

Juntas en edificios de acero

Joints in steel buildings

Gabriel Valencia Clement¹

RESUMEN

Los elementos de mampostería y los miembros de acero usados en la construcción de edificios se mantienen en constante movimiento. Los cambios volumétricos son producto de las variaciones de temperatura y las deformaciones producidas por las cargas estáticas o dinámicas, y en algunos materiales, por los cambios en el contenido de humedad dentro de los mismos, tal el caso de la mampostería. El presente artículo está dirigido a la determinación de cuándo se requieren juntas de expansión o sísmicas, y como proporcionarlas y diseñarlas con propiedad, específicamente en edificios de acero. No se incluye el estudio de las juntas en estructuras de concreto, en muros, ni otros elementos arquitectónicos.

Palabras clave: edificios de acero, juntas de expansión, juntas sísmicas, sismos, cambios de temperatura, coeficientes de expansión.

ABSTRACT

Masonry and steel components used in constructing buildings are in a constant state of motion. Volumetric changes are produced by temperature variation and deformation resulting from static or dynamic loading and in some materials, such as masonry, due to moisture content. This article addresses means of determining when expansion and seismic joints are required and how to proportion and design appropriate joints, specifically in steel buildings. It does not cover the study of expansion joints in concrete structures, in masonry construction or in non-structural (architectural) elements.

Keywords: steel building, expansion joint, seismic joint, earthquake, temperature change, coefficients of expansion.

Recibido: agosto 15 de 2005

Aceptado: enero 31 de 2006

Introducción

Los cambios volumétricos dependen de las propiedades físicas de los materiales, puesto que cada material reacciona de forma diferente cuando está solicitado por cambios de temperatura extremos o por cargas estáticas o dinámicas. Como resultado se producen movimientos diferenciales entre ellos, cuando son empleados conjuntamente en una misma construcción. En el caso particular de los edificios con estructura de acero, el diseñador debe estudiar detenidamente los cambios volumétricos esperados, no solo los de la estructura en sí, sino la interrelación de estos con los de los muros, fachadas y demás elementos de acabado anclados a ella, para concebir detalles que permitan acomodar los movimientos diferenciales causados por esos cambios. En otras palabras, los cambios volumétricos pueden afectar la integridad estructural o la funcionalidad de la construcción, y por lo tanto deben ser analizados tanto desde el punto de vista de su posible violación de estados límite de resistencia, como de la de estados límite de servicio.

Anota Fisher (2002, pp. 2) "básicamente, la necesidad de una junta de expansión en una estructura depende de las consecuencias de no tener una junta de expansión". La pregunta es: ¿puede la carencia de una junta afectar o comprometer seriamente la funcionalidad de una construcción, o causar deterioro a la estructura o a los componentes arquitectónicos? La mampostería, el concreto y el acero se expanden y se contraen a diferentes tasas. Cuando la estructura es de acero y se encuentra embebida en mampostería, resulta expuesta a cambios de temperatura bajos; no obstante, esa mampostería sí puede estar sujeta a cambios extremos, generándose en ella variaciones volumétricas mayores que las de la estructura. En la Tabla 1 se muestran los coeficientes de expansión lineal de algunos materiales (AISC, 2001, pp. 7-4). Las juntas son costosas y tanto arquitectónica como funcionalmente no son deseables, por lo tanto su incorporación en los edificios debe ser el resultado de un análisis muy juicioso y detallado.

¹ Ingeniero civil. Especialista en estructuras de acero. Profesor titular, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Gerente de TECMO S.A. gf.valencia@unal.edu.co.

Juntas de expansión

¿Cuándo y dónde se requieren juntas?

Aunque los edificios se construyen con materiales flexibles, se requieren juntas en las cubiertas y en las estructuras cuando las dimensiones en planta son grandes, debido a que si no se permite una apropiada expansión y contracción de los materiales con los cambios de temperatura se generarán fuerzas que pueden producir fallas locales o generales.

Para comprender mejor el planteamiento, supóngase una barra de acero de 20 m de longitud con una sección transversal de 10.000 mm² de área (sección de 10 x 10 cm), que se ve sujeta a un incremento de temperatura de 50°C. El cambio de longitud, si no está restringida su expansión, será:

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad (1)$$

Donde:

α = coeficiente de expansión lineal, para el acero es 1.17×10^{-5} /°C (Véase la Tabla 1)

ΔT = cambio de temperatura en °C

L = longitud del elemento, mm

Por lo que:

$$\Delta L = 0.0000117 \times 50 \times 20,000 = 11.7\text{mm}$$

En caso de proveer unos apoyos en los extremos de la barra que impidan su expansión, la reacción que se desarrollaría en estos, en el sentido del eje de la barra, puede determinarse mediante el procedimiento equivalente de calcular la fuerza requerida para acortar la barra una cantidad igual. Esta fuerza se determina a partir de la conocida expresión usada para determinar el acortamiento de una barra ΔL , con un área de sección transversal A , solicitada por una carga axial P , a saber:

$$\Delta L = \frac{PL}{AE} \quad (2)$$

Despejando para P , y con el módulo de elasticidad, E , igual a 200,000 MPa,

$$P = \frac{11.7 \times 200,000 \times 10,000}{20,000} = 1,170,000\text{N} = 1,170\text{kN}$$

Este resultado muestra la necesidad de permitir la expansión libre de los elementos de acero que pueden estar sujetos a cambios de temperatura, ejemplo típico de los cuales lo constituyen los rieles de las vías férreas. Ahora bien, si la restricción a la expansión es parcial, la fuerza que se genera, evidentemente, es menor; tal el caso de las estructuras de los edificios, en las que las vigas de cubierta, por ejemplo, tienden a alargarse con un incre-

mento de la temperatura, pero encuentran algún grado de restricción en el resto de barras, vigas y columnas, en las que el cambio de temperatura podría ser menor, y particularmente en los apoyos que impiden la deformación general de la estructura.

