

## 2.6 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS AL DISEÑO.

En esta sección detallaremos algunos aspectos que hemos llamado complementarios al diseño, por no estar directamente en el rubro del diseño de espesores, pero que en todo diseño de pavimentos estamos obligados también a estudiar para complementar el proyecto de un pavimento.

Son aspectos complementarios al diseño de un pavimento, el diseño de las barras de amarre, el diseño de las pasajuntas y la modulación de losas.

### a) **BARRAS DE AMARRE.**

Las barras de amarre se colocan a lo largo de la junta longitudinal para amarrar dos losas, con la finalidad de que se mantengan juntas y de que se asegure que la carga se transfiera a través de la junta.

La cantidad de acero requerido para las barras de amarre se determina de la siguiente manera:

$$A_s = \frac{\gamma_c h L' f_a}{f_s}$$

En donde:

$A_s$  = Área requerida de acero por unidad de longitud de la losa.

$\gamma_c$  = Peso volumétrico del concreto

$h$  = Espesor del pavimento.

$f_a$  = Coeficiente promedio de fricción entre la losa y el terreno de soporte, que normalmente se considera de 1.5

$f_s$  = Esfuerzo permisible en el acero.

$L'$  = Distancia desde la junta longitudinal hasta el borde libre donde no existe barra de amarre. Para autopistas de 2 o 3 carriles,  $L'$  es el ancho del carril. Si las barras de amarre se usan en las tres juntas longitudinales de una carretera de 4 carriles,  $L'$  es igual al ancho del carril para las dos juntas exteriores y el doble del ancho para la junta interna.

La longitud de la barra de amarre, está controlada por el esfuerzo de adhesión permitido. El esfuerzo de adhesión permitido para barras corrugadas se puede asumir en 350 psi. La longitud de la barra, se debe basar en la resistencia total de la barra.

$$t = 2 (A_1 * f_s / \mu * \Sigma o)$$

Donde:

$t$  = Longitud de la barra de amarre.

$\mu$  = Esfuerzo permisible.

$A_1$  = Área transversal de una barra.

$\Sigma o$  = Perímetro de la barra.

Para un diámetro de barra  $d$ ,  $A_1 = \pi d^2 / 4$  y  $\Sigma o = \pi d$ , así que la ecuación anterior se simplifica a:

$$t = \frac{1}{2} [ (f_s \cdot d) / \mu ]$$

La longitud "t" se debe incrementar en 3 in. por desalineamiento.

Varios organismos usan el diseño estándar de barras de amarre para simplificar la construcción. Las barras de 0.5 in de diámetro por 36 in de longitud y separación de 30 a 40 in son las que comúnmente se usan.

Tabla 2.6-1 Recomendaciones de Espaciamiento máximo.

Espesor Pavimento (cm)	Tamaño de varilla (cm)	Distancia al extremo libre.			
		305 cm	366 cm	427cm	732 cm
12.7	1.27 x 61	76 cm	76 cm	76 cm	71 cm
14.0	1.27 x 64	76 cm	76 cm	76 cm	64 cm
15.2	1.27 x 66	76 cm	76 cm	76 cm	58 cm
16.5	1.27 x 69	76 cm	76 cm	76 cm	53 cm
17.8	1.27 x 71	76 cm	76 cm	76 cm	51 cm
19.1	1.27 x 74	76 cm	76 cm	76 cm	46 cm
20.3	1.27 x 76	76 cm	76 cm	76 cm	43 cm
21.6	1.27 x 79	76 cm	76 cm	71 cm	41 cm
22.9	1.59 x 76	91 cm	91 cm	91 cm	61 cm
24.1	1.59 x 79	91 cm	91 cm	91 cm	58 cm
25.4	1.59 x 81	91 cm	91 cm	91 cm	56 cm
26.7	1.59 x 84	91 cm	91 cm	91 cm	53 cm
27.9	1.59 x 86	91 cm	91 cm	91 cm	51 cm
29.2	1.59 x 89	91 cm	91 cm	91 cm	48 cm
30.5	1.59 x 91	91 cm	91 cm	91 cm	46 cm

**Ejemplo 2.6.1:**

Un pavimento de 2 carriles, 8 " de espesor, 18.3 metros de largo y 7.3 metros (24 pies) de ancho, con una junta longitudinal al centro. Determinar el diámetro, separación y longitud requerido de las barras de amarre, como se muestra en la figura 2.6.1

Suponer para el acero un  $f_s = 27,000$  psi y para el concreto un  $\gamma_c = 0.0868$  pci (23.6 kN/m<sup>3</sup>) y un esfuerzo permisible  $\mu = 350$ psi (24 Mpa).

