

## DISEÑO DE JUNTAS DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Ing. Civil Angel Isaac Saragusti  
9 de Julio 1532 - P.B. "C" – Córdoba -  
Argentina  
T.E. 54 351 480-5956 y 54 351  
156135250  
Egresado de la Universidad Nacional de  
Córdoba - Argentina  
Jefe de Departamento de la Dirección de  
Obras Viales  
Municipalidad de Córdoba

### MEMORIA DE CALCULO

Este sistema constructivo está patentado con el número AR003672B1, por el Ingeniero Angel Isaac Saragusti .

Este metodo constructivo de Pavimentos Rigidos ya fue experimentado en cinco lugares realizadas con losas Macro-Hexagonales ( Hexagonos inscriptos en circulos de **diametro entre 2 metros y 8 metros** ), en la Ciudad de Carlos Paz ( Cordoba, Argentina) y en la Ciudad de Cordoba (Argentina) a fines del año 1998 y en el transcurso del año 1999, se hicieron en Cordoba 1200 metros cuadrados de la calle Pigue en barrio Ampliacion San Carlos , tambien se ejecuto 700 metros cuadrados de un piso, de un Galpon Industrial **en Barrio los Boulevares**, en la interseccion de Boulevard Los Argentinos con Boulevard Los Alemanes se realizaron 2200 metros cuadrados en Avenida Costanera y por ultimo se realizaron 6600 metros cuadrados en un centro mayorista ubicado en ruta 9 norte y Circunvalacion, de la Ciudad de Cordoba Argentina.

#### **1 HISTORIA**

En los comienzos de los pavimentos de hormigón, el diseño original de juntas de pavimentos consideraban solamente juntas transversales en la mayoría de los casos y la junta longitudinal no era considerada en los análisis para las cargas de esquinas, ya que éstas eran consideradas sólo en los bordes

laterales de la calzada, inclusive la estadística del tránsito en cuanto a las cargas, fué realizada sobre estos bordes laterales, pero cuando el ancho del pavimento se incrementó en el tiempo por efectos del tráfico, fué necesario ejecutar más juntas longitudinales, por lo cuál mi análisis se basa en que aparecen nuevas esquinas en sectores del pavimento entre los bordes y que tienen un alto porcentaje de tráfico que transitan por ellas, como el caso de aeropuertos, avenidas urbanas, accesos a autopistas, acceso a intercambiadores, etc. por lo cuál las cargas en las esquinas de las losas son decisivas cuando se determina el espesor del pavimento.

#### **2 INTRODUCCION**

Cuando el Ingeniero diseña la geometría en planta de las juntas, nunca piensa en el espesor del pavimento, porque cuando éste se calcula, se lo piensa en función de la carga, la impronta de la cubierta, la tensión por tracción del hormigón, la resistencia de la base ó sub-base, la transferencias de cargas, etc. pero a pesar de considerar todos estos factores, la mayoría de los pavimentos se quiebran en las esquinas de losas ubicadas en lugares entre los bordes de la calzada y esto es debido a que el porcentaje de tránsito por estas esquinas, es muy elevado, lo cuál no es considerado en los cálculos de espesores que se realizan por los métodos tradicionales.

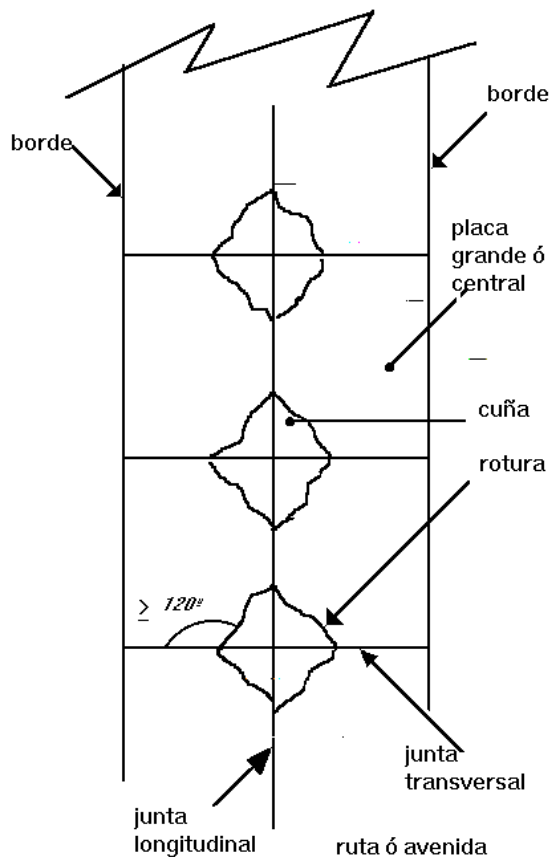
Las roturas en pavimentos rígidos como surge de la observación y la práctica, se produce fundamentalmente en las esquinas de losas debido a la carga de tránsito, quedando éstas divididas en trozos de distintos tamaños, que observados denotan, 1º) una placa principal con forma de polígono con ángulos en las esquinas mayores a los 90º originales de la losa cuadrada y 2º) distintos trozos de pequeños tamaños en forma de cuña.