Tabla 1. Valores del coeficiente de expansión lineal de algunos materiales, (Cambios de temperatura en °C - multiplicar por 10⁻⁵)⁽⁻¹⁾

Metales y aleaciones		Materiales no metálicos	
Material	α	Material	α
Acero	1.17	Caliza	0.76
Acero inoxidable	1.78	Cemento portland	1.26
Aluminio	2.31	Concreto	0.99
Bronce	1.81	Granito	0.80
Cobre	1.68	Mampostería de ladrillo	0.61
Hierro, fundición gris	1.06	Mampostería de piedra	0.63
Latón	1.88	Mármol	0.81
Magnesio, aleaciones	2.90	Piedra arenisca	0.97
Níquel	1.26	Pizarra	0.80
Plomo	2.86	Yeso, estuco	1.66
Zinc, laminado	3.11		

Fuente: Manual AISC, 2001.

En el caso de las estructuras, realmente es muy difícil evaluar con precisión la magnitud de las expansiones y contracciones que sufrirán, no solo durante la vida útil, sino durante la etapa de construcción, y esa dificultad estriba en el hecho de que hay varios parámetros que el ingeniero diseñador no puede controlar. El tratamiento que se da a las juntas, en cuanto a separación, tamaño y características constructivas, es diferente según se trate de techumbres, de estructuras propiamente dichas, o de los muros u otros acabados arquitectónicos. A continuación se presentan recomendaciones para los dos primeros casos. El tercero escapa al alcance de este artículo.

Juntas de expansión en las techumbres

Algunos factores pueden hacer que sea necesario el diseño de juntas de expansión. Si hay cambios en el tipo de teja usado, o en la dirección de instalación de la misma, se presentarán concentraciones de esfuerzos que, si bien generalmente no afectarán la estructura propiamente, sí pueden generar fallas locales en la techumbre.

LaCosse, 1987, recomienda que en cubiertas deben diseñarse juntas de expansión cuando se presenten una o varias de las siguientes condiciones:

- Si hay juntas en la estructura.
- Cuando se presenten cambios de dirección en el sentido de los pórticos estructurales, o de la techumbre.
- Cuando haya aleros de diferente configuración, en L, U o T.
- Cuando el material de techumbre cambie, por ejemplo de teja metálica a losas prefabricadas de concreto.
- Cuando se construyen ampliaciones a edificios existentes.

- Cuando se encuentran zonas interiores con diferentes condiciones de calefacción.
- Cuando puedan presentarse movimientos relativos entre las paredes y la cubierta.

Para que una junta de expansión en la techumbre sea efectiva, debe extenderse a todo lo largo (o ancho) de la cubierta, y en ningún caso terminar antes de alcanzar el borde.

Juntas de expansión en las estructuras de acero

La máxima distancia entre juntas de expansión depende de muchas variables que incluyen, entre otras, los cambios de temperatura durante la construcción y los rangos de temperatura esperados durante la vida útil del edificio. Al respecto, varias de las referencias revisadas subrayan la importancia del Reporte N° 65 del Federal Construction Council, 1974. En él se establece que todo diseño de edificios debe contener un análisis de la necesidad de juntas de expansión que considere el impacto de los cambios dimensionales producidos por variaciones de la temperatura. Se plantea que como mínimo deben estudiarse los siguientes efectos:

1. Las dimensiones y la configuración del edificio.
2. Los sistemas previstos para el control de la temperatura dentro del edificio.
3. Los tipos de estructura y de conexión a los cimientos, y la simetría y rigidez respecto del desplazamiento lateral.
4. Los materiales de construcción.
5. El cambio de temperatura de diseño, ΔT , debe determinarse con el mayor de:

$$\Delta T = (T_w - T_m) \quad , \quad \text{ó} \quad \Delta T = (T_m - T_c) \quad (3)$$

Donde:

T_m : temperatura media durante la época de la construcción. El término época de construcción corresponde al período del año en el que $T \geq 0^\circ\text{C}$, (Federal Construction Council, 1974, da como ejemplo dos ciudades en Estados Unidos,, Anchorage, Alaska, donde son 5,5 meses - de abril 24 a octubre 8 - y Birmingham, Alabama, donde es un año).

T_w : temperatura excedida sobre el promedio, solo 1% del tiempo durante los meses de verano (junio - Sept.), en el lugar de la construcción. En un verano normal alrededor de 30 hrs en o por encima de este valor de diseño.

T_c : temperatura igualada o excedida, sobre el promedio, 99% del tiempo durante el invierno (Dic., Ene. y Feb.) en el lugar. En un invierno normal, resultan ser 22 horas en o por debajo de este valor de diseño.

Nota: en la Federal Construction Council, 1974, se incluyen tablas que permiten hallar $(T_w - T_m)$ y $(T_m - T_c)$ para varias ciudades en Estados Unidos. A falta de tales datos para Colombia, y teniendo en cuenta que no hay esta-

ciones, el autor propone tomar como cambio de temperatura de diseño, Δt , la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas durante el año en el lugar donde se construirá el edificio.