Solución:

$$L' = 24/2 = 12 \text{ ft} = 144 \text{ in} \text{ (3.66 m)}$$

$$A_s = 0.0868 \times 8 \times 144 \times 1.5 / 27,000 = 0.00556 \text{ in}^2 / \text{in.}$$

Si se usan barras del No 4 (0.5 in o 1.2 mm), el área transversal de una barra es de 0.2 in<sup>2</sup> (129 mm<sup>2</sup>). La separación de la barra será =  $0.2 / 0.00556 = 36$  in (914 mm).

$$t = 0.5 \times 27,000 \times 0.5 / 350 = 19.3 \text{ in} \text{ (353 mm)} \text{ después de sumarle las 3 in (76 mm), } t = 19.3 + 3 = 22.3 \text{ in} \text{ (usar 24 in o 610 mm).}$$

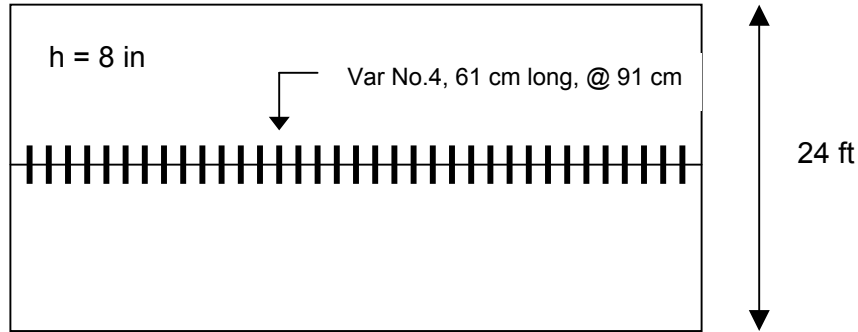


Figura 2.6.1

### b) PASAJUNTAS.

El diseño de pasajuntas se basa mucho en la experiencia, aunque algunos métodos teóricos sobre el diseño de pasajuntas están disponibles. El tamaño de las pasajuntas depende del espesor de la losa. La tabla 2.6-1 muestra el diámetro y longitud de las pasajuntas para diferentes espesores de losa como lo recomienda la PCA (1975). Se puede apreciar que el diámetro de las pasajuntas es igual a un octavo del espesor de la losa. En una edición reciente de diseño de juntas, la PCA (1991) recomienda el uso de pasajuntas de 1.25 in de diámetro para pavimentos de autopistas con espesores menores a 10 in y pasajuntas de diámetro de 1.5 in para pavimentos con espesores mayores a 10 in. Se necesitan pasajuntas con un diámetro mínimo de 1.25 a 1.5 in para controlar fallas mediante la reducción del esfuerzo de carga en el concreto.

Tabla 2.6-2 Diámetros y longitudes recomendadas en pasajuntas.

Espesor de Losa		Barras Pasajuntas					
		Diámetro		Longitud		Separación	
cm	in	mm	in	cm	in	cm	in
13 a 15	5 a 6	19	3/4	41	16	30	12
15 a 20	6 a 8	25	1	46	18	30	12
20 a 30	8 a 12	32	1 1/4	46	18	30	12
30 a 43	12 a 17	38	1 1/2	51	20	38	15
43 a 50	17 a 20	45	1 3/4	56	22	46	18

Las pasajuntas se usan en las juntas transversales para transferir las cargas a las losas adyacentes. El esfuerzo y la deflexión en la junta son mucho más pequeños cuando las cargas son soportadas por dos losas que cuando es por una sola. El uso de pasajuntas puede minimizar las fallas de bombeo y de diferencia de elevación de juntas, las cuales han sido considerados por la PCA como factores importantes en el diseño de espesor.

#### 2.6.b.1 Esfuerzo de carga permisible.

Debido a que el concreto es más débil que el acero, el tamaño y separación que se requiere de pasajuntas, se controla por el esfuerzo de carga entre el concreto y la pasajunta. El esfuerzo de carga permitido se determina de la siguiente manera:

$$f_b = \frac{(4-d)}{3} f'_c$$

Dónde

$f_b$ = Esfuerzo permisible de carga (psi)  
 $d$ = Diámetro de las pasajuntas en pulgadas  
 $f'_c$ = Resistencia a la compresión del concreto.

