

MATERIAL DE APOYO

DISEÑO DE JUNTAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

CÁTEDRA TRANSPORTE III

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

3ª Edición - Año 2005

PAVIMENTOS RÍGIDOS – DISEÑO DE JUNTAS

1. Introducción:

La formación de juntas tiene la misión de **canalizar y controlar la fisuración** de retracción de fragüe y las debidas a los alabeos higrotérmicos. Para ello es necesario que el tipo, separación, geometría y ejecución de las juntas, respondan a ciertas pautas para evitar que se produzcan fisuras erráticas. El control se realiza debilitando deliberadamente una sección del hormigón mediante aserrado o insertos no adherentes. Se tratan aquí las **juntas en pavimentos de hormigón simple**, vale decir sin armadura distribuida o de armadura continua.

La geometría de la calzada, las características del hormigón, el espesor de las losas y capa de apoyo de las mismas, junto a las variaciones de temperatura y humedad, son los elementos que se consideran en el diseño de juntas.

*Es altamente recomendable que en el desarrollo del proyecto de un pavimento rígido, se incorporen los respectivos **planos de diseño de las diferentes juntas**. Esta práctica limita las improvisaciones y disparidad de criterios de aplicación durante la construcción.*

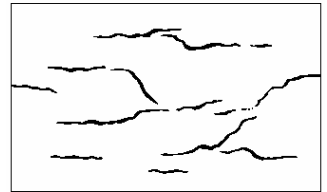
Un adecuado diseño y construcción de juntas en un pavimento rígido provee:

- Control de las fisuras transversales y longitudinales derivadas de la limitación a la contracción de las losas y los efectos combinados de las restricciones a los alabeos higrotérmicos y las cargas del tránsito.
- Dividen el pavimento en incrementos constructivos, (ejemplo carriles o trochas)
- Permitir los movimientos de losas.
- Proveer transferencia de cargas entre losas.
- Proveer un reservorio para el sellado de la junta.

2.- Fisuración de las losas:

Existen dos causas básicas de fisuración en el hormigón:

- 1) Producidas por **tensiones debidas a cambios higrotérmicos** en la masa del hormigón en condiciones de libertad de movimiento restringidas.
- 2) Motivadas en **tensiones producidas por las cargas del tránsito**.



El **diseño de juntas** atiende al primer punto en tanto el **diseño de espesores** se ocupa del segundo, no obstante debe destacarse que existe una interdependencia entre ambos.

*La **fisuración plástica** se debe a un cambio diferencial de volumen entre la superficie y el interior de la losa. Se produce como consecuencia de una intensa evaporación del agua de la superficie del hormigón aún en estado plástico. Este tipo de fisuras no es objeto de formación de juntas, dado que es un fenómeno controlable mediante un adecuado curado del hormigón.*

Las **tensiones por cambios higrotérmicos**, dependen de:

- a) Las **características y edad del hormigón**. La magnitud de la retracción por secado depende principalmente de la cantidad y tipo de agregados y del contenido de agua de la mezcla.
- b) Las **restricciones a los movimientos de las losas**. La combinación de la retracción y la restricción al movimiento (generalmente proporcionada por otra parte del pavimento o por la base) provoca el desarrollo de tensiones de tracción. Si la retracción del hormigón se produjera de manera no restringida, no se fisuraría.
- c) **Condiciones medioambientales a edad temprana y en servicio del hormigón**. Las diferencias de temperatura dentro las losas pueden ser provocadas por partes del hormigón que pierden calor de hidratación a diferentes velocidades, o por condiciones climáticas que enfrían o calientan una parte de la losa con una mayor tasa que otra.

2.1.- Características y edad del hormigón

Las características y edad del hormigón se inscriben la selección y calidad de materiales, la dosificación del hormigón y las operaciones de elaboración, transporte, colocación y curado.

Éstas condicionan los movimientos de retracción de fragüe a edad temprana. Tienen su influencia además, la cantidad y tipo de cemento Pórtland (calor de hidratación), la relación agua cemento, el coeficiente de dilatación cúbica de los agregados pétreos gruesos, la magnitud de la retracción. Cuanto mayor sea la cantidad de agregados, menor será la retracción. La fisuración de origen térmico se puede atenuar al reducir la máxima temperatura interna, y retrasar el enfriamiento mediante un curado que atenúe la velocidad con que se enfría el hormigón.

Cemento Pórtland Compuesto: Es un conglomerante hidráulico obtenido por molienda de clinker Pórtland y dos o más constituyentes tales como escoria de alto horno, puzolana y material calcáreo. Es habitual que contengan adiciones de pequeñas cantidades de sulfato de calcio. El total de los distintos componentes minerales no supera el 35 %, según lo establecido por la normativa IRAM 1730.

Los cementos Pórtland compuestos, de bajo calor de hidratación, generan menores temperaturas internas, por ende tienden a inducir menores dilataciones y retracciones térmicas a edad temprana.

2.2.- Restricciones a los movimientos de las losas

Las fisuras de retracción ocurren por la restricción que opone la subbase o base para que se produzcan las deformaciones. En esta situación se desarrollan tensiones de tracción en la masa del hormigón. La resistencia a tracción de éste a edad temprana es muy baja, consecuentemente cuando resulta superada el hormigón se fisura.

Cuando la retracción de fragüe ocurre y **no existen restricciones al movimiento, el hormigón no se fisura**. Las restricciones las producen numerosas causas, entre ellas la fricción con la superficie de apoyo y/o laterales, barras de acero insertas en el hormigón y partes interconectadas con otras estructuras de hormigón.

En los casos de curado deficitario, la contracción por secado se produce con mayor intensidad cerca de la superficie expuesta del hormigón. Lo propio ocurre con gradientes de temperatura desarrollados en espesor de la losa. Además, siendo el hormigón un material heterogéneo, pueden tener lugar retracciones diferenciales en su propia masa. En estas condiciones se generan resistencias internas a la retracción, dando lugar a microfisuras que condicionan el desempeño de las losas durante la etapa de servicio. Este fenómeno facilita el astillamiento de bordes de juntas y debilita la resistencia a fatiga de las losas.

El empleo de **fibras en el hormigón fresco**, provee resistencia a tracción en la etapa crítica de la retracción por secado. Su inclusión limita notablemente la microfisuración, por lo que el pavimento adquiere mayor resistencia al astillamiento de bordes de las juntas. No obstante esta sola medida no resulta suficiente para garantizar un hormigón durable.

3.- Diseño de Juntas:

A los efectos del **diseño de juntas** deben evaluarse los siguientes factores:

- **Condiciones ambientales:** La amplitud térmica diaria y las que se registran a lo largo de un ciclo climático, son determinantes en los movimientos de dilatación, contracción y alabeos. Los climas continentales, (mayores amplitudes térmicas), imponen condiciones de trabajo más exigentes a las losas. En forma análoga los cambios humedad inducen a movimientos en las losas, provocando concentración de tensiones, alabeos cóncavos y convexos.
- **Espesor de las losas:** El espesor de las losas condiciona las tensiones debidas al alabeo higrotérmico y las deflexiones vinculadas a la transferencia de cargas.
- **Transferencia de cargas:** Resulta necesaria la transferencia de cargas a través de cualquiera de las juntas de un pavimento rígido. No obstante el requerimiento de transferencia varía para cada tipo de junta. Los pasadores y las barras de unión (transferencia de cargas intergranular), sus dimensiones y posición constituyen factores de diseño.
- **Tránsito:** Es una variable de consideración extremadamente importante en el diseño de las juntas. La clasificación, posición de las cargas dentro de cada carril y la presencia de cargas en los bordes de la losa, afectan la transferencia de cargas.

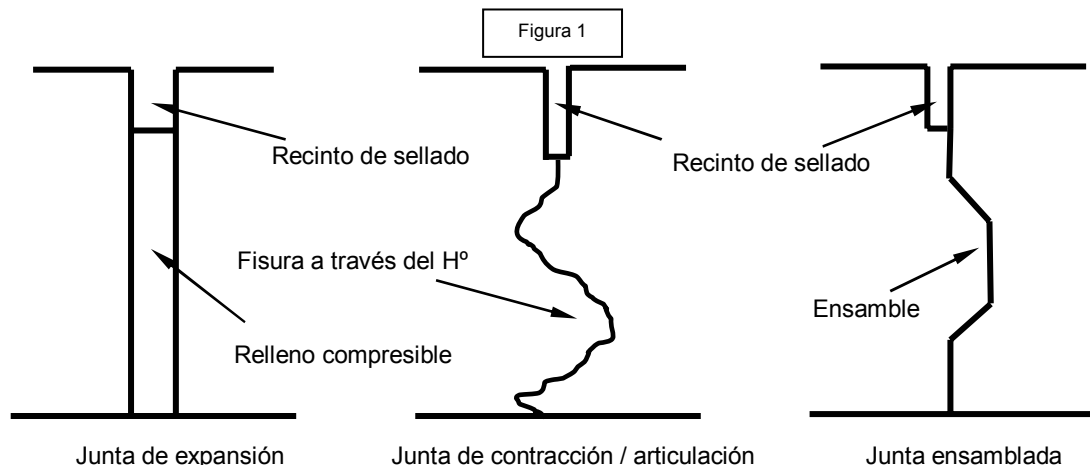
- **Características del hormigón:** Los materiales constituyentes del hormigón afectan la resistencia y el requerimiento de las juntas. La retracción de fragüe está fuertemente condicionada por la dosificación del hormigón. El coeficiente de dilatación cúbica del árido grueso influye en el coeficiente de dilatación del hormigón, los materiales de pobre calidad conducen a bajos desempeños de las juntas. Las denominadas fisuras de durabilidad (reacción álcali agregado y problemas de congelamiento) y el astillamiento de bordes de las juntas resultan del empleo de materiales de baja calidad, afectándose el comportamiento a largo plazo.
- **Tipo de subbase o base:** La capacidad portante y la fricción generada por las diferentes bases, afectan los movimientos de las losas.
- **Material de sellado:** Las juntas deben ser selladas por dos razones: 1º para **evitar el ingreso de materiales incompresibles** y 2º **minimizar el ingreso de agua** atenuando su llegada a la base y/o a la subrasante. El espaciamiento entre juntas puede afectar el tipo de material de sellado a seleccionar. Otras consideraciones se derivan del factor de forma y la durabilidad del material de sellado elegido.
- **Diseño de banquetas:** El tipo de banquina (hormigón, asfáltica, granular o de suelo) afecta la deformación del borde de las losas y la transferencia de cargas. Los sobreanchos de las losas externas benefician la reducción de tensiones y la transferencia de cargas, lo propio ocurre con la presencia de cordones.
- **Experiencia local en el comportamiento:** Los registros de antecedentes locales son una excelente fuente para ser considerados en el diseño de juntas.