Es conveniente advertir que normalmente es durante la etapa de construcción que se presentan los mayores cambios de temperatura en los edificios, hasta el punto de que en ciertos casos se construyen juntas que permanecen funcionales solo durante tal etapa, y se sellan después de terminar la construcción. El criterio para determinar la necesidad de las juntas que establece el reporte citado, tiene una base empírica. Empero, el reporte advierte que si los resultados no parecen satisfactorios, se debe hacer un análisis más detallado. El reporte plantea entonces dos métodos:

A. Método empírico:

La aproximación empírica propuesta es la siguiente:

1. Para edificios que tengan pórticos formados por vigas-y-columnas, o placas-y-columnas, la máxima dimensión del edificio (si es circular, elíptico o poligonal, es la diagonal máxima), en función de Δt para el lugar de la construcción, se debe determinar de acuerdo con la Figura 1 (en el presente artículo se muestra una figura similar a la del reporte, pero en unidades del SI, mm y $^\circ\text{C}$). En dicho reporte se incluyen dentro de esta categoría de pórticos los que tengan muros de corte interiores u otros elementos de rigidización, aun si se trata de muros de concreto reforzado de base, ubicados en el perímetro (pantallas).

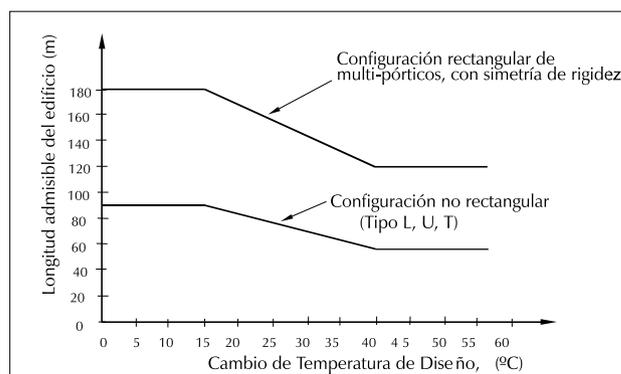


Figura 1. Longitud máxima de edificios sin juntas de expansión

2. Para edificios con sistema de muros exteriores de mampostería no reforzada, las juntas deben estar espaciadas a intervalos que no excedan 60 m. Adicionalmente, se deben ubicar subjuntas intermedias, espaciadas de acuerdo con recomendaciones del Brick Institute of America y la National Concrete Masonry Association. (En el reporte se suministran referencias bibliográficas). El autor recomienda a Laska (1993), cuya publicación es muy posterior a la del reporte, y por tanto está actualizada.

Las curvas de la Figura 1 aplican directamente a las construcciones del tipo vigas-y-columnas, articuladas en la base, con calefacción interior. Si prevalecen otras condiciones, la lectura debe corregirse. Fisher (2005, pp. 3), plantea esta corrección en forma de una expresión matemática, permitiendo con ello visualizar en forma más clara su influencia si se compara con la propuesta del reporte. La expresión que propone, es:

$$L_{\min} = L_{adm} (1 + R_1 - R_2 - R_3 - R_4) \quad (4)$$

Donde:

L_{\min} : longitud del edificio o una porción del mismo que no requieren juntas de expansión

L_{adm} : longitud admisible leída de la Figura 1.

R_1 : 0.15 si habrá calefacción y aire acondicionado en el edificio (suponiendo que el control ambiental estará operando continuamente).

R_2 : 0.33 si no habrá calefacción.

R_3 : 0.15 si el edificio tendrá columnas empotradas.

R_4 : 0.25 si el edificio tiene una rigidez contra el desplazamiento lateral sustancialmente mayor en un extremo de la dimensión en planta.

Si en el edificio habrá solamente calefacción, y si tendrá articulaciones en la base de las columnas, la longitud mínima resulta igual a la longitud admisible (pues como se anotó atrás, para estas condiciones se trazó la Figura 1).

B. Método analítico.

Para los casos en los que la necesidad de juntas de expansión no se pueda determinar mediante bases empíricas, o en los que la aproximación empírica produzca una solución que se juzgue muy conservadora, debe adelantarse un análisis detallado. Tal estudio debe incluir un análisis de esfuerzos, deformaciones, etc. Algunos códigos establecen consideraciones al respecto, por ejemplo, el reglamento de construcciones francés dispone que no es necesario tener en cuenta los efectos de las dilataciones térmicas en edificios que tengan longitudes menores de 50 m (Sontag et al., pp. 184). Más adelante se estudia un caso específico.

Procedimientos sugeridos para el diseño de las juntas de expansión

En el reporte al que se ha hecho referencia anteriormente se plantean algunas guías para el diseño de las juntas de expansión:

1. Las juntas deben extenderse a todo lo alto del edificio, por encima de la cimentación hasta la cubierta. Las dos estructuras pueden compartir la misma cimentación.

2. El límite superior de la dimensión horizontal de la junta, e_m , en edificios con sistemas del tipo viga-y-columna, se hallará con la ecuación (2).

$$e_m = 11.7 \times 10^{-6} \cdot \Delta t_e \cdot L \quad (2)$$

Donde

Δt_e : $(T_w - T_m)$, °C

L : longitud efectiva, m

Nota: En esta ecuación se puede observar que en el reporte se adopta como coeficiente de expansión lineal para todas las estructuras el coeficiente del acero (N. del A.).