### 2.6.b.2 Esfuerzo de carga en un pasajuntas.

Si la carga que se aplica en la pasajuntas se conoce, el esfuerzo máximo de carga se puede determinar teóricamente asumiendo que las pasajuntas sea una viga y que el concreto sea una cimentación Winkler. Basado en la solución original de Timoshenko, Friberg (1940) indica que la máxima deformación del concreto debajo de la pasajunta se puede expresar de la siguiente manera

$$y_0 = \frac{P_t (2 + \beta z)}{4 \beta^3 E^d I^d}$$

Dónde:

$y_0$ = Deformación de la pasajunta en la cara de la junta  
 $P_t$ = Carga sobre la pasajunta,  
 $Z$ = Ancho de la junta  
 $E^d$ = Módulo de Young de la pasajunta  
 $I^d$ = Momento de inercia de la pasajunta  
 $B$ = Rigidez relativa de un pasajunta embebida en el concreto.  
 Nótese que

$$I^d = 1/64 \pi d^4$$

Y

$$B = \sqrt[4]{Kd / 4 E_d I_d}$$

Dónde:

$K$ = Módulo de soporte de la pasajunta, el cual varía de 300,000 a 1,500,000 pci  
 $d$ = es el diámetro de la pasajunta.

El esfuerzo de carga  $\sigma_b$  es proporcional a la deformación:

$$\sigma_b = k y_0 = \frac{K P_t (2 + \beta z)}{4 \beta^3 E^d I^d}$$

El esfuerzo de carga se debe comparar con el esfuerzo de carga permisible. Si el esfuerzo de carga es mayor al permisible, entonces se deben de usar pasajuntas más grandes o separaciones más pequeñas. Estudios recientes han demostrado que el esfuerzo de carga se relaciona a la falla de la losa. Si se limita el esfuerzo de carga, el grado de la falla se puede reducir a un límite permisible.

Cuando una carga  $W$  se aplica en una losa cerca de la junta como se muestra en la figura 2.6.3 parte de la carga se transfiere a la losa adyacente a través de las pasajuntas. Si la eficiencia de las pasajuntas es del 100%, ambas losas se deflexionan la misma cantidad y las fuerzas debajo de las losas serán las mismas. Cada una siendo

de  $0.5w$ , la cual es también el total de la fuerza cortante que se transfiere mediante las pasajuntas. Si la eficiencia de las pasajuntas es menor de 100%, como en el caso para pavimentos viejos donde algunas pasajuntas se desprenden, las fuerzas que reaccionan bajo la losa serán menores a  $0.5W$ . Como resultado, el total del esfuerzo cortante sobre las pasajuntas es menor a  $0.5W$ . Por lo tanto, el uso de  $0.5W$  para el diseño de pasajuntas es más conservativo.

Basado en la solución de Westergard, Frierberg (1940) encontró que el momento máximo negativo, tanto para cargas internas o externas ocurre a una distancia de  $1.8L$  desde la carga donde  $L$  es el radio de rigidez relativa. Cuando el momento es máximo, la fuerza cortante es igual a cero. Por lo tanto, es razonable asumir que el cortante en cada pasajunta se reduce inversamente con la distancia de la pasajunta desde el punto de carga, siendo el máximo para la pasajunta debajo o cerca al punto de la carga y cero a una distancia de  $1.8L$ .

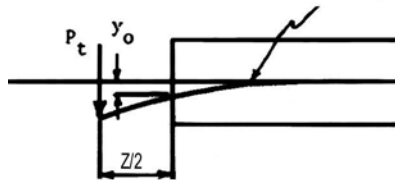


Figura 2.6.2 Deformación de la pasajunta debido a una carga

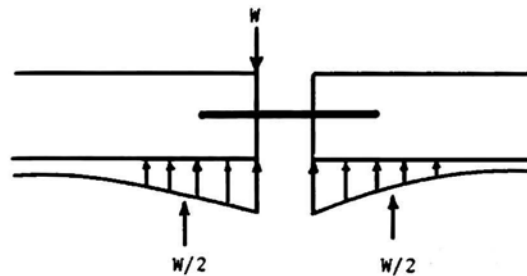
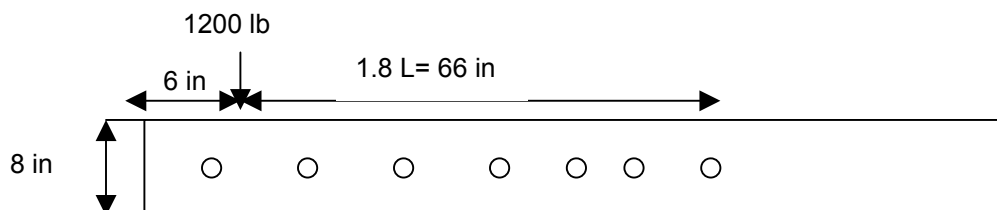


