



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE  
LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN USADAS EN PUENTES,  
EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

**Carlos Enrique de la Cruz Camey**

**Asesorado por: Ing. Civil Adolfo Rodas Merlos**

**Guatemala, marzo de 2005**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS  
JUNTAS DE EXPANSIÓN USADAS EN PUENTES,  
EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA POR

**CARLOS ENRIQUE DE LA CRUZ CAMEY**

Asesorado por: Ing. Civil Adolfo Rodas Merlos

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

Guatemala, marzo de 2005

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Raúl F. Molina Mejía
EXAMINADOR	Ing. Adrián B. Juárez López
EXAMINADOR	Ing. Edgar D. de León Maldonado
EXAMINADOR	Ing. Arturo Pazos
SECRETARIO	Ing. Carlos C. Cabrera García

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE  
LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN USADAS EN PUENTES,  
EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 6 de marzo de 2003.

Carlos Enrique de la Cruz Camey

## **AGRADECIMIENTO**

**A:**

**DIOS**

Por la oportunidad que me dio de concluir este trabajo.

El ingeniero Adolfo Rodas Merlos, por su valiosa asesoría en la elaboración del presente trabajo de graduación.

**Transport and Road Research Laboratory**, por la bibliografía proporcionada.

**Department of Transport** (Inglaterra), por la documentación aportada.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX

### **1. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL MOVIMIENTO DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN PUENTE**

1.1. Variación de la temperatura con el tiempo .....	1
1.2. Gradiente vertical de temperatura.....	2
1.3. Temperatura efectiva.....	4
1.4 Rango de temperatura.....	5
1.4.1 Rango de temperatura según Kozlov .....	11
1.5. Coeficiente de expansión térmica del concreto .....	11
1.6 Temperatura inicial de un puente.....	15
1.7 Temperatura en el barandal.....	17

### **2. OTROS MOVIMIENTOS QUE AFECTAN A LAS JUNTAS**

2.1 Contracción por secado del concreto.....	19
2.2 Deformación elástica.....	21
2.3 Fluencia.....	21

2.4	Variación de la contracción por secado y fluencia con el transcurso del tiempo.....	23
2.5	Movimiento de rotación.....	25
2.6	Movimientos de la subestructura.....	30
2.6.1	Investigación de Moulton sobre movimientos en puentes....	32
2.6.1.1	Movimientos en estribos	32
2.6.1.1	Movimientos en pilas	33
2.7	Movimiento vertical en los apoyos de la superestructura.....	34
2.8	Movimiento lateral.....	34

### **3. ESTIMACIÓN DE LA MAGNITUD DEL MOVIMIENTO QUE SE PRODUCE EN LAS JUNTAS**

3.1	Movimiento producido por los cambios de temperatura.....	37
3.2	Contracción por secado del concreto.....	38
3.3	Contracción por fluencia del concreto.....	39
3.4	Métodos simplificados para estimar la magnitud del movimiento.....	40
3.4.1	Método utilizado en Japón.....	40
3.4.2	Método del estado de Colorado (E.E.U.U.).....	41
3.5	Selección del tipo de junta.....	43
3.5.1	Selección del tipo de junta según Black.....	45

### **4. JUNTAS ABIERTAS**

### **5. JUNTAS ARMADAS CON PERFILES DE ACERO**

5.1	Tipos de juntas armadas.....	53
-----	------------------------------	----

5.1.1	Junta de placa deslizante.....	53
5.1.2	Junta con angulares en sus bordes.....	55
5.1.3	Junta con placas en sus bordes.....	56
5.1.4	Junta con angulares superiores.....	57
5.2	Sistema de anclaje.....	58
5.3	Construcción.....	62
5.4	Mantenimiento de juntas de placa deslizante.....	67
5.5	Diseño de juntas armadas efectuado por Black.....	74
5.5.1	Estimación de las cargas que actúan en las juntas.....	74
5.5.2	Medición de la fuerza horizontal que ejercen los vehículos.	75
5.5.3	Diseño.....	78
5.5.3.1	Anclaje de barras.....	78
5.5.3.2	Angular o placa de los bordes de la junta.....	82
5.5.3.3	Placa deslizante.....	82
5.5.3.4	Junta con angulares superiores.....	85
5.5.4	Cargas de diseño según el código BE 6.....	86
5.6	Junta con placa en forma de dedos.....	88

## **6. JUNTAS AHOGADAS**

6.1	Factores que afectan a las juntas ahogadas.....	92
6.2	Esfuerzos en la capa de asfalto que cubre las juntas.....	94
6.3.	Movimiento de rotación.....	95
6.3.1	Rigidez de la superestructura.....	96
6.3.2	Tráfico pesado.....	99
6.3.3	Acción de varias cargas.....	99
6.3.4	Restricción al movimiento en los apoyos de la superestructura	100
6.4	Deformación vertical de los apoyos de la superestructura.....	101

6.5	Acción del agua.....	102
6.5.1	Retenedores de agua ( <b>waterstops</b> ).....	104
6.6	Proceso de agrietamiento de la capa de asfalto.....	106
6.7	Criterios de falla.....	108
6.8	Junta con sisa en el asfalto.....	110
6.9	Juntas patentadas presentadas en los códigos BA 26/88 y BD 33/88.....	111
6.9.1	Junta ahogada ( <b>buried joint</b> ).....	112
6.9.2	Junta tipo tapadera ( <b>plug joint</b> ).....	113
6.9.3	Junta con bordes protegidos ( <b>nosing joint</b> ).....	114
	CONCLUSIONES.....	117
	RECOMENDACIONES.....	119
	BIBLIOGRAFÍA.....	123
	ANEXOS.....	125

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Condiciones ambientales que controlan la forma de la distribución de la temperatura en la superestructura	3
2	Magnitud de la deformación vertical y horizontal debido al movimiento de rotación en el extremo de la superestructura	27
3	Efecto de la posición del apoyo de la superestructura	27
4	Magnitud del movimiento debido a la deflexión de las vigas	28
5	Desplazamiento normal y transversal en una junta con esviaje	35
6	Rango de longitudes de expansión, en el que se puede usar diversos tipos de junta	45
7	Juntas abiertas	48
8	Junta con sobreelevación de concreto en los bordes	52
9	Junta estandar de la Dirección General de Caminos	54
10	Junta (con sellador) en puente Villalobos 4	55
11	Junta con placas en sus bordes	56
12	Junta con angulares superiores	57
13	Junta con angulares superiores	58
14	Falla del anclaje de junta en pila de puente Punta Gorda	59
15	Falla del anclaje de junta en pila de puente Francisco Marroquin	59
16	Junta con anclaje de barras separadas	61
17	Espacios sin fundición de concreto en junta de puente Achiguate	63
18	Agujeros de ventilación en junta de puente San Juan	64
19	Alternativa de junta para sustituir juntas dañadas	71
20	Rotura de la placa deslizante en junta de puente Achiotés	73

21	Junta modelo y dispositivo de medición	76
22	Cargas asumidas en juntas	79
23	Espesor requerido de un voladizo cargado como se muestra, en el caso que éste no tiene soporte, y en el caso que el mismo tiene un soporte que se asienta 0.005 pulg.	84
24	Cargas de diseño según el código BE 6	87
25	Junta de dedos	88
26	Junta ahogada estandar de la Dirección General de Caminos	91
27	Comparación de los movimientos y rotaciones en las juntas de expansión en puentes con vigas de concreto, y en puentes con vigas de construcción compuesta acero/concreto (debidos a la carga de un solo vehículo colocado al centro de la luz)	96
28	Instrumentos de medición y vehículo de prueba para medir los movimientos y rotaciones en una junta de expansión	97
29	Retenedores de agua típicos	105
30	Daño en junta ahogada de puente Villalobos	106
31	Junta con sisa en el asfalto	110
32	Junta ahogada	112
33	Junta tipo tapadera	113
34	Junta con bordes protegidos	115
35	Temperaturas máximas extremas	125
36	Temperaturas mínimas extremas	127
37	Localización de las juntas de expansión en un puente (de una luz)	129

## TABLAS

I Rangos de temperatura en puentes de concreto, según diversos códigos de diseño	8
II Relación entre la temperatura normal diaria mínima en el ambiente, y la temperatura efectiva mínima de un puente	9
III Relación entre la temperatura normal diaria máxima en el ambiente, y la temperatura efectiva máxima de un puente	10
IV Coeficiente de expansión térmica del concreto, según diversos códigos de diseño de puentes	12
V Coeficiente de expansión térmica del concreto basado en el tipo de agregado (basado en el agregado fino y grueso)	14
VI Variación del coeficiente de decrecimiento con el transcurso del tiempo	24
VII Relación entre la deflexión y el ángulo de rotación en el extremo de una viga	29
VIII Magnitud de el rango de movimiento en una junta de expansión	41
IX Magnitud de movimientos aceptables según el tipo de junta	44
X Movimientos típicos medidos en juntas	98



## **GLOSARIO**

<b>Ángulo de esviaje</b>	Ángulo de oblicuidad o sesgamiento que tienen horizontalmente los extremos de un puente cuando el eje longitudinal del mismo no es perpendicular al río o vía que éste atraviesa.
<b>Atiesador</b>	Placa que se coloca en forma transversal en un miembro estructural de acero, tal como una viga, para rigidizarlo.
<b>Cortina</b>	Parte superior de un estribo la cual contiene el material de relleno de la carretera aledaño al puente.
<b>Desportillamiento</b>	Rotura de los bordes de una losa de concreto.
<b>Diafragma</b>	Viga transversal de la superestructura de un puente.
<b>Estribo</b>	Estructura que soporta los extremos de la estructura superior de un puente, y que además sirve para contener el material de relleno empleado en la construcción de la carretera en las proximidades del puente.

**Junta de expansión**

Es la separación que se deja entre las partes componentes de una estructura para permitir los movimientos que se producen en ellas, tales como los causados por los cambios de temperatura. Al haber juntas de expansión en una estructura los movimientos de sus componentes adyacentes se producen en forma independiente en cada uno de ellos.

**Pila**

Estructura que sirve de apoyo a la estructura superior de un puente en puntos intermedios del mismo, en el caso de puentes de varias luces.

**Viga de construcción compuesta acero-concreto**

Viga formada por una losa de concreto apoyada sobre el patín superior de una vigueta de acero en la cual se colocan conectores de acero que resisten el esfuerzo cortante, para que no haya deslizamiento entre la vigueta y la losa, y asegurar así que la viga compuesta actúe como una unidad.

**Sellador a compresión**

Es un tipo de sellador preformado que se instala estando comprimido cuando se introduce en la junta.

**Sellador de membrana**

Sellador formado por una banda de hule sintético que se coloca sobre la abertura de la junta, y que es retenida a ambos lados de ésta por medio de perfiles metálicos especiales anclados al concreto.

<b>Sellador preformado</b>	Sellador con consistencia sólida que tiene forma propia antes de ser instalado en una junta.
<b>Sellador vertido</b>	Sellador líquido, o con consistencia de pasta, que después de ser vaciado en una junta, y endurecer, adquiere la forma del espacio donde es vertido.
<b>Subestructura</b>	Estructura inferior de un puente de tipo simplemente soportado la cual sirve para soportar la superestructura. La subestructura la forman los estribos y las pilas.
<b>Superestructura</b>	Estructura superior de un puente de tipo simplemente soportado.



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>AASHTO</b>	<b>American Association State Highway and Transportation Officials</b>
<b>ACI</b>	<b>American Concrete Institute</b>
<b>AWS</b>	<b>American Welding Society</b>
<b>CA- 2 Oriente</b>	Carretera centroamericana que conduce de Escuintla a la frontera de El Salvador
<b>CA- 2 Occidente</b>	Carretera centroamericana que conduce de Escuintla a la frontera de México
<b>CA- 9 Norte</b>	Carretera centroamericana que conduce de la ciudad capital a Puerto Matías de Galvez
<b>CA- 10</b>	Carretera centroamericana que conduce de Río Hondo a la frontera de Honduras
<b>E</b>	Módulo elástico del concreto
<b>L</b>	Angular de acero
<b>PL</b>	Placa de acero
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>°C</b>	Grados Centígrados
<b><math>\alpha</math></b>	Coeficiente de expansión térmica
<b><math>\beta</math></b>	Coeficiente de decrecimiento de la contracción por secado y fluencia, con el transcurso del tiempo
<b><math>\epsilon_c</math></b>	Deformación unitaria debido a la fluencia

$\epsilon_e$	Deformación elástica unitaria
$\epsilon_s$	Deformación unitaria debido a la contracción por secado del concreto
$\Psi$	Factor de fluencia
$\sigma$	Esfuerzo en el concreto
$\Delta l_c$	Magnitud de la contracción del concreto por fluencia
$\Delta l_s$	Magnitud de la contracción por secado del concreto
$\Delta l_t$	Magnitud del movimiento debido a los cambios de temperatura
$\varnothing$	Diámetro
	Soldadura en la orilla indicada de un miembro de acero
	Soldadura en la orilla indicada y en la orilla opuesta a ésta, de un miembro de acero

## RESUMEN

En el presente trabajo se analiza los movimientos que se producen en las juntas de expansión de los puentes. Asimismo, evalúa el comportamiento de los diversos tipos de junta de expansión de puentes que se utilizan en nuestro medio.

Los movimientos que se dan en las juntas de expansión pueden ser horizontales (longitudinales y transversales), verticales y de rotación.

Entre los movimientos horizontales se tiene los debidos a los cambios de temperatura, así como los producidos por la fluencia y contracción por secado del concreto. El movimiento vertical ocurre cuando se usa placas flexibles como sistema de apoyo de la estructura superior (superestructura) de un puente. El movimiento de rotación se produce por la flexión de las vigas longitudinales de la superestructura, bajo la acción de las cargas.

Las juntas de expansión más usadas en Guatemala son las juntas abiertas, las juntas armadas, y las juntas ahogadas.

Cuando las juntas tienen perfiles de acero en sus bordes y están cubiertas por una placa cubrejunta se les conoce como juntas armadas. Las juntas abiertas pueden tener perfiles de acero en sus bordes, pero no están provistas de placa cubrejunta. Si las juntas están cubiertas por la capa de rodadura de asfalto del puente se les llama juntas ahogadas.

En este trabajo se evalúa el comportamiento de estos tipos de junta; según las especificaciones correspondientes.

## **OBJETIVOS**

### **▪ General**

Proporcionar, a profesionales y estudiantes, información técnica sobre el diseño, construcción y mantenimiento de juntas de expansión de puentes.

### **▪ Específicos**

1. Conocer los movimientos de un puente que afectan a las juntas de expansión.
2. Conocer la causa de las fallas en las juntas de expansión.
3. Dar recomendaciones para la reparación y mejoramiento de las juntas de expansión.



## INTRODUCCIÓN

Las juntas de dilatación son una parte importante, descuidada, de la superestructura de los puentes.

Los puentes de estructura monolítica, tales como los puentes de marco rígido, no están provistos de juntas de expansión pues están formados por una sola estructura, tienen algunas desventajas tales como: este tipo de estructuras es más propenso a los daños producidos por los asentamientos diferenciales del terreno; si un lado del marco rígido se asienta más que el otro lado hay inversión de esfuerzos en la estructura; además, el diseño de estas estructuras es más complicado.

Debido a las desventajas que presentan los puentes de estructura monolítica, en nuestro medio es más utilizado el tipo de puente que tiene una estructura simplemente soportada, es decir, el puente que está constituido por una superestructura simplemente apoyada sobre una subestructura. Este tipo de puente es más usado aunque tiene el inconveniente de estar provisto de juntas de expansión, las cuales son propensas a tener problemas. En Guatemala, casi todos los puentes son de este tipo.

Las juntas de expansión están en la superficie de la carretera, entre la losa del puente y el muro de la subestructura (en puentes de una sola luz), es decir, las juntas de expansión consisten en una abertura que se deja entre las orillas de los extremos de la superestructura y las orillas superiores de la subestructura, por lo que los extremos de la superestructura no quedan a tope con las paredes verticales de la subestructura.

El objetivo primario de las juntas de expansión es permitir el movimiento de expansión y contracción de la superestructura; debido, principalmente, al efecto de los cambios de temperatura.

Cuando la temperatura del aire cambia, la superestructura cambia un poco su longitud. Es común que un puente de 50 metros de largo cambie su longitud en unos 25 mm. (cerca de 1 pulgada). En áreas con cambios de temperatura extremos, como en los desiertos o en las montañas, el cambio de longitud (o expansión) será mayor.

Si la superestructura está montada en forma muy ajustada entre ambos estribos, estos se dañarán cuando cambie su longitud. En todos los puentes grandes, la superestructura se apoya en soportes del peso de la superestructura los cuales permiten que se mueva un poco.

En Guatemala las juntas de expansión de los puentes se construyen con una abertura de junta de 5 cm. Debe tenerse en cuenta que si la superestructura es libre de moverse en ambos extremos; ésta podría caerse al igual que los apoyos. Para evitar esto, comúnmente, la superestructura se fija en uno de sus extremos.

Es decir, en algunos casos la superestructura de un puente está apoyada sobre la subestructura por medio de un apoyo fijo colocado en uno de sus extremos, y de un apoyo móvil en el otro extremo. En otros casos, la superestructura está apoyada sobre placas de caucho (neopreno), que pueden ser iguales en ambos extremos de la superestructura, en cuyo caso ésta puede tener movimiento horizontal en sus dos extremos.

Muchos puentes modernos tienen apoyos de neopreno. En Guatemala son usadas las placas de neopreno como sistema de apoyos de la superestructura.

Las juntas de expansión pueden ser clasificadas como fijas o móviles, dependiendo de el tipo de movimiento que acomodan. Una junta de expansión fija (en un apoyo fijo de la superestructura) solo acomoda el movimiento de rotación de la superestructura producido por la flexión de ésta bajo la acción de las cargas, mientras que una junta de expansión móvil (en un apoyo móvil de la superestructura) acomoda movimientos longitudinales, de expansión o contracción y de rotación.

# **1. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL MOVIMIENTO DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN PUENTE**

Los materiales que componen una estructura sufren cambios en sus dimensiones debido a acciones tales como las variaciones en la temperatura. Estos cambios volumétricos producen movimientos relativos entre los diversos puntos de la estructura.

Los efectos de la temperatura son generales en todas las estructuras aunque unos materiales son más sensibles a ellos que otros. Se conoce que la temperatura de una masa, en este caso la superestructura de concreto de un puente, es influida por un número de factores algo complejos, tales como la radiación solar, temperatura ambiente del aire, velocidad del viento, grado de exposición, conductividad térmica, condiciones de las superficies.

Los movimientos de la superestructura debido a la acción térmica dependen del material de que se constituye (lo cual determina el coeficiente de expansión térmica), su longitud, geometría, y el rango de cambios cíclicos diurnos y estacionarios.

## **1.1 Variación de la temperatura con el tiempo**

Los puentes son estructuras que están sujetas a una compleja exposición ambiental que cambia con el tiempo. La temperatura del aire en el ambiente y la radiación solar siguen dos ciclos: el diario y el anual.

Durante el ciclo anual la temperatura cambia según sea la posición de la tierra y la distancia de esta al sol. Del ciclo anual dependen los movimientos de expansión y contracción de la superestructura.

En el ciclo diario la temperatura mínima en el ambiente generalmente ocurre antes de la salida del sol, después la temperatura se incrementa hasta llegar a su valor máximo al mediodía. La tendencia general de la temperatura durante el ciclo diario puede ser alterada por el grado de nubosidad, la precipitación y por las corrientes de viento.

## **1.2 Gradiente vertical de temperatura**

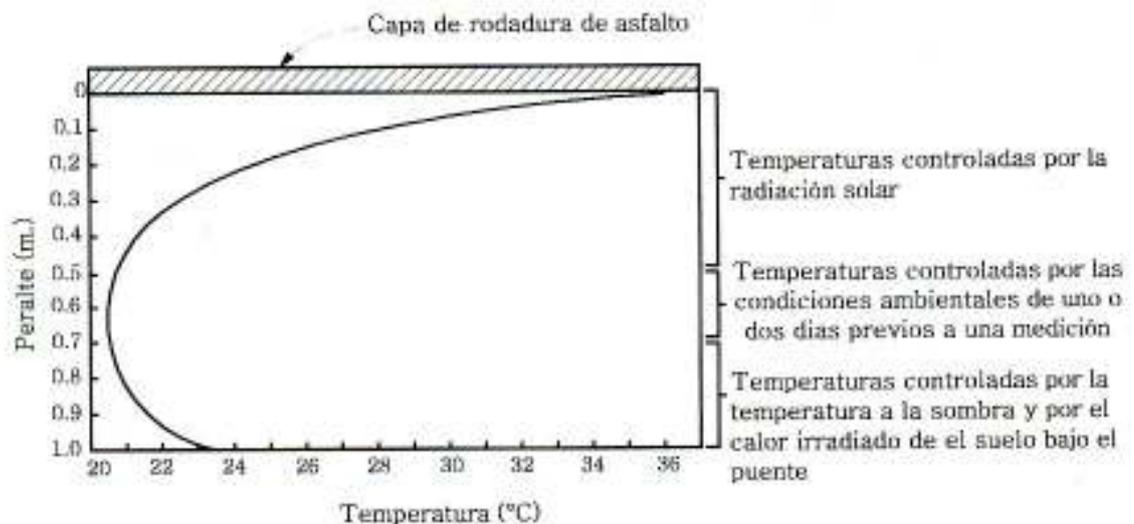
Hay situaciones cuando existe un gradiente de temperatura a través de la sección de una estructura, es decir, las caras de la estructura están sujetas a temperaturas distintas, y el interior de la sección tiene una variación de temperatura que puede suponerse lineal entre uno y otro valor.

En el caso de un puente, durante las horas del día, cuando la superestructura está expuesta al sol, especialmente durante los meses de verano, se produce absorción de energía calorífica a través del espesor de la superestructura, como resultado principalmente de la acción de la radiación solar sobre las superficies de la misma. En forma inversa, durante la noche se pierde la energía calorífica almacenada en la superestructura, debido a la re-radiación al medio ambiente.

Debido a la baja conductividad térmica del concreto, estas variaciones diarias producen cambios de temperatura a través del espesor de la superestructura de concreto, es decir, la temperatura en la superestructura varía a diferentes profundidades de su espesor. Este efecto se conoce como gradiente vertical de temperatura y puede ser positivo o negativo.

Durante el verano la temperatura en la superficie superior de la superestructura es mayor que en la superficie inferior, en este caso se tiene un gradiente positivo. Los gradientes positivos de temperatura se producen durante los días con alta radiación solar. Ver figura 1.

**Figura 1. Condiciones ambientales que controlan la forma de la distribución de la temperatura en la superestructura**



Fuente: **Bridge temperatures.** Pag. 42

El gradiente negativo de temperatura se da cuando la cara inferior de la superestructura tiene una temperatura mayor que la que tiene la cara superior, y se puede desarrollar cuando en la superestructura de un puente que ha obtenido una alta temperatura durante el día se produce una reducción en su temperatura a causa de una noche fría. Esta situación puede ocurrir durante las noches de invierno.

La diferencia de temperatura entre la parte superior y la parte inferior de la superestructura puede llegar a ser del orden de  $11^{\circ}\text{C}$ .

Además del efecto que tiene el gradiente vertical de temperatura en la simple expansión o contracción de la superestructura en el sentido longitudinal, la distribución no uniforme de temperatura a través del espesor de la superestructura produce flexión o alabeo en la misma, así como una pequeña rotación en sus extremos, es decir, en las juntas. Este movimiento de rotación puede ser despreciado para propósitos de cálculo de movimiento en las juntas ya que su magnitud no es grande.

### **1.3 Temperatura efectiva**

Al determinar la temperatura de la superestructura de un puente se considera una temperatura promedio de ésta ya que la temperatura es variable a través de su estructura debido al gradiente térmico que se da en la misma, como se mencionó.

