

## CAPITULO I

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Durante la última década la infraestructura caminera boliviana ha experimentado un gran crecimiento con la construcción de nuevas carreteras tanto en la red fundamental como en caminos secundarios. Hasta finales de los años noventa los materiales asfálticos fueron la principal materia prima para proyectos de pavimentación debido a su bajo costo inicial y amplia difusión técnica. Sin embargo, con la inversión de empresas nacionales en nueva tecnología y el crecimiento de los volúmenes de producción de cemento y hormigones se pudo plantear la introducción a gran escala de una nueva técnica de pavimentación para Bolivia: el Pavimento Rígido.

A partir del año 2000 se ha licitado la construcción de varios tramos carreteros con pavimento rígido, que dentro de poco sobrepasarán los 1000 kilómetros en la Red Fundamental. Los planes de pavimentación urbana en varias ciudades también introdujeron al pavimento rígido con varios proyectos que cubrieron un importante porcentaje de las arterias urbanas. Las ventajas planteadas en el diseño de estos proyectos fueron diversas, pero principalmente destacaron la mayor vida útil del hormigón respecto a la del asfalto, costos de mantenimiento mucho menores, y el uso de materias primas y mano de obra nacionales eliminando la importación, además de ventajas al usuario como menores costos de operación vehicular y la provisión de vías más seguras con menos deterioros superficiales que afecten la circulación.

La reciente experiencia boliviana en la construcción de carreteras con pavimentos de hormigón ha demostrado que las condiciones climáticas de cada región son muy diferentes e importantes y requieren de cuidados especiales.

Luego de la conclusión de algunos proyectos carreteros se obtuvieron resultados interesantes, y en los que se pudo observar deterioros prematuros en algunas secciones después de su construcción. Como consecuencia se emprendieron algunas investigaciones, inicialmente concentrándose en la calidad de la construcción de estos proyectos, para luego iniciarse búsquedas más específicas acerca del efecto del clima en las losas de hormigón.

Las conclusiones de varias investigaciones fueron similares, en diferentes regiones del país, siendo las regiones con climas más secos las que mostraron mayor efecto en el hormigón. Se demostró que, para las condiciones en que fueron construidas, las losas de cierto tamaño eran más adecuadas para salvar los efectos observados.

El presente trabajo tiene como principal objetivo la presentación de los deterioros mencionados anteriormente y sus posibles causas, además de los métodos empleados en algunos de los proyectos objeto de este documento.

## **1.2 ANTECEDENTES.**

Hace ya varios años, nuestro país se encuentra en una etapa en la que la producción de hormigón y por consiguiente la construcción de tramos carreteros con este producto como materia prima, está superando cada vez más sus límites en cuanto a capacidad, volumen, sostenibilidad, etc. También estamos en una época tecnológica que nos permite contar con equipos de pavimentación y reparación con mucha mayor facilidad, lo que resulta en construcciones de vías o tramos carreteros en menor tiempo y por supuesto estos equipos repararlas, si así amerita el caso. Por otra parte, sabemos que los días de la producción de hormigones manual han terminado, especialmente cuando se tratan de Proyectos carreteros o Pavimentos urbanos, los cuales deben, necesariamente, ser elaborados en las plantas de premezclado para de esta manera garantizar la calidad y rendimientos esperados.

Este crecimiento de la capacidad productiva tanto de las plantas hormigoneras como de los frentes de pavimentación que se generen otras necesidades como la de conocer y contar con equipos y personal muy bien capacitado para la atención de cualquier desviación que pueda traducirse en un deterioro prematuro o no en los Pavimentos construidos.

Es importante entender que la atención oportuna de cualquier deterioro en un proyecto de pavimentación llevará al ahorro de recursos y sobre todo a la calidad del producto terminado, pudiendo de esta manera poder disponer del tramo, calle, avenida o

Creado con

carretera en buenas condiciones en el tiempo estipulado y además de asegurar su vida útil o alargar la misma dependiendo del tipo de reparación que se realice.

La técnica del Pavimento Rígido se ha difundido en gran manera durante los últimos años en la construcción de carreteras en nuestro País. En este trabajo se mostrarán experiencias obtenidas en tres tramos carreteros de nuestro País.

La apertura a esta nueva técnica - Pavimento Rígido - por parte de las entidades nacionales encargadas de la construcción de carreteras en Bolivia, se debe principalmente a una de sus principales ventajas, su mucha mayor vida útil con respecto a otras técnicas utilizadas en las carreteras primarias y secundarias dentro del territorio nacional.

Además, no podemos olvidar la gran diferencia de esta técnica respecto a su mayor vida útil comparada con otro tipo de Pavimentos y los bajos costos de mantenimiento del mismo.

### **1.3 OBJETIVOS.**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

- Preservación de los tramos carreteros construidos con Pavimento Rígido en condiciones de serviciabilidad aceptables.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Presentación de las técnicas empleadas en el País para la reparación de Pavimentos Rígidos.
- Difusión de estas técnicas mediante la presentación del presente trabajo.
- Identificación de las posibles causas de los deterioros observados.
- Técnicas de reparación utilizadas.
- Difusión de buenas prácticas en las reparaciones en Pavimentos Rígidos.
- Incremento de la vida útil de los tramos carreteros analizados.
- Prevención de deterioros prematuros por intermedio de mantenimientos y reparaciones específicas.

Creado con

- Determinación de costos unitarios de las reparaciones.
- Sugerencias para un mejor resultado en la construcción de Pavimentos Rígidos en el País

#### **1.4 ALCANCE.**

Este trabajo estará enfocado en una descripción general de la técnica del Pavimento Rígido, tomando en cuenta los detalles específicos de los tramos en análisis. Esta descripción incluirá muchos detalles constructivos y especificaciones de los tramos en análisis, información que servirá para complementar el concepto de lo que es un Pavimento Rígido y el trabajo a presentar.

Este trabajo presentará como información las posibles causas identificadas como las responsables de la presencia de los deterioros en un Pavimento Rígido y estará centrado principalmente en las técnicas que pueden ser utilizadas para la reparación de este tipo de Pavimentos, como una experiencia nacional.

## CAPITULO II

### 2.1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES EN PAVIMENTOS RIGIDOS

Todo pavimento se va deteriorando hasta que se torna incómoda y peligrosa la circulación vehicular sobre su superficie. Una vez que se ha definido el límite admisible de la condición de un pavimento, es necesario especificar qué tipo de reparaciones requerirá cuando esté en dichas condiciones, asimismo es importante la cuantificación e identificación del tipo de deterioros para su evaluación.

A continuación se presentan los conceptos básicos de operaciones de mantenimiento a las que un pavimento rígido puede ser sujeto. Estas operaciones o tareas pueden clasificar en cuatro grupos:

- Mantenimiento Rutinario.
- Reparaciones o restauraciones.
- Recapamientos.
- Reconstrucciones.

Las tres últimas pueden ser consideradas como actividades de rehabilitación del pavimento. El mantenimiento rutinario son aquellas tareas que se realizan de forma continua, independientemente del estado del pavimento.

Las reparaciones del pavimento pueden ser consideradas como un mantenimiento periódico, ya que son actividades de conservación realizadas cuando el pavimento presenta niveles de deterioro moderados a severos. Estas técnicas son utilizadas para reparar áreas aisladas y de esta manera recuperar o aumentar la funcionalidad del pavimento. Las técnicas de reparación re establecen la vida útil del pavimento debido al tratamiento de los deterioros, reduciendo la posibilidad de reaparición.

Los recapamientos son técnicas utilizadas para incrementar la capacidad estructural y devolver la funcionalidad o serviciabilidad a un pavimento. En consecuencia, los recapamientos

incrementan la capacidad estructural y extienden la vida útil del pavimento, resultando normalmente en un mayor espesor de pavimento y una superficie de mejor calidad.

La reconstrucción consiste en la demolición y remoción del pavimento existente y reemplazarlo por uno nuevo. La demolición puede incluir el retiro completo del pavimento existente y todas las capas de su paquete estructural, o puede también consistir en el retiro de sólo una parte de la estructura. Generalmente se ejecuta esta operación al final de la vida útil del pavimento. La reconstrucción puede incrementar la capacidad estructural y extenderla la vida útil prácticamente en su totalidad.

### **Mantenimiento rutinario**

El mantenimiento rutinario incluye toda actividad que no involucra la integridad del pavimento, como: limpieza de alcantarillas, cunetas, zanjas, limpieza del pavimento, demarcación horizontal, reposición de señalización vertical, reposición de barreras de contención, limpieza de las bermas, etc. Todas estas tareas deben ser ejecutadas continuamente durante la vida útil del pavimento. En este procedimiento se puede enmarcar también las tareas de resellado de juntas.

### **Reparaciones en las losas**

Actividades que mejoran las condiciones del pavimento, antes de que éste alcance un nivel inaceptable de servicio. Generalmente son opciones económicas siempre y cuando sean realizadas correctamente y especialmente en el momento adecuado. Con este tipo de actividades, es posible prevenir deterioros futuros, o corregir deterioros existentes, en consecuencia, estas reparaciones pueden ser clasificadas en dos: preventivas y correctivas (reducen el progreso del deterioro, o corrigen el deterioro). A continuación se describen algunas técnicas de reparación utilizadas en pavimentos de hormigón.

- **Reposición de losas**

Creado con

Consiste en la reconstrucción de toda la losa, y se realiza generalmente cuando la misma ha perdido su capacidad de soportar más tráfico sin provocar reducciones de velocidad o peligros a los vehículos. En estos casos será necesaria la evaluación del estado de la sub base para su respectivo cambio en caso de ser necesario

- **Reparaciones de espesor parcial**

Son utilizadas para reparar deterioros superficiales que no involucran más de un tercio del espesor de la losa. Generalmente son necesarias en desportillamientos de juntas transversales, sin embargo, puede aplicarse en cualquier parte de la losa donde se presenten deterioros superficiales. Es una técnica correctiva.

- **Reparaciones de profundidad total**

Generalmente son utilizadas para reparar grietas y juntas muy deterioradas o que presenten mal funcionamiento, consiste en la remoción y el reemplazo de una parte de la losa existente en todo su espesor. Los deterioros de las juntas incluyen roturas y desportillamientos severos de los bordes, también se usan en caso de roturas de esquinas y secciones de la losa muy fracturadas o subdivididas. Es una actividad correctiva.

- **Desbastado o Fresado de la superficie**

Con este procedimiento se pretende mejorar la calidad de circulación o lisura que ofrece el pavimento. Este tipo de reparación se ejecuta para proveer una superficie uniforme y sin sobresaltos en caso de existir. Principalmente se realiza el desbastado para corregir escalonamientos, deformaciones o resaltos de las losas. También puede ser utilizado para reparar ahuellamientos y en algunos casos para disminuir el pulimiento excesivo de la superficie. El fresado se realiza con equipos que dejan la superficie más regular y con cierta textura, y de esta manera se logra incrementar la fricción con las llantas de los vehículos. Es una medida correctiva.

Creado con

- **Restauración de la transferencia de carga entre losas**

Esta técnica es utilizada para incrementar y garantizar la transferencia de carga entre dos losas o en una misma losa si esta se encuentra fisurada, de forma que los esfuerzos en los bordes sean sustancialmente menores y se eviten roturas tempranas por fatiga. Se aplica a pavimentos en los que no se ha previsto la colocación de barras de transferencia de carga en sus juntas y que presenten escalonamientos por la acción de las cargas. Se aplican también a fisuras transversales que tengan anchos considerables y que se consideran que no transmiten cargas. Esta técnica restaura la transferencia de carga entre las dos partes mediante la inserción de barras de transferencia de carga (barras de acero liso) en las juntas o fisuras transversales. Este tipo de reparaciones es recomendable aplicar tan pronto se observe la aparición de escalonamientos o fisuras transversales. Es una técnica preventiva.

- **Sellado de juntas y fisuras**

Esta técnica preventiva es usada para minimizar el ingreso de agua y materiales incompresibles a las juntas. La disminución en el ingreso de agua hacia la subbase o subrasante evitará que se deteriore por saturación o por el bombeo de finos. Por otro lado, al restringir el ingreso de materiales granulares incompresibles como arenas y gravas reduce el riesgo de desportillamientos en los bordes de las losas del pavimento.

### **Recapamientos de concreto para pavimentos rígidos**

El construir una carpeta de refuerzo sobre un pavimento rígido tiene dos objetivos. Primero lograr un incremento en el espesor del pavimento, aumentando su capacidad estructural; y en segundo lugar, proveer una superficie nueva y/o mejorada para la rodadura, libre de defectos, mejorando así su serviciabilidad. La condición del pavimento existente tiene una gran influencia

en el diseño de los espesores de las carpetas de refuerzo. Normalmente, se conocen dos tipos de recapamientos de hormigón:

- **Con adherencia total**

En este tipo de recapamientos se debe tener cuidado especial en asegurar que la nueva carpeta quede totalmente adherida al pavimento rígido existente. Los espesores manejados hasta de 10 cm aumentan la capacidad estructural del pavimento. Esta nueva sección es más resistente debido a la reducción de esfuerzos críticos en la parte inferior de la losa, lo que implica menor daño por la aplicación de las cargas de tráfico. Este tipo de recapamientos puede aplicarse en lugares donde el tráfico se ha incrementado más de lo previsto durante el diseño. Pueden ser usados también para mejorar la calidad de rodadura que ofrece la superficie o para mejorar sus propiedades de adherencia con las llantas.

Debido a la característica de estructura monolítica que deben tener con las losas del pavimento, estas últimas son las que principalmente soportan las cargas, y por consiguiente deben estar en un estado relativamente bueno al momento del recapamiento. Por esta razón, los recapamientos con adherencia total son efectivos sólo cuando el pavimento inferior está todavía sano o en buenas condiciones. Estos recapamientos no deben ser colocados sobre pavimentos muy deteriorados, a menos que esos pavimentos hayan sido previamente reparados.

Los dos factores más importantes para asegurar que una sobre carpeta con adherencia total se comporte adecuadamente son: la integridad del pavimento existente y la limpieza previa a la colocación del recapamiento. La integridad de la losa es necesaria para soportar las cargas del tráfico, y la limpieza de la superficie debe asegurar la adherencia entre las dos capas.

- **Sin adherencia al pavimento**

Creado con

En este tipo de recapamientos, se debe asegurar que no exista adherencia al pavimento existente. Esto requiere la colocación de una capa antiadherente intermedia y la construcción de la recapamiento encima. Generalmente este tipo de recapamientos tienen espesores mayores a los 10 cm, debido al hecho de que ambas capas actúan separadamente, el recapamiento se comporta como un nuevo pavimento sobre una base rígida. La capa intermedia actúa como un aislante para evitar que las tensiones de la capa inferior tengan su efecto en el recapamiento. Este tipo de recapamiento es más adecuado cuando el pavimento existente está severamente deteriorado. Ya que ambas capas actúan de manera independiente, este tipo de recapado requiere muy pocas reparaciones en la capa inferior (pavimento) existente, comparado con otras alternativas. Solamente aquellas áreas que hayan presentado hundimientos o pérdida de capacidad portante, deben ser reparadas. Por otra parte debido a las características de esta técnica, estos recapamientos son adecuados para pavimentos que tengan problemas de reactividad en sus materiales.

La adecuada selección del material intermedio es crítica para el desempeño del recapamiento. Esta capa intermedia debe cubrir toda la superficie y además debe ser capaz de aislar el recapamiento de los deterioros y movimientos del pavimento existente. Si ambas capas comenzaran a interactuar entre ellas, los deterioros del pavimento inferior se reflejarían en la recapamiento, causando su falla prematura.

## **Reconstrucción**

Este tipo de reparaciones consiste en el retiro total del espesor del pavimento (losas) y su reemplazo por otro nuevo. Reparaciones utilizadas cuando un pavimento ha llegado al final de su vida útil, cuando los problemas del pavimento no pueden ser solucionados por alguna de las técnicas descritas anteriormente. La reconstrucción puede incluir el retiro del paquete estructural completo, incluyendo base y subbase, o sólo involucrar una parte de su estructura. El efecto o resultado es similar al de los recapamientos en el sentido de que aumentan la capacidad estructural de los pavimentos.

Creado con

## 2.2 DETERIOROS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

A lo largo de la vida útil de las losas de hormigón estas están constantemente solicitadas por tensiones o esfuerzos de distintos tipos: tensiones por cargas vehiculares, gradientes térmicos, gradientes de humedad, tensiones por deformación de la subrasante, tensiones por contracción/expansión del concreto, tensiones por fricción con la subrasante y tensiones por restricción de movimiento. Generalmente estas solicitaciones actúan combinadas en las losas del pavimento, generando diferentes casos que dependen de la composición del tráfico vehicular, calidad de la construcción, humedad ambiente, humedad de la subrasante, velocidad del viento y hasta de la variación de temperaturas durante el día.

Los deterioros de pavimentos rígidos se desarrollan debido a las continuas tensiones que las losas están siendo solicitadas, estos esfuerzos generados van acumulando fatiga en el hormigón hasta que se hace visible alguna falla característica en el pavimento. Todas las fallas o deterioros se reflejan en la superficie de las losas, de esta manera es posible distinguirlas, clasificarlas, evaluarlas y saber sus posibles causas.

Todo pavimentos rígido es diseñado y construido con juntas longitudinales y transversales para controlar el agrietamiento producido por la contracción del hormigón durante el fraguado y los continuos cambios volumétricos de las losas durante su vida útil. Estas juntas no son más que fisuras orientadas en el sentido y lugar correcto para lograr un buen comportamiento estructural. Uno de los aspectos importantes a tomar en cuenta en estas juntas es la transferencia de cargas, especialmente en caminos con tráfico pesado. Al inicio de su aparición o generación, las fisuras muy delgadas cuentan con cierta trabazón de agregados que puede colaborar en la transferencia de cargas. A medida que las fisuras van adquiriendo mayor espesor debido al desgaste, su capacidad de transferencia de cargas se reduce sustancialmente, provocando mayores tensiones en los bordes de las losas, y por consiguiente acelerando la fatiga y deterioro del hormigón en las cercanías de juntas o fisuras. Es por esta razón que los pavimentos rígidos también son equipados con barras de transferencia de cargas en sus juntas (transversales especialmente) para garantizar que los esfuerzos en los bordes de las losas no sean críticos.

Algunos tipos de deterioros se presentan en secciones aisladas, mientras que otros indican un problema más serio en toda la extensión del pavimento, por esta razón es importante distinguir entre fallas locales y deterioros de extensión mayor. Generalmente, estos comienzan a manifestarse con baja severidad, para luego ir aumentando considerablemente en extensión y daño. La evaluación de estos defectos también involucra el analizar combinaciones de tipos de fallas, y la manera en la que afectarán al pavimento en un futuro.

Se puede clasificar los deterioros de los pavimentos rígidos carreteros en cuatro grupos:

- **Defectos superficiales:** Ahuellamiento y pulimiento de agregados, fisuración superficial en forma de mapa, fisuras por retracción plástica, desprendimientos, descascaramientos, bacheos.
- **Juntas:** Deterioros por mal funcionamiento de juntas transversales y longitudinales, desportillamientos, deterioros del material sellante de juntas.
- **Fisuras:** Transversales, longitudinales, erráticas, fisuras por durabilidad tipo "D", rotura de esquinas, diagonales, losas subdivididas.
- **Deformación del pavimento:** Levantamientos, escalonamientos, asentamientos, bombeo de finos de la subbase, deformaciones de la berma.

Todos los deterioros mencionados se presentan típicamente por alguna causa o combinación de causas. El efecto que producen en la vida útil del pavimento varía en un rango muy amplio, ya que algunos de ellos son poco importantes, mientras que otros son indicadores de fallas muy severas que comprometen la falla total del pavimento.

Para la identificación de los distintos deterioros es importante considerar su severidad y extensión en el pavimento. Generalmente estos se manifiestan al principio con poca severidad, y se convierten en problemas serios progresivamente. Algunas fallas leves pueden presentarse inicialmente en áreas aisladas, para luego aumentar su severidad y extensión.

Una vez que las fallas severas aparecen es común ver el rápido deterioro de los pavimentos. Esto se debe generalmente a los efectos combinados de la humedad y las cargas de tráfico. Cuando un pavimento se deteriora con el tiempo aparecen fisuras adicionales que permiten el ingreso de mayor humedad a las capas subyacentes, acelerando el proceso de deterioro.

Creado con

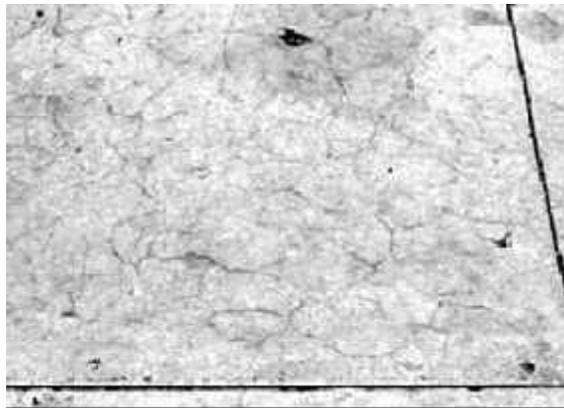
A continuación se presentarán los tipos de deterioros más comunes en pavimentos rígidos de carreteras, junto con su descripción y sus causas.

### 2.3 DETERIOROS SUPERFICIALES

Estos deterioros se clasifican en los siguientes tipos:

#### **Fisuras en mapa**

La fisuración en mapa o se refieren a una red de fisuras finas y poco profundas que se extiende en la superficie de la losa. Las fisuras tienden a intersectarse en ángulos de  $120^\circ$ . Estos deterioros son normalmente causados por un exceso de manipulación del hormigón durante el acabado del concreto y pueden conducir al descascaramiento de la superficie, esta falla de la losa ocurre con profundidades de 6 a 13 mm. Este tipo de fisuración puede también ser causado por ciclos de hielo-deshielo, defectos de construcción o agregados pobres. Otra causa reconocida para este tipo de deterioro es la reacción entre álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ) en algunos cementos y determinados minerales en los agregados.



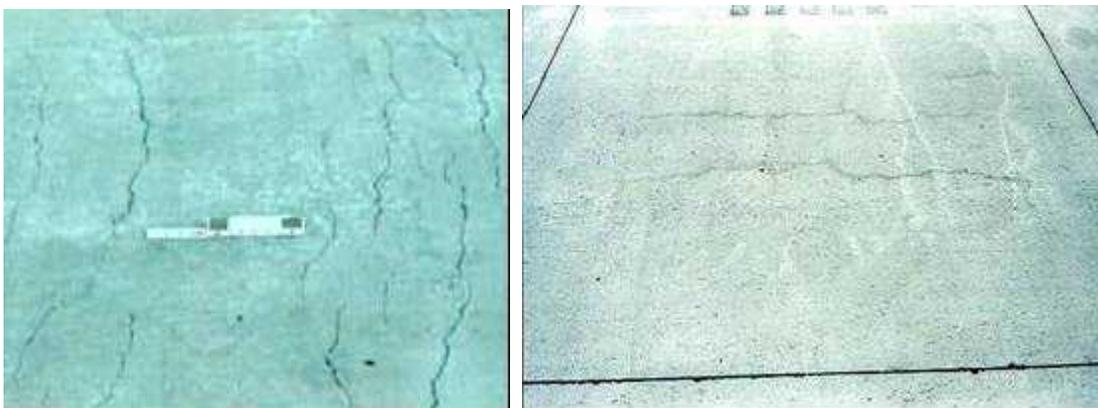
*Fisuración en mapa*

*(Fuente : Concrete PASER Manual)*

Creado con

### **Fisuras por contracción superficial o retracción plástica**

Esta fisuración denominada por contracción superficial, son fisuras delgadas, de pocos centímetros de longitud, que no se extienden a lo largo de toda la losa. Su profundidad generalmente es menor a una pulgada y de pocos milímetros de espesor. Estas se forman durante el colocado del hormigón, específicamente durante el curado del concreto y se presentan debido a la pérdida brusca de humedad de las losas de hormigón, provocado por alta radiación solar y especialmente excesivo viento, es importante mencionar que este tipo de fisuras no comprometen a la losa estructuralmente.



*Fisuras por retracción plástica*

*(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

### **Descascaramiento, pulimiento, abrasión o desgaste**

El pavimento sufre este tipo de falla cuando existe desintegración o pérdida de hormigón de la superficie, estos deterioros incluyen el descascaramiento, pulimiento y abrasión de la superficie. El descascaramiento es la pérdida del recubrimiento superficial. La abrasión es similar al descascaramiento en el sentido de que se pierde el agregado fino de la superficie. La abrasión generalmente es resultado de la acción combinada de factores climáticos y el paso del tráfico. Este tipo de fisuración normalmente se presentan en las áreas correspondiente a las huellas de los vehículos. Por último, el pulimiento de los agregados es consecuencia de haber quedado expuestos y son desgastados por la acción de las llantas en los vehículos.

Creado con



*Descascaramiento superficial*

*(Fuente: Concrete PASER Manual)*



*Desgaste de la superficie*

*(Fuente: Tramo carretero El Sillar)*

### **Desprendimientos**

Son pequeñas piezas del pavimento que se han desprendido de la superficie debido a un ciclo de hielo-deshielo o por la presencia de agregados expansivos. Los desprendimientos normalmente tienen dimensiones entre 2.5 y 10 cm. de diámetro y de 1 a 5 cm. de profundidad.

Son pequeños huecos en forma de cono en la superficie del pavimento, exhiben agregados en la base, no se relacionan con desportillamientos de juntas o fisuras. La calidad del agregado es una de las principales causas para la aparición de este deterioro.



*Desprendimientos de la superficie (Fuente : Review for PCR methodology)*

Creado con

## Bacheos

Un bacheo es el área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por material nuevo, que no siempre es de las mismas características del originalmente utilizado. Un corte de utilidad es un bacheo que ha reemplazado el pavimento original a causa de instalaciones realizadas por debajo del pavimento



*Bacheo en el pavimento*

*(Fuente: MnDOT Distress Identification manual)*



*Bacheos en el pavimento*

*(Fuente: Tramo carretero Llallagua – Uncía)*

Creado con

Este tipo de reparaciones no es recomendable a menos que la restitución de la funcionalidad de la losa sea garantizada por medio de la restitución de su transferencia de carga y amarre entre losas dependiendo el caso. Como se mencionó anteriormente es preferible el análisis de otro tipo de reparación antes del empleo de métodos como este.

## **2.4 DETERIOROS DE JUNTAS**

### **Deterioro del material sellante**

El deterioro del sellado se define como cualquier condición que permite el ingreso y/o acumulación de material o la infiltración de agua en la junta. La acumulación de material incompresible en la junta impide la expansión de la losa y puede resultar en un alabeo, fractura o desportillado de la misma. Un material de sellado que sea flexible y con buena adherencia a los bordes de las losas protege las juntas de la acumulación de material y la infiltración de agua que puede debilitar la fundación que soporta la losa.

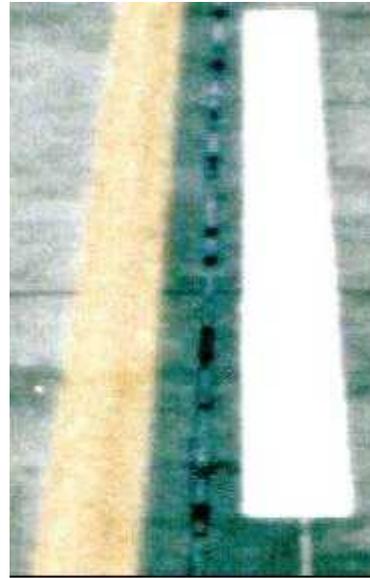
Los tipos más comunes de deterioro del sellado son: pérdida del sellado, expulsión del material de sellado, crecimiento de vegetación, pérdida de flexibilidad del material sellante (oxidación), pérdida de adherencia entre el sellante y las paredes de la junta, ausencia de sellante en la junta.