Figura 2.6.3 Transferencia de carga de las pasajuntas

### Ejemplo 2.6.2:

La figura 2.6.4 muestra un pavimento de concreto de 8 in de espesor, teniendo un ancho de junta de 0.125 in, un módulo de reacción de la subrasante de 100 pci y un módulo de soporte de la pasajunta de  $1.5 \times 10^6$  pci. Una carga de 12000 lb se aplica sobre la pasajunta exterior a una distancia de 6 in desde el borde. Las pasajuntas son de 1 in de diámetro y 14 in sobre los centros. Determinar el esfuerzo máximo de carga entre la pasajuntas y el concreto.



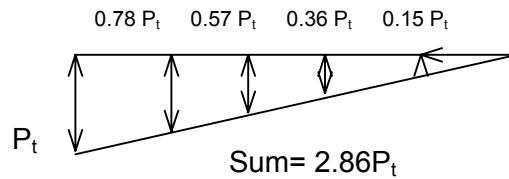


Figura 2.6.4

**Solución:**

$$L = [Eh^3 / 12k(1-\mu^2)]^{0.25}$$

$$\mu = .15$$

$$L = [4 \times 10^6 \times (8)^3 / (12 \times (1-(0.15)^2) \times 100)]^{0.25} = 36.35 \text{ in}$$

Si la pasajunta está directamente debajo de la carga, está sujeta a una carga cortante  $P_t$ , las fuerzas sobre las pasajuntas dentro de una distancia de  $1.8 L$ ,  $L=1.8 \times 36.35= 66 \text{ in}$  se puede determinar asumiendo una variación lineal como se muestra en la figura 4.24. La suma de las fuerzas sobre todas las pasajuntas es de  $2.86 P_t$ , la cual debe ser igual a la mitad de la carga aplicada basándose en una eficiencia de un 100% de las juntas, o

$$P_t = 6000 / 2.86 = 2097 \text{ lb}$$

$$I^d = 1/64 \pi d^4$$

$$I_d = \pi (1)^4 / 64 = 0.0491 \text{ in}^4$$

$$\beta = (Kd / 4 E_d I_d)^{0.25}$$

$$\beta = [1.5 \times 10^6 \times 1 / (4 \times 29 \times 10^6 \times 0.0491)]^{0.25} = 0.7163 \text{ in}$$

$$\sigma_b = k y_0 = \frac{K P_t (2 + \beta z)}{4 \beta^3 E^d I^d}$$

$$\sigma_b = [1.5 \times 10^6 \times 2097 (2 + (.71637 \times .125))] / (4 \times (.71637)^3 \times 29 \times 10^6 \times .0491) = 3138 \text{ psi}$$

Para un concreto de 4000 Psi el esfuerzo de carga permisible es de

$$f_b = (4 - 1) \times 4000/3 = 4000 \text{ psi.}$$

Debido a que el esfuerzo actual es menor que el permisible, el diseño es satisfactorio. En este ejemplo, sólo la carga de la llanta izquierda cerca del borde es considerada. La carga de la llanta derecha esta cuando menos a 6 ft de la carga de la llanta izquierda, la cual es más que  $1.8L$ , por lo tanto, la llanta derecha no tiene efecto en la fuerza máxima  $P_t$  sobre la pasajuntas cerca del borde del pavimento. Si la losa fuera más resistente y con mayor espesor, y la cimentación más débil la  $L$  se volvería mucho mayor y ambas llantas se deberían de considerar para determinar la fuerza  $P_t$  en la pasajunta más crítica.

### Ejemplo 2.6.3

La figura 2.6.5 muestra una losa de 10 in sobre una cimentación con  $k = 60$  pci. Doce pasajuntas con separación de 12 in en los centros están colocadas en la junta sobre un carril de 12 ft. Dos cargas de 18000 lb se aplican en los puntos A y B. Determinar la carga máxima sobre una de las pasajuntas.