El hecho de que la temperatura en la superestructura de concreto de un puente no es uniforme a través de su masa, complica la determinación exacta del efecto de los cambios de la temperatura ambiente. El problema básico es establecer la temperatura promedio o efectiva de la superestructura. La temperatura efectiva controla el comportamiento térmico de ésta.

Las temperaturas efectivas de la superestructura están asociadas con los movimientos de ésta a largo plazo (según las estaciones del año). Emerson define la temperatura efectiva de un puente como la temperatura que gobierna el movimiento longitudinal de la superestructura.

#### **1.4 Rango de temperatura**

Todos los puentes están sometidos a movimientos producidos por la variación de temperatura, por lo que deben ser diseñados para acomodar estos movimientos, es necesario un criterio para determinar las temperaturas mínima y máxima que se pueden esperar en un puente.

Las diferencias de temperatura que deben usarse en el cálculo de la deformación por temperatura son las que sufre la superestructura del puente, las cuales no necesariamente son las mismas que las del ambiente. En algunos materiales, como el concreto, el calor se transmite muy lentamente, de manera que pueden necesitarse semanas o meses para que una temperatura exterior se transmita al interior de la estructura. Por tanto, las temperaturas extremas del ambiente no llegan a afectar el interior.

Otro aspecto que influye en la magnitud de los cambios de temperatura que puede experimentar una estructura es el grado de exposición y las características de la superficie.

En el caso de la superestructura de un puente todas o algunas caras de sus elementos están expuestas al efecto directo de los rayos solares y de la temperatura exterior. Esta última condición tiende a producir gradientes de temperatura, curvaturas y flexión en la superestructura.

La temperatura de estructuras expuestas a la intemperie depende en gran parte de su habilidad para reflejar los rayos solares. Algunos materiales como el acero alcanzan temperaturas muy superiores a la del ambiente por este efecto.

Además, los efectos de cambios de temperatura aumentan a medida que crece el tamaño de la estructura y dependen mucho de la forma de la misma.

El rango de cambios de temperatura a ser considerado en el diseño de un puente depende de las condiciones climáticas de la localidad donde el puente va a ser construido.

Las temperaturas de diseño se basan en datos meteorológicos. Sin embargo, el rango de cambios de temperatura que afecta a la superestructura de un puente no necesariamente coincide con el rango de cambios de la temperatura ambiente, como se mencionó.

Debido a que el concreto no es buen conductor de calor, usualmente hay una diferencia apreciable entre las temperaturas extremas máxima o mínima del aire y las temperaturas correspondientes presentes en el cuerpo de la estructura. La magnitud de esta diferencia depende de el tipo de superestructura; la masa de los miembros que componen la estructura; la duración de las temperaturas extremas; si los miembros están o no expuestos a la acción directa de los rayos solares.

De una manera rigurosa, debe partirse de una estimación de la temperatura ambiente esperada cuando se vaya a construir el puente, así como de la máxima y mínima temperaturas que pueden esperarse en la localidad, para determinar un valor conservador del aumento y disminución máximos que pueden presentarse en la temperatura ambiente durante la vida de la estructura.

Estas diferencias en la temperatura ambiente deben corregirse para que correspondan a diferencias en la temperatura de la superestructura, considerando los factores ya mencionados, tales como el grado de exposición de la estructura, la velocidad a la que puede transmitirse la temperatura en la superestructura, etc.

Para obviar cálculos complejos que requieren de datos casi siempre difíciles de obtener en forma confiable, los reglamentos admiten simplificaciones al proceso anterior. Algunos llegan a especificar directamente los incrementos y decrementos de la temperatura que deben considerarse en el diseño.

**Tabla I. Rangos de temperatura en puentes de concreto, según diversos códigos de diseño**

	TEMPERATURA EFECTIVA DE LA ESTRUCTURA	
	RANGO DE TEMPERATURA	VARIABLES QUE AFECTAN EL RANGO
Estados Unidos (AASHTO)	Según la localidad En general: <i>Ascenso</i> <i>Descenso</i> Moderado    16.7°C    22.2°C Frío          19.4°C    25.0°C	- Clima - Se considera diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de estructuras masivas - Tipo de estructura
Nueva Zelandia	Se especifica una variación de temperatura: <i>Ascenso</i> <i>Descenso</i> 20°C          20°C	- Ninguna
Inglaterra	Es variable Los extremos son: -14°C & 37°C	- Clima - Tipo de estructura - Carpeta asfáltica
Alemania	Mínima: -30°C Máxima: 20°C o 15°C si el espesor del elemento es mayor o igual a 70 cm.	- Tipo de estructura - Espesor del elemento
Canadá (Ontario)	5°C debajo de la temperatura mínima diaria promedio. 10°C arriba de la temperatura máxima diaria promedio.	- Tipo de estructura - Peralte de superestructura
Australia	Es variable Se usan 3 rangos: 0 a 50°C -5 a 50°C -10 a 40°C	- Clima - Tipo de superestructura
Italia	Se basa en la temperatura ambiente Expuesto: +/- 15°C No expuesto: +/- 10°C	- Datos de clima - Exposición
Dinamarca	Las temperaturas promedio de la estructura varían de -15 a 25°C	- Ninguno especificado

Fuente: Roy Imbsen. **Thermal effects in concrete bridge superstructures.** Pag. 21

La tabla I muestra las temperaturas de diseño recomendadas en códigos de diversos países. Un procedimiento más refinado y más racional para establecer el rango de temperatura es el propuesto por Imbsen. Este procedimiento se describe a continuación.

El rango de temperatura que afecta a un puente, se obtiene a partir de la temperatura ambiente máxima y de la temperatura ambiente mínima en la localidad del puente.

**Tabla II. Relación entre la temperatura normal diaria mínima en el ambiente, y la temperatura efectiva mínima de un puente**

TEMPERATURA NORMAL DIARIA MÍNIMA	TEMPERATURA EFECTIVA MÍNIMA DE UN PUENTE		
	TIPO DE SUPERESTRUCTURA		
	CONCRETO °C	COMPUESTA °C	SOLO ACERO °C
°C			
-12.2	- 7.2	-10.0	-15.0
- 9.4	- 5.6	- 8.3	-11.7
- 6.7	- 3.9	- 5.6	- 8.9
- 3.9	-1.7	- 3.3	- 5.6
- 1.1	0.0	- 0.6	- 2.8
1.7	1.7	2.2	0.6
4.4	3.3	4.4	3.3

Fuente: Roy Imbsen. **Thermal effects in concrete bridge superstructures.** Pag. 22

Los valores de las temperaturas efectivas mínima y máxima que se van a dar en la superestructura del puente dependen del tipo de su material de construcción y de las temperaturas ambiente normales máxima y mínima en la localidad del puente. Estos valores están dados en las tablas II y III.

**Tabla III. Relación entre la temperatura normal diaria máxima en el ambiente, y la temperatura efectiva máxima de un puente**

TEMPERATURA NORMAL DIARIA MÁXIMA	TEMPERATURA EFECTIVA MÁXIMA DE UN PUENTE		
	TIPO DE SUPERESTRUCTURA		
°C	CONCRETO °C	COMPUESTA °C	SOLO ACERO °C
12.8	18.9	21.1	32.8
15.6	20.6	23.3	34.4
18,3	22.8	26.1	36.1
21.1	25.0	28.3	38.3
23.9	26.7	31.1	40.0
26.7	28.9	33.9	41.7
29.4	31.1	35.6	43.3
32.2	33.3	37.2	44.4
35.0	35.0	38.9	46.1
37.8	36.7	40.0	46.7
40.6	38.3	41.0	47.8
43.3	40.6	41.7	48.9

Como incremento (o decremento) de temperatura en la superestructura se toma la diferencia entre la temperatura efectiva máxima y la temperatura efectiva mínima. Al obrar en esta forma se considera que la estructura puede ser construida en uno u otro de los meses de temperatura extrema y que, por tanto, el incremento máximo de temperatura al que puede enfrentarse es la máxima diferencia entre la temperatura efectiva.

Las deformaciones correspondientes a los rangos de temperatura determinados de la manera anterior son las debidas a las variaciones estacionales de la temperatura ya que los cambios volumétricos tienen efecto gradual en un período de tiempo; de varios meses.

#### **1.4.1 Rango de temperatura según Kozlov**

Kozlov realizó una investigación sobre la relación entre la temperatura ambiente y la temperatura efectiva en puentes. Según esta investigación, para propósitos de diseño puede asumirse como rango de temperatura efectiva de un puente el rango de temperatura ambiente de la localidad del mismo.

#### **1.5 Coeficiente de expansión térmica del concreto**

El coeficiente de expansión térmica del concreto depende grandemente de el tipo de agregado empleado y de las proporciones de la mezcla.

La pasta de cemento del concreto normal usualmente tiene un coeficiente de expansión térmica más alto que el del agregado de la mezcla, pero como el agregado ocupa alrededor del 75 por ciento del volumen, son las características térmicas del agregado las que determinan el cambio de volumen del concreto durante un cambio de temperatura dado.

Las variaciones en el coeficiente de expansión de una mezcla en particular dependen de la relación agua/cemento, método de curado, contenido de humedad y la edad del concreto.

**Tabla IV. Coeficiente de expansión térmica del concreto, según diversos códigos de diseño de puentes**

	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA
Estados Unidos (AASHTO)	Concreto normal: $0.000010.8/^{\circ}\text{C}$ Concreto liviano: depende del tipo de agregado
Inglaterra	Concreto normal: $0.000012/^{\circ}\text{C}$ Agregado calizo: $0.000006/^{\circ}\text{C}$
Alemania	No especificado
Canadá (Ontario)	Se asume que varía según el tipo de agregado y el método de curado
Australia	Concreto de peso normal: $0.000011/^{\circ}\text{C}$
Japón	Concreto reforzado: $0.000010/^{\circ}\text{C}$
Italia	$0.000010/^{\circ}\text{C}$
Francia	$0.000010/^{\circ}\text{C}$

Fuente: Roy Imbsen. **Thermal effects in concrete bridge superstructures.** Pag. 21

La mayoría de códigos especifican para el concreto reforzado un coeficiente térmico promedio de  $0.000011$  a  $0.000012/^{\circ}\text{C}$  (aproximadamente  $0.000006/^{\circ}\text{F}$ ). En la tabla IV se presentan valores de el coeficiente térmico del concreto.

Los agregados a menudo son complejos en cuanto al contenido mineral que poseen, además los minerales varían ampliamente en sus características térmicas. Como ejemplo de estas variaciones, se tiene que los minerales silíceos tales como el cuarzo tienen un coeficiente térmico de aproximadamente  $0.000012/^{\circ}\text{C}$ , mientras que la calcita, la cual está presente en muchas rocas calizas, tiene un coeficiente de  $0.000001$  a  $0.000005/^{\circ}\text{C}$ . Por lo tanto, el coeficiente de expansión térmica de las rocas que tienen un alto porcentaje de minerales silíceos es más alto que el de las que contienen un alto porcentaje de calcita.

Las rocas usualmente son agrupadas de acuerdo a su mineral primario. El mineral secundario puede variar en el tipo y cantidad, por consiguiente, una clase de roca puede tener diferentes coeficientes térmicos según sea el lugar de procedencia (según la región del país de donde se extraiga, o según el país de origen, en un sentido más amplio).

Debido al amplio rango de variación de las características térmicas de los agregados, y a la variedad de factores que afectan al coeficiente térmico del concreto, es difícil determinar con un alto grado de precisión el valor real de el coeficiente térmico de un concreto, sin efectuar extensas pruebas de laboratorio.

Imbsen recomienda que el coeficiente de expansión térmica usado para determinar los efectos de la temperatura en puentes, se base en el tipo de agregado empleado en el concreto.

En Gran Bretaña, el código de diseño de puentes respectivo especifica que para propósitos de cálculo de movimiento en puentes, se puede usar un coeficiente térmico de  $0.000007/^\circ\text{C}$  cuando en el concreto empleado se utiliza agregado de roca caliza. En nuestro medio es común el uso de roca caliza como agregado del concreto. En la tabla V están dados algunos valores de el coeficiente térmico del concreto según el tipo de agregado utilizado.

**Tabla V. Coeficiente de expansión térmica del concreto basado en el tipo de agregado (basado en el agregado fino y grueso)**

TIPO DE AGREGADO	COEFICIENTE TÉRMICO DEL CONCRETO ( $0.000001 \times ^\circ\text{C}$ )
Grava	12.4
Cuarzo	11.5
Granito	9.5
Basalto	9.0
Caliza	7.2

Fuente: Roy Imbsen. **Thermal effects in concrete bridge superstructures.** Pag. 27

## **1.6 Temperatura inicial de un puente**

En algunos casos puede ser necesario determinar la temperatura de la superestructura de un puente; por ejemplo, para establecer las dimensiones de la abertura de las juntas al construir el puente o para instalar ciertos tipos de juntas.

Como se conoce, las fluctuaciones en la temperatura efectiva de un puente producen la expansión y contracción de la superestructura, por lo que se da un movimiento horizontal de ésta en las juntas de expansión. La magnitud de estos movimientos depende de el rango de variación de la temperatura efectiva y de la temperatura inicial que tiene la superestructura después de ser construida, es decir, los incrementos (o decrementos) de temperatura de la misma se deben determinar con respecto a su temperatura inicial o sea la que tiene al ser construida.

Para que los diseñadores de puentes establezcan la magnitud del movimiento de expansión y contracción que puede esperarse en un puente a ser construido, es necesario asumir el valor de temperatura efectiva que va a tener el puente al terminar su construcción. A este valor asumido puede hacerse correcciones posteriormente, si la temperatura real existente en el puente durante la construcción es diferente al valor asumido.

El Código BE 3/72 indica que para propósitos de instalación de juntas, la temperatura de un puente es aproximadamente igual a la temperatura ambiente a la sombra en los siguientes casos :

- i) en puentes con superestructura de concreto o de construcción compuesta acero – concreto, de 8 a.m. a 10 a.m. cada día.
- ii) en puentes con superestructura de acero, de 4 a.m. a 6 a.m. en los días de verano, y a cualquier hora en los días de invierno exceptuándose los días en que hay noches muy frías o los días de mucho calor.

Emerson desarrolló un método para calcular la temperatura de un puente relacionando la temperatura efectiva del puente con las temperaturas ambiente extremas a la sombra de los dos días anteriores a un día dado, que puede ser el día que se haga la instalación de las juntas.

Aunque este método fue desarrollado para las condiciones de Gran Bretaña, puede ser empleado como un método aproximado en otros países. Debido a la extensión que tiene el desarrollo de dicho método, éste no se incluye en el presente trabajo, pero puede ser consultado en la bibliografía respectiva.

Manning indica que un método más simple que el de Emerson es tomar como temperatura efectiva o de instalación la temperatura a la sombra promedio de las 48 horas anteriores a la instalación, en el caso de estructuras de concreto, y la temperatura a la sombra promedio de las 24 horas previas, cuando se trata de estructuras de construcción compuesta (vigas de acero y losa de concreto).

La diferencia en el tiempo considerado para los dos casos anteriores es debido a que el concreto no es un buen conductor del calor por lo que los cambios en la temperatura efectiva se producen más rápidamente en el acero que en el concreto. Manning manifiesta que se ha comprobado que este es un método adecuado.

El código BE 6 indica que cuando se instalan las juntas; medir la temperatura ambiente a la sombra bajo la superestructura de un puente, o en el caso de un puente de tipo cajón, medir en el interior, indica la temperatura promedio del puente, con una aproximación de  $\pm 5^{\circ}$ . (El código BE 6 referente a juntas de expansión de puentes, fue actualizado y sustituido por el código BE 3/72, en Gran Bretaña).

### **1.7 Temperatura en el barandal**

Debido a la exposición directa a los rayos solares, los barandales de un puente están sometidos a cambios apreciables de temperatura, mayores a los que se producen en el resto de la superestructura. Es obvio que el rango de cambios de temperatura que afecta a los barandales y otros miembros similarmente expuestos es bastante mayor que el de las vigas de concreto bajo la superestructura de un puente; por esto es importante acomodar adecuadamente la expansión y contracción del barandal.

En estructuras soportadas simplemente deben haber juntas de expansión en los barandales no solamente donde se encuentran las juntas de expansión de la superestructura, sino también en uno o más puntos intermedios de ésta.

En los barandales de concreto puede asumirse un rango de cambios de temperatura un cincuenta por ciento mayor que el rango de temperatura de las superestructuras de concreto.



## **2. OTROS MOVIMIENTOS QUE AFECTAN A LAS JUNTAS**

### **2.1 Contracción por secado del concreto**

Algunos materiales cambian significativamente de volumen al ser sujetos a variaciones de humedad, entre estos materiales está el concreto. En el concreto son muy importantes las contracciones que sufre al secarse durante el proceso de fraguado. La magnitud de estas contracciones depende de diversos factores, especialmente la cantidad de agua en la mezcla, forma de curado, humedad del ambiente, cantidad de refuerzo, tipo de cemento, clase de agregado, y el tamaño de la superestructura en el caso de un puente.

La magnitud de la contracción por secado es determinada principalmente por el contenido unitario de agua del concreto fresco. El medio más efectivo de reducir la contracción por secado es disminuir el contenido de agua del concreto fresco al mínimo compatible con la trabajabilidad requerida. Además, un curado prolongado y cuidadoso es beneficioso para el control de la contracción por secado.

Hay varios criterios para calcular la magnitud de la contracción por secado. Según Meli, son valores recomendables de deformación unitaria  $2 \times 10^{-4}$  en regiones relativamente húmedas y  $4 \times 10^{-4}$  en zonas de climas muy secos.

Según mediciones efectuadas por Tyler, la deformación unitaria debida a la contracción por secado es del orden de  $200 \times 10^{-6}$  en los puentes más pequeños, y ésta disminuye al aumentar el tamaño de los puentes (dependiendo de las dimensiones de la sección transversal de la superestructura).

Algunas veces, por simplicidad de cálculo, el movimiento debido a la contracción por secado es tratado como un rango negativo de temperatura. Las especificaciones correspondientes del Japón establecen que la deformación debida a la contracción por secado en un puente de concreto puede ser calculada como la deformación equivalente a un descenso de temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ .

Asimismo, según las normas japonesas, se puede asumir que la deformación unitaria debida a la contracción por secado es la misma en una superestructura preesforzada que en una reforzada.

La magnitud de la contracción por secado es apreciablemente menor que la debida al flujo plástico. Los efectos de la contracción por secado son similares a los efectos de los cambios de temperatura y pueden ser tratados en la misma forma, es decir, las deformaciones de contracción por secado deben sumarse a las deformaciones de contracción por temperatura.

## **2.2 Deformación elástica**

Cuando el concreto es sometido a una carga permanente, inicialmente tiene una deformación elástica, cuya magnitud es proporcional a la carga aplicada y a la elasticidad del concreto.

El acortamiento elástico de la superestructura de un puente de concreto preesforzado ocurre durante el proceso de aplicación del preesfuerzo. La magnitud de este acortamiento depende de la etapa en que se aplica el preesfuerzo, es decir, la deformación elástica depende de la edad que tiene el concreto al aplicarle el preesfuerzo, ya que el módulo elástico del concreto varía según la edad del mismo.

Con frecuencia, a las vigas de la superestructura se les aplica el preesfuerzo en forma parcial o completa antes de hacerse el montaje, por lo que en este caso el acortamiento elástico ya no se produce al estar la superestructura en su posición final.

## **2.3 Fluencia**

La fluencia del concreto debido al preesfuerzo u otras fuerzas debe tenerse en cuenta para el cálculo de la abertura requerida de una junta, y ésta produce un acortamiento de la superestructura. La fluencia es un fenómeno que consiste en que en el concreto sometido a carga constante se incrementa la deformación con el transcurso del tiempo.

Es decir, cuando el concreto es sometido a una carga permanente, inicialmente experimenta una deformación elástica instantánea, como ya se mencionó. Al permanecer aplicada la carga, la deformación continua incrementándose con el transcurso del tiempo. Este incremento de deformación adicional a la deformación elástica, debido a una carga permanente, se denomina fluencia o flujo plástico.

El acortamiento causado por la fluencia del concreto puede ser varias veces el acortamiento elástico inicial. La magnitud final de la deformación por fluencia es de una a tres veces la magnitud de la deformación elástica, dependiendo de las condiciones del concreto.

El factor de fluencia se define como la relación entre la deformación total producida por la fluencia y la deformación elástica. Este factor se emplea para el cálculo del movimiento en las juntas de expansión por fluencia del concreto.

En las estructuras preesforzadas, en las cuales la fuerza de preesfuerzo no es constante debido a las pérdidas, que son graduales, el factor de fluencia es aproximadamente 2.0 . Un valor del coeficiente de fluencia de 1.5 a 2.0 da resultados satisfactorios bajo la mayoría de condiciones. Las especificaciones correspondientes del Japón establecen un coeficiente de fluencia de 2.0 . Estas especificaciones asumen que en las superestructuras de concreto reforzado no se produce movimiento longitudinal por fluencia.

Por simplificación, la fluencia también puede ser tratada como un rango negativo de temperatura.

La contracción por secado y fluencia del concreto son procesos irreversibles, y el efecto de ambas es acortar la superestructura. La magnitud de su efecto combinado no sólo es difícil de cuantificar, sino que es diferente para cada puente.

La deformación por fluencia solo puede determinarse en forma indirecta deduciendo de la deformación total la elástica y la contracción por secado.

La fluencia está estrechamente relacionada a la contracción por secado; como regla general un concreto que es resistente a la contracción por secado también presenta una baja tendencia a la fluencia.

La fluencia depende de muchas variables, es influida por la composición del concreto, las condiciones ambientales, el tamaño de la superestructura, la magnitud del esfuerzo aplicado y principalmente por el tiempo transcurrido después de la aplicación de la carga.

#### **2.4 Variación de la contracción por secado y fluencia con el transcurso del tiempo**

La magnitud del acortamiento de la superestructura producido por la contracción por secado y fluencia depende del tiempo transcurrido después de la fundición del concreto. La contracción por secado y fluencia disminuyen con el transcurso del tiempo.

El acortamiento debido a la contracción por secado y fluencia del concreto puede ser mayor que el causado por los efectos térmicos y debe ser considerado, aunque este movimiento esté virtualmente concluido después de dos a tres años de construida la superestructura.

La mayoría de la contracción por secado y fluencia ocurre durante los primeros seis meses transcurridos después de terminarse la construcción de la superestructura. Se puede asumir que la mitad del movimiento total debido a la contracción por secado y fluencia se produce durante el primer mes, después de construida la superestructura, y tres cuartas partes en los primeros seis meses.

Usualmente, las juntas de expansión son instaladas después de que se ha producido una parte de la contracción por secado y fluencia totales, por lo que si se puede conocer previamente cuándo van a ser instaladas las juntas de expansión, el código BE 6 recomienda tomar en consideración la parte de contracción por secado y fluencia que falta de producirse. En tal caso, la magnitud de el acortamiento faltante es fácilmente obtenida multiplicando la magnitud total de la contracción por secado y fluencia por el coeficiente de decrecimiento. Este coeficiente se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla VI. Variación del coeficiente de decrecimiento con el transcurso del tiempo**

Edad del concreto (meses)	0.25	0.50	1	3	6	12	24
Coeficiente de decrecimiento ( $\beta$ )	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1

Fuente: **Design of Expansion Joints**. Pag. 12

Cuando se efectúa la instalación de una junta de expansión entre la cortina del estribo y una superestructura fundida en el lugar, generalmente ha transcurrido, por lo menos, un mes después de la fundición de la superestructura, por lo que para propósitos de diseño puede asumirse que se ha producido un cincuenta por ciento del movimiento total debido a la contracción por secado y fluencia.

