

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 GENERALIDADES

Para la reparación y mantenimiento de cualquier tipo de estructura de concreto se debe conocer las características de los materiales, el comportamiento estructural e identificar el estado de funcionamiento a la cual la estructura está trabajando y que reacciones provoca las cargas que han sido proyectadas en el diseño y en servicio.

Con el fin de recabar información de la estructura de concreto a reparar y mantener, se debe conocer diferentes tipos de fallas que se produjeron durante el periodo en que la estructura es puesta en servicio y partir del tipo de falla detectar si la falla se debe a factores internos o externos y de esta manera evaluar el estado de las estructura.

Las estructuras de concreto se diseñan y construyen para que cumplan con su función y alcancen su vida útil de una manera segura. Esto implica que en el diseño, construcción, mantenimiento y operación se consideren aspectos de capacidad estructural, así como de durabilidad de los materiales. Cuando las estructuras sufren modificaciones, sea por razones arquitectónicas o de tipo de uso, se deterioran los materiales, o bien sufren daños, como los producidos por los temblores, asentamientos diferenciales y agentes externos para ello es necesario pensar en la reparación y rehabilitación de la estructura. Este término implica, de manera general, la reparación y el refuerzo. En la reparación se busca dejar a la estructura con sus capacidades originales; con el refuerzo se mejoran estas propiedades. En la actualidad, en la bibliografía internacional se dispone de un amplio número de guías y metodologías para evaluar y rehabilitar las estructuras. En ellas se identifican, de manera muy sencilla y breve, las varias técnicas de rehabilitación que se han estudiado, especialmente mediante ensayos de laboratorio, o que se han aplicado en soluciones reales.

1.2 ANTECEDENTES

Desde tiempos remotos el hombre ha incorporado diferentes alternativas de materiales para el estudio, diseño y construcción de diferentes estructuras (obras civiles) como por ejemplo, edificios, puentes, carreteras, presas, muros, canales de riego, acueductos, torres, cascaras etc. Para lo cual se vio en la necesidad de incorporar en el estudio diferentes métodos empíricos y prácticos para llevar a cabo su objetivo, el de contar con una estructura que cumpla los requisitos de funcionalidad, el de soportar cargas en condiciones seguras.

El concreto como material de construcción fue incorporado en siglos pasados y desde entonces se viene evolucionando procedimientos de diseño mediante los cuales se obtiene resultados cada vez más óptimos de acuerdo a la necesidad y particularidad de la estructura y paralelamente durante el diseño, construcción y puesta en servicio la estructura proyectada tiene que cumplir los requisitos de durabilidad, funcionalidad y seguridad para el cual fue diseñado, para ello, técnicos ingenieros siguen procedimientos que se conocen como metodologías de reparación y mantenimiento de estructuras.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Las metodologías de reparación y mantenimiento de las estructuras de concreto constituye el paso más importante mediante el cual se lleva a cabo procesos de reparación y mantenimiento de una estructura de concreto puesto que estas metodologías nos permitirán seleccionar alternativas de solución sobre las cuales nos basaremos para calificar, cuantificar el daño causado en la estructura.

También el beneficio de contar con estas recomendaciones será que los ingenieros de la práctica dispongan de información moderna y confiable sobre la idoneidad de las técnicas de rehabilitación, especialmente en lo relacionado con su aplicación el de la evaluación del estado actual del *Pavimento Rígido la Zona de Ingreso al Hotel Los Parrales*.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Las metodologías de reparación y mantenimiento de las estructuras de concreto se basa en identificar cualitativa y cuantitativamente evaluando superficialmente, mediante una guía práctica que identifique los procedimientos para el levantamiento de datos mediante los cuales se puedan definir metodologías de mantenimiento, reparación y el costo que demandará la operación.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el funcionamiento de las estructuras de concreto.
- Estudiar las características de los materiales.
- Identificar el tipo de fallas y las consecuencias que producen las mismas.
- Realizar una guía o metodología de trabajo para la reparación y mantenimiento.
- Aplicar las metodologías estudiadas para la reparación y mantenimiento de la estructura.

1.5. ALCANCE

El presente trabajo dirigido es un estudio de las estructuras de concreto, sus características y propiedades, los materiales que la componen, sus especificaciones y todo lo referente a la elaboración de concreto en estructuras.

Luego veremos las fallas que se presentan en las estructuras de concreto de manera que se detalle cada una de estas, sus causas y consecuencias en las estructuras de concreto.

Se conoce por experiencia que todas las obras de concreto sufren en su vida de servicio deterioros en sus componentes, ante esa presencia de deterioros es necesario realizar reparaciones que se orienten a resolver el problema de cada elemento que requiera una reparación, asimismo es necesario realizar acciones de mantenimiento a las estructuras de concreto de manera que se pueda mantener en buenas condiciones la estructura, para ello se hace necesario establecer ciertas acciones periódicas definidas dependiendo del tipo de estructura.

Se realiza una aplicación a la estructura de *Pavimento Rígido la Zona de Ingreso al Hotel Los Parrales* a la cual será estudiada de acuerdo a las metodologías descritas mediante el cual se procederá extraer información del historial de la estructura, identificar las falencias y determinar el causal que llevo a la estructura a deteriorarse y plantear soluciones para el mantenimiento y las reparaciones que correspondan en función al tipo de falla y niveles de severidad que presente en el tramo estudiado.

Establecer finalmente conclusiones y recomendaciones del tema estudiado.

***2. CARACTERÍSTICAS DE LA
ESTRUCTURA DE CONCRETO
“PAVIMENTO RÍGIDO”***

2.1. Definición

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

2.2. Tipos de Pavimento Rígido

2.2.1. Concreto hidráulico simple

El concreto hidráulico simple no contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño (entre 2.50 a 4.50 metros). Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas (dovelas).

2.2.2. Concreto hidráulico reforzado

Tienen espaciamientos mayores entre juntas (entre 6.10 y 36.60 metros) y llevan armadura distribuida en la losa a efecto de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción.

2.2.3. Concreto hidráulico reforzado continuo

Tiene armadura continua longitudinal y no tiene juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso. Estos pavimentos tienen más armadura que las juntas armadas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas.

2.3. Componentes del Pavimento Rígido

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

2.3.1. Subrasante

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

2.3.2. Subbase

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

Entre otras funciones que debe cumplir son:

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

2.3.3. Losa

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

A su vez la losa de pavimento rígido está conformada por:

2.3.4. Acero de Refuerzo

En general el acero de refuerzo que se utiliza en estructuras de concreto son los fierros corrugados, teniendo en cuenta las características geométricas, mecánicas, ductilidad y adherencia

Las características geométricas, de las armaduras estarán de acuerdo a la siguiente nómina y son las que comúnmente se encuentra en el mercado:

6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, 40 mm.

Las características Mecánicas, de las armaduras son:

Resistencia.- se refiere a la máxima fuerza de tracción que soporta la barra

El Límite Elástico.-es la máxima tensión que soporta sin que esta sufra deformaciones plásticas significativas.

Alargamiento.- es el incremento de longitud de la barra después de la rotura expresada en porcentaje

Aptitud al Doblado.- esta característica del acero se refiere a que el acero tiene que tener plasticidad sin sufrir roturas significativas al doblado o a las manipulaciones que se las realicen.

El acero de refuerzo necesario para la construcción del pavimento se utiliza en las juntas, ya sea como pasadores de cortante ó pasajuntas o como barras de amarre para mantener los cuerpos del pavimento unidos.

Barras de amarre.

En las juntas que muestre el proyecto y/o en los sitios que indique el Especificador del proyecto, se colocarán barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas en el sentido perpendicular al de circulación. Las barras de amarre serán de varilla corrugada, de acero estructural, con límite de fluencia (f_y) de cuatro mil doscientos kilogramos por centímetro cuadrado (4,200 kg/cm²), debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y en la posición indicada en el proyecto. Estas barras siempre deberán estar colocadas a la mitad del espesor del pavimento.

Barras Pasajuntas.

En las juntas transversales de contracción, en las juntas de construcción, en las juntas de emergencia y/o en los sitios que indique el Supervisor del proyecto se colocarán barras pasajuntas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero redondo liso y deberán quedar ahogadas en las losas en la posición y con las dimensiones indicadas por el proyecto. Estas barras deberán estar perfectamente alineadas con el sentido longitudinal del pavimento y con su plano horizontal, colocándose a la mitad del espesor de la losa. Ambos extremos de las pasajuntas deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. El acero deberá cumplir con la norma ASTM A 615 Grado 60 ($f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$), y deberá ser recubierta con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto y que sea aprobado por el Especificador del proyecto. Las pasajuntas podrán ser instaladas en la posición indicada en el proyecto por medios mecánicos, o bien por medio de la instalación de canastas metálicas de sujeción. Las canastas de sujeción deberán asegurar las pasajuntas en la posición correcta como se indica en el proyecto durante el colado y acabado del concreto, mas no deberán impedir el movimiento longitudinal de la misma.

2.3.5. Agregados

Los materiales que se utiliza para la fabricación del hormigón pueden utilizarse; Arena, Grava natural y/o grava chancada las cuales deben ser extraídas de ríos o canteras de tipo silíceo y las que provienen del chancado, tienen que ser preferentemente de rocas volcánicas (basalto, andesita, etc.), deben ser rechazadas cualquier tipo de áridos que provengan de calizas blandas, feldspatos, yesos, piritas. Tampoco deben utilizarse áridos que contengan sulfuros oxidables, lo cual influye que el hormigón presenten a largo plazo un aumento en volumen por ende la fisuración y cuarteamiento del hormigón.

Grava.- se denomina grava a la fracción mayor de 4mm. La resistencia de la grava viene ligada a su dureza, dureza y densidad y módulo de elasticidad. Se aprecia en la limpieza y agudeza de los cantos vivos resultantes de machaqueo.

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de treinta y ocho 38 mm, resistencia superior a la resistencia del concreto señalada en el proyecto, y con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Granulometría de la grava para pavimento Rígido

TAMIZ		% QUE PASA
2"	50.00 mm	100
1 ½"	37.50 mm	95 - 100
¾"	19.00 mm	35 - 70
3/8"	9.50 mm	10 - 30
Nº 4	4.75 mm	0 - 5

Arena.- se denomina arena a la fracción menor de 4 mm, es el agregado con mayor responsabilidad, las mejores arenas son las de río, ya que, ya que raras acepciones son cuarzo puro, por lo que no hay que preocuparse por su resistencia y durabilidad

Granulometría de la arena para pavimento rígido.

TAMIZ		% QUE PASA
3/8"	9.50 mm	100
Nº 4	4.75 mm	95 - 100
Nº 8	2.36 mm	80 - 100
Nº 16	1.18 mm	50 - 85
Nº 30	600 µm	25 - 60
Nº 50	300 µm	10 - 30
Nº 100	150 µm	2 - 10
Nº 200	75 µm	4 máximo

El agregado grueso además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste “Los Ángeles” 40% máximo
- Intemperismo Acelerado 12% máximo (utilizando sulfato de sodio)
- Absorción del agua no mayor que el 5%

Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico que al ser amasados con agua, fraguan y endurecen tanto expuestos al aire o sumergidos en el agua

El cemento a utilizar para la elaboración del concreto será preferentemente Portland, de marca aprobada oficialmente clasificaciones 30R, 40 y 40R. Estos cementos corresponden principalmente a los que anteriormente se denominaban como Tipo I y Tipo IP.

El cemento en sacos se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo, en acopios de no más de siete metros (7 m) de altura. Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en sitios aislados de la humedad. La capacidad mínima de almacenamiento deberá ser la suficiente para el consumo de un día ó una jornada de producción normal. Todo cemento que tenga más de dos (2) meses de almacenamiento en sacos o tres (3) en silos, deberá ser examinado por el Supervisor del proyecto, para verificar si aún es susceptible de utilización.

Agua

El agua en la elaboración del concreto juega un doble papel. Por un lado, participa en las reacciones de hidratación del cemento; por otro, otorga al concreto la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

La cantidad de agua tiene que estar limitado de en función a la resistencia y trabajabilidad, puesto que el exceso de agua provoca evaporación y crea huecos en el hormigón que disminuyen la resistencia y tampoco puede disminuirse excesivamente el contenido de agua ya que podrían obtenerse masas poco trabajables.

El agua debe ser potable, y por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc. En general, se considera

adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. Así mismo, no deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la siguiente tabla, en partes por millón:

Sustancias perjudiciales	Ppm Máximo
Sulfatos (convertidos a Na ₂ SO ₄)	1,000
Cloruros (convertidos a NaCl)	1,000
Materia orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50
Turbiedad y/o lignito	1,500

Sustancias perjudiciales del agua

- El pH, medido según norma ASTM D -1293, no podrá ser inferior a cinco 5.
- El contenido de sulfatos, expresado como SO₄=, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1g/l). Su determinación se hará de acuerdo con la norma ASTM D-516.
- Su contenido de ión cloro, determinado según norma ASTM D-512, no podrá exceder de seis gramos por litro (6 g/l).

2.3.6. Aditivos

Los aditivos son aquellos productos que se utilizan para mejorar las características mecánicas del hormigón (Facilitar su puesta en Obra, regular el proceso de fraguado y endurecimiento, aumentar la durabilidad del hormigón, impermeabilizar el hormigón, alivianar el hormigón, etc.) estos aditivos reciben el nombre de acuerdo a la función que desempeñan en el hormigón como ser:

- Aceleradores
- Retardadores
- Plastificantes
- Aireantes
- Impermeabilizantes

Los cuales hacen que el ingeniero disponga y fabrique diversas clases de hormigón en función a la necesidad que se proyecte. La dosificación de estos aditivos generalmente es menor al 5% del peso de cemento

Deberán emplearse aditivos del tipo “D” reductores de agua y retardantes con la dosificación requerida para que la manejabilidad de la mezcla permanezca durante dos (2) horas a partir de la finalización del mezclado a la temperatura estándar de veintitrés grados centígrados (23° C) y no se produzca el fraguado después de cuatro (4) horas a partir de la finalización del mezclado.. Los aditivos deberán ser certificados por la casa productora. Para asegurar la trabajabilidad de la mezcla, también se utilizara un agente inclusor de aire, con los requisitos que señala la norma ASTM C 260. Estos aditivos se transportaran desde la fábrica hasta la planta de concreto en camiones cisternas y se depositaran en tanques especialmente diseñados para su almacenamiento y dosificación.

3. MÉTODOS DE DISEÑO EN PAVIMENTO RÍGIDO

3.1. Generalidades

El pavimento rígido como alternativa de solución para la construcción de carreteras y calles y avenidas urbanas es elegido ya que los pavimentos rígidos han demostrado que requieren menos mantenimiento que los pavimentos flexibles. Muchas veces se habla de esta ventaja pero muchos la han sobreestimado y así se puede observar una gran cantidad de proyectos de concreto con un comportamiento actual inferior al esperado por un descuido absoluto de su conservación.

En la supervisión se juega un papel muy importante el comportamiento de pavimentos rígidos, ella es responsable de que los errores se enmarquen dentro de las tolerancias especificadas y que las posibles fallas de concepción y ejecución queden reducidas al mínimo. Debe entenderse por supervisión, no solo aquella que se realiza hasta el momento de entrega de obra, sino también aquella que continuara durante toda la vida útil del pavimento, haciendo evaluaciones periódicas de su comportamiento y estableciendo las bases del mantenimiento, para que este actúe oportunamente y conserve el pavimento en buenas condiciones de funcionamiento

El diseño de las estructuras de pavimentos rígidos puede ser realizado utilizando las recomendaciones establecidas en la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) edición de 1993, la cual corresponde a una metodología empírica, que tiene sus fundamentos principalmente en la prueba AASHTO Road Test (American Association of State Highway Officials), desarrollada en la década de 1960. Sin embargo, existen otros métodos de diseño para estructuras de pavimento rígido que no han sido muy utilizados, tal como el desarrollado por la Portland Cement Association (PCA) edición 1984, así como también las recomendaciones de la American Concrete Pavement Association (ACPA) y de la AASHTO edición 2002. Por lo anterior, se considera importante realizar un

análisis comparativo de las metodologías de mayor uso, propuestas por la AASHTO y por la PCA, así como evaluar las ventajas y limitantes de los mismos. Además, dentro del mismo contexto, existen algunos aspectos que forman parte del diseño de una estructura de pavimento que en algunos casos no se les presta la debida atención, tales como: la geometría de la losa (ancho y largo), y la determinación de las barras de amarre y dovelas requeridas; los cuales tienen una incidencia notable en el adecuado desempeño de la estructura de pavimento.

Los métodos de diseño que se mencionará y los más utilizados son:

- **Método de diseño de espesores de pavimento rígido de la PCA.**
- **Método de diseño de pavimento rígido AASHTO 1993.**

3.2. Método de diseño de espesores de pavimento rígido de la PCA.

El método de diseño de la Portland Cement Association, es exclusivamente un método de diseño desarrollado para pavimentos de concreto hidráulico. Los aspectos se basan principalmente en lo indicado en el manual de diseño de la PCA (Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements) edición 1984.

En general, el método de diseño de la PCA está basado en:

1. Análisis comprensivo de esfuerzos en el concreto y deflexiones en las juntas del pavimento, esquinas, y bordes, por un programa de computadora de elemento finito.
2. Modelos y pruebas a escala verdadera como la Arlington Test y varios proyectos de investigación dirigidos por la PCA y otras agencias acerca de sub-bases, juntas y hombros de concreto.
3. Pavimentos experimentales sujetos a pruebas de tráfico controlado, tales como la Bates Test Road, the Pittsburg Test Highway, the Maryland Road Test, the AASHO Road Test, y estudios de pavimentos de autopistas en servicio realizado por varios departamentos de estado de transporte.
4. El desempeño de pavimentos construidos normalmente sujetos a tráfico normal.

3.2.1. Criterios de diseño del método de la PCA.

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

- a) El criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas, el cual reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo (erosión del terreno de soporte de la losa de concreto) y diferencias de elevaciones en las juntas.

b) El criterio del esfuerzo de fatiga, el cual reconoce que el pavimento pueda fallar debido a excesivas repeticiones de carga.

A continuación se indican los principales aspectos relacionados con cada uno de los criterios de falla antes referidos.

a) Erosión.

El criterio de erosión es utilizado para limitar la deflexión que se produce en los bordes de las losas de concreto, juntas y esquinas del pavimento por efecto del bombeo. El bombeo es definido por la University of Washington of Civil and Environmental Engineering, (WSDOT Pavement Design), como ***“el movimiento de material por debajo de la losa de concreto o eyección de material desde abajo de la losa, como resultado de la presión del agua. El agua acumulada por debajo de la losa será presurizada cuando la losa flexione debido a carga”***.

El bombeo ocurre debido a muchas repeticiones de cargas de ejes pesados en las esquinas de la losa de concreto y bordes, erosión de subrasante, subbase, y materiales del hombro; lo cual genera huecos bajo y junto a la losa.

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

b) Fatiga.

El análisis del criterio de fatiga es utilizado para evaluar los esfuerzos producidos en las losas del pavimento, ante la aplicación de cargas sobre las losas, lo cual puede producir esfuerzos excesivos, que generan agrietamientos. El objetivo es mantener los esfuerzos en el concreto, que constituye la losa, dentro de los límites de seguridad, basándose en el factor de relación de esfuerzos, el cual corresponde al esfuerzo de flexión dividido entre el módulo de ruptura del concreto a los 28 días.

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

3.2.2. Factores de diseño del método de la PCA.

El diseño de espesores se realiza basándose principalmente en cinco factores:

1. Resistencia a la flexión del concreto, (Módulo de ruptura, MR).
2. Soporte de la subrasante, o de la combinación de subbase y subrasante, (K).
3. Periodo de diseño.
4. Los pesos, frecuencias, y tipo de tráfico pesado que el pavimento soportará, (Tráfico).
5. Factor de seguridad para las cargas, (FS).

3.2.2.1. Resistencia a la flexión del concreto

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Se obtiene mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 in x 6 in (150 mm x 150 mm) de sección transversal y un claro de al menos tres veces el espesor; la resistencia a la flexión se expresa como el módulo de ruptura y es determinada mediante el método de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios).

La consideración de la resistencia a la flexión del concreto se aplica en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga, la cual controla el agrietamiento del pavimento sujeto a cargas repetitivas de tráfico pesado.

3.2.2.2 Soporte de la subbase y de la subrasante

El soporte de la subbase y de la subrasante se define en términos del módulo de reacción de la subrasante (K), el cual corresponde a la carga aplicada (libras) en un área (in²) cargada (un plato de 30 in de diámetro) dividida entre la deflexión producida ante dicha carga (in).

3.2.2.3. Periodo de diseño

En la publicación de la PCA, el término periodo de diseño es usado en lugar del término vida del pavimento. El término periodo de diseño es algunas veces considerado como sinónimo del término periodo de análisis de tráfico. El periodo de diseño seleccionado interviene en el diseño del espesor, ya que determina la cantidad de años que el pavimento debe funcionar desempeñándose adecuadamente, y por lo tanto determina también, la cantidad de tráfico pesado que debe soportar el pavimento.