El sellante está en condición satisfactoria si previene la infiltración de agua en la junta, presenta cierta elasticidad y si no presenta vegetación creciendo entre el sellado y la cara de la junta.



*Expulsión del material sellante*

*(Fuente: Tramo Llallagua – Uncía)*



*Ausencia de material sellante*

*(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

### **Desportillamientos**

Deterioro referido a toda rotura, desprendimiento, y/o fractura de los bordes y juntas de la losa de hormigón. Se entiende que un desportillamiento no se extiende verticalmente en todo el espesor de la losa, y normalmente intersecta a la junta con un determinado ángulo.

Para el caso de un desportillado de esquina, es la rotura comprendida dentro de los 60 cm. de la esquina. Un desportillado de esquina difiere de la rotura de esquina en que el desportillado no es una rotura de espesor total, mientras la rotura de esquina se extiende verticalmente a través de toda la losa.

El desportillado de las juntas es un resquebrajamiento de los bordes de la losa dentro de una franja de 60 cm. a un lado de la junta. El desportillado de juntas normalmente no se extiende verticalmente en todo el espesor de la losa, sino que intersecta la junta formando un ángulo con la cara vertical de la misma.

Creado con

El desportillado se produce por esfuerzos excesivos en la junta o grieta causados por la infiltración de material incompresible o por cargas de tráfico. Un concreto debilitado (causado por un exceso de trabajado en el acabado) combinado con las cargas del tráfico son también causa de este tipo de deterioro. A menudo los desportillamientos de juntas son resultado de la fisuración por durabilidad tipo "D" del hormigón.



*Desportillamientos de junta transversal*

*(Fuente: MnDOT Distress Identification Manual y Av. del ejército - Oruro )*

### **Deterioros por mal funcionamiento de juntas**

Este tipo de deterioros se da en pavimentos con barras de transferencia de carga, y se producen principalmente por la mala alineación de estos dispositivos durante la construcción. Debido a que están muy inclinados producen restricciones al movimiento de las losas y por consiguiente se dan concentraciones de esfuerzos en las cercanías de las juntas con este problema. Otros factores que provocan este tipo de deterioros son: la corrosión de las barras de acero, el colocado muy superficial y no a la profundidad indicada.

Se manifiestan como grietas cercanas a la junta, entre 25 y 40 cm, y pueden tener desportilladuras severas, inclusive las barras pasajuntas pueden quedar a la vista.

Creado con



*Agrietamiento por mal funcionamiento de junta transversal*

*(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

## 2.5 FISURACION DE LAS LOSAS

Son normalmente el resultado de la combinación de repetición de cargas, esfuerzos de alabeo, contracción y la fatiga del hormigón. Las grietas de baja severidad normalmente trabajan como piezas articuladas y no se consideran un deterioro estructural mayor. Las grietas con niveles de severidad medio o alto si son un serio deterioro estructural de la losa ya que no transmiten carga entre ellas.

Una grieta sellada puede tener dimensiones mayores, pero el material de sellado debe estar en buenas condiciones. El ancho de las grietas debe medirse entre las caras verticales de las mismas, no en el área que presenta desportillado o pérdida de material.

### **Fisuras transversales**

Una fisura o grieta es transversal si se da a un ángulo aproximadamente de 90° con el eje. En pavimentos reforzados se producirán normalmente éstas fisuras por contracción con anchos muy pequeños (del grosor de un cabello) y por tener distancias entre juntas transversales mayores a las de los pavimentos sin refuerzo. Las fisuras transversales pueden ser causadas por el tráfico pesado, gradientes térmicos y de humedad, así como asentamientos o consolidaciones de la subrasante.

Creado con



*Fisuras transversales*

*(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo y Av. del ejército - Oruro)*

### **Fisuras longitudinales**

Se presentan aproximadamente paralelas al eje de la carretera. Este tipo de fisuración está generalmente asociado a los asentamientos o insuficiente capacidad de carga de la subrasante.

Se presentan también en casos de humedecimiento de la subrasante. En algunos casos puede ser causada por la no homogeneidad de las características de los materiales de las capas subyacentes, por ejemplo en el caso de un ensanchamiento el terraplén antiguo estará mejor consolidado que el nuevo.

Creado con



*Fisuras longitudinales*

*(Fuente: Tramo carretero El Sillar y Av. del ejército - Oruro)*

### **Fisuras diagonales y erráticas**

Las fisuras diagonales son una derivación de las fisuras transversales, su aparición es muy rara, su esviaje puede deberse a alguna restricción no uniforme al movimiento, o a la no homogeneidad de la losa de hormigón. También aparecen cuando el aserrado de juntas ha sido tardío, o cuando algunas barras de transferencia de la junta están inclinadas, impidiendo los movimientos de la losa en sólo una parte de la junta.

Las fisuras erráticas se deben principalmente a los asentamientos localizados de la subrasante o la subbase. Generalmente no se presentan si no es con un asentamiento.

Creado con



*Fisuras diagonales*

*(Fuente: MnDOT Distress Identification Manual)*

### **Rotura de esquinas**

Una rotura de esquina es una grieta que intersecta las juntas a una distancia menor o igual a la mitad de la longitud de los lados de la losa a ambos lados, medidas desde la esquina de la losa. Por ejemplo, si en una losa de 3x3m existe una fisura que intersecta una de las juntas a 1m de la esquina y la otra junta a 1.6m, no es considerada una rotura de esquina, sino un agrietamiento diagonal. Una rotura de esquina difiere de un desportillado de esquina en que una rotura se extiende verticalmente a través de todo el espesor de la losa, mientras que el desportillado intersecta la junta en ángulo, además el triángulo formado por una rotura de esquina generalmente es mucho más grande que aquel formado por un desportillamiento de esquina.

La repetición de cargas combinada con la pérdida de la capacidad de soporte son causas comunes para la rotura de esquinas. Este tipo de deterioro es característico de pavimentos afectados por fatiga del hormigón, y su aparición es señal de que el pavimento ya está llegando al final de su vida útil.

Creado con



*Roturas de esquina*

*(Fuente: MnDOT Distress Identification Manual y Av. del ejército - Oruro )*

### **Losas subdivididas**

Las grietas que van de junta a junta y se intersectan, son grietas que subdividen la losa en tres o más piezas debido a las cargas de tráfico, falta de soporte de la subrasante o ambos. En los casos en que la subrasante tenga la suficiente capacidad de soporte, este deterioro es indicador de que el pavimento ha sido afectado por la fatiga del hormigón. Generalmente la fisuración transversal evoluciona a losas subdivididas con la aparición de una fisura longitudinal, que parte en cuatro a la losa. Estados más severos de este deterioro se manifiestan cuando la losa se divide en bloques más pequeños, hasta llegar a desintegrarse por completo.



Creado con

## Losas subdivididas

(Fuente: MnDOT Distress Identification Manual y Av. del ejército - Oruro )

### Fisuras por Durabilidad (tipo "D")

La fisuración por durabilidad es causada por la incapacidad del concreto de resistir factores ambientales como ser los ciclos de helada y deshielo. Se presenta generalmente como una serie de fisuras finas y crecientes que van paralelas a una junta o fisura, llegando a formar una curvatura en las esquinas de las losas. Normalmente puede reconocerse una coloración oscura alrededor de las fisuras finas de esta clase de deterioro y eventualmente puede causar la desintegración del concreto en una área de 30 a 60 cm al lado de una junta o grieta.



Fisuración por durabilidad tipo "D"

(Fuente: MnDOT Distress Identification Manual)

## 2.6 DEFORMACIONES DEL PAVIMENTO

### Levantamientos localizados

Los levantamientos localizados, o voladuras, ocurren durante tiempo caluroso, normalmente en grietas o juntas transversales que no tienen el ancho suficiente para permitir la expansión de las losas de concreto. Este ancho insuficiente es usualmente consecuencia de la infiltración

Creado con

de material incompresible en el espacio de la junta. Cuando la expansión genera presión excesiva, ocurre un movimiento ascendente de los bordes de las losas en contacto, e inclusive un desportillado en la vecindad de la junta. Este tipo de deterioro debe ser reparado en forma inmediata debido a su incidencia en la calidad de servicio de la vía. En casos severos se presenta la rotura de la losa en la vecindad del levantamiento.



*Levantamientos localizados*

*(Fuente: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement>)*

## **Escalonamientos**

El escalonamiento es la diferencia de elevación en juntas transversales o grietas entre losas contiguas. El escalonamiento es usualmente causado por el bombeo de material fino de las capas inferiores, por asentamientos de subrasantes blandas, o por el mecanismo de migración del material por debajo la losa debido a las cargas. El ascenso y descenso de juntas es la diferencia de elevación entre los bordes de una junta o grieta causada por esfuerzos verticales o asentamientos por consolidación. Este tipo de deterioro es uno de los que más afecta a la serviciabilidad del pavimento.

Entre los mecanismos que producen este deterioro se encuentran dos causas para su aparición:

La primera es la migración del material de la capa base. Cuando la carga del vehículo pasa de una losa a la siguiente losa se produce una presión debajo de esta última, esta presión

Creado con

empuja al material de la capa base, llevándolo hacia la losa anterior que ha sido descargada un instante antes.

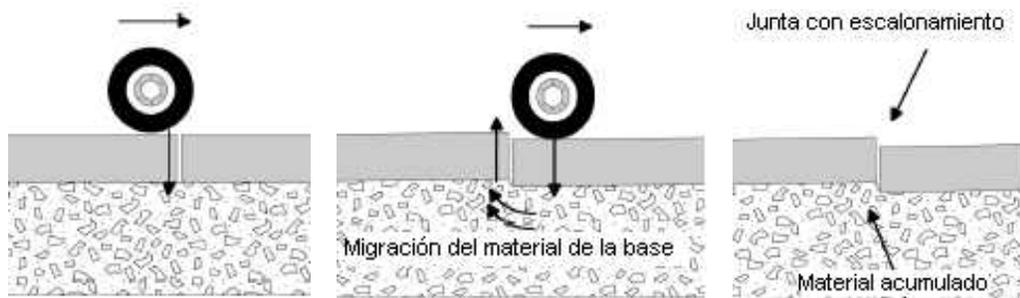


Figura. Mecanismo de la migración de material de la capa base

(Fuente: HVS Test Plan for Goal 7 Dowel Bar Retrofit Rehabilitation of Rigid Pavements)

La segunda causa es la expulsión del material fino de la capa base debido al humedecimiento de la misma (bombeo de finos). Al pasar la llanta del vehículo de una losa a la siguiente se produce una presión en la base de la losa que empuja al agua retenida, y ésta sale en un chorro a través de la fisura o junta transversal.

Estos mecanismos se acentúan cuando el material de la capa base es erosionable, es decir, cuando tiene material fino en su granulometría. También se hace crítico en juntas sin barras de transferencia de carga o con transferencia pobre, ya que las deflexiones en los bordes son mayores y amplifican la acción del bombeo de finos a la superficie.

Creado con



*Losas con escalonamiento*

*(Fuente: MnDOT Distress Identification Manual y Tramo carretero El Sillar)*

### **Bombeo de finos**

El bombeo es la evacuación del material fino de la subbase o subrasante transportado por el agua a través de las juntas o grietas del pavimento causado por la deflexión de la losa bajo el paso de cargas. A medida que el agua es expulsada de la subbase, acarrea partículas de arena, arcilla o sedimentos dando por resultado una progresiva pérdida de soporte por debajo del pavimento. El bombeo puede identificarse por la presencia de agua en la superficie del pavimento acompañada por material de las capas inferiores cercano a las juntas o grietas. El bombeo cerca de las juntas indica la existencia de un sellado pobre y pérdida de soporte de la subrasante, lo que conduce a la aparición de grietas por causa de la repetición de cargas. Se debe identificar el sellado defectuoso antes de afirmar la existencia de bombeo. El bombeo puede ocurrir en juntas y grietas del pavimento. La desintegración de bermas en los bordes del pavimento es a menudo un indicador de la existencia de bombeo por debajo de la losa.

Creado con

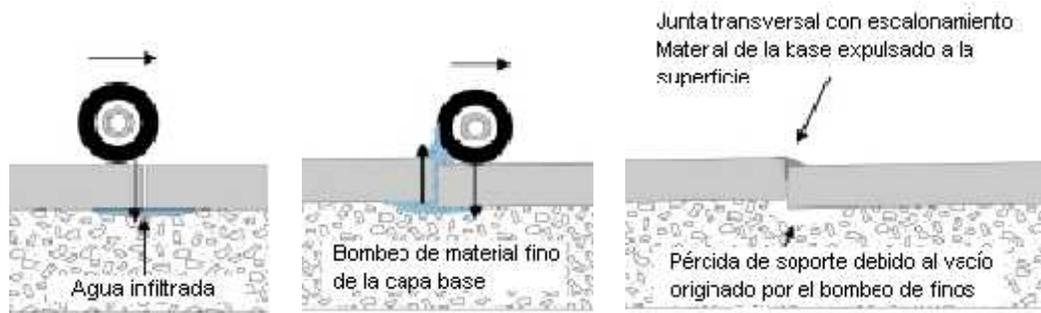


Figura. Mecanismo del bombeo de material fino a la superficie del pavimento

(Fuente: HVS Test Plan for Goal 7 Dowel Bar Retrofit Rehabilitation of Rigid Pavements)



*Losas subdivididas con bombeo de finos y agua en la superficie.*

(Fuente: <http://www.fhwa.dot.gov>)

Creado con

## Asentamientos

Un asentamiento es una depresión en el perfil longitudinal del pavimento. Generalmente son causados por el humedecimiento de las capas inferiores, que consecuentemente pierden su capacidad de soporte y se deforman. Cuando se presenta un asentamiento está acompañado por losas subdivididas y desportillamientos severos de juntas. También suelen presentarse fisuras erráticas rodeando a la zona del asentamiento.



Asentamiento de las capas inferiores del pavimento

(Fuente: Tramo carretero Llallagua – Uncía)

Creado con

## **CAPITULO III**

### **3.1 PROYECTO ORURO – TOLEDO.**

#### **UBICACIÓN.**

El Proyecto Oruro-toledo fue la primer carretera de pavimento rígido construida en Bolivia y el ejecutor de este tramo carretero fue el Consorcio Toledo conformado por SOBOCE S.A. y las empresas constructoras Illimani de La Paz y CONOC de la ciudad de Oruro. La obra fue adjudicada por el Directorio Ejecutivo del Servicio Nacional de Caminos (SENAC). Esta carretera es un tramo del corredor hasta la localidad fronteriza de Pisiga, que se constituye en un importante corredor de exportación hacia el Puerto de Iquique en Chile. La longitud total del tramo fue de 37.8 km y va desde la capital Oruro hasta la localidad de Toledo.

Para ejecutar este proyecto, el gobierno de Bolivia recibió financiamiento de la Corporación Andina de Fomento (CAF) para el proyecto denominado “Mejoramiento y Pavimentación de la carretera Oruro – Toledo”. La contraparte nacional fue cubierta con recursos del Tesoro General de la Nación.

La construcción de esta vía comprendió un paquete estructural de 22 cm. de espesor de pavimento rígido (hormigón), un ancho de vía de ocho metros y bermas de 0.80 m. a cada lado, ambas de hormigón.



*Foto 1. Tramo Oruro Toledo (Puente Español)*



*Foto 2. Ubicación Geográfica*

## **CARACTERÍSTICAS GENERALES.**

El tramo Oruro-Toledo fue construido con el siguiente paquete estructural típico:

Creado con

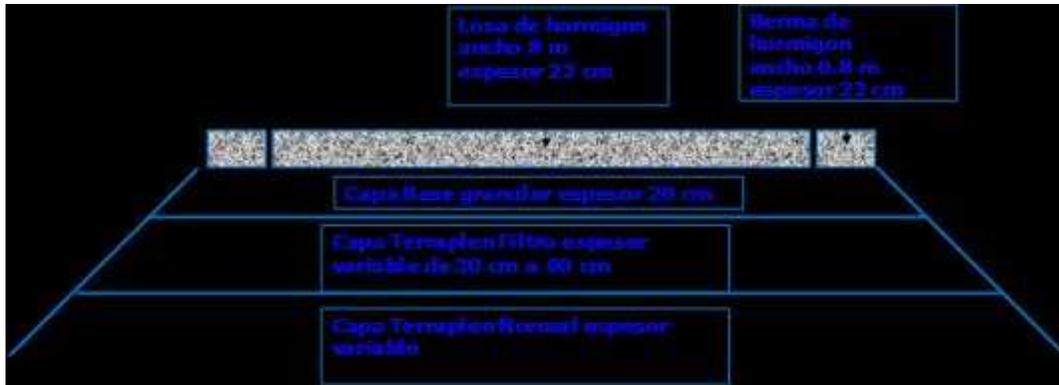


Figura 1. Paquete Estructural Típico

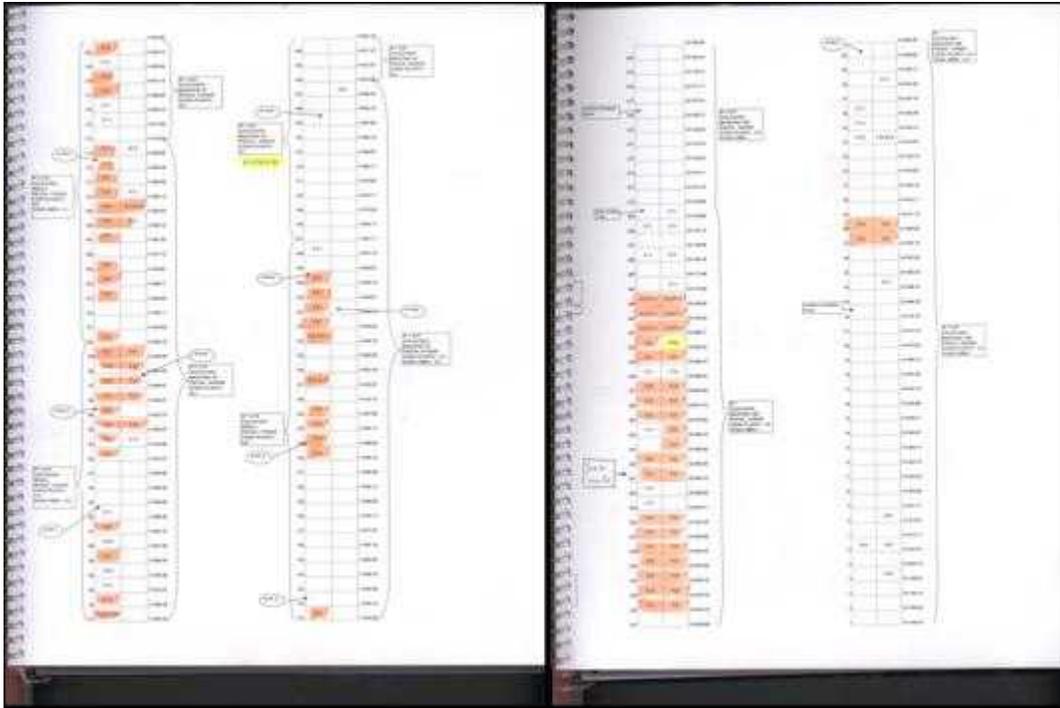
Proyecto Oruro - Toledo

- Las losas fueron diseñadas con juntas cada 4.50 metros.
- La resistencia especificada de diseño fue 4.55 MPa a la flexotracción.
- Los pasajuntas transversales definidas en acero liso fueron determinados con un diámetro de 25 mm de diámetro cada 30 centímetros.
- Las barras de amarre de acero corrugado se diseñaron con aceros de 12 mm de diámetro cada 60 centímetros de espaciamiento y con una longitud de 75 centímetros cada una.

#### RELEVAMIENTO DE DETERIOROS.

El relevamiento de los deterioros observados se realizó mediante una detallada observación y transcripción de cada una de las losas existentes en el Proyecto, uno de los registros utilizados muestras podemos ver en la figura siguiente:

Creado con



*Figura 2. Registro de campo, relevamiento de deterioros*

*Proyecto Oruro - Toledo*

Mediante los registros mostrados anteriormente, se pudo obtener los siguientes resultados generales del Proyecto:

Creado con



*Figura 3. Estadística de fisuración.*

El relevamiento de los deterioros necesariamente deberá ser realizado a pie y mediante simple observación de todos los deterioros que se puedan observar.



*Figura 4. Inspección del tramo evaluado  
(Fuente: Pavement Surface Condition Rating Manual)*

Se debe anotar a detalle todas las observaciones que se tengan, por carril, por tipo de deterioro y sus medidas o características observadas a simple vista.



(1)



Figura 6. Medición de las características de los deterioros  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)



Creado con

*Figura 7. Medición del ancho de las fisuras  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

Entre los datos más importantes que se deben tomar en cuenta y que fueron observados en el Proyecto Oruro-Toledo tenemos los siguientes:

- Mapeo de los deterioros, es decir, esquemas de los deterioros encontrados, dibujados con un grado de precisión suficiente para poder reconocerlos fácilmente en gabinete.
- Ancho de las fisuras o grietas encontradas, en milímetros.
- Ancho de los desportillamientos encontrados en fisuras o juntas, medido en centímetros.
- Diferencia de nivel entre losas con escalonamiento, medido en milímetros.
- Distancia a la junta más cercana de la fisura o grieta longitudinal y transversal.
- Dimensiones de las roturas de esquinas.
- Dimensiones de las reparaciones parciales anteriores o bacheos.
- Condición del material sellante de las juntas.
- Porcentajes del área de la losa afectada por deterioros superficiales.
- Existencia de otros tipos de deterioros, como levantamientos localizados, bombeo de finos, etc.
- Condición general de la berma del carril en evaluación.

Una vez concluido el trabajo de campo, los resultados obtenidos arrojaron los porcentajes vistos en la Figura 3, donde se puede observar que se tuvo un 7.46% de losas fisuradas. En el caso de este tramo en particular los deterioros se centran en fisuras transversales de espesor total. Una muestra de las fisuras podemos observar en la siguiente fotografía:



*Foto3. Fisura transversal  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

### RESULTADOS OBTENIDOS.

Luego de realizado todo el trabajo de campo, se pudo obtener algunos resultados muy interesantes, primeramente se identificaron y categorizaron las losas por su tamaño en vista de que dependiendo del sector donde fueron construidas se adoptaron dos tamaños que son de 4.00 y 4.50 mts por cada lado.

Estos resultados los mostramos en la figura siguiente:



*Figura 8. Estadística tamaño de losas*

Creado con

Posteriormente y basados en los registros de campo, los resultados observados en cuanto a losas dañadas o con fisuras, se pudo extraer el siguiente resultado de este conjunto de losas:

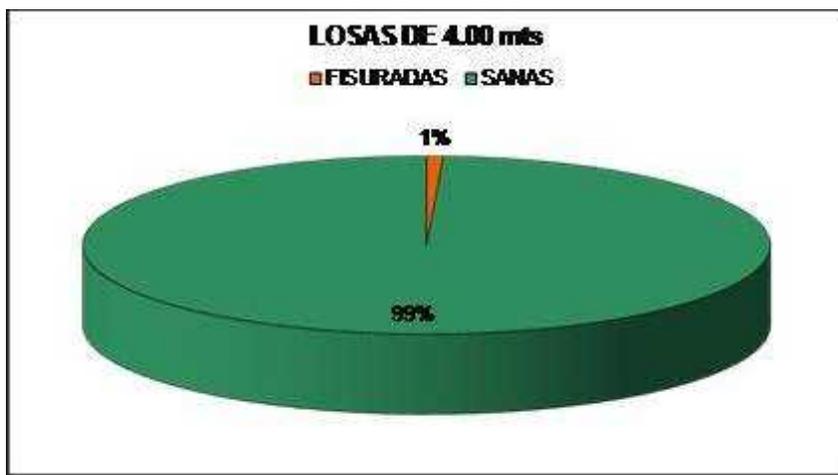


Figura 9. Losas fisuradas de 4.00 mts.

Tomando en cuenta que la mayor parte del tramo fue construido con losas de 4.50 mts. Era necesario analizar el mismo estado de estas a través de la estadística mostrada a continuación:

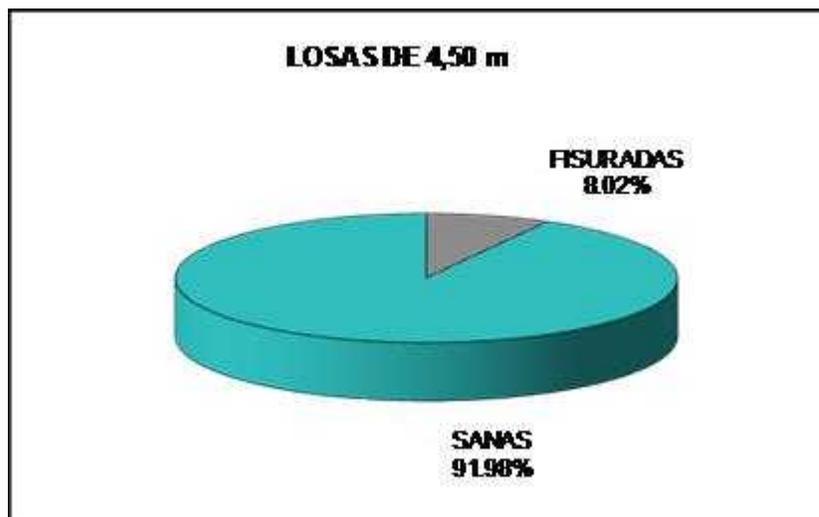


Figura 10. Losas fisuradas de 4.50 mts.

#### POSIBLES CAUSAS.

Creado con

Una vez obtenidos todos los resultados y analizadas varias de las causas, se pudo centrar las posibles causas en tres, que describimos a continuación:

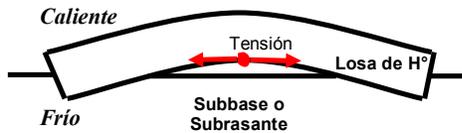
### 1. Gradiente térmico.

Para el estudio de esta posible causa se hicieron análisis teóricos donde se encontraron esfuerzos dentro de las losas producidos por el alabeo de las mismas.

El alabeo o curvatura de las losas se produce principalmente por las diferentes tasas de contracción que sufre la superficie respecto a la base, además por diferencias de humedad y temperatura entre las caras superior e inferior del pavimento.

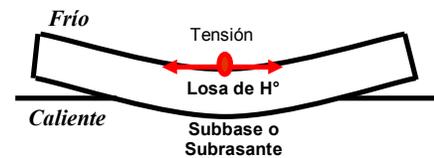
Generalmente se nota una curvatura cóncava (arqueamiento de las esquinas y bordes hacia arriba), cuando la superficie de las losas está más seca y sufre mayor contracción respecto a la base, o cuando la superficie está más fría que la base y se contrae más que la cara inferior. Esta curvatura puede resultar en una pérdida de contacto entre la losa y la subbase, la longitud afectada por la pérdida de soporte generalmente se encuentra entre el 10 al 20% de la distancia entre juntas (Suprenant, 2002), sin embargo estos valores dependen mucho de las dimensiones de las losas, espesor, propiedades del hormigón y rigidez de la subbase. Se ha reportado que el movimiento vertical de las esquinas por alabeo puede ser hasta de 25 mm, pero típicamente se encuentra alrededor de los 6 mm.

Condiciones diurnas  
(Diferencial positivo)



(a) Temp. superficie > Temp. base

Condiciones nocturnas  
(Diferencial negativo)



(b) Temp. superficie < Temp. Base

Creado con



nitro PDF<sup>®</sup>  
professional  
descargue la prueba gratuita online en [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)  
download the free trial online at [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)

Figura 11. Representación esquemática del alabeo por gradientes térmicos.

El punto 2 de este apartado está también íntimamente ligado a lo expuesto en este punto, debido a que las dimensiones de las losas y sus espesores facilitarán o no la existencia u ocurrencia de los efectos del alabeo en las losas.

