

## JUNTAS DE DILATACIÓN EN EDIFICIOS

**Christian Garzón Chalco<sup>(1)</sup> y Marcelo Romo Proaño<sup>(1,2)</sup>**

<sup>(1)</sup>MR & Asociados Consultores S.A  
[christiangc2e@yahoo.com](mailto:christiangc2e@yahoo.com)

<sup>(2)</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción  
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE

### RESUMEN

Las variaciones de temperatura en el medio ambiente traen consigo efectos sobre las estructuras especialmente sobre edificios sean estos de acero estructural u hormigón armado. Estos efectos pueden manifestarse a través de esfuerzos sobre los elementos estructurales como columnas y vigas así como también sobre los elementos del sistema de piso, esfuerzos que deben ser considerados a fin de evitar efectos perjudiciales tanto en las etapas de construcción así como también en la vida útil de un determinado sistema estructural.

Los diferenciales de temperatura son proporcionales a los valores de esfuerzos generados en los sistemas estructurales. Estas tensiones deben ser evaluadas mediante un análisis térmico el cual depende de las longitudes de los sistemas estructurales. Las restricciones que posea una edificación son relevantes ya que estas son las que hacen que las tensiones generadas por los diferenciales de temperatura sean perjudiciales o no en una determinada edificación. Es por ello que las juntas de dilatación proporcionan una restricción mínima para los sistemas estructurales, haciendo que los efectos de temperatura sean despreciables para una edificación.

### ABSTRACT

The environment changes of temperature bring effects on the structures, especially on buildings which are manufactured by either steel or concrete. These effects could appear in form of stresses on the structural frames such as columns, beams, and floor elements systems. These stresses have to be considered in order to avoid negative effects in both the stage of the construction and the service life of any structural system.

The grades of temperature differentials are proportional to the values of stresses appeared in structural systems. These tensions have to be assessed through a thermic analysis which is dependent on the length of structural systems. The buildings restricts are important because they are the responsible of the differential temperature of structures consequences. For these reasons thermal joints give a minimum restriction on structural systems doing that the temperature effects could be diminished on the buildings.

Recibido: Noviembre de 2014  
Aceptado: Febrero de 2015

## 1. INTRODUCCIÓN

Todos los edificios poseen restricciones, esto hace que se induzcan esfuerzos con los cambios de temperatura. Existen recomendaciones que sugieren longitudes efectivas de sistemas estructurales con el fin de evitar al mínimo los efectos de la temperatura mediante la inclusión de juntas de dilatación. Dentro de estas recomendaciones se pueden rescatar las que se encuentran en el documento de la *National Academy of Sciences - National Research Council* a través del documento denominado *Federal Construction Council Technical Report No. 65*, cuya última publicación se la efectuó en el año de 1974 y que en la actualidad es de suma utilidad en el ámbito de la ingeniería estructural.

Otro de los documentos en los cuales se encuentran recomendaciones y análisis de longitudes efectivas de sistemas estructurales con el fin de evitar los efectos de temperatura es el denominado *Joints in Concrete Construction ACI 224.3R-95* del *American Concrete Institute, ACI*.

Finalmente *American Institute of Steel Construction, AISC* también incluye criterios de análisis de temperatura para edificios de acero estructural, mismas que se encuentran plasmadas en el *Steel Construction Manual 14th edition*.

Con estas recomendaciones que son respaldadas por instituciones de relevancia en el ámbito de la ingeniería estructural, los ingenieros actuales pueden evaluar el alcance de los efectos de temperatura y la pertinencia de la inclusión de juntas de dilatación en los diferentes sistemas estructurales.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Coeficiente de dilatación térmica del hormigón y del acero estructural

Tanto el hormigón como el acero estructural, tienen la particularidad de expandirse cuando existe un incremento de temperatura. Estos materiales, al recibir desde el exterior un incremento de temperatura sus partículas internas tienden a tener un comportamiento dinámico, ocasionando que sus configuraciones moleculares se vean alteradas; como consecuencia de esto existe un alargamiento de sus dimensiones geométricas cuando se encuentran formando parte de elementos estructurales; además sus características de expansión se ven influenciadas por el coeficiente de dilatación térmica que los caracteriza.