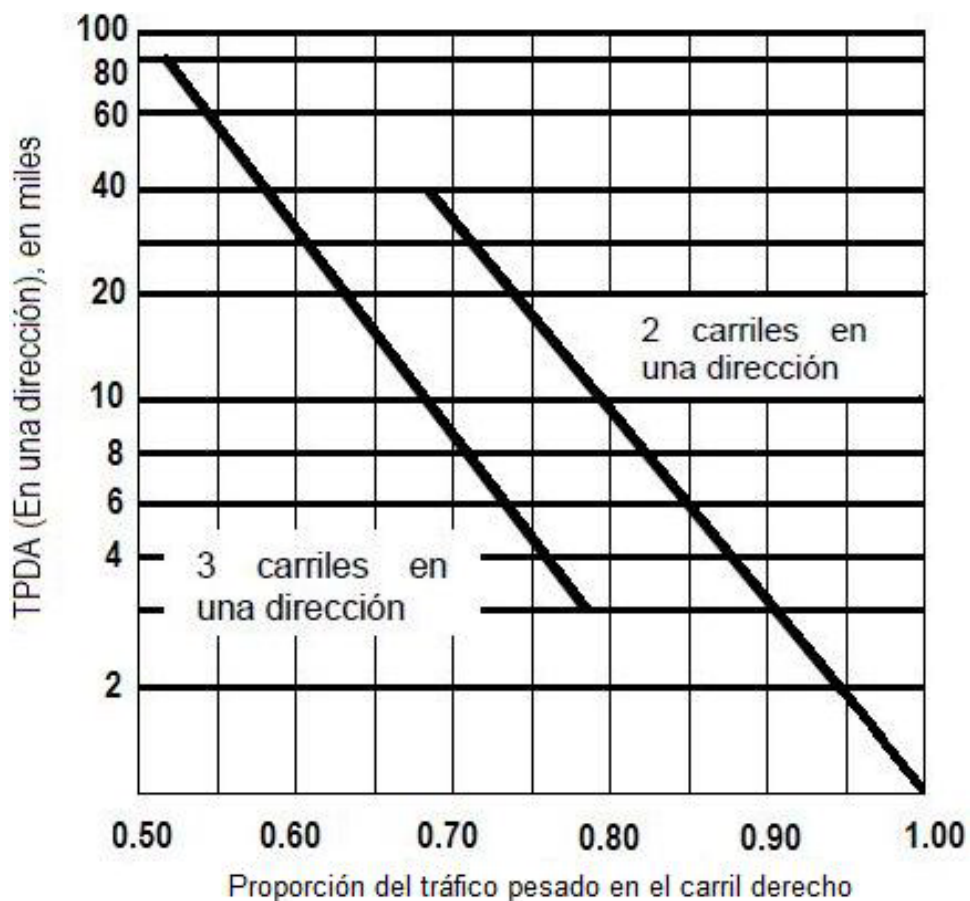
3.2.2.4. Tráfico

El número y pesos de cargas por ejes pesados esperados durante el periodo de diseño, son factores importantes en el diseño de espesores de pavimentos de concreto. Estos se derivan de estimados de las siguientes cargas de tráfico: ADT (tráfico promedio diario en ambas direcciones, todos los vehículos, “Average Daily Traffic”); ADTT (tráfico pesado promedio diario en ambas direcciones, “Average Daily Truck Traffic”) y de cargas por ejes de tráfico pesado. La información referente al tráfico es empleada para determinar el número de repeticiones esperadas de cada tipo de eje durante todo el periodo de diseño. Para poder conocer estos valores tendremos que conocer varios factores referentes al tránsito, como lo son el tránsito promedio diario anual (TPDA), el porcentaje que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el período de diseño, los cuales se muestran en la ecuación:

$Re = TPDA \times \% \text{Tipo de eje} \times F_{\text{Sentido}} \times F_{\text{Carril}} \times P_{\text{diseño}} \times F_{\text{Crecimiento Anual}} \times 365$

El método de diseño de la PCA recomienda considerar únicamente el tráfico pesado, es decir que se desprece todo el tráfico ligero como automóviles, paneles y pick-ups.

El factor de sentido, en la mayoría de casos, se asume que los pesos y volúmenes de vehículos pesados viajando en cada dirección son iguales, por lo que se considera un factor de sentido igual a 0.5. Si la vía será de un solo sentido, el factor será igual a 1.0. Se debe analizar el número de carriles por sentido mediante el factor de carril, para lo cual la PCA recomienda utilizar la figura.



Para obtener el factor de crecimiento anual se utiliza la siguiente fórmula:

$$C = \frac{(1 + g)^n - 1}{n * g}$$

Donde:

FC = Factor de Crecimiento Anual.

n = Vida útil en años.

g = Tasa de crecimiento anual, en %

3.2.2.5. Factores de seguridad para las cargas.

El método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por factores de seguridad de carga (FSC o LSF por sus siglas en inglés, Load Security Factor), la PCA recomienda los siguientes:

- Para vías interestatales y otros proyectos multicarril, donde se espera un flujo de tránsito ininterrumpido, con un alto volumen de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.2.
- Para autopistas y arterias principales donde se espera un volumen moderado de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.1.
- Para caminos, calles residenciales, y otras vías que soportarán bajos volúmenes de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.0.

En casos especiales, podría justificarse el uso de un factor de seguridad de carga tan alto como 1.3, para mantener un nivel de serviciabilidad mayor que el normal a través del periodo de diseño.

3.3. Método de diseño de pavimento rígido AASHTO 1993.

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

La ecuación fundamental AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos es:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log\left(\frac{M_R C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J (D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/K)^{0.25}})}\right)$$

Donde:

W₁₈ = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

S₀ = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P_t = Serviciabilidad final.

S = Módulo de rotura del concreto en psi.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

C_a = Coeficiente de drenaje.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

K = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).

3.3.2. Características estructurales

3.3.2.1. Drenaje

El proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos y rocas por medios naturales o artificiales, se llama drenaje. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos.

El agua es el causante principal del deterioro de la estructura del pavimento, porque origina muchos efectos devastadores en él; siendo el peor, la pérdida de soporte del pavimento.

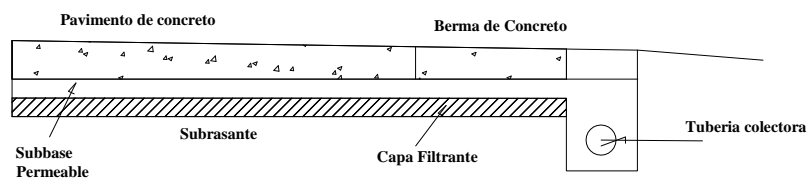
Para minimizar los efectos del agua sobre los pavimentos se debe:

- Prevenir el ingreso del agua al pavimento (drenaje superficial).
- Proveer de un drenaje para remover el agua rápidamente (drenaje subterráneo).
- Construir un pavimento suficientemente fuerte para resistir el efecto combinado de carga y agua.

Como es imposible impedir el ingreso del agua a la estructura del pavimento; es necesaria la construcción de un sistema de subdrenaje que permita remover rápidamente esta agua.

En la actualidad se están utilizando subbases altamente permeables y drenes laterales para evacuar rápidamente el agua. La sección típica de una subbase permeable se muestra en la figura.

Los materiales de drenaje incluyen: agregados, geotextiles y tuberías. Los agregados se usan como capas de drenaje y drenes franceses o como material de filtro para sus protecciones. Los geotextiles son usados para reemplazar agregados como filtros. Las tuberías pueden ser perforadas, ranuradas o de junta abierta, siendo colocadas dentro de los drenes franceses para recolectar agua



Los efectos del drenaje sobre el comportamiento del pavimento han sido considerados en el método AASHTO 93 por medio de un coeficiente de drenaje (C_d). El drenaje es tratado considerando el efecto del agua sobre las propiedades de las capas del pavimento y sus consecuencias sobre la capacidad estructural de éste; y además el efecto que tiene sobre el coeficiente de transferencia de carga en pavimentos rígidos.

La tabla proporciona los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje C_d , que depende de la propiedad con que cuentan las capas que constituyen la estructura del pavimento para liberar el agua libre entre sus granos, en función del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está expuesta normalmente expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

C_d	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Calificación					
Excelente	2 horas	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1 mes	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

3.3.2.2. Transferencia de carga

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones

excesivas producen bombeo de la subbase y posteriormente rotura de la losa de concreto.

El mecanismo de transferencia de carga en la junta transversal entre losa y losa se lleva a efecto de las siguientes maneras:

- Junta con dispositivos de transferencia de carga (pasadores de varilla lisa de acero) con o sin malla de refuerzo por temperatura.
- Losa vaciada monolíticamente con refuerzo continuo, (acero de refuerzo de varilla corrugada armada en ambas direcciones) no se establece virtualmente la junta transversal, tomándose en cuenta para el cálculo del acero estructural la remota aparición de grietas transversales.
- Junta transversal provocada por aserrado cuya transferencia de carga se lleva a efecto a través de la trabazón entre los agregados. La transferencia de cargas se puede definir usando deflexiones o tensiones en la junta. La transferencia de cargas por deformaciones es:

$$LT_{\delta} = \frac{(\delta_{\text{no cargada}})}{\delta_{\text{cargada}}}$$

Dónde:

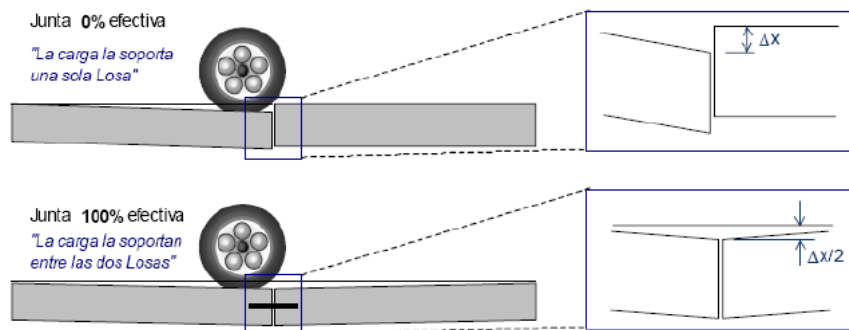
LT_{δ} = transferencia de cargas por deformaciones.

$\delta_{\text{no cargada}}$ = deflexión de la losa adyacente no cargada.

δ_{cargada} = deflexión de la losa cargada.

En la figura se observa que una transferencia de cargas es nula, cuando la losa no cargada no experimenta ninguna deflexión, todo lo contrario sucede cuando hay una transferencia de cargas perfecta donde la deflexión de la losa no cargada es igual a la de la losa cargada.

Transferencia de carga



La capacidad de una estructura de pavimento de concreto para transferir (distribuir) cargas a través de juntas o grietas es tomado en cuenta en el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga J. Los dispositivos de transferencia de carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre éste valor.

La tabla establece rangos de los coeficientes de transferencia de carga para diferentes condiciones desarrolladas a partir de la experiencia y del análisis mecánico de esfuerzos.

Como se puede apreciar en esta tabla el valor de J se incrementa a medida que aumentan las cargas de tráfico, esto se debe a que la transferencia de carga disminuye con las repeticiones de carga

Coeficiente de transferencia de carga (J)

Soporte lateral	Si		No		Si		No		Tipo
	ESALs en millones	Con pasadores con o sin refuerzo de temperatura	Con refuerzo continuo	Con refuerzo	Sin pasadores (fricción entre agregados)	Sin pasadores	entre agregados)		
Hasta 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2	-	-	-	Calles y caminos vecinales	
0.3 – 1	2.7	3.2	3.0	3.4	-	-	-		
1 – 3	2.7	3.2	3.1	3.6	-	-	-		
3 – 10	2.7	3.2	3.2	3.8	2.5	2.9	2.9	Camino principales y autopistas	
10 – 30	2.7	3.2	3.4	4.1	2.6	3.0	3.0		
más de 30	2.7	3.2	3.6	4.3	2.6	3.1	3.1		

3.3.2.3. Pérdida de soporte

Este factor, LS (loss of support = pérdida de soporte) es incluido en el diseño de pavimentos rígidos para tomar en cuenta la pérdida potencial de soporte proveniente de la erosión de la subbase y/o movimientos diferenciales verticales del suelo. Deberá también considerarse este factor en términos de los movimientos verticales del suelo que pueden resultar de vacíos bajo el pavimento. Aun cuando se utilice una subbase no erosionable, pueden desarrollarse vacíos, reduciendo la vida del pavimento.

La tabla proporciona algunos rangos sugeridos por las AASHTO para la pérdida de soporte, dependiendo del tipo de material (específicamente su rigidez o módulo elástico).

TIPO DE MATERIAL	PÉRDIDA DE SOPORTE
Base granular tratada con cemento (E = 1,000,000 a 2,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Mezclas de agregados con cemento (E = 500,000 a 1,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Bases tratadas con asfalto (E = 350,000 a 1,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Mezclas bituminosas estabilizadas (E = 40,000 a 300,000 psi)	0.0 – 1.0
Estabilizados con cal (E = 20,000 a 70,000 psi)	1.0 – 3.0
Materiales granulares sin ligante (E = 15,000 a 45,000 psi)	1.0 – 3.0
Materiales granulares finos o subrasante natural (E = 3,000 a 40,000 psi)	2.0 – 3.0

4. FALLAS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO

4.1. Generalidades

Las estructuras de concreto como alternativa de material de construcción presenta gran demanda en nuestro medio, la situación económica, la costumbre y a la vez la no buena aplicación de las técnicas de construcción hace que la mayoría de las construcciones sean ejecutadas en forma directa con los Contratistas Albañiles en forma empírica sin contar con planos estructurales y direccionados por un técnico Ingeniero que supervise la obra, esto hace que las estructuras construidas presenten fallas ya sean constructivas como ser; mal montaje (encofrados mal elaborados), mala dosificación, calidad de los materiales (granulometría de los materiales y control de calidad del cemento, mal curado, cantidad de agua,) y también fallas de servicio como ser; sobrecargas no previstas puesto que los elementos estructurales están dimensionados empíricamente, . Todas estas fallas deben ser reducidas al máximo haciendo que las estructuras en el proceso de elaboración tengan un control minucioso de los materiales a utilizar para contar con una estructura de concreto lo más perfecta posible

Son muchos los daños que pueden sufrir las estructuras debido a defectos de construcción, diseños inadecuados, calidad de materiales, escasez de mantenimiento preventivo, etc.; pero cualquiera que sea la causa de los daños, estos se dividen en tres grandes grupos:

- a) Daños estructurales
- b) Daños no estructurales
- c) Daños geotécnicos.

Toda edificación debe tener un sistema estructural que soporte tanto cargas verticales como horizontales, así también como las cargas de operación y funcionamiento (elementos no estructurales); tomando en cuenta las condiciones del terreno ante las diferentes cargas de servicio que se presenten, para así poder garantizar que el sistema estructural, no estructural y geotécnico funcionen

adecuadamente sin presentar ningún tipo de daño y si poner en peligro la seguridad de las personas.

Daños estructurales.- los daños estructurales son aquellos que afectan el sistema estructural restándole estabilidad y resistencia de la estructura. La evaluación de los daños estructurales se las puede realizar de una manera práctica partiendo de la identificación de los materiales de construcción utilizados en la estructura y de los diferentes tipos de fallas que se han observado ante la aplicación de las cargas a la cual se someten nuestras estructuras; como es el caso de los sismos y huracanes que se traducen como carga laterales.

En nuestro medio, las estructuras dependiendo del uso que se le va a dar están construidas de diversos tipos de materiales y en muchas ocasiones hasta la combinación de ellos, pero en general están construida de concreto reforzado, acero, mampostería y en algunos casos de concreto prefabricado, aunque vale la pena resaltar que existen otros tipos de construcciones (Adobe, Madera, etc.) que no son utilizadas en estructuras esenciales o vitales, como es el caso de los hospitales.

4.2. Factores que influyen en el deterioro de las estructuras de concreto

Los factores que influyen en el deterioro de la estructura de concreto se pueden dividir en dos grupos:

4.2.1. Factores Internos

Los factores internos se refieren al comportamiento intrínseco del material que provocan tensiones internas como ser:

- Precipitación de los Agregados
- Retracción por secado del Hormigón
- Reacciones químicas.
- Corrosión de las Armaduras

Precipitación de los Agregados.- Luego de su colocación inicial, el vibrado y acabado, el hormigón tiende a continuar consolidándose. Durante este período el hormigón plástico puede estar restringido por las armaduras, por una colada previa de hormigón o por los encofrados. Estas restricciones localizadas pueden provocar vacíos y/o fisuras adyacentes al elemento que impone la restricción (Figura 1.2). Si está relacionado con las armaduras, la fisuración por asentamiento de los agregados aumenta a medida que aumenta el tamaño de las barras, que aumenta el asentamiento del hormigón y disminuye el recubrimiento (Dakhil et al., 1975). Esto se ilustra en la Figura 1.3 para un rango limitado de las variables. El grado de fisuración por asentamiento se puede intensificar si el vibrado es insuficiente o si se emplean encofrados muy flexibles o con pérdidas.

Retracción por secado del Hormigón.- Una causa habitual de la fisuración del hormigón es la restricción de la retracción por secado. La retracción por secado es provocada por la pérdida de humedad de la masa de cemento, la cual se puede contraer hasta un 1%. Por fortuna, los agregados proveen una restricción interna que reduce la magnitud de este cambio de volumen a aproximadamente 0,06%. Cuando se humedece el hormigón tiende a expandirse.

Estos cambios de volumen inducidos por los cambios de humedad son una característica propia del hormigón. Si la retracción del hormigón se produjera de manera no restringida el hormigón no se fisuraría. Es la combinación de la retracción y la restricción (generalmente proporcionada por otra parte de la estructura o por la subrasante) lo que provoca el desarrollo de tensiones de tracción. Cuando se supera la resistencia a la tracción del hormigón éste se fisura. Las fisuras se pueden propagar a tensiones mucho menores que las requeridas para provocar el inicio de la fisuración.

En los elementos de hormigón masivo hay tensiones de tracción provocadas por la retracción diferencial entre el hormigón de la superficie y el hormigón del

interior de la masa. La mayor retracción de la superficie provoca el desarrollo de fisuras, que con el tiempo pueden penetrar más profundamente hacia el interior del hormigón.

La magnitud de las tensiones de tracción inducidas por los cambios de volumen está influenciada por una combinación de diferentes factores, incluyendo la magnitud de la retracción, el grado de restricción, el módulo de elasticidad y la magnitud de la fluencia lenta. La magnitud de la retracción por secado depende principalmente de la cantidad y tipo de agregados y del contenido de agua de la mezcla. Cuanto mayor sea la cantidad de agregados, menor será la retracción (Pickett, 1956). Cuanto más rígido sea el agregado, más efectivo será para reducir la retracción del hormigón (por ejemplo, la retracción de un hormigón que contiene arenisca puede ser más del doble que la de un hormigón que contiene granito, basalto o caliza (Carlson, 1938)). Cuanto mayor sea el contenido de agua, mayor será la retracción por secado (U.S. Bureau of Reclamation, 1975).

La fisuración superficial irregular en muros y losas (piel de cocodrilo) constituye un ejemplo de retracción por secado a pequeña escala. Generalmente hay fisuración irregular cuando la capa superficial tiene mayor contenido de humedad que el interior del hormigón. El resultado es una serie de fisuras finas y poco profundas, con poca separación.

La retracción por secado se puede reducir aumentando la cantidad de agregado y reduciendo el contenido de agua. Un procedimiento que ayudará a reducir la fisuración por asentamiento de los agregados, como así también la retracción por secado de muros, consiste en reducir el contenido de agua del hormigón a medida que se cuela el muro, desde la parte inferior a la parte superior. Usando este procedimiento, el agua de exudación de las partes inferiores del muro tenderá a igualar el contenido de agua dentro del muro. Para que este procedimiento sea exitoso es fundamental controlar el hormigón cuidadosamente y compactarlo de

manera adecuada. La fisuración por retracción se puede controlar utilizando juntas de contracción y un adecuado detallado de las armaduras. La fisuración por retracción también se puede reducir utilizando cemento compensador de la retracción. Reducir o eliminar la restricción bajo una losa también puede ser una medida efectiva para reducir la fisuración por retracción de losas de cimentación (Wimsatt et al., 1987).

Reacciones Químicas.-

Algunas reacciones químicas pueden provocar la fisuración del hormigón. Estas reacciones pueden ser producto de los materiales utilizados para preparar el hormigón, o de los materiales que están en contacto con el hormigón una vez endurecidos.

A continuación se presenta algunos conceptos útiles para reducir las reacciones químicas adversas, pero sólo el ensayo previo de las mezclas a utilizar o una gran experiencia en obra pueden determinar la eficacia de una medida en particular.

Con el tiempo el hormigón se puede fisurar como resultado de reacciones expansivas de desarrollo lento producidas entre los agregados que contienen sílice activa y los álcalis derivados de la hidratación del cemento, aditivos o fuentes externas (por ejemplo, el agua usada para el curado, el agua freática, las soluciones alcalinas almacenadas o empleadas en la estructura terminada).