La longitud efectiva es la promedio de las porciones del edificio que separa la junta. Si una de estas porciones tiene en un extremo una rigidez al desplazamiento lateral sustancialmente mayor que en el otro, la longitud efectiva, L , de esa porción se incrementará 50% si el extremo rígido es el lejano, y 33% si queda vecino a la junta.

3. Para tolerancias de construcción y para expansión y contracción de los sellos de la junta, el ancho de la junta, e , debe ser:

$$e = C_1 e_m \quad (3)$$

$C_1 = 2,0$ para edificios sin calefacción

= 1,7 para edificios con calefacción pero sin aire acondicionado

= 1,4 para edificios con calefacción y aire acondicionado

4. Para edificios con muros exteriores portantes, continuos, de mampostería de ladrillo, el máximo espaciado entre juntas es 60 m, y el ancho mínimo de la junta, e , se calcula con la expresión:

$$e = C_1 \cdot L (\Delta t_e + 28) \cdot (7.2 \times 10^{-6}) \quad (4)$$

5. El ancho mínimo de las juntas debe ser de 25 mm. Si el valor calculado excede de 50 mm, hay que tener consideraciones especiales en cuanto a los materiales y los métodos constructivos para asegurar que la junta en sí estará en capacidad de resistir los problemas causados por grandes movimientos en ella. (Así mismo, considerar detalles que garanticen la funcionalidad).

6. El diseño de las juntas debe permitir movimientos relativos de las porciones del edificio, prevenir filtraciones de agua y permitir las operaciones de mantenimiento.

En las Figuras 3 y 4 se muestran varios detalles de juntas de expansión.

Ejemplo 1.

Supóngase que se construirá en Bogotá un edificio de 120 m de largo con estructura de acero. El sistema

comprende columnas articuladas en la base y arriostramientos excéntricos en uno de sus extremos. Se pide establecer si se requieren juntas de expansión y sus dimensiones. Usar el método empírico.

Solución:

Con la ecuación 4 se determina la longitud máxima sin juntas. Para este caso,

$R_1 = 0$ en Bogotá no es usual tener calefacción y aire acondicionado en edificios

$R_2 = 0,33$ no habrá calefacción sola.

$R_3 = 0$ columnas articuladas en la base.

$R_4 = 0,25$ hay rigidez mucho mayor en un extremo del edificio que en el otro.

La longitud admisible leída de la Figura 1, L_{adm} , es 142 m, tomando ΔT igual a 30°C . Por lo tanto, la máxima longitud del edificio sin juntas de expansión será:

$$L_{min} = L_{adm} (1 + R_1 - R_2 - R_3 - R_4) = 142 \times (1 + 0 - 0,33 - 0 - 0,25) = 59,6 \text{ m}$$

El tamaño de la junta, e_m , se determina con las ecuaciones (2) a (4), a saber:

$$e_m = 11,7 \times 10^{-6} \cdot \Delta t_e \cdot L = 11,7 \times 10^{-6} \times 30 \times 60,000 = 21,0 \text{ mm}$$

El arriostramiento que hay en un extremo debió diseñarse seguramente para controlar las acciones sísmicas. De ser así, es necesario diseñar otro en la porción del edificio que por efectos de la junta quedará sin ellos. Supóngase que los arriostramientos se ubican vecinos a la junta, por lo que e_m debe incrementarse en 33% (factor nombrado al pie de la ecuación 3). El tamaño de la junta, de acuerdo con el reporte, será entonces:

$$e = C_1 e_m = 2,0 \times 21 \times 1,33 = 56 \text{ mm}$$

NOTA: el autor considera que en una ciudad como Bogotá el valor de 2 para el coeficiente C_1 es alto, pues las variaciones de temperatura no son tan pronunciadas como en países con estaciones. Se propone tomar el valor intermedio de 1,7, por lo que

$$e = \frac{56 \times 1,7}{2,0} = 47,6 \text{ mm} \rightarrow 50 \text{ mm}$$

El edificio no tendrá muros portantes exteriores, por lo tanto no aplica la ecuación (4).

Conclusión:

Se requiere una junta de dilatación intermedia, pues L_{min} (60 m) es menor que la longitud del edificio (120 m). La junta deberá medir al menos 50 mm.

Ejemplo 2.

Se desea construir un edificio en zona de muy baja sismicidad. Se usarán pórticos como el que se muestra

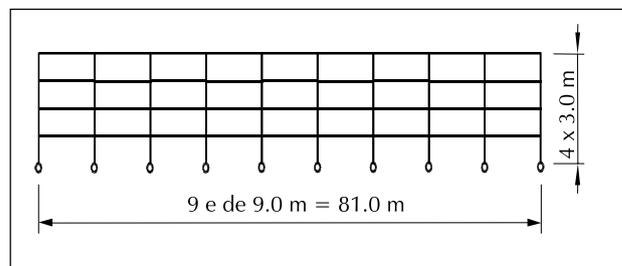


Figura 2. Pórtico resistente a momento (PRM) de 81 m de luz.

en la Figura. 2, con una separación de 8,0 m. La carga muerta será de $4,00 \text{ kN/m}^2$ y la carga viva de $2,50 \text{ kN/m}^2$. Evaluar la incidencia de un cambio de temperatura de 30°C durante la construcción.