Generalmente, es mejor construir la cortina del estribo después de la superestructura, de manera que al construir la cortina ya se haya producido una parte de la contracción inicial de la superestructura. El código BE 3/72 recomienda que “si es conveniente, el ancho de una abertura de expansión debe ser establecido cuando se haya producido la mayor parte de la contracción por secado y fluencia”.

En el caso de estructuras prefabricadas, al estimar la magnitud de el movimiento a producirse en una junta de expansión, sólo debe considerarse las deformaciones que se van a producir después de efectuar el montaje de la superestructura en su posición final. De modo que si se utiliza elementos prefabricados en la superestructura, las deformaciones que ocurren en las vigas antes de su montaje deben ser descontadas, proporcionalmente, al período de tiempo transcurrido después de la fundición de éstas.

## **2.5 Movimiento de rotación**

El Código BE 3/72 indica que es de particular importancia considerar los efectos del movimiento de rotación en el diseño de las juntas de expansión de puentes.

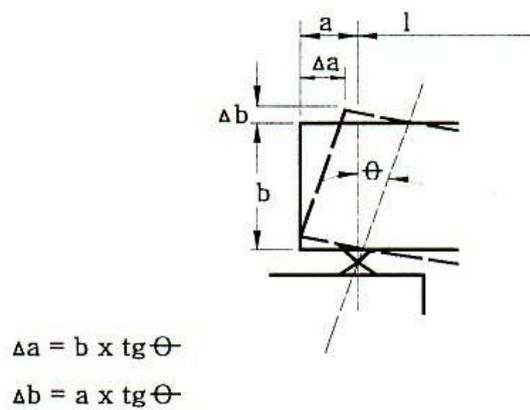
Debido a la flexión de las vigas longitudinales de la superestructura de un puente, bajo la acción de las cargas, se produce la rotación de los extremos de las vigas dándose un movimiento longitudinal de contracción al nivel de la superficie de rodadura y un movimiento longitudinal de expansión al nivel de los apoyos.

Cuando la superestructura está simplemente soportada sobre la subestructura y tiene un apoyo fijo en uno de sus extremos, la junta sobre dicho apoyo se considera como fija al no tener movimiento de expansión, sin embargo no es fija respecto a la rotación ya que sí se puede producir este movimiento en ella.

Como el dispositivo de junta está colocado al nivel de la superficie de rodadura, su posición no coincide con el eje neutro de flexión de las vigas longitudinales de la superestructura, por lo que se da el movimiento de rotación en la junta.

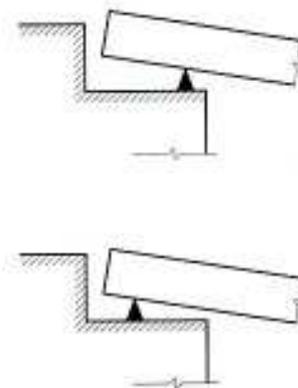
Si en la junta no se acomoda apropiadamente el movimiento de rotación, es común que haya filtración de agua y se produzca el deterioro en la misma.

**Figura 2. Magnitud de la deformación vertical y horizontal debido al movimiento de rotación en el extremo de la superestructura**



Fuente: **Design of expansion joints.** Pag. 14

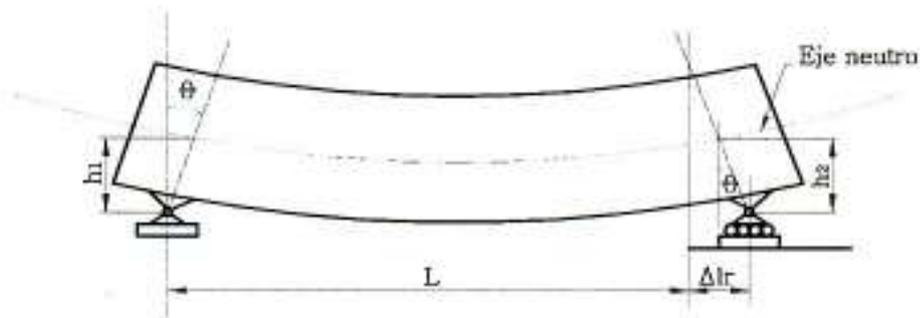
**Figura 3. Efecto de la posición del apoyo de la superestructura**



Fuente: **Joint sealing and bearing systems for concrete structures.** Pag. 306

La magnitud del movimiento de expansión en el apoyo móvil de las vigas, debido a la flexión, puede ser calculado a partir del ángulo de rotación de los extremos de las vigas. Ver figura 4.

**Figura 4. Magnitud del movimiento debido a la deflexión de las vigas**



$\theta$  : Ángulo de rotación de la viga en los apoyos.

$h_1$  : Distancia de el eje neutro de la viga al centro de rotación de los apoyos.

Magnitud de el movimiento horizontal debido a la flexión de las vigas:  
 $\Delta lr = h_1 \times \text{tg } \theta + h_2 \times \text{tg } \theta$

Fuente: **Specifications for highway bridges.** Pag. 116

En la figura 4 puede asumirse que  $h$  es  $2/3$  de la altura de las vigas.

**Tabla VII. Relación entre la deflexión y el ángulo de rotación en el extremo de una viga**

$l/\delta$	400	500	600	700	800	900	1000
$\theta$ (rad)	1/100	1/125	1/150	1/175	1/200	1/225	1/250

$l/\delta$	1500	2000
$\theta$ (rad)	1/375	1/500

donde:

$l$  = longitud de la luz

$\delta$  = deflexión al centro de la luz

$\theta$  = ángulo de rotación en el extremo de la viga

El ángulo  $\theta$  está calculado asumiendo que la viga es del tipo simplemente soportada y que la curva de deflexión tiene la forma de una parábola.

Fuente: **Design of Expansion Joints**. Pag. 13

En el caso de una superestructura simplemente soportada, debe prestarse atención a que en el apoyo móvil la magnitud del movimiento de expansión se duplica ya que el movimiento se incrementa debido a la rotación que tiene la superestructura en el apoyo fijo, además de la rotación que tiene en el apoyo móvil.

Como se mencionó, la flexión de la superestructura produce un movimiento de contracción al nivel de la superficie de rodadura; debe notarse que este movimiento, en el extremo de la superestructura que está sobre el apoyo móvil, es menor que el que se da en el extremo que está sobre el apoyo fijo, debido a que en el extremo sobre el apoyo móvil el movimiento de rotación se da alrededor del eje neutro de la superestructura.

En el extremo sobre el apoyo fijo el centro de rotación se produce a un nivel más bajo, al nivel del apoyo fijo.

El movimiento de rotación produce la abertura de las juntas al nivel de la superficie de rodadura y es importante considerarlo cuando sobre la superestructura se coloca una capa de asfalto como superficie de rodadura y en forma continua sobre las juntas, ya que al abrirse las mismas se genera un esfuerzo de tensión en la capa de asfalto. El movimiento de rotación se trata en el inciso correspondiente del capítulo de juntas ahogadas.

Según el código BE 3/72, en las superestructuras cuya estructura está formada por miembros de acero, el movimiento de rotación de los extremos de la superestructura, debido a la flexión producida por la carga viva, puede ser mayor que el movimiento debido a la acción de la temperatura.

En el caso de superestructuras con voladizos, en el extremo de los mismos se da además un movimiento vertical indeseable asociado con la rotación.

## **2.6 Movimientos de la subestructura**

Las cimentaciones de puentes son susceptibles de tener movimientos en los casos en que son construídas sobre suelos que no están formados por roca o estratos bien cementados.

Los estribos pueden tener movimiento horizontal, además de asentamiento vertical. Estos movimientos no siempre son uniformes. Los movimientos horizontales pueden darse debido a la presión del material de relleno o como resultado de condiciones irregulares de cimentación.

El desplazamiento horizontal o vertical de la cimentación produce el movimiento relativo de los estribos con respecto a la superestructura. Usualmente, es difícil establecer en una inspección de campo si en un estribo ha habido movimiento.

En el caso de superestructuras provistas de un apoyo fijo y un apoyo móvil, la única evidencia de movimiento que puede tenerse se da en el apoyo móvil, y se evidencia sólo el movimiento combinado de ambos estribos.

El movimiento horizontal de los estribos puede ser hacia adelante o hacia atrás; el movimiento más común es, hacia adelante, aproximándose a la superestructura. El asentamiento en el relleno de los accesos de un puente (aprosches) puede ser indicativo de que los estribos se están moviendo uno hacia el otro.

Además, algunas veces el desplazamiento consiste en un movimiento de giro, es decir, se produce movimiento en la parte superior del estribo y permanece inmóvil su parte inferior.

## **2.6.1 Investigación de Moulton sobre movimientos en puentes**

Moulton realizó una investigación sobre movimientos en puentes de Estados Unidos y Canadá según la cual se determinó que un considerable número de puentes de carretera había tenido movimiento vertical y horizontal en la subestructura. En esta investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones.

### **2.6.1.1 Movimientos en estribos**

En muchos casos los estribos se movieron horizontalmente hacia la superestructura, se cerraron las juntas de expansión, y el movimiento cesó hasta que la cortina del estribo topó con la superestructura.

El movimiento horizontal promedio de los estribos fue de 83.8 mm.

El movimiento vertical promedio de los estribos fue de 154.9 mm.

En los estribos cimentados sobre pilotes el movimiento horizontal es mayor que en los estribos cimentados con zapatas.

En los estribos cimentados con zapatas el movimiento vertical es algo mayor que en los estribos cimentados sobre pilotes.

En los estribos es más frecuente el movimiento vertical que el horizontal.

La magnitud y frecuencia de los movimientos verticales se incrementa al ser mayor la altura del relleno de los accesos.

### **2.6.1.2 Movimientos en pilas**

El movimiento horizontal promedio de las pilas fue 101.6 mm.

El movimiento vertical promedio en las pilas fue 63.5 mm.

En las pilas el movimiento horizontal es de mayor magnitud que el vertical.

En las pilas cimentadas con zapatas el movimiento vertical tiende a ser mayor que en las pilas cimentadas sobre pilotes.

La magnitud del movimiento horizontal de las pilas es mayor que la de los estribos.

La magnitud de los movimientos verticales en las pilas es considerablemente menor que en los estribos.

Las pilas se mueven con menor frecuencia que los estribos.

En general, aunque la frecuencia de los movimientos verticales fue considerablemente mayor que la de los movimientos horizontales, tanto en los estribos como en las pilas, los movimientos horizontales (especialmente de los estribos) causaron mayor daño a la superestructura de los puentes.

## **2.7 Movimiento vertical en los apoyos de la superestructura**

Cuando la superestructura está soportada por apoyos de tipo flexible (de caucho) debido a la deformación de éstos, bajo la acción de las cargas, se produce un movimiento vertical en las juntas, como se indica en el inciso de construcción del capítulo 5, y en el inciso respectivo del capítulo 6.

## **2.8 Movimiento lateral**

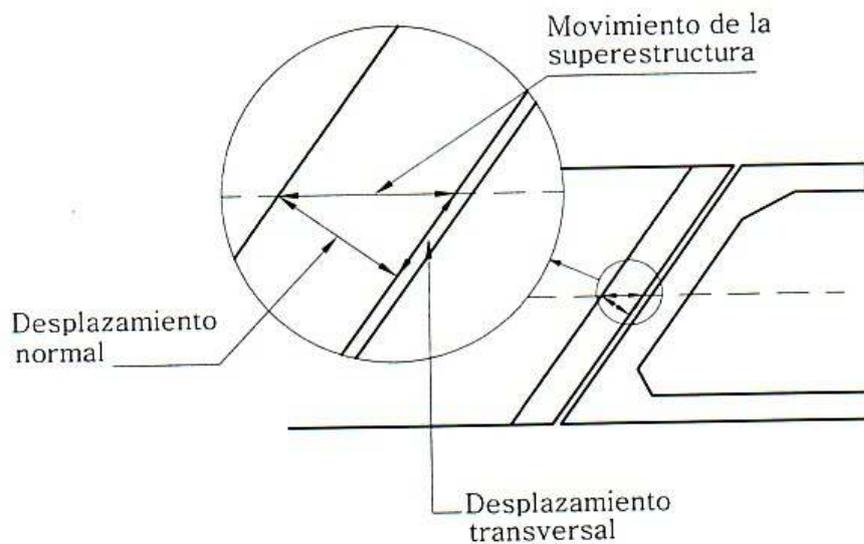
En algunos puentes que son pasos a desnivel grandes y esviados las superestructuras son muy anchas, por lo que es necesario tomar en consideración el movimiento transversal por temperatura. El código BE 3/72 indica que en puentes muy anchos puede ser significativo el movimiento de expansión lateral diferencial entre la superestructura y la subestructura, a las cuales están anclados cada uno de los lados de la junta.

Asímismo, en este caso el código BE 3/72 establece que se use la mitad del gradiente de temperatura dentro de la estructura. Es decir, con el objeto de estimar la expansión lateral de la superestructura respecto a el estribo o pila se puede tomar los siguientes rangos de temperatura diferencial:

Para losas de concreto sobre vigas de acero	8°
Para losas y vigas de concreto	8°
Para armaduras de acero	10°

Los puentes que están en curva o esviados tienen dos componentes de movimiento en las juntas, una componente paralela a la línea central longitudinal de la superestructura y una componente transversal perpendicular a la dirección longitudinal, como se muestra en la figura 5. La componente perpendicular puede causar serios problemas en algunos tipos de juntas, tales como las juntas de dedos.

**Figura 5. Desplazamiento normal y transversal en una junta con esviaje**



Fuente: **Joint sealing and bearing systems for concrete structures.** Pag. 307

El código BE 3/72 indica que en los puentes en curva o con esviaje es posible que se produzca el movimiento transversal de la superestructura respecto a sus apoyos, como resultado de el movimiento longitudinal repetido de expansión y contracción. Este movimiento debe ser evitado por medio de topes laterales o guías que pueden ser incorporados al sistema de apoyos de la superestructura.

### 3. ESTIMACIÓN DE LA MAGNITUD DEL MOVIMIENTO QUE SE PRODUCE EN LAS JUNTAS

La magnitud del movimiento en una junta de expansión se determina según los factores mencionados en los capítulos 1 y 2. Usualmente los movimientos más significativos son los debidos a los cambios de temperatura y los resultantes de la fluencia y contracción por secado del concreto.

#### 3.1 Movimiento producido por los cambios de temperatura

Al haberse determinado el rango de temperatura que afecta a un puente (según las temperaturas máxima y mínima efectivas), la elongación y contracción longitudinal de la superestructura producidas por los cambios de temperatura se calcula en base a la temperatura que tiene la misma cuando se efectúa la instalación de las juntas.

**Magnitud del movimiento total debido a los cambios de temperatura:**

$$\Delta l_t = (T_{\max} - T_{\min})\alpha l$$

**Magnitud de la elongación producida por el incremento de temperatura:**

$$\Delta l_{t+} = (T_{\max} - T_{\text{inst}})\alpha l$$

**Magnitud de la contracción debido al decrecimiento de temperatura:**

$$\Delta l_{t-} = (T_{\text{inst}} - T_{\min})\alpha l$$

donde:

$T_{max}$  = temperatura máxima (efectiva)

$T_{min}$  = temperatura mínima (efectiva)

$T_{inst}$  = temperatura de la superestructura cuando se efectúa la instalación de las juntas

$\alpha$  = coeficiente de expansión térmica

$l$  = longitud de la superestructura

### 3.2 Contracción por secado del concreto

#### **Deformación unitaria debido a la contracción por secado:**

Se puede asumir  $\epsilon_s = 200 \times 10^{-6}$

#### **Magnitud de la contracción total por secado:**

$$\Delta l_s = \epsilon_s l = 200 \times 10^{-6} l$$

#### **Magnitud de la contracción parcial por secado:**

$$\Delta l_s = \epsilon_s l \beta = 200 \times 10^{-6} l \beta$$

donde:

$\epsilon_s$  = deformación unitaria debido a la contracción por secado

$l$  = longitud de la superestructura

$\beta$  = coeficiente de decrecimiento de la contracción por secado (ver Tabla VI)

### 3.3 Contracción por fluencia del concreto

**Factor de fluencia:**

Se puede asumir  $\psi = 2$

**Deformación elástica unitaria:**

$$\varepsilon_e = \sigma / E$$

**Deformación unitaria debido a la fluencia:**

$$\varepsilon_c = \psi \varepsilon_e = 2 \sigma / E$$

**Magnitud de la contracción total por fluencia:**

$$\Delta l_c = \varepsilon_c l = 2(\sigma / E) l$$

**Magnitud de la contracción parcial por fluencia:**

$$\Delta l_c = \varepsilon_c l \beta = 2(\sigma / E) l \beta$$

donde:

$\sigma$  = esfuerzo en el concreto debido al preesfuerzo, etc.

$E$  = módulo elástico del concreto

$l$  = longitud de la superestructura

$\beta$  = coeficiente de decrecimiento de fluencia (ver Tabla VI)

$\psi$  = factor de fluencia

$\varepsilon_c$  = deformación unitaria debido a la fluencia

### **3.4 Métodos simplificados para estimar la magnitud del movimiento**

#### **3.4.1 Método utilizado en Japón**

La estimación de la magnitud del movimiento en una junta puede hacerse de acuerdo a condiciones exactas. Sin embargo, el cálculo es algo complicado debido a la dificultad de calcular cuantitativamente la variabilidad de los factores que afectan las condiciones del ambiente y de los materiales. En Japón se desarrolló un método simplificado para calcular la magnitud del movimiento en una junta el cual es utilizado en dicho país con frecuencia en el diseño usual.

El método consiste en la aplicación de la siguiente tabla. En esta tabla se considera un movimiento adicional correspondiente al movimiento resultante de un 10 % del rango de temperatura para tomar en cuenta, en forma simplificada, el movimiento debido a factores tales como la rotación de los extremos de la superestructura.

**Tabla VIII. Magnitud de el rango de movimiento en una junta de expansión**

unidades en mm.

Tipo de puente	Superestructura con vigas de acero	Superestructura de concreto reforzado	Superestructura de concreto preesforzado
Rango de cambio de temperatura	-10° C a +40° C	-5° C a +35° C	-5° C a +35° C
Magnitud del movimiento			
Por cambio de temperatura	0.6 L	0.4 L	0.4 L
Por contracción de secado	-	0.2 L β	0.2 L β
Por fluencia	-	-	0.4 L β *
Magnitud adicional	0.06 L	0.04 L	0.04 L
Movimiento total	0.66 L	(0.44+0.2 β) L	(0.44+0.6 β) L

Fuente: **Design of Expansion Joints**. Pag. 17

donde:

L = longitud de la superestructura (en mts.)

β = coeficiente de decrecimiento de la contracción por secado y fluencia

\* magnitud de la contracción de la superestructura por fluencia:

$$\begin{aligned} \Delta l_c &= (\sigma / E) \psi L \beta \\ &= (60/300,000) 2 L 1000 \beta \\ &= 0.4 L \beta \end{aligned}$$

### 3.4.2 Método del estado de Colorado (E.E.U.U.)

Otro método simplificado para estimar la magnitud del movimiento en las juntas es el desarrollado por el Departamento de Transportes de Colorado, el cual consiste en el siguiente procedimiento:

1. Determinar la porción de la longitud total de la superestructura que contribuye al movimiento en la junta bajo consideración.
2. Para superestructuras de acero, tomar un rango de temperatura de 150° (Fahrenheit), y un coeficiente de expansión térmica de 0.0000065 / °F.  
Para superestructuras de concreto, tomar un rango de temperatura de 90° (Fahrenheit), y un coeficiente de expansión térmica de 0.000006 / °F.
3. Para determinar la componente horizontal de el movimiento normal a la junta de expansión, utilizar el seno de el ángulo comprendido entre la línea central de la carretera y la junta.
4. En puentes con vigas longitudinales de acero, la componente horizontal debida al movimiento térmico se multiplica por 1.30. Este es un factor empírico, de seguridad, que toma en cuenta el movimiento que no es normal a la junta, así como las rotaciones por carga viva.
5. En puentes con vigas longitudinales de concreto, la componente horizontal, debida al movimiento térmico, se multiplica por un factor empírico de 2.00. Este es un factor de seguridad, que toma en cuenta el movimiento que no es normal a la junta, las rotaciones por carga viva, la contracción por secado diferencial, la fluencia, el contenido de humedad, y el acortamiento elástico.
6. El movimiento total horizontal (HM) normal a la junta se calcula según la siguiente fórmula:

$$HM = L(tr)(ct)(\text{sen}\alpha)(tn)$$

en donde:

L = longitud de la superestructura que contribuye al movimiento, en pulgadas

tr = rango de temperatura del acero o del concreto, según el inciso 2

ct = coeficiente de expansión térmica del acero o del concreto, según el inciso 2

$\alpha$  = ángulo comprendido entre la línea central de la carretera y la junta

tn = factor empírico tomado para el acero o el concreto, según el inciso 4

7. Este procedimiento sólo puede ser empleado si el movimiento resultante calculado, según la fórmula anterior, es menor de 4". Si el movimiento calculado, según el procedimiento anterior, es mayor de 4" es necesario usar otro método.

### **3.5 Selección del tipo de junta**

Cuando el rango de movimiento ha sido determinado, el tipo de junta puede ser seleccionado de la siguiente tabla:

**Tabla IX. Magnitud de movimientos aceptables según el tipo de junta**

TIPO DE JUNTA	MOVIMIENTO LONGITUDINAL TOTAL ACEPTABLE		MOVIMIENTO VERTICAL MÁXIMO ACEPTABLE ENTRE LOS DOS LADOS DE LA JUNTA mm. (pulg.)
	Mínimo mm. (pulg.)	Máximo mm. (pulg.)	
Junta ahogada (junta cubierta por la capa de rodadura de asfalto)	5 (0.2)	20 (0.80)	0.5 (0.015)
Junta abierta y con sellador vertido	5 (0.2)	12 (0.45)	3 (0.125)
Junta con sellador preformado a compresión	5 (0.2)	40 (1.50)	3 (0.125)
Junta con sellador de membrana	5 (0.2)	50 (2.00)	3 (0.125)
Junta abierta	5 (0.2)	60 (2.25)	3 (0.125)
Junta de dedos	50 (2.0)	- -	3 (0.125)

Fuente: **Technical Memorandum (Bridges) No. BE 3/72.** Pag. 3

Notas:

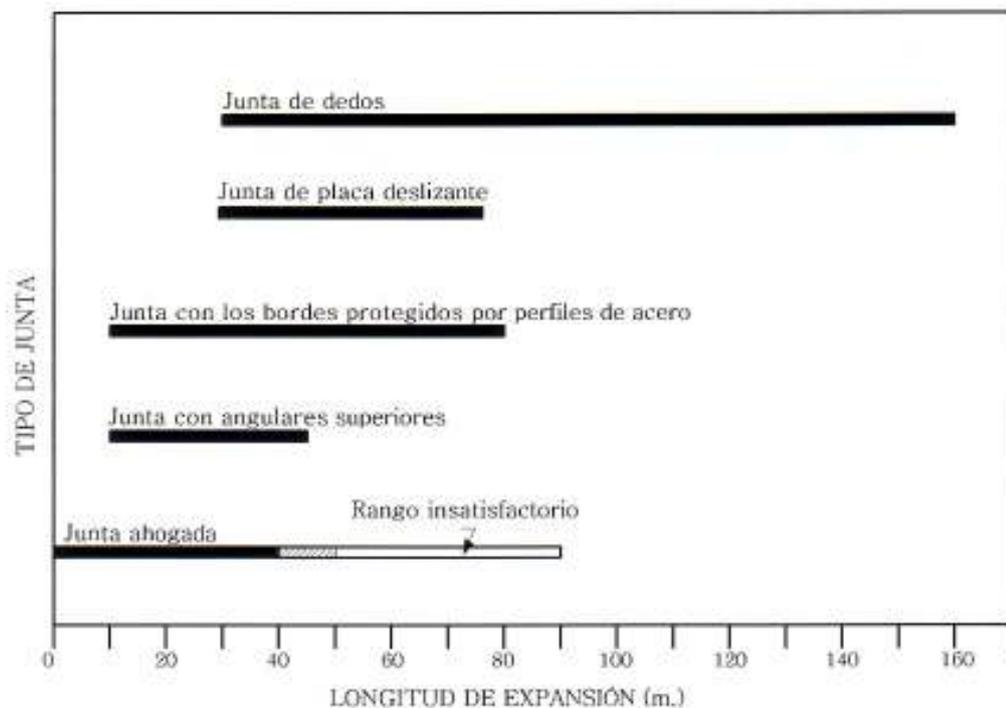
1. El valor mínimo del rango está dado para indicar cuando un tipo de junta no es económico.
2. Cuando el movimiento horizontal total es menor de 5mm. (0.2") se considera que no son necesarias juntas de expansión.
3. En la tabla se indica el rango total de movimiento, y no, por ejemplo, la variación en mas o en menos del movimiento respecto a un valor promedio de temperatura.
4. Las juntas abiertas deben tener una abertura mínima de 6 mm. (0.25") al producirse la temperatura máxima.
5. Según el código BD 33/88, en las juntas ahogadas se acepta un movimiento vertical máximo de 1.3 mm. entre los dos lados de la junta; asimismo, dicho código permite un movimiento horizontal mínimo de 25 mm. en el caso de las juntas de dedos. En estas últimas juntas mencionadas el movimiento horizontal máximo permisible depende de el fabricante de las mismas. (El código BE 3/72, referente a juntas de expansión de puentes, fue actualizado y sustituido por el código BD 33/88, en Gran Bretaña).