3.1.- Elementos de una Junta

Deben distinguirse tres partes en una junta:

- El **plano de discontinuidad** entre losas
- El **recinto para alojar el material de sellado**
- Mecanismo de **transferencia de cargas**

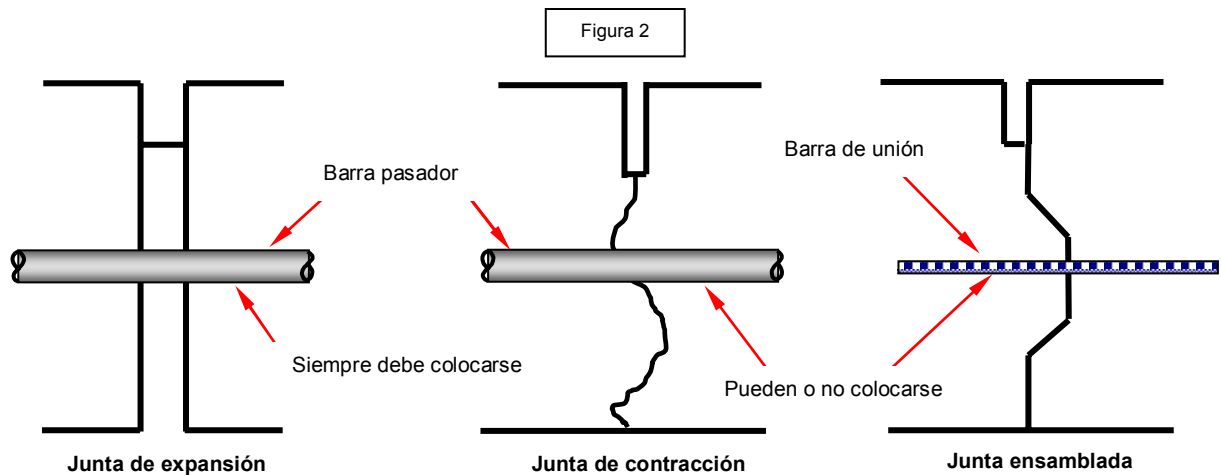
El **plano de discontinuidad entre losas** puede ser **plano** (junta de expansión) o **irregular** (fisura a través del hormigón o bien un machimbre o ensamble provocado).



El recinto de sellado debe ser regular y con las dimensiones apropiadas, para permitir que el material de sellado alcance el coeficiente de forma especificado, para el producto de que se trate.

El mecanismo de transferencia de cargas puede estar dado por una barra de acero liso (pasador), por la trabazón intergranular en el plano de la fisura, o por un ensamble practicado en el hormigón. Figura 2.

Toda armadura que se disponga debe ubicarse en la mitad del espesor de las losas.

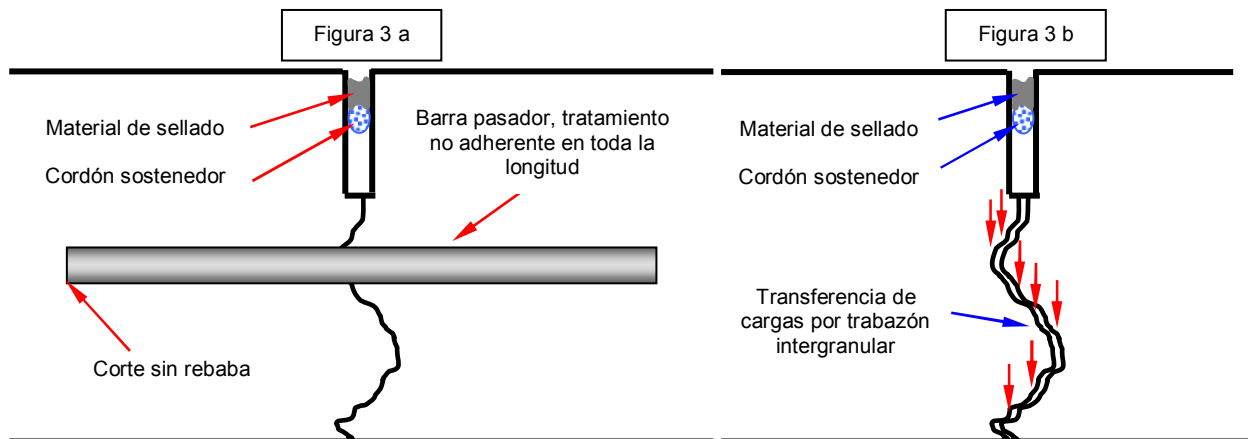


3.2.- Tipo de Juntas

Las juntas más comunes en los pavimentos de hormigón son las siguientes:

3.2.1.- Juntas transversales de contracción

Las juntas transversales son perpendiculares al eje de la calzada, o con un esviaje en sentido antihorario de 1:6 respecto al mismo. Su espaciamiento no debe ser superior las siguientes longitudes 4,60 m o veinticuatro veces el espesor de las losas, la que resulte menor.



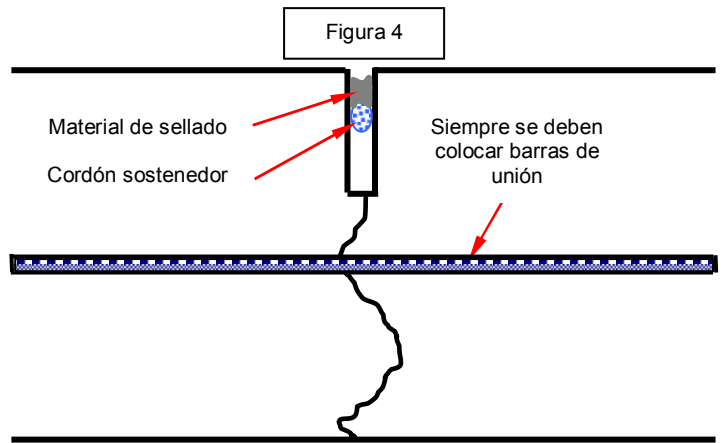
El plano de debilidad es de aproximadamente 1/4 del espesor de la losa. Puede requerirse la disposición de barras pasadores para transferir cargas (figura 3 a), o bien transferirlas de una losa a la otra a través de la trabazón intergranular de la parte fisurada (figura 3 b). Este último caso se limita a pavimentos de bajos volúmenes de tránsito pesado. (menor de 50 - 90 camiones por día).

La separación de entre juntas es un aspecto esencial para el correcto desempeño y condiciona la abertura de las fisuras. Cuando la separación entre caras de la fisura supera los 0,8 mm, pueden esperarse movimientos diferenciales entre las losas ante el paso de cargas pesadas. Es decir la trabazón intergranular depende entre otras, de la separación entre los planos de la fisura.

Las Juntas inclinadas constituyen una variante para las juntas transversales de contracción, a menudo usadas en pavimentos de hormigón simples sin pasadores. La inclinación o esviaje habitualmente es de 1:6 la orientación de la inclinación es antihoraria en el sentido de circulación del tránsito. Cada extremo de un eje cargado atraviesa la junta en tiempos distintos. Esta alternancia reduce las tensiones y deflexiones de las losas. La potencialidad que ocurran bombeos y resaltos se ve disminuida.

Además, de una adecuada densificación y uniformidad del hormigón, es también recomendable un apropiado tamaño máximo del agregado pétreo. Cuanto mayor sea éste, mayor será la irregularidad generada en el plano de la fisura. No obstante por varias razones no debiera superarse los 50 mm de tamaño máximo.

3.2.2.- Juntas Longitudinales o Longitudinales de Articulación: Son similares a las de contracción, solo que se ejecutan en el sentido longitudinal de la calzada (figura 4). Permiten aliviar las tensiones generadas por los alabeos higrotérmico de las losas. Normalmente se hacen coincidir con la división de los carriles de circulación. Deben ejecutarse toda vez que el ancho del pavimento exceda los 4,50 m.



El plano de debilidad debe ser algo mayor que en las de contracción, usualmente alcanzan un tercio del espesor.

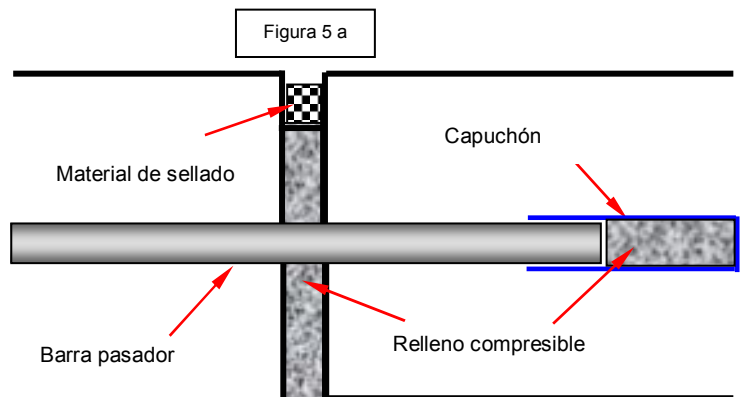
La transferencia de cargas en las juntas longitudinales se consigue mediante la trabazón intergranular.

Las barras de unión se colocan para mantener unidas las caras de la fisura, son de **acero conformado superficialmente** y por lo general con diámetros de 10 o 12 mm. El dimensionamiento de las barras de unión consiste en calcular la separación entre barras, una vez adoptado el diámetro a emplear. La separación es función del espesor de la losa, el tipo de base y de la distancia al borde libre del pavimento más cercano. La longitud de las barras esta basada en la tensión de adherencia entre el acero y el hormigón.

Las barras de unión no deben colocarse a menos de 35 – 40 cm de una junta transversal, de lo contrario pueden interferir en el movimiento de la misma. Si la longitud de las barras es mayor de 80 cm y el pavimento tiene juntas inclinadas, no deben colocarse a menos de 45 cm de la junta transversal.

3.2.3.- Juntas Transversales de Dilatación o Expansión

El objeto de las juntas de expansión es **proveer espacio para la dilatación de las losas sin que ingresen materiales incompresibles** dentro de las mismas, figura 5 a. Son esenciales en intersecciones asimétricas para aislar los bordes de la calzada del empuje lateral no compensado.



El ancho de estas juntas se ubica entre 20 y 25 mm. Si los anchos son excesivos pueden producirse movimientos de separación de las losas contiguas a la junta, fenómeno asociado al denominado crecimiento de losas.