La reacción álcali-sílice provoca la formación de un gel expansivo que tiende a extraer agua de otras partes del hormigón. Esto provoca expansiones locales junto con las correspondientes tensiones de tracción, y eventualmente puede provocar el deterioro total de la estructura. Las medidas de control incluyen la correcta elección de los agregados, el uso de cementos con bajo contenido de álcalis y el uso de puzolanas, las cuales a su vez contienen sílices muy finas y altamente activas. La primera medida puede impedir que ocurra el problema, mientras que

las dos últimas tienden a reducir la relación entre álcalis y sílice reactiva, provocando la formación de un silicato de calcio alcalino no expansivo.

Ciertas rocas carbonatadas participan en reacciones con los álcalis; en algunos casos estas reacciones producen expansión y fisuración. Estas reacciones álcali-carbonato perjudiciales generalmente están asociadas con calizas dolomíticas y arcillosas que tienen una estructura granular muy fina (criptocristalina) (ACI 201.2R). El hormigón afectado se caracteriza por un patrón de fisuración en red. Esta reacción se distingue de la reacción álcali-sílice por la ausencia de depósitos superficiales de gel de sílice en las fisuras.

El problema se puede minimizar evitando los agregados reactivos, diluyendo con agregados no reactivos, utilizando un menor tamaño máximo de agregado y utilizando cemento de bajo contenido de álcalis (ACI 201.2R).

Las aguas sulfatadas representan un problema para el hormigón desde el punto de vista de su durabilidad. Los sulfatos que penetran en la masa de cemento hidratada entran en contacto con el aluminato de calcio hidratado. Se forma un sulfoaluminato de calcio, con el consiguiente aumento de volumen, que provoca elevadas tensiones de tracción localizadas, que a su vez provocan el desarrollo de fisuras poco separadas y un deterioro generalizado del hormigón. Los cementos pórtland de bajo contenido de aluminato tricálcico (ver las normas IRAM 50000 e IRAM 5001), pueden reducir la gravedad del problema. (Atención: en el documento original se hace referencia a "cementos pórtland ASTM C 150 Tipos II y V, de bajo contenido de aluminato tricálcico").

Los cementos compuestos (ver las normas IRAM 50000 e IRAM 50001) también son útiles para este problema. (Atención: en el documento original se hace referencia a "los cementos mezclados especificados en ASTM C 595").

En algunos casos extremos y luego de realizar los ensayos correspondientes, se podrían usar puzolanas que son conocidas por impartir una resistencia adicional contra el ataque de los sulfatos, obviamente luego de realizar los ensayos correspondientes. También pueden surgir condiciones perjudiciales como resultado de la aplicación de sales descongelantes sobre una superficie de

hormigón endurecido. El hormigón expuesto a sales solubles en agua debería tener un elevado contenido de aire incorporado, tener un adecuado recubrimiento de las armaduras y ser hormigón de alta calidad y baja permeabilidad.

En ACI 201.2R se discuten en mayor profundidad los efectos de estos y otros problemas relacionados con la durabilidad del hormigón.

El hidróxido de calcio de la pasta cementicia hidratada se combinará con el dióxido de carbono del aire para formar carbonato de calcio. Debido a que el carbonato de calcio tiene menor volumen que el hidróxido de calcio, habrá retracción (habitualmente conocida como retracción por carbonatación).

Esta situación puede provocar un importante grado de fisuración irregular en las superficies de hormigón, y puede ser particularmente grave en el caso de superficies frescas recién colocadas durante las primeras 24 horas si se usan calentadores sin ventilación adecuada para mantener el hormigón tibio durante los meses invernales.

A excepción de la carbonatación superficial, es poco lo que se puede hacer para proteger o reparar el hormigón que ha estado expuesto a los ataques químicos descritos en los párrafos precedentes (ACI 201.2R).

Corrosión de las Armaduras.- La corrosión de un metal es un proceso electroquímica que requiere un agente oxidante, humedad y flujo de electrones dentro del metal; se producen una serie de reacciones químicas en la superficie del metal y cerca de la misma (ACI 201.2R).

La clave para proteger un metal contra la corrosión es detener o invertir las reacciones químicas. Esto se puede lograr cortando los suministros de oxígeno o

humedad, o proveyendo un exceso de electrones en los ánodos para impedir la formación de los iones metálicos (protección catódica).

El acero de las armaduras del hormigón generalmente no se corroe ya que en el ambiente altamente alcalino se forma un recubrimiento de óxido protector, fuertemente adherido al acero. Esto se conoce como protección pasiva. Sin embargo, el acero de las armaduras se puede corroer si la alcalinidad del hormigón se reduce por carbonatación o si la pasividad de este acero es destruida por iones agresivos (generalmente cloruros). La corrosión del acero produce óxidos e hidróxidos de hierro, cuyo volumen es mucho mayor que el del hierro metálico original (Verbeck, 1975). Este aumento de volumen provoca tensiones radiales de estallido alrededor de las barras de armadura, y la consiguiente aparición de fisuras radiales localizadas. Estas fisuras radiales se pueden propagar a lo largo de la barra, provocando la formación de fisuras longitudinales (es decir, paralelas a la barra) o provocando el descascaramiento del hormigón. También se puede formar una fisura ancha en un plano de barras paralelas a una superficie de hormigón y esto puede llevar a la fisuración laminar (en láminas), próxima a la superficie problema bien conocido en el caso de tableros de puentes.

Las fisuras permiten que el oxígeno, la humedad y los cloruros ingresen fácilmente; por lo tanto, las pequeñas fisuras radiales pueden crear una condición que acelerará la corrosión y la fisuración.

Las fisuras transversales a las armaduras generalmente no causan un proceso continuo de corrosión de las armaduras, siempre que el hormigón tenga baja permeabilidad. Esto se debe a que la porción expuesta de una barra en una fisura actúa como un ánodo. A edades tempranas, cuanto más ancha sea la fisura mayor será la corrosión, simplemente porque una parte más extensa de la barra ha perdido su protección pasiva. Sin embargo, para que haya un proceso continuo de corrosión, debe haber oxígeno y humedad disponible en otras partes de la misma

barra o en barras eléctricamente conectadas por contacto directo o por medio de herrajes tales como los soportes de las armaduras. Si la combinación de densidad y espesor de recubrimiento de hormigón restringe adecuadamente el flujo de oxígeno y humedad, se dice que el proceso de corrosión es autocurante (Verbeck, 1975).

Si se forma una fisura longitudinal paralela a la armadura, la corrosión puede continuar, ya que se pierde la pasividad en muchos puntos y hay oxígeno y humedad fácilmente disponibles a lo largo de toda la longitud de la fisura.

Otras causas de fisuración longitudinal, como por ejemplo la presencia de elevadas tensiones de adherencia, tracción transversal (por ejemplo a lo largo de estribos o a lo largo de losas traccionadas en dos direcciones), retracción y asentamiento, pueden iniciar la corrosión.

En general, para las construcciones de hormigón la mejor protección contra los daños inducidos por la corrosión es usar hormigón de baja permeabilidad y un recubrimiento de hormigón adecuado. Aumentar el espesor del recubrimiento de hormigón sobre las armaduras resulta efectivo para demorar el proceso de corrosión y también para resistir las hendiduras y descascamientos provocados por la corrosión o las tracciones transversales (Gergely, 1981; Beeby, 1983). En el caso de barras de gran diámetro y recubrimientos de gran espesor, puede ser necesario agregar pequeñas armaduras transversales (manteniendo los requisitos sobre recubrimiento mínimo) para limitar las hendiduras y para reducir el ancho de las fisuras superficiales (ACI 345R).

Si las condiciones de exposición son extremadamente severas es posible que sea necesario adoptar medidas de protección adicionales. Hay varias opciones disponibles, tales como el uso de armaduras recubiertas, selladores o sobrecapas encima del hormigón, aditivos inhibidores de la corrosión y protección catódica

(NCHRP Synthesis 57). Cualquier procedimiento que impida de manera efectiva que el oxígeno y la humedad accedan a la superficie de acero, o invierta el flujo de electrones en el ánodo, protegerá el acero. En la mayoría de los casos se debe permitir que el hormigón respire, es decir que cualquier tratamiento superficial del hormigón debe permitir que el agua del hormigón se evapore.

4.2.2. Factores Externos

- Fisuración por retracción Plástica
- Tensiones de origen térmico
- Meteorización
- Practicas constructivas inadecuadas
- Sobrecargas durante la construcción
- Cargas aplicadas externamente

Fisuración por retracción plástica.- "La fisuración por retracción plástica ocurre cuando el concreto en proceso de endurecimiento está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores que incluyen las temperaturas del aire y el hormigón, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del hormigón. Estos factores pueden combinarse de manera de provocar niveles altos de evaporación superficial tanto en clima caluroso como en clima frío."

Si la humedad se evapora de la superficie del hormigón recién colocado más rápido de lo que puede ser reemplazada por el agua de exudación, el hormigón superficial se contrae. Debido a la restricción proporcionada por el hormigón debajo de la capa superficial que se seca, en el hormigón débil, plástico y en proceso de rigidización se desarrollan tensiones de tracción que provocan fisuras poco profundas pero de profundidad variable, que pueden formar un patrón poligonal aleatorio, o bien pueden aparecer básicamente paralelas unas a otras. Estas fisuras a menudo son bastante anchas en la superficie. Su longitud varía

entre pocos milímetros y más de un metro, y su separación puede ser de pocos milímetros o de hasta 3 m. Las fisuras por retracción plástica comienzan como fisuras de poca profundidad, pero pueden convertirse en fisuras cuya profundidad abarque la totalidad de la altura del elemento. Como la fisuración por retracción plástica se debe a un cambio diferencial de volumen del hormigón, las medidas de control para ser exitosas, requieren reducir el cambio diferencial de volumen entre la superficie y otras partes del hormigón.

Para impedir la rápida pérdida de humedad provocada por el tiempo caluroso y los vientos secos se pueden adoptar varias medidas que incluyen el uso de boquillas de niebla para saturar el aire en contacto con las superficies, y el uso de láminas plásticas para cubrir las superficies entre operaciones de acabado. También resultan útiles los rompe-vientos que reducen la velocidad del viento y los parasoles que reducen la temperatura superficial. Otra práctica recomendable es programar la construcción de losas y pavimentos para después que estén contruidos los rompe vientos.

Tensiones de origen térmico.- Las diferencias de temperatura dentro de una estructura de hormigón pueden ser provocadas por partes de la estructura que pierden calor de hidratación a diferentes velocidades, o por condiciones climáticas que enfrían o calientan una parte de la estructura hasta una mayor temperatura o con una mayor velocidad que otra. Estas diferencias de temperatura ocasionan cambios diferenciales de volumen. Si las tensiones de tracción provocadas por los cambios diferenciales de volumen superan la capacidad de deformación por tracción del hormigón, éste se fisurará. Los diferenciales de temperatura provocados por diferentes tasas de disipación del calor de hidratación del cemento normalmente sólo afectan al hormigón masivo (que puede incluir columnas, estribos, vigas y zapatas, además de presas), mientras que los diferenciales de temperatura provocados por cambios de la temperatura ambiente pueden afectar a cualquier estructura. La fisuración del

hormigón masivo se puede deber a una temperatura en la superficie de la masa mayor que la temperatura en el interior de la misma. El gradiente de temperatura puede ocurrir ya sea porque la parte central del hormigón se calienta más que la parte exterior por el calor liberado durante el proceso de hidratación del cemento, o bien por un enfriamiento más rápido del exterior respecto del interior del hormigón. En ambos casos se originan tensiones de tracción en el exterior y, si estas tensiones superan la resistencia a la tracción, habrá fisuración. Las tensiones de tracción son proporcionales al diferencial de temperatura, el coeficiente de expansión térmica, el módulo de elasticidad efectivo (reducido por la fluencia lenta) y el grado de restricción (Dusinberre, 1945; Houghton, 1972, 1976). Cuanto más masiva sea la estructura, mayor será su potencial de generar gradientes térmicos y fisurarse.

Los procedimientos para reducir la fisuración de origen térmico incluyen reducir la máxima temperatura interna, demorar el inicio del enfriamiento, controlar la velocidad a la cual se enfría el hormigón y aumentar la resistencia a la tracción del hormigón. En los documentos ACI 207.1R, ACI 207.2R, ACI 207.4R y ACI 224R se presentan estos y otros métodos utilizados para reducir la fisuración del hormigón masivo.

El hormigón endurecido tiene un coeficiente de expansión térmica que puede variar entre 7 a 11 x 10⁻⁶ C, con un valor típico de 10 x 10⁻⁶ C. Si una parte de la estructura es sometida a un cambio de volumen de origen térmico, es probable que haya fisuración de origen térmico. Los diseñadores deberían prestar particular atención a las estructuras en las cuales algunas partes están expuestas a cambios de temperatura mientras otras están parcial o totalmente protegidas. Una caída de temperatura podría provocar la fisuración de los elementos expuestos, mientras que un aumento de temperatura podría provocar fisuración en los elementos protegidos. Los gradientes de temperatura provocan deflexiones y rotaciones en los elementos estructurales; si éstos están restringidos se pueden

generar tensiones elevadas (Priestley, 1978; Hoffman et al., 1983; ACI 343R). Este problema se puede aliviar permitiendo el movimiento por medio de juntas de contracción correctamente diseñadas y detallando las armaduras adecuadamente.

Meteorización.- Los procesos de meteorización que pueden provocar fisuración, incluyen el congelamiento, deshielo, humedecimiento, secado, calentamiento y enfriamiento. En general la fisuración provocada por los procesos naturales de meteorización es importante, y puede dar la impresión de que el hormigón está a punto de desintegrarse, aun cuando el deterioro no haya progresado mucho debajo de la superficie.

Los daños provocados por los ciclos de congelamiento y deshielo representan el deterioro físico más habitual relacionado con las condiciones meteorológicas. Tanto el congelamiento del agua de la pasta como el congelamiento del agua en los agregados, o ambos fenómenos, pueden dañar el hormigón (Powers, 1975). Los daños en el hormigón endurecido provocados por el congelamiento se deben al movimiento del agua hacia los sitios de congelamiento y a la presión hidráulica generada por el crecimiento de cristales de hielo (Powers, 1975). Las partículas de agregado están rodeadas por pasta cementicia que impide que el agua escape rápidamente. Cuando las partículas de agregado están por encima de un grado crítico de saturación, la expansión del agua absorbida durante el congelamiento puede fisurar la pasta cementicia circundante o dañar el propio agregado (Callan, 1952; Snowdon y Edwards, 1962). La mejor manera de proteger al hormigón contra el congelamiento y deshielo consiste en utilizar la menor relación agua-cemento y cantidad total de agua posibles, utilizar agregados durables e incorporar aire adecuadamente. También es importante el curado previo a la exposición a condiciones de curado mejorará su durabilidad con respecto al congelamiento y deshielo.

Otros procesos de meteorización que pueden provocar la fisuración del hormigón son los ciclos de humedecimiento y secado y calentamiento y enfriamiento. Ambos procesos generan cambios de volumen que pueden provocar fisuración.

Prácticas constructivas inadecuadas.- Existe una gran variedad de prácticas constructivas inadecuadas cuyo resultado puede ser la fisuración del hormigón. Entre ellas la más habitual es la costumbre de agregarle agua al hormigón para mejorar su trabajabilidad. El agua agregada reduce la resistencia, aumenta el asentamiento y aumenta la retracción por secado. Si esta práctica se combina con el uso de un mayor contenido de cemento para contrarrestar la reducción de la resistencia, el aumento del contenido de agua significará un aumento del diferencial de temperatura entre el interior y el exterior de la estructura, cuyo resultado será un aumento de las tensiones térmicas y posiblemente, fisuración. Si se agrega cemento, aún manteniendo constante la relación agua-cemento, habrá más retracción porque aumentará el volumen relativo de pasta.

La falta de curado aumentará el grado de fisuración de una estructura de hormigón. Terminar el curado antes de tiempo permitirá mayor retracción en un momento en el cual el hormigón aún tiene baja resistencia. La falta de hidratación del cemento, debida al secado, resultará no sólo en una reducción de la durabilidad de la estructura.

Otros problemas constructivos que pueden provocar fisuración son el uso de apoyos inadecuados para los encofrados, una compactación inadecuada y la colocación de juntas de contracción en puntos de tensión elevada. La falta de apoyo para los encofrados o la compactación inadecuada pueden provocar el asentamiento y la fisuración del hormigón antes que éste haya desarrollado resistencia suficiente para soportar su propio peso, mientras que la incorrecta ubicación de las juntas de construcción puede provocar la abertura de las juntas en los puntos de tensión elevada.

Sobrecargas durante la construcción.- A menudo las cargas inducidas durante la construcción pueden ser mucho más severas de las que soportará la estructura en servicio. Desafortunadamente, estas condiciones se pueden dar a edades temprana cuando el hormigón es más susceptible de ser dañado y con frecuencia originan fisuras permanentes. Los elementos pre-moldeados, tales como vigas y paneles, son los más expuestos a este tipo de abuso, pero el hormigón colado in situ no está exento de ser afectado. Un error común es no apoyar correctamente los elementos pre-moldeados durante su transporte y montaje. El uso de puntos de elevación arbitrarios o simplemente convenientes puede provocar daños severos. Los ganchos y pasadores usados para levantar estos elementos deben ser detallados o aprobados por el diseñador. Si no es posible utilizar ganchos o pasadores, se debe proveer acceso al fondo del elemento de manera de poder usar correas.

Errores de Diseño y detallado.- Las consecuencias de un diseño y/o detallado incorrecto van desde estructuras no satisfactorias desde el punto de vista estético hasta la falta de serviciabilidad o fallas catastróficas. Estos problemas sólo se pueden minimizar por medio de una profunda comprensión del comportamiento estructural (en su sentido más amplio).

Los errores de diseño y detallado que pueden provocar fisuración inaceptable incluyen el uso de ángulos reentrantes mal detallados en las esquinas de muros, elementos y losas pre-moldeados, la incorrecta selección y/o detallado de las armaduras, la restricción de elementos sujetos a cambios de volumen provocados por variaciones de temperatura y humedad, la falta de juntas de contracción adecuadas y el incorrecto diseño de las fundaciones, que provoca movimientos diferenciales dentro de la estructura. Kaminetzky (1981) y Price (1982) presentan ejemplos de estos problemas. Los ángulos reentrantes permiten la concentración de tensiones y, por lo tanto, son ubicaciones preferenciales para el inicio de fisuras. Ya sea que las elevadas tensiones sean el resultado de cambios de

volumen, cargas en el plano o flexión, el diseñador debe reconocer que las tensiones siempre son elevadas cerca de esquinas o ángulos reentrantes. Algunos ejemplos bien conocidos son las aberturas para puertas y ventanas en los muros de hormigón y los extremos de las vigas entalladas, ilustrados en las Figuras 1.4 y 1.5. Para mantener las inevitables fisuras poco abiertas e impedir su propagación, se requiere armadura diagonal correctamente anclada. El uso de una cantidad inadecuada de armadura puede provocar fisuración excesiva. Un error típico consiste en armar un elemento ligeramente porque se trata de un " elemento no estructural." Sin embargo, el elemento (por ejemplo un muro) puede estar unido al resto de la estructura de una manera tal que se requiera que soporte gran parte de la carga una vez que la estructura se comienza a deformar. Entonces el "elemento no estructural" comienza a soportar carga de manera proporcional a su rigidez. Debido a que este elemento no ha sido detallado para actuar estructuralmente, se pueden producir fisuras antiestéticas aun cuando la seguridad de la estructura no esté en riesgo.

La restricción de elementos sujetos a cambios de volumen frecuentemente provoca fisuración. Las tensiones que se pueden generar en el hormigón debido a la restricción de la fluencia lenta, los diferenciales de temperatura y la retracción por secado pueden ser mucho mayores que las tensiones provocadas por las cargas. No es difícil que una losa o una viga restringida e impedida de acortarse, aún si está pretensada, desarrolle tensiones de tracción suficientes para provocar fisuración. Los muros bien diseñados deberían tener juntas de contracción separadas entre una y tres veces la altura del muro.

Se debería permitir el movimiento de las vigas. Las construcciones postesadas coladas in situ que no permiten que un elemento pretensado se acorte pueden provocar la fisuración tanto del elemento como de la estructura de apoyo (Libby,1977). El problema de la restricción de los elementos estructurales es particularmente serio en los elementos pretensados y pre-moldeados que se

suedan a los apoyos en ambos extremos. En combinación con otros detalles problemáticos (ángulos reentrantes, etc.) puede resultar catastrófico (Kaminetzki, 1981; Mast, 1981).