Solución:

a) Prediseño: en las vigas el momento será del orden de:

$$M_u \approx \frac{q_u L^2}{12} = 475 \text{ kN-m} \rightarrow W24 \times 55 - A36 (\Phi M_n = 500 \text{ kN-m})$$

En las columnas exteriores, $M_u \approx \frac{1}{2} M_u$ en la viga = 238 kN-m, mientras que $P_u = 1,270 \text{ kN}$

En las columnas interiores, $M \rightarrow 238/2 = 140 \text{ kN-m}$, $P_u = 2,540 \text{ kN}$

Se eligen perfiles W14 x 82 - A572 Gr 50 $\phi M_n = 720 \text{ kN-m}$, $\phi P_n = 3,920 \text{ kN}$.

b) Análisis: para la combinación 1.2D+1.6L se encuentran las siguientes acciones máximas:

Viga $M_u = 494 \text{ kN-m}$

Columna exterior $M_u = 339 \text{ kN-m}$ $P_u = 1,240 \text{ kN}$

Columna interior $M_u = 169 \text{ kN-m}$ $P_u = 2,575 \text{ kN}$

$$\Phi_c F_c = 0,92 < 1,0$$

Para la combinación 1.4 (D + T), con $D = 2,50 \text{ kN/m}^2$ (etapa de construcción)

Viga $M_u = 264 \text{ kN-m}$

Columna exterior $M_u = 240 \text{ kN-m}$ $P_u = 510 \text{ kN}$

Columna interior $M_u = 164 \text{ kN-m}$ $P_u = 1,025 \text{ kN}$

Son solicitaciones menores que para 1.2D+1.6L

Como puede observarse, la temperatura induce esfuerzos bastante menores que los de las cargas gravitacionales. El desplazamiento calculado para el caso 1,4(D + T) es 14,6 mm.

C. Método empírico:

Con la ecuación 4 se determina la longitud máxima sin juntas, con:

$R_1 = 0$ se supone que no hay calefacción y aire acondicionado

$R_2 = 0.33$ no habrá calefacción sola.

$R_3 = 0$ columnas articuladas en la base.

$R_4 = 0$ hay rigidez mucho mayor en un extremo del edificio que en el otro.

Nota: el autor considera que para la etapa de construcción, R_2 podría tomarse bastante menor de 0.33, pues $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ es el cambio real de temperatura esperado; no obstante, para no violar las condiciones propuestas por el reporte se toma el valor recomendado.

La longitud admisible leída de la Figura 1, L_{adm} es 142 m, para ΔT igual a 30°C . Por lo tanto, la máxima longitud del edificio sin juntas de expansión será:

$$L_{min} = L_{adm} (1 + R_1 - R_2 - R_3 - R_4) = 142x(1 + 0 - 0.33 - 0 - 0) = 95m$$

Conclusión:

No se requieren juntas de dilatación.

Juntas sísmicas

Introducción

Hasta hace poco tiempo las juntas sísmicas eran diseñadas en forma empírica, con reglas poco científicas, como por ejemplo aquella que dice por cada piso debe dejarse 50 mm entre construcciones vecinas. Las observaciones de lo acaecido en los sismos ha permitido detectar que en muchos casos se han presentado colisiones entre edificios adyacentes, como resultado de lo cual se han manifestado serios daños en ellos, en especial cuando los niveles de los pisos de esos edificios vecinos no coinciden, o cuando uno de ellos es mucho más alto que el otro.

No disponiendo de herramientas adecuadas para el análisis de estructuras de planta irregular, pero conscientes de la incidencia de los efectos torsionales y de las concentraciones de esfuerzos en las esquinas y en los entrantes de esas plantas, los ingenieros optaron en otras épocas por dividir tales plantas irregulares en figuras regulares, por ejemplo una planta en L por dos rectángulos, y para esa división se diseñaron entonces las juntas sísmicas. También se introdujo este tipo de junta en sitios en los que resultaba evidente que los diafragma eran débiles, de suerte que en lugar de fracturarse por la acción sísmica los mismos presentarían movimientos relativos. Así mismo, se han diseñado juntas sísmicas en puntos donde hay variaciones súbitas de dimensiones en planta, verbigracia en el empalme de una pasarela con un edificio, o un punto fijo exterior conectado con el edificio.

En la medida en que ha sido posible estudiar los edificios mediante análisis dinámicos en 3D, con lo que se ha

mejorado la aproximación al comportamiento real de los mismos, el uso de las juntas como fórmula de simplificación ha ido perdiendo validez.

¿Cuándo usar juntas sísmicas?

Es evidente que se requieren juntas sísmicas o separación entre edificios adyacentes si son construidos en diferentes épocas, si son de propietarios diferentes, o en todo caso, si no tienen deformaciones compatibles entre sí. Sin embargo, dentro de un mismo edificio es deseable evitar tales juntas hasta donde sea posible, tanto por razones constructivas como de costos, según se concluye en la parte final del presente artículo.

En las NSR-98, A.6-5 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica- AIS, pp. A-55, 1998) se establece que "todas las partes de una estructura deben diseñarse y construirse para que actúen como una unidad integral para efectos de resistir las fuerzas sísmicas, a menos que se separen una distancia suficiente para evitar la colisión entre las partes". En la práctica usual se acepta que en algunos casos sea posible, y ello es deseable, se eviten las juntas entre bloques de un edificio que hayan de ser construidos en diferentes épocas, siempre y cuando el ingeniero estructural tenga claras las características que tendrá cada bloque, y que haya certeza de que estas serán respetadas al construir las diferentes etapas. Esto obliga al ingeniero a evaluar el comportamiento del primer bloque, así como del edificio adicionado con cada uno de los bloques subsiguientes. Uno de los inconvenientes que presenta este proceso lo constituyen los eventuales cambios en los códigos sísmicos, cambios que pueden invalidar algunas de las suposiciones hechas durante el diseño inicial, y que pueden llevar a intervenir lo ya construido varios años después de terminado, cuando se adelante la construcción de otras etapas.