El espacio de dilatación se rellena con un material compresible y elástico que no permita la inclusión de materiales incompresibles. Se ubica desde unos 25 mm de la superficie de las losas hasta la base. El **material de relleno** debe permitir comprimirse elásticamente al menos un 50 %, **no debe ser contraíble, extruible, absorbente y degradable**.

Fallas por obstrucción: La introducción de materiales incompresibles en las juntas, reduce el espacio disponible para la dilatación estival de las losas. En tales casos, sobrevienen tensiones excesivas de compresión que pueden producir pandeo de losas. Se manifiestan frecuentemente por fisuras en las proximidades de algunas juntas, con un patrón característico: son paralelas al eje y relativamente próximas entre sí. Es factible que ocurran en el verano siguiente a un invierno muy frío y con juntas deficientemente mantenidas.

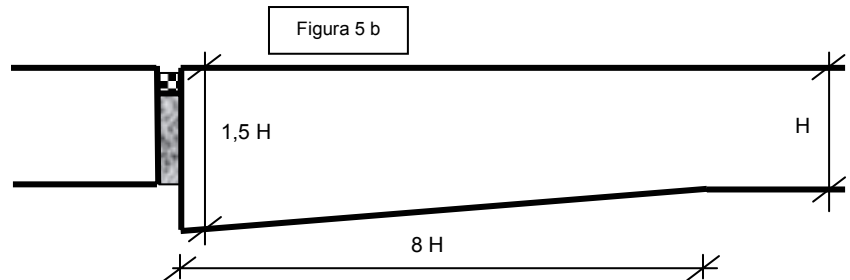
Las juntas de alivio de presión sirven a los mismos efectos que las juntas de expansión y se emplean para reparar estas fallas.

Solo son necesarias contra estructuras fijas o en los lugares donde la calzada experimenta **cambios abruptos en la geometría**, que puede producir **severas restricciones al movimiento de las losas**. Ejemplo de ello son las intersecciones irregulares, rampas y presencia de bocas de registro, sumideros etc. La construcción indiscriminada de juntas de expansión resta efectividad a la transferencia de cargas por trabazón intergranular en el resto de las juntas.

Las juntas transversales de contracción ubicadas a menos de 30 m de una junta de expansión, deben llevar pasadores. Si estas juntas no lo tienen, la presencia de la junta de expansión hace que se debilite la transferencia intergranular de cargas en períodos fríos en los que las losas se contraen térmicamente.

Los pasadores deben tener un **capuchón uno de los extremos de cada pasador**, de modo de permitir el movimiento de expansión de las losas y se comprima la junta. El capuchón debe tener al menos 5 cm de longitud, estar provisto de un **relleno compresible** que impida que éste se deslice durante el hormigonado y se anule, debiendo proveer un espacio de dilatación igual al de la junta más 15 mm. Además debe ser lubricado para prevenir la adherencia con el pasador. Cuando se emplean capuchones de material plástico, es conveniente que los pasadores tengan una longitud tal, que permita su normal función de transferencia de cargas más la longitud en que se insertará el capuchón.

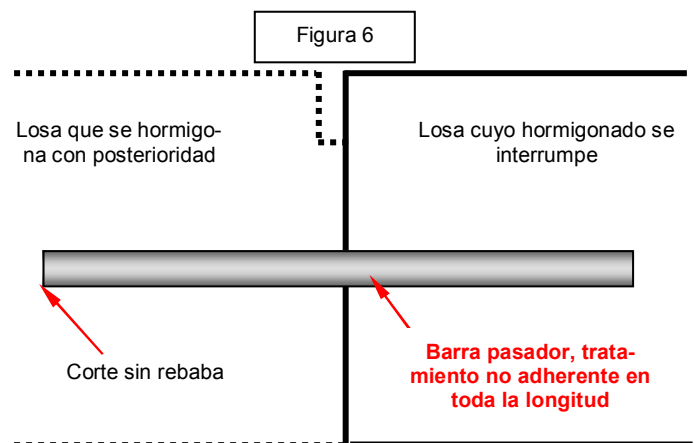
3.2.4.- Juntas de expansión sin pasadores o juntas de aislación: Se ejecutan espesando las losas como lo muestra la figura 5 b. Los materiales y dimensiones de la junta propiamente dicha, son similares a los indicados en la figura 5 a.



3.2.5.- Juntas Transversales de Construcción:

Son las juntas que se ejecutan al final de una jornada de trabajo o bien por paradas imprevistas en el hormigonado. Siempre que sea posible, estas juntas se sitúan en correspondencia con la posición de las juntas transversales previstas en el proyecto. Se practican invariablemente en forma perpendicular al eje de la calzada, aun cuando se estén llevando a cabo juntas transversales inclinadas.

Las juntas transversales de construcción se ejecutan a tope y por ende no disponen de trabazón intergranular, por lo que siempre demandan la colocación de pasadores. Este requerimiento alcanza a aquellos pavimentos que en sus juntas transversales de contracción no dispongan de pasadores.



Puede materializarse con un molde especialmente preparado que tenga la posibilidad de alojar los pasadores. O bien como lo muestran la fotografía y la figura 7, empleando una madera como molde y las vigas sostén de pasadores.

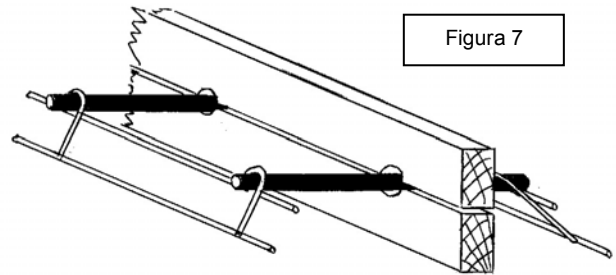
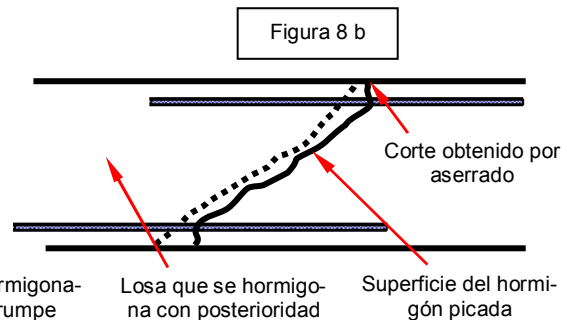
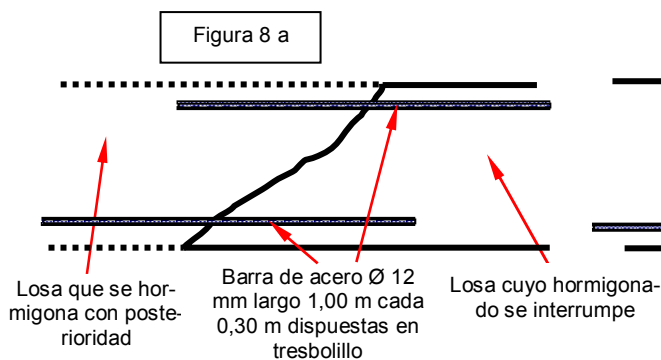


Figura 7

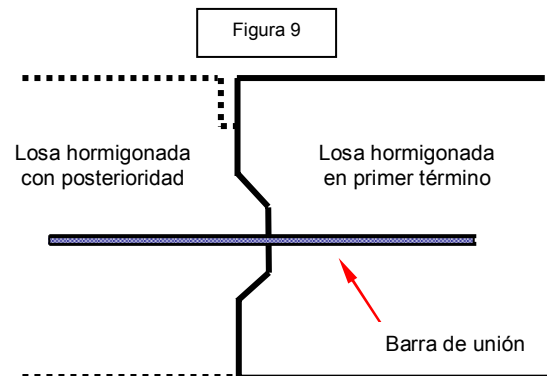
En los casos de interrupciones imprevistas, las juntas transversales de construcción, **no deben ejecutarse a menos de 3,50 m** de la junta transversal precedente. No obstante, puede producirse una pseudo junta mediante la vinculación con armaduras, como lo muestran las figuras 8 a y 8 b.



Se disponen barras de acero conformado superficialmente, con el objeto de dar continuidad a la losa en la absorción de esfuerzos de flexión. Antes de continuar con el hormigonado, debe picarse la superficie del talud de hormigón endurecido, dejando un plano vertical en correspondencia con las superficies inferior y superior de la losa. El de la parte superior debe obtenerse mediante aserrado en un espesor comprendido entre 2 y 3 cm, cuidando no invadir la zona en la cual se encuentran las barras superiores. Esta conformación no constituye en sí misma una junta, por lo que no requiere el sellado de la línea que queda en la superficie.

3.2.6.- Juntas Longitudinales de Construcción o Junta Longitudinal Ensamblada:

Vinculan los carriles o fajas de hormigonado que se construyen en forma diferida, incluidas las banquetas de hormigón que se ejecuten. La transferencia de cargas se logra mediante la ejecución de machimbres y la inclusión de barras de unión para mantener unida la junta.



Colocación diferida de barras de unión en juntas longitudinales de construcción: Las barras de unión pueden colocarse a posteriori del hormigonado del primer paño de losas, para ello se requiere efectuar una perforación de unos 20 cm de profundidad. Se introduce un agente adherente, resina epoxi o una pasta de cemento Pórtland apropiada, para luego introducir las barras. En este caso se recomienda que las barras tengan un diámetro de 12 mm. Es aconsejable en estos casos que el agujero que se practique resulte con una cierta oblicuidad respecto del plano de la junta.

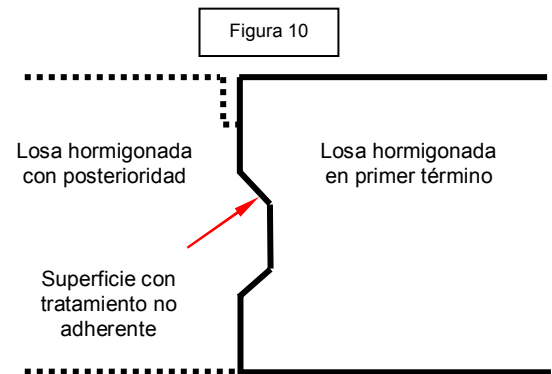
El machimbre puede realizarse en **forma trapezoidal** como lo indica la figura 9, o bien con la forma de una **mediacaña**. En términos generales la altura del machimbre debe ser de un 20 % del espesor de la losa y la profundidad del 10 %.

No es aconsejable ejecutar juntas longitudinales de construcción sin el machimbre debido a que no transmitirían carga de un paño al aledaño en forma apropiada. Por otra parte las barras de unión tienen una muy pobre capacidad de transmitir cargas.