Para completar el concepto sobre alabeo podemos formular matemáticamente la expresión que combina los cinco componentes del alabeo en un pavimento.

$$\Delta T_{tot} = \Delta T_{gt} + \Delta T_{gh} + \Delta T_{gc} + \Delta T_{cs} - \Delta T_f$$

Donde:

$\Delta T_{gt}$  = Diferencial de temperatura entre la superficie y la base equivalente a (que produce la misma deflexión) la distribución de temperaturas en el espesor de la losa.

$\Delta T_{gh}$  = Diferencial de temperatura entre la superficie y la base equivalente a (que produce la misma deflexión) la distribución no lineal de los gradientes de humedad en el espesor de la losa. Esto representa la fracción reversible de la contracción diferencial por secado entre la superficie y la base.

$\Delta T_{gc}$  = Diferencial de temperatura entre la superficie y la base equivalente a la distribución no lineal de temperaturas atrapadas en el espesor de la losa al momento del fraguado.

$\Delta T_{cs}$  = Diferencial de temperatura entre la superficie y la base equivalente a la fracción irreversible de la contracción diferencial por secado entre la superficie y la base.

$\Delta T_f$  = Fracción de  $\Delta T_{gc}$  y  $\Delta T_{cs}$  recuperada por la fluencia del hormigón a tempranas edades.

## 2. Tamaño de las losas o espaciamiento entre juntas.

Existen recomendaciones básicas sobre este parámetro, como por ejemplo: la FHWA recomienda un espaciamiento máximo de 15 pies (4,5 m), la ACPA establece un espaciamiento máximo entre juntas para losas de espesores entre 175 Y 230 mm de 4.6 m., la PCA menciona que el principal factor para el diseño de separación de juntas transversales debe ser LA EXPERIENCIA LOCAL .

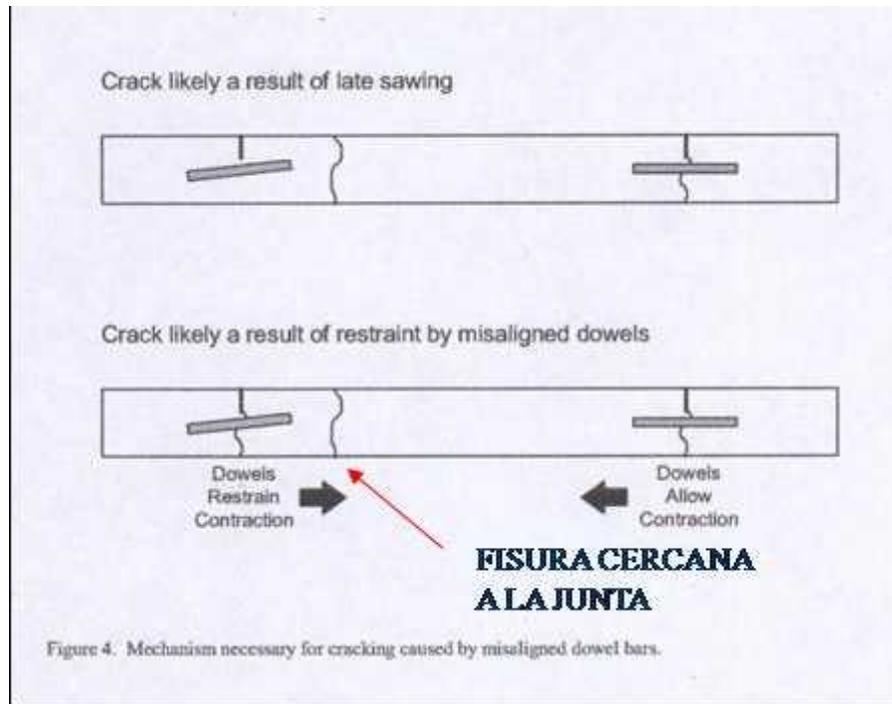
El espaciamiento entre juntas afecta la magnitud de los esfuerzos de flexión, los cuales están en función de la acción combinada de las cargas de tráfico y alabeo de losa por gradiente térmico.

## 3. Condiciones de colocado del hormigón.

En todo pavimento se debe tomar en cuenta varios aspectos importantes para la colocación del hormigón, además de su cuidado, curado y puesta en servicio. Dentro de estos aspectos los más importantes a tomar en cuenta para la colocación del hormigón son los siguientes:

- Temperaturas del hormigón durante el colocado y fraguado
- Protección contra vientos
- Humedad ambiente
- Métodos de curado
- Distancias de transporte del hormigón
- Relación agua/cemento
- Equipos de colocado de hormigón.

Uno de los análisis efectuados y presentados en su momento por la Supervisión del Proyecto mencionaba una de las posibles causas como la ubicación las barras pasajuntas, esquematizado en el siguiente gráfico.



De acuerdo a esta teoría se presentarían tensiones cercanas a las juntas provocando fisuración cercana a las juntas. En el caso del Proyecto en cuestión la mayor parte de estas fisuras se presentaron en el tercio central de las losas descartando esta posibilidad como una de las principales causas de los deterioros presentados en este tramo carretero.

#### **METODOS DE REPARACION.**

Tal como se expuso anteriormente, el principal tipo de deterioro presentado en el tramo Oruro – Toledo fueron fisuras de tipo transversal, ubicadas en el tercio medio de las losas de hormigón. Debido a que las losas una vez fisuradas trabajan ya de manera diferente, era necesario el restituir su funcionalidad por medio de métodos conocidos y que garanticen su eficacia en la restitución de las características estructurales de las losas de hormigón y del pavimento en su conjunto.

Esta es una técnica de rehabilitación preventiva consiste en cortar ranuras en el pavimento para la inserción de barras de transferencia, y luego rellenarlas con hormigones preparados de manera tal no se retraigan o mejor aun puedan expandirse.

La colocación de barras de transferencia de carga (*Dowel Bar Retrofit*), restituye la eficiencia de la transferencia de carga en las grietas y juntas transversales en los pavimentos, al enlazar los trozos contiguos de modo tal que se distribuya la carga uniformemente y las tensiones en los bordes se reduzcan sustancialmente.

Este método es recomendable en fisuras trasversales con anchos menores a 1 cm. para prevenir la pérdida de transferencia de carga o en juntas en las que se presente una deficiente transferencia de carga entre la losa de aproximación y alejamiento, o dicho en otras palabras, existan asentamientos o un movimiento diferencial entre estas losas debido a la acción de las cargas.

El mejoramiento de la transferencia de cargas incrementa la capacidad estructural del pavimento y reduce el potencial de escalonamiento, debido a la disminución de las tensiones y deflexiones en el pavimento. Su configuración geométrica, el número de barras a colocar por junta y el tipo de acero a utilizar se determinan principalmente en función a las cargas de tránsito a las que estará sometido el pavimento.



Figura 12. Transferencia de carga

Su colocación se efectúa siguiendo los siguientes pasos:

- Corte de ranuras en el pavimento rígido a través de la junta o grieta para almacenar las barras de traspaso.
- Demolición, remoción del hormigón de la ranura.
- Limpieza de las ranuras mediante agua a presión y aire a compresión.
- Aplicación del puente de adherencia a las paredes y sellado de la fisura dentro la

Creado con

ranura.

- Colocación y alineación de las barras de traspaso con su respectivo separador alineado con la grieta o junta.
- Relleno de ranuras con el nuevo hormigón.
- Desbastado de la superficie (si fuese necesario).
- Sellado de la fisura.

El diseño de estos elementos incluye considerar el número, diámetro y separación de las barras a ser insertadas. Los diámetros mayores y las separaciones menores entre barras reducen las tensiones por transferencia de carga entre las losas, lo cual reduce significativamente los deterioros y el escalonamiento en juntas.

Se ha determinado mediante un estudio de investigación realizado en el estado de Florida que juntas con 6 barras de transferencia de carga (3 en cada huella de los vehículos) desarrollaban esfuerzos y deflexiones similares a las juntas con 5 barras por huella, y el efecto en la prevención del desarrollo de escalonamientos era el mismo. Por otra parte la práctica internacional ha venido empleando esta configuración de 3 barras en cada huella con buenos resultados, es por esta razón que se adopta este número de barras.

### **Deterioros del pavimento que requieren la inserción de barras de transferencia**

La aplicación de esta técnica se restringe a deterioros de severidades bajas y moderadas, debido a que es una técnica preventiva, y no correctiva. El objetivo principal de la aplicación de esta metodología es el de evitar escalonamientos en fisuras transversales que se desarrollarían con el tráfico pesado en caso de que se dejara las fisuras sin transferencia de carga. Igualmente para reparaciones de espesor total que introducen nuevas juntas transversales al pavimento.

Esta técnica puede ser aplicada en los siguientes casos:

- Fisuras transversales de severidad baja y media, es decir, con anchos menores a 8 mm, para prevenir la pérdida de la transferencia de carga y disminuir las tensiones en los bordes de las losas.

Creado con

- En reparaciones de espesor total, ya que al cortar una determinada área de la losa se están creando nuevas juntas transversales que requieren la inserción de barras de transferencia.
- En pavimentos que han sido construidos sin barras pasajuntas, y que muestran signos de escalonamientos o asentamientos diferenciales entre losas contiguas, de esta manera se detiene el progreso de este deterioro para evitar la disminución en la serviciabilidad del pavimento.



*Figura 13. Inserción de barras en reparación de espesor total.*

*(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*



*Figura 14. Fisura transversal de severidad baja con necesidad de inserción de barras*

*(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*



Figura 15. Ju  
de ins

esidad

### Selección de materiales

Para la aplicación de esta técnica se requieren hormigones y/o morteros que no sufran contracción durante el secado o preferentemente hormigones expansivos. La resistencia a compresión del hormigón de relleno debe ser superior a 20 MPa en 24 horas, pudiendo llegar hasta 60 MPa a los 28 días. Estas altas resistencias son necesarias debido a que el tamaño de las ranuras rellenadas es pequeño y sufren concentraciones de tensiones que deben ser absorbidas por el hormigón.

Se deberán utilizar preferentemente hormigones y/o morteros predosificados, estos productos ya contienen los aditivos necesarios para cumplir con las exigencias descritas anteriormente. Uno de los productos utilizados para esta técnica en el Proyecto Oruro – Toledo fue el SIKAGROUT 212 que ha sido aplicado con éxito en nuestro medio. El tamaño máximo de los agregados deber ser menor a 10 mm, debido a que el área donde serán aplicados tendrá dimensiones de poco espesor.

Para garantizar la adherencia a las paredes es necesaria la aplicación de un puente de adherencia, este producto debe ser del tipo adherente hormigón viejo – hormigón fresco. Se aplicó con éxito en el proyecto Oruro – Toledo el producto SIKADUR32, puente de adherencia epóxico. Para el sellado de la fisura en la ranura se puede utilizar un sellante de silicona por su

Creado con

fácil aplicación, uno de estos productos es el SIKAFLEX1a, aplicado con buenos resultados.

Las barras de acero deben ser lisas y de diámetro mayor o igual a 25 mm, con tensión de fluencia mínima de 2500 Kg/cm<sup>2</sup>.

Para el curado se requiere de membranas líquidas para ser colocadas sobre los hormigones de relleno.

### **Consideraciones sobre el diseño de las ranuras**

La inserción de las barras de transferencia debe ejecutarse en los carriles de tracción del pavimento, es decir, en el sector por donde circulan normalmente las llantas de los vehículos, para esto se deben considerar las distancias especificadas en la figura 16. que presenta un plano tipo para la aplicación de esta técnica. El número de barras a ser insertadas será de 3 por huella, es decir 6 por cada fisura transversal en cada carril, las separaciones y dimensiones de las ranuras para la inserción de las barras se presentan en la figura 16.

Cuando este tipo de reparación se ejecutada en losas con fisuras transversales se debe tener particular cuidado que el centro de la barra coincida exactamente con la fisura, de manera que la longitud de acero introducida en cada lado de la losa sea la misma. El corte de las ranuras debe estar paralelo a la junta longitudinal, de forma que se inserten barras alineadas paralelamente y se eviten las restricciones al movimiento por barras inclinadas en cualquier sentido. Los cortes deben tener la profundidad suficiente para que la barra quede en el centro del espesor de la losa.

Creado con

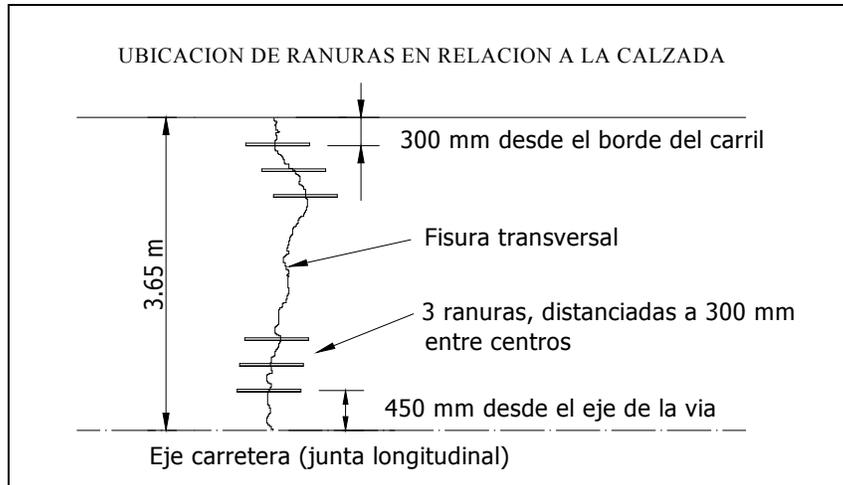


Figura 16. Ubicación de las ranuras en la superficie de la losa fisurada  
(Fuente: Supervisión técnica Proyecto Oruro - Toledo)

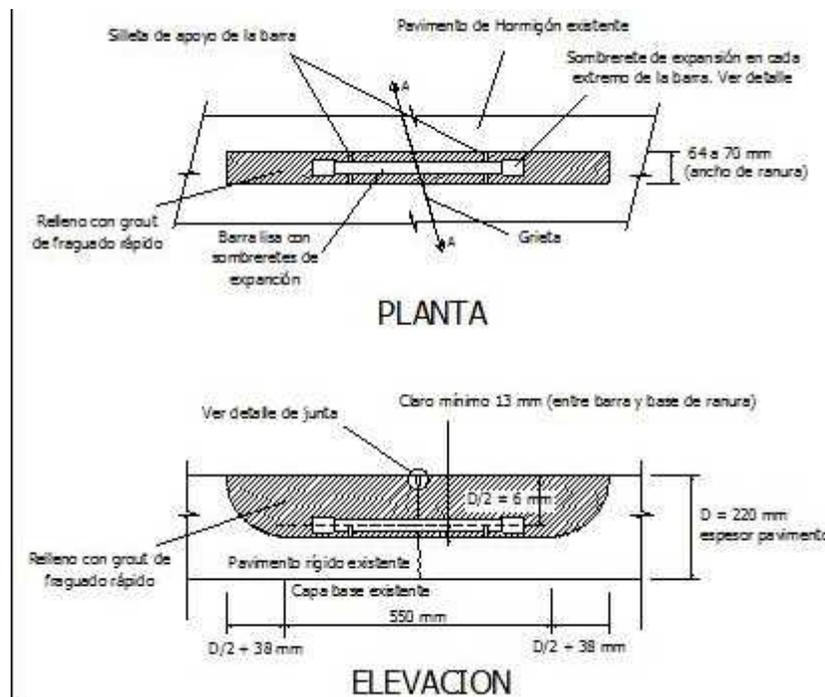


Figura 17. Detalles constructivos para la inserción de barras de transferencia  
(Fuente: Supervisión técnica Proyecto Oruro - Toledo)

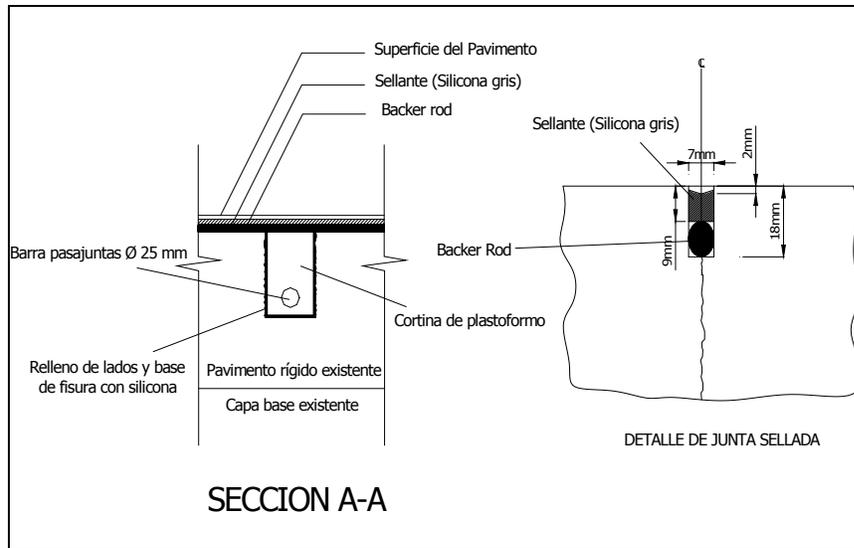


Figura 18. Detalles constructivos para la inserción de barras de transferencia  
(Fuente: Supervisión técnica Proyecto Oruro - Toledo)

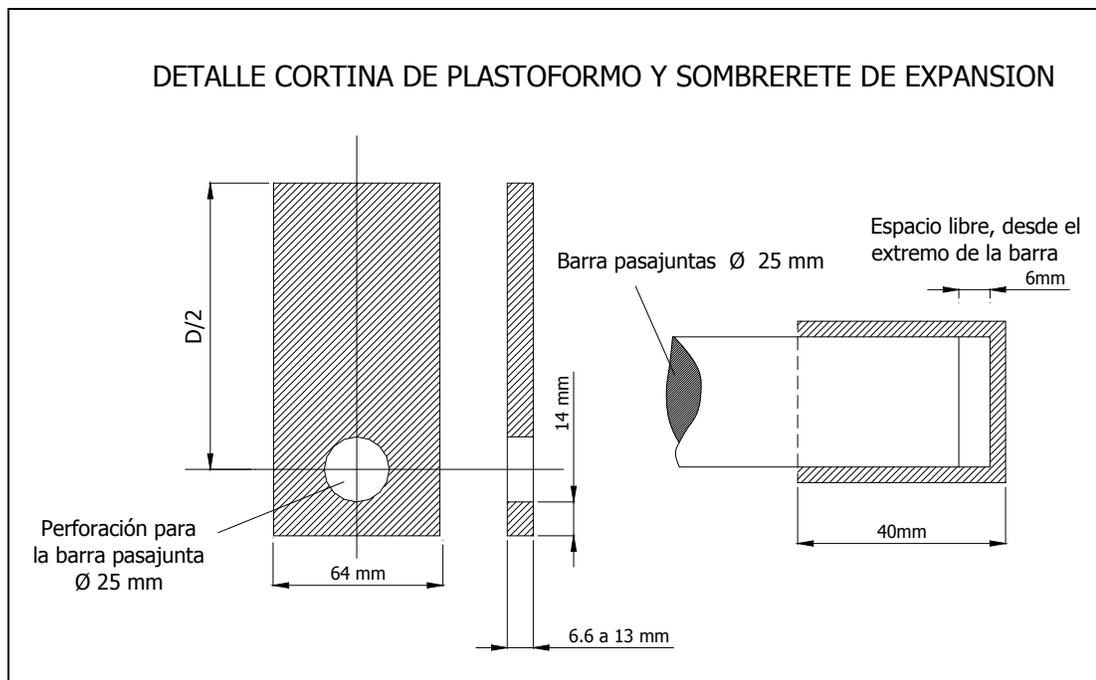


Figura 19. Detalles constructivos para la inserción de barras de transferencia  
(Fuente: Supervisión técnica Proyecto Oruro - Toledo)

## Construcción

### Corte de las ranuras que albergarán las barras

El primer paso es marcar en el pavimento las dimensiones de las ranuras, espaciadas de acuerdo al diseño, alineadas y centradas con la fisura. Se realizarán 12 cortes por cada losa fisurada, para las 6 ranuras necesarias. El corte se realiza con máquinas cortadoras y con discos diamantados específicos para el corte de hormigón. Se debe cuidar que la profundidad del corte esté de acuerdo al diseño.



*Figuras 20. Corte de las ranuras para la inserción de barras de transferencia  
(Fuente: proyecto Oruro – Toledo)*

### Picado del hormigón de las ranuras

Luego de finalizados los cortes el picado se realiza con la ayuda de un martillo neumático con el fin de agilizar el trabajo, es importante tener el cuidado necesario para que no se dañe las paredes de la losa. Se debe picar hasta la profundidad especificada en el diseño, tratando de dejar una superficie horizontal en la base de la ranura.

Creado con



*Figura 21. Picado de las ranuras (Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

### **Limpieza de la ranura**

La ranura debe limpiarse de todo resto y polvo con agua a presión (hidrolavadora), luego de haberse secado totalmente se debe aplicar la limpieza con aire comprimido. Se debe cuidar que en estas operaciones no quede ningún tipo de material en la ranura ni en la fisura.



Creado con



*Figuras 22. Limpieza de las ranuras con aire a presión  
(Fuente: WisDOT Construction report: Retrofit Dowel Bars on STH 13)*



*Figura 23. Ranuras listas para el colocado de las barras de transferencia  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

### **Preparación de la ranura**

Una vez limpias las ranuras se procede a aplicar el puente de adherencia en las paredes y en la base, esta operación se realiza con una brocha pequeña. También se debe sellar la fisura en la base y paredes de la ranura, esto se hace para evitar que el

Creado con

mortero ingrese a la fisura. La aplicación del sellante se hace con pistolas inyectoras de silicona.



*Figura 24. Sellado de la fisura en la ranura*

*(Fuente: WisDOT Construction report: retrofit dowel bars on STH 13)*

### **Preparación y colocación de las barras de transferencia**

Las barras deben ser recubiertas completamente con una capa de aceite o grasa para evitar su adherencia al hormigón, y de esta manera garantizar el libre movimiento de las losas. Las barras serán asentadas sobre dos silletas metálicas con el objetivo de elevar las barras y así permitir que el hormigón colocado recubra totalmente a las barras, con una elevación según lo indicado en el diseño.

Se debe colocar dos vainas o capuchones en las puntas de la barra, estos capuchones tienen la finalidad de dejar un espacio vacío para permitir el desplazamiento de la barra en su interior, en caso de producirse expansiones en las losas. Un tablero de plastoformo de ser colocado a media barra, para que actúe como barrera entre las dos partes de la losa, generando de esta forma la junta y guardando espacio para el sellado. Esta barrera debe cubrir toda el área de la ranura, para evitar que el hormigón pase de un lado de la fisura al otro.

Creado con



*Figuras 25. Preparación de las barras de transferencia de carga.  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo y WisDOT Construction report: DBR on STH 13)*

La colocación de las barras debe realizarse cuidando la alineación de éstas y haciendo coincidir el centro de la barra con la fisura. El tablero de plastroformo debe quedar perfectamente alineado con la fisura, y debe cubrir toda el área transversal de la ranura. Durante la colocación de las barras se debe evitar el contacto manual con las paredes, ya que se puede limpiar accidentalmente el puente de adherencia que ha sido aplicado.



*Figuras 26. Colocación de las barras de transferencia de carga  
(Fuente: Proyecto Oruro-Toledo, WisDOT Construction report: retrofit dowel bars on STH 13)*



*Figuras 27. Colocación de las barras de transferencia de carga  
(Fuente: Proyecto Oruro-Toledo, WisDOT Construction report: retrofit dowel bars on STH 13)*

### **Preparación y Colocado del hormigón**

Para este tipo de reparaciones es conveniente realizar la preparación del hormigón en obra, debido a los pequeños volúmenes requeridos. El volumen de cada ranura está entre 6 y 9 litros, una mezcladora pequeña será suficiente para realizar estas operaciones. La dosificación se debe realizar en peso, para lo cual se debe contar con una balanza portátil. Se debe controlar la dosificación para cada preparación.

Los hormigones con aditivos expansivos, fluidificantes y acelerantes presentan características de trabajabilidad muy especiales, es por este motivo que se debe tener cuidado con la adición de agua, ya que si se aumenta en exceso el hormigón puede transformarse en una mezcla muy fluida.

Creado con



*Figura 28. Preparación del hormigón en obra.  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

El colocado del hormigón se realiza con la ayuda de carretillas y baldes pequeños, su aplicación es manual. Se debe rellenar completamente cada ranura, luego se procede al vibrado del hormigón, para esta operación se deben usar vibradores manuales con cabezales de diámetro menor a 30 mm, para que éste pueda ingresar libremente en la ranura. Durante el vibrado se debe tener el cuidado de no tocar las barras ni la barrera de plastroformo, de forma que no queden desalineados o fuera de su lugar.



*Figuras 29,30,31.*

*Colocado y vibrado del hormigón*

*(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

Creado con

## Terminado y curado del hormigón

Luego de vibrado el hormigón se debe enrasar la superficie del pavimento, esta operación se realiza con planchas metálicas pequeñas. Durante el acabado los obreros deben asegurarse de que la barrera de plastoformo se mantenga alineada con la fisura, si no lo estuviese se debe corregir antes de terminar la superficie. El curado se realiza mediante el rociado de compuestos líquidos específicos para el curado del hormigón, este tipo de producto puede ser el mismo que se hubiese utilizado en el curado de la losa de hormigón, lo que se debe garantizar es la formación de una membrana en la superficie el hormigón.



*Figura 32. Rellenado terminado y curado  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

## Desbastado de la superficie

Cuando se utilicen hormigones expansivos para el relleno de las ranuras, será necesario desbastar la superficie para evitar irregularidades por el hinchamiento del hormigón. Para esto se utilizará un equipo de pulido de superficies con discos diamantados. Esta operación se puede realizar 24 horas después del colocado del hormigón. Se debe tener cuidado de no desbastar mucho la superficie, para no crear depresiones en el pavimento.

Creado con



*Figuras 33 y 34. Desbastado superficial  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

### **Sellado de la fisura**

Una vez concluidas las operaciones de desbastado se debe proceder a sellar la fisura en toda su longitud, para esto se pueden aplicar sellantes del tipo silicona (Fig. 35) o materiales asfálticos colocados en caliente (Fig. 36).



*Figuras 35 y 36. Fisuras selladas. Reparación terminada  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

Para la apertura al tráfico deberá controlarse el desarrollo de la resistencia del hormigón mediante la rotura de probetas que se hayan tomado durante el colocado. Se podrá liberar al tráfico los tramos reparados una vez que la resistencia del hormigón de relleno sea mayor a 20 MPa, esto generalmente se consigue a las 24 horas de vaciado.

Se ha determinado en un estudio de más de diez años de duración que la inserción de barras de transferencia de carga que fue realizada durante 1992 en secciones de pavimentos de la investigación mencionada, han mantenido entre el 70 y el 90 % de la transferencia de carga durante este tiempo.

La experiencia internacional recomienda la utilización de esta técnica en pavimentos que no tengan losas subdivididas o deterioros severos. La inserción de barras de transferencia es apropiada en losas con escalonamientos menores, es decir, cuando se ha empezado a notar este problema, una vez avanzado el deterioro esta técnica no será efectiva ni económica.

#### **COSTOS UNITARIOS.**

Todos los costos que intervienen en este tipo de reparaciones se detallan en el anexo .

Creado con

### 3.2 PROYECTO ANCARAVI – HUACHACALLA.

#### UBICACIÓN.

El Proyecto Ancaravi – Huachacalla fue construido con una longitud de 69.615 Km. y constituye el tramo III de la carretera Oruro – Pisiga que forma parte de la Ruta Fundamental N° 12 siendo Caihuasi (punto de unión con la Ruta Fundamental N° 4), Oruro - Toledo – Ancaravi – Huachacalla -Pisiga (Frontera con la República de Chile).