Solución:

$$L = [4 \times 10^6 \times (10)^3 / (12 \times 0.9775 \times 60)]^{0.25} = 49 \text{ in}$$

Por lo tanto  $1.8L = 88 \text{ in}$

Primero, considerar la carga de 18000 lb sobre A. Si la pasajunta sobre el punto A tiene un factor de carga de 1, los factores de carga en las otras pasajuntas se pueden determinar por triángulos similares, como se muestra en la figura 2.6.6. El resultado de la suma de estos factores es de 4.18 pasajuntas efectivas, por lo tanto la carga soportada por la pasajunta en A es de  $9000/4.18 = 2153 \text{ lb}$ . Las cargas soportadas por las otras pasajuntas se pueden determinar por proporción. Lo siguiente es considerar la carga de 18000 lb sobre el punto B. Si la pasajunta en el punto B tiene un factor de carga de 1, los factores de carga en las otras pasajuntas se pueden determinar mediante una distribución triangular como se muestra en la figura 2.6.7. La suma de estos factores resulta en 7.08 pasajuntas efectivas. Se puede notar que las pasajuntas en el otro lado de la junta longitudinal no se consideran efectivas en soportar la carga. La carga soportada por la pasajuntas B es de  $9000/7.08 = 1271 \text{ lb}$  y las soportadas por las otras pasajuntas se pueden determinar por proporción. La figura 2.6.8 muestra las fuerzas en cada pasajunta debido al efecto combinado de ambas cargas. Se puede ver que la pasajunta más cerca al borde del pavimento es la más crítica y se debe usar para propósitos de diseño. La carga soportada por esta pasajunta se puede determinar directamente por  $P_t = 9000/4.18 + 0.18 \times 9000/7.08 = 2381 \text{ lb}$ .

Los ejemplos anteriores se basan en la suposición de que el momento máximo negativo ocurra a una distancia de  $1.8L$  desde la carga. Estudios recientes por Heinrichs et al (1989) han demostrado que el momento máximo negativo ocurre a  $1.0 L$  por lo que la carga soportada por la pasajunta crítica debe ser mayor que las que se muestran en los ejemplos.