En cuanto a las previsiones del sellado, en general se requieren mayores anchos de recintos que en juntas transversales (> 10 mm).

3.2.7.- Junta Longitudinal Ensamblada a Borde Libre

Este tipo de juntas es similar a la junta longitudinal de construcción o ensamblada. La diferencia radica en que no lleva barras de unión, figura 10. Esta disposición permite cierto grado de movimiento longitudinal entre paños de losas adyacentes. Normalmente están asociadas a la presencia de una junta de expansión.



3.3.- Barras Pasadores:

A partir de la generación de los planos de debilidad en las juntas para controlar la fisuración errática, también se crea una debilidad localizada en las losas. Como consecuencia se producen elevadas deflexiones y tensiones en las juntas bajo las cargas del tránsito. **Los pasadores son barras de acero liso de 25; 32 o 38 mm de diámetro**, colocadas atravesando las juntas para transmitir las cargas posibilitando el movimiento relativo entre las losas. Ello implica que **los pasadores deben estar alineados horizontal y verticalmente en forma paralela al eje del pavimento y no experimentar adherencia con el hormigón que los rodea**. Tienen como función reducir las tensiones y deflexiones y proveer adecuada transferencia de cargas. De este modo se reduce la posibilidad de bombeo del material de la base.

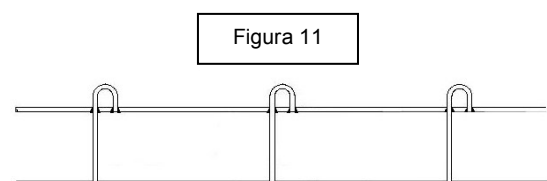
3.3.1.- Tolerancias en la Colocación de pasadores

Las **tolerancias en el alineamiento** se encuentran según diferentes especificaciones entre **1:50 y 1:100**. Habitualmente y por razones prácticas, se disponen con una **separación de 30 cm en la mitad del espesor de las losas**.

La colocación de los pasadores puede realizarse mediante soportes o bien mecánicamente. Esta última requiere equipos especiales que acompañan a equipos de colocación de alto rendimiento. En tal caso se insertan mediante un proceso vibratorio y los pasadores quedan sumergidos, posicionados y sostenidos por la masa del hormigón.

Anclaje de pasadores: Las barras deben ser lisas y libres de deformaciones y rebabas. Debe evitarse el corte a guillotina y hacerlo mediante aserrado para producir una sección neta libre de imperfecciones. La falta o insuficiencia de lubricación puede producir el anclaje de las barras e impedir el desplazamiento de las losas. Por este motivo es altamente recomendable que las barras se lubriquen en toda su longitud y no solamente en la mitad de ella. Tanto el anclaje por alineado fuera de las tolerancias, la presencia de rebabas y la falta o insuficiencia de lubricación, producen fisuras en las losas que alivian las tensiones generadas por la restricción.

Pasadores en las huellas del tránsito: En ciertos diseños se densifica la colocación de pasadores en las huellas del tránsito. Por ejemplo cada 20 cm y se espacian en la interhuella. Esta solución es racional, pero acarrea dificultades constructivas cuando la colocación de los pasadores es manual.



Las "camas" o "canastos" de mallas de acero soldadas se emplean frecuentemente, sin embargo, **no siempre aseguran un adecuado posicionamiento de los pasadores**. En algunos casos los pasadores son soldados a uno de estos canastos o bien a una barra de acero paralela a la junta. Ello obliga a que el pasador se mueva únicamente dentro de la losa opuesta. Tal disposición no resulta suficientemente confiable para un buen comportamiento en servicio. En muchos casos, las tareas manuales hacen que los operarios pisen el hormigón en correspondencia con los pasadores. A partir de ello, puede perderse el control del posicionamiento, por lo que a este aspecto debe otorgársele toda la atención que merece.

La fotografía y la figura 11 muestran un dispositivo de montaje muy simple y a la vez eficiente, para mantener en su posición a los pasadores. Cada viga de sostenimiento, consta de dos barras de acero vinculadas con ganchos soldados separados entre sí de 30 cm. El ojal del gancho, tiene un huelgo respecto del diámetro del pasador que aloja, de modo que al alcanzar la posición inclinada, provea la sustentación de los pasadores. Las vigas se realizan con barras de acero de 8 mm de diámetro.

3.3.2.- Movimiento de los Pasadores

Los pasadores requieren suficiente lubricación para permitir que el hormigón se desplace a lo largo de las barras. La aplicación de lubricantes basados en parafina, emulsión asfáltica, desmoldante pueden proveer adecuada lubricación. Es conveniente **evitar el empleo de grasa como agente antiadherente**, las acumulaciones de grasa restan espacio de contacto entre el hormigón y las barras. Esto es motivo de concentración de tensiones y se facilita la corrosión del acero. Es recomendable que **toda la longitud del pasador se encuentre lubricada** y no solo la mitad del mismo.

La elástica de deformación del pasador bajo carga, es una onda fuertemente amortiguada, como consecuencia la longitud del pasador no requiere más de 20 a 25 cm dentro de cada losa (figura 12).

Otras comprobaciones experimentales ubican la longitud del pasador en función de su diámetro, por ejemplo cada parte debe estar embebida en el hormigón no menos de 6 veces su diámetro. Por ello la tensión de

aplastamiento en el hormigón resulta el esfuerzo crítico y determina la sección de la barra de acero. Por ello la densificación del hormigón alrededor de las barras es determinante para alcanzar un buen desempeño y durabilidad en servicio. El empleo de grasa como lubricante no adherente, por lo común no forma una película delgada debido a las acumulaciones de la misma. Esto resta apoyo entre el hormigón y la barra, y se deteriora la eficiencia en la transferencia de cargas. De este modo se compromete la duración del sellado y puede sobrevenir un proceso de corrosión en las barras, acelerándose el deterioro de la junta.

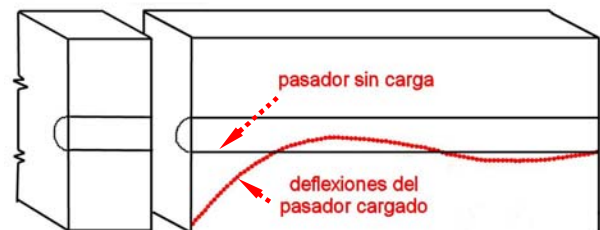
Es importante señalar que la trabazón intergranular, contribuye a la transferencia de cargas en juntas con pasadores. Por lo que resulta conveniente aplicar las técnicas apropiadas para incrementarla (losas cortas, hormigón y áridos gruesos resistentes etc.).

Transferencia de cargas es el término empleado para describir cómo una carga se transmite a través de la discontinuidad de una junta o fisura. Cuando una rueda aplica su carga en una junta o fisura, tanto la parte cargada como la descargada experimentan una deflexión. La proporción en que defleja la losa descargada, se relaciona directamente con el desempeño de la junta. En una junta ideal, ambas losas cargada y descargada, se deforman en igual magnitud. La eficiencia en la transferencia de cargas se define mediante la siguiente ecuación:

$$Eficiencia = (\Delta a \div \Delta p) \times 100$$

Donde:

Figura 12



Δa = deflexión losa anterior (cargada)

Δp = deflexión losa posterior

Esta eficiencia depende de muchos factores, entre ellos la abertura de la junta dada por la temperatura de las losas, el espaciamiento de las juntas, el número y magnitud de las cargas, la capacidad soporte de la fundación, la angularidad de las partículas gruesas y naturalmente de la presencia de pasadores. La adecuada transferencia de cargas es esencial para el buen desempeño del pavimento.

3.4.- Barras de Unión:

Las barras de unión, como su nombre lo indica **tienen como finalidad mantener unidas las juntas**. Se emplean barras de acero conformado superficialmente en razón de que su modo de trabajo es en tracción y ésta se transmite al hormigón mediante la adherencia de la barra con el mismo. Es conveniente emplear barras de 10 a 12 mm de diámetro.

Para el dimensionamiento de las barras de unión se considera un ancho unitario de las losas. El número N de barras de unión por metro de longitud de junta longitudinal se calcula según la siguiente fórmula:

$$N = (1,00 \text{ m} \times a \times h \times \gamma_h \times f) / (\sigma_{adm} \times \Omega)$$

Donde:

a = distancia al borde libre más cercano

γ_h = peso específico del hormigón

σ_{adm} = tensión admisible a tracción del acero

h = espesor de las losas

f = coeficiente de fricción entre la losa y la base

Ω = sección transversal de la barra adoptada

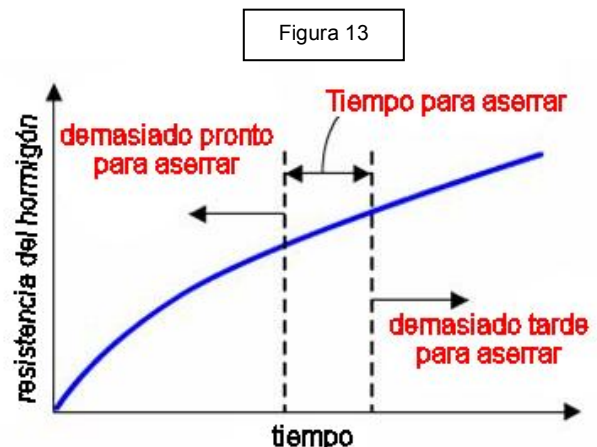
Este mismo esquema de cálculo es el empleado para dimensionar las armaduras longitudinal y transversal en los pavimentos con armadura distribuida.

4.- Formación del Plano de Debilidad en las Juntas:

El aserrado es uno de los procedimientos más confiables para crear el plano de debilidad en la formación de las juntas transversales de contracción. Un primer corte con la profundidad de 1/4 del espesor de la losa, provee el plano de debilidad para que se produzca la fisura en la losa. En algunos casos se requiere de un aserrado posterior para proveer del ancho necesario para alcanzar el factor de forma requerido por el material de sellado.

El aserrado debe iniciarse tan pronto como sea posible luego de que el hormigón haya desarrollado una adecuada resistencia para ello. En condiciones normales el aserrado se realiza entre 4 y 12 horas posteriores al hormigonado.

El tiempo en el cual debe efectuarse el aserrado debe determinarse en función de la evolución de la resistencia del hormigón, del curado y del tipo de árido grueso empleado (los áridos silíceos son más resistentes al aserrado). Depende además, de las condiciones ambientales y de la resistencia friccional con la base. La determinación del tiempo de aserrado es crítica, **cuando se hace prematuramente se producen desprendimientos y roturas en los bordes del aserrado, en tanto si es tardío pueden producirse fisuras de retracción erráticas.**



Previo al hormigonado **se deben dejar señales** claras ya sea en la propia losa o mediante estacas o hierros clavados fuera de ella. Ello permite localizar la posición del aserrado y ase-

gurar que se sitúe en el lugar apropiado. De existir pasadores debe cerciorarse que el aserrado se ubique centrado respecto de la línea de los mismos.