Ubicada en las Provincias Litoral y Atahuallpa del Departamento de Oruro, teniendo como las principales poblaciones a Ancaravi, Opoqueri y Huachacalla.

La construcción de este tramo fue adjudicada por el Consorcio Vial Cumbre compuesto por las empresas constructoras Cruceña Ltda, Minerva Ltda. e IASA Ltda., esta obra fue ejecutada por un monto de 23'127,293.64 \$us.



*Foto 4. Tramo Ancaravi – Huachacalla (Prog. 100+500)*

Creado con

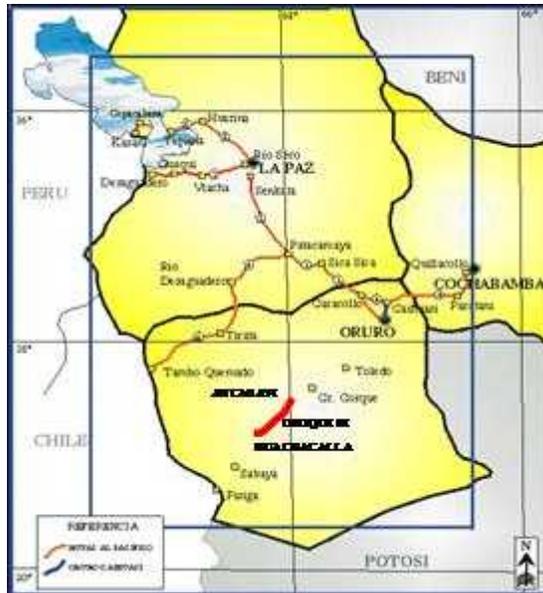


Foto 5. Ubicación Geográfica – Tramo Ancaravi-Huachacalla

## CARACTERÍSTICAS GENERALES.

El tramo Ancaravi-Huachacalla ha sido construido con el siguiente paquete estructural típico:

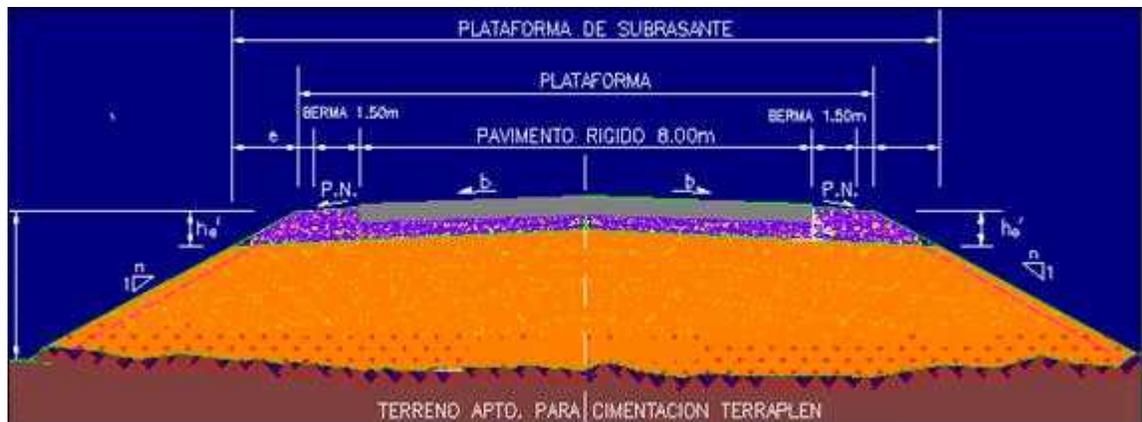


Figura 1. Paquete Estructural Típico

Proyecto Ancaravi-Huachacalla

- Las losas fueron diseñadas con juntas cada 4.00 metros.
- Espesor de las losas de 20 cm.
- Las bermas fueron hechas de suelo cemento con tratamiento doble.

Creado con

- La resistencia especificada de diseño fue 4.3 MPa a la flexotracción.
- Los pasajuntas transversales definidas en acero liso fueron determinados con un diámetro de 25 mm de diámetro cada 30 centímetros.
- Las barras de amarre de acero corrugado se diseñaron con aceros de 12 mm de diámetro cada 60 centímetros de espaciamiento y con una longitud de 90 centímetros cada una.

El tramo Ancaravi-Huachacalla fue concluido en el mes de septiembre de 2006. Este tramo se encuentra en la misma zona del Proyecto Oruro – Toledo, por lo que basados en las experiencias obtenidas en este anterior proyecto fueron necesarias algunas modificaciones en cuanto su proceso constructivo. Una de las características más importantes fue al implementación de un método de curado compuesto por varios pasos y no sólo así una membrana como normalmente se realiza. El objetivo de este método de curado fue el de cuidar la losa de hormigón no sólo de las pérdidas de agua en su proceso de fraguado o endurecimiento, sino también de uno de los factores más críticos en este sector del País, que es, el clima, temperaturas muy bajas durante las noches (-20º C) y hasta 20 grados durante el día, formándose de esta manera gradientes de temperatura elevados y que afectan al hormigón o la losa de hormigón especialmente en sus edades tempranas.

El método descrito tenía la finalidad de proteger la losa de hormigón durante los primeros 7 días de edad, para lo que se definió los siguientes pasos:

#### **1. Curado con membrana.**

Este curado fue realizado por medio de asperción utilizando equipos manuales (mochilas), el producto utilizado como membrana de curado fue el Antisol N, es un compuesto líquido para la formación de membranas de curado para hormigón, desarrollado a partir de hidrocarburos alifáticos emulsionados y pigmentado de blanco. La tasa de aplicación empleada fue de 200 gr/m<sup>2</sup>.



*Figura 37. Aplicación membrana de curado (Proyecto Ancaravi-Huachacla)*

## **2. Aplicación de la 1ª membrana de polietileno.**

Una vez sea colocada la membrana líquida descrita en el punto 1, se procedió a la aplicación de una membrana de polietileno de 200 micrones, esta primera capa debía permanecer durante 7 días sobre la losa de pavimento para evitar la pérdida de agua de la masa de hormigón.



*Figura 38. Aplicación 1ª membrana de polietileno (Proyecto Ancaravi-Huachacla)*

### 3. Aplicación de geotextil.

Para garantizar que el hormigón mantenga su temperatura dentro del rango permitido (9 a 10° C) para que no perjudique el desarrollo de su resistencia y el proceso de fraguado no sea interrumpido, era necesario crear un micro clima en la superficie de la losa del pavimento rígido, para esto es que se diseñó una manta geotextil 100% acrílica para que al estar en contacto con la humedad del hormigón no sufra deterioros, para que la conductividad térmica sea la requerida fue necesario crear estas mantas con un espesor de 10 mm.

El tiempo de permanencia del geotextil sobre la losa de hormigón era de 3 días, con el objetivo de que el hormigón alcance una resistencia suficiente y pueda resistir los altos gradientes térmicos que se presentan en la zona.



*Figura 39. Aplicación manta geotextil (Proyecto Ancaravi-Huachacla)*

### 4. Aplicación 2ª membrana de polietileno.

Esta segunda membrana también de polietileno de 200 micrones garantizaba la mantención de temperatura y humedad dentro de la losa de hormigón y fue mantenida durante 3 días al igual que las mantas geotextiles.

Con esta 2ª aplicación se creó un curado en “sándwich” que dio buenos resultados y que actualmente se sigue utilizando en la zona en la pavimentación del tramo hasta la frontera con Chile, Pisiga.

Creado con



*Figura 40, 41 . Curado completo (Proyecto Ancaravi-Huachacalla)*

#### **RELEVAMIENTO DE DETERIOROS.**

Al momento de la entrega del tramo Ancaravi-Huachacalla se realizó una inspección a detalle de todos los deterioros que pudiesen existir siguiendo la misma metodología descrita en el Proyecto Oruror – Toledo.

Estos relevamientos fueron realizados en conjunto con la Supervisión del Proyecto y con un amplio nivel de detalle.

Creado con

## RESULTADOS OBTENIDOS.

De las inspecciones realizadas y los relevamientos ejecutados con la Supervisión del Proyecto se pudo extraer un nivel de intervención al pavimento rígido de donde se resumió las siguientes cantidades de losas a intervenir.

En la figura siguiente se puede ver el tipo de reparación propuesta y ejecutada en las cantidades también mostradas.

El tramo Ancaravi-Huachacalla no presentó deterioros mientras no fue puesto en servicio, es decir, que las losas que fueron intervenidas con los métodos mostrados en el cuadro, Cross Stitching, Dowel Bar Retrofit, Slot Stitching y reposiciones de losas se debieron a efectos ajenos a la construcción en sí del pavimento rígido.

A diferencia del anterior Proyecto, las losas que presentaban fisuras en el Proyecto Ancaravi-Huachacalla fueron longitudinales, por lo que el análisis terminó centrándose en el mismo fenómeno observado en el Oruro – Toledo, es decir el Alabeo.

TIPO DE REPARACIÓN	CANTIDAD DE LOSAS	PORCENTAJE (respecto el total de losas)
CROSS STITCHING	642	1.83%
DOWEL BAR RETROFIT	21	0.06%
SLOT STITCHING	9	0.03%
SELLO DE FISURAS	2023	5.78%
REPOSICIÓN DE LOSAS	13	0.04%
DESPORTILLAMIENTOS Y OQUEDADES	7928	22.64%

*Figura 42. Relevamiento de deterioros (Proyecto Ancaravi-Huachacalla)*

## POSIBLES CAUSAS.

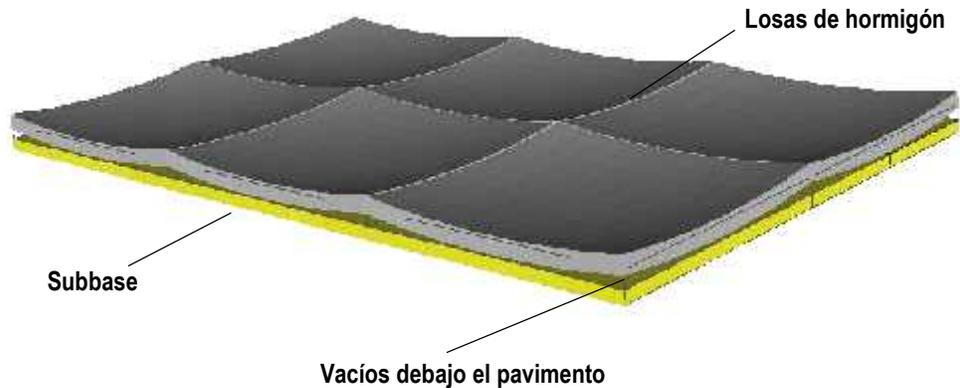
Ya con algunas experiencias anteriores, los análisis de causas fueron centrándose principalmente en uno de los efectos que se ha demostrado se presenta en nuestro País y en especial en sectores con bajas humedades y con altas radiaciones solares.

### 4. Alabeo.

En las investigaciones de algunos lugares del País se manifestó el alabeo de las losas en mayor o menor grado, siendo las regiones con climas más secos las que mostraron mayor consecuencia en el hormigón. Por otro lado, se pudo observar que

Creado con

para las condiciones en que fueron construidas, las losas de menor tamaño eran más adecuadas para salvar los efectos climáticos.



*Figura 43. Esquema de la curvatura permanente de las losas*

La generación de fisuras longitudinales se debe a la concentración de tensiones por flexión en sentido transversal (respecto al sentido de tráfico), en puntos críticos como las juntas o bordes transversales. Considerando que las losas presentan alabeo cóncavo, tal como se esquematiza en la figura anterior.

De acuerdo a los análisis realizados, se logró definir dos posibles mecanismos para el inicio de fisuración en el pavimento según las condiciones que se tienen:

- Fisuración longitudinal iniciada en la superficie sobre las juntas transversales, a la mitad del ancho de las mismas.
- Fisuración transversal iniciada en la superficie que se manifiesta en el tercio medio de la longitud entre juntas transversales

La pérdida de soporte de los bordes y las esquinas hace que las tensiones de mayor magnitud se generen en la superficie del hormigón como se muestra esquemáticamente en la Figura 44.

En el caso del mecanismo que genera fisuración longitudinal el punto crítico se ubica sobre las juntas transversales, a la mitad de la trocha del camión típico. En este punto se concentrarán los esfuerzos generando microfisuración por fatiga, que

después de miles de repeticiones producirá la rotura de la sección. La ubicación crítica mencionada concuerda con el inicio de fisuras observado en algunos tramos carreteros del país, generalmente coincidiendo con la posición de una barra pasajunta ubicada aproximadamente a la mitad del ancho de las losas.

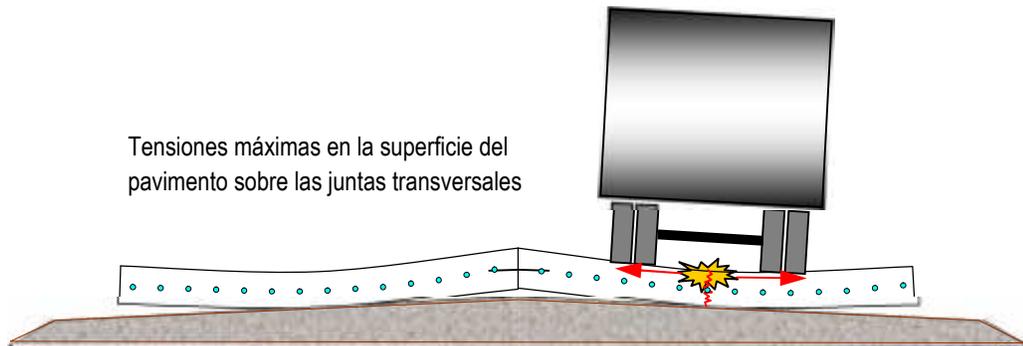


Figura 44. Esquema de la generación de fisuras longitudinales.

## 5. Espesor efectivo de la losa.

Si bien la losa de hormigón tiene un determinado espesor, producto de la construcción, este espesor se ve reducido a media altura solamente en las juntas transversales, debido a la presencia de barras pasajuntas insertadas normalmente cada 30 cm en todo el ancho. Estas barras lisas no presentan adherencia al hormigón y producen una discontinuidad en la sección, provocando la concentración de tensiones en el plano vertical en el que se ubica cada barra.

En casos en que la construcción involucra la utilización de equipos automáticos para la inserción de barras pasajuntas, el proceso de inmersión y vibrado separa el agregado grueso, formándose un plano vertical con una mezcla que presenta mayor cantidad de finos, la cual es más susceptible a la contracción por secado del hormigón. Al utilizar equipos insertadores, cuando el hormigón es colocado con asentamientos muy bajos, el proceso de empuje de las barras hace que éstas se abran paso a través de la mezcla poco trabajable, dejando huellas que forman planos de debilidad en los que posteriormente se pueden generar fisuras longitudinales.

La disminución en el espesor efectivo de las juntas transversales tiene un marcado efecto en la resistencia de las losas. Este problema es provocado cuando se sufren condiciones climáticas adversas durante la construcción, lo que produce fisuras por retracción plástica del hormigón que se desarrollan en algunos casos sobre los planos de inserción de las barras pasajuntas. La disminución del espesor efectivo también se genera cuando se insertan barras en hormigones muy secos. Además a esto se suman los esfuerzos por la transferencia de carga entre losas mediante el apoyo de las barras pasajuntas, que generan cortantes y momentos concentrados en el hormigón que rodea al acero.

Para prevenir estos posibles inconvenientes se debe buscar un diseño y dosificación correcta de la mezcla de hormigón, de manera que se evite el uso de hormigones muy secos u hormigones con excesivo contenido de mortero.

#### **METODOS DE REPARACION.**

De acuerdo al listado de de deterioros observados en el tramo Ancaravi-Huachacalla se han definieron los siguientes métodos de reparación:

- Cross Stitching. Este tipo de reparaciones fue ejecutado en 642 losas a lo largo de todo el Proyecto, en este caso las reparaciones realizadas fueron con un sentido preventivo debido a que los espesores observados estaban en el orden de 0.05 mm, pero que con la puesta en servicio y además es sabido que en nuestro País los vehículos de carga y transporte de pasajeros exceden en demasía lo establecido en la ley de cargas, por lo que la vida útil de todo pavimento puede verse seriamente afectada.

Este método se aplica a fisuras longitudinales que están en fisuras en buen estado como las que se observaron en el tramo, el objetivo de este Cross Stitching (cocido cruzado) es de mantener la trabazón en los agregados y proveer una resistencia adicional a la junta o fisura. Como todo trabajo de reparación, debe estar sujeto a un diseño que siga los siguientes lineamientos:

Creado con

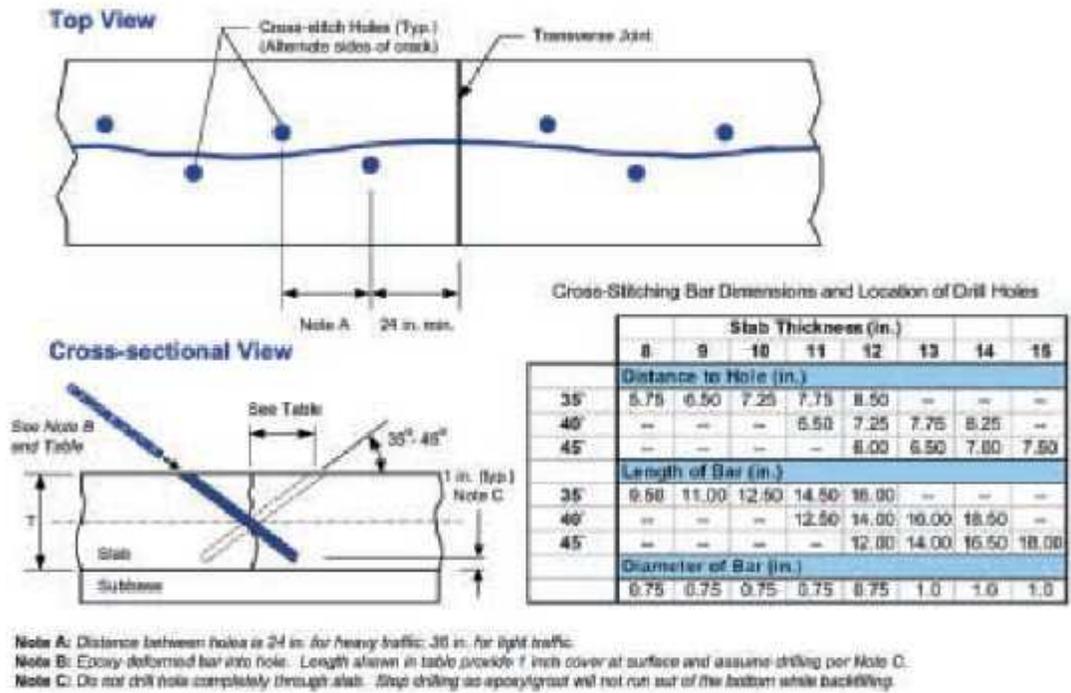


Figura 45. Lineamientos para el diseño del Cross Stitching.

Una vez sean aplicados los lineamientos mostrados anteriormente, se debe pasar a la ejecución del trabajo en campo tal como se describe a continuación:

**Paso 1.** Se debe marcar claramente los lugares donde se realizarán las perforaciones.



Figura 46. Marcado de los lugares donde se insertará las barras.

**Paso 2.** Las perforaciones pueden ser realizadas por taladros o rotopercutores con la energía suficiente para realizar las perforaciones sin interrupciones, se debe perforar de tal manera de dejar hasta 25 mm de la superficie de la losa hasta la parte superior de la losa.



*Figura 47. Perforado de la losa de hormigón.*

**Paso 3.** La limpieza deberá realizarse con aire a presión para poder sacar todo el material fino que queda remanente luego de la perforación.



*Figura 48. Limpieza con aire a presión.*

Creado con

**Paso 4.** Con la ayuda de un hisopo, que puede ser de cualquier tela, se procede a la limpieza manual para asegurarse que no quede material fino adherido a las paredes de la perforación realizada.



*Figura 49. Limpieza manual.*

**Paso 5.** Con la ayuda de una brocha o hisopo se debe aplicar un puente de adherencia, en este caso se utilizó el Sikadur 32 Gel que es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas.



*Figura 50. Colocación de puente de adherencia.*

Creado con

**Paso 6.** Para el relleno de los orificios debe emplearse barras de acero corrugado del diámetro y tamaño que el diseño arroje, puede verse los diámetros en la Figura 45. Para que el acero tenga una adherencia óptima con la losa de hormigón no es suficiente la aplicación del puente de adherencia descrito en el anterior punto, debido a que este sólo recubre las paredes del orificio y no así todo el volumen del mismo. Para el relleno de todos los espacios vacíos se puede emplear productos tixotrópicos de dos componentes en base de resinas epoxicas como el Sikadur 31 que es un material que sirve o se emplea también para anclajes en hormigones.

Este mortero epóxico debe empujar las barras de tal manera que los excedentes del producto sean expulsados en el momento de la inserción dentro de los orificios, tal como se muestra en las imágenes siguientes.



Creado con



*Figura 51,52,53. Colocación de mortero epóxico, inserción de barra, terminado de orificio.*

Para concluir la reparación de las losas intervenidas con este tipo de reparaciones y dependiendo del espesor de la fisura es conveniente sellar la fisura, pero sólo si es espesor lo permite. Podemos decir que cualquier fisura que tenga menos de 0.50 mm no debería ser susceptible a ser sellada por la poca penetración de la silicona o sellante que se vaya a utilizar.

- Dowel Bar Retrofit. El método ya fue descrito anteriormente en el análisis del Proyecto Oruro-Toledo.
- Slot-Stitching. Es una técnica que se utiliza para la reparación de fisuras longitudinales. El propósito de este tipo de reparación es de proveer una interconexión mecánica positiva entre dos losas o segmentos. Las barras deformadas colocadas dentro de las ranuras mantendrá los segmentos juntos. Estas barras a diferencia de las que se utilizan en el Cross Stitching son de acero corrugado y dobladas en forma de grapas.

La inserción de las barras de amarre debe realizarse perpendicularmente a la fisura longitudinal, a manera de amarre entre los dos pedazos de la losa. El número de barras a ser insertadas dependerá de la longitud de la fisura, las barras deben estar distanciadas entre sí por 60 cm como máximo (ver Figura 54), las dimensiones de las ranuras y los detalles constructivos para la inserción de las grapas se presentan en la figura 55. Se debe cuidar que el corte tenga la profundidad suficiente para que la barra quede a la altura especificada del diseño.

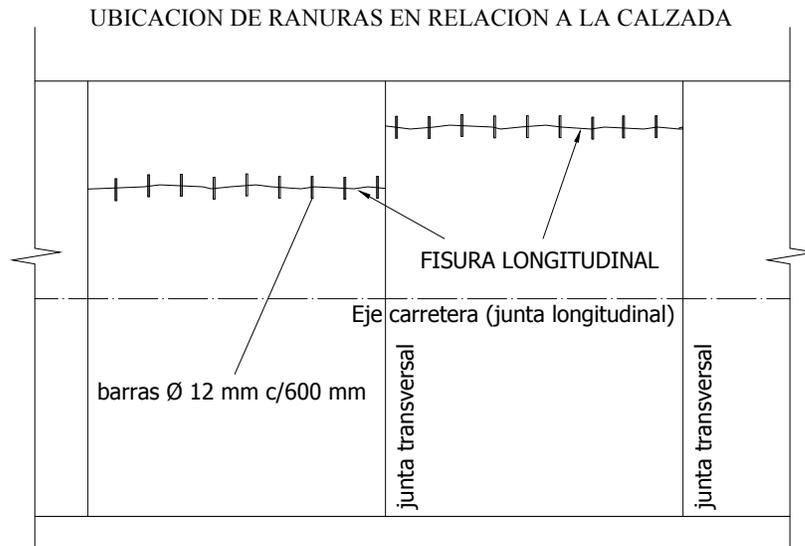


Figura 54. Ubicación de las ranuras en la fisura longitudinal

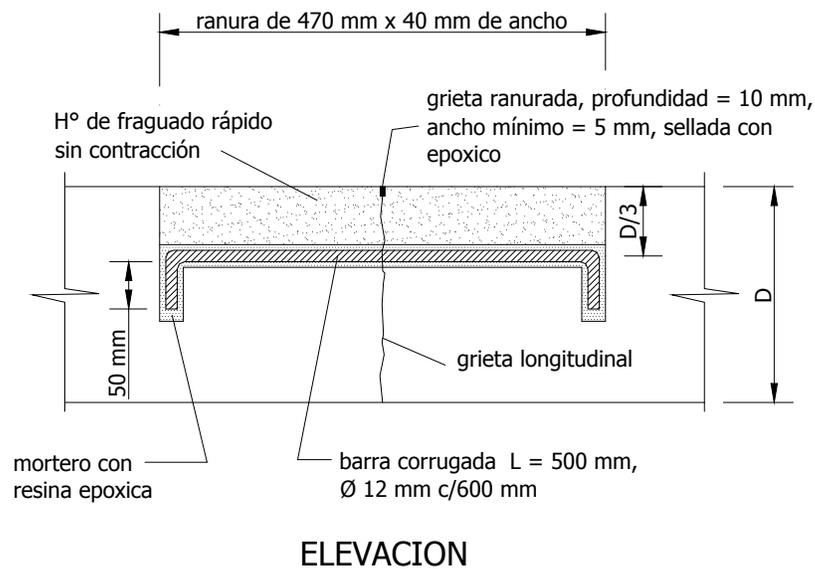


Figura 55. Detalles constructivos para la inserción de grapas.

La fase constructiva para esta técnica es muy parecida a la metodología descrita en el Dowel Bar Retrofit que corresponde a la inserción de barras de transferencia de carga, básicamente se siguen los mismos pasos utilizando los mismos equipos y materiales, la diferencia está en la forma de las barras insertadas y su ubicación en las fisuras.

### **Paso 1. Corte de las ranuras que albergarán las barras.**

El primer paso es marcar en el pavimento las dimensiones de las ranuras, espaciadas de acuerdo con el diseño, y bien alineadas y centradas con la fisura. El corte se realiza con máquinas de aserrado con discos diamantados. Se debe cuidar que la profundidad del corte esté de acuerdo al diseño.

### **Paso 2. Picado del hormigón de las ranuras**

Luego de realizar los cortes el picado se hace con la ayuda de un martillo neumático pequeño, de forma que no se dañe las paredes de la losa. Se debe picar hasta la profundidad especificada en el diseño, tratando de dejar una superficie horizontal en la base de la ranura.

Adicionalmente se deben picar dos orificios en los extremos de la ranura, éstos albergarán los brazos de las grapas introducidas, sus dimensiones deben ser las mismas que las presentadas en el diseño de la figura 55.



*Figura 56. Ranuras listas para la colocación de grapas  
(Proyecto Ancaravi-Huachacalla)*

### **Paso 3. Limpieza de la ranura**

La ranura debe limpiarse de todo resto y polvo con agua a presión, luego de haberse secado totalmente se debe aplicar la limpieza con aire comprimido. Se debe cuidar que en estas operaciones no quede ningún tipo de material en la fisura.

### **Paso 4. Preparación de la ranura.**

Una vez limpias las ranuras se procede a aplicar el puente de adherencia en sus paredes y en la base, esta operación se realiza con una brocha pequeña con cerdas gruesas. También se debe sellar la fisura en la base y paredes de la ranura, esto se hace para evitar que el mortero ingrese a la fisura. La aplicación del material sellante normalmente se hace con pistolas inyectoras de silicona.

### **Paso 5. Colocación de las barras de amarre (grapás)**

Las barras deben ser recubiertas completamente con una capa de ligante epóxico o puente de adherencia para garantizar su sujeción al hormigón de relleno. Los brazos de las grapas deben ser introducidos en los huecos calados dentro de la ranura. Para la aplicación de esta técnica no se debe introducir separadores de plastofomo como en la inserción de barras de transferencia, debido a que no es necesario inducir al hormigón a la fisuración.

