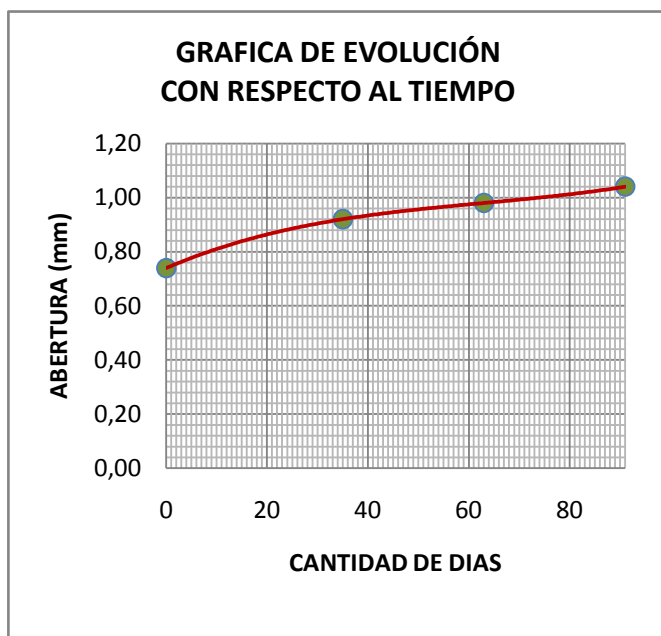
mm la evolución es en mayor proporción que las citadas anteriormente pero pese a esto no son de gran magnitud.

FISURA TRANSVERSAL



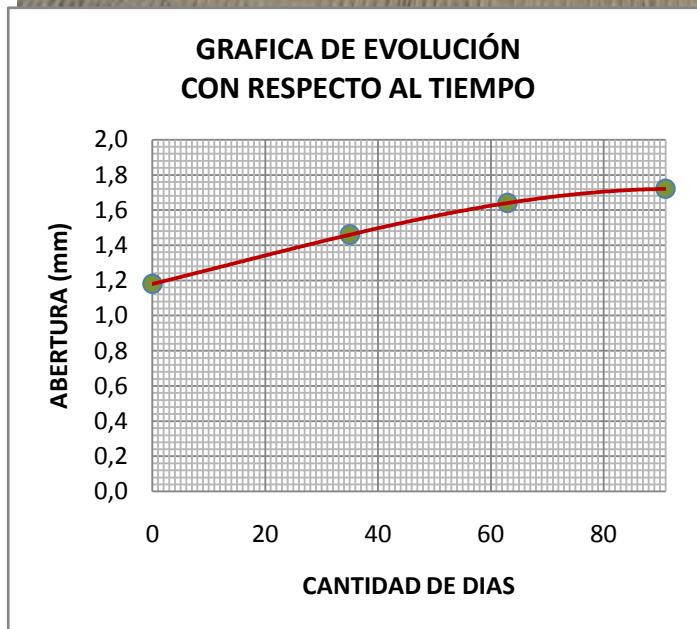
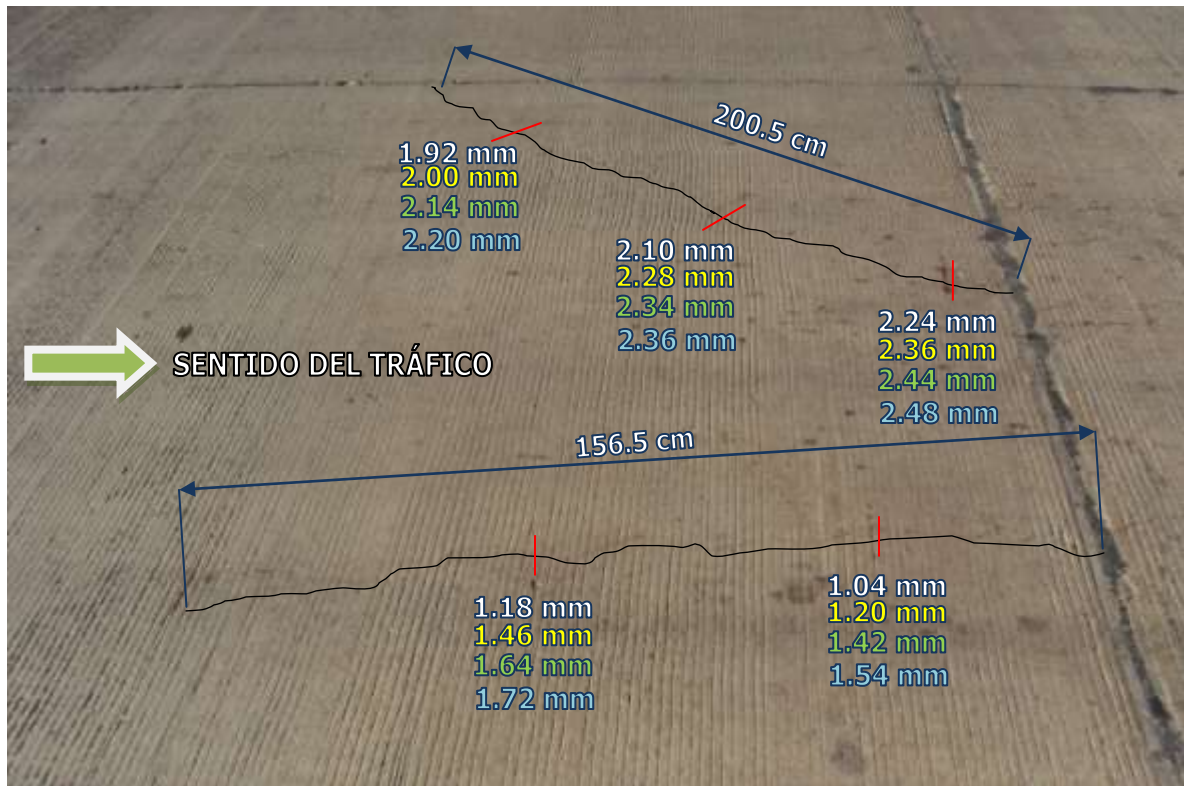
Esquema y gráfica de evolución con respecto al tiempo, de fisura transversal con aberturas mayores a 4 mm. Con la gráfica se puede apreciar evolución que existió tras el estudio realizado en este tipo de fisuras.