El aserrado secundario es aquél que se realiza para proveer el ancho necesario al recinto de sellado, suele hacerse no más allá de una semana del aserrado inicial.

El recinto de sellado varía entre 6 y 12 mm de ancho y entre 20 y 45 mm de profundidad, dependiendo del espaciamiento entre juntas y del tipo de material de sellado. Es aconsejable realizar el aserrado inicial con un ancho de alrededor de 9 a 10 mm. Este ancho puede adecuarse a la mayoría de los productos de sellado, reduciéndose la operación de aserrado a una sola.

Resulta de suma importancia el control de la profundidad de corte, la insuficiencia de espesor es a menudo causa de fisuras no controladas. (1/4 del espesor de la losa para juntas transversales de contracción y 1/3 para las juntas longitudinales de articulación)

5.- Operaciones de Sellado:

El sellado de las juntas debe cumplir los siguientes objetivos:

- **Impedir el ingreso de materiales incompresibles dentro de la junta.**
- **Proveer impermeabilidad a la junta.**
- **Ser durable.**

Los mejores resultados se han obtenido para materiales como el caucho de silicona de bajo módulo. Posee muy buena adherencia con el hormigón, impide el ingreso de materiales incompresibles y fundamentalmente posee una gran durabilidad en servicio.

Se emplean también materiales denominados elastoméricos con buenos resultados.

Es necesario que el material de sellado adquiera ciertas proporciones de alto y ancho dentro del recinto de sellado.

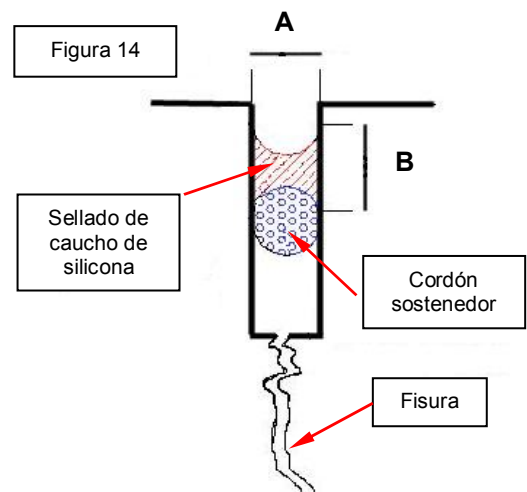
El **coeficiente de forma es la relación entre el alto y el ancho** que ocupa el material de sellado. La tabla indica los valores normalmente empleados.

La figura 14 muestra un esquema para el empleo de caucho de silicona. Se aprecia la presencia de un cordón de soporte, su objeto es lograr el apoyo inferior del sello para que alcance el coeficiente de forma correspondiente.

Se denominan **juntas de control** a aquellas que se asieran con intervalos en el orden de los 18 a 20 m. Las juntas intermedias se asieran posteriormente. Sin embargo cuando el coeficiente de fricción con la base resulta elevado, esta práctica no resulta aconsejable, debiendo aserrarse todas las juntas sin demoras para prevenir fisuras incontroladas. La interposición de una lamina de polietileno, (curado inferior), contribuye a la disminución del coeficiente de fricción al proveer de una superficie más lisa en la interfase, para ello la lámina debe tener un espesor no inferior a 100 μ .

El aserrado se practica mediante discos diamantados o de carburo de silicio. Los factores más relevantes en el rendimiento de los discos de corte son: la velocidad de giro, la refrigeración, la alineación o centrado del mismo y la atenuación de vibraciones. Se han logrado importantes rendimientos para ambos tipos de discos con estas últimas dos medidas.

La selección del tipo de disco de aserrado (abrasivo o diamantado) dependerá de la dureza de los agregados gruesos del hormigón. En este sentido debe señalarse que los más blandos son los calcáreos y los más duros los agregados con mayor proporción de sílice.



Coeficiente de forma para el material de sellado	
Tipo de sellador	Coeficiente de forma B/A
Elastoméricos	1,0
Caucho de silicona de bajo módulo	0,5

El material de sellado no debe ocupar todo el recinto generado por el aserrado. La durabilidad del sello en tal caso es menor que si se respeta el coeficiente de forma. Este aspecto se debe a que se desarrollan mayores tensiones en el sello que limitan su durabilidad.

Luego de la limpieza del recinto de sellado, el primer paso es **instalar el cordón sostenedor**. Se emplea habitualmente una rueda para insertarlo a la profundidad deseada. El cordón debe tener un diámetro ligeramente mayor al de la caja de modo que quede inmovilizado a la profundidad apropiada. El recinto debe ser llenado desde el cordón sostenedor hacia arriba, eliminando las burbujas atrapadas.

En todos los casos el material debe quedar rehundido aproximadamente en 5 mm respecto de la superficie. Ello impide que durante la expansión de las losas el material de sellado alcance la superficie y el

tránsito pueda desprenderlo. Este aspecto es de particular importancia cuando se emplea caucho de silicona como sellador. Además este producto no es autonivelante por lo que se requiere una operación de rehundido para lograr la adherencia con las paredes y el coeficiente de forma apropiado. Los selladores de colado en caliente o en frío como los perfiles premoldeados son aceptables para la mayoría de los pavimentos. El espaciamiento de juntas condiciona la elección del material de sellado y el diseño del reservorio.

En el **sellado en juntas de expansión** el material de sellado debe quedar rehundido alrededor de 6 mm y es recomendable que se coloque una cinta o material separador entre el relleno compresible y el sellado superior de la junta.

6.- Conceptos Generales:

Como en la mayoría de las construcciones civiles, se requiere un diseño apropiado de la estructura a construir. La ejecución de pavimentos de hormigón no es ajena a este concepto, sin embargo puede afirmarse que tiene una **muy alta dependencia de las técnicas constructivas empleadas**. La suma de un buen diseño y una adecuada técnica constructiva puede asegurar un buen comportamiento en servicio.

A continuación se destacan a modo de síntesis, los aspectos salientes de la ejecución de juntas en pavimentos rígidos:

- Las juntas transversales de contracción son las más comunes y a su vez resultan críticas para un buen desempeño del pavimento. Los tres factores de diseño más importantes son: el **espaciamiento entre juntas**, **transferencia de cargas** y los requerimientos de **sellado**.
- La adecuada construcción de las juntas transversales es también crítica. La **colocación adecuada de los pasadores** es determinante. Puede afirmarse que **antes de colocar mal los pasadores es más conveniente para el pavimento no colocarlos**. Esto habla de una tarea delicada, que debe ser cuidadosamente supervisada. En este sentido es substancial el diseño de los elementos de soporte y las operaciones de colocación. Deben evitarse las “camas” de dudosa eficacia para mantener los pasadores en posición correcta. No debe emplearse grasa para lubricar los pasadores.
- El **aserrado debe producirse en tiempo y forma** para evitar la aparición de fisuras erráticas. Para condiciones ambientales extremas se requiere una gran atención a los detalles y puede resultar significativamente afectado el tiempo de inicio del aserrado.
- El adecuado **sellado de las juntas** contribuye a un buen comportamiento en servicio del pavimento. Debe rescatarse la función de **evitar el ingreso de materiales incompresibles, dotar de impermeabilidad y evitar los excesos de material sobre el recinto de sellado**. Los selladores de colado en caliente o en frío como los sellos premoldeados de compresión son aceptables para la mayoría de los pavimentos. Los selladores de caucho de silicona son los de mejor respuesta a lo largo del tiempo. No obstante resulta crítico el **observar el coeficiente de forma**. En este sentido debe considerarse lo atinente a una **buena tecnología del hormigón** que limite sustancialmente el astillamiento de los labios de las juntas.
- La **adecuada colocación y compactación del hormigón es esencial en la construcción de las juntas transversales**. Esto se deriva de la capacidad de transferencia de cargas por trabazón intergranular y desarrollar una adecuada resistencia al aplastamiento en el contacto con los pasadores.
- **No se debe recurrir a la colocación indiscriminada de juntas de expansión**. Deben limitarse a sectores con cambios geométricos como curvas, rampas intersecciones y estructuras fijas. Como criterio puede considerarse el concepto de equilibrio de fuerzas de dilatación a lo largo de las secciones del pavimento. Donde las fuerzas que origina la dilatación no se encuentren equilibradas, debe analizarse la conveniencia de colocar juntas de expansión. Su exceso atenta con el desempeño de las juntas transversales en cuanto a la transferencia de cargas por trabazón intergranular. En tramos rectos, con independencia de su longitud, no es conveniente colocar juntas de expansión. Se debe considerar que la

disposición de una junta de expansión se encuentra habitualmente asociada a la colocación de una junta ensamblada a borde libre.

- **Las juntas longitudinales de construcción deben ejecutarse siempre con machimbre y vincular las losas con barras de unión.** Debe evitarse la ejecución de juntas planas, debido a que las barras de unión por sí mismas, carecen de capacidad para transferir cargas y por ende de controlar los movimientos relativos entre paños de losas. El machimbre puede ejecutarse en forma trapezoidal o en media caña, pero no debe exceder de un quinto del espesor de las losas.
- Se debe **diseñar y mantener en adecuadas condiciones de uso los moldes** que sirven **para ejecutar juntas transversales de construcción.** Éstas siempre llevan pasadores, aunque el resto las juntas transversales del pavimento no lo requieran. Debe observarse una adecuada terminación para mantener la regularidad del perfil longitudinal. Resulta muy frecuente que en las juntas de construcción transversales se incremente fuertemente la rugosidad.
- **Las juntas ensambladas a borde libre no llevan barras de unión ni pasadores.** Este concepto alcanza a la parte de la junta que forma las respectivas "pata de gallo".

7.- Ejemplos de Diseño de Sistemas de Juntas

El tema es ciertamente complejo, no obstante, pueden establecerse algunos lineamientos básicos que cubren un amplio espectro de situaciones de proyecto y construcción.

En el presente material de apoyo se analizan varios de ellos, aplicándolos como ejemplo a dos intersecciones urbanas tomados de la bibliografía consultada, (*Intersection Joint Layout - American Concrete Pavement Association*). Éstos se han complementado con algunos conceptos prácticos.

7.1- Planimetría de la Intersección

La visualización completa de la planimetría de una intersección a escala adecuada, es una herramienta valiosa para el diseño. En el terreno durante la construcción, resulta difícil de realizar.