Para hallar la elongación de un sistema estructural ante un incremento exterior de temperatura se multiplica el coeficiente de dilatación térmica del acero ( $1.17 \times 10^{-5} /C$ ) u hormigón ( $9.9 \times 10^{-6} /C$ ) por la longitud original de la estructura y por la variación del cambio de temperatura ocurrido en el instante del análisis, como se indica en la ecuación 1.

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

Dónde  $\Delta L$ , es la elongación final del sistema estructural;  $\alpha$ , es el coeficiente de dilatación térmica del acero estructural u hormigón y;  $\Delta T$  es la variación de la temperatura aplicada a la edificación.

Como se observa los coeficientes de dilatación térmica tanto del acero estructural como del hormigón son en gran medida similares. Esto indica que independientemente del material elegido para la construcción de edificios (acero estructural u hormigón), el factor de temperatura debe analizarse en función de las dimensiones de las edificaciones.

## **2.2 Análisis de los factores a considerar en el análisis térmico de edificios**

Los factores que deben considerarse al instante de efectuar un análisis térmico de edificios son las dimensiones y configuración geométrica del edificio; el cambio de temperatura; provisión para la temperatura de control (sistemas mecánicos como aire acondicionado y calefacción); tipo de elemento estructural, tipo de conexión de la estructura a la cimentación y simetría de rigidez contra desplazamiento lateral; y finalmente los materiales adoptados para la construcción de un determinado sistema estructural.

A continuación se describe en detalle cada uno de los factores mencionados en el párrafo anterior.

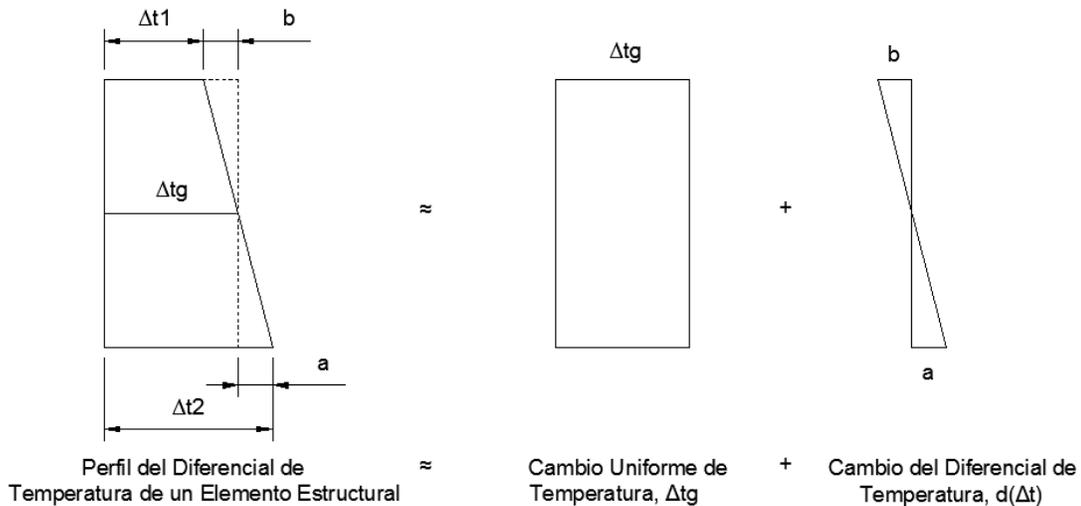
### **2.2.1 Dimensiones y configuración del edificio**

La dimensión de los edificios es un factor crucial al instante de efectuar el análisis de temperatura, ya que estas dimensiones son directamente proporcionales a los esfuerzos generados por los posibles cambios de temperatura. Así mismo, la configuración geométrica es otro de los factores trascendentales en el análisis de temperatura, con sus respectivas complejidades ya que el análisis es más simple en edificios con configuración rectangular y más complejos en edificios con configuraciones geométricas tipo U, L entre otros.

### **2.2.2 Cambio de Temperatura**

Los cambios de temperatura generan desplazamientos y como consecuencia de esto la aparición de esfuerzos en la estructura, no solamente en su etapa de construcción sino también en su vida útil. Sin embargo, no es posible conocer con exactitud el cambio máximo de temperatura en un determinado edificio ya que este cambio de temperatura no es el mismo para todas las partes de la edificación y no es conocida para una zona particular del edificio en la etapa de diseño del mismo.