- Si una junta no es sellada con un sellador duro de caucho, con capacidad de soportar carga, el código la considera como una junta abierta en cuanto a calidad de rodadura se refiere.

### 3.5.1 Selección del tipo de junta según Black

Black recomienda seleccionar el tipo de junta según la siguiente figura:

**Figura 6. Rango de longitudes de expansión en el que se puede usar diversos tipos de junta**





## 4. JUNTAS ABIERTAS

Las juntas denominadas abiertas han sido empleadas en numerosos puentes. Bajo ciertas condiciones las juntas abiertas son una solución efectiva y económica. El comportamiento satisfactorio de este tipo de juntas depende de la efectividad de el drenaje del agua que llega a ellas.

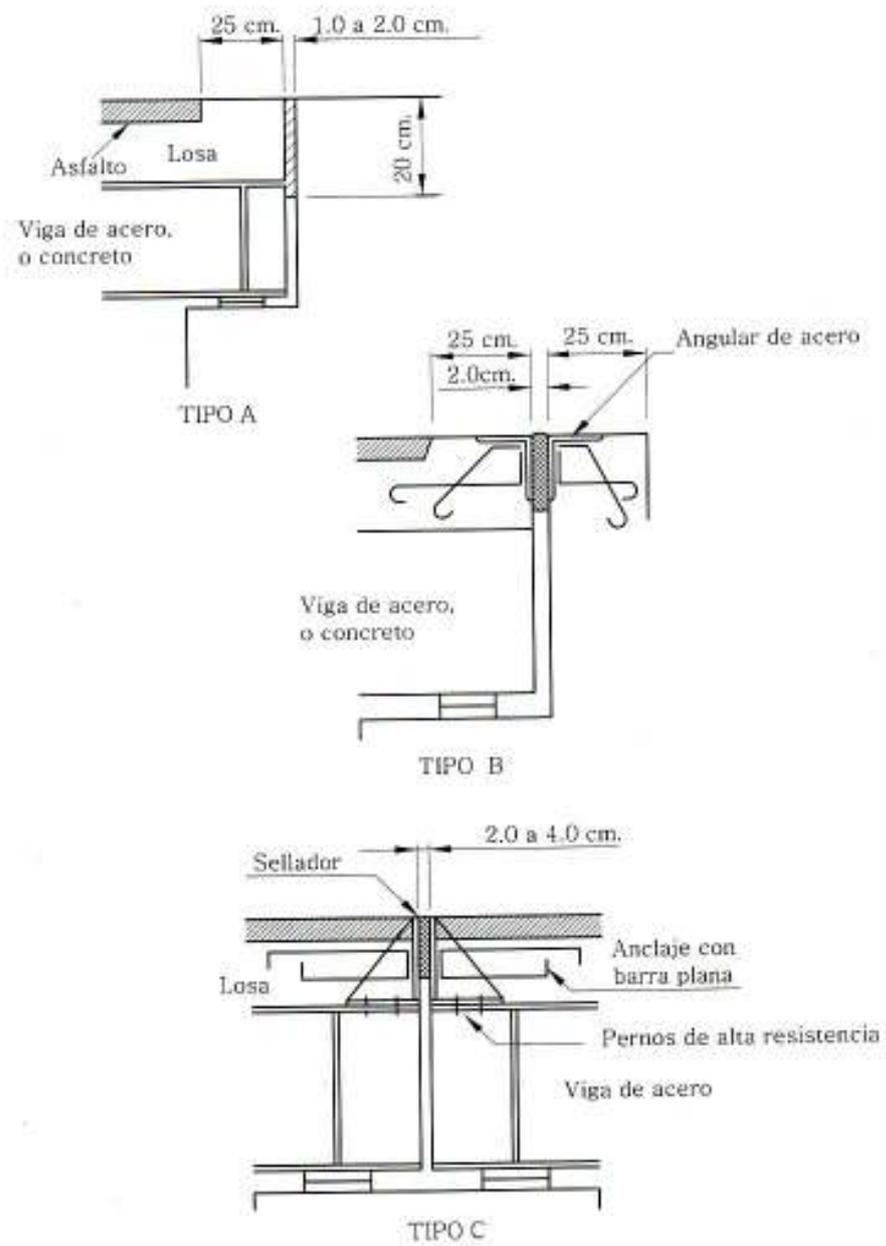
El principal factor que se toma en cuenta para determinar si se usa una junta abierta o una junta sellada, es el costo. En una junta abierta el costo incluye la implementación de un sistema de drenaje en la misma. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el sistema de drenaje presenta la dificultad de que con facilidad se tapa con basura.

En el caso de las juntas selladas su costo puede incluir el tener que tomar en cuenta fuerzas adicionales aplicadas a la estructura del puente al usar un sellador, así como el incremento en los costos de mantenimiento y de la necesidad de una mayor frecuencia de inspección.

El código de diseño de puentes de Ontario indica que no deben usarse selladores de un material flexible, en los cuales su fijación a la junta depende de adhesivos, ya que éstos son propensos a fallar a los pocos años de estar en servicio. Asimismo este código indica que los bordes de las juntas se deben proteger con perfiles de acero para evitar el desportillamiento del concreto.

En la figura 7 se muestra secciones de estas juntas. Las juntas tipo B y tipo C de esta figura también pueden considerarse como juntas armadas por estar provistas de perfiles de acero.

Figura 7. Juntas abiertas



El código BE 3/72 indica que el tamaño máximo de abertura de junta que puede ser tolerado por los vehículos automotores es 65 mm. (2.5"). Asimismo dicho código indica que si los vehículos de dos ruedas y peatones tienen acceso a las juntas, éstas deben ser selladas.

El código de diseño de puentes de Ontario permite en juntas abiertas una abertura máxima de 10 cms. en puentes de una luz, y 8 cms. , para cada abertura de junta, en puentes de varias luces. Estos límites se establecen con el objeto de mantener una adecuada calidad de rodamiento sobre las juntas tomando en cuenta la comodidad y seguridad de los vehículos. Asimismo este código establece una abertura mínima de 2 cms. en juntas con sellador, para evitar la transferencia de fuerzas que pueden ejercer materiales incompresibles atrapados en la junta.

Barnes indica que probablemente una abertura de junta del orden de 4" puede ocasionar problemas a los vehículos de dos ruedas, en los puentes que tienen un esviaje del orden de 30°.

El paso del agua a través de estas juntas es inevitable; el agua produce una acción destructiva en los elementos del puente situados bajo las juntas. Por ejemplo, con frecuencia se acumula basura húmeda en las alas de las vigas de acero de sección I, o en los alrededores de los apoyos de la superestructura, causando corrosión. Además, el agua puede penetrar en las superficies de un concreto de mala calidad deteriorándolo y produciendo corrosión en el acero de refuerzo.

Otro problema que se presenta con las juntas abiertas, como se mencionó, es que pueden entrar piedras en las juntas y, al quedar éstas atrapadas, ejercen una acción de cuña impidiendo la adecuada operación de las juntas en la temporada de verano cuando se expande la superestructura. En este caso, hay concentración de esfuerzos en las paredes de la junta en los periodos de extrema expansión de la superestructura produciéndose el agrietamiento del concreto. En las estructuras esviajadas la fuerza de expansión produce el movimiento transversal de la superestructura.

Para evitar el paso del agua y de materias extrañas a través de las juntas puede utilizarse un sellador a compresión preformado o un sellador líquido vertido en el lugar, el cual se emplea con un material de soporte.

Si se ha producido agrietamiento en las paredes de las juntas debido a la acción de cuña, ejercida por piedras atrapadas, la medida correctiva es remover el concreto dañado y fundir un nuevo concreto. Cuando la junta sea reparada debe aumentarse el tamaño de su abertura y sellarse para evitar el paso del agua.

En puentes esviajados en los que se ha producido movimiento transversal de la superestructura debido a la fuerza de expansión ejercida contra materiales no compresibles atrapados en las juntas, deben limpiarse éstas, mover la superestructura a su posición original y sellar las juntas para evitar que se repita el problema.

El deterioro que se produce cuando se usan juntas abiertas puede ser minimizado removiendo la basura acumulada y por medio del pintado de las áreas dañadas, pero ésta rara vez se hace en la práctica. La limpieza periódica de la superficie de rodadura y de las juntas de los puentes contribuye a evitar que materiales incompresibles queden atrapados en las juntas.

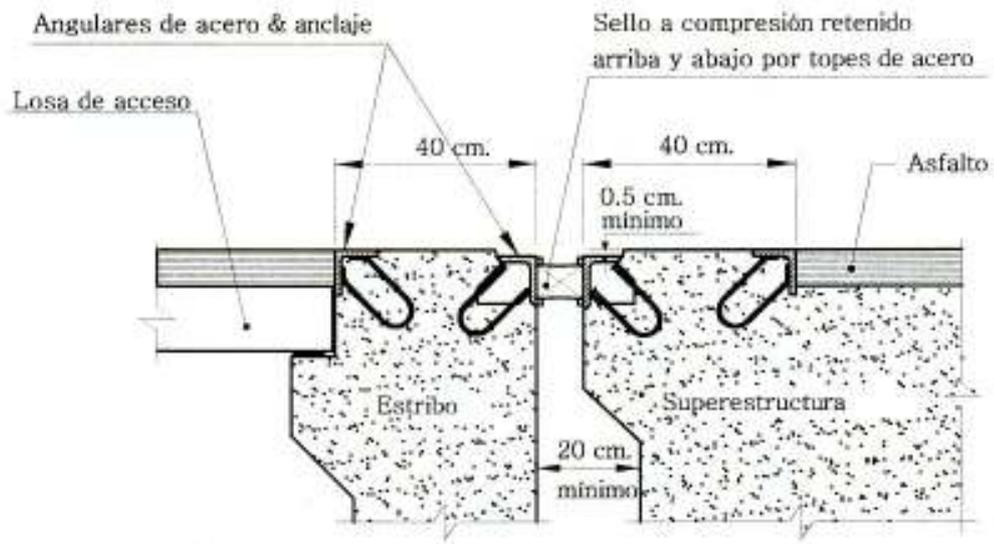
Los angulares que en algunos casos se utilizan para proteger los bordes de las juntas, frecuentemente se sueltan de su anclaje presentando un riesgo para el tráfico. Este tipo de falla generalmente tiene su origen en una construcción deficiente.

Si la superestructura tiene una capa de asfalto como superficie de rodadura, puede hacerse una sobreelevación de concreto (alza) en los bordes de la superestructura, de manera que en los extremos la superficie de rodadura sea de concreto, y las juntas de expansión sean abiertas.

Cuando se construye un alza en el borde de la junta, Manning indica que observaciones de campo han demostrado que hay una menor tendencia a que se produzcan daños en las juntas si la cortina del estribo, o el alza tienen un ancho de al menos 40 cms. Aparentemente al ser más ancha la superficie de concreto se reduce la carga dinámica sobre la junta.

Asimismo, Manning indica que algunos detalles de junta que han tenido un comportamiento satisfactorio se muestran en la figura 8. En este caso la junta tiene un sellador a compresión.

**Figura 8. Junta con sobreelevación de concreto en los bordes**



Nota: La superficie superior del sellador no se coloca al mismo nivel de la superficie de rodadura, para evitar en éste el desgaste, y el punzonamiento por materiales incompresibles.

Fuente: **Joint sealing and bearing systems for concrete structures.** Pag. 309

Estos detalles pueden adaptarse a cualquier tipo de junta. Los angulares que se colocan entre la orilla del alza y el asfalto son necesarios para evitar el desportillamiento del concreto, como se mencionó. Se requiere hacer agujeros de ventilación en los angulares para evitar el aire atrapado durante la fundición del concreto, como se indica en el inciso de construcción del siguiente capítulo. El espacio de 20 cms. de ancho que se deja bajo la junta facilita la inspección y mejora la ventilación, por lo que los extremos de las vigas de la superestructura están menos propensas a daños si hay filtración de agua.

## **5. JUNTAS ARMADAS CON PERFILES DE ACERO**

### **5.1 Tipos de juntas armadas**

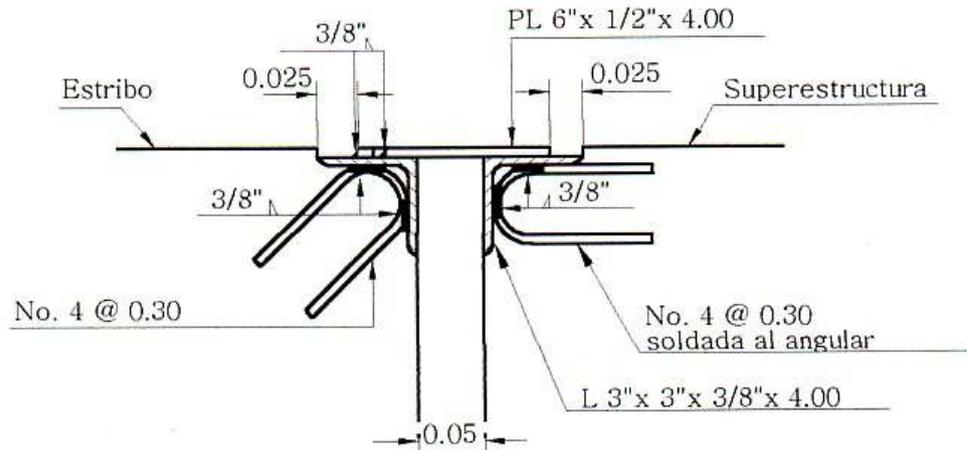
Las juntas armadas están formadas por perfiles de acero y pueden ser las siguientes: con placa deslizante, con angulares protectores o placas en los bordes de la junta, y de angulares superiores.

#### **5.1.1 Junta de placa deslizante**

La junta de placa deslizante es uno de los tipos más comunes de juntas de dilatación. Esta junta está constituida por un angular anclado en cada una de sus orillas, sobre los cuales es colocada una plancha cubrejunta que se fija a uno de los angulares por medio de remaches, tornillos o soldadura; sobre el otro angular la plancha queda libre. Por estar cubierta la abertura de la junta, mejora la calidad de rodadura sobre la misma.

Este tipo de junta debe ser instalado en forma adecuada para evitar problemas posteriores de mantenimiento. La placa cubrejunta debe quedar completamente apoyada sobre los angulares, evitándose así su desprendimiento o que haga ruido al golpear contra los angulares con el paso de los vehículos. Es importante que los angulares queden firmemente anclados en el concreto. Ver figura 9.

**Figura 9. Junta estandar de la Dirección General de Caminos**



**NOTAS:**

- En la plancha superior se coloca soldadura adicional en agujeros perforados en ella.
- Longitudes dadas en metros.

Fuente: Archivo de la Dirección General de Caminos

En estas juntas se puede instalar un sistema de drenaje bajo las mismas. Además, el espacio donde desliza la placa cubrejunta es posible llenarlo con un material impermeabilizante si se quiere reducir el paso de agua a través de la junta. Asimismo, en los bordes de la losa de la superestructura se puede dejar un pequeño voladizo para evitar el escurrimiento de agua sobre los diafragmas.

El código BE 6 indica que el tipo de junta de placa deslizante no es adecuado para puentes de carretera, y que sólo debe ser usado en puentes peatonales, en los cuales las cargas que actúan son relativamente livianas.

El código BE 3/72 indica que cuando las juntas tienen elementos de metal, que deslizan sobre una superficie de metal, se dan problemas en las mismas debido principalmente a los efectos de la vibración, y al hecho de que éstas no pueden ser selladas en forma efectiva (el código BE 6 fue actualizado y sustituido por el código BE 3/72, en Gran Bretaña).

### **5.1.2 Junta con angulares en sus bordes**

En la junta con angulares en sus bordes (sin placa cubrejunta), son anclados al concreto, al igual que en el caso anterior, y, entre ellos puede ser instalado un sellador. Ver figura 10.

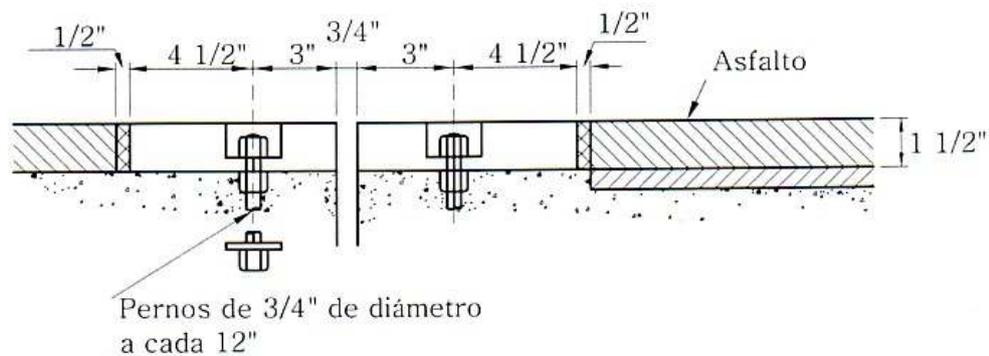
**Figura 10. Junta (con sellador) en puente Villalobos 4**



### 5.1.3 Junta con placas en sus bordes

La junta con placas en sus bordes (sin placa cubrejunta) es similar a la anterior, pero en lugar de angulares se colocan placas metálicas, en posición horizontal, ancladas al concreto. Este tipo de junta ha sido usado en Gran Bretaña. Black considera que las juntas armadas con placas de acero, tienen un mejor comportamiento en servicio que las juntas de placa deslizante, y además son más fáciles de instalar. Si en este tipo de juntas las placas son muy anchas, del orden de 4 pulg. , la superficie superior de éstas debe ser resistente al deslizamiento. Ver figura 11.

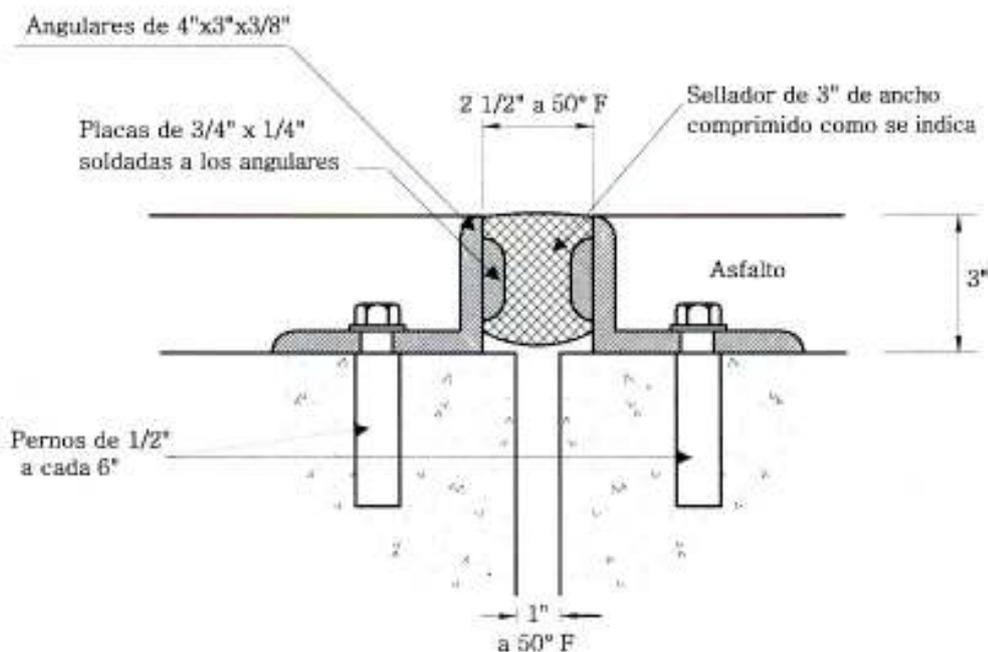
**Figura 11. Junta con placas en sus bordes**



#### 5.1.4 Junta con angulares superiores

Cuando la superestructura tiene una capa de asfalto como superficie de rodadura del puente, se puede utilizar la junta de angulares superiores, en la cual estos están colocados con uno de sus lados hacia arriba. En este tipo de junta se instala un angular en cada una de sus orillas, en la forma indicada, y entre los mismos se coloca un sellador. Este sistema de junta ha sido usado con cierta frecuencia en Gran Bretaña; en dicho país como medio de fijación de los angulares superiores se emplea pernos. Ver figura 12. (El tipo de junta de esta figura ha sido usado en Gran Bretaña).

**Figura 12. Junta con angulares superiores**





**Figura 14. Falla del anclaje de junta en pila de puente Punta Gorda.  
Carretera CA- 9 Norte, tramo Guatemala- El Rancho**



**Figura 15. Falla del anclaje de junta en pila de puente Francisco Marroquin  
Carretera CA- 2 Oriente, tramo Taxisco- Frontera de El Salvador**



En una investigación realizada por Black sobre juntas de expansión de puentes en servicio en Gran Bretaña, se determinó que la causa principal de la falla de las juntas era debido a deficiencias en el sistema de anclaje. La falla en el sistema de anclaje con barras se produce especialmente bajo cargas pesadas de tráfico y puede darse por fatiga de la soldadura del anclaje.

Reemplazar una junta de expansión completa representa una reparación mayor en la superestructura o en el estribo de un puente, ya que varias partes de la estructura deben ser removidas, reemplazadas, y posiblemente una carretera con alto volumen de tráfico tenga que ser cerrada, al menos parcialmente, por varias semanas.