Es por ello que un buen plano de juntas, facilita la construcción y provee una guía clara que limita severamente los errores de trazado. Estos últimos no producen consecuencias negativas sino hasta un tiempo después de la construcción. Por este motivo, quienes construyen difícilmente acceden a un análisis crítico de las situaciones de falla derivadas de errores en el emplazamiento y tipo de juntas.

Esta cuestión es también incidente en la formulación de precios en licitaciones, dado que los oferentes, pueden disponer de un panorama más completo del alcance de los trabajos.

Sin embargo, debe señalarse que es prácticamente inevitable la realización de ajustes durante la construcción, pero éstos estarán acotados debido a las previsiones del proyecto. Habrá posiciones geométricas que definen claramente lugares inamovibles y otras que posibilitarán las adecuaciones. En tales casos, en el proyecto deben preverse tales circunstancias con notas aclaratorias, cuando no es posible una definición precisa de algún elemento del trazado o tipo de junta.

En cuanto a las dimensiones de las losas en planimetría, la ecuación siguiente señala la máxima separación entre juntas, se basa en el espesor de la losa y el tipo de subbase. Las losas que mantienen dimensiones menores que la indicada por la ecuación, experimentarán tensiones debidas al alabeo higrotérmico con un mínimo riesgo de fisuras erráticas.

$$ML = H \times C$$

Donde:

ML = Máxima longitud entre juntas.

H = Espesor de la losa

C = 24 para bases granulares

= 21 para bases estabilizadas u hormigón pobre. (Recomendado ≤ 21).

Para el caso de capas ultradelgadas se emplea **C** = 12 a 15.

Esta ecuación puede variar en función de los materiales y de las condiciones ambientales. Por ejemplo con agregados pétreos calcáreos (menos sensibles térmicamente) o ambientes con pocas variaciones térmicas (túneles), la longitud de las losas se puede incrementar. En cambio para agregados con preponderancia de sílice (mayor sensibilidad térmica) o en ambientes con fuertes gradientes térmicos (climas continentales) las longitudes máximas deben disminuirse.

Puede agregarse la conveniencia de mantener el ancho y el largo de las losas o viceversa acotados de modo que el cociente entre ambas dimensiones no supere 1,25. Cuando ello no fuera posible de mantener, existen muchas posibilidades de que la losa se fisure en forma errática luego de un cierto tiempo de servicio. En estos casos suele recurrirse al armado de esa losa en particular con una malla de acero. El dimensionamiento de la sección de las barras es el que se ha indicado precedentemente para el cálculo de la sección de barras de unión. En este caso se tomará el centro de la losa como el lugar más alejado del borde.

7.2.- Procedimiento de Diseño de la Disposición de Juntas:

Las sugerencias de diseño del trazado de juntas que aquí se exponen, se hace a través de dos ejemplos: Una intersección perpendicular y una en ángulo, en ambos casos con una dársena de giro a la derecha.

Se ha planteado el procedimiento de diseño del trazado de las juntas en sucesivos pasos contemplando situaciones deseables. Sin embargo, pueden plantearse intersecciones con mayor complejidad, en donde esta metodología no resulte completamente aplicable.

El objetivo primario de esta técnica es eliminar o minimizar las juntas que interceptan otras juntas o los bordes del pavimento con ángulos agudos. Es comprobado que en las proximidades de los ángulos agudos las losas se fisuran, especialmente ángulos de menos de 60° . Para la mayoría de las intersecciones es posible converger con las juntas a ángulos próximos a 90° .

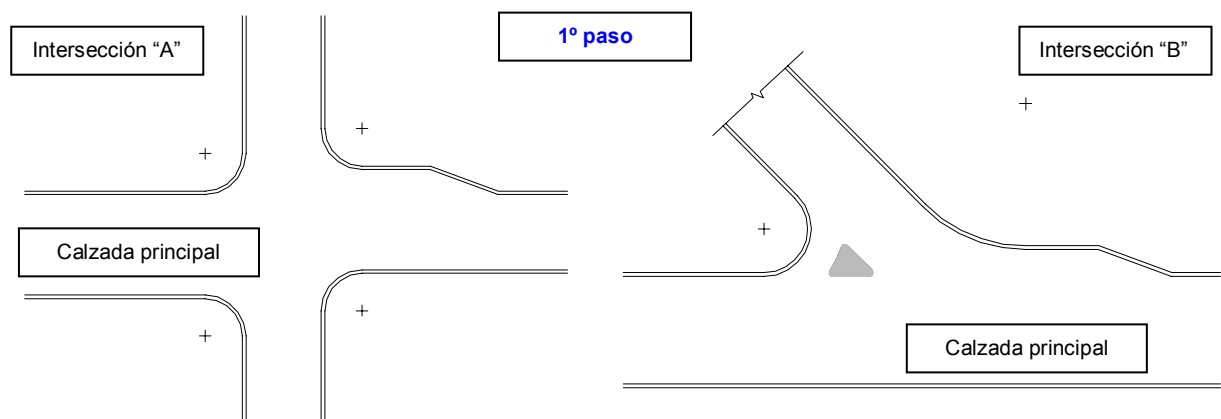
El procedimiento es de aplicación para pavimentos con o sin cordones integrales.

Las figuras puestas en paralelo, detallan los pasos sobre como disponer las juntas en ambas intersecciones.

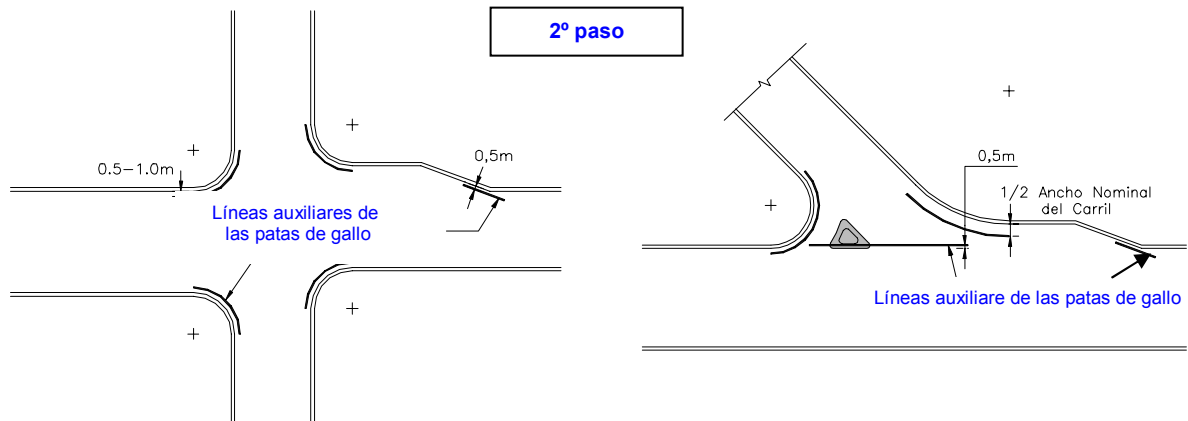
Terminología empleada:

- **Punto de quiebre:** punto donde se produce el cambio de alineación o ancho de la calzada. Por ejemplo la intersección de un tramo recto con el inicio de tramo curvo del trazado.
- **Línea auxiliar, límite de las patas de gallo:** Corresponde al dibujo de una línea auxiliar que marca el arranque de la perpendicularidad de una junta respecto a un borde libre. Ésta se ubica entre 0,50 a 1,00 m del borde libre del pavimento en zona de curvas o sectores irregulares. Para ello se realiza un dibujo suave de una línea paralela al borde y a una distancia de entre 0,50 y 1,00 m a lo largo de la curva. Para ángulos obtusos la línea se sitúa en la mitad del ancho nominal a partir del borde. Cualquier **junta transversal** que intercepte esta línea auxiliar, debe encausarse perpendicularmente al borde de la calzada.
- **Línea de estrechamiento:** Se aplica como la anterior con un dibujo suave a 0,50 m del borde al comienzo de la trocha que se estrecha. Cualquier **junta longitudinal** que intercepte esta línea define la localización de la pata de gallo.
- **Línea de cruce de ejes:** Es un dibujo suave a 0,50 m del borde de una calzada principal en una intersección inclinada. Cualquier junta longitudinal que cruce la calzada principal e intercepte una junta transversal de la misma, define la posición de la pata de gallo.
- **Caja de la intersección:** Es el área circunscripta por la prolongación de los bordes de los pavimentos que concurren a la intersección.

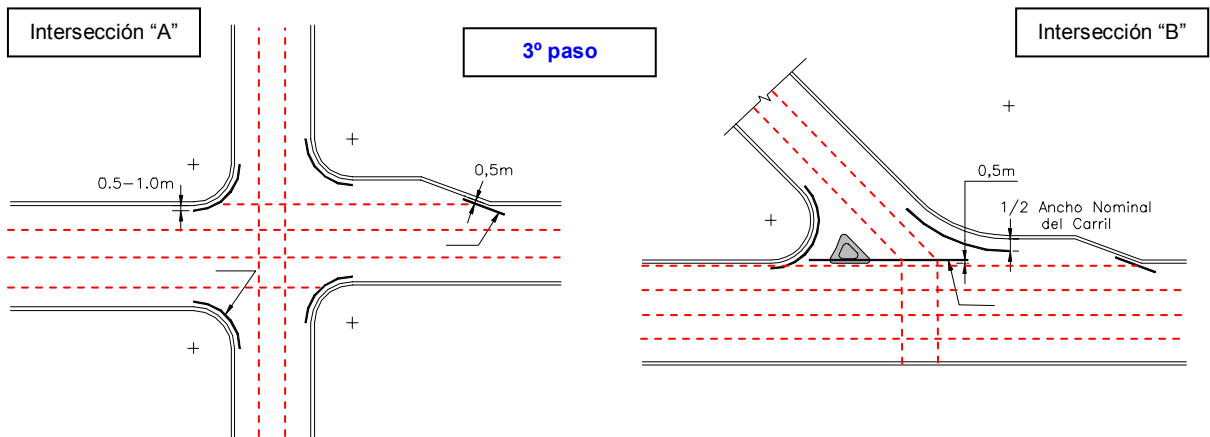
El primer paso consiste en dibujar los contornos de la intersección.