Cuando se producen las fallas citadas vemos que las placas generalmente no se vuelven a partir en tamaños menores si se toman las nuevas juntas producidas por la falla.

Analizando las placas resultantes vemos que en el 1º) caso la placa grande ó central en forma de polígono tiene una mayor resistencia ;con respecto a la losa cuadrada; debido a que las esquinas de losa rota tiene ángulos mayores a 90º, por consiguiente obtienen una mayor resistencia a la flexión por la

nueva geometría, pudiéndose demostrar que en el caso que el ángulo final fuera de 120° en la esquina de la losa las tensiones en el hormigón serán el 40% menores que el caso de ángulo de 90° de la losa cuadrada original.

2º) En el caso de las cuñas que son de pequeño tamaño no continúan generalmente destruyéndose por que el estado de cargas en él ya no es de flexión como la losa central, sino de compresión pura trabajando como un articulado



Analizadas las pautas enunciadas, planteo la ejecución de losas con forma de hexagono ó medio hexágonos que obtienen una gran resistencia a la flexión en sus "esquinas", por tener ángulos de 120° ó sea, logran puntos de encuentro entre juntas con ángulos de 120° en los sectores del pavimento entre los bordes de la calzada. y forman las juntas solamente ángulos de 90° contra los bordes de la calzada, estas losas son ejecutadas "in situ" con las condiciones tradicionales de subrasante y calidad del hormigón, pero con juntas perdibles de

plástico ó chapa y vinculadas con esquineros de plástico a los fines de asegurar ángulos de 120° cuando se forman las figuras hexagonales.

### 3 CONCEPTOS

Este método consiste en ejecutar ó reconstruir pavimentos de hormigón para calles, avenidas, aeropuertos, etc. con juntas que se harán con moldes perdidos en el hormigón y que son del espesor total del pavimento y que conforman figuras geométricas de forma tal que en cualquier punto del pavimento; entre bordes laterales y/o pavimentos existentes; el encuentro sea de **TRES** juntas y con ángulos de 120° entre ellas y la acometida de las juntas son los bordes laterales en pavimentos nuevos y con el pavimento viejo en el caso de reconstrucción sean a 90°. Estas juntas serán de plástico ó chapa con un perfil machimbrado y se vincularán entre sí por esquineros standard de dos tipos, el primero será de forma tal que las juntas formen ángulos de 120° en él, en los puntos interiores de pavimentos y el segundo tipo se utilizarán contra los bordes laterales y/o el pavimento a reconstruir, asegurando ángulos de 90°.

Este método constructivo logra módulos independientes entre sí por lo cuál en caso que elementos de infraestructura dañados o fuera de lugar y que estén sin solución inmediata, llámese braseros, tapas, pérdidas de agua, etc.; entonces a ese sector se lo deja dentro de un módulo que se hormigonará al último, ya que los otros se pueden hormigonar previamente porque funcionan independientemente entre sí.

Este sistema logra un control cuantitativo y cualitativo para cada módulo ya que la cantidad de material se mide exactamente para cada módulo por que el espesor lo fija el molde perdible y el área la figura realizada, en cuanto a la calidad, como se conoce previamente los volúmenes se harán "tongadas" de hormigón que llenen una cantidad entera de módulos conservando así una calidad única y no se mezclarán hormigones elaborados con tiempos distintos en un mismo módulo, con el consiguiente problema de fisuración por desfasaje en el frague. Asimismo por ser independientes los módulos con moldes perdibles no hay junta de fin de jornada y tampoco por detener el trabajo en cualquier momento del día por desperfectos en la planta hormigonera y/o problemas de obra.