Localización de las juntas sísmicas

Cuando se decide que las juntas son necesarias en un edificio, su ubicación generalmente resulta obvia. Afortunadamente varias de las ubicaciones obvias son también las más deseables desde el punto de vista de la mitigación de los problemas generados por las juntas. Por ejemplo, en las zonas de puntos fijos, con escaleras, ascensores, ductos, etc., en las que el diafragma se ve debilitado, puede juzgarse conveniente hacer juntas; hacerlo allí tiene un aspecto benéfico en el sentido de que el área de piso que se ve afectada por la junta es reducida al aprovechar tales vacíos, y por lo tanto los inconvenientes inherentes a las juntas (costo, sellamientos, elementos tapajuntas), etc., no tienen mucho impacto. Del mismo modo, las juntas que posiblemente se requerirán en esquinas entrantes y sitios similares tienen la ventaja de que es fácil camuflarlas en la fachada. En todo caso, siempre deben buscarse sitios en los que las juntas impacten lo menos posible.

Dimensión de las juntas sísmicas

De acuerdo con NSR-98 el tamaño mínimo de las juntas debe ser igual a la suma del valor absoluto de los desplazamientos horizontales obtenidos siguiendo el procedimiento expuesto en A.6.2.1 para cada una de las porciones de la edificación, en la dirección perpendicular a la junta que las separe. Por tanto, ese tamaño depende de la altura del edificio, de su rigidez y de la zona sísmica (macro y microzonificación) en la que se construya. Teniendo en cuenta que las NSR-98 limitan la deriva al 1%, y hasta tanto no cambie este criterio codificado, el tamaño máximo de la junta sísmica entre dos bloques de un edificio no debería superar $0.02H$ (cada bloque $0.01H$), con H la altura total del edificio. Kasai y Jagiasi, de acuerdo con lo que menciona Saunders, 2005, demuestran que la propuesta de determinar el tamaño de las juntas cumpliendo lo estipulado por métodos como el de las NSR-98, pueden resultar muy conservadores.

Aspectos relacionados con el diseño estructural

Las juntas sísmicas generalmente crean unas condiciones estructurales complicadas. La solución más sencilla es diseñar columnas dobles. Cuando no se puede optar por esta solución, se puede recurrir a voladizos, o bien a vigas de un bloque simplemente sentadas sobre el otro bloque. En este último caso, existe la tentación de diseñar algún elemento que limite el movimiento, pues los dispositivos usados para garantizar el deslizamiento, deslizadores de teflón o similares, son costosos, o bien porque los elementos de apoyo interfieren con otros elementos del edificio. No obstante, no es recomendable caer en esa tentación, y por el contrario, es muy conveniente que los dispositivos se diseñen para permitir desplazamientos aun mayores que los calculados por código, pues las consecuencias de restringir el movimiento pueden ser catastróficas. De todos modos, si resulta inevitable esa restricción, en el diseño deben considerarse las fuerzas que se generan por ese motivo.

Aspectos arquitectónicos, funcionales y por fuego

El manejo de las juntas sísmicas no es cosa que agrade a los arquitectos. Las juntas requieren un importante esfuerzo de diseño, son costosas y generan problemas constructivos. En edificios bajos o de mediana altura, usualmente se diseñan las juntas de igual tamaño en todos los pisos, a pesar de que en los inferiores pueden ser más pequeñas que en los superiores. Esto implica un mayor consumo de materiales para juntas, pero estandariza la construcción.

Un inconveniente adicional que generan las juntas sísmicas, es que, si no se construyen con los materiales

y sistemas apropiados, pueden permitir el paso del fuego entre pisos, en caso de incendio. En varias conflagraciones quedó demostrado que esta fue la causa de grandes pérdidas humanas y materiales

Consideraciones generales sobre las juntas

Juntas sísmicas juntas de expansión

Las juntas sísmicas son similares a las de expansión, pero al mismo tiempo diferentes. Las de expansión se proporcionan para acomodar los movimientos causados principalmente por cambios de temperatura, o por contracción del fraguado en el caso del concreto. Son con frecuencia del tipo unidireccional, esto es, pueden acomodar movimientos que se presenten en dirección normal a la junta. Las juntas de expansión se ubican a intervalos regulares a lo largo de la estructura, determinados en función de los cambios de dimensiones esperados por esas variaciones de temperatura. Por su parte, las juntas sísmicas deben acomodar los movimientos en las dos direcciones ortogonales, y su separación no se ve usualmente afectada por el tamaño o la longitud del edificio. En general, las juntas de expansión tienen unas dimensiones bastante menores que las sísmicas, y por tanto su detallado es más económico.