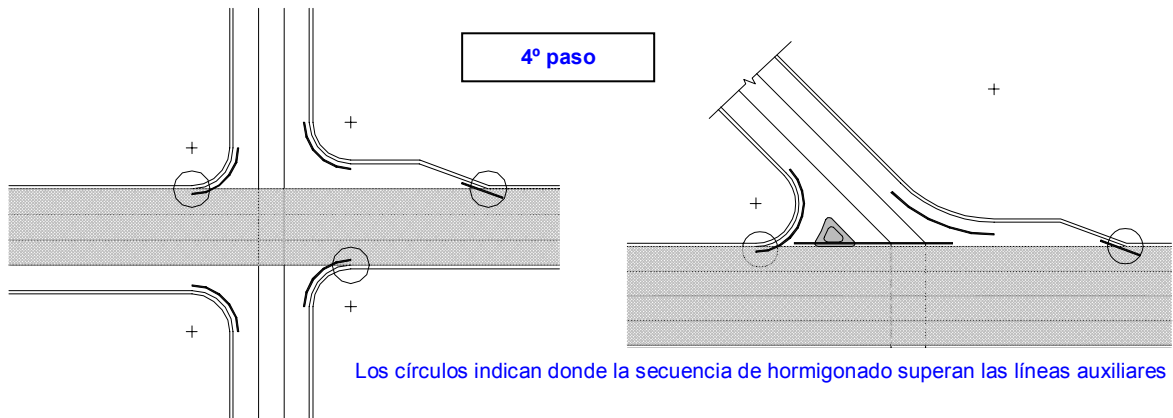
En el segundo paso, se dibujan las líneas auxiliares límites de las patas de gallo (a aproximadamente 0,50 m de los bordes y en la mitad del ancho nominal del carril de giro en la zona de ancho variable de la intersección "B").



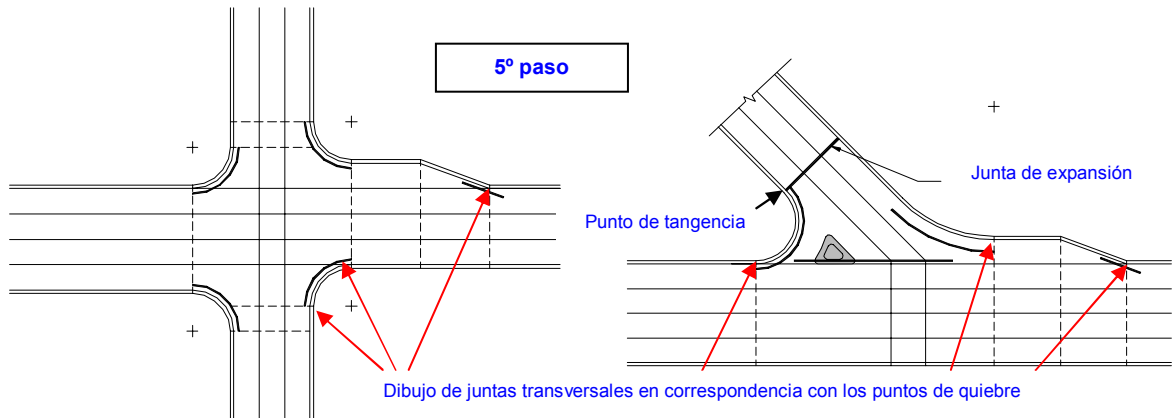
El tercer paso se trazan las líneas que definen los carriles sobre la calzada principal y la calzada de intersección. Notar que estas líneas se deben interrumpir en las líneas auxiliares de límites de pata de gallo. Además, en la intersección "B" las líneas de la diagonal producen un quiebre para tomar dirección perpendicular a la calzada principal, conformando líneas de posición de juntas transversales en ésta.



En el cuarto paso se define la secuencia de hormigonado en los carriles de la calzada principal. En esta posición, los bordes de la pavimentación sobrepasan las líneas auxiliares de las pata de gallo, (solo en esta etapa de diseño, no en la construcción).

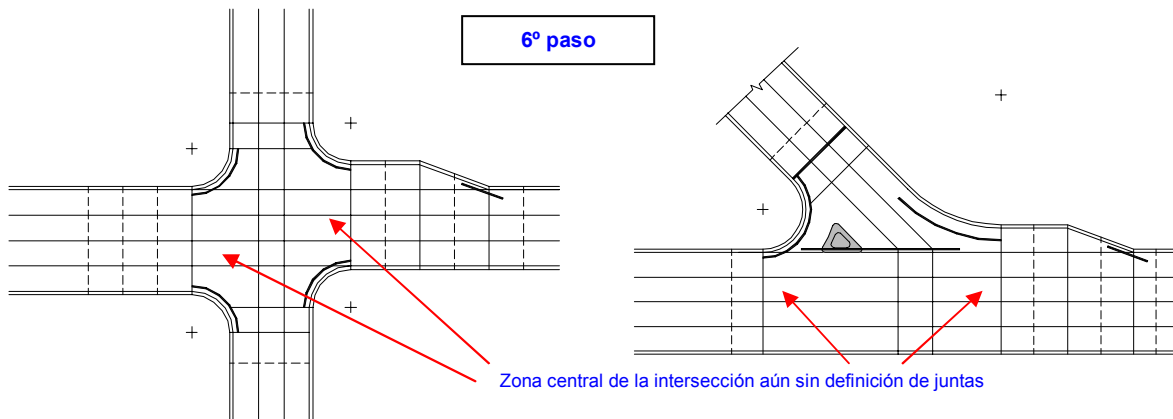


El quinto paso consiste en agregar las juntas transversales en los puntos de quiebre.



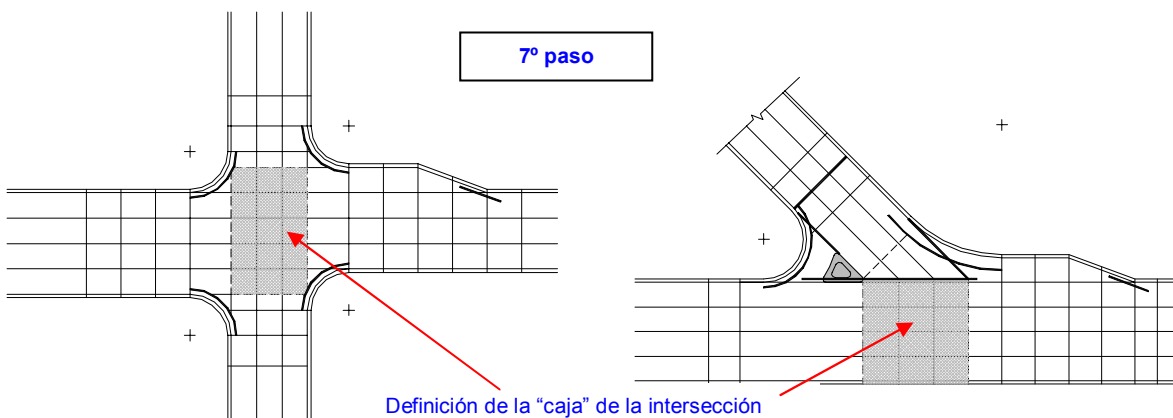
No deben prolongarse estas líneas más allá de las líneas auxiliares límites de las pata de gallo, excepto en los puntos donde se producen tangencias.

Las juntas en los **puntos de tangencia más alejados de la calzada principal**, constituyen posiciones en las que deben disponerse **juntas de expansión o dilatación**, particularmente cuando la intersección es asimétrica, tal es el caso de la intersección "B".

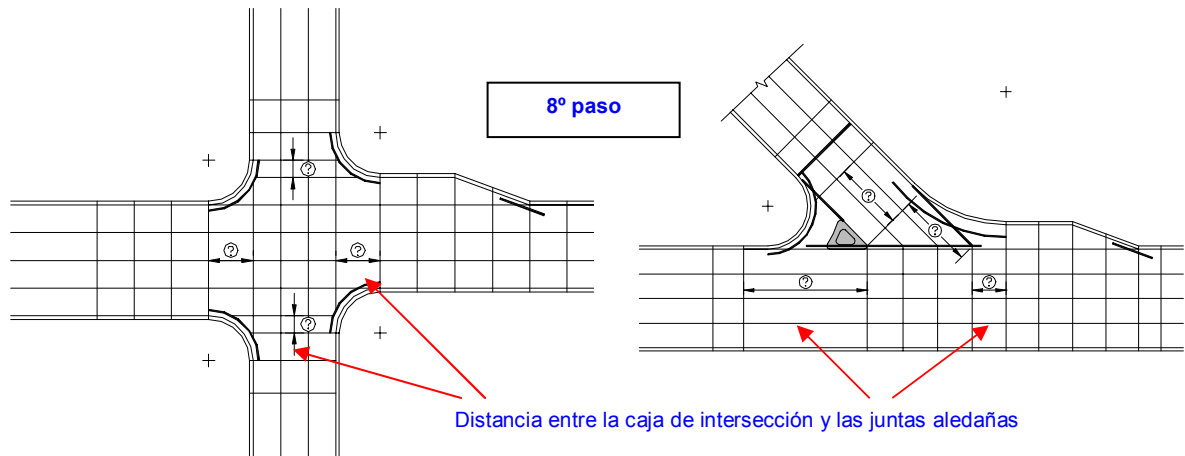


En el paso sexto, se agregan las juntas dentro y fuera de los sectores definidos en el paso 5º, pero sin incorporar aún, juntas en la zona central de la intersección. Debe procurarse que el espaciamiento de juntas no produzca losas de dimensiones superiores a la longitud deseada. Además es recomendable que la relación de lados de cada losa no exceda 1,25.

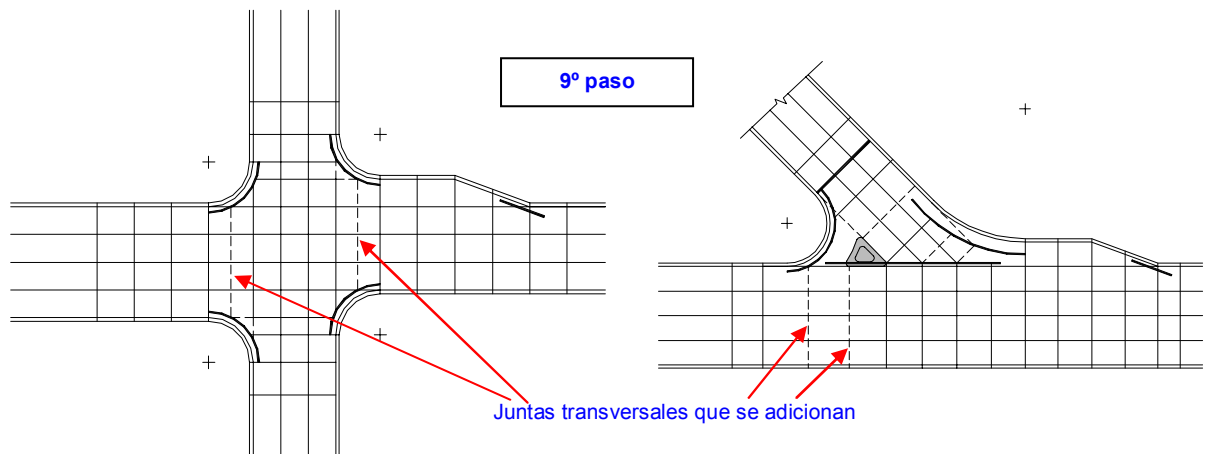
El séptimo paso consiste en definir la "caja" de la intersección. Para ello se prolongan las líneas de borde de las calzadas. Advertir que en la intersección "B", la línea que se prolonga es la correspondiente al tramo recto.