Como este método es a molde perdible se logran ventajas tanto constructivas como económicas, ya que al ser los moldes de muy

poco espesor son bastante livianos, prácticamente no llegan al kilo de chapa por metro lineal de molde, la mano de obra se vé disminuída también porque se construirán módulos con superficies geométricas menores a 35 m<sup>2</sup> que son independientes entre sí, y el hormigón se enrrasa con los moldes, asimismo por este método no hay aserrado ni tomado de juntas, disminuyendo no sólo los costos sino que evitan la fisuración del hormigón en edades tempranas.

Este sistema constructivo con encuentro de juntas con ángulo de 120°, logra que en el pavimento para un mismo estado de carga se logre una reducción de las tensiones por flexión en el hormigón del orden del 40% con respecto a encuentro de juntas a 90° y por lo cuál el pavimento a reconstruir ó construir podrá tener un espesor de un 24% menor con respecto al espesor original que se calculó por los métodos tradicionales.

#### 4 TENSIONES DE TRACCION DEBIDO A CARGAS EN LAS ESQUINAS

##### DEMOSTRACION MATEMATICA

##### 4.1 Tensiones debido a cargas de esquina

Se considera dos casos, cuando solamente tenemos momento flector en la esquina, primero cuando la losa es cuadrada o rectangular con angulo en la esquina de la losa de 90°, segundo, cuando la losa es hexagonal con angulo a esquina de 120°.

La tension por traccion causada por el momento flector en cualquier esquina sera:

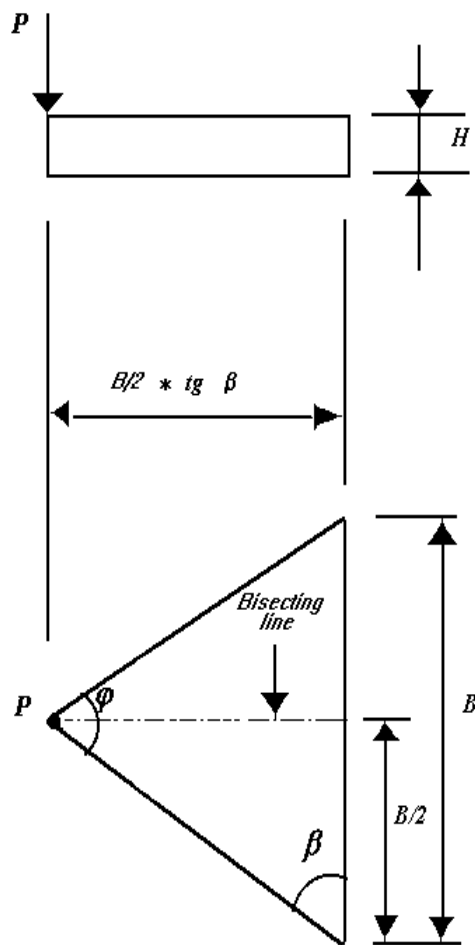
$$\sigma * W = P * \frac{B}{2} * \text{tg } \beta$$

$$W = \frac{B * H^2}{6}$$

$$\sigma = \frac{3P}{H^2} * \text{tg } \beta$$

W: modulo de rigidez      φ: angulo en la esquina

Donde, P, H, B, β, φ, es como muestra la Figure 3.



$$\beta = 90^\circ - \varphi / 2$$

$$N = \text{tg } \beta$$

Figure 3

En el primer caso de losa cuadrada o rectangular con angulo (φ) de 90° en la esquina, tenemos:

$$\varphi = 90^\circ \quad \beta = 90^\circ - \varphi / 2 = 45^\circ$$

$$\text{Entonces, } \text{tg } \beta = \text{tg } 45^\circ = 1$$

Si llamamos N: tg β, la tension por traccion sera:

$$\sigma = \frac{N 3 P}{H^2} = \frac{3 P}{H^2}$$

En el segundo caso de losa hexagonales con angulo (φ) de 120° en la esquina, tenemos:

$$\varphi = 120^\circ \quad \beta = 90^\circ - \varphi / 2 = 30^\circ$$

$$N = \text{tg } \beta = \text{tg } 30^\circ = 0,577$$

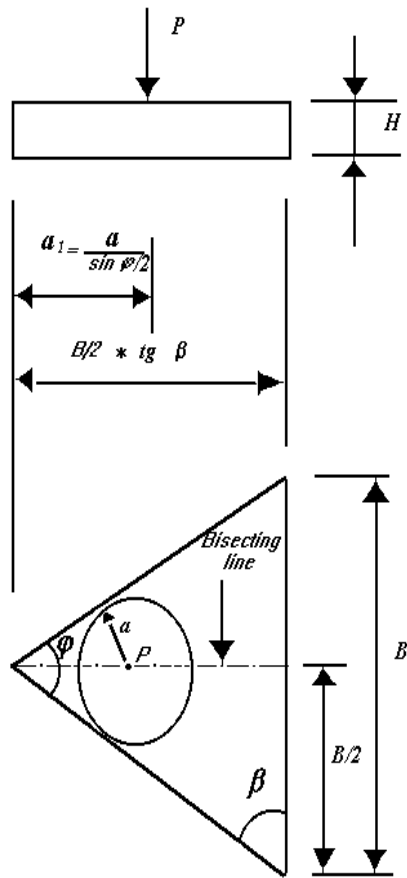
Entonces, la tension por traccion sera:

$$\sigma = \frac{N 3 P}{H^2} = \frac{0,577 * 3 P}{H^2}$$

Por ser el valor N= 0,577, la tension por traccion es 42,3% menor que en la losa cuadrada, entonces si despejamos H, tenemos.

$H = (0,577 * 3 P / \sigma)^{1/2}$ , esto significa que el espesor es disminuido con la raiz cuadrada de 0,577 que da 0,76 del valor H (ESPESOR) encontrado por el metodo tradicional, por lo cual el espesor ahorrado es del 24%.

#### 4.2 Tensiones debido a cargas de esquina – Westergaard



$$\beta = 90^\circ - \phi/2$$

$$N = \text{tg } \beta$$

Figure 4

Si consideramos la impronta de la cubierta y el soporte de la subrasante, como en el trabajo original de Westergaard para losa cuadrada o rectangular la tension por traccion es:

$$\sigma = \frac{3 P}{H^2} \left[ 1 - \left( \frac{a_1}{l} \right)^{0,6} \right]$$

Donde:

$\sigma$ : Tension de Traccion por Flexion

P: Carga

H: Espesor

$$l = \left( \frac{E H^3}{12 (1 - \mu^2) k} \right)^{1/4}$$

l : Radio de rigidez relativa

a : Radio del área circular

equivalente de contacto de la cubierta con el pavimento

a1: Distancia entre el centro de la impronta y el vértice de la esquina.

E : Módulo de la elasticidad del hormigon.

$\mu$  : Módulo de poisson.

k : Módulo de reacción de la subrasante.

#### 4.3 Tensiones de Traccion debido a cargas de esquina- Losa Hexagonal

La tension por traccion para losa hexagonal es:

$$\sigma = \frac{N 3 P}{H^2} \left[ 1 - \left( \frac{a_1}{l} \right)^{0,6} \right]$$

Donde,

$$N = \text{tg} (90^\circ - \phi / 2)$$

$\phi$ : angulo en la esquina

$$a_1 = \frac{a}{\sin \phi/2}$$

El término "a1" cambiará en concordancia con el ángulo de la esquina de la losa.

Todos los terminos de estas formulas, no cambian el trabajo original del Doctor Westergaard si el angulo ( $\phi$ ) es  $90^\circ$ , pero cuando ( $\phi$ ) es diferente de  $90^\circ$  cambiara el termino "a1" en funcion del angulo; y aparea este nuevo factor "N" en funcion del angulo ( $\phi$ ), tambien.

Vemos que si seguimos el procedimiento del punto 4.1 , se logra igualmente una reducción del 24% en el espesor del Pavimento de Hormigón.

## 5 GEOMETRIA DE LAS LOSAS

Las losas hexagonales, nos muestran esquinas con ángulos de 120° y por la forma de diseño planteada en este trabajo, nos brinda un sólo tipo de juntas, porque los conceptos de ancho y de largo de lasas desaparecen, sumado al hecho que no habrá juntas longitudinales.