FISURA TRANSVERSAL



Esquema y gráfica de evolución con respecto al tiempo, de fisura transversal con aberturas menores a 4 mm. Con la gráfica se puede apreciar la mayor evolución que existió tras el estudio realizado en este tipo de fisuras.

- Las fisuras longitudinales, fueron las que presentaron mayor evolución de dimensión respecto al tiempo. Estas cuando alcanzan su máxima evolución tienen una variación mucho menor en relación a las que tienen aberturas menores a 10 mm aproximadamente.



Esquema y gráfica de evolución con respecto al tiempo, de fisura longitudinal con aberturas menores a 10 mm. Con la gráfica se puede apreciar la mayor evolución que existió tras el estudio realizado en este tipo de fisuras.

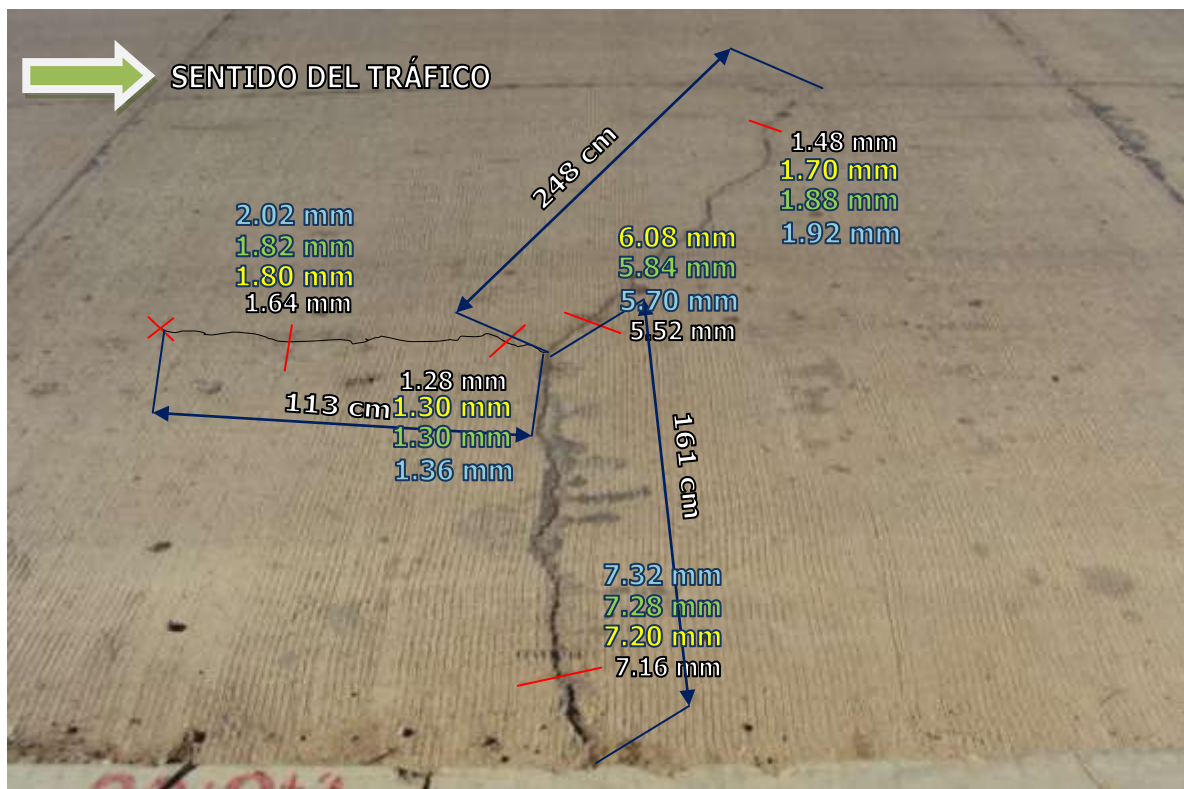
FISURA LONGITUDINAL



Esquema y gráfica de evolución con respecto al tiempo, de fisura longitudinal con aberturas mayores a 10 mm. Con la gráfica se puede apreciar la evolución mínima que existió tras el estudio realizado en este tipo de fisuras.

- Las fisuras en bloque y las de esquina, fueron las que presentaron una evolución media de dimensiones, mismas que afectan en mayor proporción al comportamiento de las losas por la poca o ninguna transmisión de cargas entre estas, ya que este tipo son las de más alta severidad, las cuales producen hundimientos y deterioro total de la estructura.

FISURA EN BLOQUE



- La principal causa que generó la aparición de las fisuras presentes en la avenida Circunvalación se debe a la infiltración de agua que ingresa al paquete estructural debido a la carencia de sellos entre losa - cordón de calzada y losa - cordón de jardinera, produciendo el lavado de finos y consecuencia de ello se produce el bombeo de finos al aplicarse las cargas que transitan por la zona, debilitando la subbase y produciendo así las fisuras.

Conclusiones del pavimento rígido de Los Parrales:

- Los resultados del seguimiento realizado en el pavimento rígido de los Parrales mostraron que las fisuras tuvieron una mayor variación de aberturas respecto a las de la avenida Circunvalación, debido principalmente a la inexistencia de paquete estructural. Demostrando que el comportamiento de las losas al no contar con el apoyo y soporte mínimos necesarios, que permitan controlar los cambios volumétricos de la subrasante y la falta de sello de juntas así como la carencia de obras de drenaje que permitan la correcta evacuación de aguas, generaron en algunos casos la fisuración de las mismas debido a que el agua produjo el lavado de finos y la aplicación de cargas ocasionó el bombeo de estos y por ende produjo el asentamiento del terreno lo que produjo la mayor evolución de las fisuras con respecto al pavimento de la avenida Circunvalación.