Las fundaciones mal diseñadas pueden provocar movimientos diferenciales excesivos dentro de una estructura. Si el movimiento diferencial es relativamente pequeño, el problema de la fisuración será puramente estético. Sin embargo, si se produce un importante asentamiento diferencial, es posible que la estructura no sea capaz de redistribuir las cargas con la velocidad suficiente para impedir la falla. Una de las ventajas del hormigón armado es que, si el movimiento se produce durante un período de tiempo suficientemente largo, la fluencia lenta permitirá que haya al menos alguna redistribución de la carga. La importancia del correcto diseño y detallado dependerá de la estructura y las cargas particulares involucradas. Se debe tener especial cuidado en el diseño y detallado de aquellas estructuras en las cuales la fisuración podría provocar problemas de serviciabilidad importantes. Estas estructuras también requieren inspecciones continuas durante todas las fases de la construcción para suplementar el diseño y detallado.

4.3. Tipos de Fallas en estructuras de Concreto

Toda estructura de concreto reforzado está compuesta de varios elementos estructurales, los cuales pueden clasificarse de manera general en:

- a) Columnas
- b) Vigas
- c) Unión de vigas y columnas
- d) Muros
- e) Losas

La combinación de cada uno de estos elementos estructurales produce un sistema de estructura total; la respuesta de estos ante la ocurrencia de fuerzas externas depende del diseño, construcción y rigidez de los sistemas estructurales; entre otros.

Como una guía de posibles fallas en elementos estructurales de concreto reforzado (columnas, vigas, losas, muros portantes, etc.) y uniones de viga – columna; se muestran en los siguientes detalles:

a) Columnas

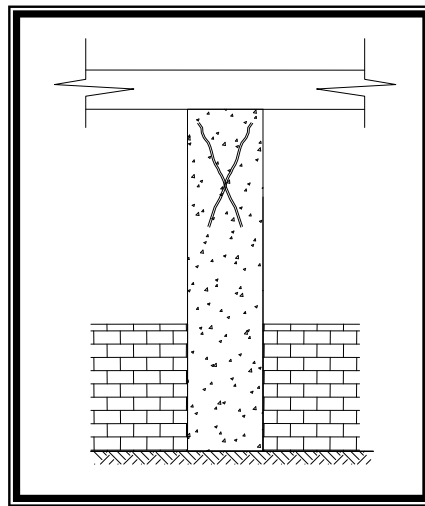
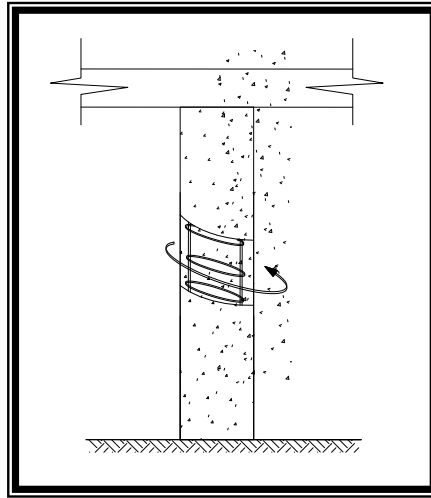
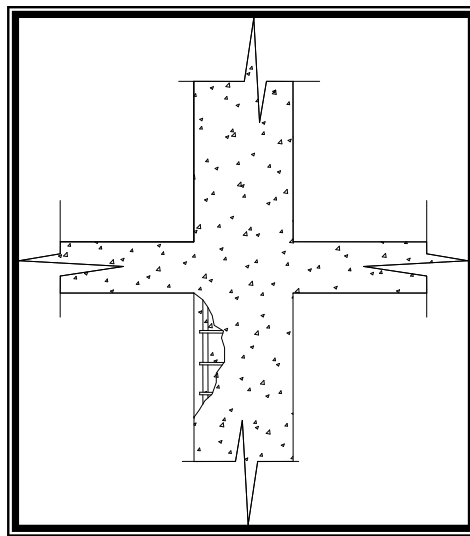


Fig. 1 Grietas formando una X en la parte de la columna que no está restringida por muros o paredes laterales.

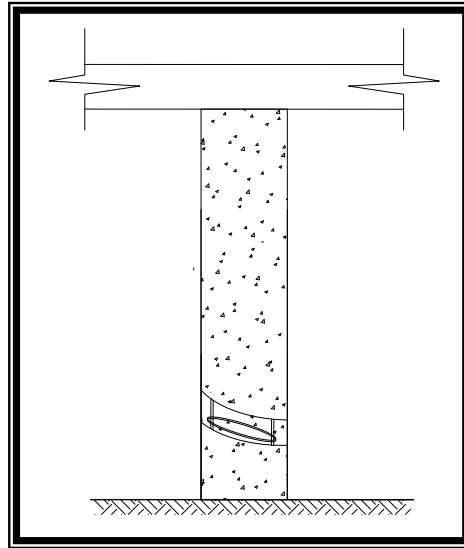
(Falla en columnas cortas)



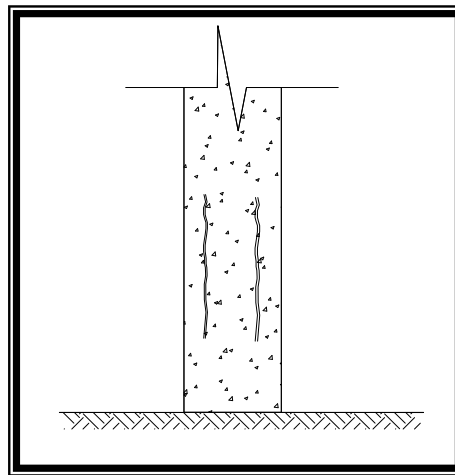
*Fig. 2 Fractura del concreto y exposición del acero de refuerzo en la columna (**Falla por torsión**)*



*Fig. 3 Fractura y desprendimiento del concreto, exposición y deformación del refuerzo en los extremos de la columna (**Falla por flexo-compresión**)*



*Fig. 4. Grietas aproximadamente de 45° en los extremos de las columnas; puede no haber desprendimiento de concreto y exposición del refuerzo (**Falla por cortante**)*



*Fig. 5 Fisuras debido al alto grado de corrosión del acero de refuerzo (**Falla por corrosión del acero**)*

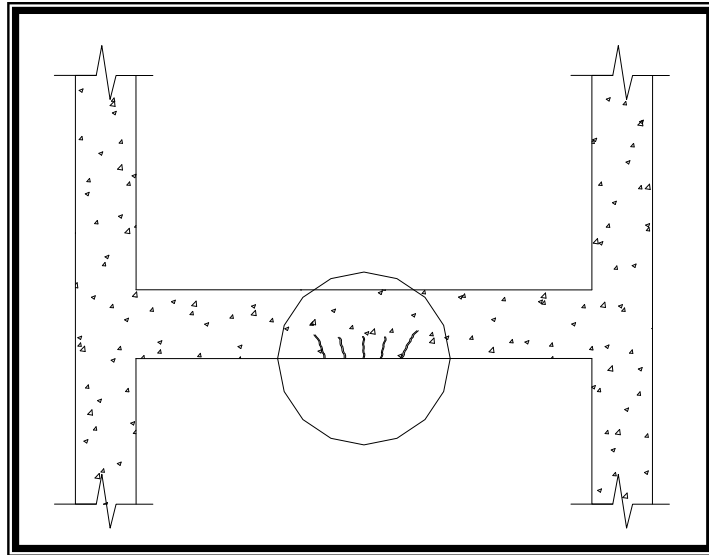
b) Vigas

Fig. 6 Fisuras perpendiculares al eje de la viga en la parte inferior del tercio glaro de la luz (Falla por Momento Positivo en la luz central de la viga)

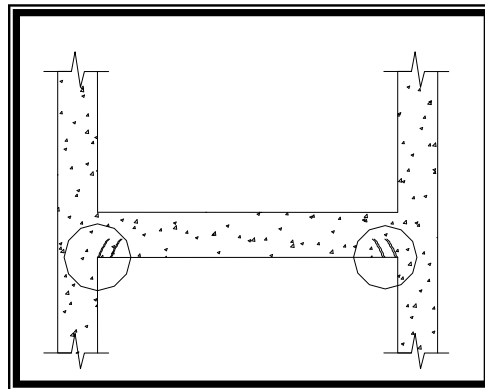


Fig. 7 Grietas inclinadas aprox. 45° en los extremos de la viga (Falla por corte)

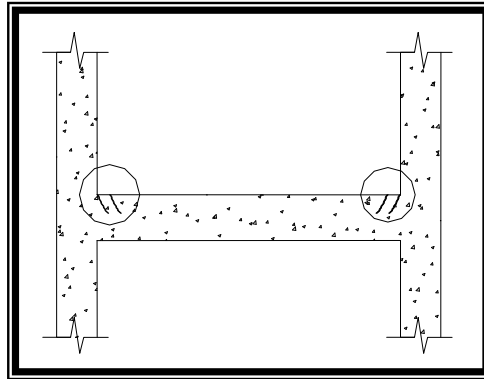


Fig. 8 Fisuras perpendiculares al eje de la viga, en la parte superior de los extremos de la viga (Falla por momento negativo en los extremos de la viga)

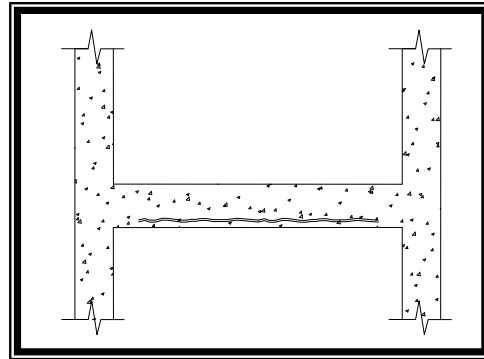


Fig. 9 Fisuras longitudinales producto de la corrosión excesiva del acero de refuerzo

c) Uniones viga-columna

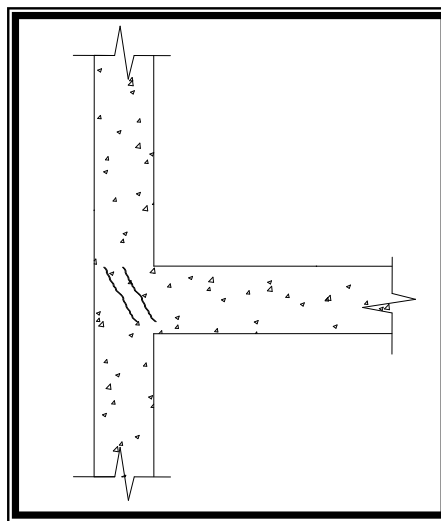


Fig.10 Grietas a 45° en la unión (Falla por corte)

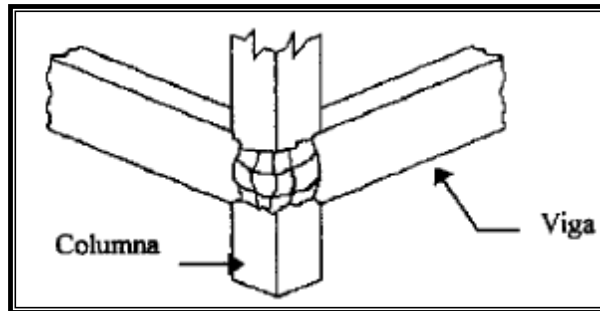


Fig. 11 Desprendimiento del concreto, pandeo y exposición del acero de refuerzo longitudinal de la columna (Falla por compresión y falta de confinamiento)

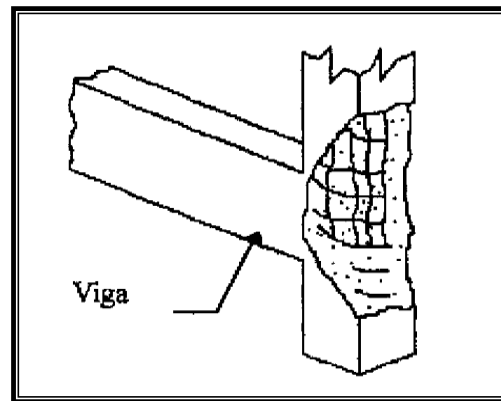


Fig. 12 Desprendimiento del concreto, pandeo y exposición del acero en la unión (Falla por momento Flector)

d) Muros

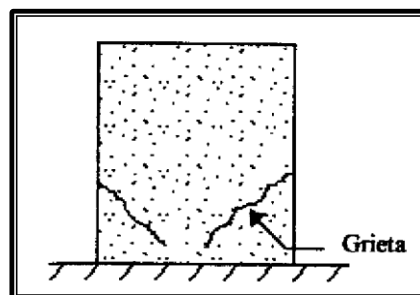


Fig. 13 Grietas aproximadamente de 45 Grados en los extremos de la base del muro (Fallas por Cortante)

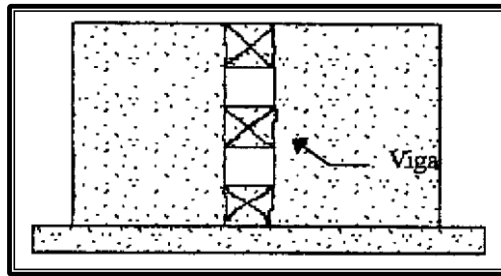


Fig. 14 Grietas a 45 ° formando una X que unen las dos porciones del muro (Fallas por tensión diagonal en las vigas de unión)

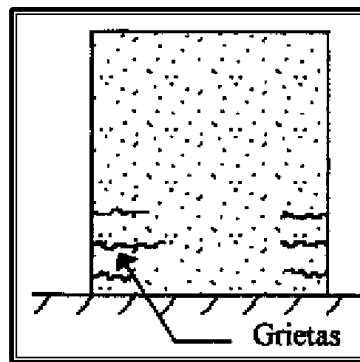


Fig. 15 Grietas casi horizontales en los extremos de la base del muro (Fallas por flexión)

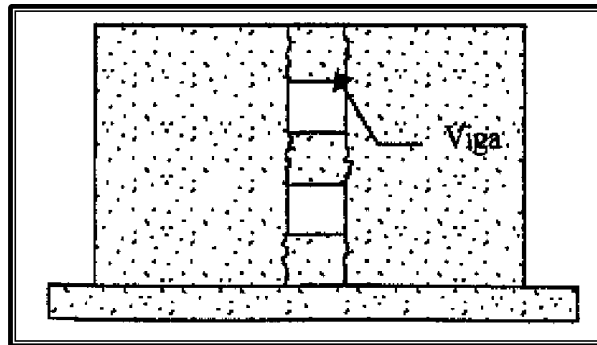


Fig. 16 Grietas verticales en los extremos de las vigas de unión en las dos porciones del muro (Falla por corte deslizante)

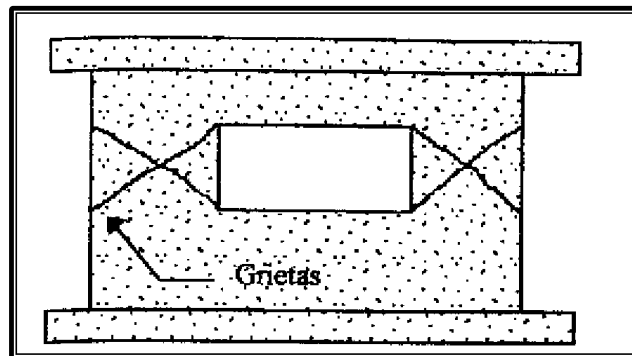


Fig. 17 grietas a 45 grados formando una X en las partes del muro que rodean la abertura. (Falla por cortante en muros con aberturas)

e) Losas

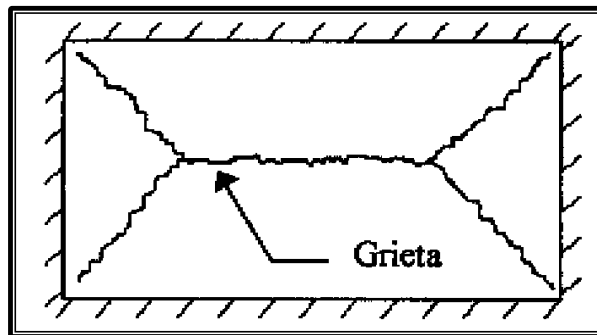


Fig. 18 grietas a 45 grados unidas por una grieta longitudinal, en la cara inferior de la losa. (Falla por la flexión de la losa rectangular apoyada en los cuatro bordes).

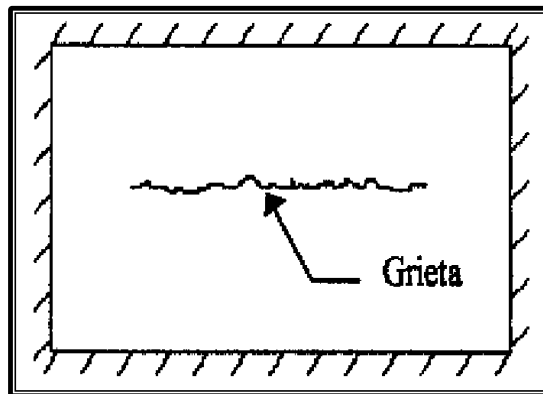


Fig. 19 Grietas longitudinales al centro, en la cara inferior de la losa
(Fallas por flexión de la losa en un sentido)

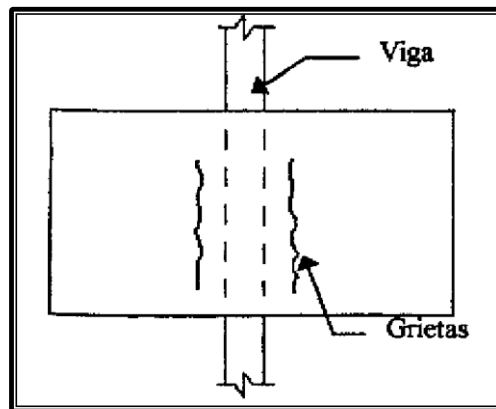


Fig. 20 Fisuras en la parte superior de la losa cerca de la viga de apoyo y paralelas a este (Falla por momento negativo en losas continuas)

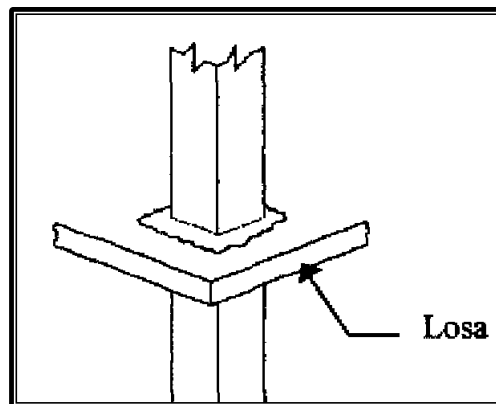


Fig. 21 Grietas alrededor de la columna siguiendo la geometría de la misma (falla por punzonamiento en losas sin viga)

4.3.1. Fallas de Construcción

Existe una gran variedad de prácticas constructivas inadecuadas cuyo resultado puede ser la fisuración del hormigón. Entre ellas la más habitual es la costumbre de agregarle agua al hormigón para mejorar su trabajabilidad. El agua agregada reduce la resistencia, aumenta el asentamiento y aumenta la retracción por secado. Si esta práctica se combina con el uso de un mayor contenido de cemento para contrarrestar la reducción de la resistencia, el aumento del contenido de agua significará un aumento del diferencial de temperatura entre el interior y el exterior de la estructura, cuyo resultado será un aumento de las tensiones térmicas y posiblemente, fisuración.

Si se agrega cemento, aun manteniendo constante la relación agua-cemento, habrá más retracción porque aumentará el volumen relativo de pasta.

La falta de curado aumentará el grado de fisuración de una estructura de hormigón. Terminar el curado antes de tiempo permitirá mayor retracción en un momento en el cual el hormigón aún tiene baja resistencia. La falta de hidratación del cemento, debida al secado, resultará no sólo en una reducción de la durabilidad de la estructura.

Otros problemas constructivos que pueden provocar fisuración son el uso de apoyos inadecuados para los encofrados, una compactación inadecuada y la colocación de juntas de contracción en puntos de tensión elevada. La falta de apoyo para los encofrados o la compactación inadecuada pueden provocar el asentamiento y la fisuración del hormigón antes que éste haya desarrollado resistencia suficiente para soportar su propio peso, mientras que la incorrecta ubicación de las juntas de construcción puede provocar la abertura de las juntas en los puntos de tensión elevada.

4.3.2. Fallas de Servicio

Cargas aplicadas externamente.- Se sabe que las tensiones de tracción inducidas por las cargas provocan la fisuración de los elementos de hormigón. Este hecho es reconocido y aceptado por todos los involucrados en el diseño del hormigón. Los procedimientos de diseño actuales (ACI 318 y las Especificaciones Normalizadas para Puentes Carreteros de AASHTO) utilizan armaduras no sólo para tomar las fuerzas de tracción sino también para lograr una adecuada distribución de las fisuras e imponer un límite razonable al ancho de las mismas. El estado actual del conocimiento sobre elementos flexionados constituye la base de las siguientes conclusiones generales sobre las variables que controlan la fisuración: El ancho de fisura aumenta con el aumento de la tensión de las armaduras, el espesor del recubrimiento y la sección de hormigón que rodea cada una de las barras. De todas estas variables la más importante es la tensión del acero de las armaduras. El diámetro de las barras no es una consideración importante. El ancho de una fisura en la parte inferior de una viga aumenta a medida que aumenta el gradiente de deformación entre el acero y la cara traccionada de la viga. La ecuación que se considera que permite pronosticar mejor el máximo ancho de fisura superficial probable, en flexión, fue desarrollada por Gergely y Lutz (1968). Una versión simplificada de esta ecuación es:

$$w = 0,076 \beta f_s (dc A)^{0,33} \times 10^{-3}$$

siendo:

w el máximo ancho de fisura probable, en mm;

β la relación entre la distancia entre el eje neutro y la cara traccionada y la distancia entre el eje neutro y el baricentro de las armaduras (se adopta aproximadamente igual a 1,20 para vigas típicas en edificios);

f_s : la tensión en el acero de las armaduras, en ksi;

dc: el espesor de recubrimiento entre la fibra traccionada y el centro de la barra más próxima a la misma, en mm; y A la sección de hormigón simétrica con el acero de las armaduras dividida por el número de barras, mm².