Los conceptos básicos de diseño son:

- Hexágonos regulares inscriptos en círculos de radio igual al lado
- Hexágonos que tengan pares de lados iguales
- Distancia entre juntas paralelas no mayor de 24 veces el espesor
- Superficie del hexágono no mayor de 35 m<sup>2</sup>
- Nunca una junta de los hexágonos será paralela a la dirección del tránsito
- El ancho del pavimento nos fijará el lado del hexágono de tal forma que el múltiplo aplicado al lado nos de el ancho citado

## 6 METODO CONSTRUCTIVO

Consistirá en preparar la subrasante con los métodos tradicionales de compactación y con los gálidos que se preestablecieron, posteriormente se nivelarán todos los vértices que definen los hexágonos y todos los puntos de encuentro de juntas con los bordes laterales de la calzada, como éstos serán nivelados con hierros del diámetro 8, éste servirá de eje para colocación y anclaje de los esquineros correspondientes, ya sean de 120° en la zona entre bordes laterales del pavimento y de 90° contra los bordes laterales del pavimento, posteriormente se colocarán los moldes de plástico ó chapa que serán sujetados por los "esquineros"; posteriormente se hormigonará los hexágonos en forma independiente con hormigón que tendrá la resistencia surgida del cálculo original, y será enrasado con los moldes perdibles y la terminación y curado se hará por el método tradicional. Como es de suponer los "esquineros" quedarán perdidos también en el hormigón.

## 7 EXPERIENCIAS HECHAS CON LOSAS HEXAGONALES

Las experiencias realizadas con lasas Macro-Hexagonales ( Hexágonos inscriptos en círculos de **diámetro entre 2 metros y 8 metros** ), fueron en primer término en la Ciudad de Carlos Paz (Provincia de Córdoba, Argentina ), en la zona llamada del Diquesito ( Obra Pavimentación Urbana 2° Etapa, el Diquesito, Los Chorrillos, Carlos Paz, Córdoba )y se realizó pavimento con lasas hexagonales inscriptas en círculos de diámetro 4,84 metros, por lo cual los lados fueron de 2,42 metros de largo y por supuesto los medio- hexágonos, contra el lado de la calle, fueron por la mitad en los valores mencionados el espesor se hizo de 15 cm. por ser la Obra ya especificada en ese valor pero su resistencia es equivalente a un espesor de 19,3 cm., como se ve en las fotografías los hexágonos trabajan en forma independiente para su hormigonado, lo cual sumado al hecho que es a molde perdido le da grandes ventajas constructivas ya que no hay juntas de fin de día y el hormigón disminuye los riesgos de fisuración ,por el hecho de no hay que aserrar las juntas,teniendo el 100% de seguridad en el control de la fisuración en la construcción.

En la experiencia segunda se realizó una calzada de una calle llamada Pigue de barrio Ampliación San Carlos (ver fotografías) en la Ciudad de Córdoba a fines del año 1998 , se hicieron 1200 metros cuadrados , siendo el ancho de calzada final de 7,00 metros y el espesor se fijó en 15 cm. (que como dije es equivalente a 19,30 cm. ) por el hecho de ser una calle canal , cumpliendo funciones tanto de escurrimiento como de tránsito pesado, esta calle como se observa en las fotografías se tuvo que construir en primer término los medios hexágonos contra el borde para realizar el desvío del agua que escurre en forma permanente en la calle ,para luego en otra etapa realizar el hexágono central y el otro medio hexágono en forma conjunta. Como el método está realizado para no tomar las juntas por ser el ancho de la junta muy pequeño y que por el machimbre se asegura la transferencia de cargas , es que se hizo un seguimiento para analizar si había infiltración de agua hacia la base y se observó que con la primera lluvia se sellaron las juntas con el propio material de arrastre , a la fecha de este informe han pasado 16 meses y no hay ningún tipo de fisuración y las juntas se mantienen estancas, aun si haberlas tomado con ningún tipo de sellador.

En la Experiencia tercera se ejecuto 700 metros cuadrados de un piso, de un Galpon Industrial **en Barrio los Boulevares**, en la interseccion de Boulevard Los Argentinos con Boulevard Los Alemanes, de la Ciudad de Cordoba Argentina, el espesor se fijo en 8 cm. sin malla ni pasadores, la terminacion fue con fratazado mecanico y no hubo ningun problema constructivo por el hecho de la junta perdible.