FISURA EN BLOQUE



La figura muestra una de las fisuras en bloque existentes en el pavimento rígido de Los Parrales.

5.2. RECOMENDACIONES

La elaboración del estudio del comportamiento de las losas para pavimento respecto a la fisura, permitió llegar a las siguientes recomendaciones:

- Para obtener una mejor visibilidad de la abertura de la fisura es necesario realizar una limpieza previa dentro de esta, para obtener una medida precisa.
- Para realizar las medidas de aberturas de fisuras es necesario hacer uso de un instrumento de medida que tenga la precisión mínima de 0.01 mm, ya que la variación en algunas fisuras son casi imperceptibles.
- La abertura de la fisura debe ser medida de manera perpendicular a la evolución de la misma, además la medida debe realizarse siempre en el mismo punto y bajo la misma temperatura, esto para evitar diferencias entre una medida y otra debido a las variaciones térmicas del hormigón que pueden provocar la contracción y dilatación.
- Es necesario realizar un buen serrado y sellado de juntas, en cuestión del tiempo y calidad, debido a que es uno de los factores principales causantes de la aparición de las fisuras, debido a la infiltración a través de estas.
- Al momento de realizar un proyecto de pavimento rígido de hormigón simple, se deben tomar mayores precauciones en cuanto a los materiales a utilizar como subrasante y subbase, debido que al ser un pavimento simple, la vida útil de este, dependerá mucho del trabajo en conjunto de todo el paquete estructural.
- Es recomendable utilizar selladores líquidos a base de silicón para el sello de juntas en la ciudad de Tarija, debido que este material es recomendable para zonas con amplios rangos de temperatura; el silicón es un componente simple que no requiere mezclado ni calentamiento para su aplicación.

- Para obtener buenos resultados en la construcción de un pavimento rígido, se debe tener en cuenta evitar todo tipo de infiltración en los pavimentos, ya sea al momento de la construcción o al tiempo de realizar un mantenimiento, mediante un colocado prolijo de material de sello en las juntas o fisuras de las losas.
- Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el estudio y estudiados las posibles acciones correctivas para cada tipo de fisura, se recomienda realizar una buena programación de mantenimiento sobre las losas afectadas ya que en poco tiempo, el costo de estas acciones puede variar considerablemente.