### **Paso 6. Preparación y Colocado del hormigón.**

Al igual que para la inserción de barras de transferencia de carga, para esta técnica es conveniente realizar la preparación del hormigón en obra, debido a los pequeños volúmenes requeridos. Una mezcladora pequeña será suficiente para realizar estas operaciones. La dosificación se debe realizar en peso, para lo cual se debe contar con una balanza portátil. Se debe controlar la dosificación para cada preparación.

El colocado del hormigón es manual. Se debe rellenar completamente cada ranura, luego se procede al vibrado del hormigón, para esta operación se deben usar vibradores manuales con cabezales de diámetro de 25 mm, para que éste pueda

Creado con

ingresar libremente en la ranura.

### **Paso 7. Terminado y curado del hormigón.**

Luego de vibrado el hormigón se debe enrasar a la superficie del pavimento, esta operación se realiza con planchas metálicas pequeñas. El curado deberá ser de acuerdo a las necesidades del lugar, en el caso del proyecto Ancaravi-Huachacalla se procedió de igual manera que la losa de hormigón, cubriendo las reparaciones con polietilenos y mantas geotextiles.



*Figuras 57, 58. Ranuras rellenas y en proceso de curado.*

Para el relleno de las ranuras se utilizaron morteros predosificados enriquecidos con gravillas de 3/8", el producto empleado para el relleno fue el Sikagrout 212 y 214.

### **Paso 8. Desbastado de la superficie.**

Debido a la utilización de hormigones expansivos para el relleno de las ranuras, se requiere desbastar la superficie para evitar irregularidades por el hinchamiento del hormigón. Para esto se utiliza un equipo de pulido (desbaste) con discos diamantados. Esta operación se puede realizar 24 horas después del colocado del hormigón. Se debe

Creado con

tener cuidado de no desbastar demasiado la superficie para no crear depresiones.



*Figura 59. Equipo para el desbaste de la superficie.*

### **Paso 9. Sellado de la fisura.**

Una vez concluidas las operaciones de desbastado se puede proceder a sellar la fisura en toda su longitud, siempre con un criterio sano para determinar la necesidad de la aplicación de sello dependiendo del espesor de las fisuras, para esto se pueden aplicar sellantes del tipo silicona o materiales asfálticos colocados en caliente. La colocación del material sellante debe realizarse con el cuidado de no derramar material fuera de las fisuras. En el caso específico del Proyecto Ancaravi-Huachacalla se utilizó el producto Sikaflex 1A y Sikaflex 15 LM.

- Sello de Fisuras. El sellado de fisuras fue realizado con materiales ya mencionados anteriormente como ser el Sikaflex 1A y el Sikaflex 15LM, dependiendo del espesor las fisuras pueden ser descritas como superficiales y no comprometen la estructura de la losa de hormigón, sin embargo en el Proyecto Ancaravi-Huachacalla se procedió al sellado de 2,023 losas con fisuras de espesor menor a 0.50 mm, trabajo que se realizó como preventivo.



*Figura 60. Sello en fisura superficial.*

Para la ejecución de este sellado se procede de una manera bastante simple, procediendo a la limpieza de la fisura con aire a presión y posteriormente a la aplicación del sello sobre la fisura.



*Figura 61. Aplicación de Sello en fisuras.*

Creado con

- **Reposición de losas** . Este método a diferencia de todos los otros mencionados anteriormente es destructivo, esta determinación se debe tomar solamente cuando la losa esté subdividida en más de tres segmentos y cuando se compruebe que las fisuras son de espesor total, mientras tanto se podrá recurrir a otros métodos de reparación no destructivos.

En vista de que un pavimento rígido está dividido en losas de un cierto tamaño, generadas por los cortes previstos para la inducción de la fisuración.

### **Paso 1. Corte en segmentos más pequeños de las losas**

Tal cual se describe en el título, la segmentación de la losas normalmente se hace en cuatro partes realizando cortes internos en la losa aproximadamente a una distancia de 40 a 60 cm de las juntas transversal y longitudinal, esto con el fin de no cortar las barras de acero de transferencia o de amarre respectivamente.



*Figura 62. Sub división de las losas a ser repuestas.*

## Paso 2. Retiro de los segmentos de losa.

Este retiro debe ser mecanizado tal como se puede ver en la figura 63.

Las losas que fueron repuestas en el tramo Ancaravi-Huachacalla fueron definidas de diferente tamaño, en coordinación con la Supervisión del Proyecto se determinó la reconstrucción de las losas como losas cortas, generando losas de 2.00 x 2.00 mts. Y no de 4.00 x 4.00 como el resto del tramo.

Si bien la cantidad de losas repuestas es muy pequeña sirvió de ejemplo y sector para hacer un seguimiento a lo largo del tiempo. A la fecha las losas cortas no han sufrido ningún tipo de deterioro por lo se puede concluir que la técnica funciona.



*Figura 63. Retiro mecanizado de los segmentos de losa.*

- **Desportillamientos y Oquedades.** Se ha verificado la existencia de deficiencias menores puntuales en la superficie del pavimento, las cuales se enmarcan en la clasificación de “Desprendimiento” según el Pliego de Especificaciones Técnicas del proyecto Ancaravi-Huachacalla.

Estos desprendimientos se deben a la presencia de material orgánico en la superficie del pavimento, el cual quedó expuesto en la superficie del mismo debido al efecto de vibrado del hormigón durante el colocado, creando puntos débiles de dimensiones

Creado con

generalmente menores a los 10 cm.



*Figuras 64 y 65. Desprendimientos superficiales*

Los trabajos que deben realizarse en estos casos, son los siguientes:

**Paso 1.** Inspección de todo el tramo e identificación de puntos debilitados por presencia de materia orgánica u otros.

**Paso 2.** Picado de la superficie afectada con herramienta manual, teniendo el cuidado de llegar a extraer la totalidad del material suelto.

**Paso 3.** Lavado con chorro de agua a presión.

**Paso 4.** Aplicación de puente de adherencia en las paredes del área picada

**Paso 5.** Reposición del hormigón del área afectada mediante el vaciado con hormigón de altas prestaciones, expansivo y de fraguado acelerado.

**Paso 6.** Aplicación de membrana de curado sobre el área vaciada.

Creado con

**Paso 7.** Protección del Tráfico durante 24 horas mediante señalización.

Los materiales que se utilizan para la Reparación de Desprendimientos, es el siguiente:

Puente de Adherencia: Sikadur 32 - Gel

Hormigón: Sikagrout 214

### **COSTOS UNITARIOS.**

Todos los costos que intervienen en este tipo de reparaciones se detallan en el anexo.

Creado con

## CAPITULO III

### 3.1 PROYECTO ORURO – TOLEDO.

#### UBICACIÓN.

El Proyecto Oruro-toledo fue la primer carretera de pavimento rígido construida en Bolivia y el ejecutor de este tramo carretero fue el Consorcio Toledo conformado por SOBOCE S.A. y las empresas constructoras Illimani de La Paz y CONOC de la ciudad de Oruro. La obra fue adjudicada por el Directorio Ejecutivo del Servicio Nacional de Caminos (SENAC). Esta carretera es un tramo del corredor hasta la localidad fronteriza de Pisiga, que se constituye en un importante corredor de exportación hacia el Puerto de Iquique en Chile. La longitud total del tramo fue de 37.8 km y va desde la capital Oruro hasta la localidad de Toledo.

Para ejecutar este proyecto, el gobierno de Bolivia recibió financiamiento de la Corporación Andina de Fomento (CAF) para el proyecto denominado “Mejoramiento y Pavimentación de la carretera Oruro – Toledo”. La contraparte nacional fue cubierta con recursos del Tesoro General de la Nación.

La construcción de esta vía comprendió un paquete estructural de 22 cm. de espesor de pavimento rígido (hormigón), un ancho de vía de ocho metros y bermas de 0.80 m. a cada lado, ambas de hormigón.



Creado con

Foto 1. Tramo Oruro Toledo (Puente Español)



Foto 2. Ubicación Geográfica

### CARACTERÍSTICAS GENERALES.

El tramo Oruro-Toledo fue construido con el siguiente paquete estructural típico:

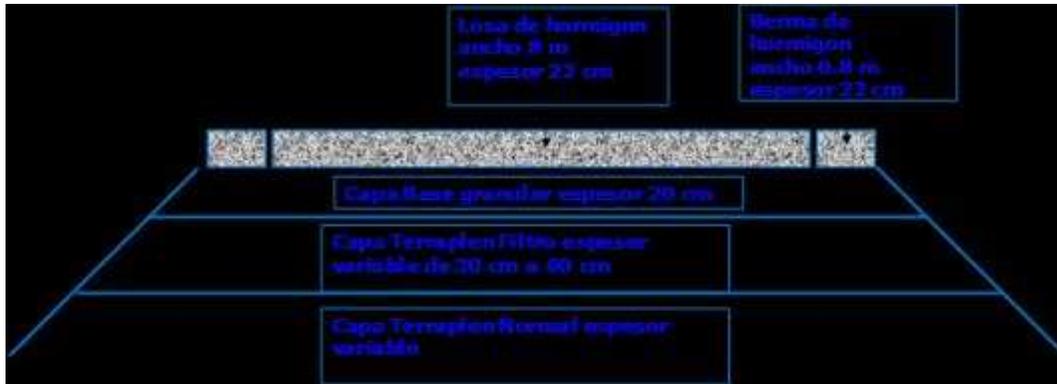


Figura 1. Paquete Estructural Típico

Proyecto Oruro - Toledo

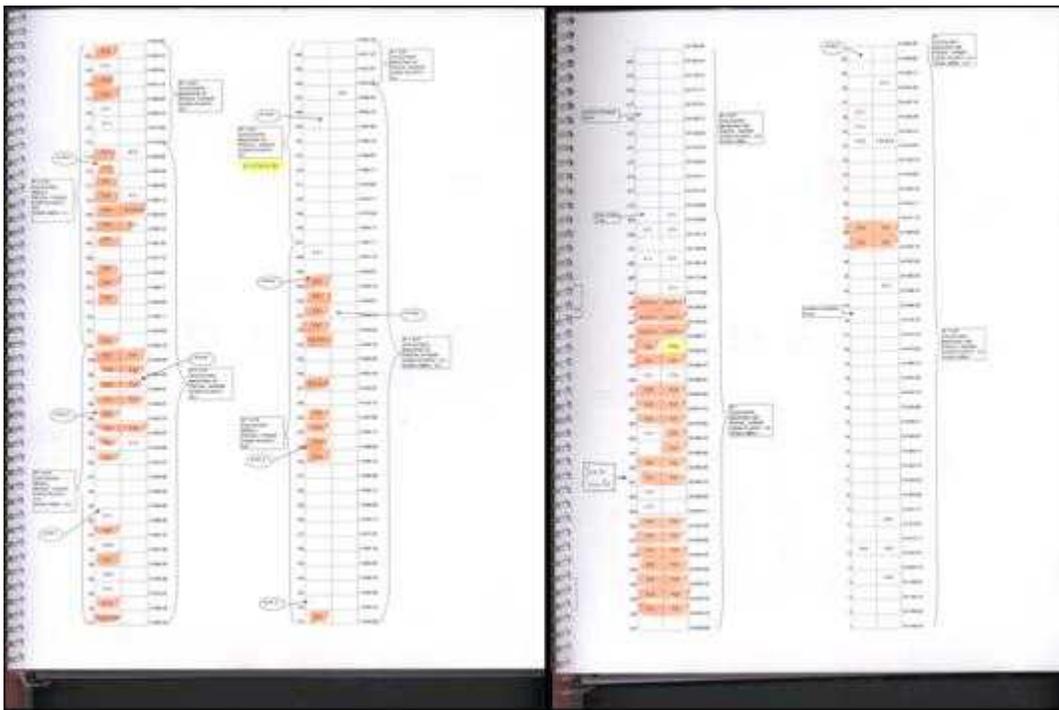
- Las losas fueron diseñadas con juntas cada 4.50 metros.
- La resistencia especificada de diseño fue 4.55 MPa a la flexotracción.

Creado con

- Los pasajuntas transversales definidas en acero liso fueron determinados con un diámetro de 25 mm de diámetro cada 30 centímetros.
- Las barras de amarre de acero corrugado se diseñaron con aceros de 12 mm de diámetro cada 60 centímetros de espaciamiento y con una longitud de 75 centímetros cada una.

### RELEVAMIENTO DE DETERIOROS.

El relevamiento de los deterioros observados se realizó mediante una detallada observación y transcripción de cada una de las losas existentes en el Proyecto, uno de los registros utilizados muestras podemos ver en la figura siguiente:



*Figura 2. Registro de campo, relevamiento de deterioros*

*Proyecto Oruro - Toledo*

Mediante los registros mostrados anteriormente, se pudo obtener los siguientes resultados generales del Proyecto:



*Figura 3. Estadística de fisuración.*

El relevamiento de los deterioros necesariamente deberá ser realizado a pie y mediante simple observación de todos los deterioros que se puedan observar.



*Figura 4. Inspección del tramo evaluado  
(Fuente: Pavement Surface Condition Rating Manual)*

Creado con

Se debe anotar a detalle todas las observaciones que se tengan, por carril, por tipo de deterioro y sus medidas o características observadas a simple vista.



*Figura.5. Recolección de datos de campo  
(Fuente: Pavement Surface Condition Rating Manual)*



*Figura 6. Medición de las características de los deterioros  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

Creado con



*Figura 7. Medición del ancho de las fisuras  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

Entre los datos más importantes que se deben tomar en cuenta y que fueron observados en el Proyecto Oruro-Toledo tenemos los siguientes:

- Mapeo de los deterioros, es decir, esquemas de los deterioros encontrados, dibujados con un grado de precisión suficiente para poder reconocerlos fácilmente en gabinete.
- Ancho de las fisuras o grietas encontradas, en milímetros.
- Ancho de los desportillamientos encontrados en fisuras o juntas, medido en centímetros.
- Diferencia de nivel entre losas con escalonamiento, medido en milímetros.
- Distancia a la junta más cercana de la fisura o grieta longitudinal y transversal.
- Dimensiones de las roturas de esquinas.
- Dimensiones de las reparaciones parciales anteriores o bacheos.
- Condición del material sellante de las juntas.
- Porcentajes del área de la losa afectada por deterioros superficiales.

Creado con

- Existencia de otros tipos de deterioros, como levantamientos localizados, bombeo de finos, etc.
- Condición general de la berma del carril en evaluación.

Una vez concluido el trabajo de campo, los resultados obtenidos arrojaron los porcentajes vistos en la Figura 3, donde se puede observar que se tuvo un 7.46% de losas fisuradas. En el caso de este tramo en particular los deterioros se centran en fisuras transversales de espesor total. Una muestra de las fisuras podemos observar en la siguiente fotografía:



*Foto3. Fisura transversal  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

### **RESULTADOS OBTENIDOS.**

Luego de realizado todo el trabajo de campo, se pudo obtener algunos resultados muy interesantes, primeramente se identificaron y categorizaron las losas por su tamaño en vista de que dependiendo del sector donde fueron construidas se adoptaron dos tamaños que son de 4.00 y 4.50 mts por cada lado.

Estos resultados los mostramos en la figura siguiente:

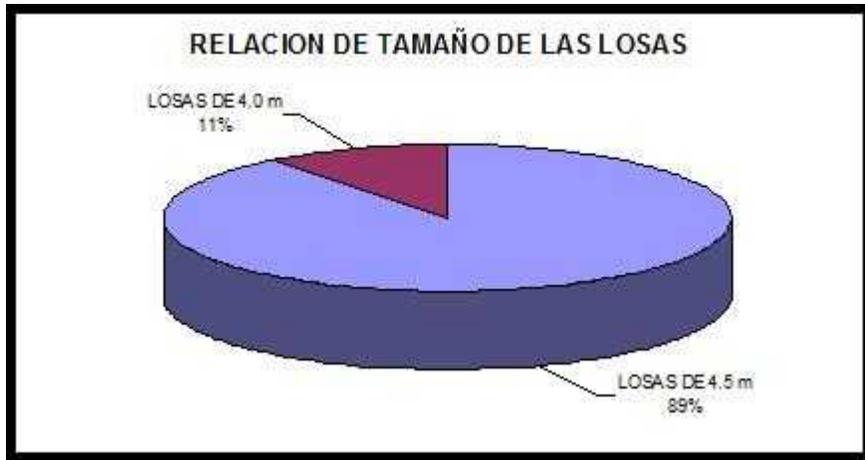


Figura 8. Estadística tamaño de losas

Posteriormente y basados en los registros de campo, los resultados observados en cuento a losas dañadas o con fisuras, se pudo extraer el siguiente resultado de este conjunto de losas:

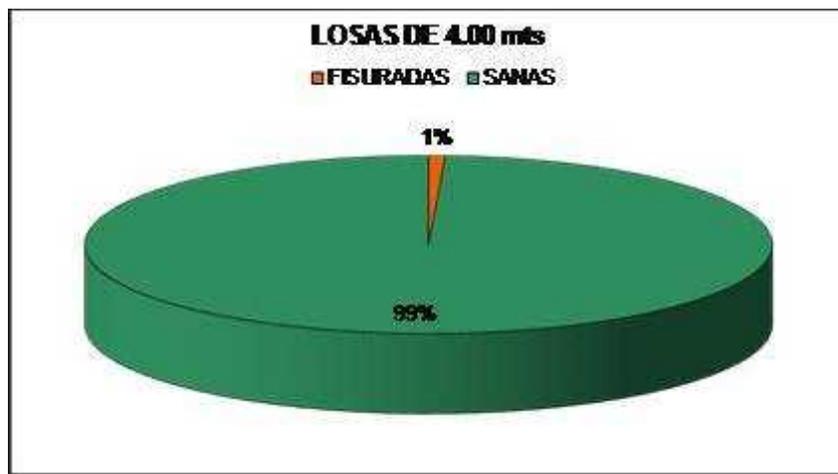


Figura 9. Losas fisuradas de 4.00 mts.

Tomando en cuenta que la mayor parte del tramo fue construido con losas de 4.50 mts. Era necesario analizar el mismo estado de estas a través de la estadística mostrada a continuación:

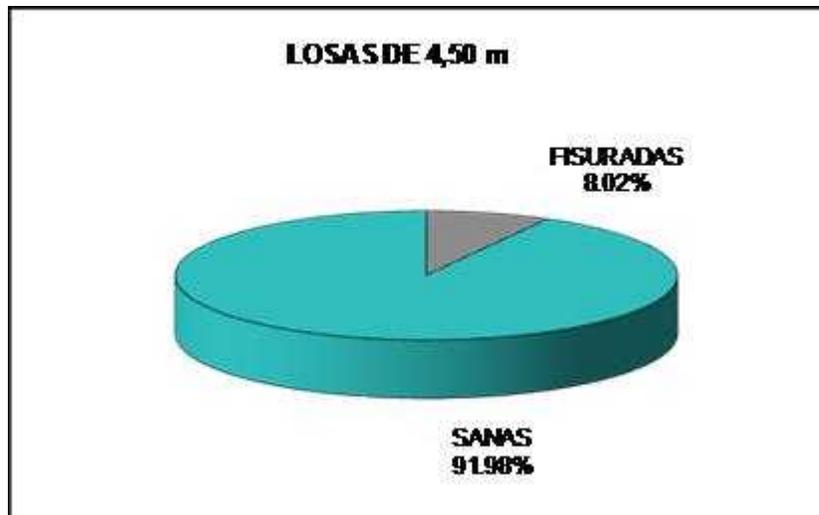


Figura 10. Losas fisuradas de 4.50 mts.

#### POSIBLES CAUSAS.

Una vez obtenidos todos los resultados y analizadas varias de las causas, se pudo centrar las posibles causas en tres, que describimos a continuación:

##### 1. Gradiente térmico.

Para el estudio de esta posible causa se hicieron análisis teóricos donde se encontraron esfuerzos dentro de las losas producidos por el alabeo de las mismas.

El alabeo o curvatura de las losas se produce principalmente por las diferentes tasas de contracción que sufre la superficie respecto a la base, además por diferencias de humedad y temperatura entre las caras superior e inferior del pavimento.

Generalmente se nota una curvatura cóncava (arqueamiento de las esquinas y bordes hacia arriba), cuando la superficie de las losas está más seca y sufre mayor contracción respecto a la base, o cuando la superficie está más fría que la base y se contrae más que la cara inferior. Esta curvatura puede resultar en una pérdida de contacto entre la losa y la subbase, la longitud

afectada por la pérdida de soporte generalmente se encuentra entre el 10 al 20% de la distancia entre juntas (Suprenant, 2002), sin embargo estos valores dependen mucho de las dimensiones de las losas, espesor, propiedades del hormigón y rigidez de la subbase. Se ha reportado que el movimiento vertical de las esquinas por alabeo puede ser hasta de 25 mm, pero típicamente se encuentra alrededor de los 6 mm.

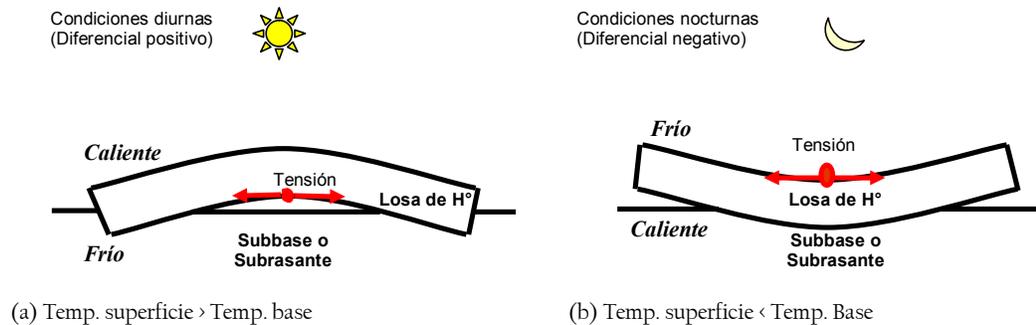


Figura 11. Representación esquemática del alabeo por gradientes térmicos.

El punto 2 de este apartado está también íntimamente ligado a lo expuesto en este punto, debido a que las dimensiones de las losas y sus espesores facilitarán o no la existencia u ocurrencia de los efectos del alabeo en las losas.

Para completar el concepto sobre alabeo podemos formular matemáticamente la expresión que combina los cinco componentes del alabeo en un pavimento.

$$\Delta T_{tot} = \Delta T_{gt} + \Delta T_{gh} + \Delta T_{gc} + \Delta T_{cs} - \Delta T_f$$

Donde:

$\Delta T_{gt}$  = Diferencial de temperatura entre la superficie y la base equivalente a (que produce la misma deflexión) la distribución de temperaturas en el espesor de la losa.

$\Delta T_{gh}$  = Diferencial de temperatura entre la superficie y la base equivalente a (que produce la misma deflexión) la distribución no lineal de los gradientes de humedad en el espesor de la losa. Esto representa la fracción reversible de la contracción diferencial por secado entre la superficie y la base.

$\Delta T_{gc}$  = Diferencial de temperatura entre la superficie y la base equivalente a la distribución no lineal de temperaturas atrapadas en el espesor de la losa al momento del fraguado.

$\Delta T_{cs}$  = Diferencial de temperatura entre la superficie y la base equivalente a la fracción irreversible de la contracción diferencial por secado entre la superficie y la base.

$\Delta T_f$  = Fracción de  $\Delta T_{gc}$  y  $\Delta T_{cs}$  recuperada por la fluencia del hormigón a tempranas edades.

## 2. Tamaño de las losas o espaciamiento entre juntas.

Existen recomendaciones básicas sobre este parámetro, como por ejemplo: la FHWA recomienda un espaciamiento máximo de 15 pies (4,5 m), la ACPA establece un espaciamiento máximo entre juntas para losas de espesores entre 175 Y 230 mm de 4.6 m., la PCA menciona que el principal factor para el diseño de separación de juntas transversales debe ser LA EXPERIENCIA LOCAL .

El espaciamiento entre juntas afecta la magnitud de los esfuerzos de flexión, los cuales están en función de la acción combinada de las cargas de tráfico y alabeo de losa por gradiente térmico.

## 3. Condiciones de colocado del hormigón.

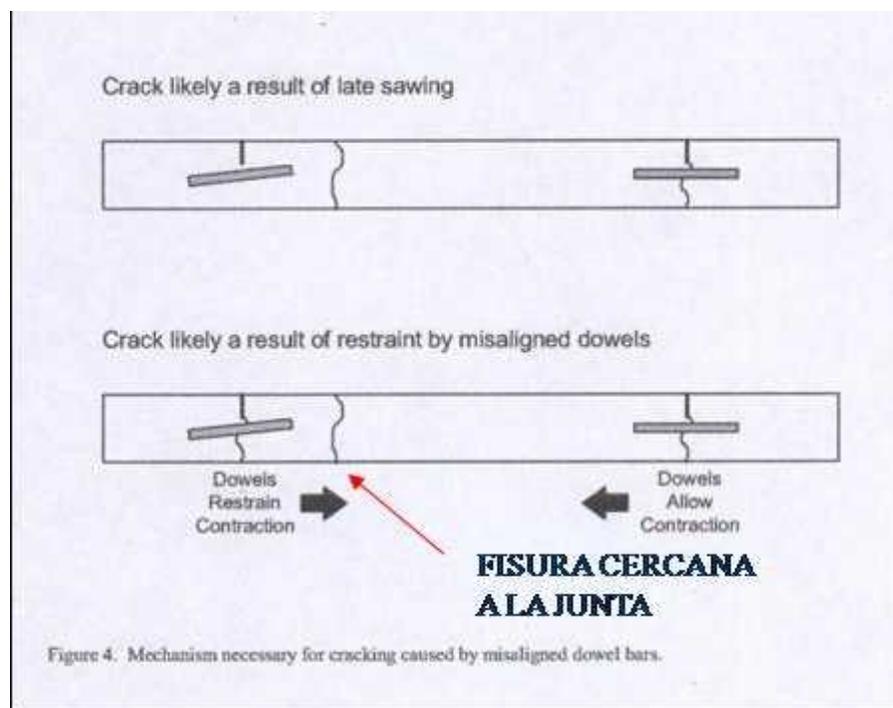
En todo pavimento se debe tomar en cuenta varios aspectos importantes para la colocación del hormigón, además de su cuidado, curado y puesta en

Creado con

servicio. Dentro de estos aspectos los más importantes a tomar en cuenta para la colocación del hormigón son los siguientes:

- Temperaturas del hormigón durante el colocado y fraguado
- Protección contra vientos
- Humedad ambiente
- Métodos de curado
- Distancias de transporte del hormigón
- Relación agua/cemento
- Equipos de colocado de hormigón.

Uno de los análisis efectuados y presentados en su momento por la Supervisión del Proyecto mencionaba una de las posibles causas como la ubicación las barras pasajuntas, esquematizado en el siguiente gráfico.



Creado con

De acuerdo a esta teoría se presentarían tensiones cercanas a las juntas provocando fisuración cercana a las juntas. En el caso del Proyecto en cuestión la mayor parte de estas fisuras se presentaron en el tercio central de las losas descartando esta posibilidad como una de las principales causas de los deterioros presentados en este tramo carretero.

#### **METODOS DE REPARACION.**

Tal como se expuso anteriormente, el principal tipo de deterioro presentado en el tramo Oruro – Toledo fueron fisuras de tipo transversal, ubicadas en el tercio medio de las losas de hormigón. Debido a que las losas una vez fisuradas trabajan ya de manera diferente, era necesario el restituir su funcionalidad por medio de métodos conocidos y que garanticen su eficacia en la restitución de las características estructurales de las losas de hormigón y del pavimento en su conjunto.

Esta es una técnica de rehabilitación preventiva consiste en cortar ranuras en el pavimento para la inserción de barras de transferencia, y luego rellenarlas con hormigones preparados de manera tal no se retraigan o mejor aun puedan expandirse.