En la experiencia cuarta , se realizo una calzada de una Avenida Costanera en zona de barrio Juniors (ver fotografias) en la Ciudad de Cordoba en Junio del año 1999 , se hicieron 2200 metros cuadrados , siendo el ancho de calzada de 7,50 metros, llevados a 10,50 metros en sectores para ejecutar un carril adicional de desaceleracion de 3,00 metros , tambien se realizo la calle de acceso al Barrio de 5,00 mtros de ancho con medios Hexagonos dando lugar siempre al encuentro de juntas a 120°, el metodo logro gran versatilidad con los encuentros de distintos anchos de calzada por ser el molde perdido y debido al mayor control de los niveles de la calzada por tener que poner en cota de Proyecto cada vertice de las figuras ejecutadas, el espesor se fijo en 18 cm. ( equivalente a 23,68 cm. ) por el hecho de ser una Avenida de gran Transito , cumpliendo funciones de transito pesado. En esta experiencia se usaron en un tramo de calzada de 7,50 metros de ancho hexagonos regulares, pero cuando se tuvo que llevar el ancho de calzada a 10,50 metros debido a una darsena de desaceleracion se usaron hexagonos que tenian pares de lados iguales, para lograr el ancho proyectado y a su vez mantener el angulo entre juntas de 120°.

En septiembre de 1999 en la quinta experiencia se realizo el piso de un centro mayorista de la Ciudad de Cordoba ubicado en ruta 9 norte y Avenida de Circunvalacion, el piso se construyo de 11,4 centimetros de espesor, en un paquete estructural compuesto de dos capas , la primera de 10 cm. de hormigon tipo H-21, y la segunda de 1,4 cm. de Granito reconstituido in-situ, con un pulido final. Este piso es de alto transito tanto los carritos de los clientes, como las "mulitas" de carga, que lo hacen sin las molestia de "saltos" ya que las juntas son perdidas y no fueron "tomadas", por haber utilizado este nuevo metodo constuctivo. Tambien sobre este piso estan ubicadas las gondolas que en sus puntos de apoyo tiene casi 3500 kilos, logrando asi la superposicion de dos grandes ventajas para un piso, primero una gran resistencia para soportar las cargas y segundo confortabilidad en el transito de todo tipo, llamese "carritos",

"mulitas", "vehiculos motorizados" y/o "personas", etc.

Las ventajas de esta nueva teoria se basan fundamentalmente en una reduccion de los espesores de las losas minimo del 24%, sumado al hecho de que los moldes perdibles aseguran que no habra fisuraciones en el Hormigon por falencias en el aserrado, en edades tempranas. Otra de las ventajas es que el molde es Machiembrado lograndose asi una transferencia de carga notable a las losas Adyacentes, que por ser Hexagonales lo hacen en todo su contorno. Este Metodo constructivo tiene desde hace ya mas de dos años la Patente en Tramite ,habiendose publicado en el boletin Internacional de Patentes en septiembre de 1998

## 8 CONCLUSION

- La geometría de la losa es muy importante para determinar las tensiones por tracción en la esquina de losa.

- Si nosotros diseñamos losas cuadradas o rectangulares, el trabajo original del Dr. H. M. Westergaard toma valores idénticos a la nueva fórmula planteada.

- Esta nueva fórmula nos brinda un cálculo de tensión por tracción para losas que tengan cualquier ángulo y aplicable especialmente al caso de losas con ángulos en las esquinas de 120°.

- Cuando nosotros tengamos intersecciones asimétricas entre calles, rutas ó accesos a autopistas podremos calcular el espesor para las losas con el ángulo que fué necesario ejecutar en función de las intersecciones citadas.

- Este método constructivo nos dá un control cualitativo y cuantitativo del hormigón a colocar en la ejecución del pavimento.

- Este método constructivo nos dá la posibilidad de trabajar con moldes descartables y de bajo peso por lo cual hace que los Operarios no tengan que realizar tareas arduas, como la limpieza y el transporte de los moldes tradicionales, sumado al hecho que no se tomaran las juntas del Pavimento ejecutado.