El perfil del diferencial de temperatura en un elemento estructural puede ser asumido como la superposición de dos perfiles de temperatura el primero correspondiente a un cambio de temperatura uniforme que toma lugar a lo largo del eje axial del elemento estructural ( $\Delta t_g$ ) y, un diferencial de temperatura igual a la diferencia del cambio de temperatura en una cara del elemento menos el cambio de temperatura en la cara opuesta del elemento  $d(\Delta t) = (\Delta t_2 - \Delta t_1) = (a+b)$ .



**Figura 1** Diferenciales de Temperatura en elementos estructurales

Como puede observarse en la figura 1, aparentemente el cambio del diferencial de temperatura  $d(\Delta t)$  no causa ningún cambio en la longitud del elemento estructural a lo largo de su eje axial, en lugar de ello ocasiona una curvatura que genera la aparición de esfuerzos en el elemento estructural. Sin embargo, ni la curvatura ni los esfuerzos internos resultantes se propagan y causan un incremento acumulativo en la longitud de la estructura como lo hacen aquellos esfuerzos y deformaciones provocados por el cambio uniforme de temperatura  $\Delta t_g$ .

De esta manera el perfil del diferencial de temperatura puede ser reemplazado por la superposición de un cambio uniforme de temperatura, el cual corresponde a un cambio a nivel del eje centroidal del elemento estructural y un cambio del diferencial de temperatura que no causa ningún cambio en toda la longitud del elemento estructural.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente el cambio uniforme de temperatura del perfil de diferencial de temperatura será la principal causa de los efectos negativos en un edificio debido a cambios de temperatura.

### 2.2.3 Provisión para la temperatura de control

La temperatura interna de un edificio es un factor preponderante al instante de efectuar el análisis de la pertinencia para la adición de juntas de dilatación, en este sentido edificios que poseen sistemas de aire acondicionado y calefacción son menos propensos a sufrir las consecuencias de cambios de temperatura y así sus elementos estructurales se ven menos influenciados por este factor.

### **2.2.4 Tipo de elemento estructural, tipo de conexión de la estructura a la Cimentación y simetría de rigidez contra desplazamiento lateral**

Los efectos térmicos sobre edificios cuya conexión a la cimentación es del tipo empotrado son más severos a los de un edificio de las mismas características pero cuya fijación a la cimentación es del tipo articulada. De acuerdo a investigaciones se ha observado que edificios con apoyos rígidos comparados con edificios de apoyos articulados y que están expuestos a los mismos cambios de temperatura poseen los mismos cambios dimensionales en todos los niveles por encima del primer piso. Sin embargo; a los niveles más bajos del edificio con empotramientos el cambio de temperatura induce esfuerzos cortantes, axiales y momentos flectores en secciones críticas, que pueden llegar a alcanzar valores aproximados de dos veces los correspondientes a los obtenidos en el edificio con apoyos articulados.

Edificios cuya configuración de rigidez sea regular ante solicitaciones laterales, es decir la rigidez en un lado del edificio sea igual o similar al de su frente contrario tendrá menores consecuencias ante los efectos de cambios de temperatura que los edificios que posean configuraciones irregulares en rigidez.

### **2.2.5 Materiales de construcción**

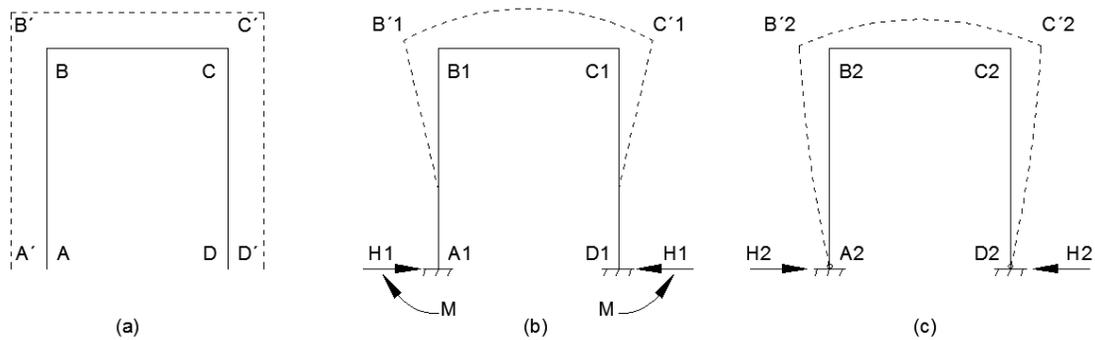
El material de los elementos estructurales es otro de los factores fundamentales para el análisis del cambio de temperatura en edificios. Dentro de las investigaciones se han evaluado elementos estructurales sometidos a cambios de temperatura con similares momentos de inercia pero con diferentes valores de áreas encontrándose que los elementos con mayores áreas desarrollan mayores esfuerzos cortantes, axiales y momentos flectores que aquellos elementos estructurales con menores áreas.