Aspectos económicos

Hay dos tipos de costos asociados con la construcción de juntas: uno, el costo mismo de construir las; y el otro, el área útil perdida del edificio, en particular si se trata de juntas contra edificios vecinos (no en bloques de un mismo edificio). En un edificio de 15 pisos, por ejemplo, donde el desplazamiento horizontal del último piso por la acción del sismo puede ser del orden de 0.50 m (suponiendo deriva del 1% en todos los pisos), al separar el edificio esa distancia del edificio vecino, se está dejando de vender, suponiendo un edificio de 50 m de fondo, un área de 375 m², que, con un precio de venta del orden de \$ 2,000,000 por m² (para la fecha de preparación del presente artículo, año 2005), significa que la rentabilidad se ve afectada en una suma cercana a los \$ 750 millones. De allí la importancia de evaluar con el mayor nivel de precisión posible el tamaño requerido de las juntas sísmicas. Mientras que en el pasado era rutinario el uso de juntas relativamente próximas entre sí, y de un tamaño calculado con la regla de n veces la deriva permitida por el código (con n el número de pisos), las herramientas de análisis estructural disponibles hoy en día permiten eliminar buena parte de las mismas de una forma racional y suficientemente confiable, en especial en las zonas de los edificios en las que se esperan concentraciones de esfuerzos, tales como las esquinas entrantes y los cambios súbitos de dimensiones en planta, donde haya diafragmas débiles, etc., y a su vez, dimensionarlas en una forma más precisa.

Otros costos asociados con las juntas los constituyen las columnas dobles cuando se requieren, los elementos constructivos de las juntas (véase la Figura 4): sellamientos, flanches, empaques, neoprenos, etc.; los mantos ignífugos, los dispositivos de expansión de los ductos, entre otros.

Aspectos constructivos

El detallado de las conexiones precisa realizarse con sumo cuidado. Deben tomarse precauciones para garantizar que

el desplazamiento relativo de los elementos pueda presentarse, así mismo, garantizar que no se presentarán fenómenos de inestabilidad. En la Figura 3a, por ejemplo, el tamaño de los huecos alargados se ha diseñado a partir de la dilatación esperada, pero no debe ser tan grande que las distancias al borde exigidas por la norma se incumplan. En la Figura 3b se aprecia un apoyo de una vigueta sobre una viga, apoyo que si bien permite desplazamiento, en caso de cargas de viento impide el levantamiento de la vigueta.

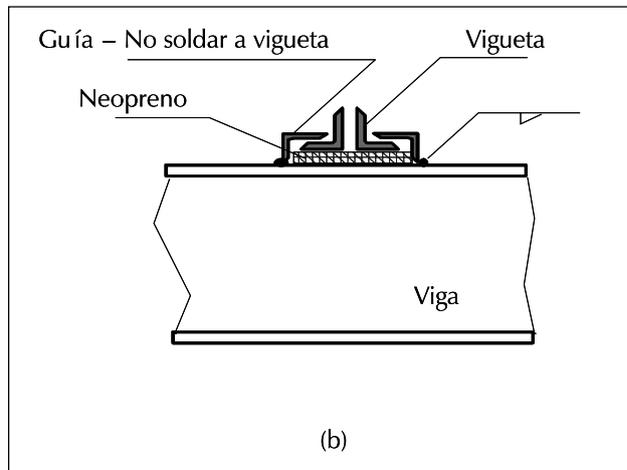
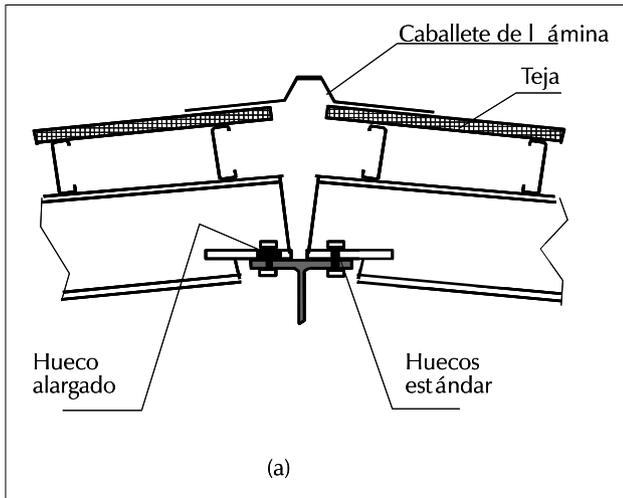