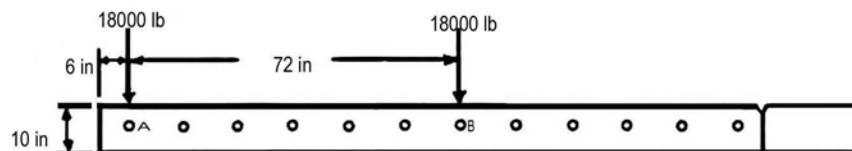


Figura 2.6.5 Localización de las cargas y de las pasajuntas

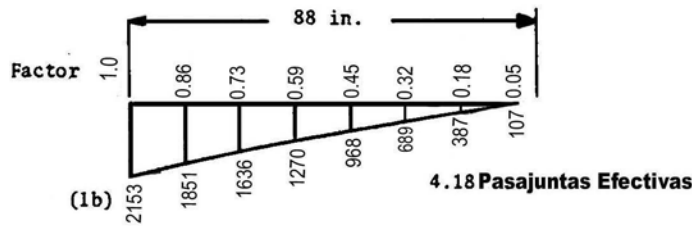


Figura 2.6.6 Fuerzas de las pasajuntas debido a la carga A

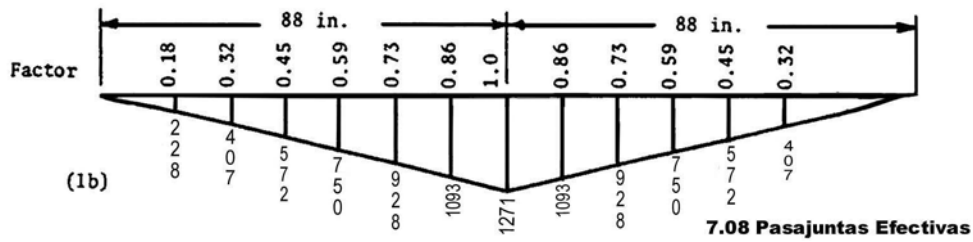


Figura 2.6.7 Fuerzas en las pasajuntas debido a la carga B

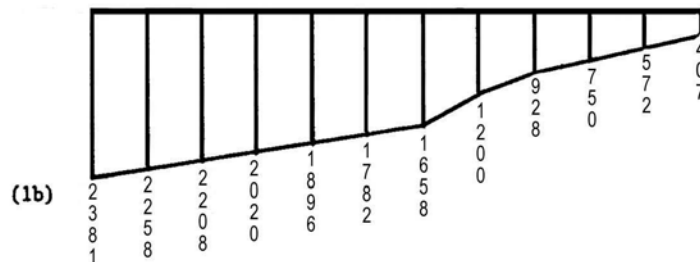


Figura 2.6.8 Fuerzas en las pasajuntas debido a las dos cargas

### c) MODULACIÓN DE LOSAS

La modulación de losas se refiere a definir la forma que tendrán los tableros de losas del pavimento. Esta forma se da en base a las dimensiones de tableros, o dicho de otra forma, a la separación entre juntas tanto transversales como longitudinales.

La modulación de losas va a estar regida por la separación de las juntas transversales que a su vez depende del espesor del pavimento. Existe una regla práctica que nos permite dimensionar los tableros de losas para inducir el agrietamiento controlado bajo los cortes de losas, sin necesidad de colocar acero de refuerzo continuo:

$$S_{JT} = (21 \text{ a } 24) D$$

Donde:

$$S_{JT} = \text{Separación de Juntas Transversales } (<= 5.5 \text{ m})$$

$$D = \text{Espesor del Pavimento}$$



Las ranuras aserradas deberán inspeccionarse para asegurar que el corte se haya efectuado hasta la profundidad deseada. Toda materia extraña que se encuentre dentro de cualquier tipo de junta deberá extraerse mediante aire, agua o arena a presión; cualquiera de estos procedimientos deberá garantizar la limpieza total de la junta.

La longitud de las losas en el sentido longitudinal estará marcado en la secciones Tipo correspondientes, con una tolerancia de diez (10) centímetros en más o menos.

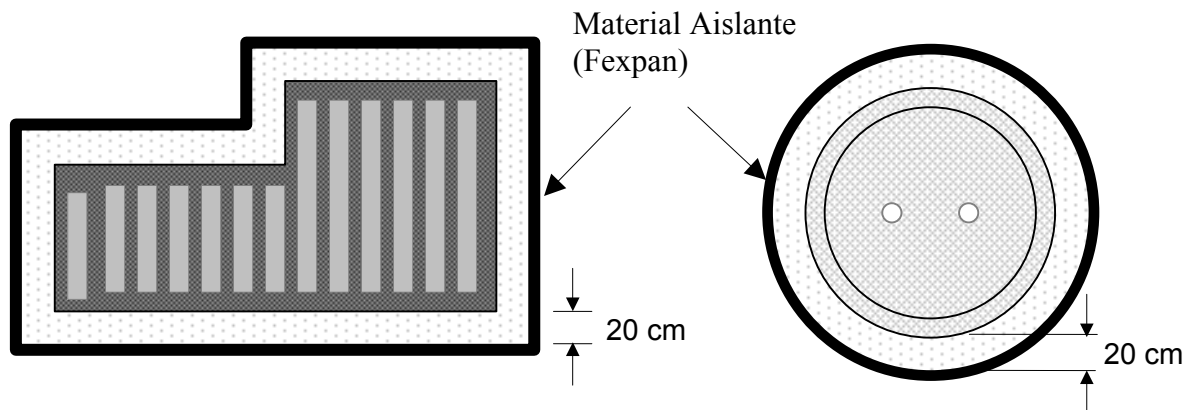
Deberán tomarse las precauciones necesarias para evitar que se dañen los bordes de las juntas por impactos del equipo o de la herramienta que se esté utilizando en la obra.

### **e) Pozos de Visita y Alcantarillas**

Se deberá realizar un estudio de escurrimientos y drenaje existente, a fin de garantizar que el agua de las lluvias será desalojada oportunamente a la red de alcantarillado. Se deberán detectar a su vez los pozos de visita y bocas de tormenta que será necesario renivelar.

Será conveniente aislar de la estructura del pavimento los pozos de visita y alcantarillas, construidas para captar los escurrimientos pluviales. Para esto se construirán anillos perimetrales de concreto de 20 cm de espesor, con una profundidad igual al espesor de la losa del pavimento.

Se colocará un material aislante alrededor de los anillos, con la finalidad de absorber los movimientos de la losa y de los pozos de visita, este material podrá ser como el cartón asfaltado tipo FEXPAN ó CELOTEX



Detalle de junta de aislamiento de alcantarillas y pozos de visita