La relación área-momento de inercia es mayor para elementos estructurales de hormigón que para los correspondientes de acero; por tales instancias es importante conocer que los efectos de los cambios de temperatura serán más considerables en estructuras de hormigón que en acero estructural, en lo referente a geometrías de elementos estructurales.

La temperatura de fraguado del hormigón es un factor primordial al instante de efectuar un análisis de cambio de temperatura en edificios fabricados con este material, ésta se presenta al instante de la fundición en el sitio de construcción de un determinado edificio, debe tomársela en cuenta al instante de la construcción especialmente de edificios con longitudes horizontales considerables.

## **2.3 Restricciones en edificios**

Las restricciones en edificios son una de las responsables de la aparición de esfuerzos debidos a los cambios de temperatura que sufre un determinado edificio.



**Figura 2** Análisis de un pórtico simple sujeto a un cambio uniforme de temperatura: (a) pórtico no restringido; (b) pórtico empotrado; (c) pórtico con apoyos articulados<sup>2</sup>

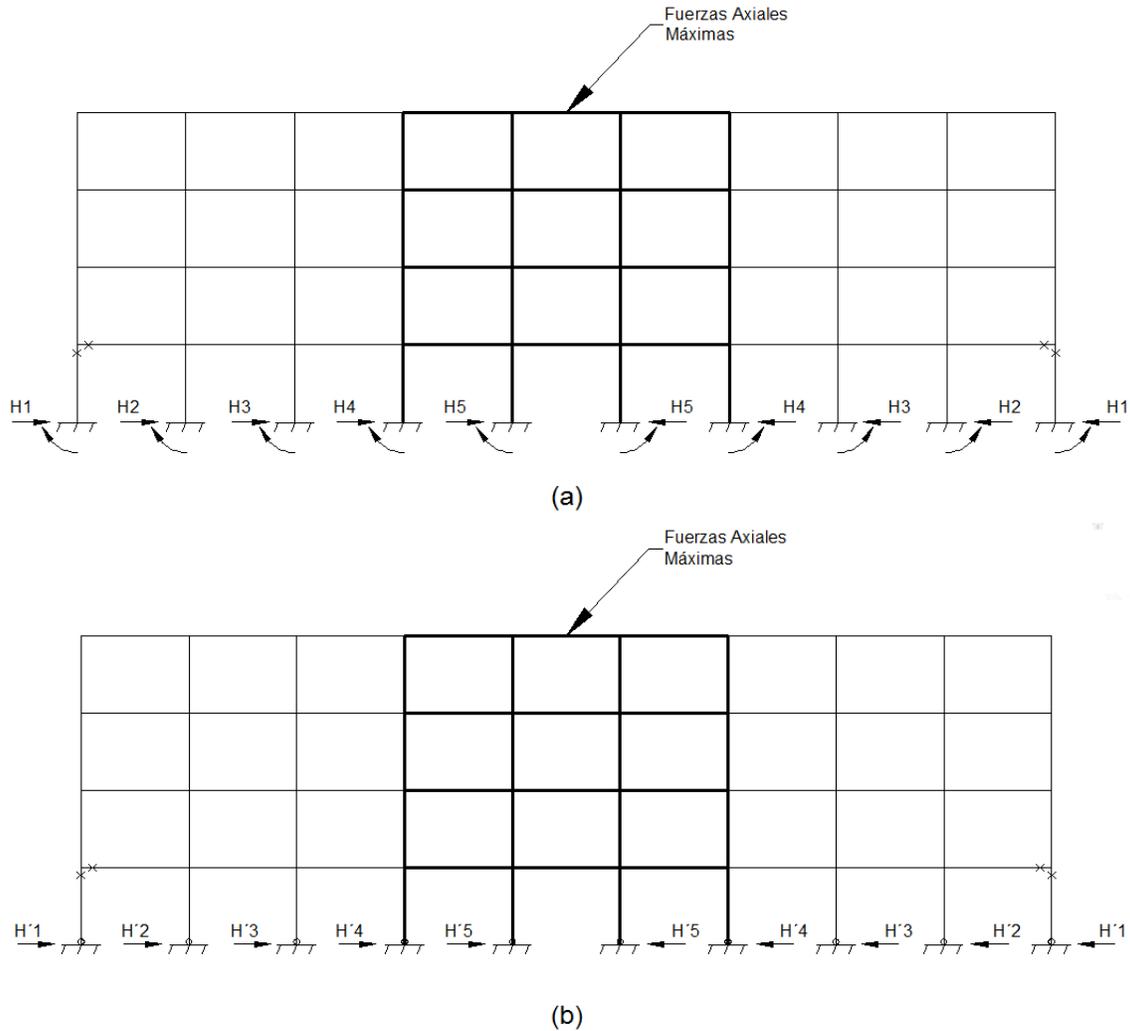
Para el análisis se ha considerado un pórtico al cual se le aplica un cambio uniforme de temperatura. Como se observa, el pórtico A-B-C-D de la figura 2(a) al no tener restricción alguna permite que los efectos de temperatura no generen esfuerzo alguno y pueda expandirse de tal forma que su geometría sea la indicada a través de los puntos A'-B'-C'-D'.