Figura 3. Detalles de juntas de expansión

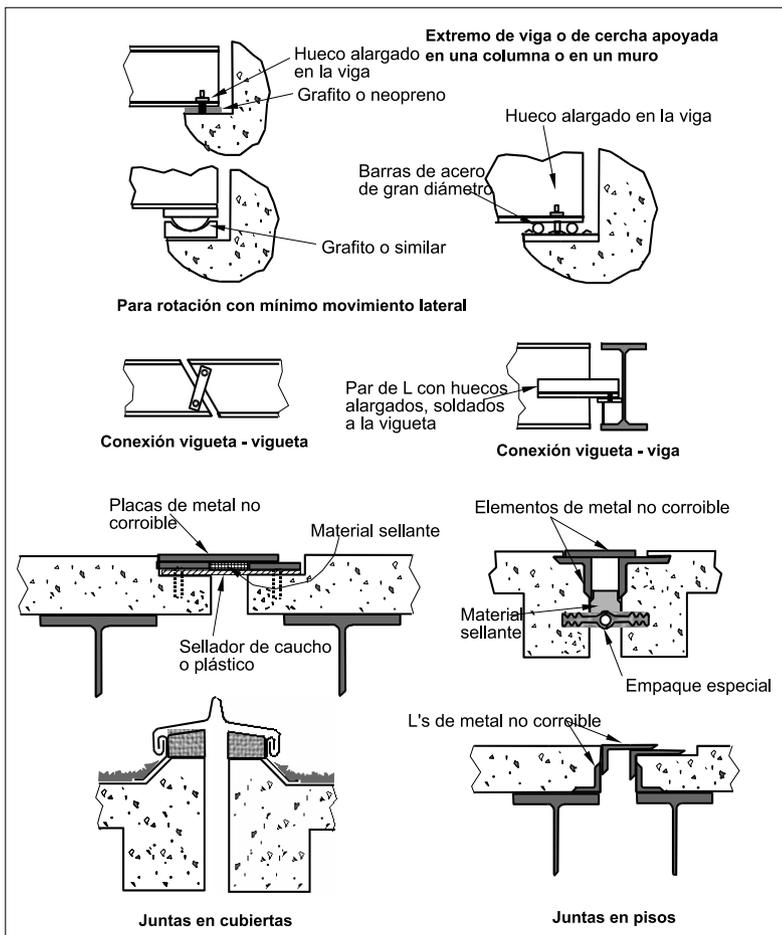


Figura 4. Detalles de juntas de expansión (adaptado, Gaylord et al., 1997)

Nomenclatura

C_1 : coeficiente para contemplar tolerancias en las juntas (véase ecuación 2)

E : módulo de elasticidad, 200.000 MPa

L : longitud de un elemento, mm

H : altura total de un edificio, mm

L_{min} : longitud del edificio o una porción del mismo que no requieren juntas de expansión

L_{adm} : longitud admisible leída de la Figura 1

R_1 : 0,15 si habrá calefacción y aire acondicionado en el edificio (suponiendo que el control ambiental estará operando continuamente)

R_2 : 0,33 si no habrá calefacción

R_3 : 0,15 si el edificio tendrá columnas empotradas

R_4 : 0,25 si el edificio tiene una rigidez contra el desplazamiento lateral sustancialmente mayor en un extremo de la dimensión en planta

T_c : temperatura igualada o excedida, sobre el promedio, 99% del tiempo durante el invierno (Dic., Ene. y Feb.) en el lugar

T_w : temperatura excedida sobre el promedio, sólo 1% del tiempo durante los meses de verano (junio - Sept.), en el lugar de la construcción. En un verano normal alrededor de 30 horas en o por encima de este valor de diseño

T_m : temperatura media durante la época de la construcción. El término época de construcción corresponde al período del año en el que $T \geq 0^\circ\text{C}$

e_m : tamaño de una junta

α : coeficiente de expansión lineal (Tabla 1)

ΔL : cambio de longitud de una barra por acción del cambio de temperatura, mm

ΔT : cambio de temperatura, $^\circ\text{C}$

Bibliografía

American Institute of Steel Construction, AISC, Manual of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design, 3ª Ed., Chicago, Il., U.S.A, 2001.

American Institute of Steel Construction, AISC, Designing with Structural Steel - a Guide for Architects, 2ª Ed., Chicago, Il., U.S.A, 2002.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98, Bogotá, Col, 1998.

Federal Construction Council, Expansion Joints in Buildings, Technical Report N°65, preparado por el Standing Committee on Structural Engineering del National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, D.C., U.S.A, 1974.

Fisher, J., Expansion Joints: Where, When, and How, NASCC Proceedings, The Steel Conference, Montreal, Canada, 2005.

Gaylord, H., Gaylord, C., Stallmeyer, J. Structural Engineering Handbook, 4ª edición, McGraw-Hill, New York, U.S.A., 1997.

LaCosse, B., Expansion Joints: Use to Relieve Stress, National Roofing Contractors Association, Rosemont, Il, U.S.A., 1987.

Laska, W., Masonry and Steel, Detailing Handbook, The Aberdeen Group, Addison, Il, U.S.A, 1993.

MM Systems Corporation, Fundamental Expansion Joint Principals, Memorias del short AIA course, 2005.

Saunders, M., Seismic Joints in Steel Frame Building Construction, NASCC Proceedings, The Steel Conference, Montreal, Canada, 2005.

Sontag, Hart, Henn. Structure Acier - Batiments a Etages, Commission des Communautés Européennes, 2ª Ed., Bruselas, Bélgica, 1986.

PROGRAMA DE FORMACIÓN DOCENTE



Promueve y apoya la participación del profesorado en actividades que contribuyan a su formación pedagógica con el fin de mejorar los procesos de enseñanza - aprendizaje en la Facultad.

El Programa trabaja sobre cuatro ejes:

- Formación: que busca mejorar el ejercicio de la docencia en Ingeniería a través de la actualización de grupos de profesores mediante seminarios, talleres y cursos
- Investigación: apunta a promover la elaboración de referentes y modelos metodológicos en áreas de investigación orientadas a promover el conocimiento de las relaciones entre ingeniería, pedagogía, didáctica, innovación, normatividad, evaluación y desarrollo institucional.
- Divulgación y Apertura: difusión de las actividades realizadas y relaciones con entidades externas con objetivos similares.

Mayor información:

Unidad Camilo Torres. Carrera 50 No. 27-70 Bloque B5 Of. 205 Telefax: (57 1) 3165000 Ext. 18423
E-mail: profordoc_fibog@unal.edu.co <http://www.ing.unal.edu.co/admfac/formaciondocente/principal/index.html>
Bogotá, Colombia