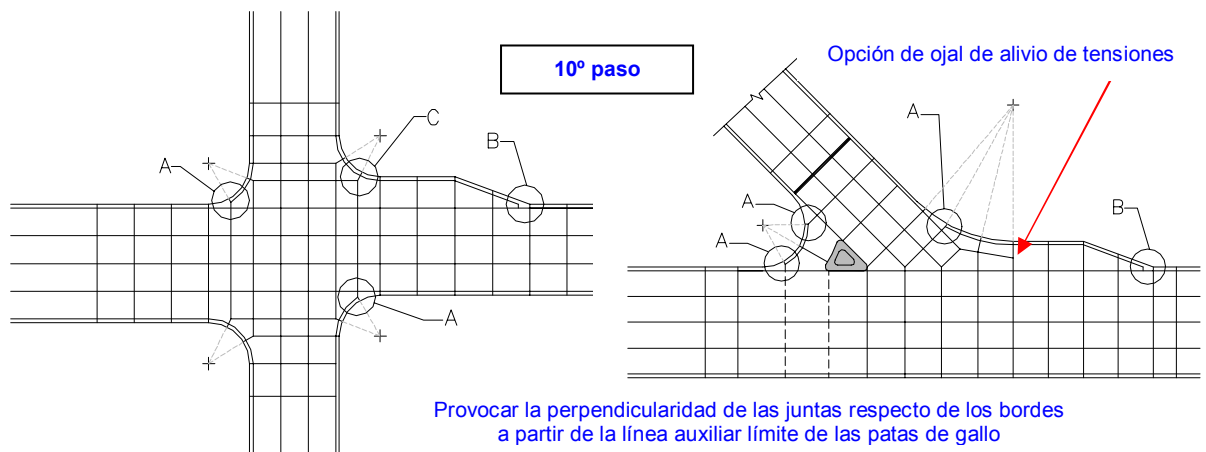
En el octavo paso se verifica la distancia que queda entre la caja de la intersección y las juntas aladañas ya trazadas.



En el noveno paso, se verifica si las respectivas distancias superan la dimensión máxima para una losa. En caso afirmativo se incorporan nuevas juntas transversales, nuevamente éstas no deben superar la línea límite de pata de gallo.

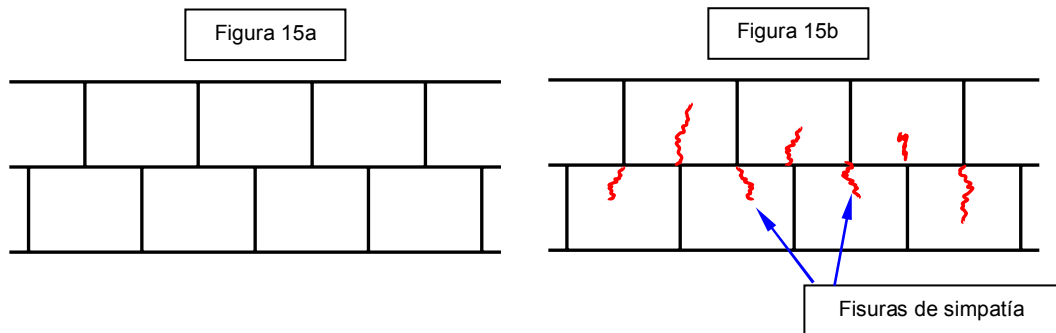


En el décimo paso se extienden las líneas de juntas de modo que resulten perpendiculares a los bordes. Se ajustan las dimensiones de las losas que no satisfacen la relación de lados inferior o igual a 1,25. Cuando no resulta posible mantener estas proporciones, se aconseja incorporar una malla de acero en toda la losa. Esta medida procura controlar la abertura de la o las fisuras que en forma inevitable se producirá en la misma.



Resta en estos ejemplos, asignar el tipo de junta correspondiente y dependerá entre otros factores del tipo de tránsito (juntas transversales con o sin pasadores), de la secuencia constructiva (ubicación de las juntas de construcción). Debe contemplarse además, la definición de las juntas ensambladas a borde libre, generalmente asociadas a la presencia de juntas de expansión.

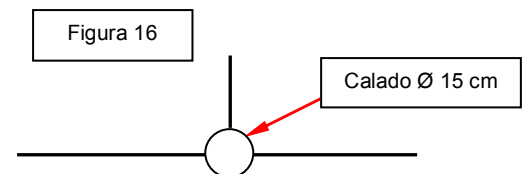
Resulta conveniente que entre trochas paralelas, el esquema de juntas se mantenga alineado. Lo propio ocurre en encuentro de juntas en los cuales una de ellas no tiene continuidad. En tales casos existe la posibilidad de fisuración por simpatía. Ello se debe a que cada losa desarrollará su propia deformación de alabeo por gradientes higrotérmicos. Cuanto mayor sea la diferencia entre las posiciones relativas, mayor será la posibilidad de este tipo de fisuración. Naturalmente, resulta un fenómeno de mediano a largo plazo, pero que es conveniente tenerlo en cuenta y tomar los recaudos correspondientes para evitarlos.



La figura 15 a muestra la disposición de juntas transversales no coincidentes en dos trochas contiguas. En la 15 b, se señalan las fisuras que pueden producirse como consecuencia de los alabeos higrotérmicos de las losas.

7.3.- Alivio de tensiones en encuentro de juntas:

En los sectores en que se producen encuentros de juntas en forma de "T", existe la posibilidad de practicar un calado de un testigo de modo de atenuar la concentración de tensiones. Ello limita sustancialmente la posibilidad de la propagación de fisuras por simpatía. Luego de extraído el testigo se rellena el hueco con hormigón, (figura 16). No obstante debe señalarse que conviene evitar recurrir a este tipo de paliativo con un adecuado diseño de la geometría de las juntas.



Bibliografía:

- *Concrete Paving Technology - American Concrete Pavement Association: Design and Construction of Joints for Concrete Highways. Illinois U.S.A 1991.*
- *American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.*
- *Nuevo método gráfico para el diseño de pasadores. Memoria del Simposio sobre Pavimentos de Hormigón. Colombo Raúl A. y Machado Luis M. – Instituto del Cemento Portland Argentino. 1962*
- *Alabeo en losas de pavimento de hormigón simple sin pasadores – Boletín técnico LNV N° 2, Laboratorio Nacional de Vialidad. Santiago – Chile 1989.*
- *Field evaluation of thermal deformations in undoweled PCC pavement slabs. Transportation Research Record N° 1207 – Washington C.C. 1988.*
- *Chaussées en Béton de Ciment (1ª, 2ª y 3ª partie). Guide Pratique de Construction Routière N° 21/23. Supplément au N° 569 / 571 Revue Générale des Routes et des Aéroports – nov. dec 1980 et janvier 1981.*
- *Moisture Effects on the Behavior of PCC Pavements. Proceedings 2º International Workshop on the Design and evaluation of Concrete Pavement. Sigüenza – España 1990.*
- *Model of Slab Cracking for Portland Cement Concrete Pavements. Transportation Research Record N° 1307 – Pavement Analysis, Design, Rehabilitation and Environmental Factors. Washington 1991.*
- *Poblete Rodríguez Mauricio. Nuevos conceptos a considerar en el diseño / construcción / conservación de pavimentos de hormigón. Conferencia IX Jornadas chilenas del Hormigón. La Serena Chile 1992.*
- *A cracking model for plain jointed Portland Cement Concrete Pavements. D. R. MacLeod – C. L. Monismith. 2nd International Conference on Concrete Pavement Design – Purdue University – West Lafayette Indiana U.S.A 1981.*
- *American Concrete Pavement Association. Design and Construction of Joints for Concrete Highways. TB-010P. Concrete Paving Technology. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association, 1991.*
- *College Literature: American Concrete Pavement Association. PCA College Literature Packet – Updated October 1999.*
- *Design, Construction, and Maintenance of PCC Pavement Joints. National Cooperative Highway Research Program – Synthesis of Highway Practice N° 19. Highway Research Board 1973.*
- *Joint – Related Distress in PCC Pavement Cause, Prevention and Rehabilitation. National Cooperative Highway Research Program – Synthesis of Highway Practice N° 56. Highway Research Board 1979.*
- *Memorias del 2º Congreso Interamericano de Pavimentos de Concreto. Cartagena de Indias, Colombia 2000.*
- *PCCP Intersections Design and Construction in Washington State. WA-RD 503.1. Uhlmeier, J.S. 2001.*
- *Yu, H.T., M.I. Darter, K.D. Smith, J. Jiang, and L. Khazanovich. Performance of Concrete Pavements: Volume III — Improving Concrete Pavement Performance. Report No. FHWA-RD-95-111. Washington, DC: Federal Highway Administration, 1996.*
- *Rigid Pavement Design Manual Florida Department of Transportation Pavement Management Office. Document No. 625-010-006-C. July 2004.*
- *LCPC (1994): Conception et dimensionnement des structures de chaussée. Guide Technique. LCPC-SETRA, Paris France, décembre 1994.*
- *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington 1993.*
- *National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice N° 56 - Joint - Related Distress in PCC Pavement – Cause, Prevention and Rehabilitation. TRB Washington Jan 1979.*
- *American Concrete Pavement Association: Concrete Information – Intersection Joint Layout 1996.*
- *MOPU – Pliego de Prescripciones Técnicas y Pavimentos de Hormigón Vibrado. Circular N° 311/90 C y E 1990. Dirección General de Carreteras, Madrid España.*
- *Influence of temperature during curing on stresses in concrete pavements.- Rupert Springenschmid, Eugen Hiller. Institute of Building Materials, Technical University of Munich, Germany- 8º International Symposium on Concrete Roads. Lisboa Portugal 1998.*
- *ACI 224.1R-93 Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón - Informado por el Comité ACI 224.*