La colocación de barras de transferencia de carga (*Dowel Bar Retrofit*), restituye la eficiencia de la transferencia de carga en las grietas y juntas transversales en los pavimentos, al enlazar los trozos contiguos de modo tal que se distribuya la carga uniformemente y las tensiones en los bordes se reduzcan sustancialmente.

Este método es recomendable en fisuras trasversales con anchos menores a 1 cm. para prevenir la pérdida de transferencia de carga o en juntas en las que se presente una deficiente transferencia de carga entre la losa de aproximación y alejamiento, o dicho en otras palabras, existan asentamientos o un movimiento diferencial entre estas losas debido a la acción de las cargas.

El mejoramiento de la transferencia de cargas incrementa la capacidad estructural del pavimento y reduce el potencial de escalonamiento, debido a la disminución de las tensiones y deflexiones en el pavimento. Su configuración geométrica, el número de barras a colocar por junta y el tipo de acero a utilizar se determinan principalmente en función a las cargas de tránsito a las que estará sometido el pavimento.

Creado con



Figura 12. Transferencia de carga

Su colocación se efectúa siguiendo los siguientes pasos:

- Corte de ranuras en el pavimento rígido a través de la junta o grieta para almacenar las barras de traspaso.
- Demolición, remoción del hormigón de la ranura.
- Limpieza de las ranuras mediante agua a presión y aire a compresión.
- Aplicación del puente de adherencia a las paredes y sellado de la fisura dentro la ranura.
- Colocación y alineación de las barras de traspaso con su respectivo separador alineado con la grieta o junta.
- Relleno de ranuras con el nuevo hormigón.
- Desbastado de la superficie (si fuese necesario).
- Sellado de la fisura.

El diseño de estos elementos incluye considerar el número, diámetro y separación de las barras a ser insertadas. Los diámetros mayores y las separaciones menores entre barras reducen las tensiones por transferencia de carga entre las losas, lo cual reduce significativamente los deterioros y el escalonamiento en juntas.

Se ha determinado mediante un estudio de investigación realizado en el estado de Florida que juntas con 6 barras de transferencia de carga (3 en cada huella de los vehículos) desarrollaban esfuerzos y deflexiones similares a las juntas con 5 barras por huella, y el efecto en la prevención del desarrollo de escalonamientos era el mismo. Por otra parte la práctica internacional ha venido empleando esta configuración de 3 barras en cada huella con buenos

resultados, es por esta razón que se adopta este número de barras.

### **Deterioros del pavimento que requieren la inserción de barras de transferencia**

La aplicación de esta técnica se restringe a deterioros de severidades bajas y moderadas, debido a que es una técnica preventiva, y no correctiva. El objetivo principal de la aplicación de esta metodología es el de evitar escalonamientos en fisuras transversales que se desarrollarían con el tráfico pesado en caso de que se dejara las fisuras sin transferencia de carga. Igualmente para reparaciones de espesor total que introducen nuevas juntas transversales al pavimento.

Esta técnica puede ser aplicada en los siguientes casos:

- Fisuras transversales de severidad baja y media, es decir, con anchos menores a 8 mm, para prevenir la pérdida de la transferencia de carga y disminuir las tensiones en los bordes de las losas.
- En reparaciones de espesor total, ya que al cortar una determinada área de la losa se están creando nuevas juntas transversales que requieren la inserción de barras de transferencia.
- En pavimentos que han sido construidos sin barras pasajuntas, y que muestran signos de escalonamientos o asentamientos diferenciales entre losas contiguas, de esta manera se detiene el progreso de este deterioro para evitar la disminución en la serviciabilidad del pavimento.

Creado con



*Figura 13. Inserción de barras en reparación de espesor total.*

*(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*



*Figura 14. Fisura transversal de severidad baja con necesidad de inserción de barras*

*(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*



*Figura 15. Junta con escalonamiento moderado con necesidad de inserción de barras de transferencia de carga*

### **Selección de materiales**

Para la aplicación de esta técnica se requieren hormigones y/o morteros que no sufran contracción durante el secado o preferentemente hormigones expansivos. La resistencia a compresión del hormigón de relleno debe ser superior a 20 MPa en 24 horas, pudiendo llegar hasta 60 MPa a los 28 días. Estas altas resistencias son necesarias debido a que el tamaño de las ranuras rellenas es pequeño y sufren concentraciones de tensiones que deben ser absorbidas por el hormigón.

Creado con

Se deberán utilizar preferentemente hormigones y/o morteros predosificados, estos productos ya contienen los aditivos necesarios para cumplir con las exigencias descritas anteriormente. Uno de los productos utilizados para esta técnica en el Proyecto Oruro – Toledo fue el SIKAGROUT 212 que ha sido aplicado con éxito en nuestro medio. El tamaño máximo de los agregados deber ser menor a 10 mm, debido a que el área donde serán aplicados tendrá dimensiones de poco espesor.

Para garantizar la adherencia a las paredes es necesaria la aplicación de un puente de adherencia, este producto debe ser del tipo adherente hormigón viejo – hormigón fresco. Se aplicó con éxito en el proyecto Oruro – Toledo el producto SIKADUR32, puente de adherencia epóxico. Para el sellado de la fisura en la ranura se puede utilizar un sellante de silicona por su fácil aplicación, uno de estos productos es el SIKAFLEX1a, aplicado con buenos resultados.

Las barras de acero deben ser lisas y de diámetro mayor o igual a 25 mm, con tensión de fluencia mínima de 2500 Kg/cm<sup>2</sup>.

Para el curado se requiere de membranas líquidas para ser colocadas sobre los hormigones de relleno.

### **Consideraciones sobre el diseño de las ranuras**

La inserción de las barras de transferencia debe ejecutarse en los carriles de tracción del pavimento, es decir, en el sector por donde circulan normalmente las llantas de los vehículos, para esto se deben considerar las distancias especificadas en la figura 16. que presenta un plano tipo para la aplicación de esta técnica. El número de barras a ser insertadas será de 3 por huella, es decir 6 por cada fisura transversal en cada carril, las separaciones y dimensiones de las ranuras para la inserción de las barras se presentan en la figura 16.

Cuando este tipo de reparación se ejecutada en losas con fisuras transversales se debe tener particular cuidado que el centro de la barra coincida exactamente con la fisura, de manera que la longitud de acero introducida en cada lado de la losa sea la misma. El corte de las ranuras debe estar paralelo a la junta longitudinal, de forma que se inserten barras alineadas paralelamente y se eviten las restricciones al movimiento por barras inclinadas en cualquier

sentido. Los cortes deben tener la profundidad suficiente para que la barra quede en el centro del espesor de la losa.

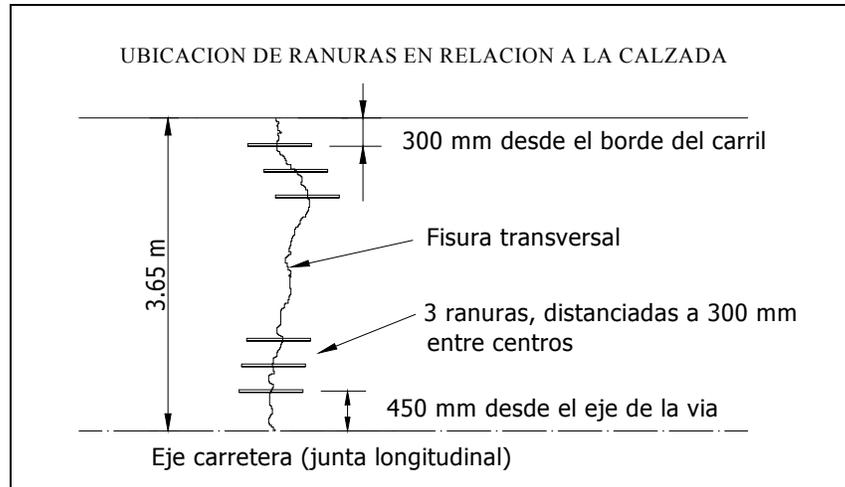


Figura 16. Ubicación de las ranuras en la superficie de la losa fisurada (Fuente: Supervisión técnica Proyecto Oruro - Toledo)

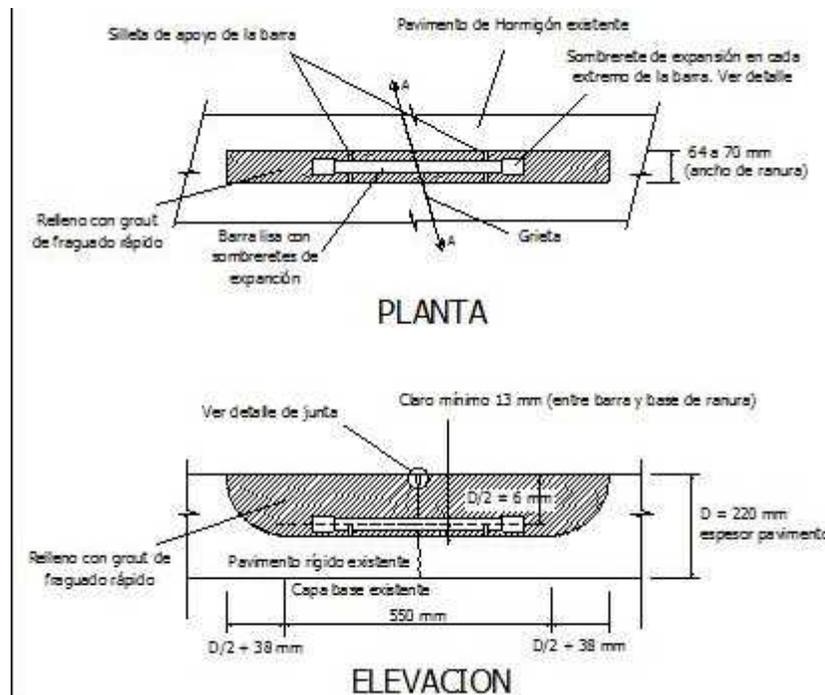


Figura 17. Detalles constructivos para la inserción de barras de transferencia (Fuente: Supervisión técnica Proyecto Oruro - Toledo)

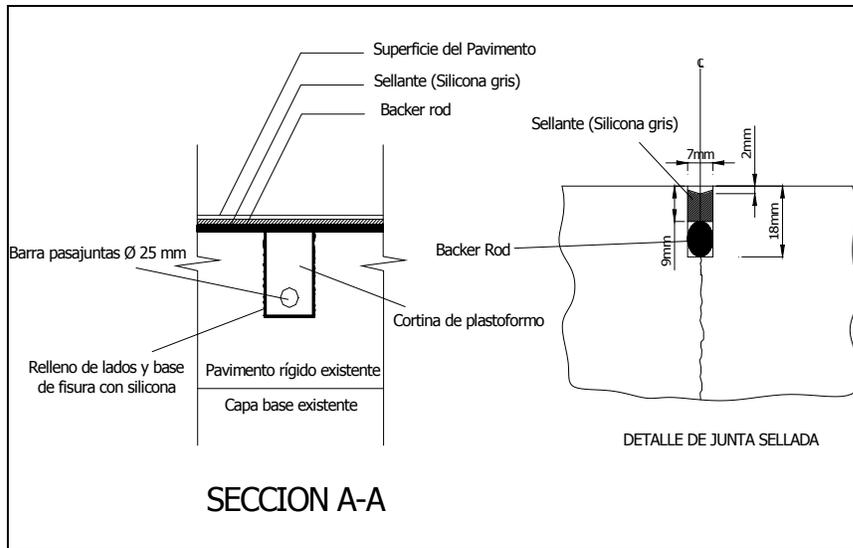


Figura 18. Detalles constructivos para la inserción de barras de transferencia  
(Fuente: Supervisión técnica Proyecto Oruro - Toledo)

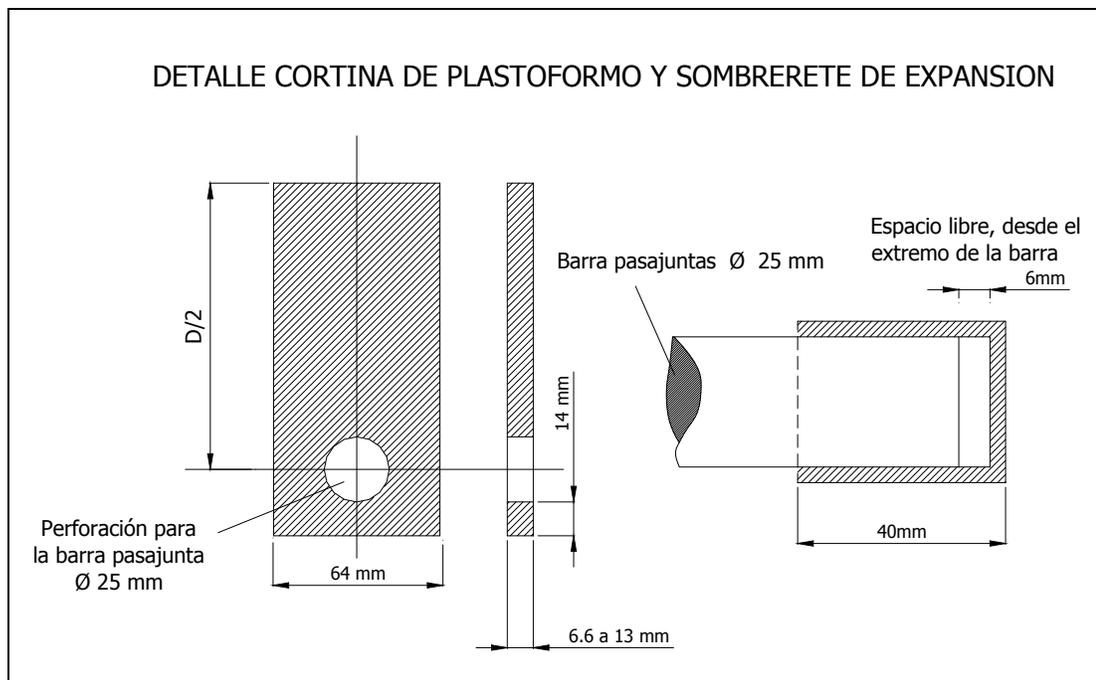


Figura 19. Detalles constructivos para la inserción de barras de transferencia  
(Fuente: Supervisión técnica Proyecto Oruro - Toledo)

## Construcción

### Corte de las ranuras que albergarán las barras

El primer paso es marcar en el pavimento las dimensiones de las ranuras, espaciadas de acuerdo al diseño, alineadas y centradas con la fisura. Se realizarán 12 cortes por cada losa fisurada, para las 6 ranuras necesarias. El corte se realiza con máquinas cortadoras y con discos diamantados específicos para el corte de hormigón. Se debe cuidar que la profundidad del corte esté de acuerdo al diseño.



*Figuras 20. Corte de las ranuras para la inserción de barras de transferencia  
(Fuente: proyecto Oruro – Toledo)*

### Picado del hormigón de las ranuras

Luego de finalizados los cortes el picado se realiza con la ayuda de un martillo neumático con el fin de agilizar el trabajo, es importante tener el cuidado necesario para que no se dañe las paredes de la losa. Se debe picar hasta la profundidad especificada en el diseño, tratando de dejar una superficie horizontal en la base de la ranura.

Creado con



*Figura 21. Picado de las ranuras (Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

### **Limpieza de la ranura**

La ranura debe limpiarse de todo resto y polvo con agua a presión (hidrolavadora), luego de haberse secado totalmente se debe aplicar la limpieza con aire comprimido. Se debe cuidar que en estas operaciones no quede ningún tipo de material en la ranura ni en la fisura.



Creado con



*Figuras 22. Limpieza de las ranuras con aire a presión  
(Fuente: WisDOT Construction report: Retrofit Dowel Bars on STH 13)*



*Figura 23. Ranuras listas para el colocado de las barras de transferencia  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

### **Preparación de la ranura**

Una vez limpias las ranuras se procede a aplicar el puente de adherencia en las paredes y en la base, esta operación se realiza con una brocha pequeña. También se debe sellar la fisura en la base y paredes de la ranura, esto se hace para evitar que el

Creado con

mortero ingrese a la fisura. La aplicación del sellante se hace con pistolas inyectoras de silicona.



*Figura 24. Sellado de la fisura en la ranura*

*(Fuente: WisDOT Construction report: retrofit dowel bars on STH 13)*

### **Preparación y colocación de las barras de transferencia**

Las barras deben ser recubiertas completamente con una capa de aceite o grasa para evitar su adherencia al hormigón, y de esta manera garantizar el libre movimiento de las losas. Las barras serán asentadas sobre dos silletas metálicas con el objetivo de elevar las barras y así permitir que el hormigón colocado recubra totalmente a las barras, con una elevación según lo indicado en el diseño.

Se debe colocar dos vainas o capuchones en las puntas de la barra, estos capuchones tienen la finalidad de dejar un espacio vacío para permitir el desplazamiento de la barra en su interior, en caso de producirse expansiones en las losas. Un tablero de plastoformo de ser colocado a media barra, para que actúe como barrera entre las dos partes de la losa, generando de esta forma la junta y guardando espacio para el sellado. Esta barrera debe cubrir toda el área de la ranura, para evitar que el hormigón pase de un lado de la fisura al otro.



*Figuras 25. Preparación de las barras de transferencia de carga.  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo y WisDOT Construction report: DBR on STH 13)*

La colocación de las barras debe realizarse cuidando la alineación de éstas y haciendo coincidir el centro de la barra con la fisura. El tablero de plastroformo debe quedar perfectamente alineado con la fisura, y debe cubrir toda el área transversal de la ranura. Durante la colocación de las barras se debe evitar el contacto manual con las paredes, ya que se puede limpiar accidentalmente el puente de adherencia que ha sido aplicado.



*Figuras 26. Colocación de las barras de transferencia de carga  
(Fuente: Proyecto Oruro-Toledo, WisDOT Construction report: retrofit dowel bars on STH 13)*



*Figuras 27. Colocación de las barras de transferencia de carga  
(Fuente: Proyecto Oruro-Toledo, WisDOT Construction report: retrofit dowel bars on STH 13)*

### **Preparación y Colocado del hormigón**

Para este tipo de reparaciones es conveniente realizar la preparación del hormigón en obra, debido a los pequeños volúmenes requeridos. El volumen de cada ranura está entre 6 y 9 litros, una mezcladora pequeña será suficiente para realizar estas operaciones. La dosificación se debe realizar en peso, para lo cual se debe contar con una balanza portátil. Se debe controlar la dosificación para cada preparación.

Los hormigones con aditivos expansivos, fluidificantes y acelerantes presentan características de trabajabilidad muy especiales, es por este motivo que se debe tener cuidado con la adición de agua, ya que si se aumenta en exceso el hormigón puede transformarse en una mezcla muy fluida.

Creado con



*Figura 28. Preparación del hormigón en obra.  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

El colocado del hormigón se realiza con la ayuda de carretillas y baldes pequeños, su aplicación es manual. Se debe rellenar completamente cada ranura, luego se procede al vibrado del hormigón, para esta operación se deben usar vibradores manuales con cabezales de diámetro menor a 30 mm, para que éste pueda ingresar libremente en la ranura. Durante el vibrado se debe tener el cuidado de no tocar las barras ni la barrera de plastroformo, de forma que no queden desalineados o fuera de su lugar.



*Figuras 29,30,31.*

*Colocado y vibrado del hormigón*

*(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

Creado con

## Terminado y curado del hormigón

Luego de vibrado el hormigón se debe enrasar la superficie del pavimento, esta operación se realiza con planchas metálicas pequeñas. Durante el acabado los obreros deben asegurarse de que la barrera de plastoformo se mantenga alineada con la fisura, si no lo estuviese se debe corregir antes de terminar la superficie. El curado se realiza mediante el rociado de compuestos líquidos específicos para el curado del hormigón, este tipo de producto puede ser el mismo que se hubiese utilizado en el curado de la losa de hormigón, lo que se debe garantizar es la formación de una membrana en la superficie el hormigón.



*Figura 32. Rellenado terminado y curado  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

## Desbastado de la superficie

Cuando se utilicen hormigones expansivos para el relleno de las ranuras, será necesario desbastar la superficie para evitar irregularidades por el hinchamiento del hormigón. Para esto se utilizará un equipo de pulido de superficies con discos diamantados. Esta operación se puede realizar 24 horas después del colocado del hormigón. Se debe tener cuidado de no desbastar mucho la superficie, para no crear depresiones en el pavimento.

Creado con



*Figuras 33 y 34. Desbastado superficial  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

### **Sellado de la fisura**

Una vez concluidas las operaciones de desbastado se debe proceder a sellar la fisura en toda su longitud, para esto se pueden aplicar sellantes del tipo silicona (Fig. 35) o materiales asfálticos colocados en caliente (Fig. 36).



*Figuras 35 y 36. Fisuras selladas. Reparación terminada  
(Fuente: Proyecto Oruro – Toledo)*

Para la apertura al tráfico deberá controlarse el desarrollo de la resistencia del hormigón mediante la rotura de probetas que se hayan tomado durante el colocado. Se podrá liberar al tráfico los tramos reparados una vez que la resistencia del hormigón de relleno sea mayor a 20 MPa, esto generalmente se consigue a las 24 horas de vaciado.

Se ha determinado en un estudio de más de diez años de duración que la inserción de barras de transferencia de carga que fue realizada durante 1992 en secciones de pavimentos de la investigación mencionada, han mantenido entre el 70 y el 90 % de la transferencia de carga durante este tiempo.

La experiencia internacional recomienda la utilización de esta técnica en pavimentos que no tengan losas subdivididas o deterioros severos. La inserción de barras de transferencia es apropiada en losas con escalonamientos menores, es decir, cuando se ha empezado a notar este problema, una vez avanzado el deterioro esta técnica no será efectiva ni económica.

#### **COSTOS UNITARIOS.**

Todos los costos que intervienen en este tipo de reparaciones se detallan en el anexo .

Creado con

### 3.2 PROYECTO ANCARAVI – HUACHACALLA.

#### UBICACIÓN.

El Proyecto Ancaravi – Huachacalla fue construido con una longitud de 69.615 Km. y constituye el tramo III de la carretera Oruro – Pisiga que forma parte de la Ruta Fundamental N° 12 siendo Caihuasi (punto de unión con la Ruta Fundamental N° 4), Oruro - Toledo – Ancaravi – Huachacalla -Pisiga (Frontera con la República de Chile).

Ubicada en las Provincias Litoral y Atahuallpa del Departamento de Oruro, teniendo como las principales poblaciones a Ancaravi, Opoqueri y Huachacalla.

La construcción de este tramo fue adjudicada por el Consorcio Vial Cumbre compuesto por las empresas constructoras Cruceña Ltda, Minerva Ltda. e IASA Ltda., esta obra fue ejecutada por un monto de 23'127,293.64 \$us.



*Foto 4. Tramo Ancaravi – Huachacalla (Prog. 100+500)*

Creado con

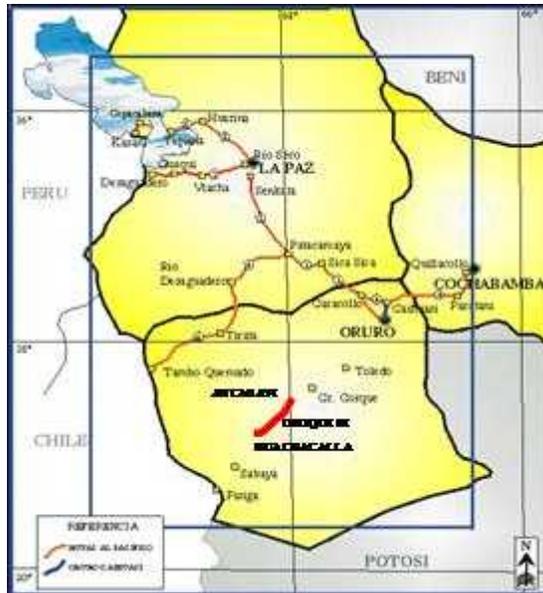


Foto 5. Ubicación Geográfica – Tramo Ancaravi-Huachacalla

## CARACTERÍSTICAS GENERALES.

El tramo Ancaravi-Huachacalla ha sido construido con el siguiente paquete estructural típico:

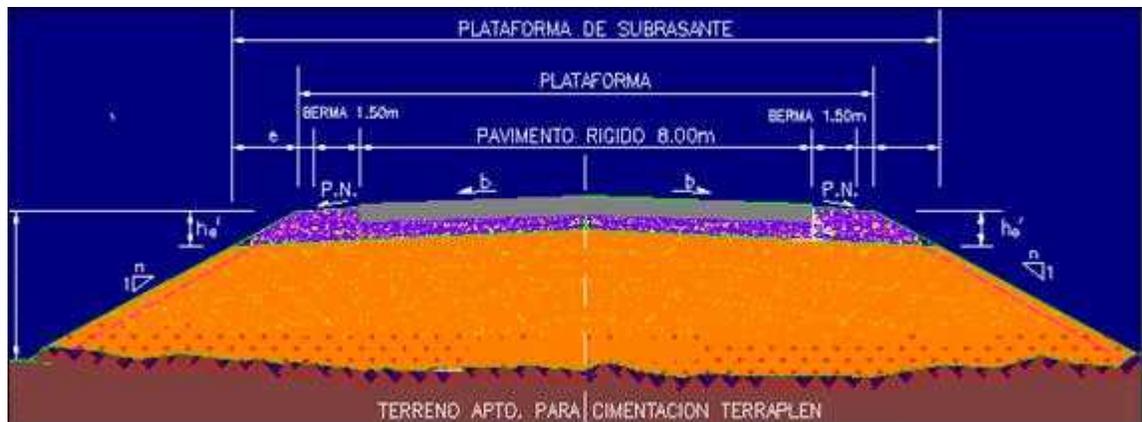


Figura 1. Paquete Estructural Típico

Proyecto Ancaravi-Huachacalla

- Las losas fueron diseñadas con juntas cada 4.00 metros.
- Espesor de las losas de 20 cm.
- Las bermas fueron hechas de suelo cemento con tratamiento doble.

Creado con

- La resistencia especificada de diseño fue 4.3 MPa a la flexotracción.
- Los pasajuntas transversales definidas en acero liso fueron determinados con un diámetro de 25 mm de diámetro cada 30 centímetros.
- Las barras de amarre de acero corrugado se diseñaron con aceros de 12 mm de diámetro cada 60 centímetros de espaciamiento y con una longitud de 90 centímetros cada una.

El tramo Ancaravi-Huachacalla fue concluido en el mes de septiembre de 2006. Este tramo se encuentra en la misma zona del Proyecto Oruro – Toledo, por lo que basados en las experiencias obtenidas en este anterior proyecto fueron necesarias algunas modificaciones en cuanto su proceso constructivo. Una de las características más importantes fue al implementación de un método de curado compuesto por varios pasos y no sólo así una membrana como normalmente se realiza. El objetivo de este método de curado fue el de cuidar la losa de hormigón no sólo de las pérdidas de agua en su proceso de fraguado o endurecimiento, sino también de uno de los factores más críticos en este sector del País, que es, el clima, temperaturas muy bajas durante las noches (-20º C) y hasta 20 grados durante el día, formándose de esta manera gradientes de temperatura elevados y que afectan al hormigón o la losa de hormigón especialmente en sus edades tempranas.

El método descrito tenía la finalidad de proteger la losa de hormigón durante los primeros 7 días de edad, para lo que se definió los siguientes pasos:

#### **1. Curado con membrana.**

Este curado fue realizado por medio de asperción utilizando equipos manuales (mochilas), el producto utilizado como membrana de curado fue el Antisol N, es un compuesto líquido para la formación de membranas de curado para hormigón, desarrollado a partir de hidrocarburos alifáticos emulsionados y pigmentado de blanco. La tasa de aplicación empleada fue de 200 gr/m<sup>2</sup>.