ACI 318 usa una modificación de esta ecuación que efectivamente limita los anchos de fisura a 0,40 mm para exposición exterior y 0,33 mm para exposición interior. Sin embargo, considerando la información presentada en el artículo 1.3.5 que indica que existe poca correlación entre el ancho superficial de las fisuras transversales a las barras y la corrosión de las armaduras, estos límites no parecen justificables desde el punto de vista del control de la corrosión.

Para elementos de hormigón pretensado se han desarrollado varias ecuaciones (ACI 224R), pero ninguno de los métodos ha logrado una aceptación generalizada. En elementos traccionados el máximo ancho de fisura es mayor que el pronosticado por la expresión desarrollada para miembros flexionados (Broms, 1965; Broms y Lutz, 1965). La ausencia de un gradiente de deformación y una zona de compresión en los elementos traccionados son probablemente las causas de los mayores anchos de fisura. En base a los limitados datos disponibles, se ha sugerido la siguiente expresión para estimar el máximo ancho de fisura en tracción directa (ACI 224R):

$$w = 0,10 f_s (dc A)^{0,33} \times 10^{-3} \quad (1.2)$$

El documento ACI 224.2R contiene información adicional sobre la fisuración del hormigón en tracción directa. Es dable esperar que los anchos de fisura en flexión y tracción aumenten con el tiempo en el caso de elementos sometidos a cargas de larga duración o a cargas repetitivas. Aunque los datos disponibles evidencian una dispersión considerable, se puede anticipar que los anchos de fisura se duplicarán con el tiempo (Abeles et al., 1968; Bennett y Dave, 1969; Illston y Stevens, 1972; Holmberg, 1973; Rehm y Eligehausen, 1977).

A pesar de que aún queda mucho camino por recorrer, los principios básicos del control de la fisuración ya han sido comprendidos. Las armaduras bien distribuidas ofrecen la mejor protección contra la fisuración no deseada al igual que reducir la tensión en el acero, utilizando mayor cantidad de armaduras,

también reducirá la cantidad de fisuración. Aunque una reducción del recubrimiento también reducirá el ancho de fisura superficial, los diseñadores deben recordar, como se mencionó en el artículo 1.3.5, que las fisuras (y por lo tanto los anchos de fisura) perpendiculares a las armaduras no afectarán la corrosión del acero de manera significativa, a la vez que una reducción del recubrimiento de hormigón perjudicará la protección contra la corrosión de las armaduras.

4.4. Evaluación del Estado en estructuras de Concreto

Antes de reparar las fisuras del hormigón, es importante identificar primero su ubicación y extensión. Se debería determinar si las fisuras observadas indican problemas estructurales actuales o futuros, considerando las condiciones actuales y las condiciones de carga anticipadas para el futuro. Antes de especificar las reparaciones es necesario establecer las causas de la fisuración. Se deberían revisar los planos, especificaciones y registros de construcción y mantenimiento. Si estos documentos, junto con las observaciones recogidas in situ, no proporcionan la información necesaria, antes de proceder con las reparaciones se debería efectuar una investigación in situ y un análisis estructural completo. Una evaluación detallada de la fisuración observada permitirá detectar cuáles de estas causas se aplican a una situación determinada. Las fisuras se deben reparar si éstas reducen la resistencia, rigidez o durabilidad de la estructura a niveles inaceptables, o si la función de la estructura resulta seriamente perjudicada. En algunos casos, como el de las fisuras en estructuras para contención de agua, la función de la estructura determinará la necesidad de realizar reparaciones, aun cuando la resistencia, rigidez o apariencia no estén significativamente afectadas.

Las fisuras en pavimentos y losas de cimentación pueden requerir reparaciones para impedir descascaramientos en los bordes, migración de agua hacia la subrasante o para transmitir cargas. Además, puede ser deseable efectuar reparaciones que mejoren el aspecto de la superficie de una estructura de hormigón.

- ***Observación directa e indirecta.***- Se deben registrar las ubicaciones y anchos de las fisuras utilizando un esquema de la estructura. Marcar una grilla sobre la superficie de la estructura puede ser útil para ubicar con precisión las fisuras en el esquema. Los anchos de las fisuras se pueden medir con una precisión de alrededor de 0,025 mm utilizando un comparador, que es un pequeño microscopio de mano con una escala en el lente más próximo a la superficie observada. Los anchos de las fisuras también se pueden estimar utilizando una tarjeta de comparación, que es una tarjeta con líneas claramente marcadas, cada una de ellas de un ancho especificado. El esquema debe incluir observaciones tales como descascaramientos, armaduras expuestas, deterioros superficiales y manchas de óxido. Las condiciones internas en la ubicación de una fisura específica se pueden observar usando endoscopios flexibles o baroscopios rígidos. El movimiento de las fisuras se puede monitorear mediante indicadores de movimiento mecánicos, del tipo ilustrado en la Los esquemas se pueden complementar con fotografías que documenten la condición de la estructura en el momento de la investigación. Los documentos ACI 201.1R, ACI 201.3R, ACI 207.3R, ACI 345.1R y ACI 546.1R presentan lineamientos para efectuar un relevamiento de la condición del hormigón en estructuras en servicio.

- ***Ensayos no destructivos.***- Se pueden realizar ensayos no destructivos para determinar la presencia de fisuras y vacíos internos y la profundidad de penetración de las fisuras visibles en la superficie. Golpear la superficie con un martillo o usar una cadena de arrastre son técnicas sencillas que permiten identificar la fisuración laminar próxima a la superficie. Un sonido hueco indica la presencia de una o más fisuras debajo de la superficie y paralelas a la misma.

4.5. Tipos de fallas en pavimentos rígidos

En esta sección se detallaran los diferentes tipos de fallas que presenta el pavimento rígido, las posibles causas que la provocaron, la forma de medición el nivel de severidad que tiene la falla y los diferentes métodos que se pueden aplicar para su reparación.

Para ello se estudiaran en los diferentes componentes de la estructura del pavimento donde generalmente presentan fallas.

4.5.1. Juntas

4.5.1.1. Deficiencia del sellado



Descripción:

- deterioro del sello de las juntas que permiten la incrustación de materiales incompresibles (piedras, arenas, etc.) también la infiltración de una cantidad considerable de agua superficial.
- El deterioro puede ser, endurecimiento, despegado de una o ambas paredes, fluencia fuera de la caja, carencia total, incrustación de materias ajenas y crecimiento de vegetación.

Causas posibles:

- *Endurecimiento*.- producto de mala calidad, envejecimiento.

- *Despegado de las paredes de la junta.*- producto de mala calidad, sellado mal colocado, caja mal diseñada.
- *Fluencia fuera de la caja.*- exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente.
- *Carencia.*- producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente.
- *Incrustación de materiales incompresibles.*- bermas no pavimentadas, vehículos que dejan caer materiales.

Niveles de severidad

- **Baja.**- longitud con deficiencias de sellado < 5% de la longitud de la junta.
- **Media.**- longitud con deficiencias de sellado dentro del rango 5% y 25% de la longitud de la junta
- **Alta.**- longitud con deficiencias de sellado mayores > a 25% de la longitud de la junta.

Medición:

- para juntas transversales indicar cuantas están deterioradas (Nº) y para cada una especificar el nivel de severidad del deterioro.
- Para juntas longitudinales, contabilizar el número de tramos (mínimo de 1m de longitud cada uno) deteriorados y su longitud total (m) y deteriorada en (m). indicar el nivel de deterioro que presente de cada una.

Reparación:

- verificar que la caja disponga de un ancho compatible con la elongación admisible del producto de sellado por utilizar y los movimientos que experimentan las losas.
- Retirar todo vestigio del antiguo sello, limpiar cuidadosamente la caja, imprimir con el material adecuado, vaciar la cantidad exacta de sellante.

4.5.1.2. Juntas saltadas



Descripción:

- desintegración de las aristas de una junta, longitudinal y transversal o una grieta, con pérdida de trozos que puede afectar hasta unos 500mm dentro de la losa.

Causas posibles:

- debilitamiento de los bordes de la junta debido a un acabado excesivo u otro defecto de construcción.
- Penetración de partículas incompresibles dentro de la caja de una junta o dentro de una grieta activa

Niveles de severidad:

- **Baja:** ancho de saltaduras < a 50mm, medido al centro de la junta o grieta, con pérdidas de material o saltaduras, sin pérdida de material y no parchadas.
- **Media:** ancho de saltaduras dentro de los límites 50 y 150mm, medido al centro de la saltadura o grieta y con pérdida de material.
- **Alta:** ancho de soldadura mayor a 150mm. Medido al centro de la saltadura o grieta y con pérdida de material.

Medición:

- establecer para cada nivel de severidad la longitud (m) de juntas y grietas que presentan saltaduras.

Reparación:

- Severidad baja: reparar el sello según operación de sellado de juntas y grietas.
- Severidad de media a alta: reparar mediante el procedimiento denominado reparación de espesor parcial, según la reparación de espesor parcial.

4.5.1.3. Separación de la junta longitudinal**Descripción:**

- abertura en la junta longitudinal del pavimento

Causas posibles:

- mala colocación de barras de acero de amarre entre pistas adyacentes
- desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la subrasante.
- Carencia de bermas.

Niveles de severidad

- **Baja:** ancho de separación $<$ a 3mm y sin deformación perceptible de la sección transversal
- **Media:** ancho de separación entre el rango de 3 a 20mm y la deformación de la sección transversal no implica riesgos para la seguridad de los usuarios.

- **Alta:** ancho de separación mayor a 20mm y/o la deformación de la sección transversal, cualquiera sea el ancho de la separación conlleva riesgos.

Medición:

- determinar la longitud del ancho de separación en (m) y clasificar según el grado de severidad.

Reparación:

- cuando la sección transversal no presente deformaciones que signifiquen un riesgo para la seguridad de los usuarios, sellar de acuerdo con la operación de sellado de juntas y grietas.
- Si hay deformación peligrosa de la sección transversal, reconstruir el tramo, reconformando y re compactando la sub-rasante y colocando barras de acero de amarre en la junta longitudinal. Luego construir el pavimento de remplazo de acuerdo con el sistema de reparación en todo el espesor según corresponda.
- Fresado para restituir el perfil longitudinal original.

4.5.2. Grietas

4.5.2.1. Grietas de esquina



Descripción:

Grieta de origina un trozo de losa en forma triangular, al interceptar las juntas transversal y longitudinal y que forma un ángulo de aprox. 50° con la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo varía entre 300mm y la mitad del ancho de la losa.

Causas posibles:

- Falta de apoyo de la losa, originado por la erosión de la base o alabeo térmico. Sobrecarga en las esquinas.
- Deficiente transmisión de carga entre las juntas.

Niveles de severidad:

- **Baja:** longitud con saltaduras menores al 10% de su longitud; escalonamiento uniforme y el trozo de la esquina está completo.
- **Media:** saltaduras de severidad baja en más de 10% de la longitud o la saltadura de la grieta o junta < a 15mm y el trozo de la esquina está completo
- **Alta:** saltaduras de severidad media o alta más del 10% de longitud o la saltadura de la grieta o junta es mayor o igual que 15mm o el trozo de la esquina está quebrado en dos o más pedazos.

Medición:

Establecer el número de grietas de esquina para cada nivel de severidad. Clasificarlas con el más alto nivel de severidad presente en al menos el 10% de la longitud.

Reparación:

Para severidad baja sellar según operación N° 1 de sellado de juntas y grietas.

Para severidades media y alta, reparar en todo un espesor una franja de pavimento el ancho de la losa y de una longitud mínima igual a la distancia entre la junta y la intersección de la grieta con el borde externo (L de la figura); Operación N°2 y operación N°3 de Reparación en todo el espesor, según corresponda.

4.5.2.2. Grietas longitudinales



Descripción:

Grietas que son predominantemente paralelas a l eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia L mucho mayor que la mitad del ancho de la losa.

Causas Posibles:

- asentamiento de la base y/o sub-rasante.
- Losa de ancho excesivo
- Carencia de una junta longitudinal
- Mal posicionamiento de las barras de traspaso de cargas.
- Aserrado tardío de la junta.

Niveles de severidad:

Baja: ancho menor a 3 mm, sin saltaduras y escalonamiento imperceptible

Media: ancho de la grieta entre 3 y 10mm o con saltadura de ancho menor a 50mm o escalonamiento menor a 15mm.

Alta: ancho mayor a 10mm o saltaduras de ancho mayor a 50mm o escalonamiento mayor a 15mm.

Medición:

Determinar la longitud (m) y número de grietas longitudinales para cada nivel de severidad.

Determinar separadamente también la longitud (m) de grietas longitudinales selladas, clasificándolas según el nivel de severidad.

Reparación:

Para niveles de severidad baja y media, sellar según operación N°1 sellado de juntas y grietas.

Para nivel de severidad alta, reparación en todo el espesor del tramo dañado; operación N° 2 y N° 3 Reparación de todo el espesor, según corresponda.

4.5.2.3. Grietas transversales**Descripción:**

Grietas predominantemente perpendicular al eje de la calzada.

También pueden extenderse desde una junta transversal hasta el borde del pavimento, siempre que la intersección con la junta este a una distancia del borde mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con el borde se encuentre a una distancia inferior que la mitad del ancho de la losa.

Causas posibles:

- Losas de longitud excesiva

- Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones.
- Retracción térmica que origina alabeos.

Niveles de Severidad:

Baja: ancho menores a 3 mm, sin saltaduras y escalonamientos imperceptibles

Media: ancho de la grieta mayor o igual que 3mm y menor o igual a 6mm o con saltaduras de ancho menores a 50mm ó escalonamientos menores a 6mm

Alta: ancho mayor o igual que 6mm ó saltadura de ancho mayor o igual que 50mm o escalonamiento mayor o igual a 6 mm.

Medición:

Determinar el número y la longitud de las grietas para cada nivel de severidad.

Asignar a cada grieta el nivel de severidad más alto que representa al menos el 10% de la longitud total.

Determinar separadamente también la longitud total de grietas, agrupadas por nivel de severidad, que tengan el sello en buenas condiciones.

Reparación:

Para niveles de severidad baja y media, sellar: según operación N° 1 de sellado de juntas y grietas.

Para nivel de severidad alta, reparación de todo el espesor, Operación N°2 ó N°3 reparación en todo el espesor, según corresponda.

4.5.3. Deterioro superficial

4.5.3.1. Fisuración por retracción (tipo malla)

Descripción:

Grietas capilares (fisuras) limitadas solo a la superficie del pavimento. Frecuentemente, las grietas de mayores dimensiones se orientan en sentido longitudinal y se encuentran interconectadas por grietas más finas distribuidas en forma aleatoria.

Causas posibles:

- Curado inapropiado del hormigón.
- Exceso de amasado superficial y/o adición de agua durante el alisado de la superficie.
- En zonas de clima frío: acción del clima o de productos químicos cuando el hormigón fue mal construido

Niveles de severidad:

Baja: fisuración tipo malla, bien definido pero sin descascaramiento.

Media: fisuración con descascaramiento que afecta menos del 10% de la superficie deteriorada.

Alta: fisuración con descascaramiento que afecta al 10% o más de la superficie deteriorada.

Medición:

Establecer la superficie en m² deteriorada por cada nivel de severidad.

Reparación:

Para cualquier nivel de deterioro, mediante el procedimiento denominado reparación de espesor parcial, operación N°4 reparación de espesor parcial.

Colocar un parche asfáltico, siempre que acepte el incremento de las irregularidades superficiales.

4.5.3.2. Desintegración

Descripción:

Desintegración progresiva de la superficie perdiendo primeramente la textura y luego el mortero, quedando el árido grueso expuesto.

Causas posibles:

- Hormigón con exceso de mortero
- Hormigón mal dosificado.
- Curado inapropiado.

Niveles de Severidad:

No pueden determinarse niveles de severidad mediante inspección visual.

Se pueden establecer niveles de severidad en función de la reducción que experimente la resistencia al deslizamiento (coeficiente de fricción).

Medición:

Cuantificar la superficie en m² afectada

Reparación:

Mediante la operación N° 4 reparación de espesor parcial.

Recubrir con una mezcla asfáltica, si se acepta el incremento de las irregularidades.

4.5.3.3. Baches

Descripción:

Cavidad normalmente de forma redondeada, que se forma al desprenderse hormigón de la superficie. Su diámetro varía entre unos 25 y 100 mm y la profundidad supera los 15mm.

Causas posibles:

Materiales deleznable en el interior del hormigón como ser (terrones de Arcillas cal viva)

Mortero poco homogéneo.

Niveles de severidad:

No se clasifican por niveles de severidad.

Se pueden establecer niveles de severidad en función de la intensidad de baches por tramo unitario o unidad de muestreo.

Medición:

Establecer la cantidad N° de baches y la superficie m² de cada uno de ellos.

Reparación:

Limpiar bien las paredes, colocar un puente de adherencia y luego rellenar con un hormigón que contenga un aditivo expansor.

Si el deterioro es generalizado, reparar colocando una carpeta asfáltica u otra alternativa, siempre que se garantice la adherencia entre las capas.

4.5.3.4. Agrietamiento por durabilidad

Descripción:

Agrietamiento caracterizado por grietas finas muy cercanas y con forma de un cuarto de luna.

Se presenta en las inmediaciones de las juntas, grietas o bordes del pavimento; se inicia en las esquinas de las losas.

La zona agrietada y la adyacente presentan una coloración oscura.

Causas posibles:

Reactividad álcali-sílice de los agregados que conforman el hormigón, cuando estos se congelan y expanden.

Niveles de severidad:

Baja: grietas muy compactas, sin trozos sueltos o faltantes.

Media: grietas bien definidas, con algunos trozos pequeños sueltos o desplazados.

Alta: patrón de la falla bien desarrollado, con una cantidad significativa de trozos sueltos o faltantes. Las áreas dejadas por los trozos desplazados, de hasta 0.1m², pueden haber sido bacheadas.

Medición:

Determinar el número de losas que presentan este tipo de agrietamiento y establecer la superficie, para cada nivel de severidad presente en al menos 10% del área afectada.

Reparación:

Severidad Baja y media según operación de reparación de espesor parcial

Severidad alta: reparar de acuerdo a las operaciones de reparación de todo el espesor.

4.5.3.5. Levantamientos localizados

Descripción:

Levantamiento de una parte de la losa, localizado a ambos lados de una junta transversal o grieta. Generalmente el hormigón se quiebra en varios trozos.

Causas posibles:

Variaciones de temperatura cuando la longitud de las losas es excesiva y no cuenta con juntas de dilatación

En pavimentos de con barras de traspaso de cargas, puede producirse este levantamiento localizado por mala colocación de las barras.

Presencia de un estrato de suelos expansivos a poca profundidad.

Niveles de severidad:

No se aplican criterios de niveles de severidad. Sin embargo, la severidad debe ser función del efecto de esta falla en el nivel de serviciabilidad y muy especialmente, en el riesgo que puede significar para los usuarios.

Medición:

Determinar el número de levantamientos, la longitud en (m) y altura en (mm) de cada uno.

Reparación:

Reparar en todo el espesor, una franja del ancho de la losa y que comprenda longitudinalmente, toda la zona afectada. Reconstruir la junta de contracción, cuando corresponda. Trabajos a realizar en conformidad con la operación N°2 y N°3
Reparación de todo el espesor según corresponda.

4.5.3.6. Escalonamiento de juntas y grietas.

Descripción:

Desnivel entre dos superficies del pavimento, separadas por una junta transversal o grieta

Causas posibles:

Erosión de la base en las inmediaciones de la junta o grieta

Deficiencia en el traslado de cargas entre las losas o trozos de losas.

Asentamiento diferencial de la subrasante

Drenaje insuficiente.

Niveles de severidad:

Se pueden establecer niveles de severidad en función de la altura del desnivel, pero mejor es establecerlo en función del aumento de las irregularidades que este deterioro origina, según el (índice de seguridad internacional).

Para considerar la severidad individual, considerar lo siguiente:

Baja: desnivel menor o igual que 5mm

Media: desnivel mayor a 5mm y menor o igual que 10mm

Alta: desnivel mayor a 10mm

Medición:

Determinar el desnivel a 300mm del borde externo del pavimento.