El pórtico de la figura 2(b) se encuentra empotrado, por lo que ante la acción de un cambio de temperatura la deformada resultante de este pórtico será la que se indica a través de los puntos A1-B'1-C'1-D1, misma que está esforzada generándose los momentos M en las bases de las columnas; además este cambio de temperatura también genera las fuerzas horizontales H1, a la vez la viga B1-C1 tendrá una fuerza axial de compresión, y la elongación de B1-B'1 será más pequeña que la expansión del punto B-B' de la figura 2(a).

La figura 2(c) indica un pórtico con apoyos articulados, las consecuencias de la aplicación de un cambio de temperatura serán menores que las del pórtico empotrado. Como se observa la deformada está definida por los puntos A2-B'2-C'2-D2. La presencia de momentos en las bases de las columnas es nula y las fuerzas horizontales H2 serán menores que H1 de la figura 2(b), la elongación de B2-B'2 es mayor que la elongación B1-B'1, pero será menor que B-B' del pórtico de la figura 2(a), de forma idéntica la compresión de B'2-C'2 estará entre el valor cero de B-C y la compresión B'1-C'1.

Para el caso de edificios de varios pisos las consideraciones que se observaron en los pórticos de la figura 3 son similares. Ante un incremento de temperatura la aparición de las fuerzas horizontales H y H' que se observan en las figuras 3 (a) y 3 (b) son mínimas en el centro del edificio pero su valor aumenta a medida que se llega a los extremos de la edificación. De la misma manera la aparición de momentos en la base para el caso del edificio empotrado y los desplazamientos generados por este incremento de temperatura son elevados en los extremos del edificio debido a los efectos acumulados de elongación que van desde el centro del edificio hacia su parte externa.

Ante el incremento de temperatura las vigas centrales de los sistemas estructurales de las figuras 3(a) y 3(b) están sujetas a los máximos esfuerzos axiales mientras que las columnas poseen los mayores momentos flectores acompañados con solicitaciones de cortante en los extremos de la edificación como se indican en los puntos x de la figura 3. Sin embargo, estos esfuerzos y elongaciones pueden variar de piso en piso.



**Figuran 3** Análisis de edificios de varios pisos sujetos a un cambio uniforme de temperatura  
 (x = puntos de máximos momentos flectores y máximos cortantes) (a) Edificio Empotrado;  
 (b) Edificio con Apoyos Articulado