*Figura 37. Aplicación membrana de curado (Proyecto Ancaravi-Huachacla)*

## **2. Aplicación de la 1ª membrana de polietileno.**

Una vez sea colocada la membrana líquida descrita en el punto 1, se procedió a la aplicación de una membrana de polietileno de 200 micrones, esta primera capa debía permanecer durante 7 días sobre la losa de pavimento para evitar la pérdida de agua de la masa de hormigón.



*Figura 38. Aplicación 1ª membrana de polietileno (Proyecto Ancaravi-Huachacla)*

Creado con

### 3. Aplicación de geotextil.

Para garantizar que el hormigón mantenga su temperatura dentro del rango permitido (9 a 10º C) para que no perjudique el desarrollo de su resistencia y el proceso de fraguado no sea interrumpido, era necesario crear un micro clima en la superficie de la losa del pavimento rígido, para esto es que se diseñó una manta geotextil 100% acrílica para que al estar en contacto con la humedad del hormigón no sufra deterioros, para que la conductividad térmica sea la requerida fue necesario crear estas mantas con un espesor de 10 mm.

El tiempo de permanencia del geotextil sobre la losa de hormigón era de 3 días, con el objetivo de que el hormigón alcance una resistencia suficiente y pueda resistir los altos gradientes térmicos que se presentan en la zona.



*Figura 39. Aplicación manta geotextil (Proyecto Ancaravi-Huachacla)*

### 4. Aplicación 2ª membrana de polietileno.

Esta segunda membrana también de polietileno de 200 micrones garantizaba la mantención de temperatura y humedad dentro de la losa de hormigón y fue mantenida durante 3 días al igual que las mantas geotextiles.

Con esta 2ª aplicación se creó un curado en “sándwich” que dio buenos resultados y que actualmente se sigue utilizando en la zona en la pavimentación del tramo hasta la frontera con Chile, Pisiga.

Creado con



*Figura 40, 41 . Curado completo (Proyecto Ancaravi-Huachacalla)*

#### **RELEVAMIENTO DE DETERIOROS.**

Al momento de la entrega del tramo Ancaravi-Huachacalla se realizó una inspección a detalle de todos los deterioros que pudiesen existir siguiendo la misma metodología descrita en el Proyecto Oruror – Toledo.

Estos relevamientos fueron realizados en conjunto con la Supervisión del Proyecto y con un amplio nivel de detalle.

Creado con

## RESULTADOS OBTENIDOS.

De las inspecciones realizadas y los relevamientos ejecutados con la Supervisión del Proyecto se pudo extraer un nivel de intervención al pavimento rígido de donde se resumió las siguientes cantidades de losas a intervenir.

En la figura siguiente se puede ver el tipo de reparación propuesta y ejecutada en las cantidades también mostradas.

El tramo Ancaravi-Huachacalla no presentó deterioros mientras no fue puesto en servicio, es decir, que las losas que fueron intervenidas con los métodos mostrados en el cuadro, Cross Stitching, Dowel Bar Retrofit, Slot Stitching y reposiciones de losas se debieron a efectos ajenos a la construcción en sí del pavimento rígido.

A diferencia del anterior Proyecto, las losas que presentaban fisuras en el Proyecto Ancaravi-Huachacalla fueron longitudinales, por lo que el análisis terminó centrándose en el mismo fenómeno observado en el Oruro – Toledo, es decir el Alabeo.

TIPO DE REPARACIÓN	CANTIDAD DE LOSAS	PORCENTAJE (respecto el total de losas)
CROSS STITCHING	642	1.83%
DOWEL BAR RETROFIT	21	0.06%
SLOT STITCHING	9	0.03%
SELLO DE FISURAS	2023	5.78%
REPOSICIÓN DE LOSAS	13	0.04%
DESPORTILLAMIENTOS Y OQUEDADES	7928	22.64%

Figura 42. Relevamiento de deterioros (Proyecto Ancaravi-Huachacalla)

## POSIBLES CAUSAS.

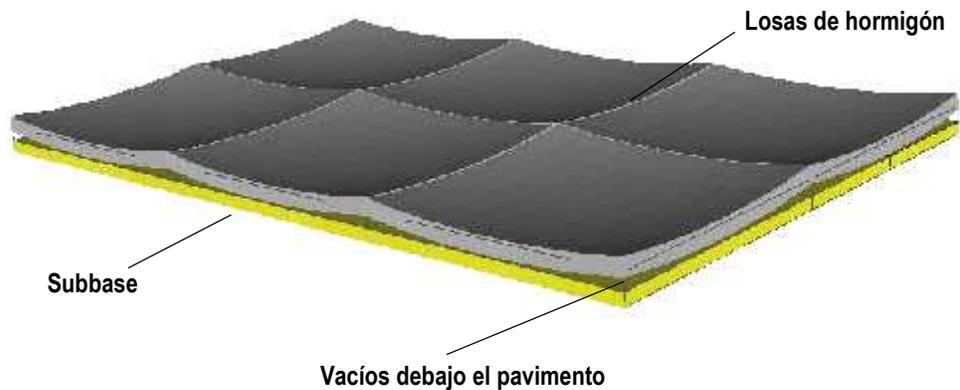
Ya con algunas experiencias anteriores, los análisis de causas fueron centrándose principalmente en uno de los efectos que se ha demostrado se presenta en nuestro País y en especial en sectores con bajas humedades y con altas radiaciones solares.

### 4. Alabeo.

En las investigaciones de algunos lugares del País se manifestó el alabeo de las losas en mayor o menor grado, siendo las regiones con climas más secos las que mostraron mayor consecuencia en el hormigón. Por otro lado, se pudo observar que

Creado con

para las condiciones en que fueron construidas, las losas de menor tamaño eran más adecuadas para salvar los efectos climáticos.



*Figura 43. Esquema de la curvatura permanente de las losas*

La generación de fisuras longitudinales se debe a la concentración de tensiones por flexión en sentido transversal (respecto al sentido de tráfico), en puntos críticos como las juntas o bordes transversales. Considerando que las losas presentan alabeo cóncavo, tal como se esquematiza en la figura anterior.

De acuerdo a los análisis realizados, se logró definir dos posibles mecanismos para el inicio de fisuración en el pavimento según las condiciones que se tienen:

- Fisuración longitudinal iniciada en la superficie sobre las juntas transversales, a la mitad del ancho de las mismas.
- Fisuración transversal iniciada en la superficie que se manifiesta en el tercio medio de la longitud entre juntas transversales

La pérdida de soporte de los bordes y las esquinas hace que las tensiones de mayor magnitud se generen en la superficie del hormigón como se muestra esquemáticamente en la Figura 44.

En el caso del mecanismo que genera fisuración longitudinal el punto crítico se ubica sobre las juntas transversales, a la mitad de la trocha del camión típico. En este punto se concentrarán los esfuerzos generando microfisuración por fatiga, que

después de miles de repeticiones producirá la rotura de la sección. La ubicación crítica mencionada concuerda con el inicio de fisuras observado en algunos tramos carreteros del país, generalmente coincidiendo con la posición de una barra pasajunta ubicada aproximadamente a la mitad del ancho de las losas.

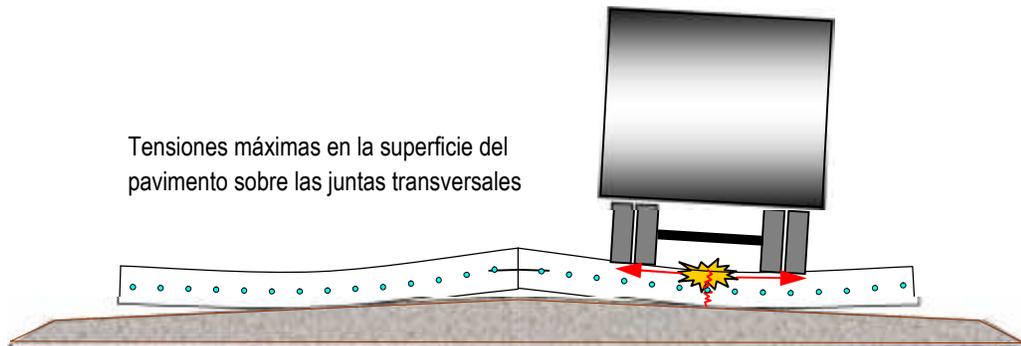


Figura 44. Esquema de la generación de fisuras longitudinales.

## 5. Espesor efectivo de la losa.

Si bien la losa de hormigón tiene un determinado espesor, producto de la construcción, este espesor se ve reducido a media altura solamente en las juntas transversales, debido a la presencia de barras pasajuntas insertadas normalmente cada 30 cm en todo el ancho. Estas barras lisas no presentan adherencia al hormigón y producen una discontinuidad en la sección, provocando la concentración de tensiones en el plano vertical en el que se ubica cada barra.

En casos en que la construcción involucra la utilización de equipos automáticos para la inserción de barras pasajuntas, el proceso de inmersión y vibrado separa el agregado grueso, formándose un plano vertical con una mezcla que presenta mayor cantidad de finos, la cual es más susceptible a la contracción por secado del hormigón. Al utilizar equipos insertadores, cuando el hormigón es colocado con asentamientos muy bajos, el proceso de empuje de las barras hace que éstas se abran paso a través de la mezcla poco trabajable, dejando huellas que forman planos de debilidad en los que posteriormente se pueden generar fisuras longitudinales.

La disminución en el espesor efectivo de las juntas transversales tiene un marcado efecto en la resistencia de las losas. Este problema es provocado cuando se sufren condiciones climáticas adversas durante la construcción, lo que produce fisuras por retracción plástica del hormigón que se desarrollan en algunos casos sobre los planos de inserción de las barras pasajuntas. La disminución del espesor efectivo también se genera cuando se insertan barras en hormigones muy secos. Además a esto se suman los esfuerzos por la transferencia de carga entre losas mediante el apoyo de las barras pasajuntas, que generan cortantes y momentos concentrados en el hormigón que rodea al acero.

Para prevenir estos posibles inconvenientes se debe buscar un diseño y dosificación correcta de la mezcla de hormigón, de manera que se evite el uso de hormigones muy secos u hormigones con excesivo contenido de mortero.

#### **METODOS DE REPARACION.**

De acuerdo al listado de de deterioros observados en el tramo Ancaravi-Huachacalla se han definieron los siguientes métodos de reparación:

- Cross Stitching. Este tipo de reparaciones fue ejecutado en 642 losas a lo largo de todo el Proyecto, en este caso las reparaciones realizadas fueron con un sentido preventivo debido a que los espesores observados estaban en el orden de 0.05 mm, pero que con la puesta en servicio y además es sabido que en nuestro País los vehículos de carga y transporte de pasajeros exceden en demasía lo establecido en la ley de cargas, por lo que la vida útil de todo pavimento puede verse seriamente afectada.

Este método se aplica a fisuras longitudinales que están en fisuras en buen estado como las que se observaron en el tramo, el objetivo de este Cross Stitching (cocido cruzado) es de mantener la trabazón en los agregados y proveer una resistencia adicional a la junta o fisura. Como todo trabajo de reparación, debe estar sujeto a un diseño que siga los siguientes lineamientos:

Creado con

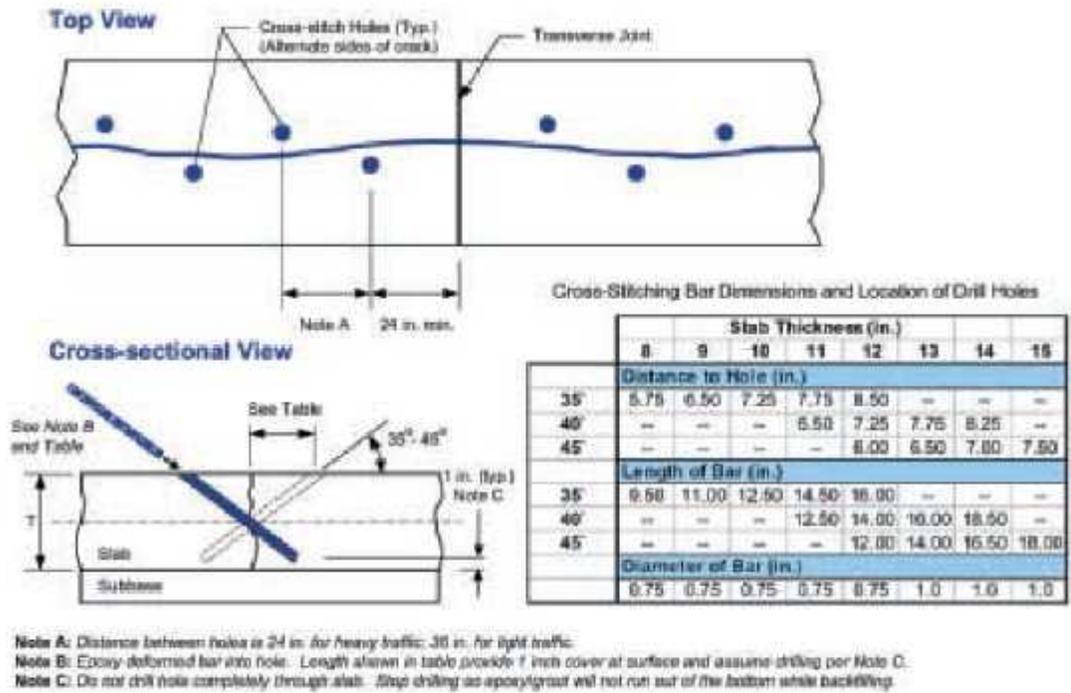


Figura 45. Lineamientos para el diseño del Cross Stitching.

Una vez sean aplicados los lineamientos mostrados anteriormente, se debe pasar a la ejecución del trabajo en campo tal como se describe a continuación:

**Paso 1.** Se debe marcar claramente los lugares donde se realizarán las perforaciones.



Figura 46. Marcado de los lugares donde se insertará las barras.

**Paso 2.** Las perforaciones pueden ser realizadas por taladros o rotopercutores con la energía suficiente para realizar las perforaciones sin interrupciones, se debe perforar de tal manera de dejar hasta 25 mm de la superficie de la losa hasta la parte superior de la losa.



*Figura 47. Perforado de la losa de hormigón.*

**Paso 3.** La limpieza deberá realizarse con aire a presión para poder sacar todo el material fino que queda remanente luego de la perforación.



*Figura 48. Limpieza con aire a presión.*

Creado con

**Paso 4.** Con la ayuda de un hisopo, que puede ser de cualquier tela, se procede a la limpieza manual para asegurarse que no quede material fino adherido a las paredes de la perforación realizada.



*Figura 49. Limpieza manual.*

**Paso 5.** Con la ayuda de una brocha o hisopo se debe aplicar un puente de adherencia, en este caso se utilizó el Sikadur 32 Gel que es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas.



*Figura 50. Colocación de puente de adherencia.*

Creado con

**Paso 6.** Para el relleno de los orificios debe emplearse barras de acero corrugado del diámetro y tamaño que el diseño arroje, puede verse los diámetros en la Figura 45. Para que el acero tenga una adherencia óptima con la losa de hormigón no es suficiente la aplicación del puente de adherencia descrito en el anterior punto, debido a que este sólo recubre las paredes del orificio y no así todo el volumen del mismo. Para el relleno de todos los espacios vacíos se puede emplear productos tixotrópicos de dos componentes en base de resinas epoxicas como el Sikadur 31 que es un material que sirve o se emplea también para anclajes en hormigones.

Este mortero epóxico debe empujar las barras de tal manera que los excedentes del producto sean expulsados en el momento de la inserción dentro de los orificios, tal como se muestra en las imágenes siguientes.



Creado con



*Figura 51,52,53. Colocación de mortero epóxico, inserción de barra, terminado de orificio.*

Para concluir la reparación de las losas intervenidas con este tipo de reparaciones y dependiendo del espesor de la fisura es conveniente sellar la fisura, pero sólo si es espesor lo permite. Podemos decir que cualquier fisura que tenga menos de 0.50 mm no debería ser susceptible a ser sellada por la poca penetración de la silicona o sellante que se vaya a utilizar.

- Dowel Bar Retrofit. El método ya fue descrito anteriormente en el análisis del Proyecto Oruro-Toledo.
- Slot-Stitching. Es una técnica que se utiliza para la reparación de fisuras longitudinales. El propósito de este tipo de reparación es de proveer una interconexión mecánica positiva entre dos losas o segmentos. Las barras deformadas colocadas dentro de las ranuras mantendrá los segmentos juntos. Estas barras a diferencia de las que se utilizan en el Cross Stitching son de acero corrugado y dobladas en forma de grapas.

La inserción de las barras de amarre debe realizarse perpendicularmente a la fisura longitudinal, a manera de amarre entre los dos pedazos de la losa. El número de barras a ser insertadas dependerá de la longitud de la fisura, las barras deben estar distanciadas entre sí por 60 cm como máximo (ver Figura 54), las dimensiones de las ranuras y los detalles constructivos para la inserción de las grapas se presentan en la figura 55. Se debe cuidar que el corte tenga la profundidad suficiente para que la barra quede a la altura especificada del diseño.

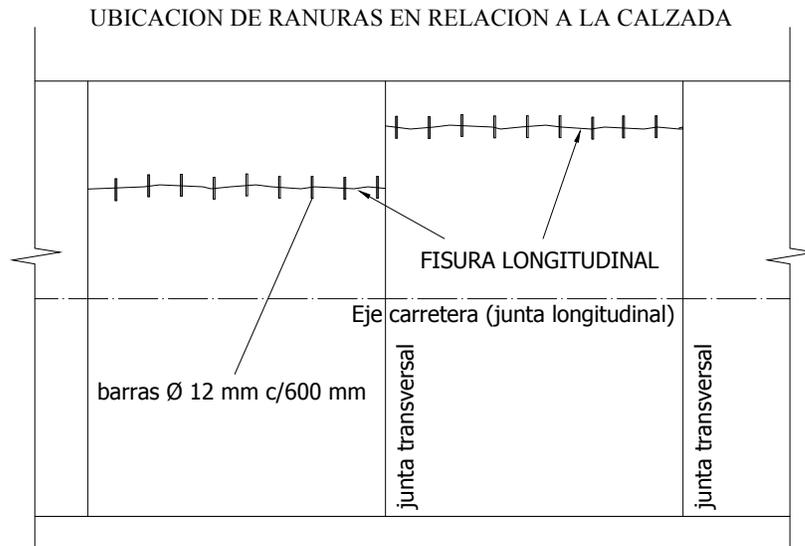


Figura 54. Ubicación de las ranuras en la fisura longitudinal

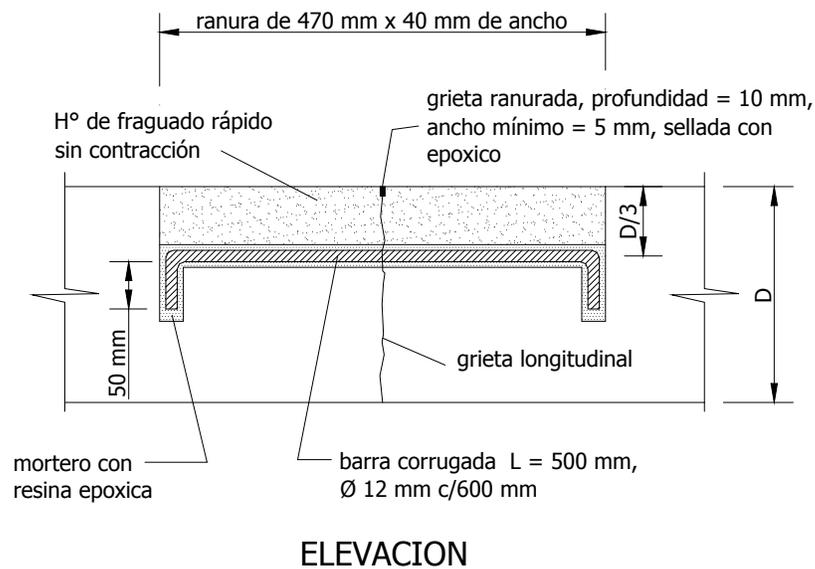


Figura 55. Detalles constructivos para la inserción de grapas.

La fase constructiva para esta técnica es muy parecida a la metodología descrita en el Dowel Bar Retrofit que corresponde a la inserción de barras de transferencia de carga, básicamente se siguen los mismos pasos utilizando los mismos equipos y materiales, la diferencia está en la forma de las barras insertadas y su ubicación en las fisuras.

### **Paso 1. Corte de las ranuras que albergarán las barras.**

El primer paso es marcar en el pavimento las dimensiones de las ranuras, espaciadas de acuerdo con el diseño, y bien alineadas y centradas con la fisura. El corte se realiza con máquinas de aserrado con discos diamantados. Se debe cuidar que la profundidad del corte esté de acuerdo al diseño.

### **Paso 2. Picado del hormigón de las ranuras**

Luego de realizar los cortes el picado se hace con la ayuda de un martillo neumático pequeño, de forma que no se dañe las paredes de la losa. Se debe picar hasta la profundidad especificada en el diseño, tratando de dejar una superficie horizontal en la base de la ranura.

Adicionalmente se deben picar dos orificios en los extremos de la ranura, éstos albergarán los brazos de las grapas introducidas, sus dimensiones deben ser las mismas que las presentadas en el diseño de la figura 55.



*Figura 56. Ranuras listas para la colocación de grapas  
(Proyecto Ancaravi-Huachacalla)*

### **Paso 3. Limpieza de la ranura**

La ranura debe limpiarse de todo resto y polvo con agua a presión, luego de haberse secado totalmente se debe aplicar la limpieza con aire comprimido. Se debe cuidar que en estas operaciones no quede ningún tipo de material en la fisura.

### **Paso 4. Preparación de la ranura.**

Una vez limpias las ranuras se procede a aplicar el puente de adherencia en sus paredes y en la base, esta operación se realiza con una brocha pequeña con cerdas gruesas. También se debe sellar la fisura en la base y paredes de la ranura, esto se hace para evitar que el mortero ingrese a la fisura. La aplicación del material sellante normalmente se hace con pistolas inyectoras de silicona.

### **Paso 5. Colocación de las barras de amarre (grapas)**

Las barras deben ser recubiertas completamente con una capa de ligante epóxico o puente de adherencia para garantizar su sujeción al hormigón de relleno. Los brazos de las grapas deben ser introducidos en los huecos calados dentro de la ranura. Para la aplicación de esta técnica no se debe introducir separadores de plastofomo como en la inserción de barras de transferencia, debido a que no es necesario inducir al hormigón a la fisuración.

### **Paso 6. Preparación y Colocado del hormigón.**

Al igual que para la inserción de barras de transferencia de carga, para esta técnica es conveniente realizar la preparación del hormigón en obra, debido a los pequeños volúmenes requeridos. Una mezcladora pequeña será suficiente para realizar estas operaciones. La dosificación se debe realizar en peso, para lo cual se debe contar con una balanza portátil. Se debe controlar la dosificación para cada preparación.

El colocado del hormigón es manual. Se debe rellenar completamente cada ranura, luego se procede al vibrado del hormigón, para esta operación se deben usar vibradores manuales con cabezales de diámetro de 25 mm, para que éste pueda

ingresar libremente en la ranura.

### **Paso 7. Terminado y curado del hormigón.**

Luego de vibrado el hormigón se debe enrasar a la superficie del pavimento, esta operación se realiza con planchas metálicas pequeñas. El curado deberá ser de acuerdo a las necesidades del lugar, en el caso del proyecto Ancaravi-Huachacalla se procedió de igual manera que la losa de hormigón, cubriendo las reparaciones con polietilenos y mantas geotextiles.



*Figuras 57, 58. Ranuras rellenas y en proceso de curado.*

Para el relleno de las ranuras se utilizaron morteros predosificados enriquecidos con gravillas de 3/8", el producto empleado para el relleno fue el Sikagrout 212 y 214.

### **Paso 8. Desbastado de la superficie.**

Debido a la utilización de hormigones expansivos para el relleno de las ranuras, se requiere desbastar la superficie para evitar irregularidades por el hinchamiento del hormigón. Para esto se utiliza un equipo de pulido (desbaste) con discos diamantados. Esta operación se puede realizar 24 horas después del colocado del hormigón. Se debe

Creado con

tener cuidado de no desbastar demasiado la superficie para no crear depresiones.



*Figura 59. Equipo para el desbaste de la superficie.*

### **Paso 9. Sellado de la fisura.**

Una vez concluidas las operaciones de desbastado se puede proceder a sellar la fisura en toda su longitud, siempre con un criterio sano para determinar la necesidad de la aplicación de sello dependiendo del espesor de las fisuras, para esto se pueden aplicar sellantes del tipo silicona o materiales asfálticos colocados en caliente. La colocación del material sellante debe realizarse con el cuidado de no derramar material fuera de las fisuras. En el caso específico del Proyecto Ancaravi-Huachacalla se utilizó el producto Sikaflex 1A y Sikaflex 15 LM.

- Sello de Fisuras. El sellado de fisuras fue realizado con materiales ya mencionados anteriormente como ser el Sikaflex 1A y el Sikaflex 15LM, dependiendo del espesor las fisuras pueden ser descritas como superficiales y no comprometen la estructura de la losa de hormigón, sin embargo en el Proyecto Ancaravi-Huachacalla se procedió al sellado de 2,023 losas con fisuras de espesor menor a 0.50 mm, trabajo que se realizó como preventivo.

Creado con



*Figura 60. Sello en fisura superficial.*

Para la ejecución de este sellado se procede de una manera bastante simple, procediendo a la limpieza de la fisura con aire a presión y posteriormente a la aplicación del sello sobre la fisura.



*Figura 61. Aplicación de Sello en fisuras.*

Creado con

- **Reposición de losas** . Este método a diferencia de todos los otros mencionados anteriormente es destructivo, esta determinación se debe tomar solamente cuando la losa esté subdividida en más de tres segmentos y cuando se compruebe que las fisuras son de espesor total, mientras tanto se podrá recurrir a otros métodos de reparación no destructivos.

En vista de que un pavimento rígido está dividido en losas de un cierto tamaño, generadas por los cortes previstos para la inducción de la fisuración.

### **Paso 1. Corte en segmentos más pequeños de las losas**

Tal cual se describe en el título, la segmentación de la losas normalmente se hace en cuatro partes realizando cortes internos en la losa aproximadamente a una distancia de 40 a 60 cm de las juntas transversal y longitudinal, esto con el fin de no cortar las barras de acero de transferencia o de amarre respectivamente.



*Figura 62. Sub división de las losas a ser repuestas.*

## Paso 2. Retiro de los segmentos de losa.

Este retiro debe ser mecanizado tal como se puede ver en la figura 63.

Las losas que fueron repuestas en el tramo Ancaravi-Huachacalla fueron definidas de diferente tamaño, en coordinación con la Supervisión del Proyecto se determinó la reconstrucción de las losas como losas cortas, generando losas de 2.00 x 2.00 mts. Y no de 4.00 x 4.00 como el resto del tramo.

Si bien la cantidad de losas repuestas es muy pequeña sirvió de ejemplo y sector para hacer un seguimiento a lo largo del tiempo. A la fecha las losas cortas no han sufrido ningún tipo de deterioro por lo se puede concluir que la técnica funciona.



*Figura 63. Retiro mecanizado de los segmentos de losa.*

- **Desportillamientos y Oquedades.** Se ha verificado la existencia de deficiencias menores puntuales en la superficie del pavimento, las cuales se enmarcan en la clasificación de “Desprendimiento” según el Pliego de Especificaciones Técnicas del proyecto Ancaravi-Huachacalla.

Estos desprendimientos se deben a la presencia de material orgánico en la superficie del pavimento, el cual quedó expuesto en la superficie del mismo debido al efecto de vibrado del hormigón durante el colocado, creando puntos débiles de dimensiones

Creado con

generalmente menores a los 10 cm.



*Figuras 64 y 65. Desprendimientos superficiales*

Los trabajos que deben realizarse en estos casos, son los siguientes:

**Paso 1.** Inspección de todo el tramo e identificación de puntos debilitados por presencia de materia orgánica u otros.