Establecer el número de Juntas con escalonamiento, indicando la altura del desnivel en cada una de ellas en (mm). Indicar también el número total de juntas en el tramo estudiado.

Reparación:

Mejorar el sistema de drenaje.

Para evitar que el fenómeno persista, inyectar las losas levantándolas hasta nivelarlas con la adyacente y luego mejorar el sistema de transferencia de cargas, normalmente colocando barras de traspaso. Utilizar este procedimiento para todas aquellas losas que presenten un nivel de escalonamiento de severidad alta.

Para niveles de severidad baja y media, cepillar la superficie.

5. METODOLOGÍAS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA ESTRUCTURA

5.1. Conceptos

Las metodologías de reparación y mantenimiento de estructuras de concreto están en base a la calidad de inspección de los elementos estructurales después de la remoción de los encofrados para determinar si existen irregularidades superficiales.

Durante la operación de colocación y compactación se tomaran las medidas necesarias para obtener un concreto sin defectos superficiales, obteniendo uniformidad en su textura y aspecto, factores que además de la resistencia y la durabilidad deberán ser incluidos como cualidades esenciales en la calidad del concreto.

El concreto defectuoso puede ser resultado de un mal diseño, materiales inapropiados, una mano de obra ineficaz, la exposición del concreto a medios normalmente agresivos, sobrecargas no previstas, accidentes, o una combinación de los mismos.

Los defectos superficiales, tales como depresiones, vacíos, protuberancias, marcas dejadas por los encofrados, etc., deberán ser reparados inmediatamente después de la remoción de los encofrados. Los defectos se refieren principalmente a:

- Defectos provenientes de una mala compactación, estructuras con acumulaciones de agregado grueso o cangrejeras.
- Cavidades dejadas por la remoción de los elementos de fijación.
- Agrietamientos o fracturas originadas durante la remoción de los encofrados u otras causas.
- Depresiones superficiales, protuberancias o convexidades originadas por movimientos de los encofrados, por defecto de la construcción de los mismos o por otras causas.

Las reparaciones del concreto defectuoso se ejecutaran en forma tal que una vez terminadas, la durabilidad, resistencia y apariencia de la estructura no sufran perjuicio alguno; ni afecten en forma alguna la seguridad de la estructura, además de responder a las necesidades del proyecto.

Los materiales a emplear en la reparación deberán estar de acuerdo con el concreto que está siendo reparado, con el objeto que tenga el mismo comportamiento con los cambios de temperatura y a las cargas a que va a estar sometido el elemento estructural, además deberán de dar la apariencia requerida en el concreto.

Todas las reparaciones serán realizadas si afectar en forma alguna la seguridad de las estructuras.

El concreto defectuoso será eliminado totalmente hasta la profundidad necesaria para dejar al descubierto el concreto compacto y de buena calidad.

5.2. Factores de deterioro en estructuras de concreto

Los factores de deterioro de una estructura de concreto pueden ser de diferente índole como ser, la humedad, desgaste, corrosión del acero, agresividad del clima, sismos, cargas no previstas, y/o cualquier factor que accione en forma continua en función del tiempo.

5.3. Evaluación

La evaluación o programa de reparación se basara en los siguientes pasos fundamentales:

- Diagnostico
- Prognosis
- Programación
- Selección del método de reparación.
- Selección de los materiales
- Preparación

El *Diagnostico* comenzará con un examen detenido y minucioso de la unidad estructural para determinar y clasificar los defectos y además deberán tomar en cuenta los supervisores para contar con respaldos reales durante el proceso de ejecución de obra los siguientes aspectos:

- La toma de muestras para el respectivo ensayo en un laboratorio certificado.
- La ejecución de ensayos en obra, incluyendo los ensayos de resonancia y de velocidad de transmisión de ondas.
- La revisión de documentos (especificaciones, estudio de suelos, construcción, libro de órdenes, cuaderno de obras, informes de la supervisión, análisis de los materiales, ensayos de concreto, planos, y reportes del clima y sismos en la época de la construcción.
- Entrevistas con el contratista, el proveedor de los materiales, el fabricante del concreto pre-mesclado (si este se ha utilizado), el responsable de la mano de obra utilizada, la supervisión y el propietario.

Prognosis.- se deberá decidir si es posible realizar la reparación y si es lo más conveniente. La estructura deberá repararse con un costo razonable, con la seguridad de una reparación permanente que garantice la resistencia, durabilidad y apariencia.

Programación.- las programaciones para la reparación estarán en función de las condiciones del clima, un trabajo progresivo y la necesidad de lograr una estructura en adecuadas condiciones de servicio.

Selección del método de reparación.- la selección del método a ser empleado en la reparación del concreto depende de la naturaleza de la reparación, de la adaptabilidad del método a proponer, de las condiciones locales, de las ventajas de los materiales, de los costos, de la apariencia requerida, y de si la reparación va a ser permanente o temporal.

Los principales procedimientos de reparación son:

- Reemplazo del concreto. Se emplea en las principales reparaciones en grandes volúmenes de concreto.
- Reemplazo del agregado. Se emplea en grandes restauraciones especialmente en áreas de gran tamaño.

- Torcreto. Se emplea en grandes áreas de astillamiento corrosión o daños superficiales similares.
- Relleno Seco. Se emplea para rellenar espacios de poca profundidad, pequeños vacíos, grietas.
- Químicos. Este procedimiento incluye muchas formas de resinas epóxicas u otras. Se le emplea en relleno de grietas; sellado de juntas: tapado de goteras, sellado de superficies, adhesivos.
- Morteros. Se les emplea con una mezcla de cemento y arena empleada para enlucidos delgados, aplicándose por un método manual o mecánico. No tiene valor estructural y su espesor es de 2.54 cm o menor.
- Capa superpuesta. Este método consiste en concreto recolocado en capas de entre una y cuatro pulgadas sobre una superficie de concreto existente, ya sea pavimentos, pisos o estructuras similares.

Selección de los materiales.- la mezcla de curado resane ser preparada con los mismos materiales y aproximadamente las mismas proporciones empleadas en el concreto del elemento estructural a resanar, debiendo omitirse el agregado grueso en el mortero. Este deberá prepararse una hora antes de su empleo. Al momento de su aplicación es conveniente realizar una remezcla antes de utilizar.

La cantidad de agua a emplear en el mortero no debe ser mayor de la necesaria para el manejo y colocación del mismo.

Cuando el aspecto sea esencialmente importante, se deberán realizar ensayos previos con mezclas preparadas con distintas proporciones de cemento portland normal y cemento blanco, para conseguir que la zona reparada, una vez curada y endurecida, tenga igual color que el resto de la estructura de la zona.

Para la eliminación de manchas de aceites y grasas se podrá usar detergentes.

Preparación.- la reparación de las superficies a reparar se deberá efectuar en forma adecuada para lograr una reparación permanente y durable.

La preparación de las superficies a reparar podrá consistir en una limpieza de la superficie de material y grasa, o una preparación más compleja en el caso de vigas, columnas etc.

Las cavidades resultantes de la eliminación del concreto defectuoso tendrán bordes rectos, uniformes y verticales. En el caso de superficies horizontales, los bordes serán paralelos a las líneas de marcación del piso o techo. En superficies verticales, observando el elemento considerado desde su superficie exterior, la cavidad tendrá su borde superior horizontal y será provocado por un corte inclinado desde arriba hacia abajo. Dicho corte formará un ángulo aproximado de 20° con la horizontal. Ello facilitará la colocación, compactación y eliminación de las burbujas de aire por la parte superior de la cavidad, durante el periodo de vibración. Los bordes restantes serán producidos mediante cortes manuales a la superficie exterior del elemento. Todos los ángulos de la cavidad serán redondos con un radio mínimo de 3cm.

Las cavidades dejadas por la extracción de los elementos de fijación colocados en los extremos de bulones, barras y pernos internos empleados para armar y sostener a los encofrados, se tratarán en forma adecuada para que las superficies de contacto con el mortero de relleno sea rugosas

Después de ejecutada la excavación, o de eliminada la capa superior del mortero hasta dejar al descubierto las partículas de agregado grueso, si se trata de una cavidad, se efectuará una limpieza cuidadosa para eliminar todo resto de partículas sueltas, polvo y materias extrañas, seguida de una aplicación directa y enérgica de un chorro de agua a presión.

En caso que el relleno de la cavidad con mortero o concreto no se efectuara inmediatamente después de la limpieza con agua a presión, previamente a la colocación del relleno se procederá a humedecer la superficie a ser preparada, sin saturarla. Para ello se emplearán aspilleras que se mantendrán húmedas y en contacto con las superficies por lo menos durante 12 horas inmediatamente anteriores al

momento de colocación se eliminara de las superficies toda la acumulación de agua. Inmediatamente después se colocara el mortero.

Si la separación se la realiza con concreto, previamente a su colocación se colocará una capa de mortero de aproximadamente 10mm de espesor. Que será reforzada e introducida en los pequeños intersticios e irregularidades de la superficie mediante un cepillo duro o manualmente. Inmediatamente después se colocara el concreto.

Las salientes, protuberancias o convexidades de elementos de concreto expuesto, serán totalmente eliminadas mediante herramientas y métodos adecuados, que no perjudiquen en forma alguna a la estructura. En igual forma se procederá con los mismos defectos cuando se trate de concretos no expuestos a la vista, si ellos ocasionarían cualquier tipo de inconveniente vinculado a la ejecución de la obra.

Después de eliminados los defectos, las superficies desgastadas hasta condicionarlas a los niveles que correspondan. El aspecto de la superficie reparada debe concordar con el de las zonas vecinas.

Las salientes o protuberancias aisladas, dejadas por las juntas de los encofrados, o por otras causas, sobre las superficies expuestas a la vista se harán desaparecer por desgaste o pulido empleando piedra carborundo. Los vacíos superficiales se limpiaran y se rellenaran en forma adecuada con mortero o concreto, luego la zona resanada se pulirá mediante una piedra de carborundo hasta que adquiera la forma, aspecto y color concordantes con el concreto circundante.

Los instrumentos de metal no deberán ser empleados en la reparación de concretos que vas a quedar expuestos a la vista ya que el acabado de ellos puede dar un concreto de color más oscuro.

Para que el agrietamiento superficial de la reparación sea mínimo, el concreto de relleno, en el momento de su colocación, tendrá la menor temperatura posible y, posteriormente, será adecuadamente protegido y curado.

5.4. Reforzamiento y Estabilización

Cuando se están buscando causas de porque una estructura está dañada, es muy importante considerar tanto la cimentación como el terreno sobre el cual está apoyada, para así, si estos son la causa del problema, proyectar una adecuada solución de reparación, recalce y estabilización.

Se entiende por recalce las operaciones necesarias para reparar o reforzar los cimientos de un edificio ya construido; se pueden clasificar así:

- a) Recalces superficiales
- b) Recalces profundos.

Recalces superficiales Se realizan en tomo de una cimentación con el fin de: aumentar la superficie de transmisión de cargas, apoyar a mayor profundidad en terreno más competente o mejorar la capacidad portante del suelo.

Las soluciones para realizar un recalce Superficial pueden ser:

Reparación, refuerzo o construcción de zapatas: Se repara un apoyo cuando el área del mismo es insuficiente, ya sea por degradación del mismo o porque el edificio aumenta cargas o porque la estructura completa está siendo rehabilitada.

Una zapata de mampostería cuyo mortero o el propio material pétreo que se han degradado puede cementarse por medio de inyecciones; esta solución sin embargo es difícil y costosa. En algunas ocasiones también se ha realizado el refuerzo construyendo camisas de concreto alrededor o en periferia de la antigua cimentación.

Aumento de dimensiones de la zapata:

Este tipo de solución se emplea generalmente como consecuencia de la proyección de un incremento en las cargas que se van a transmitir a la cimentación o cuando las presiones de trabajo de las zapatas son elevadas.

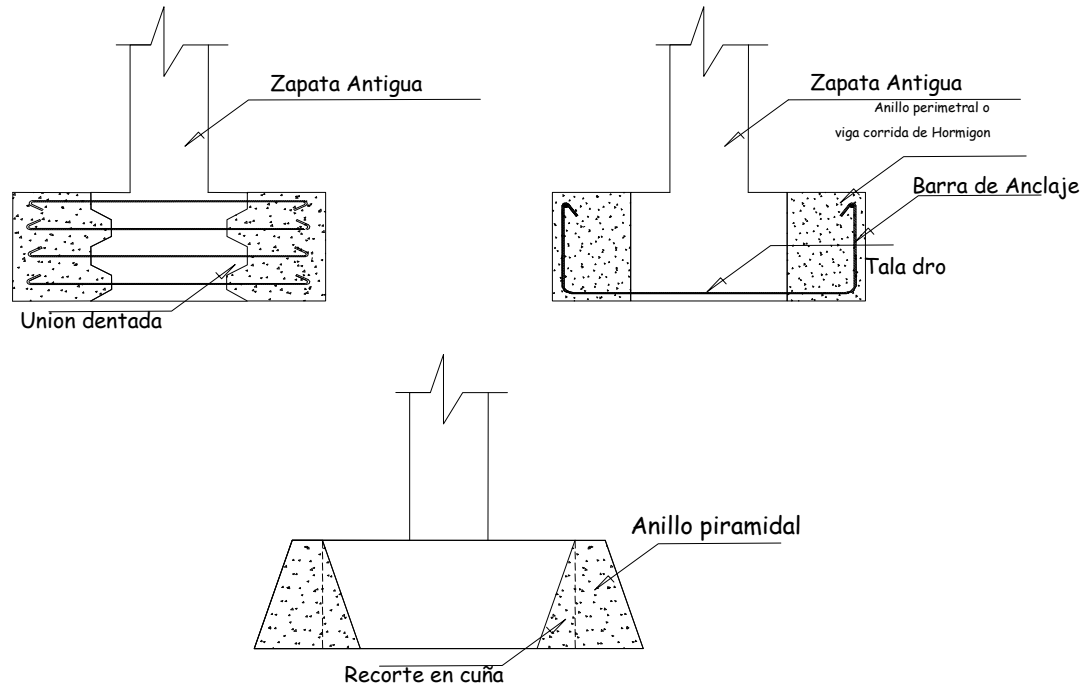


Fig. () *Ensanche de Zapatas*

Las soluciones más utilizadas pueden resumirse de esta manera:

- Ensanche del cimiento existente construyendo un anillo perimetral o paralelo, según el tipo de zapata.
- Punteo del cimiento por encima del mismo por medio de vigas puente para transmitir las cargas a nuevos cimientos contruidos previamente contorneando la cimentación antigua.

Profundización del plano de apoyo: La técnica consiste en la construcción de pozos con descalce parcial de la cimentación ejecutándola por excavaciones que se abren transversalmente a la cimentación que se va a reparar y bajando hasta un nivel con suficiente capacidad portante. El método no presenta dificultades especiales para la

reparación de muros con zapata corrida ya que la rigidez de los muros permite el puenteo de los sucesivos huecos.

Para zapatas aisladas el método es de mayor complejidad dado que previamente hay que descargar la columna mediante apoyos.

En el caso de grandes columnas puede realizarse la profundización mediante dos o cuatro pozos. Este método impone ciertas limitaciones de actuación ya que:

- La cimentación o la superestructura debe ser capaz de puentear el hueco creado.
- Debe quedar garantizada la estabilidad de las paredes de la excavación.
- El apoyo sobre los nuevos cimientos debe quedar asegurado con deformaciones mínimas y sin transmitir cargas anormales a la estructura. Usualmente estas excavaciones tiene un mínimo de 0.80 a 1.00 metro por razones de espacio de trabajo.

Cuando se trabaje en terrenos flojos o bajo el nivel freático, el suelo debe consolidarse, ya sea con inyecciones o transformando el agua intersticial en hielo (congelamiento), taponándose así la circulación del agua.

Un aspecto muy importante de esta técnica es la puesta en carga de los nuevos cimientos ya que en el contacto entre el hormigón de recalce y el cimiento antiguo pueden quedar vacíos pudiéndose inducir esfuerzos inadmisibles para las columnas.

5.5. Metodologías y especificaciones de reparación para pavimentos rígidos

5.5.1. Operación N°1 Sellado de juntas y grietas

1. Descripción y alcances

En esta operación se definen los trabajos para resellar juntas y sellar o resellara grietas existentes en pavimentos de hormigón.

Mantener selladas las juntas y grietas es fundamental para alcanzar la vida útil esperada para el pavimento. Sin embargo, para que un sellado cumpla cabalmente el objetivo para el cual se coloca es necesario que las juntas y grietas no trabajen, es decir no experimenten desplazamientos verticales significativos entre sí. Los desplazamientos se originan porque no existe un traspaso adecuado de las cargas entre las losas, el que se puede detectar, si no se cuenta con instrumental para ese objetivo, temprano en la mañana antes que el sol caliente la superficie. En ese momento las caras se encuentran con su máxima separación, a veces sin tocarse, lo que se puede determinar introduciendo una delgada lámina de acero, y/o por que presentan los bordes saltados. Las juntas y grietas que presentan esa condición de estar trabajando, deben repararse con los procedimientos descritos en las operaciones N° 2 o N°3, reparación en todo el espesor o reparación en todo el para puesto en servicio acelerado, respectivamente, antes de proceder con un relleno.

Para los efectos de esta operación las juntas y grietas se agruparan en función de su ancho promedio forma y ubicación de acuerdo a los siguientes:

- Juntas de hasta 12 mm de ancho
- Juntas de ancho entre 12m y 20mm
- Juntas de ancho entre 20mm y 30mm
- Grietas de ancho entre 3mm y 30mm
- Juntas y grietas de ancho superior a 30mm
- Juntas longitudinales de cualquier ancho

2. Materiales

Juntas de hasta 12mm de ancho.- se sellaran con productos que tengan una deformación admisible entre el 20% Y el 30%, y que cumplan con los requisitos establecidos en las normas correspondientes.

Los imprimantes y cordones de respaldo serán los adecuados y compatibles con el sellante.

Juntas de ancho entre 12mm y 20mm.- se sellaran con productos del tipo termoplástico aplicados en caliente, que tengan una deformación admisible entre el 10% y el 20% y que cumplan con las normas correspondientes

Juntas de ancho entre 20 y 30mm y grietas entre 3mm y 30mm y grietas longitudinales.- se sellaran con un producto tipo mastic asfaltico modificado con polímero que cumpla con lo siguiente:

Penetration 25°C, 100g, 5s, 10 ⁻¹ mm	: max 60
Ductilidad, 0°C, mm	: min 20
Filler, porcentaje en peso	: max 25
Punto ablandamiento, °C	: min 58

Juntas y grietas de ancho superior a 30mm. Se sellaran con una mezcla de arena-emulsión asfáltica con una dosis mínima de 18% de emulsión, la arena deberá ajustarse a alguna de las granulometrías que se indican en la tabla 1

TAMIZ		Porcentaje en peso que pasa		
mm	(ASTM)	A	B	C
12.5	½"	--	--	100
10	3/8"	100	100	85 – 100

5	Nº4	85 – 100	85 – 100	55 – 85
2.5	Nº8	80 – 90	65 – 90	35 – 65
0.63	Nº30	55 – 80	30 – 50	15 – 35
0.16	Nº100	5 – 15	5 – 15	2 – 10

3. Procedimientos de trabajos

Limpieza.- las juntas y grietas que contengan restos de sellos antiguos o materias extrañas deberán limpiarse completa y cuidadosamente en toda su profundidad. Para ello se deben usar sierras, herramientas manuales y otros equipos adecuados que permitan remover el sello o relleno antiguo sin afectar al hormigón. No se deberá usar barretas, chuzos, equipos neumáticos u otras herramientas o elementos destinados a picar la junta que pueden provocar desprendimientos de trozos de hormigón.

En general no se deberán usar solventes para remover el sello antiguo, salvo que se demuestre que el procedimiento no significara ni transportar los contaminantes más hacia el interior de la junta, ni una impregnación mayor del hormigón con aceites u otros materiales.

Una vez removido el sello antiguo se procederá a reparar cuidadosamente barriendo con una escobilla de acero, que asegure la eliminación total de cualquier material extraño o suelto. La limpieza deberá terminar con un soplado con aire comprimido mínima de 120psi, que elimine todo vestigio de material contaminante, incluso el polvo. Antes de usar este equipo se deberá constatar que no el aire expulsado este completamente libre de aceite.

Imprimación.- se deberá tener un especial cuidado en el momento de la imprimación en los casos que esta se especifique, de modo de producir una perfecta adherencia entre el sellante y las paredes de las juntas y grietas.

Sellado de juntas de hasta 12mm de ancho.- primeramente deberán limpiarse de acuerdo a lo especificado más arriba.

Las juntas que carezcas de una caja en su parte superior deberán aserrarse para conformar una caja, mínimo de entre 8mm y 12mm de ancho entre 22mm y 35mm de profundidad, según el tipo de sellante y respaldo por emplear. El cordón o lámina por emplear como respaldo deberá ajustarse a lo recomendado por el fabricante del material sellante, y ser ligeramente más ancho que la junta de manera que ajuste bien. Deberá quedar perfectamente alineado a una profundidad constante y sin pliegues o curvaturas.