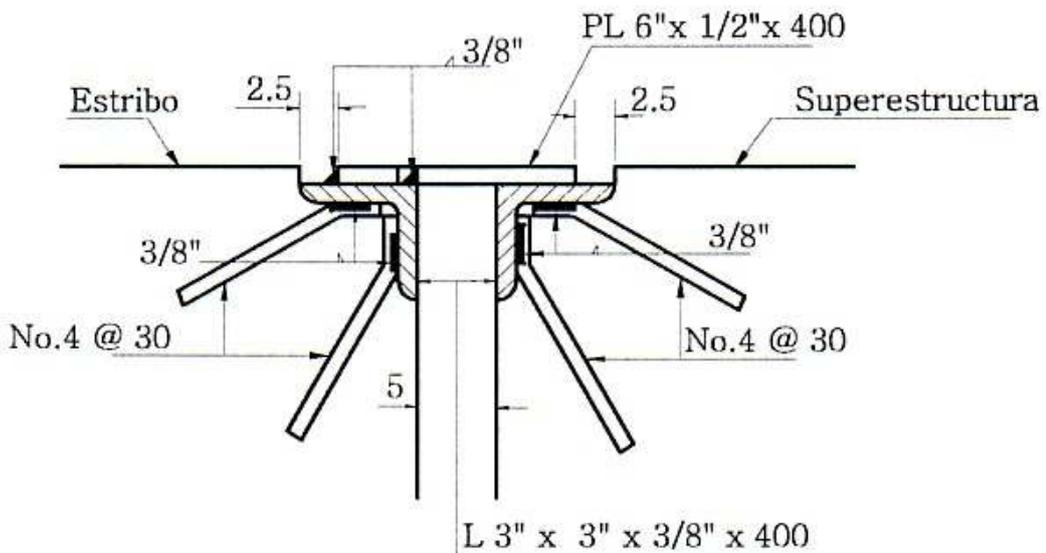
Los perfiles metálicos colocados a cada lado de la junta deben ser anclados a la superestructura o al estribo de manera que se transmitan todas las cargas estáticas y dinámicas de los componentes de la junta a la estructura del puente.

El código BE 6, indica que hay dos sistemas de anclaje. Un método, ya mencionado, consiste en emplear barras soldadas a los perfiles de acero de la junta. Otro sistema de anclaje es el uso de pernos preesforzados, con placas especiales de anclaje, el cual es un método muy satisfactorio, pero que tiene un costo alto y requiere mayor tiempo de instalación que el método anterior. El código BE 6 no recomienda el anclaje con barras, sin embargo, si se usa este sistema de anclaje, el código indica que se deben cumplir algunos requerimientos, como se menciona en el inciso de diseño del anclaje de barras.

Leonhardt considera que no debe permitirse el empleo de barras planas de acero como anclaje, y que sólo debe utilizarse barras corrugadas de sección circular, soldadas en una forma segura a los perfiles de acero de la junta. Asimismo, recomienda que las barras de anclaje tengan suficiente traslape con las barras de refuerzo de la superestructura.

En el caso de la junta de la figura 16, al tener como anclaje dos barras separadas, en vez de una sola barra en forma de gancho, se puede aumentar la longitud de el cordón de soldadura de las barras ya que éstas tienen una mayor área de contacto con los angulares por tener forma recta y no circular. Este tipo de junta ha sido usado en algunos casos tales como el Paso a desnivel Tecún Umán en la ciudad capital.

**Figura 16. Junta con anclaje de barras separadas**



### **5.3 Construcción**

Black indica que una práctica común en la construcción, es que cuando se hace la fundición del concreto, para mantener los angulares de anclaje de la junta en la posición correcta, en la formaleta se sujeta en forma rígida el angular de anclaje de un lado de la junta al angular del lado opuesto de la misma, conservando a ambos unidos por varios días mientras fragua el concreto, lo cual puede producir el aflojamiento del anclaje.

Aún en un período de 12 horas el movimiento en la junta puede ser del orden del 25 por ciento del movimiento anual, por lo que el posible resultado de mantener rígidamente sujetas las dos mitades de la junta por varios días es el aflojamiento prematuro de las barras de anclaje. Por lo tanto, debe soltarse el medio de fijación entre ambos angulares poco tiempo después de la fundición, para evitar el aflojamiento del anclaje debido a los movimientos por temperatura del puente.

Asímismo, al fundir el concreto adyacente a las juntas se dificulta llenar el espacio bajo los angulares de anclaje, por lo que pueden quedar bolsas de aire en los bordes superiores de la junta; debido a lo anterior, debe tratarse de compactar en forma adecuada el concreto cercano a los perfiles de anclaje ya que al estar el puente en servicio existe la posibilidad de que se produzca una corrosión excesiva si el agua penetra en bolsas de aire próximas a las barras de anclaje.

**Figura 17. Espacios sin fundición de concreto en junta de puente Achiguate. Carretera CA- 2 Occidente**



Fuente: Archivo de la Dirección General de Caminos

A los angulares de anclaje se les puede hacer pequeños agujeros a intervalos de aproximadamente un pie para evitar que el aire quede atrapado en el concreto bajo los mismos, y asegurar una buena compactación. El código de diseño de puentes de Ontario requiere perforar agujeros de ventilación de aproximadamente 5 mm. de diámetro, espaciados a cada 25 cm., en la parte superior de los angulares para evitar el aire atrapado al fundir el concreto.

Debido a que fundir el concreto bajo placas anchas o angulares es difícil, Black considera que aún si los angulares tienen agujeros de ventilación, éste no asegura que el concreto quede en íntimo contacto con la junta. El uso de agujeros de ventilación en las juntas puede ser observado en el puente San Juan, de la carretera CA- 10, el cual fue reconstruido con vigas longitudinales acero, y juntas de expansión prefabricadas en Japón.

**Figura 18. Agujeros de ventilación en junta de puente San Juan.  
Carretera CA- 10, tramo Río Hondo- Zacapa**



En el caso de las juntas de placa deslizante es especialmente importante que la parte superior de las orillas de las juntas queden a un mismo nivel, para que la placa cubrejunta esté apoyada en forma uniforme a ambos lados de la junta. Si se utiliza este tipo de junta, y además se emplea apoyos de caucho (apoyos de tipo flexible) como sistema de apoyos de la superestructura, según Black, debe tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- La deflexión inicial producida por la carga muerta en los apoyos de caucho usualmente es del orden de una a dos décimas de pulgada. En las primeras semanas después de la aplicación de la carga muerta la deformación por fluencia de un apoyo de caucho puede ser el 20 o 35 por ciento de la deflexión por carga muerta, dependiendo de la magnitud de la dureza del material. Posteriormente el efecto de la fluencia se reduce y puede darse de un 5 a 10 por ciento de deformación adicional en un período de varios años.
- Los apoyos de caucho tienen una deflexión del orden de varias milésimas de pulgada bajo la acción de la carga viva y además pueden deformarse varias centésimas de pulgada debido a la fluencia.

La posición en que se fija la plancha cubrejunta de la junta de placa deslizante también es importante. Black considera que es conveniente fijar (soldar) la plancha cubrejunta en el lado de la junta adyacente al estribo y no en la orilla de la superestructura, debido al asentamiento que se da en el apoyo de la placa en el lado de la superestructura producido por la deformación de los apoyos de ésta. Si se fija la placa cubrejunta en el lado de la superestructura pueden presentarse esfuerzos grandes en la placa al deformarse los apoyos de la superestructura.

Sin embargo, al adoptar este criterio puede darse el caso de que los vehículos al circular sobre la junta primero, pasen por el lado libre de la placa cubrejunta, lo cual parece no ser favorable.

El manual de diseño de puentes de el estado de Colorado (E.E.U.U.) recomienda que, siempre que sea posible, los componentes de una junta sean instalados en una sola pieza, que tenga la longitud total de la junta, es decir, sin hacer empalmes de segmentos de longitudes parciales para conseguir la longitud requerida de la junta.

Asímismo, dicho manual de diseño indica que en el caso de proyectos de carreteras de pavimento de concreto en los cuales los puentes van a tener capa de rodadura de concreto, es recomendable que durante la fundición, en las orillas de las juntas de expansión de los puentes se deje espacios sin fundir de sección rectangular, es decir, en forma de bloque, y posteriormente se instalen las juntas cuando todas las irregularidades hayan sido corregidas.

El código BE 6 contiene los siguientes requerimientos respecto a la instalación de las juntas:

- El concreto debe ser vibrado en forma adecuada durante la fundición. El uso de agujeros de ventilación en los angulares de anclaje disminuye la posibilidad de que se formen vacíos en el concreto.
- Si se usa un aditivo expansivo en el concreto, éste no debe afectar la resistencia del mismo, ni tener tendencia a inducir corrosión en los componentes de acero de la junta.

- La formaleta de la junta en el lado de la superestructura debe ser independiente de la formaleta del lado opuesto, de manera que la superestructura tenga libertad de moverse longitudinalmente para acomodar los movimientos que se producen debido a la acción de la temperatura mientras el concreto está endureciendo.
- Después de la fundición del concreto, al haber endurecido el mismo, para detectar la presencia de posibles vacíos en el concreto bajo los angulares de anclaje, con un martillo liviano se puede dar pequeños golpes sobre los angulares. Si se descubren vacíos, éstos deben ser llenados.

El código BE 6 indica que debido a las pesadas cargas de tráfico que deben soportar las juntas de expansión, es esencial que haya una supervisión competente durante la construcción, y que los materiales empleados, así como la mano de obra, sean de calidad, para no tener problemas posteriores al estar las juntas en servicio.

#### **5.4 Mantenimiento de juntas de placa deslizante**

El código BE 6 indica que las juntas deben ser inspeccionadas con regularidad para verificar que sus componentes no están sueltos, que los selladores de junta están en buenas condiciones, y que el sistema de drenaje de las juntas está trabajando en forma apropiada.

Este diseño de junta impide el paso de pequeñas piedras a través de ella, pero no evita la entrada del agua, la cual puede alcanzar los miembros del puente situados bajo la junta, y el sistema de apoyos del mismo, dañándolos.

En este tipo de juntas poco puede hacerse para evitar el paso del agua. Si la filtración de agua es un problema, la mejor solución es no dejar que el agua que pasa a través de la junta tenga contacto con los miembros bajo la misma, lo cual es posible lograr instalando un sistema de drenaje bajo la junta, que recolecte y drene el agua. Este drenaje debe tener acceso para su limpieza.

Si se acumula basura o material de bacheo, y estos desechos se encuentran en forma compacta a lo largo de la placa deslizante, hay una mayor resistencia al movimiento de la superestructura, por lo que puede producirse la deformación permanente de la placa cubrejunta o el agrietamiento del concreto adyacente, al ser forzada la placa a deslizarse sobre el material depositado.

La limpieza periódica del pequeño canal que se forma en el espacio donde desliza la placa cubrejunta evita que ésta se trabe o desprenda de su medio de fijación. Cuando la placa deslizante tiene un bisel, prácticamente ya no es necesario hacer la limpieza en la junta, porque la placa efectúa la limpieza por sí sola.

Si se produce un movimiento vertical diferencial vertical entre ambos lados de la placa deslizante, originado por el asentamiento de la subestructura, por desgaste de los componentes de la junta en los que hay deslizamiento, o por una instalación inadecuada, la placa puede dar golpes contra el angular de apoyo al paso del tráfico sobre la junta y dañar el concreto adyacente a la misma. Cuando hay un movimiento diferencial vertical en una junta, el tráfico de vehículos produce un impacto mayor en la junta, lo cual aumenta el daño.

La mejor solución para los problemas asociados con el movimiento diferencial vertical en las juntas de expansión, es detener dicho movimiento, remover el concreto dañado, colocar los componentes de la junta en su posición original, y fundir el nuevo concreto.

El desplazamiento horizontal excesivo de los estribos y pilas puede hacer que las juntas de expansión se cierren completamente y tope el extremo libre de la placa deslizante. En este caso, es probable que la placa cubrejunta se desprenda de su anclaje y provoque la ruptura del concreto adyacente. Al estar la junta en este estado, produce ruido con el paso de los vehículos.

Las juntas de expansión que están demasiado cerradas, y en las cuales la placa deslizante ha topado en su extremo libre, pueden ser corregidas recortando la placa cubrejunta. Si el movimiento de la subestructura causante de que la junta se cierre no es detenido, cualquier reparación que se haga será de naturaleza temporal. Si no se da un movimiento excesivo de la subestructura, es raro que ocurra el caso de que las juntas se cierren completamente.

Si al haberse cerrado una junta se ha producido la ruptura del concreto próximo a ésta, y el anclaje de la misma ha quedado suelto, la mejor forma de reparar el daño es remover el concreto adyacente a las barras de anclaje sueltas. A continuación, la placa cubrejunta debe ser colocada en la posición correspondiente, de manera que quede completamente apoyada sobre el angular de asiento. El concreto removido deberá ser restituído con un material apropiado.

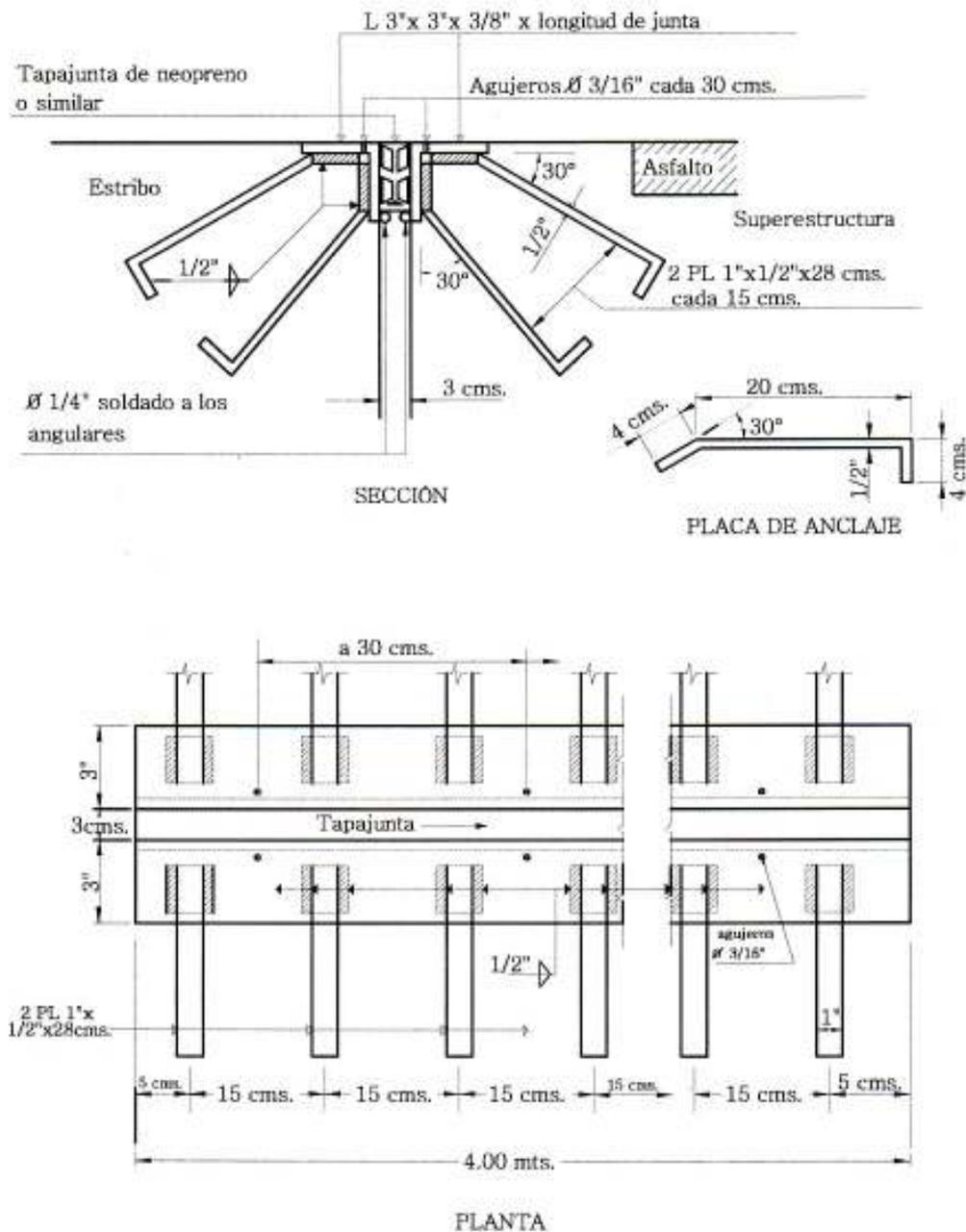
Las juntas de expansión de placa deslizante ocasionan pocas molestias cuando son instaladas en forma adecuada. Este tipo de juntas puede dar muchos años de servicio sin problemas, con un mínimo de mantenimiento (sin tener en cuenta que esta clase de juntas no evita el paso del agua, ya que no es esta su función).

Según un informe de la Dirección General de Caminos, en las juntas de expansión de diferentes puentes del país se han presentado los siguientes problemas:

- a) Falla de la soldadura entre los angulares de la junta y las barras que anclan los angulares a la losa.
- b) Rotura propiamente de las barras de anclaje, que aparentemente son insuficientes.
- c) Falla de la soldadura entre la plancha tapajunta y el angular de la junta.
- d) Deficiencia en el llenado del concreto debajo de los angulares, donde se forman vacíos o ratoneras, que no permiten que los angulares y los anclajes queden monolíticamente unidos al concreto.

Debido a esta situación, recientemente en la Dirección General de Caminos se elaboró un diseño de junta con el objeto de sustituir en puentes existentes las juntas de placa deslizante dañadas. Ver figura 19. Dicho diseño es una adaptación de la junta estandar de la república de Chile.

Figura 19. Alternativa de junta para sustituir juntas dañadas



Fuente: Archivo de la Dirección General de Caminos

Notas:

1. La longitud mínima de la placa de anclaje (hembra) es 28 cms.
2. La soldadura es del tipo AWS E 7018.
3. El ancho requerido de abertura de junta se redujo a 3 centímetros, en lugar de 5 centímetros, que se utiliza normalmente.
4. Utilizar tapajunta de neopreno o similar, en lugar de plancha de acero.
5. Perforar agujeros de 3/16 pulg. de diámetro, en la parte superior de los angulares, para evacuar el aire que pueda quedar atrapado entre el concreto y los angulares cuando se hace la fundición.
6. Utilizar en el concreto un fluidificante tipo Sikament para hacer más fluido el concreto, de manera que se facilite llenar todo el volumen bajo los angulares, y se acelere el fraguado.
7. En la reparación, remover el concreto que sea necesario para permitir la colocación de los nuevos elementos de la junta, y reponerlo utilizando un aditivo que adhiera el concreto nuevo con el antiguo.
8. Utilizar vibradores de concreto adecuados al hacer la fundición.

En nuestro medio se han producido fallas en las juntas incluso en puentes recién construídos, como fue el caso de la falla en el anclaje de las juntas de los nuevos puentes Jones, Achiotos y San Francisco de la carretera CA- 9 Norte.

El código BA 26/88 indica que las juntas de expansión dañadas pueden ser un alto riesgo para los vehículos, por lo que es recomendable que las juntas se inspeccionen con regularidad.

**Figura 20. Rotura de la placa deslizante en junta de puente Achiotes.  
Carretera CA- 9 Norte, tramo Río Hondo- Puerto Barrios**



El reemplazo de una junta de expansión dañada tiene un costo relativamente alto, ya que los costos indirectos que se dan al cerrar, temporalmente al tráfico, una carretera son adicionales al costo de la junta en sí.

## **5.5 Diseño de juntas armadas efectuado por Black**

### **5.5.1 Estimación de las cargas que actúan en las juntas**

La intensidad de las cargas producidas por la acción del tráfico es un factor importante en el comportamiento de las juntas, por lo que es necesario hacer una estimación de los esfuerzos de tipo dinámico debidos a estas cargas.

En la investigación efectuada sobre juntas de expansión de puentes en servicio en Gran Bretaña, Black determinó que uno de cada seis puentes presentaba signos de falla en las juntas después de uno o dos años de estar construídos. Según esta investigación, se considera que se puede evitar muchas de las fallas en las juntas. Dichas fallas fueron atribuídas en parte a un diseño inadecuado resultante de la falta de conocimiento de los esfuerzos que se desarrollan en las juntas bajo la acción del tráfico.

Las fuerzas vertical y horizontal que se producen debido a cargas rodantes han sido objeto de varios estudios, pero cuando Black realizó esta investigación no había sido determinada experimentalmente la fuerza horizontal que se produce cuando un vehículo frena sobre una junta, por lo que hizo una estimación de dicha carga según las siguientes consideraciones:

- La máxima carga de rueda que permiten las normas inglesas empleadas es 6 toneladas, sin embargo, Black estima que muchos vehículos exceden esta carga máxima estipulada hasta en un 25 %.

- La carga vertical que ejerce una rueda se puede incrementar de 2 a 2.5 veces cuando la rueda pasa por una depresión o un objeto elevado en la superficie de rodadura.

En base a las consideraciones anteriores, y a otros efectos de tipo dinámico, Black asume que una rueda ejerce una carga vertical de  $11 \frac{1}{4}$  ton. sobre las juntas, por lo que la carga de dos ruedas es  $11 \frac{1}{4} \times 2 = 22 \frac{1}{2}$  ton.

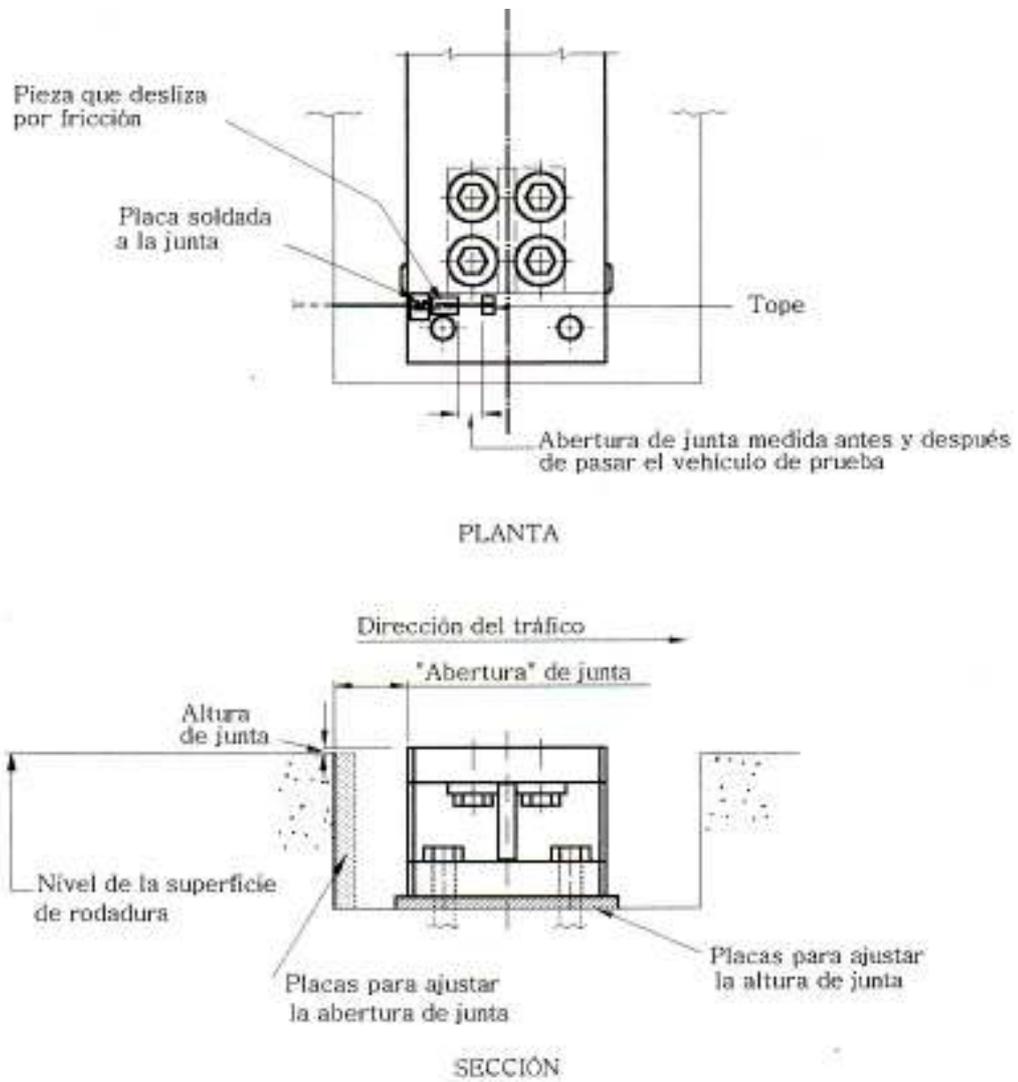
Asímismo, se asume un coeficiente de fricción de 0.75, y que la fuerza horizontal que producen las ruedas durante el frenado es  $0.75 \times 22 \frac{1}{2} = 17$  ton.