**Paso 2.** Picado de la superficie afectada con herramienta manual, teniendo el cuidado de llegar a extraer la totalidad del material suelto.

**Paso 3.** Lavado con chorro de agua a presión.

**Paso 4.** Aplicación de puente de adherencia en las paredes del área picada

**Paso 5.** Reposición del hormigón del área afectada mediante el vaciado con hormigón de altas prestaciones, expansivo y de fraguado acelerado.

**Paso 6.** Aplicación de membrana de curado sobre el área vaciada.

Creado con

**Paso 7.** Protección del Tráfico durante 24 horas mediante señalización.

Los materiales que se utilizan para la Reparación de Desprendimientos, es el siguiente:

Puente de Adherencia: Sikadur 32 - Gel

Hormigón: Sikagrout 214

### **COSTOS UNITARIOS.**

Todos los costos que intervienen en este tipo de reparaciones se detallan en el anexo.

Creado con

### 3.3 PROYECTO PARAISO – EL TINTO.

#### UBICACIÓN.

El tramo Paraíso – El Tinto forma parte de la carretera Santa Cruz - Pailón - Puerto Suárez, junto a la carretera antigua Cochabamba - Santa Cruz, conforman la Ruta Número 4 de la Red Fundamental de Carreteras de la República de Bolivia, y a la vez es parte integral del Corredor Bioceánico que eventualmente unirá puertos del Atlántico y del Pacífico, permitiendo que en el futuro, países como Brasil, Perú y Chile, tengan acceso rápido a los puertos de los océanos sobre los cuales no tienen costas.

Este tramo tiene inicio en la localidad de Paraíso, ubicado en una bifurcación del camino que se dirige de Santa Cruz hacia Puerto Suárez, con el camino que se dirige hacia Los Troncos – Trinidad. Esta aproximadamente ubicado a 75 kms. al este de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, después del municipio de Cotoca y las localidades de Pailas y Pailón en el puente ferroviario del Rio Grande.

Las poblaciones más importantes en este tramo, son: El Pailón, con cerca de 6,000 habitantes, Tres Cruces, Pozo del Tigre, Tunas y el Tinto situadas a 48, 73, 100 y 124 Km. desde Paraíso respectivamente.

Consecuentemente, la construcción de la carretera de este tramo presenta características muy especiales, debido a que conecta extensas zonas con un enorme potencial de desarrollo económico, que hasta hace poco permanecían aisladas del resto del Departamento de Santa Cruz y del resto del país.

Creado con





Foto 6. Tramo Paraíso – El Tinto



Foto 7. Ubicación Geográfica – Tramo Paraíso-El Tinto

Creado con



Este Proyecto fue construido con dos técnicas de pavimentación conocidas, los primeros 25 km fueron ejecutados con pavimento rígido y los restantes 100 km con pavimento flexible.

La revisión de este trabajo se centra en los primeros 25 km de carretera ejecutados con la técnica del pavimento rígido y por supuesto en las metodologías que se utilizaron en la atención o reparación de los deterioros observados.

El diseño de este tramo de 25 km tiene los siguientes parámetros:

- Las losas fueron diseñadas con juntas cada 4.00 mts. De longitud por 4.15 de ancho, esta plataforma de hormigón en total llegó a contar con un ancho de 8.30 mts. Debido a que el diseño contemplaba la construcción de sonorizadores laterales que servirían de ensanche de la losa con el fin de mejorar el diseño y reducir en cierta medida el efecto del Alabeo.
- Espesor de las losas de 22 cm. Con una sub base de suelo cemento y terraplen con material de préstamo lateral.
- Las bermas fueron hechas de suelo cemento con tratamiento superficial doble.
- La resistencia especificada de diseño fue 4.5 MPa a la flexotracción.
- Los pasajuntas transversales definidas en acero liso fueron determinados con un diámetro de 25 mm de diámetro cada 30 centímetros.
- Las barras de amarre de acero corrugado se diseñaron con aceros de 12 mm de diámetro cada 90 centímetros de espaciamiento y con una longitud de 90 centímetros cada una.

Los primeros 25 kilómetros del tramo Paraíso-El Tinto fueron concluidos en agosto del año del año 2009 siendo a la fecha dos años desde su puesta en servicio.

Este tramo carretero tiene la diferencia con los otros dos analizados en este trabajo por encontrarse en la región oriental del País por lo que esta ubicación geográfica debía cambiar las condiciones del comportamiento del pavimento rígido.

Creado con

Debido a la diferencia de regiones con los dos anteriores proyectos evaluados, es importante mencionar el aspecto climático en el País y describir diferentes zonas según su clasificación climática, es en ese sentido que tomando en cuenta el índice de humedad y para efectos de ilustración podemos basarnos en el siguiente mapa.

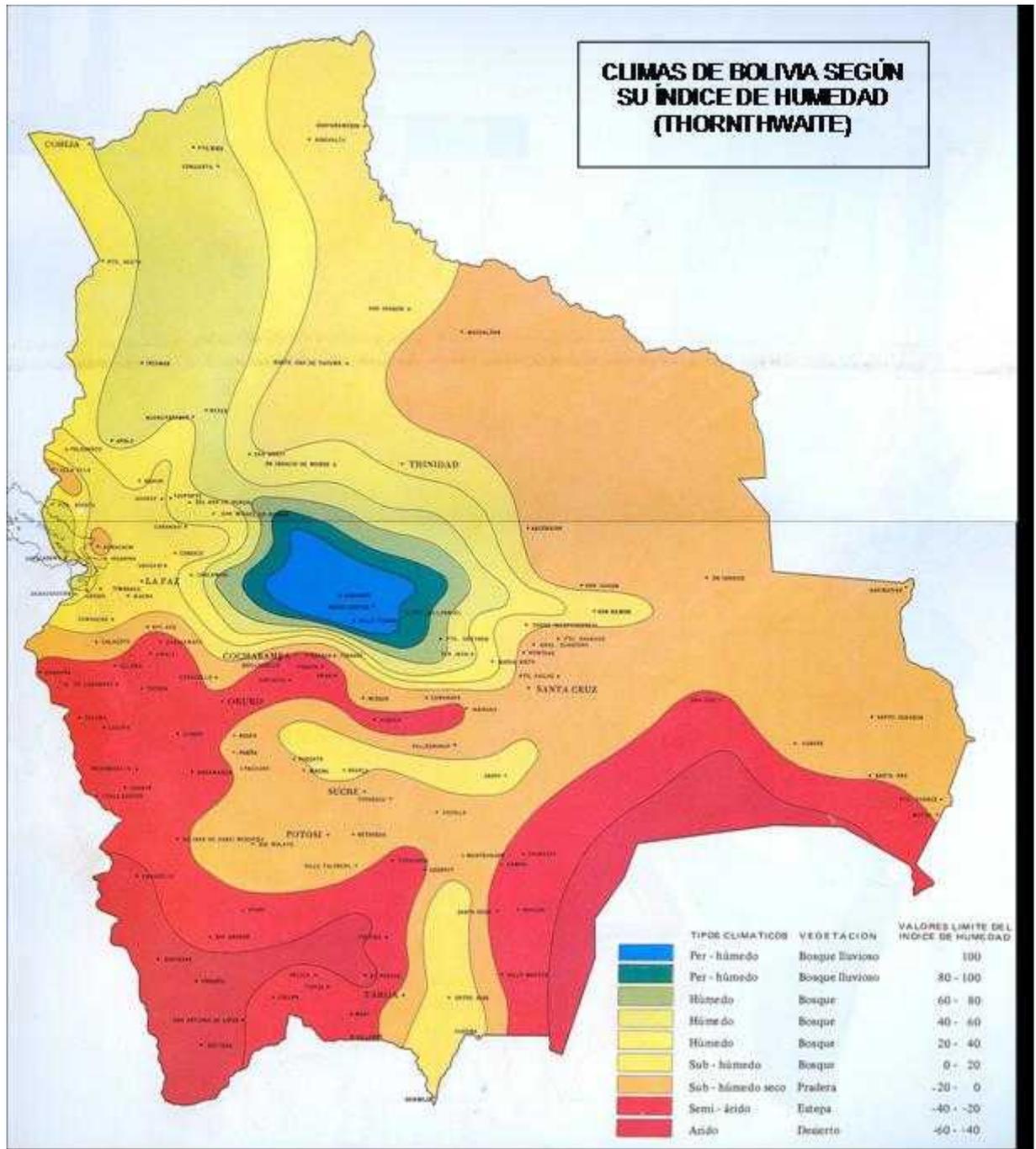


Figura 64. Clasificación Climática de Bolivia (IGM)

Creado con

Podemos ver en el mapa que el tramo en cuestión se encuentra en un clima sub húmedo-seco por lo que los niveles de evaporación por consiguiente son elevados y que los cuidados en el curado de las losas de hormigón no dejan de ser importantes.

### **RESULTADOS OBTENIDOS.**

Este tramo fue puesto en servicio aun mientras se construía y ya con las experiencias de los dos anteriores Proyectos, el seguimiento a las losas de hormigón fue aun más detallado.

A diferencia de los anteriores Proyectos, los primeros deterioros aparecieron varios meses después de la puesta en marcha y coincidente con la finalización de la época de lluvias del año 2010.

Las fisuras que se manifestaron fueron longitudinales y en pequeños grupos, pero con claras tendencias a dirigirse o salirse hacia las bermas. La cantidad de losas fisuradas observadas durante el primer año de su puesta en servicio fue de 142 losas, representando un porcentaje menor al 1% del total de las losas construidas. Internacionalmente este porcentaje es aceptable debido a que se manejan valores de hasta un 3% como de posible ocurrencia en pavimentos nuevos.



*Figura 65. Fisuras Longitudinal (Proyecto Paraíso-El Tinto)*



*Figura 66. Fisuras Longitudinal (Proyecto Paraíso-El Tinto)*

Por otro lado, en algunos sectores las losas fisuradas presentaron asentamientos como los que se puede observar en la siguiente figura siguiente.



*Figura 67. Escalonamiento entre segmentos de losas fisuradas (Proyecto Paraíso-El Tinto)*

#### **POSIBLES CAUSAS.**

Conforme a la información que se maneja a nivel internacional existen varios tipos de fisuración típicos debido a su causa o razón, es en este sentido que podemos definir los siguientes tipos:

Creado con

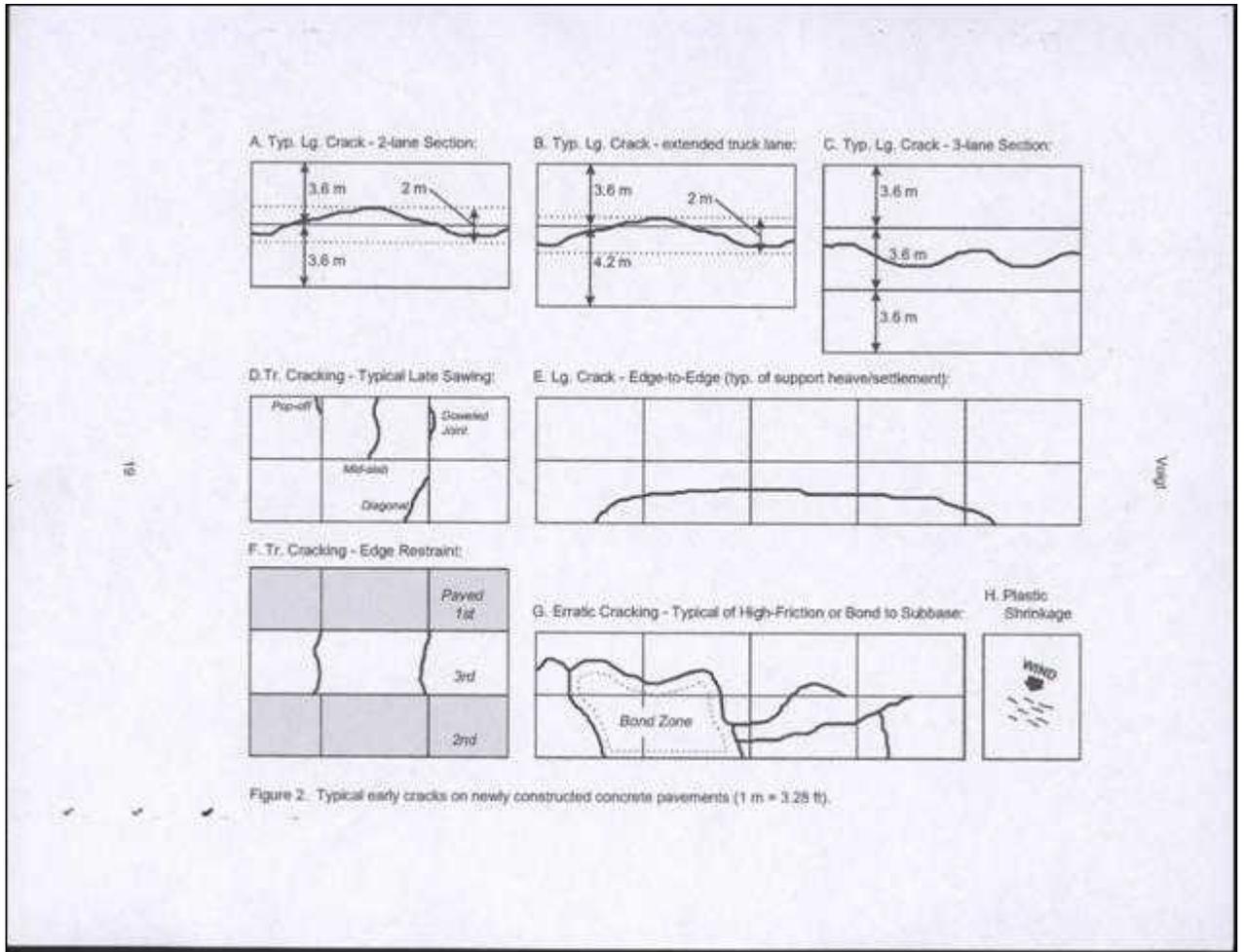


Figure 2. Typical early cracks on newly constructed concrete pavements (1 m = 3.28 ft).

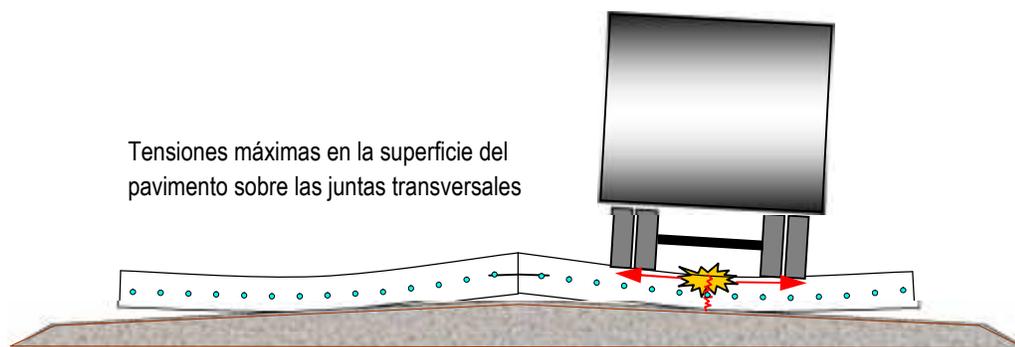
Figura 68. Fisuras tempranas en pavimentos rígidos

De acuerdo a esta clasificación podemos definir que las fisuras observadas en el tramo Paraíso-El Tinto se enmarcan dentro del tipo “E”.

Al ser una posible causa los asentamientos diferenciales, existe la posibilidad de que las losas sufran asentamientos entre los segmentos (figura 67) formados por la fisura y que además se alejen uno del otro dejando espacios libres, en los que el ingreso de agua y de materiales incompresibles pueden dañar no sólo la losa de hormigón sino también la sub base, provocando su saturación o alteración mediante la pérdida de finos por efectos de bombeos o aspectos similares.

Durante la construcción de este tramo también se hizo la medición del alabeo, y para sorpresa de todos SI existe o se presenta también en estos climas. Si vemos nuevamente la figura 64 podemos ver que el clima del sector es relativamente seco, hecho que colabora en la ocurrencia de este fenómeno.

Recordando, la pérdida de soporte de los bordes y las esquinas hace que las tensiones de mayor magnitud se generen en la superficie del hormigón como fue mostrado en la Figura 44 que volvemos a mostrar.



*Figura 44. Esquema de la generación de fisuras longitudinales.*

#### **METODOS DE REPARACION.**

Para este tipo de deterioros se definió la utilización del método Cross Stitching en todas las losas que presentaron fisuración. La metodología ya fue descrita en el análisis del Proyecto Anacaravi-Huachacalla. Metodo que resumimos a continuación.

Creado con

- Cross Stitching. Diseño

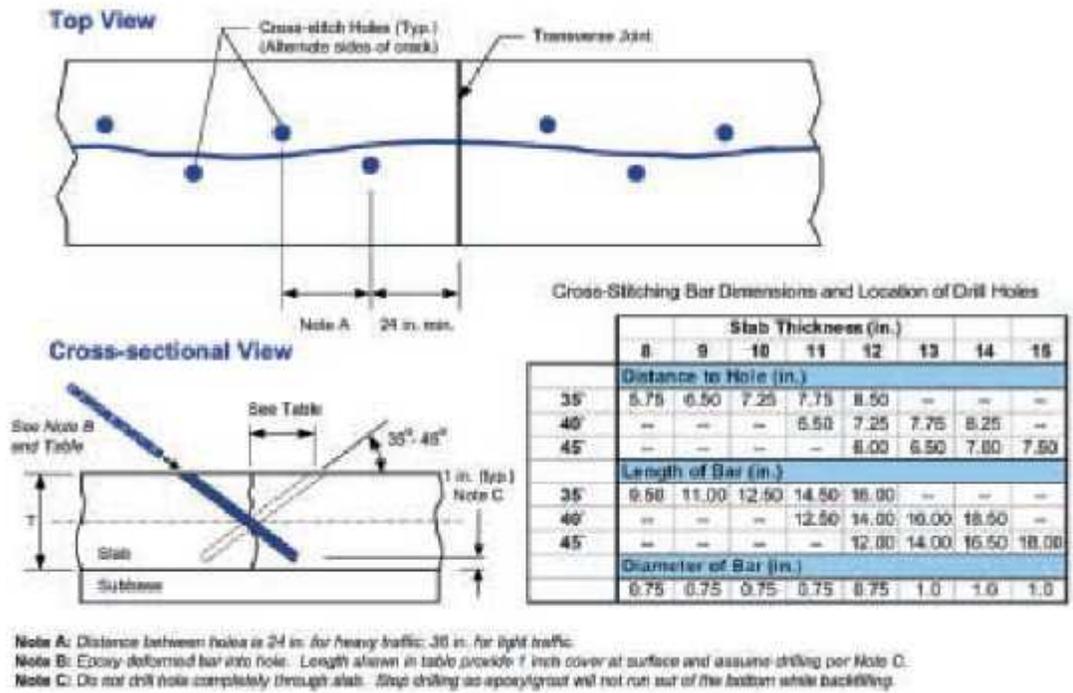


Figura 45. Lineamientos para el diseño del Cross Stitching.

**Paso 1. Marcado.**



Figura 46. Marcado de los lugares donde se insertará las barras.

Creado con

**Paso 2.** Perforación de orificios.



*Figura 47.* Perforado de la losa de hormigón.

**Paso 3.** Limpieza.



*Figura 48.* Limpieza con aire a presión.

Creado con

**Paso 4.** Limpieza manual.



*Figura 49. Limpieza manual.*

**Paso 5.** Pintado con puente de adherencia.



*Figura 50. Colocación de puente de adherencia.*

Creado con

**Paso 6.** Embebido con mortero epóxico.



Creado con

*Figura 51,52,53. Colocación de mortero epóxico, inserción de barra, terminado de orificio.*

## **COSTOS UNITARIOS.**

Todos los costos que intervienen en este tipo de reparaciones se detallan en el anexo.

Creado con

## CAPITULO IV

### 4.1 CONCLUSIONES.

#### PROYECTO ORURO-TOLEDO

La experiencia en el Proyecto Oruro-Toledo a demostrado que en losas de menor tamaño la posibilidad de fisuración es menor, en el caso específico de este tramo, las losas de 4.00 metros tuvieron un porcentaje mínimo en comparación con las otras de 4.50 mts. tal como se apreció en la información presentada.

La conclusión es que a mayor distancia existen mayores tensiones por gradiente térmico especialmente, al tener una distancia menor incrementa un coeficiente de seguridad al pavimento, dadas las características del Proyecto Oruro-Toledo, este decremento en la separación aumentaría el costo del mismo en un porcentaje equivalente al 0.70%, que es insignificante comparado con los beneficios a largo plazo.

La separación entre juntas interactúa con el espesor, rigidez de la base, rigidez de la subrasante y con el gradiente de temperatura, el cual es dependiente de la zona donde se vaya a proyectar un pavimento.

Otra de las conclusiones de este Proyecto fue la necesidad de analizar los efectos del alabeo para evitar deterioros prematuros en pavimentos construidos en este tipo de zonas. Los gradientes térmicos que se generan son muy grandes y provocan la generación de este fenómeno en las losas de hormigón poniendo al pavimento en un alto riesgo de fisuración por efecto de las cargas que se le apliquen.

En cuanto a las reparaciones realizadas, se puede observar que los métodos empleados fueron los adecuados. Si bien el nivel de fisuración en este tramo se ha visto incrementado en los últimos 7 años, a la fecha cumple con las condiciones de tránsito y serviciabilidad y no presentan depresiones ni asentamientos que afecten la circulación vehicular.

## PROYECTO ANCARAVI - HUACHACALLA

El pavimento de hormigón construido en el Proyecto Ancaravi-Huachacalla ha sido construido bajo un estricto control de la geometría y la calidad de los materiales, cumpliendo a cabalidad los requerimientos de las especificaciones técnicas del proyecto. El espesor promedio de las losas, medido en testigos extraídos del pavimento, es de 20.85 cm (espesor de diseño: 20 cm); la resistencia media del hormigón a la flexotracción, medida mediante rotura de vigas, es de 52.6 Kg/cm<sup>2</sup> (resistencia media de diseño: 43 Kg/cm<sup>2</sup>).

El pavimento al momento de la entrega provisional presentó un 2.2% de losas con fisuras predominantemente longitudinales a medio carril, con aberturas menores a 1 mm.

Se ha verificado la pérdida de soporte de las losas en sus bordes debido a las deformaciones provocadas por la combinación de diferenciales de temperatura, gradientes de humedad y contracción por secado de la superficie del hormigón. Esta pérdida de apoyo es permanente y tiene una magnitud fuera de lo normal (según experiencias internacionales), debido a las condiciones especiales del clima de la zona del proyecto.

La diferencia medida entre la elevación de las esquinas de las losas respecto al centro de las mismas tiene valores promedio de 5.5 mm a 7.1 mm, esta deformación combinada con sobrecargas de tráfico produce tensiones en la fibra superior del hormigón superiores a las esperadas, confirmándose la fatiga prematura del hormigón en el pavimento.

Por los análisis efectuados, y con el respaldo de mediciones realizadas en las losas del pavimento, análisis de los datos climáticos obtenidos a lo largo del proyecto (2005 a 2006) que brindó la estación meteorológica instalada en Opoqueri, la revisión de las capas del terraplén mediante ensayos in-situ, extracción de testigos del hormigón, determinación de sobrecargas muy pesadas que llevan cierto tipo de camiones, cálculo de tensiones en las losas por elementos finitos y estudios realizados por firmas de consultoría expertas en pavimentos rígidos; se concluye que

Creado con

la principal causa para la aparición de fisuras longitudinales en algunas losas del proyecto (2.2% de fisuras total de losas) consiste en la acumulación de fatiga en las fibras superiores de las losas de hormigón por combinación de carga excesiva (generada por camiones con pesos por encima del máximo establecido por la ley de cargas del país) y una sustancial pérdida de soporte permanente a lo largo de los bordes de las losas, debido al alabeo producido por composición de gradientes térmicos, gradientes de humedad y contracción por secado de la superficie de las losas.

La construcción de la estructura del pavimento ha sido realizada cumpliendo con los parámetros de diseño y especificaciones técnicas, aspecto que fue verificado mediante ensayos adicionales de campo realizados durante la visita de los expertos de la empresa The Transtec Group Inc. Los porcentajes del nivel de compactación están por encima de los requeridos. Los registros de control de calidad de la obra ratifican una adecuada ejecución de la misma.

Se ha verificado la existencia de vehículos con sobrecargas por encima del máximo establecido en la ley de cargas N°1769 sobre dimensiones y pesos permitidos para vehículos en el territorio nacional. Como ejemplo se verificó que el peso total de camiones que transportan sal (saleros) tipo 1RS – 2RD alcanza a 39 toneladas, lo que representa el 156% del máximo permitido para este tipo de vehículo.

Como ejemplo podemos mencionar que el daño producido por un camión tipo 1RS – 2RD para 215 días de tráfico durante la temporada seca es de 5.60%, mientras que el mismo tipo de camión con la carga máxima permitida por ley produce un daño del 0.44% durante el mismo periodo.

Se ha determinado que el 71% de las fisuras se han originado en el carril de sentido Pisiga – Oruro, por el cual se ha verificado la circulación de camiones saleros y otros sobrecargados. El carril de sentido Oruro – Pisiga presenta un 29% de fisuras, que a diferencia del otro sentido de tráfico en este carril los camiones saleros circulan vacíos.

Todas las reparaciones que se han realizado tuvieron un seguimiento a la fecha de 4 años donde se puede apreciar el buen desempeño de las losas intervenidas con los diferentes tipos de reparación con lo que se ha garantizado su vida útil y serviciabilidad.

En este proyecto se pusieron en práctica técnicas innovadoras de construcción en pavimentos rígidos, desde la implementación de un sistema de curado sin precedentes hasta la utilización de equipos de última tecnología como fue el equipo de pavimentación empleado en este tramo.

La severidad de las fisuras en las losas intervenidas, especialmente con los métodos Cross Stitching, Slot Stitching, Dowel Bar Retrofit, no se ha incrementado.

Las reparaciones de espesor parcial y/o desportillamientos no han sufrido deterioros considerables.

Se reconstruyeron 13 losas durante las reparaciones realizadas al final del Proyecto Ancaravi-Huachacalla, de estas losas 4 presentan fisuras longitudinales de baja severidad,  $e \leq 0.05$  mm.

El método Cross Stitching ha dado buenos resultados, por lo menos, en este periodo de tiempo. Las losas intervenidas no han presentado un incremento en su deterioro.

El método Slot Stitching ha dado buenos resultados, por lo menos, en este periodo de tiempo. Las losas intervenidas no han presentado un incremento en su deterioro.

El método Dowel Bar Retrofit ha dado buenos resultados, por lo menos, en este periodo de tiempo. Las losas intervenidas no han presentado un incremento en su deterioro.

Creado con

## PROYECTO PARAISO – EL TINTO

Las fisuras longitudinales observadas se han presentado después de que el pavimento se ha habilitado al tráfico. No se tienen evidencia de fallas en estos sectores al momento de la construcción.

Los camiones de transporte pesado circulan con sobrecarga en este Proyecto, evidencia que se demuestra con la presencia de mayor cantidad de fisuras en el carril que tiene sentido hacia Paraiso (inicio del tramo). La carga principal y el mayor volumen de transporte en la zona también tiene ese sentido.

La particular forma de estacionar los vehículos por el mínimo ancho de la berma y la misma circulación de los camiones de alto tonelaje cuando están en movimiento, influye en que el peso de la carga (más aun si hay sobrecarga) y las deficiencias en la compactación de la losa lleve a incrementar la posible presencia de fisuras longitudinales.

Por lo expuesto, se concluye que las fisuras motivo de este informe, se deberían a deficiencias en el proceso de compactación de las capas inferiores del pavimento rígido.

Creado con