Cuando el fabricante recomiende usar imprimante, este se deberá colocar en forma pareja cubriendo las dos caras de la junta, utilizando procedimientos aprobados.

Las juntas se sellaran con productos que cumplan con los requisitos señalados en 2. El sellante deberá cubrir el ancho de la caja y quedar entre 4 y 5mm por debajo de la superficie del pavimento.

Sellado de junta de ancho entre 12mm y 20mm.- para estas juntas se seguirá un procedimiento similar al descrito para las juntas de hasta 12mm de ancho, salvo que el ancho de la caja será de 20mm, y su profundidad la necesaria para colocar el cordón de respaldo o lamina, un sellante de mínimo 14mm de profundidad y que queden 4 a 5mm libres entre la cara superior del sellante y la superficie del pavimento.

Las juntas clasificadas en ese grupo deberán sellarse con productos termoplásticos que cumplan con lo estipulado en 2. El imprimante deberá ajustarse a las recomendaciones del fabricante del sellante.

Sellado de juntas de ancho entre 20mm y 30mm.- deberán limpiarse de acuerdo a lo especificado. Se sellaran con productos de tipo mastic asphaltico que se ajusten a lo estipulado en 2. La profundidad del sello será como mínimo de 15mm debiendo quedar de 4 a 5mm por debajo de la superficie del pavimento.

Sellado de juntas y grietas de ancho entre 3mm y 30mm. Deberán limpiarse de acuerdo a lo especificado y luego biselar los bordes mediante equipo esmerilador u otro aprobado, de manera de formar una cavidad de 6mm de ancho mínimo. Se sellaran con productos tipo mastic asphaltico que cumplan con lo dispuesto en 2. El espesor del material sellante será como mínimo de 15mm, cualquiera fuere el ancho superficial de la grieta y deberá quedar entre 4 y 5mm por debajo de la superficie del pavimento.

Sellado de juntas y grietas de ancho superior a 30mm.- las juntas y grietas de mas de 30mm de ancho se limpiaran de acuerdo a lo especificado y se sellaran con una mezcla de arena- emulsión asfáltica siempre que el ancho promedio no exceda los 100mm, en cuyo caso el sellado se hará con una mezcla en caliente. En ambos casos el espesor del material sellante será como mínimo 20mm. El relleno deberá quedar de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento. Las mezclas se ajustaran de acuerdo en 2.

Sellado de juntas longitudinales de cualquier ancho.- las juntas longitudinales deberán limpiarse según se especifica más arriba y sellarse con productos tipo mastic asphaltico que se ajusten a los requisitos dispuestos en 2.

Preparación de la mezcla de sellado.- salvo que las instrucciones del fabricante de un determinado producto especifiquen otra cosa, o cuando se utilice un emulsionante en base a emulsiones asfálticas, las juntas deberán encontrarse perfectamente secas antes de realizarse el sellado. Solo se procederá a sellar cuando la temperatura ambiental sea superior a 5°C e inferior a 30°C.

La preparación de mezclas, según corresponda, deberá realizarse con equipos mecánicos adecuados que aseguren productos homogéneos y de características constantes. La mezcla y homogeneización de productos líquidos se deberá efectuar con equipos de agitación mecánicas que no superen las 150rpm. Los calentadores deberán disponer de controles que permitan variaciones de la temperatura, incluso será necesario calentar en baño maría en aceite. En ningún momento la temperatura de colocación recomendada por el fabricante podrá ser sobrepasada en más de 6°C. Tampoco deberá colocarse el sellante a una temperatura menor a 6°C respecto de la recomendada.

El sellado deberá ejecutarse con equipos mecánicos adecuados para asegurar un vaciado continuo y uniforme, que no deje espacios intermedios sin rellenar. La operación además deberá ser limpia, rellenando exclusivamente las áreas requeridas; cualquier material de sello que manche zonas del pavimento fuera de la grieta o junta deberá ser completamente retirado.

Disposiciones adicionales.- los procedimientos que se utilicen para realizar los trabajos especificados no deberán afectar en forma alguna otras áreas del pavimento, de las bermas y además elementos del camino no incluidos en el trabajo; cualquier daño deberá ser reparado como parte de esta operación.

Los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia. El tratamiento en el botadero se ajustará a lo dispuesto en las especificaciones ambientales generales.

Cuando los trabajos se realicen con el camino en servicio, antes de iniciarlos deberán adoptarse las medidas de seguridad correspondientes a los trabajadores y usuarios del camino, durante los trabajos.

4. Partidas del presupuesto y bases de medición

Sellado de Juntas y grietas (m)

La operación incluye la conformación de la caja o cavidad de la junta o grieta, la limpieza y el sellado con los productos y procedimientos que correspondan, de acuerdo con el ancho y profundidad de las juntas y grietas por resellar. Quedan incluidos los imprimantes, cordones o láminas de respaldo, según el caso y todo otro material producto o actividad que se requiera para cumplir con lo establecido en la presente operación.

5.5.2. Operación N°2 Reparación de todo el espesor

1. Descripción y alcances.

La operación tiene por objetivo reemplazar una parte deteriorada del pavimento de hormigón, la que como mínimo debe abarcar el ancho de una pista y tener no menos de 0.5m en el sentido longitudinal. En el caso que el remplazo afecte un área determinada por juntas de contracción, en ellas se deberán instalar barras de traspaso de cargas en ese caso la longitud mínima por reponer será de 1.8m.

El procedimiento se utiliza para reparar losa que presenten los siguientes problemas:

- Grietas (Transversales, longitudinales o de esquina) que muestren señales de estar trabajando y, por lo tanto, no exista transferencia de cargas entre los trozos.
- Juntas o grietas con saltaduras en las aristas que alcancen hasta un tercio del pesor de la losa.

Parte importante del éxito del procedimiento que se describe depende de dos consideraciones, la zona por reemplazar debe aislarse completamente del resto del pavimento antes de retirarla, y debe asegurarse una transmisión de cargas adecuada cuando la zona por reemplazar queda delimitada por una o más juntas de contracción, y tomar las medidas para que exista una unión monolítica entre el hormigón de remplazo y el pavimento antiguo no afectado, en los demás casos.

2. Materiales.

Los hormigones y demás materiales se ajustaran en todos sus términos a lo estipulado en las respectivas normas.

3. Procedimientos de trabajo.

Remoción del pavimento.- antes de comenzar con los trabajos debe marcarse claramente el área a remover, respetando las dimensiones mínimas señaladas en 1. La zona debe aislarse completamente del pavimento adyacente, incluso de la berma; así se minimizan los daños durante la operación de remoción. En el sentido transversal se harán primeramente dos cortes con sierra, hasta una profundidad equivalente a $\frac{1}{4}$ del espesor de la losa y a unos 150mm mas afuera de la línea que delimita la zona por remplazar; enseguida por las líneas interiores se cortara con sierra en todo el espesor. Por la junta longitudinal y las bermas, si estas fueran pavimentadas, los cortes también deberán profundizarse a todo el espesor; si las bermas no son pavimentadas deberá hacerse espacio para luego colocar un moldaje.

Cuando la zona dañada incluya una junta de contracción se procurara dejarla en el centro del área por remover y, en todo caso, entre los extremos de las barras de acero de amarre entre losas antiguas y el nuevo hormigón.

Una vez completamente aislada el área por remplazar se procederá a retirarla, de preferencia levantándola en vez de removerla. Para levantarla se deberá hacer perforaciones para introducir pernos que permitan amarrar una cadena que será levantada con maquinaria. Cualquiera fuere el procedimiento para remover la zona deteriorada, se deberá evitar todo dalo a la sub-base, las losas y bermas adyacentes.

Preparación antes de hormigonar.- si en el proceso de remoción se produce algún daño en la sub-base, esta deberá repararse de manera que quede perfectamente lisa, a la cota que corresponda y compactada a no menos del 95% de la densidad máxima compactada seca o el 80% de la densidad relativa.

Las caras aserradas de las losas que presentan una superficie lisa deben picarse hasta hacerlas disperejas y rugosas. Para ello, con herramientas livianas, incluso puede utilizarse martillos neumáticos livianos (Max. De 30lb de peso), se debe picar para dejar una superficie inclinada entre el borde superior del corte inicial de $\frac{1}{4}$ del espesor de la losa y el borde inferior del corte de todo el espesor; la zona debe quedar rugosa, irregular e inclinada de arriba hacia abajo.

En las caras de las losas antiguas, excluyendo la pista adyacente (junta longitudinal), se harán perforaciones horizontales distancias cada 600mm. Exceptuando la más cercana al borde externo, la que se ubicara a 500mm de ese borde. Las perforaciones tendrán 300mm de largo y el diámetro adecuado para empotrar barras de fierro corrugado, de 12mm de diámetro y 600 mm de longitud; su objetivo es amarrar las losas antiguas con el nuevo hormigón. Para el empotramiento se utilizara en lechada de cemento hidráulico con un aditivo expansor.

Hormigonado.- se utilizara el mismo tipo de hormigón especificado para pavimentos, salvo que se especifique hormigón para entrega acelerada al tránsito, en cuyo caso se procederá como se especifica en la operación N°3, reparación en todo el espesor para puesta en servicio acelerada.

El hormigonado se hará contra las caras de las losas removidas, por lo que previamente deberá asegurarse que se encuentran limpias de polvo u otra clase de suciedad y húmedas.

Para obtener un parche de buena calidad, la colocación y terminación que se le dé al hormigón, incluyendo el vibrado, es crítica. La nivelación debe constatarse mediante una regla de longitud igual a la de la zona remplazada más 1m. La experiencia indica que los mejores resultados se logran colocando la cercha vibradora paralela al eje del camino. No debe olvidarse dar la textura final de la superficie. El curado, el aserrado y sello de juntas, si corresponde, se ajustara a lo especificado para pavimentos de

hormigón nuevos o en la operación N°3, si el hormigón es para entrega acelerada al tránsito

Terminaciones.- antes de entregar el pavimento al tránsito y una vez retirado el moldaje del lado de la berma, se procederá a reparar esa zona, rellenando con material adecuado. Si la berma es revestida deberá reproducirse el tipo de revestimiento que tiene en el resto del camino.

Recepción y controles.- la obra solo se hará la recepción cuando se hayan cumplido los requisitos señalados precedentemente en terminaciones. Los hormigones deberán tener una resistencia característica a los 28 días de 34 Mpa, considerando una fracción defectuosa del 20%. Se controlaran de acuerdo con lo dispuesto en la especificación respectiva.

Disposiciones adicionales.- los procedimientos que se utilicen para realizar los trabajos especificados no deberán afectar en forma alguna otras áreas del pavimento, de las bermas y además elementos del camino no incluidos en el trabajo; cualquier daño deberá ser reparado como parte de esta operación.

Los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia. El tratamiento en el botadero se ajustará a lo dispuesto en las especificaciones ambientales generales.

Cuando los trabajos se realicen con el camino en servicio, antes de iniciarlos deberán adoptarse las medidas de seguridad correspondientes a los trabajadores y usuarios del camino, durante los trabajos.

4. Partidas del presupuesto

La operación comprende la remoción del pavimento por reemplazar, el traslado a botaderos autorizados de los trozos de las losas, la reparación de la sub-rasante si fuera necesario, la colocación de barrar de acero de amarre en los bordes de la zona por tratar, la preparación del hormigón, su transporte, colocación, curado, aserrado y sello de las juntas, si corresponde. También incluye la reparación de las bermas que hubieran resultado afectadas por los trabajos, incluso su revestimiento si corresponde.

La operación se cuantificara por mero cuadrado (m²) de superficie de pavimento reemplazad, del espesor que se especifique.

5.5.3. Operación N°3 Reparación en todo el espesor para puesta en servicio acelerada

1. Descripción y alcances.

Corresponde a una intervención idéntica a la definida en la operación N°2, reparación en todo el espesor, pero utilizando tecnologías que permitan su puesta en servicio a un plazo corto, no mayor que 24Hr después del hormigonado (Técnicas del Fast Track).

La tecnología por aplicar para la entrega acelerada al tránsito no difiere substancialmente, en ningún aspecto, de los procedimientos que se utilizan para reemplazar losas completas de un pavimento o secciones de él. La diferencia se encuentra en la preparación, colocación y curado del hormigón que permite, tomando algunas precauciones de especiales, devolver al tránsito la zona reemplazada en plazos que normalmente van de 6 a 24Hr.

No existe ningún diseño preestablecido de dosificación del hormigón por utilizar en estas técnicas, solo se requiere de una mejor selección de los materiales por utilizar,

de manera de obtener altas resistencias a tempranas edades. Por las razones expuestas, antes de especificar por primera vez este tipo de técnicas se recomienda desarrollar en el laboratorio u análisis detallado para establecer las características del hormigón preparado con los materiales locales.

2. Materiales

Los hormigones para la puesta en servicio acelerada no requieren de materiales o técnicas especiales. Sin embargo, como todo hormigón, la resistencia elevada a temprana edad es de la función de la relación agua-cemento, de las características y del contenido de cemento, las propiedades del agregado y de las condiciones ambientales imperantes y/o del sistema de curado que se utilice.

En general, todo los materiales deberán ajustarse a lo estipulado en la operación N°2. Los áridos deberán cumplir con lo especificado para la construcción del pavimento de hormigón, pero asegurándose que la granulometría sea bien graduada, sin saltos grandes por carencias de partículas de algunos tamaños, se deberá ser especialmente exigente en la cantidad y distribución del material que pasa entre los tamices de 10 y 2.5mm.

Los aditivos deberán cumplir con lo prescrito en la especificación para la construcción de pavimentos de hormigón. En la mayoría de las situaciones no es necesario utilizar aditivos para obtener altas resistencias a tempranas edades. En cualquier caso su utilización deberá ser avalada con ensayos de laboratorio.

Los compuestos de curado, las barras de acero y los sellantes para las juntas, deberán cumplir con lo estipulado en la especificación para la construcción de pavimentos de hormigón.

Las cubiertas de curado consistirán en una manta confeccionada de espuma de poli-estireno con celdas aisladas y protegidas con una lámina de plástico u otro elemento

que resguarde adecuadamente el pavimento. También podrán utilizarse otros elementos que aseguren una protección adecuada al pavimento para las condiciones ambientales prevalecientes.

3. Procedimientos de trabajo.

Remoción del Pavimento.- el pavimento por remplazar deberá removerse empleando los procedimientos descritos en la operación N°2, reparación de todo el espesor.

Construcción del pavimento para entrega acelerada.- salvo por los aspectos y condiciones que aquí se señalan precisamente, los trabajos se deberán ajustar íntegramente a lo especificado para la construcción de pavimentos de hormigón, y a lo señalado en la operación N°2.

Las precauciones y medidas especiales que se deben considerar al construir un pavimento de hormigón para entrega acelerada al tránsito son las siguientes.

- Antes de construir por primera vez con este tipo de técnicas, se debe desarrollar en el laboratorio un análisis detallado para establecer las características del hormigón preparado con los, materiales locales.
- Los equipos de preparación, transporte y colocación son los mismos que se utilizan para el hormigonado habitual de pavimentos.
- Para consolidarlos este hormigón requiere, normalmente vibración algo más prolongada que la habitual.
- Requieren de una secuencia de construcción más planificada, debido a que el margen de error aceptable es inferior al que permite una pavimentación convencional. Se debe considerar que, probablemente, se requerirá de alguna adaptación inicial de las cuadrillas de operarios.
- Para el curado se debe utilizar una membrada de curado aplicada con una tasa 1.5 veces mayor que la habitual y cubrira no solo la cara superior sino también los bordes expuestos.
- Salvo bajo condiciones climatologías muy calurosas, normalmente deben colocarse mantas aislantes que retenga el calor de hidratación del hormigón. Se

instalan después de aplicar el compuesto de curado, debiéndose retirar solamente durante el aserrado de las juntas.

- El momento en que el pavimentos puede entregarse al tránsito debe definirse en base a la resistencia que haya alcanzado el hormigón y no especificando que hubiere transcurrido un determinado tiempo. Para los efectos señalados, deberán confeccionarse probetas para el ensayo de tracción por flexión, que se ensayaran con cargas en los tercios. Se prepararan 6 probetas que se mantendrán a un costado de la obra, curadas con el mismo procedimiento que se utilice para el pavimento (membrana de curado y manta protectora). Se ensayaran 3 probetas inmediatamente antes de que se cumpla con el tiempo programado para la entrega al tránsito, reservándose para las otras tres para ensayos posteriores, para el caso que la resistencia hubiere resultado inferior a la requerida.

- La resistencia del pavimento será el promedio de los resultados de las tres probetas ensayadas. El pavimento se podrá entregar al tránsito cuando se cumpla la siguiente condición:

ESPEJOR LOSA (mm)	RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION (Mpa)
180	2.2
200	2
230	1.7
>250	1.4

Resistencias a la flexo tracción para entrega al servicio

Cuando se especifique o se prevea que el pavimento no va a ser transitado por vehículos comerciales en las primeras 24 horas, la apertura puede realizarse cuando la resistencia haya alcanzado 1.4 Mpa, cualquiera sea el espesor de la losa.

Se debe tener presente que los valores de la resistencia indicados en la tabla, fueron calculados con un modelo matemático para secciones en el interior de la losa, la experiencia indica que por las mayores temperatura que se producen dentro de la losa

respecto a la de las probetas, estas últimas alcanzan normalmente resistencia entre 0.3 y 1.0 Mpa menores que aquella. Al utilizar los ensayos de probetas como indicador para la entrega al servicio se dispone, por tanto, de un factor de seguridad.

Terminaciones.- antes de entregar un pavimento al tránsito y una vez retirado el moldaje del lado de la berma, se procederá a reparar esa zona, rellenando con material adecuado. Si la berma es revestida, deberá reproducirse el tipo de revestimiento que tiene en el resto del camino, ajustándose, en lo que corresponda, a los que señalan las correspondientes especificaciones.

Con la excepción del aspecto resistencia, la entrega al tránsito se ajustara a lo señalado en las especificaciones para la construcción de pavimentos de hormigón.

Recepción y controles.- la obra solo será recepcionada cuando se hubieren cumplido los requisitos señalados precedentemente en terminaciones. En el momento previsto para la entrega de la obra al tránsito los hormigones deberán tener la resistencia especificada en la tabla. Sin o se cumpliera este requisito, se aplicara una multa equivalente al 20% del valor del pavimento afectado. Sin perjuicio de lo anterior, se controlara la resistencia a los 28 días aplicándose los criterios de evaluación y multas señalados en la operación N°2.

Disposiciones adicionales.- los procedimientos que se apliques para realizar los trabajos especificados no deberán afectar, en forma alguna, otras áreas del pavimento, de las bermas y demás elementos del camino, no incluidos en el trabajo, cualquier daño deberá ser reparado como parte de esta operación.

Los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia. El tratamiento en el botadero se ajustará a lo dispuesto en las especificaciones ambientales generales.

Cuando los trabajos se realicen con el camino en servicio, antes de iniciarlos deberán adoptarse las medidas de seguridad correspondientes a los trabajadores y usuarios del camino, durante los trabajos.

4. Partidas del presupuesto

La operación comprende la remoción del pavimento por remplazar, el traslado a botaderos autorizados de los trozos de las losas, la reparación de la sub-rasante si fuera necesario, la colocación de barrar de acero de amarre en los bordes de la zona por tratar, la preparación del hormigón de alta resistencia inicial, su transporte, colocación, curado e incluso la colocación de mantas para abrigar del pavimento así como la confección y ensayo de probetas para el control de la resistencia del hormigón y el aserrado y sello de las juntas, si corresponde. También incluye la reparación de las bermas que hubieran resultado afectadas por los trabajos, incluso su revestimiento si corresponde.

La operación se cuantificara por mero cuadrado (m²) de superficie de pavimento para entrega acelerada al tránsito, con el espesor que se especifique.

5.5.4. Operación N°4 Reparación de espesor parcial

1. Descripción y alcances

Esta operación se refiere a la reparación de juntas de pavimento de hormigón, de contracción y longitudinales, que presentan saltaduras en las aristas que afectan, solo la parte superior del hormigón entendiéndose como tales las que alcanzan un tercio del espesor de las losa.

La saltadura de la junta crea una superficie muy irregular y acelera el deterioro general del pavimento, por lo que se es necesario repararlas. La técnica que se incluye en esta operación es muy eficaz y más económica que las reparaciones de todo el

espesor. Sin embargo el éxito de su aplicación depende de las limitaciones y condiciones que se describe en los procedimientos de trabajo.

2. Materiales.

Los hormigones se ajustaran en todos su términos a los estipulados en las correspondientes especificaciones para la confección y colocación del hormigón.

La unión entre el hormigón antiguo y el nuevo debe ser monolítica, para lo cual se deberá proceder de acuerdo con los procedimientos definidos juntas de de hormigonado en las normas.