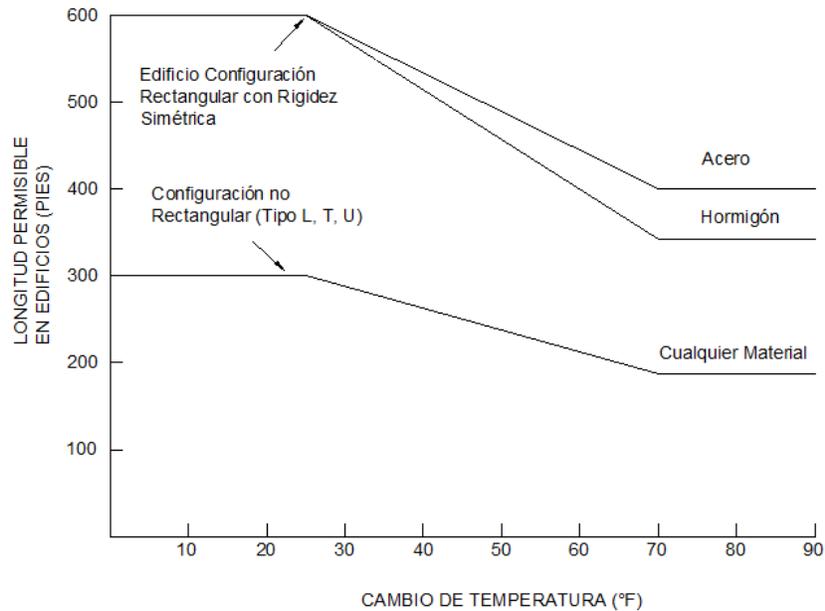
## 2.4 Método empírico de Federal Construction Council - Technical Report No. 65

En Federal Construction Council – Technical Report No. 65 se indican dos procedimientos para efectuar el análisis de la inclusión de juntas de dilatación en edificios. El primero es el denominado Método Empírico y el segundo es el denominado Método Analítico.

### 2.4.1 Método Empírico

El método empírico hace referencia a una gráfica en la que se ubica el cambio de temperatura en el eje de las abscisas, y en el eje de las ordenadas se ubican las longitudes efectivas que se pueden considerar en edificios sin juntas o la distancia efectiva entre juntas de dilatación. Además en esta gráfica se han incluido curvas para edificios de hormigón, acero y para otros materiales, Figura 4.

Estas longitudes efectivas de la figura 4 son las que indican las dimensiones máximas que tendrá un edificio sin la necesidad de anexar juntas de dilatación, o a su vez es la distancia entre juntas de dilatación de un determinado sistema estructural.



**Figura 4** Máximas longitudes de edificios sin el uso de juntas o la longitud efectiva entre juntas de dilatación

El Análisis Empírico está basado en criterios que deben considerarse al instante de efectuar el correspondiente análisis térmico del edificio, de acuerdo a los cambios de temperatura al que estará sometido el sistema estructural.

Estos criterios están basados en las condiciones de temperatura interna que tendrá el edificio, el sistema de anclaje del mismo hacia la cimentación, así como también el sistema de rigidez que ofrece el edificio para contrarrestar los efectos de cargas laterales. Para utilizar la gráfica del método empírico deben acogerse los siguientes lineamientos.

- Utilizar directamente la longitud permisible, como se indica en la figura 4, si el edificio tendrá únicamente sistema mecánico de calefacción y tendrá apoyos del tipo articulación.

- Si el edificio tendrá sistemas mecánicos tanto de aire acondicionado como de calefacción, incrementar la longitud permisible en un 15 por ciento. (Suponiendo que estos sistemas mecánicos funcionan continuamente)
- Si el edificio no tendrá sistema mecánico de calefacción, reducir la longitud permisible en un 33 por ciento.
- Si el edificio tendrá apoyos empotrados, reducir la longitud admisible en un 15 por ciento.
- Si el edificio no tiene configuración regular de rigidez para controlar los efectos de cargas laterales, reducir la longitud permisible en un 25 por ciento.

Si más de uno de los criterios indicados anteriormente prevalecen en un determinado edificio, deberá efectuarse el ajuste correspondiente mediante la suma algebraica de la ecuación 2.

$$L_{m\acute{a}x} = L_{allow} + (R1 - R2 - R3 - R4) * L_{allow} \quad (2)$$

Donde,  $L_{m\acute{a}x}$  es la máxima longitud del edificio sin juntas de expansión o entre juntas de expansión;  $R1$ , 0.15 si el edificio tiene sistemas mecánicos de aire acondicionado y calefacción ;  $R2$ , 0.33 si el edificio no tiene sistema mecánico de calefacción ;  $R3$ , 0.15 si el edificio tiene apoyos de empotramiento; y  $R4$ , 0.25 si el edificio no tiene configuración regular en sus sistema de rigidez para aplacar efectos de desplazamientos laterales.