Además, se asume que la carga anterior se distribuye en una longitud de 6 pies, tomando en cuenta que el examen de la falla de las juntas indica que el deterioro debido a la acción del tráfico se produce en la zona próxima a la posición de la rodada de las llantas de los vehículos. Esta carga es afectada por el factor de seguridad correspondiente (1.4), para propósitos de diseño.

### **5.5.2 Medición de la fuerza horizontal que ejercen los vehículos**

Con el objeto de verificar experimentalmente el valor estimado en forma teórica de la fuerza horizontal que la acción del tráfico ejerce sobre las juntas, Black efectuó un ensayo con un modelo de junta el cual está calibrado de forma que al medir su desplazamiento horizontal se puede conocer la fuerza ejercida. Ver figura 21.

Figura 21. Junta modelo y dispositivo de medición



Fuente: W. Black. **Horizontal forces on bridge expansion joints due to vehicles.** Pag. 8

En esta prueba se investigó el efecto que tiene la variación de la carga de rueda, la velocidad de los vehículos, el ancho de la abertura de expansión de la junta, su altura sobre el nivel de la superficie de rodadura, bajo condiciones de frenado brusco y de libre rodamiento.

La junta modelo fue instalada en una cavidad formada en la superficie de rodadura de una pista de prueba, habiéndose efectuado mediciones con aberturas de junta de 6 a 80 mm. y con alturas de junta hasta 11 mm. sobre el nivel de la superficie de rodadura.

Según los resultados obtenidos se estableció que:

- El valor máximo de fuerza horizontal que ejercen los vehículos en las juntas no es probable que exceda el valor de 2.5 ton. por pie de longitud de junta.
- La magnitud de esta fuerza horizontal no cambia significativamente con la velocidad de los vehículos, el ancho de la abertura de la junta o la altura de la junta sobre el nivel de la superficie de rodadura, dentro de los límites en que se efectuó la prueba.

(Para efectos de diseño esta carga es afectada por el factor de seguridad correspondiente).

La adopción de esta carga no implica que en el puente se requiere que se resista una fuerza de frenado de una magnitud de 2.5 ton. multiplicada por el ancho total de rodadura del puente.

### **5.5.3 Diseño**

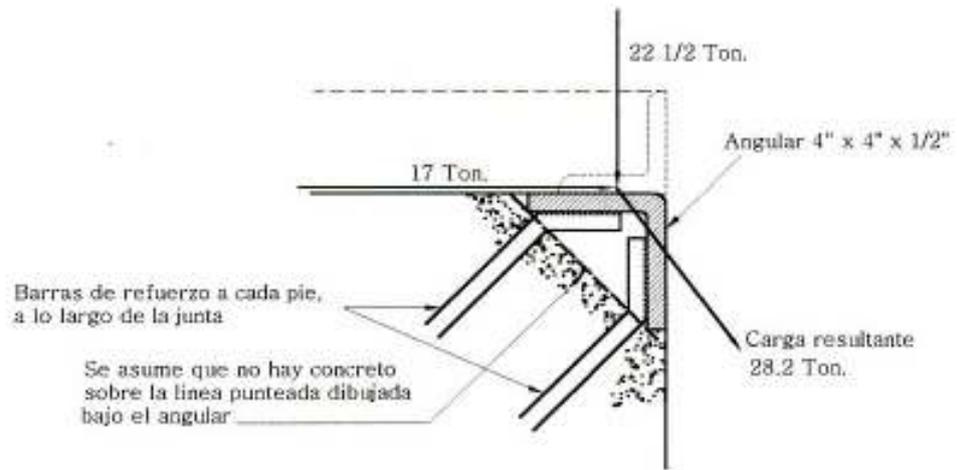
#### **5.5.3.1 Anclaje de barras**

Como se mencionó, en el sistema de anclaje se puede utilizar barras fundidas en el concreto sobre las cuales se fijan los angulares o placas de los bordes de las juntas.

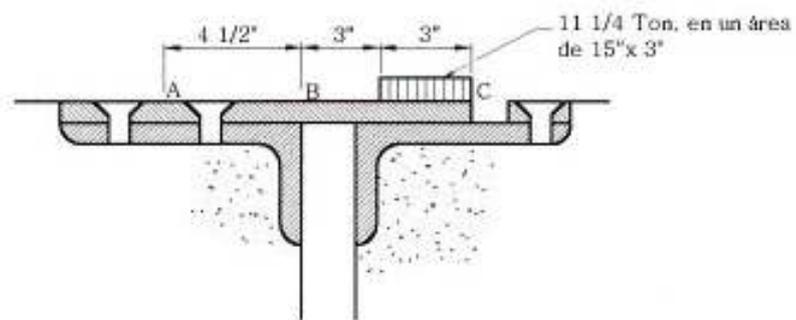
La fuerza horizontal que actúa sobre la junta debido a la acción del tráfico se asume que es de 17 tons. y que se distribuye sobre una longitud de junta de 6 pies.

Esta carga horizontal combinada con la carga vertical de  $22 \frac{1}{2}$  tons. produce una fuerza resultante de 28.2 tons. (en una longitud de junta de 6 pies), es decir, 4.7 tons. por pie de longitud de junta. Ver figura 22 (a).

Figura 22. Cargas asumidas en las juntas



(a) JUNTA CON ANGULARES



(b) JUNTA DE PLACA DESLIZANTE

En la inspección efectuada por Black a las juntas de puentes en servicio observó que había una compactación pobre en el concreto de las orillas de las juntas y que se presentaban fallas en estos bordes, por lo que consideró que el concreto en las orillas de las juntas no ofrece un soporte adecuado, y asumió en el diseño que el concreto no proporciona soporte a la junta, diseñando las barras soportantes, angulares y soldaduras como una estructura en voladizo.

En la figura 22 (a) el momento producido por la fuerza resultante, debida a la acción del tráfico, es contrarrestado por el momento resistente dado por las dos barras inclinadas. El corte es resistido por las barras.

En este caso particular, el corte es crítico, y se requiere dos barras de  $1\frac{1}{16}$  pulg. de diámetro por pie de longitud de junta, es decir,  $0.74 \text{ pulg}^2$  de acero por pie, si el esfuerzo permisible a corte es  $6.5 \text{ ton/pulg}^2$ . Las conexiones soldadas deben ser diseñadas de manera que tengan igual resistencia que las barras de anclaje.

Posiblemente la falla por corte de las barras de anclaje se produce antes que el aplastamiento del concreto, al utilizar barras menores de  $\frac{3}{4}$  pulg. de diámetro. Cuando se emplea concreto de aproximadamente  $6000 \text{ lbs/pulg}^2$  de resistencia a compresión, no deben usarse barras de un diámetro mayor de  $\frac{3}{4}$  pulg.

El código BE 6, publicado por el Ministerio de Transportes de Gran Bretaña, esta basado en la investigación de Black, y el mismo establece que las barras de anclaje deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Se ha determinado que las barras de anclaje son particularmente propensas a la corrosión, por lo que necesitan ser robustas. Independientemente de los esfuerzos calculados en las barras de anclaje, el área total transversal de las barras en cada lado de la junta no debe ser menor de 0.75 pulg<sup>2</sup> por pie de longitud de junta.
- El espaciamiento de las barras de anclaje no debe exceder 38 cms. (15”).
- Si se utiliza como sistema de anclaje barras de sección circular, éstas no deben tener un diámetro menor de 3/4” (el código BE 3/72 requiere un diámetro no menor de 5/8”). Si se usan barras planas como anclaje, las mismas no deben tener menos de 5/8” en su lado más corto.
- De preferencia las barras de anclaje deben tener la forma de ganchos cerrados (ganchos en forma de anillos), como se muestra en la última figura del capítulo anterior. Si no se emplean barras en forma de ganchos cerrados, las barras deben tener suficiente longitud de anclaje.
- Las soldaduras que fijan las barras de anclaje a la junta deben desarrollar la misma resistencia de las barras.

Koster no recomienda usar el sistema de anclaje con barras, pero si se utiliza este tipo de anclaje, indica que éste debe cumplir con el área requerida por el código BE 6.

El código de diseño de puentes de Ontario indica que cuando los componentes de una junta son anclados por medio de barras de refuerzo fundidas en el concreto, el área transversal de las barras a cada lado de la junta no debe ser menor de 1600 mm<sup>2</sup> /m (0.78 pulg<sup>2</sup> por pie).

### **5.5.3.2 Angular o placa de los bordes de la junta**

Como se mencionó, en las orillas de las juntas se colocan angulares o placas, las cuales se fijan por medio de las barras de anclaje. El angular o placa del ejemplo de la figura 22 (a) puede ser diseñado asumiendo que está simplemente soportado sobre las barras de anclaje, las cuales, en este caso están espaciadas a un pie; se asume que el concreto no proporciona soporte al angular o placa.

Según el diseño efectuado, para este tipo de junta se requiere un angular de 4 pulg. x 4 pulg. x  $\frac{1}{2}$  pulg. , o una placa de 6 pulg. de ancho y 1  $\frac{1}{2}$  pulg. de espesor. Lee indica que es recomendable usar angulares de un espesor mínimo de 12 mm.

### **5.5.3.3 Placa deslizante**

La placa deslizante puede fallar si no tiene un espesor adecuado. En el caso de la junta mostrada en la figura 22 (b) la placa deslizante es bastante flexible y una asunción conservadora es diseñar la placa como un voladizo, con una longitud de 15 pulg. en la dirección perpendicular al plano del dibujo, y cargada con 11  $\frac{1}{4}$  tons. sobre un área de 15 pulg. x 3 pulg.

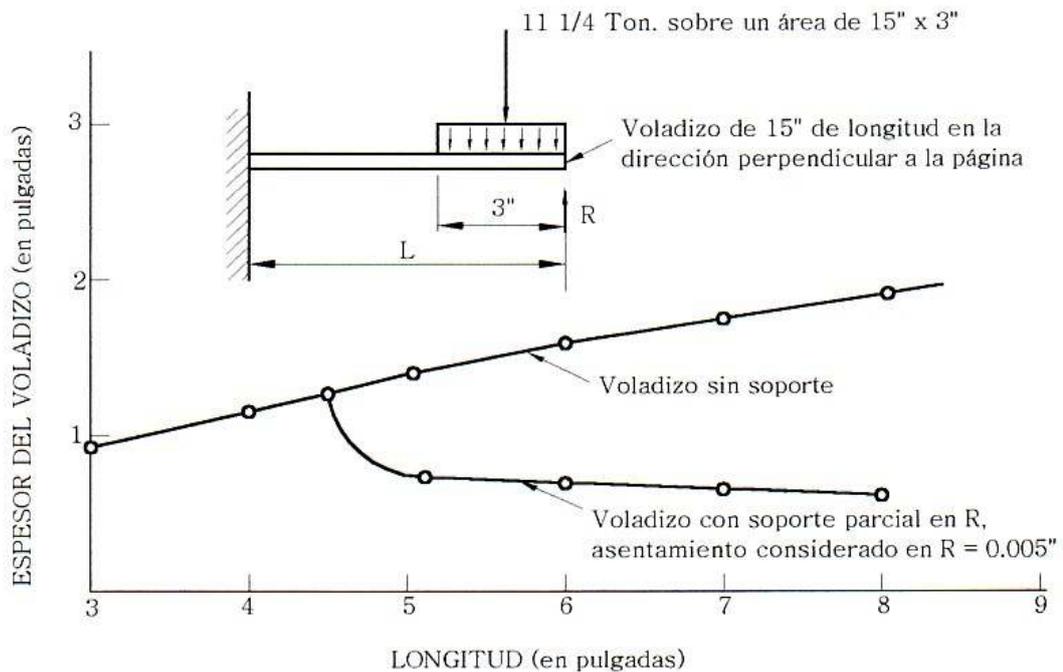
La placa deslizante puede estar trabajando como voladizo; esto sucede cuando hay un asentamiento en su extremo libre, el cual puede quedar sin apoyo debido al desgaste, a la deformación de los apoyos de hule de la superestructura, o a la fluencia del concreto bajo los apoyos. Este asentamiento puede ser de varias milésimas de pulgada.

Además, la placa deslizante puede trabajar parcialmente como voladizo. En este caso, la placa trabaja como voladizo hasta que su extremo libre alcanza una determinada deflexión. Al alcanzarse esta deflexión, la placa tiene contacto con el angular de apoyo y deja de trabajar como voladizo.

Si la placa se diseña, asumiendo que trabaja parcialmente como voladizo, debe estimarse un valor de la deflexión. Se sugiere asumir un valor de al menos 0.005 pulg. La deflexión por carga viva de los apoyos de hule se aproxima a este valor. Sin embargo, es mejor diseñar la placa asumiéndola como un voladizo completamente libre, debido a la dificultad de estimar la magnitud del asentamiento en su extremo libre.

Considerando la junta de la figura 22 (b) si la placa se diseña como voladizo con soporte parcial, y se asume un asentamiento de 0.005 en el extremo de la placa, es necesario usar una placa de  $\frac{3}{4}$  pulg. de espesor, según la figura 23.

**Figura 23. Espesor requerido de un voladizo cargado como se muestra, en el caso que éste no tiene soporte, y en el caso que el mismo tiene un soporte que se asienta 0.005 pulg.**



Fuente: W. Black. **Performance of bridge expansion joints in Great Britain.** Pag. 48

Si la misma placa es diseñada como un voladizo completamente libre, el espesor requerido de la placa es  $1 \frac{5}{8}$  pulg., según la figura 23, y la deflexión del extremo libre del voladizo llegaría a ser 0.009 pulg. Esta magnitud de movimiento es bastante menor que el asentamiento debido a la fluencia de los apoyos de caucho, por ejemplo, y probablemente es aún pequeña comparada con los movimientos producidos por el desgaste y fluencia en el concreto que pueden ocurrir.

#### 5.5.3.4 Junta con angulares superiores

Este tipo de junta se utiliza cuando la superestructura tiene una capa de asfalto como superficie de rodadura, empleándose los angulares superiores para retener el asfalto en los bordes de la junta. Ver figura 22 (a).

Cuando se emplea pernos para fijar los angulares, puede asumirse que este es un medio de fijación seguro, y que el lado vertical de los angulares está en voladizo. Si se colocan atiesadores de forma triangular soldados a los angulares, y espaciados a 1 pie, el lado vertical de los angulares puede ser diseñado como una placa en voladizo, con libertad de rotar en los atiesadores, y libre de rotar y deflectarse en su extremo superior.

Pruebas efectuadas con materiales bituminosos confinados en cilindros, sugieren que la presión lateral ejercida sobre el lado vertical de los angulares puede ser hasta de un tercio del esfuerzo vertical aplicado, por lo que en el diseño se asume que la presión lateral que se ejerce es un tercio de el esfuerzo vertical aplicado. Asimismo, se asume que el esfuerzo vertical es el producido por una carga de rueda de 11  $\frac{1}{4}$  ton., sobre un área de contacto de 15 pulg. x 3 pulg.

Si se utilizan angulares de 2  $\frac{1}{2}$  pulg. de alto con atiesadores espaciados a 1 pie, el grosor calculado de el lado vertical de los angulares es  $\frac{5}{16}$  pulg. El espesor requerido de los angulares varia linealmente con su altura hasta una altura de 4 pulg. para la que se requiere un grosor de  $\frac{1}{2}$  pulg. Al emplear un espaciamiento de los atiesadores mayor de 1 pie el espesor necesario de los angulares varía aproximadamente con la raíz cuadrada del espaciamiento de los atiesadores.

#### **5.5.4 Cargas de diseño, según el código BE 6**

Como se mencionó, el código BE 6 está basado en la investigación de Black. Este código establece que las juntas deben ser diseñadas para resistir la combinación de las siguientes cargas:

a) Carga vertical

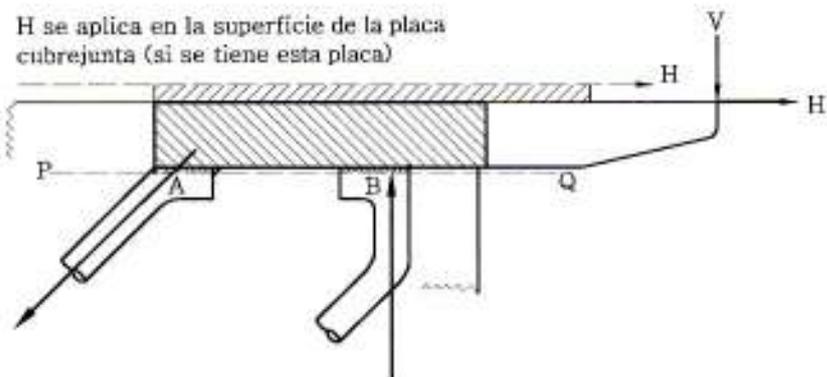
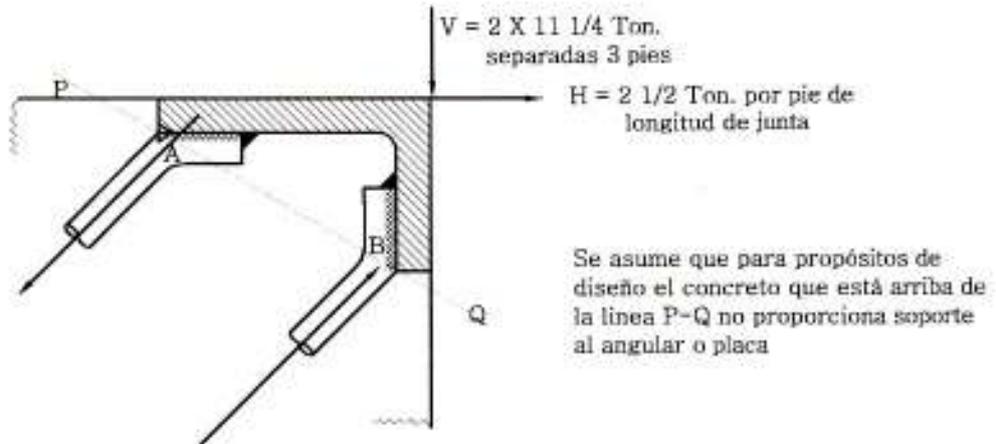
Dos cargas de rueda de  $11 \frac{1}{4}$  ton. , separadas 3 pies, con un área de contacto de 15" x 3". Dicha carga debe ser incrementada para incluir impacto. Esta carga será aplicada en la orilla de la abertura de la junta, o en el caso de juntas con una placa en voladizo, en el extremo del voladizo.

b) Carga horizontal

Una fuerza de  $2 \frac{1}{2}$  ton. por pie de longitud de junta, debida a la acción del tráfico, la cual actúa al nivel de la superficie de rodadura. Esta fuerza se combina con las fuerzas que pueden resultar al haber un sellador a presión dentro de la junta.

Nota: En el diseño del anclaje, las fuerzas que actúan en las barras deben ser calculadas según las leyes de la mecánica, asumiendo que el concreto situado bajo las líneas P- Q, en la siguiente figura, no proporciona soporte.

Figura 24. Cargas de diseño, según el código BE- 6

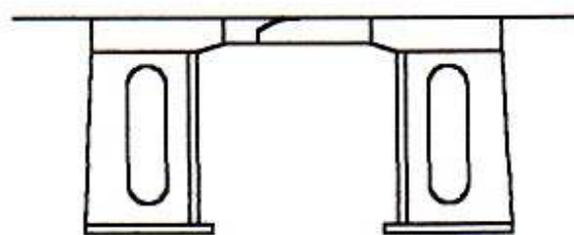


Fuente: Technical memorandum BE 6. Pag. 7

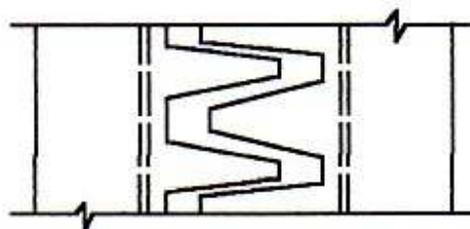
## 5.6 Junta con placa en forma de dedos

Las juntas de dedos también son llamadas juntas dentadas o tipo peine. En la figura 25 se muestra una junta de dedos. En la junta de esta figura los dedos (protuberancias en forma de barras) están en voladizo, pero éstos pueden tener una mayor longitud y quedar apoyados sobre el borde de la junta.

**Figura 25. Junta de dedos**



SECCIÓN



PLANTA

Las juntas de dedos usualmente son ensambladas en fábrica. Estas juntas soportan la carga de rueda directamente. Prácticamente este es el tipo de junta más usado cuando el movimiento en los puentes es mayor de aproximadamente 10 cms. Generalmente, las juntas de dedos tienen una durabilidad adecuada y son ampliamente utilizadas en puentes de acero.

Este tipo de junta de expansión puede tener incorporado un sistema de drenaje, el cual se instala abajo de la junta o a un lado de ésta, en cuyo caso se coloca una rejilla al nivel de la superficie de rodadura. El problema más común es la obstrucción del canal de drenaje con arena y desechos, lo cual frecuentemente impide la operación adecuada de la junta y en casos extremos hace que los dedos de la junta se levanten.

Asimismo, cuando el drenaje no está diseñado en forma adecuada, éste no es completamente efectivo, y la basura que arrastra el agua a través de la junta se deposita sobre los elementos del puente situados bajo la misma. Este material depositado retiene la humedad produciendo el oxido en los miembros de acero y el deterioro de las superficies de concreto.

El sistema de drenaje debe limpiarse con frecuencia para que no se obstruya. El lavado frecuente de todas las superficies horizontales expuestas bajo la junta, para remover los sedimentos, contribuye a evitar la oxidación excesiva del acero y el deterioro del concreto. Se puede instalar placas protectoras de metal en los extremos de las vigas de acero de la superestructura, o sobre los dispositivos de apoyo, para impedir la acumulación de desechos sobre ellos.

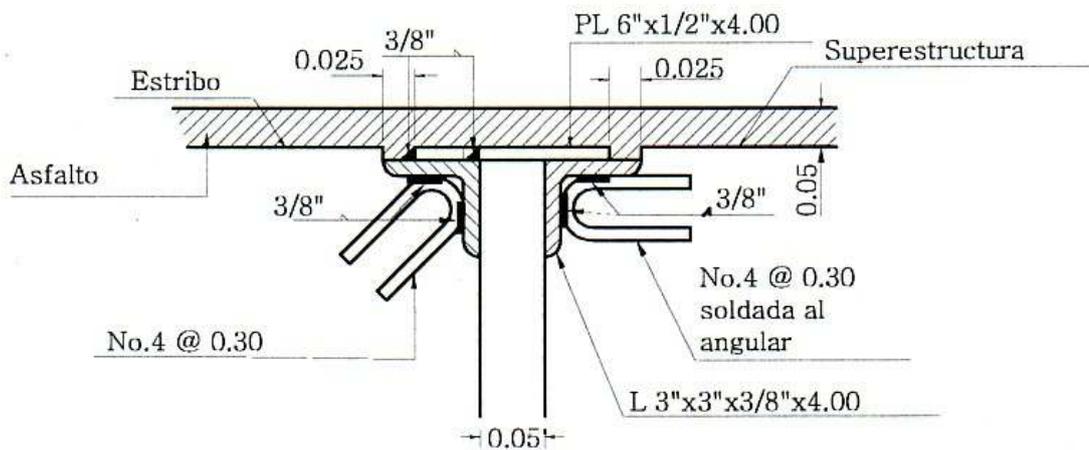
Si la superficie de rodadura de los puentes se conserva limpia, una cantidad mínima de desechos va a entrar al sistema de drenaje, lo cual ayuda a evitar la necesidad de una limpieza frecuente de éste.