3. Procedimiento de trabajo.

Remoción del área deteriorada.- primeramente se debe establecer toda la zona deteriorada, la que muchas veces es efectivamente algo mayor que lo que aparenta desde la superficie. Normalmente la profundidad que se debe remover varía entre 25 y 100mm, dependiendo ello del nivel al cual se encuentre hormigón en buenas condiciones, lo que se puede constatar golpeando con un martillo o una barra de acero y/o , mejor aún, extrayendo el testigo del hormigón. La exploración con una martillo o una barra de acero se basa en el tipo de sonido de la respuesta, si suena metálico significa que el hormigón se encuentra en buenas condiciones, si es apagado o suena hueco, el hormigón se encuentra deteriorado. Para asegurarse se removerá toda el área afectada, esta debe extenderse hasta unos 80 a 100mm dentro del hormigón en buenas condiciones.

La zona por removerse debe demarcarse formando un cuadrado o un rectángulo, nunca una figura irregular. Enseguida, por las líneas demarcadas se asierra todo el contorno hasta una profundidad de unos 50mm. La zona central se debe remover empleado herramientas neumáticas livianas (de 5lb es e l peso adecuado, pudiendo utilizarse hasta unos 30lb de peso), nunca se deben utilizar herramientas pesadas que pueden dañar el hormigón. El fondo de la zona removida debe quedar irregular y muy rugosa.

Si al excavar, lo que desde la superficie parece únicamente una saltadura de la junta, se detecta que el hormigón debe alcanzar una profundidad mayor que un tercio del espesor, la operación debe suspenderse, y se procederá a trabajar según la operación N°2, reparación en todo el espesor.

Precauciones especiales.- para asegurar el éxito de la reparación deben tenerse en consideración, fundamentalmente, las condiciones y limitantes que se indican a continuación.

- Frecuentemente, cuando un parche de este tipo queda en contacto con una losa adyacente se originan nuevas saltaduras en la junta, debido a las tensiones que aquella le transmite. Se debe prevenir colocando una faja delgada de plástico, una tablilla impregnada en asfalto u otro elemento que separe el hormigón antiguo del nuevo.
- Aun cuando una junta de contracción se puede aserrar después de reparada con esta técnica, lo más seguro es formarla mientras el hormigón se encuentra fresco.
- En los parches que limiten con la berma debe utilizarse un moldaje que impida que parte del hormigón fluya hacia ese lugar, lo que crearía una unión que restringiría el movimiento de la losa.
- Puesto que normalmente los parches presentan una gran superficie en relación al volumen por rellenar, la humedad se pierde con rapidez, por lo que el sistema de curado por utilizar debe de ser el adecuado para esta situación.

Hormigonado.- antes de hormigonar debe prepararse el área de contacto de manera de asegurar que se producirá una unión monolítica entre los hormigones y que la superficie del hormigón antiguo sea impermeable para evitar la infiltración del agua del hormigón nuevo al antiguo. La primera condición se logra siguiendo los procesos indicados en este párrafo en relación a la remoción del área deteriorada, en tanto que lo segundo se obtiene recubriendo la superficie de contacto con una lechada de relación 1:1 de agua cemento hidráulico.

En general el volumen de hormigón por colocar en esos parches es pequeño, por lo que el hormigón debe prepararse en el mismo lugar en betoneras pequeñas.

El hormigón debe colocarse y luego vibrarse, de manera que la cantidad de hormigón por vaciar debe calcularse para que, finalmente, quede a nivel del resto del pavimento. La terminación debe ser mediante un planchado que avance desde el centro del parche hasta las orillas y finalizando con una textura superficial similar a la del resto, de manera que el parche se mimetice.

Curado y sellado de juntas.- tal como se ha indicado, un curado es extremadamente importante por lo que se deben utilizar los mismos procedimientos indicados, según corresponda, en las Operaciones N°2, reparación en todo el espesor o N°3, reparación en todo el espesor para puesta en servicio acelerada.

Una vez que el parche haya adquirido suficiente resistencia, se procederá al sellado de la junta reparada, ajustándose a lo dispuesto en las especificaciones para la construcción de pavimentos de hormigón.

Disposiciones Adicionales.- los procedimientos que se utilicen para realizar los trabajos especificados no deberán afectar, en forma alguna, otras áreas del pavimento, que las bermas y demás elementos del camino, no incluidos en el trabajo, cualquier daño será reparado como parte de esa operación.

Los materiales extraídos sobrantes deben trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia. El tratamiento en el botadero se ajustara a lo dispuesto en las especificaciones ambientales Generales.

Cuando los trabajos se realicen con el camino en servicio, antes de iniciarlos deberán adoptarse las medidas de seguridad correspondientes a los trabajadores y usuarios del camino, durante los trabajos.

4. Partidas del presupuesto y Bases de Medición.

Reparación de Espesor Parcial.

La operación comprende la remoción del pavimento por remplazar, el traslado a botaderos autorizados de los trozos resultantes, la preparación de la superficie de contacto entre el hormigón antiguo y nuevo, la reparación del hormigón, su colocación y curado, la formación de la nueva junta y el sellado de la misma.

La operación se cuantificará por metro cuadrado (m²) de superficie de pavimento reparado, cualquiera fuera su espesor.

6. METODOLOGÍA DE TRABAJO

6.1. Ubicación del área de estudio

La ubicación del área de estudio comprende situar mediante croquis el lugar donde se va a emplazar la obra indicando el nombre de la zona, características geológicas, climatológicas y cualquier otra información que nos de parámetros de evaluación.

6.2. Características de la zona de estudio

Las características de la zona de estudio se refiere a la investigación sobre el diseño del pavimento, características geométricas, longitud del tramo d estudio el año en que fue puesto en servicio, vida útil, la vida actual del pavimento y durante ese periodo que clase de mantenimiento o reparación de realizó.

6.3. Recopilación de datos y evaluación física del pavimento.

6.3.1. Inspección visual.

Esta es una de las herramientas más poderosas en las rehabilitaciones de pavimentos y forma parte esencial de toda la investigación. La inspección visual se realiza generalmente en dos etapas:

Inspección visual inicial.

En este caso se pretende obtener una inspección general del proyecto y definir los límites de secciones homogéneas, en las que se tengan tipos y niveles similares de deterioro o bien se parcializa el pavimento a estudiar tomando como referencia puntos singulares de fácil identificación, generándose de esta forma tramos de trabajo que serán objeto, en la inspección visual detallada, de un análisis más minuciosos. Generalmente esta tarea se realiza sobre un vehículo conduciendo a baja velocidad abarcando toda la longitud de la vía.

Inspección visual detallada.

Se procede a enumerar las losas y enumerar las juntas transversales para luego identificar en cada una de las losas las fallas que presentan clasificándolas según lo indicado en la clasificación de las fallas e indicando según el nivel de severidad en una planilla, para que posteriormente definamos el tipo metodología a utilizar para la reparación.

Instrumentos a utilizar.

Para las mediciones se utilizara los siguientes instrumentos básicos:

1. Flexómetro.
2. Regla.

6.4. Trabajo de Gabinete

En gabinete se evaluara los datos extraídos de la zona de estudio los cuales serán introducidos a una hoja de cálculo para la obtención de resultados y en función a estos calcular el nivel de severidad que presenta cada falla y determinar el tipo de procedimiento que se llevara a cabo para la reparación.

Una vez que se tenga el nivel de severidad se adoptara el tipo de reparación que se ejecutará, para que posteriormente se elabore una planilla donde indique las actividades que se llevaran a cabo para la reparación y posteriormente se realizara los cálculos métricos de cada actividad, el análisis de precios unitarios y finalmente el presupuesto general de obra en función a la operación que se ejecute para la reparación y mantenimiento.

7. APLICACIÓN PRÁCTICA

7.1. Ubicación del área de estudio

El valle central de Tarija llamado también cuenca del río Guadalquivir, está situado en el departamento de Tarija (Bolivia). Esta zona juega un papel importante dentro del desarrollo regional, además, la capital se ubica en el valle central, la misma tiene una temperatura media anual de 18.2 ° C y una precipitación pluvial media anual 700 mm

La zona de estudio, se encuentra ubicada en la ciudad de Tarija (Cercado), específicamente la obra de infraestructura de hormigón que se indica a continuación:

- Pavimento de Hormigón a la entrada de Los Parrales

La ubicación de cada una de estas obras se encuentra en la Figuras siguientes.



Ubicación del Pavimento rígido Entrada a los Parrales

7.2. Características generales de la zona de estudio

Datos Pavimento Rígido Los Parrales

- Ancho de la calzada: 8.86 m
- Ancho de carril: 4.43 m
- Altura de la losa: 15 cm.
- Longitud del tramo 50 m
- Pavimento: Carpeta de concreto hidráulico
- Año de construcción: 1991
- Vida útil: 30 años
- Vida actual del pavimento: 21 años
- Condición Actual del pavimento: Malo, presenta fallas y defectos tal que se tiene una circulación defectuosa con vibraciones y dificultades para mantener la estabilidad.
- Trabajo de mantenimiento: Se realizó el sellado de fisuras y juntas transversales como longitudinales.

7.3. Pavimento rígido ingreso a los parrales

Denominado Ingreso al Hotel los Parrales la cual su rodadura es concreto hidráulico y que la misma tiene un servicio aproximadamente de unos 21 años. La estructura del pavimento está conformada por las siguientes capas y espesores:

- Rodadura (Concreto Hidráulico) 20 cm
- Base o Sub Base Granular 15 cm

El pavimento se encuentra bastante deteriorado donde la falla más predominante son las fisuras longitudinales y transversales, deterioros en las juntas tanto transversales como en las longitudinales.

Todas las fallas que se pudo observar hacen que la circulación sea apenas aceptable por las oscilaciones, vibraciones de los vehículos.

Por otra parte el valor promedio de deformación es de 2 mm., donde al momento de la medición no se puede distinguir a simple vista la deformación permanente en las bandas circulación del tráfico. Como se sabe los pavimentos rígidos son estructuras muy rígidas, con una gran capacidad de disipación de tensiones verticales producidas por las cargas, donde la tensión máxima que le llega al apoyo es una pequeña fracción de la presión de contacto.

Este tipo de pavimento no precisa de una base con la misma función que en un pavimento flexible, sino de un apoyo uniforme y resistente a la erosión, tanto para el tráfico de obra, como al tráfico de servicio. Con lo indicado se puede decir que en este tipo de pavimento no existe ahuellamiento debido a la deformación de la rodadura, no es como ocurre en los pavimentos flexibles, ya que este tipo de pavimento tiene una alta rigidez que se comporta de una manera totalmente diferente de un pavimento flexible.

Lo indicado demuestra que la pequeña deformación que se tiene en este tipo pavimento es más bien debido a pulimento de la superficie, al tránsito vehicular, mala técnica al momento de la construcción, lo indicado se puede apreciar mejor en la figura.



Deformación en el pavimento Rígido

Por otro lado este tipo de pavimento se encuentra afectado por otros tipos de fallas que se indican a continuación.

Deterioros que se encontró en el tramo de estudio

- a) Deficiencias del Sellado
- b) Juntas Saltadas
- c) Separación de la Junta Longitudinal
- d) Grietas de esquina
- e) Grietas Longitudinales
- f) Grietas Transversales
- g) Fisuramiento por retracción Tipo Malla

Los cuales se detallaran a continuación:

a) Deficiencias del Sellado



b) Juntas Saltadas**c) Separación de la Junta Longitudinal****d) Grietas de esquina**

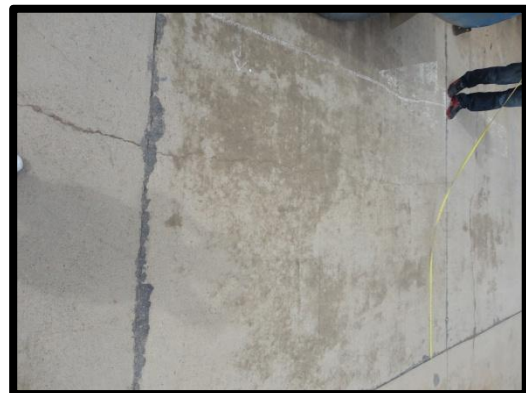
Grietas Longitudinales



e) Grietas Transversales



f) Fisuramiento por retracción Tipo Malla



g) Escalonamiento de Juntas y Grietas



7.4. Medición de las fallas:

a) Deficiencias del sellado

Datos:				
Longitud Junta =		8,86 m		
Nº de Junta	long. deteriorado	porcentaje deteriorado	nivel de severidad	metodologia a aplicar para curado
1	2,4	27,09	alta	operación N° 1 sellado de juntas y grietas
2	6,43	72,57	alta	
3	4,76	53,72	alta	
4	5,53	62,42	alta	
5	1,9	21,44	media	
6	2,65	29,91	alta	
7	4,3	48,53	alta	
8	4,6	51,92	alta	
9	6,4	72,23	alta	
10	8,86	100,00	alta	
11	4,9	55,30	alta	

b) Juntas Saltadas

Datos:						
Longitud Junta =		8,86 m				
Nº de Junta	ancho de saltadura (mm)			promedio	Nivel de severidad	Metodologia de reparacion
1						Para nivel de Severidad Baja Operación N° 1 y para Severidad Media Operación N°4
2	20	26,00	35	27,00	baja	
3	26	38,00	37	33,67	baja	
4	40	70,00	60	56,67	media	
5	65			65,00	media	
6						
7	56			56,00	media	
8						
9	40			40,00	media	
10	54	30,00	45	43,00		

c) Separación de la Junta Longitudinal

Nº de Junta	ancho de Separacion						promedio	Nivel de severidad	Metodología de reparacion
1	7	7,00					7,00	media	Para nivel de Severidad Media no presenta riesgo par la seguridad de los usuarios Operación Nº 1
2	8	12,00	20	11			12,75	media	
3	18	20,00	12	8			14,50	media	
4	11	12,00	10				11,00	media	
5	15	13,00	7				11,67	media	
6	6	10,00	10				8,67	media	
7	10	7,00	8	6	5		7,20	media	
8	6	6,00	6	8	7	5	6,33	media	
9	6	5,00	6	9	3	8	6,17	media	

d) Grietas de esquina

Esta grieta solo presenta en la junta N° 2 y la Junta N° 3

Nº de Junta	a (m)	b (m)	L (m)	promedio	Nivel de severidad	Metodología de reparacion
2	0,8	1,65	4,3	38,37	media	Operación Nº2 ó 3 según corresponda
3	0,27	0,64	4,3	14,88	media	

e) Grietas Longitudinales

Nº de Losa	Nivel de Severidad			Metodología de reparacion
	baja	media	alta	
1	3,1			Para nivel de Severidad Baja y Media Operación Nº 1 para severidad alta operación 2 ó 3 según Corresponda
2		2,90	1,25	
3	3,1			
4		6,50		
5		3,20		
6		3,30	3,2	
7		3,10		
8		1,10	6,5	
9		3,10		
10			5,6	
11				
12			2,8	
13				
14		3,1	2,56	
15				
16		4,8	0,7	
17				
18		5,3		

f) Grietas Transversales

Nº de Losa	Long. (m) Nivel de Severidad			Metodologia de reparacion
	baja	media	alta	
1				Para nivel de Severidad Baja y Media Operación Nº 1 para severidad alta operación 2 ó 3 según Corresponda
2		1,00	1,73	
3		6,75		
4	3,45			
5		4,60		
6				
7	2,32	2,63	3,39	
8				
9	2,9		5,75	
10		2,84	3,23	
11		2,83	3,36	
12	3,24	4,04		
13				
14			3,97	
15		4,32		
16			3,94	
17				
18			3,12	

g) Fisuramiento por retracción Tipo Malla

Nº de Losa	Nivel de Severidad			comparacion		nivel de severidad	Metodologia de reparacion
	a (m)	b (m)	area (m2)	sup. Deteriorada	% severidad		
1	1,1	1,04	1,144	0,21	18,36	alta	para cualquier nivel de severidad reparacion con lla operación Nº 4
2	2,78	2,40	6,672	0,3	4,50	media	
3							
4	2,8	2,30	6,44	0,45	6,99	media	
5	2,05	1,06	2,173	0,35	16,11	alta	
6	4,24	2,17	9,2008	0,36	3,91	media	
7	2,8	1,60	4,48	0,25	5,58	meda	
8	3,45	2,20	7,59	0,36	4,74	media	
9	2	1,70	3,4	0,1	2,94	media	
10							
11	3,1	1,1	3,41	0,45	13,20	alta	
12	2,2	1,9	4,18	0,16	3,83	media	
13	3,1	2,17	6,727	0,15	2,23	media	
14	1,14	0,84	0,9576	0,08	8,35	media	
15	0,55	1,4	0,77	0,1	12,99	alta	
16	0,9	0,85	0,765	0,02	2,61	media	
17	1,37	1,1	1,507	0,25	16,59	alta	
18							

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

Con el fin de realizar un estudio de las fallencias que presenta el pavimento rígido ingreso al hotel los parrales y siguiendo la metodología descrita se procede a concluir y deducir los resultados obtenidos..

- Se realizó el análisis de todas las fallas que se encuentran en el pavimento rígido de acuerdo a lo especificado en la teoría presentada.
- Se verificó que el proceso que se sigue para la evaluación visual de fallas del pavimento es efectivo siempre y cuando se siga correctamente los pasos mencionados, identificando las fallas que presenta en toda la superficie del pavimento, observando que en dicho pavimento se encuentra la mayoría de las fallas descritas en las especificaciones.
- Las fallas que presenta el pavimento son las siguientes:
 - a) **Deficiencias del Sellado**, debido al envejecimiento y mala colocación en la caja de la junta lo cual hace que se incruste materiales incompresibles lo cual con la dilatación y contracción hacen que se separe cada vez más las juntas.
 - b) **Juntas Saltadas**, se debe a la mala ejecución del trabajo, y penetración de partículas incompresibles dentro de la caja de una junta o dentro de una caja activa.
 - c) **Separación de la Junta Longitudinal**, se debe a desplazamiento debido a asentamientos diferenciales en la sub rasante, mala colocación de las barras de amarre entre losas adyacentes.
 - d) **Grietas de esquina**, se debe a una sobrecarga en las esquinas y la falta de apoyo de la losa, originado por la erosión de la base o alabeo térmico o deficiente transmisión de carga ente las juntas.
 - e) **Grietas Longitudinales**, asentamiento de la base y/o sub rasante, mal posicionamiento de las barras de traspaso de cargas, o un aserrado tardío de las juntas.
 - f) **Grietas Transversales**, se debe a insuficiente el espesor de la losa para soportar las cargas, retracción térmica que provoca alabeos, juntas de contracción aserrada tardíamente.

- g) *Fisuramiento por retracción Tipo Malla*, se debe a curado inapropiado del hormigón, exceso de amasado superficial y/o adición de agua durante el alisado de la superficie.

La falla más predominante en el pavimento de estudio son las grietas longitudinales y las transversales con niveles de severidad alta lo cual refleja en las cantidades descritas en los cómputos.

Para la reparación de las fallas se elaboró una planilla donde refleja las actividades que se deben realizar para realizar el presupuesto general.

Estas actividades describen los procedimientos que se deben realizar para proceder al mantenimiento y reparación del pavimento, las cuales se determina las cantidades. Unidades de medición de tal manera que se pueda obtener los rendimientos de los materiales y elaborar los precios unitarios de cada actividad.

A todas las fallas se les asignó el nivel de severidad alta, ya que para realizar una apreciación del presupuesto que se va utilizar para la reparación optamos por tomar el más desfavorable y por otro lado no siempre la detección de falla superficial indica el nivel de severidad que presenta puesto que en la superficie puede representar un nivel de severidad media y en su interior de la estructura y al momento de la ejecución de la reparación podemos encontrarnos que es falla de nivel de severidad alta haciendo que varíe nuestro presupuesto.

El tramo analizado fue escogido de manera tal que un banco de datos representativo puesto que todo el pavimento en dicha zona se encuentra en malas condiciones.

8.2. Recomendaciones

Para la extracción de datos se recomienda enumerar las losas para identificar específicamente la falla que presenta cada una de ellas para ello se debe contar con

dos auxiliares para que estos tomen las medidas de cada tipo de falla de acuerdo a requerido por el ingeniero a cargo. Los datos deben ser apuntados en planillas que especifiquen los valores requeridos para que estos puedan ser estudiados, evaluados, clasificados de acuerdo a la descripción especificada. Una vez que se cuente con todos los datos de campo, estos deben ser procesados en gabinete de la siguiente manera:

Las juntas transversales y longitudinales se computaran en (ml), y la reparación de acuerdo a las especificaciones técnicas.

La reparación de juntas saltadas se medirán la longitud deteriorada y el ancho real, para que luego en gabinete este ancho será incrementado 10cm para realizar el corte del pavimentos lo cual se debe computar con el ancho proyectado.

Para la reparación de grietas de esquina se conforma un rectángulo que englobe toda la grieta incrementando igualmente 10cm.

Para las grietas transversales y longitudinales se mide la longitud total de la grieta y el ancho para clasificar el nivel de severidad. Para la medición final de la misma se debe incrementar 15cm en ambos lados haciendo un corte de 30cm lo cual se computa para realizar el presupuesto teniendo que estar en las unidades de m².