El uso de juntas de dedos puede ser observado en el puente Belice de la ciudad capital, así como en el nuevo puente San Juan de la carretera CA- 10, tramo Río Hondo- Zacapa (ver figura 18).

## 6. JUNTAS AHOGADAS

Cuando se utiliza una capa de asfalto como superficie de rodadura de los puentes, es usual colocar ésta en forma continua sobre las juntas de expansión. Debido a que en este caso las juntas quedan cubiertas por la capa de asfalto, en algunos países a esta clase de juntas se les conoce como juntas ahogadas. En este tipo de juntas los desplazamientos de los extremos de la superestructura son absorbidos por la deformación del pavimento asfáltico.

**Figura 26. Junta ahogada estandar de la Dirección General de Caminos**



Fuente: Archivo de la Dirección General de Caminos

Estas juntas son usadas ampliamente por las ventajas que presentan como son:

- a. Se facilita el recapeo, ya que se obtiene una superficie de rodamiento que se puede renovar en lo que respecta a desgaste y resistencia al deslizamiento.
- b. Se facilita conseguir una buena calidad de rodamiento sobre las juntas de expansión, porque con su utilización se obtiene una superficie de rodamiento lisa y continua, produciéndose el rodamiento de las llantas de los vehículos sin molestias (las juntas ahogadas son el tipo de juntas que tienen la mejor calidad de rodamiento).
- c. Se puede proteger el concreto estructural por una capa impermeable.
- d. Se reduce el ruido producido por el rodamiento de las llantas de los vehículos sobre la superficie de concreto (lo cual ocasiona alguna molestia en áreas urbanas).

## **6.1 Factores que afectan a las juntas ahogadas**

En investigaciones sobre juntas ahogadas realizadas en Gran Bretaña se trató de identificar los factores que influyen en el comportamiento de éstas, para así establecer las causas de la falla prematura de las mismas.

El comportamiento de las juntas ahogadas, frecuentemente, depende de una compleja combinación de factores y no necesariamente todos los tipos de junta ahogada son afectados por la misma combinación de factores.

Los movimientos que tiene un puente, es un factor muy importante de tomar en cuenta cuando se emplean juntas ahogadas o selladas de alguna forma. Las juntas ahogadas deben estar diseñadas para acomodar los movimientos que se generan en las mismas por la acción del tráfico y por los cambios de temperatura, de manera que la capa de asfalto que se coloca sobre ellas no tenga efectos adversos.

Los movimientos que se producen en las juntas ahogadas debido a la acción del tráfico son influidos por:

- a) rigidez de la superestructura
- b) suma de las cargas de los ejes de los vehículos, sobre las superestructuras adyacentes a la junta
- c) diferencia de altura que hay entre la capa de rodadura y los apoyos de la superestructura
- d) posición del eje de rotación de los extremos de la superestructura
- e) tipo y comportamiento de los apoyos de la superestructura
- f) diseño de la junta y materiales de la misma
- g) capa de rodadura sobre la junta
- h) otras restricciones estructurales según el diseño del puente

## **6.2 Esfuerzos en la capa de asfalto que cubre las juntas**

Las juntas de expansión están sometidas a movimientos de amplitud grande y baja frecuencia en el plano horizontal debido a la expansión y contracción térmica de la superestructura, y además como consecuencia del paso de vehículos sobre ésta, las juntas tienen movimientos de pequeña amplitud y alta frecuencia en los sentidos horizontal y vertical así como movimientos de rotación.

Durante la temporada de verano, el movimiento de expansión de la superestructura produce un esfuerzo de compresión en la capa de asfalto sobre las juntas. En este caso, al estar el asfalto caliente y sometido a la acción del tráfico puede deformarse con facilidad, reduciéndose los esfuerzos.

El caso contrario sucede en la temporada fría del año, cuando se da el acortamiento de la superestructura, por lo que se genera un esfuerzo de tensión en la capa de asfalto, pudiéndose formar grietas en ésta.

Asímismo, al producirse la abertura de las juntas como resultado del movimiento de rotación de los extremos de la superestructura debido a su deflexión bajo la acción de la carga viva, se genera un esfuerzo de tensión en la carpeta asfáltica sobre las juntas. La magnitud y frecuencia de el esfuerzo de tensión depende del tipo de cargas aplicadas y del volumen de tráfico existente. Este esfuerzo es rápidamente cambiante al ser alta la velocidad de aplicación de las cargas.

La rapidez y alta frecuencia de aplicación de las cargas hace que los movimientos de rotación de los extremos de la superestructura sean rápidos y frecuentes, lo cual puede dificultar el acomodamiento de los materiales de la carpeta asfáltica, formándose grietas sobre las juntas.

El mayor grado de deterioro del asfalto sobre las juntas ocurre cuando se da el rango máximo del movimiento de acortamiento de la superestructura, ya que la tensión en la carpeta asfáltica es mayor porque la tensión que se genera en el asfalto debido a la contracción de la superestructura se suma a la tensión producida por la abertura de las juntas bajo la acción de la carga viva. Es decir, en este caso la rotación de los extremos de la superestructura por la acción del tráfico ocurre cuando el asfalto tiene la menor capacidad de resistir el esfuerzo de tensión.

El rango máximo del movimiento de acortamiento de la superestructura se presenta cuando se da la temperatura mínima del rango de temperatura correspondiente, y si simultáneamente se ha producido la totalidad del acortamiento debido a la fluencia y contracción por secado.

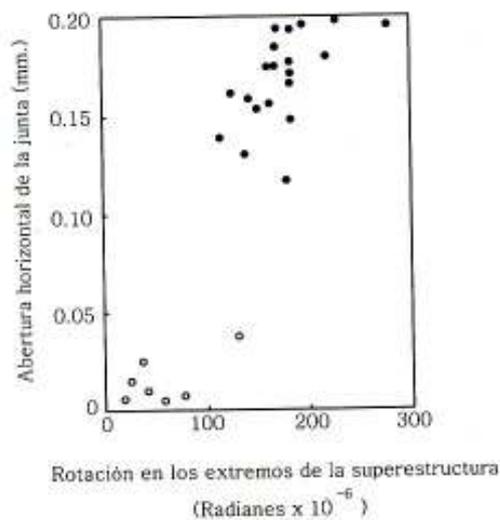
### **6.3 Movimiento de rotación**

Como se mencionó, el movimiento de rotación de los extremos de la superestructura tiene un efecto adverso en la capa de asfalto que cubre las juntas. La magnitud del movimiento de rotación en las juntas depende de varios factores:

### 6.3.1 Rigidez de la superestructura

Al ser menor la rigidez de la superestructura es mayor el movimiento de rotación de los extremos de la misma, bajo la acción de las cargas, y por consiguiente, es mayor la abertura que se produce en las juntas al nivel de la superficie de rodadura.

**Figura 27. Comparación de los movimientos y rotaciones en las juntas de expansión en puentes con vigas de concreto, y en puentes con vigas de construcción compuesta acero/concreto (debidos a la carga de un solo vehículo colocado al centro de la luz)**

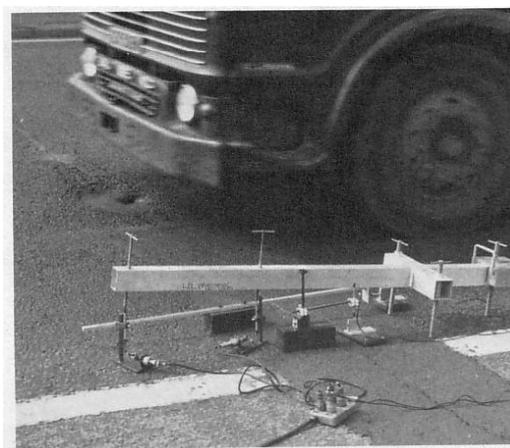


- Estructuras de vigas de construcción compuesta acero/concreto (15 m. de luz)
- Estructuras de vigas de concreto (30 m. de luz)

En una investigación sobre juntas ahogadas realizada por Price en Gran Bretaña, se efectuó la medición de la abertura y rotación en las juntas de expansión producidas por un camión de 15 tons., tanto en superestructuras con vigas longitudinales de concreto como en superestructuras con vigas de construcción compuesta acero-concreto (vigas de acero trabajando como vigas de sección compuesta con el concreto de la losa). Los resultados obtenidos se indican en la figura 27.

En esta figura se muestra que en las superestructuras de vigas de concreto, las cuales tienen una mayor rigidez, las rotaciones en las juntas son relativamente pequeñas. En las juntas de las superestructuras de vigas de construcción compuesta acero-concreto, las rotaciones son considerablemente mayores que las que se producen en las de vigas de concreto, debido a su menor rigidez. En este tipo de superestructuras al haber mayor rotación en sus extremos la abertura que se da en las juntas es mayor.

**Figura 28. Instrumentos de medición y vehículo de prueba para medir los movimientos y rotaciones en una junta de expansión**



Fuente: **Joint sealing and bearing systems for concrete structures.** Pag. 332

Además, en las superestructuras de vigas de construcción compuesta acero-concreto la abertura de las juntas se incrementa aún más, debido a que generalmente este tipo de superestructuras tiene un mayor peralte, es decir, hay una mayor altura entre el nivel de la superficie de rodadura y el nivel de los apoyos de la superestructura.

En la investigación de Price se emplearon también vehículos de prueba de 30 y 32 tons. En las superestructuras de vigas de construcción compuesta acero-concreto, con un vehículo de 32 tons., son valores típicos de movimientos en las juntas, una rotación de 0.0004 radianes y una abertura de junta 0.35 mm.

En la tabla X se dan valores promedio típicos de los movimientos medidos por Price en las juntas de superestructuras de vigas de construcción compuesta acero-concreto, debidos a un solo vehículo con un peso total de 30 tons., y con 4 ejes, colocado al centro de la luz del puente. Esta tabla muestra que la abertura de las juntas tiene relación con la longitud del puente.

**Tabla X. Movimientos típicos medidos en las juntas  
(Superestructura de vigas de construcción compuesta acero-concreto)**

Longitud de superestructura (mts.)	Carga de vehículo de 30 tons.	
	Abertura horizontal en la junta (mm.)	Rotación (radianes x 10 <sup>-6</sup> )
15	0.28	350
18	0.33	390
21	0.36	420

Fuente: **Joint sealing and bearing systems for concrete structures.** Pag. 325

### **6.3.2 Tráfico pesado**

El deterioro en las juntas ahogadas es mayor cuando circula tráfico pesado. Si en una carretera hay un volumen grande de vehículos comerciales pesados esto afecta el comportamiento de las juntas ahogadas de los puentes debido a que en éstas se producen movimientos de rotación relativamente grandes, y además se incrementa la frecuencia de estos movimientos.

Es decir, los puentes que tienen superestructuras de menor rigidez y circulación de tráfico pesado, tienden a tener un mayor deterioro en las juntas ahogadas. En nuestro medio esta situación es notoria, por ejemplo, en los puentes que tienen superestructura de armadura de acero, en la carretera CA-9 Norte.

### **6.3.3 Acción de varias cargas**

Al ser mayor el número de vehículos que hay sobre una superestructura, aumenta la rotación de sus extremos y la abertura de las juntas. Si sobre una misma superestructura se encuentran dos vehículos que tienen una carga similar, uno atrás del otro, o uno a un lado del otro, las mediciones efectuadas por Price indican que la abertura de las juntas se incrementa aproximadamente en un 65 %.

Cuando los puentes tienen varias luces, y superestructuras simplemente soportadas, al haber cargas de tráfico simultáneamente en dos superestructuras adyacentes, ambos lados de la junta que está entre los tramos contiguos pueden tener rotación aumentando así la abertura de la junta. Si en cada una de dos superestructuras adyacentes se encuentra un vehículo al centro de la luz la abertura de la junta se incrementa aproximadamente en un 90 %, según las mediciones efectuadas por Price.

#### **6.3.4 Restricción al movimiento en los apoyos de la superestructura**

Como se mencionó en el capítulo 2, respecto al movimiento de rotación en las juntas, cuando una superestructura se flexiona bajo la acción de las cargas, y un extremo de ésta tiene restricción al movimiento longitudinal por tener un apoyo fijo, se tiene el efecto de que en ese extremo la posición del eje de rotación baja al nivel del apoyo fijo, incrementándose así la abertura de la junta sobre dicho apoyo.

Por ejemplo, algunas veces las superestructuras de vigas de construcción compuesta acero-concreto tienen esta restricción en los apoyos. Esta situación también contribuye a que en este tipo de superestructuras sea mayor la abertura de las juntas bajo la acción del tráfico.

#### **6.4 Deformación vertical de los apoyos de la superestructura**

El agrietamiento de la capa de asfalto sobre las juntas no está relacionado únicamente al movimiento horizontal de un puente. Según Black, la formación de grietas en el asfalto también parece tener relación con los movimientos verticales de la superestructura, ya que cuando en ésta se utilizan apoyos de tipo compresible (de caucho) se produce un desplazamiento vertical de la junta debido a la deformación de los apoyos, al paso de la carga de los ejes de los vehículos.

El código BD 33/88 establece que si la capa de asfalto de rodadura es colocada en forma continua sobre las juntas de expansión (es decir, cuando se emplean juntas ahogadas), el movimiento vertical máximo aceptable entre los dos lados de la junta es 1.3 mm. (0.05 pulg.).

El código BE 3/72 establece que el movimiento vertical relativo entre los dos lados de una junta de expansión normalmente sólo es apreciable cuando la superestructura está soportada sobre apoyos de tipo flexible. Este código indica que la deflexión de los apoyos de caucho bajo la acción de la carga viva usualmente está comprendida en el rango de 0.01 a 0.4 mms. (0.0004 a 0.016 pulgs). Asimismo, el código indica que la acción combinada de la carga muerta y la carga viva pueden producir en los apoyos de caucho una deflexión de hasta 1.25 mm. (0.05 pulg.) y algo más si se utilizan apoyos muy altos.

Black considera que si el movimiento vertical en una junta ahogada es mayor de aproximadamente 0.015 pulg., se produce el agrietamiento de una capa de asfalto de 4 a 5 pulg. de espesor sobre la junta, después de 4 a 5 años de estar en servicio, independientemente de la longitud que tenga la superestructura.

## **6.5 Acción del agua**

En un puente hay tendencia a que el agua permanezca retenida en la estructura del mismo por períodos largos de tiempo. Es decir, el dispositivo de drenaje de la superestructura no siempre trabaja adecuadamente. Debido a la exposición prolongada al agua, ésta puede filtrarse en algunas partes de la estructura tales como las juntas de expansión del puente.

Cuando se ha producido el agrietamiento del asfalto sobre las juntas de expansión, se facilita la entrada del agua en la capa de asfalto. Sin embargo, el asfalto es un material poroso y aunque no presente agrietamiento el agua puede penetrar en él.

El agua que penetra en la capa de asfalto de rodadura de la superestructura, y que queda atrapada en ésta debido a la falta de drenaje, tiene un efecto adverso, ya que bajo la acción de las cargas de tráfico se produce una presión hidrostática que puede causar el deterioro del asfalto. Asimismo, en localidades en donde se dan temperaturas muy bajas y hay congelamiento del agua que se filtra en el asfalto, la fuerza expansiva que ejerce el agua congelada contribuye al deterioro del mismo.

La filtración de agua en las juntas de expansión puede producir corrosión en la subestructura y en los elementos de la superestructura próximos a las juntas, tales como los apoyos de ésta. Asimismo, la filtración de agua con material de arrastre puede dejar manchas en las paredes de la subestructura, lo que da una mala apariencia a un puente, especialmente en el caso de puentes que son pasos a desnivel.

El código BE 3/72 indica que el agua tiende a penetrar en la capa de asfalto de rodadura de un puente, y acumularse en las partes bajas de la misma, por lo que debe preverse el subdrenaje del agua que penetra en ésta, especialmente en el área adyacente a las juntas de expansión. Por esta razón, es conveniente que la superficie que está bajo la capa de asfalto tenga pendiente.

En algunos países para evitar la filtración del agua se utiliza una membrana impermeable que se coloca entre la carpeta asfáltica de rodadura y la losa de la superestructura. El código BE 3/72 recomienda que esta membrana tenga continuidad sobre las juntas de expansión del puente.

El concreto denso es durable aunque tenga contacto constante e intermitente con el agua, pero el concreto poroso y de mala calidad puede ser dañado por la filtración lenta y constante del agua.

Cuando una estructura está expuesta al medio ambiente es esencial que la mezcla de concreto empleada en su construcción tenga una relación agua-cemento baja, ya que tales mezclas son densas y prácticamente no son absorbentes.

### **6.5.1 Retenedores de agua (waterstops)**

Los retenedores de agua están formados por una banda de material impermeable, la cual, durante la construcción, se coloca a través de la abertura de la junta de expansión, es decir, entre las paredes adyacentes a ésta, quedando así una barrera al paso del agua.

Los primeros retenedores de agua que se utilizaron estaban fabricados de acero o cobre, y su efectividad únicamente dependía de el grado de adherencia entre el metal y el concreto, además solo tenían capacidad de acomodar movimientos limitados.

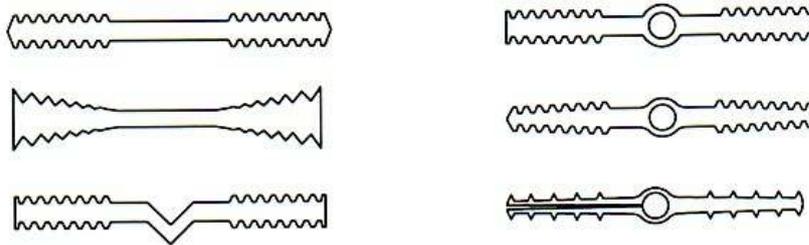
En la actualidad, los retenedores flexibles no-metálicos son el tipo de retenedores más usados. Los principales materiales con los que éstos se fabrican son:

- hule natural
- PVC

El PVC es el plástico más utilizado en la fabricación de retenedores. Los retenedores plásticos pueden ser adquiridos en rollos de bastante longitud, lo cual reduce la necesidad de hacer empalmes, asimismo, pueden ser doblados para acomodarlos a contornos irregulares, y además son resistentes al daño producido por medios mecánicos así como al ataque de los químicos.

En la figura 29 se muestra algunos de los tipos básicos de retenedores de agua, los cuales son de uso común. En todos estos tipos se sigue el principio de que la mitad de el ancho del retenedor debe quedar embebida en el concreto a ambos lados de la junta, de manera que el retenedor cubra la abertura de la junta. Cada uno de estos tipos tiene bulbos laterales o pequeños dientes, que son de mayor dimensión que el espesor de el retenedor; los cuales al estar embebidos dentro del concreto resisten la tendencia de éste a salirse del concreto cuando la junta se abre.

**Figura 29. Retenedores de agua típicos**



Fuente: **Joint sealing and bearing systems for concrete structures.** Pag. 454

Los retenedores de bulbo central vacío tienen la mayor flexibilidad; al utilizarlos se reducen los esfuerzos de corte en ellos cuando se producen deformaciones transversales.

## 6.6 Proceso de agrietamiento de la capa de asfalto

La vida útil del pavimento asfáltico de una carretera depende de muchos factores, en promedios, esta es de 12 a 15 años. Posiblemente, la misma es menor en las zonas del pavimento en que se producen movimientos, tales como las áreas que están sobre las juntas de expansión de los puentes, si la capa de asfalto es colocada en forma continua sobre ellas.

**Figura 30. Daño en junta ahogada de puente Villalobos 5**



El deterioro de las juntas ahogadas comienza con una grieta de pelo que se forma en la capa de asfalto de rodadura, la cual usualmente se localiza a lo largo de la abertura de expansión de las juntas. Con el transcurso del tiempo aumenta el deterioro, produciéndose el agrietamiento múltiple y formándose baches. Al estar la superficie de rodadura en estas condiciones es mayor el riesgo de que haya filtración de agua a la subestructura.

Según la investigación realizada, Price estableció que cuando el movimiento de la superestructura, debido a la acción térmica, es mayor de 12mm., se produce el agrietamiento de la capa de asfalto sobre las juntas. En las pruebas efectuadas en dicha investigación se consideró que el movimiento que producía el agrietamiento era debido solamente a la acción de la temperatura, ya que en este caso el movimiento debido a la acción del tráfico era mínimo, por haber sido el tráfico existente en estas pruebas de tipo liviano.

Durante la temporada de verano, debido al movimiento de expansión de la superestructura, las grietas aisladas localizadas en el asfalto sobre las juntas tienden a cerrarse completamente, se vuelven imperceptibles, y no aumenta el deterioro del asfalto, sin embargo, media vez se ha producido el agrietamiento múltiple el deterioro continúa durante todo el año.

Los trabajos de mantenimiento a realizar en las juntas ahogadas tienen relación con el tipo de falla que hay en ellas. Como se mencionó, en algunos casos la forma de falla consiste en que aparece una grieta en la capa de asfalto, cerca de las juntas de expansión, la cual es producida por los esfuerzos de tensión que se generan en la capa de asfalto que está sobre las juntas, debido a los movimientos de contracción de la superestructura.

Otro tipo de falla que se da en la capa de asfalto sobre las juntas es la formación de dos grietas paralelas separadas entre sí por pocas pulgadas. Black considera que ésta tiene la apariencia de ser una falla a compresión, sin embargo, estas grietas coinciden aproximadamente con los bordes de la cortina del estribo, por lo que posiblemente la grieta que se produce cerca del borde de adelante de la cortina es debida al movimiento de contracción de la superestructura, y la grieta cercana a la orilla posterior de la cortina la causa el asentamiento del relleno de acceso al puente, o la deflexión horizontal del estribo bajo la acción del empuje del material de relleno que sustenta.

El tipo de falla de dos grietas paralelas generalmente da mas problemas de mantenimiento ya que la franja de asfalto que queda entre las grietas puede levantarse, formándose baches.

El sellado de las grietas sobre las juntas usualmente no es una solución al problema de agrietamiento. Si se sellan las grietas se evita que el deterioro (y la filtración de agua) aumente por unos meses, hasta que las grietas se abran de nuevo, o hasta que se formen nuevas grietas a un lado de las antiguas grietas, lo cual acelera el deterioro.

## **6.7 Criterios de falla**

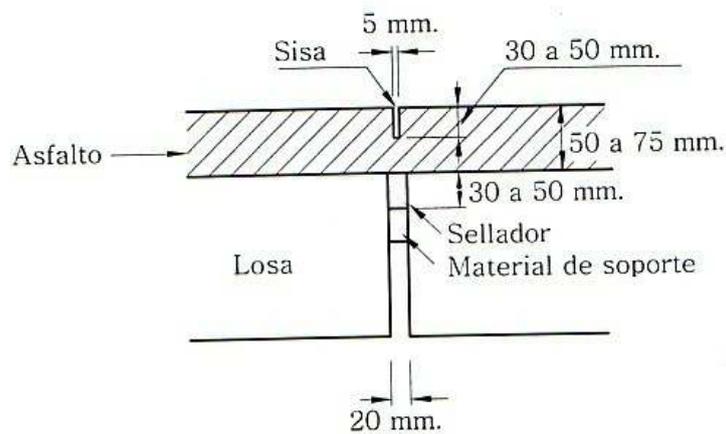
La evaluación del comportamiento de las juntas ahogadas depende de el criterio de falla adoptado. Black considera los criterios de falla mencionados a continuación :

- a) Si se asume que la capa de asfalto que cubre las juntas de expansión debe comportarse como una membrana impermeable, entonces, desde ese punto de vista, la capa de asfalto es siempre inadecuada para esta función después de un tiempo muy corto de estar la junta en servicio.
- b) Cuando el criterio de falla adoptado es, si se produce o no, agrietamiento visible en el asfalto sobre las juntas, se pueden hacer las siguientes consideraciones, para capas de asfalto de 2 ½" a 4" de espesor, y de aproximadamente 5 a 8 años en servicio :
- Las juntas de expansión de las superestructuras que tienen una longitud de hasta 40' (12.20 m.) usualmente pueden ser cubiertas por una capa de asfalto en forma satisfactoria.
  - En las superestructuras que tienen longitudes de expansión de 40' a 60' (12.20 m. a 18.29 m.) la capa de asfalto sobre las juntas puede o no tener agrietamiento.
  - En las superestructuras de más de 60' (18.29 m) de longitud la mayoría de capas de asfalto se agrietan sobre las juntas de expansión.
- c) Otro criterio de falla, es el más empleado en la práctica, no se basa en si se produce agrietamiento del asfalto, sino en la calidad de rodamiento; es decir, en este caso se toma en cuenta el estado que presenta la superficie de rodamiento de asfalto sobre las juntas, en relación a que si éstas ocasionan molestias a los vehículos al pasar sobre ellas, debido a la presencia de baches.

## 6.8 Junta con sisa en el asfalto

Este tipo de juntas ha sido usado en Japón. En este caso, el agrietamiento de la capa de asfalto sobre las juntas producido por los movimientos longitudinales y de rotación de las vigas de la superestructura se concentra en la sisa transversal que se hace con una sierra de asfalto.

**Figura 31. Junta con sisa en el asfalto**



Fuente: **Design of expansion joints.** Pag. 2

Estas juntas son empleadas en puentes con superestructuras de concreto de luces cortas en las cuales el movimiento horizontal es menor de 5 mm. Se utiliza una abertura de junta de aproximadamente 2 cms., en la que se instala un sellador y su soporte. En la sisa se coloca un material a base de caucho, para impermeabilizarla.

Las juntas con sisa presentan algunos problemas respecto a su durabilidad. En estas juntas fácilmente se forman grietas en el asfalto bajo la sisa debido a la acción de las cargas y al impacto de los vehículos, por lo que al fracturarse el asfalto puede caer el soporte del sellador, así como pedazos de la capa de asfalto. Además, algunas veces se produce la fractura de la losa de la superestructura.

El código BE 6 indica que si sobre la junta se hace una sisa en el asfalto con una sierra, y ésta es llenada con un sellador vertido, se evita la formación de mas de una grieta en el asfalto.

## **6.9 Juntas patentadas presentadas en los códigos BA 26/ 88 y BD 33/ 88**

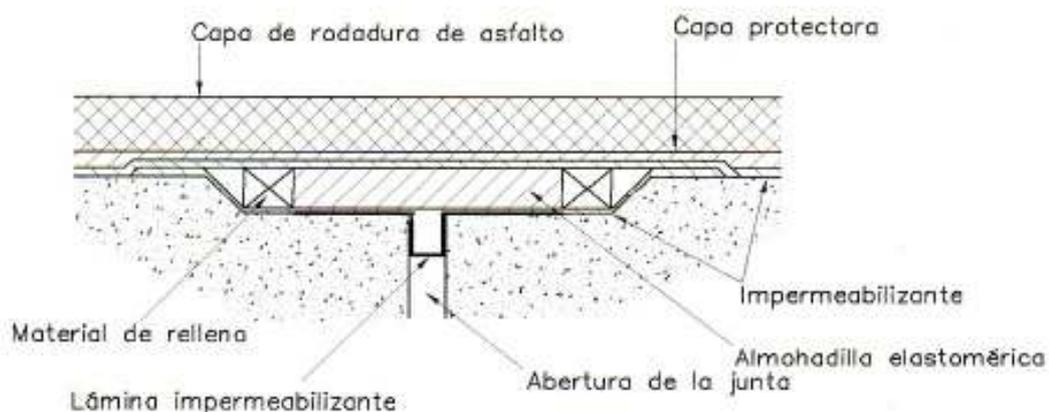
El código BA 26/88 indica que usualmente una junta de expansión no tiene la misma vida útil que la de un puente. Muchos de los componentes usados en ciertos tipos de juntas tienen una vida útil más corta tales como los sellos a compresión. (El código BE 3/72 fue actualizado, y sustituido por los códigos BD 33/88 y BA 26/88, en Gran Bretaña).

### 6.9.1 Junta ahogada (buried joint)

El código BA 26/88 indica que el comportamiento satisfactorio de una junta ahogada en servicio depende de la magnitud de los movimientos horizontales de los puentes y de la magnitud de las cargas de tráfico aplicadas.

Asimismo, dicho código indica que cuando en una junta ahogada se utiliza una placa rígida sobre la abertura de la junta (por ejemplo una placa de acero) el principal problema es que la placa no puede doblarse para acomodar el movimiento de rotación en la junta, por lo que en este caso la rotación del extremo de la superestructura debido a las cargas de tráfico es el factor que más influye en la falla prematura de las juntas ahogadas.

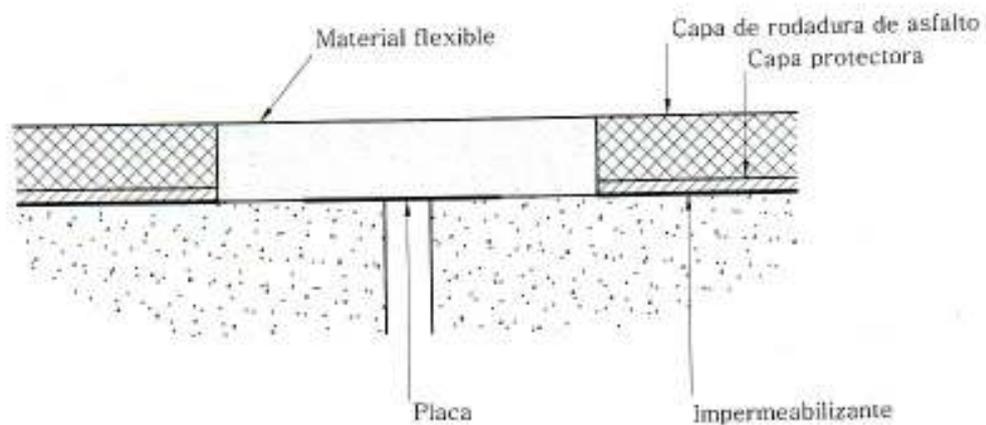
**Figura 32. Junta ahogada**



Al usar el tipo de junta de la figura 32 la capa de asfalto de rodadura debe poseer un espesor mínimo de 10 cms. . Esta junta es adecuada si en un puente hay movimientos horizontales hasta 1 cm. Para movimientos horizontales en el rango de 1 a 2 cms. , se requiere una almohadilla elastomérica en la junta. Si sobre esta junta se coloca un asfalto de alta flexibilidad (asfalto ahulado), en una franja de 50 a 60 cm. de ancho, mejora la flexibilidad y por lo tanto la durabilidad de la junta.

### 6.9.2 Junta tipo tapadera (plug joint)

Figura 33. Junta tipo tapadera



Fuente: **Expansion joints for use in highway bridge decks. Advice note BA 26/88. Pag. 3**

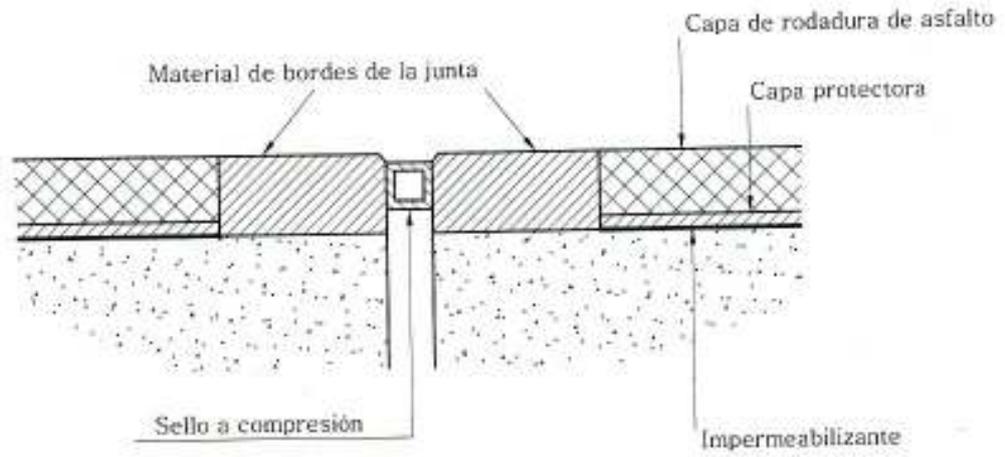
En este tipo de junta se utiliza una mezcla de material flexible y agregado, la cual es soportada por una placa metálica delgada colocada sobre la abertura de la junta. Usualmente, el material de la junta es construido por capas. El material flexible de la junta acomoda el movimiento horizontal del puente, y trabaja como superficie de rodadura.

Este sistema de junta fue desarrollado durante la década de 1970. El material empleado actualmente en esta junta ha sido mejorado, ya que el material usado inicialmente era demasiado flexible. Para que esta junta tenga un comportamiento satisfactorio, las capas de asfalto adyacentes a la misma deben tener un espesor mínimo de 10 cms.

### **6.9.3 Junta con bordes protegidos (nosing joint)**

En este tipo de junta se utiliza un material construido en el lugar, o prefabricado. El objetivo de la misma es proteger los bordes adyacentes a la capa de asfalto de rodadura. Este sistema de junta se empezó a usar en Gran Bretaña en 1964 utilizando mortero epóxico. En la actualidad, se emplean otros materiales en la junta, tales como poliuretano. (En Gran Bretaña, la utilización de este tipo de junta casi sustituyó el uso de juntas que tienen los bordes protegidos por angulares o placas de acero).

**Figura 34. Junta con bordes protegidos**



Fuente: **Expansion joints for use in highway bridge decks. Advice note BA 26/88. Pag. 3**



## CONCLUSIONES

1. Las juntas de expansión son afectadas por el movimiento producido por la acción de la temperatura así como por otros tipos de movimientos.
2. En el comportamiento de las juntas de expansión de un puente tiene influencia el grado de rigidez de la superestructura.
3. El comportamiento de las juntas de expansión es diferente si el tipo de tráfico existente es pesado o liviano.
4. Las juntas armadas con placa cubrejunta tienden a fallar si hay tráfico pesado en un puente y éste tiene una superestructura de poca rigidez.
5. En las juntas abiertas es conveniente el uso de selladores para evitar el paso del agua y de piedras, que pueden ejercer acción de cuña al quedar atrapadas entre las paredes de las juntas.
6. En las juntas ahogadas no es conveniente el uso de placas rígidas sobre las juntas si la superestructura tiene poca rigidez y se tiene circulación de tráfico pesado.
7. Debe atenderse especialmente, el anclaje de las juntas de expansión.
8. Se debe supervisar la construcción de las juntas de expansión.

9. No hay un tipo de junta que tenga un comportamiento completamente satisfactorio durante servicio.

## RECOMENDACIONES

1. No usar placa cubrejunta en las juntas armadas, y en lugar de ésta, instalar un sellador entre las juntas.
2. Se debe usar en las barras de anclaje una sección mínima de acero de 0.75 pulg.<sup>2</sup> por pie de longitud de junta, a cada lado de la junta.
3. Al perforar agujeros de ventilación en la parte superior de los angulares de anclaje se facilita la fundición del concreto bajo los angulares.
4. De preferencia, las barras de anclaje deben tener la forma de ganchos cerrados (ganchos en forma de anillos).
5. Si durante la construcción el angular de anclaje de un lado de la junta se fija en forma rígida al angular de anclaje del lado opuesto, al fundir el concreto, es conveniente quitar el medio de fijación entre ambos angulares después del endurecimiento inicial del concreto, para evitar el aflojamiento de las barras de anclaje debido a los movimientos longitudinales iniciales de la superestructura.
6. En las juntas abiertas es conveniente utilizar un sellador, especialmente si un puente tiene en la superestructura vigas longitudinales o armaduras de acero, las cuales son propensas a la corrosión.
7. Se deben proteger los bordes de las juntas abiertas con perfiles de acero para evitar el desportillamiento del concreto.

8. Si un puente tiene una capa de rodadura de asfalto, hacer una sobreelevación de concreto en los extremos de la superestructura para que la junta no quede cubierta por la capa de asfalto, e instalar un sellador entre la junta.
9. En las juntas ahogadas se debe usar un sellador apropiado y no una placa cubrejunta.
10. No usar juntas ahogadas en puentes con superestructuras de poca rigidez, y muy largas (de longitudes de aproximadamente 35.00 m.).
11. Evaluar el comportamiento de las juntas de los puentes que tienen la superestructura soportada sobre apoyos de neopreno con placas de acero intercaladas ya que este tipo de apoyos tiene una mayor altura y una mayor deformación vertical, y esto puede afectar el comportamiento de las juntas de expansión.
12. Si se usa algún tipo de junta patentada tomar en cuenta que éstas tienen una vida útil limitada.
13. Sellar las juntas de las aceras de los puentes.
14. Es conveniente una separación mínima de 20 cm. entre el diafragma exterior de la superestructura y la cortina del estribo, para facilidad de inspección y que haya ventilación; con esto se evita la humedad en los posibles sedimentos depositados, los cuales pueden provocar corrosión.
15. Evaluar el estado actual de las juntas de expansión de los puentes de las carreteras principales del país.

16. Evitar, en lo posible, las juntas de expansión en los puentes; por medio de la utilización de estructuras continuas o limitando el número de apoyos móviles en el caso de los puentes de varias luces.
17. Inspeccionar con regularidad las juntas de expansión de los puentes y proceder a su reparación si es necesario para evitar daños mayores.



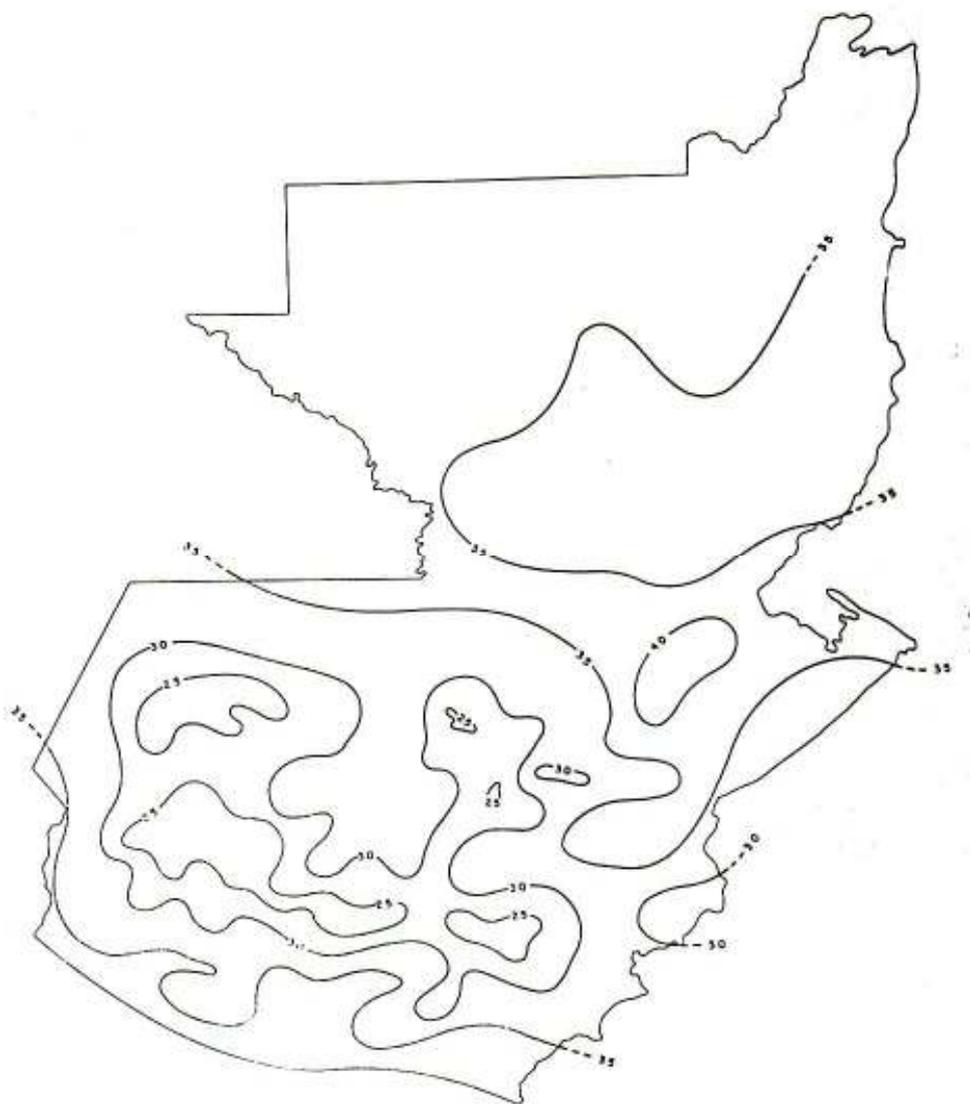
## BIBLIOGRAFÍA

1. Archivo de la Dirección General de Caminos.
2. Observatorio Nacional. **Atlas climatológico de Guatemala**. Guatemala: Ministerio de Agricultura, 1964.
3. Black, W.P.M. **Performance of bridge expansion joints in Great Britain**. (Laboratory Note No. LN/900/WPMB). Inglaterra: Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport, 1965.
4. Black, W. y D.S. Moss. **Horizontal forces on bridge expansion joints due to vehicles**. (Report LR 270). Inglaterra: Road Research Laboratory, Ministry of Transport, 1969.
5. Transport and Road Research Laboratory. **Bridge temperatures**. (Rep. 442). Inglaterra: 1978.
6. Clark, M.N. "Buried expansion joints for bridges". **The Highway Engineer**. (Inglaterra)(25): 8-14. 1978.
7. Portland Cement Association. **Concrete bridge details**. Estados Unidos: s.a.
8. Agencia de Cooperación Internacional. **Design of expansion joints**. Japón: 1990.
9. Emerson, Mary. **Bridge temperatures for setting bearings and expansion joints**. (Report SR 479). Inglaterra: Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport, 1979.
10. **Expansion joints for use in highway bridges decks**. (Technical Memorandum No. BE 6). Inglaterra: Ministry of Transport, 1967.
11. Department of Transport. **Expansion joints for use in highway bridge decks**. (Technical Memorandum No. BE 3/72 ). Inglaterra: 1972.
12. Department of Transport. **Expansion joints for use in highway bridge decks**. (Departmental Standard BD 33/88). Inglaterra: 1989.

13. Department of Transport. **Expansion joints for use in highway bridge decks.** (Advice Note BA 26/88). Inglaterra: 1989.
14. Imbsen, Roy y Robert Schamber. **Thermal effects in concrete bridge superstructures.** Estados Unidos: National Science Foundation, 1986.
15. American Concrete Institute. **Joint sealing and bearing systems for concrete structures.** (Publication SP 70). Estados Unidos: 1981.
16. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. **Manual para inspección y conservación de puentes.** México: Subsecretaria de Infraestructura, 1988.
17. Meli Piralla, Roberto. **Diseño estructural.** México: Editorial Limusa, 1991.
18. Moulton, Lyle y Joseph Kula. "Bridge movements and their effects". **Public Roads.** (Estados Unidos)(Vol. 44, No. 2): 62- 75. 1980.
19. **Specifications for highway bridges.** Japón: Japan Road Association. s.a.
20. American Association of State Highway and Transportation Officials. **Thermal effects in concrete bridge superstructures.** Estados Unidos: AASHTO, 1989.
21. Tyler, R.G. "Creep, shrinkage and elastic strain in concrete bridges in the United Kindom, 1963-1971". **Magazine of Concrete Research.** (Inglaterra)(Vol. 28, No. 95): 55- 84. 1976.
22. Winter, George y Arthur Nilson. **Proyecto de estructuras de hormigón.** España: Editorial Reverté, 1977.

## ANEXO A

Figura 35. Temperaturas máximas extremas (°C)

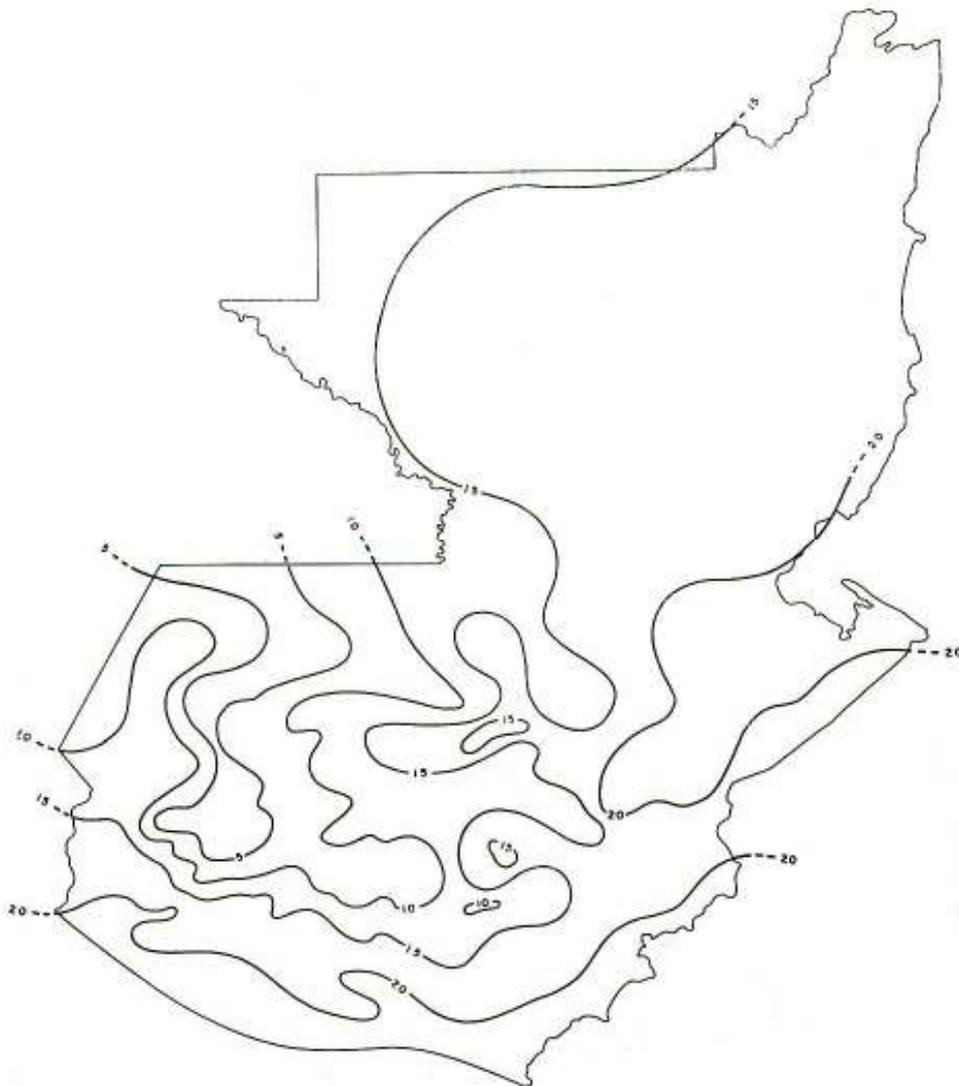


Fuente: **Atlas climatológico de Guatemala.** Observatorio Nacional.



## ANEXO B

Figura 36. Temperaturas mínimas extremas (°C)



Fuente: **Atlas climatológico de Guatemala.** Observatorio Nacional.



## ANEXO C

Figura 37. Localización de las juntas de expansión en un puente (de una luz)