#### 2.4.2 Enfoque al Método Analítico

El método analítico está diseñado para efectuar análisis de cambios de temperatura para la posible inclusión de juntas de dilatación en las que las configuraciones geométricas de edificios son demasiado complejas o están definidas dentro de geometrías no comunes.

Debe considerarse la influencia de la temperatura interna de un edificio que proporcionan los sistemas mecánicos tales como aire acondicionado y calefacción con el objeto de que minimicen los efectos del rango de temperatura máximo en la zona externa del edificio, es decir la temperatura del medio ambiente.

Sin embargo, las posibles averías de los sistemas mecánicos mencionados anteriormente deben ser consideradas con el objeto de ubicar el valor del cambio de temperatura de diseño que se relaciona con temperaturas internas y externas de los sistemas estructurales. Por estas razones al efectuar un análisis analítico debe incluirse un valor empírico y así solventar los posibles efectos ante un mal funcionamiento de los sistemas mecánicos.

Las zonas de intersección de muros, las aberturas de muros para la creación de puertas y ventanas además de las conexiones rígidas de elementos horizontales de hormigón son las más proclives ante los efectos de cambios de temperatura en edificios; la correcta utilización de juntas

de dilatación o elementos sumamente robustos pueden aplacar estos efectos de cambio de temperatura teniendo la capacidad de deformarse sin alcanzar los puntos de fluencia elásticos.

Las fuerzas que aparecen en una estructura debido a lo acotado anteriormente deben ser analizadas como si los cambios de temperatura causan deformaciones elásticas comparables a las deformaciones causadas en un edificio no restringido. Estas fuerzas pueden ser determinadas bajo la ecuación siguiente:

$$F = \alpha * t * E * A \quad (3)$$

Donde,  $F$  es la fuerza axial que desarrolla un elemento estructural cuando es restringido ante cambios de temperatura,  $\alpha$  es el coeficiente de dilatación térmica,  $E$  es el módulo de elasticidad,  $A$  es el área de la sección transversal del elemento estructural y finalmente  $t$  es el cambio de temperatura.

Como punto importante es necesario indicar que si un elemento estructural se encuentra completamente restringido la fuerza  $F$  puede llegar a ser incluso la máxima que desarrolle el elemento en comparación con otras fuerzas que lo estén solicitado, caso contrario, si un elemento estructural se encuentra no restringido, es decir con total libertad para deformarse ante cambios de temperatura, sus fuerzas axiales pueden llegar a ser nulas.

En estructuras reales el tener estructuras completamente restringidas y completamente libres de restricciones es inalcanzable por lo que debe efectuarse el análisis térmico en combinación de estos dos criterios.

En lo referente a los cambios de longitud totales que causan los cambios de temperatura, en elementos estructurales se las puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta l_t = \alpha * t * L \quad (4)$$

Donde,  $L$  es la longitud inicial del elemento estructural.

Las fuerzas internas del elemento estructural que resisten los cambios de temperatura originan un cambio en longitud de sentido opuesto a  $\Delta l_t$  y se la cuantifica de acuerdo a la ley de Hooke, como se indica en la siguiente ecuación.

$$\Delta l_f = \frac{F * L}{E * A} \quad (5)$$

Donde,  $F$  es la fuerza resistente del elemento  $L$  es la longitud inicial,  $E$  es el módulo de elasticidad y  $A$  es el área transversal.

Entonces el valor neto efectivo del cambio de longitud en el elemento estructural será:

$$\Delta l = \Delta l_t - \Delta l_f \quad (6)$$

En síntesis se menciona los siguientes criterios:

- Si  $\Delta l = \Delta l_t$ , con  $\Delta l_f = 0$ ; entonces no existe restricción en el elemento estructural, ya que éste no ofrece fuerzas de oposición al cambio de longitud generado por el cambio de temperatura. Por lo tanto se cumple  $F = 0$ .
- Si  $\Delta l = 0$ ; entonces  $\Delta l_t = \Delta l_f$ , y el elemento estructural está totalmente restringido y la fuerza generada por el cambio de temperatura será:  $F = \alpha * t * E * A$
- En toda circunstancia se cumple:  $0 < F < \alpha * t * E * A$

Se menciona a  $\beta$  como la fracción de no restricción que se encuentra definido entre 0 y 1 entonces las ecuaciones anteriores se encuentran ahora definidas como:

- $\Delta l = \beta \Delta l_t$
- $\Delta l_f = \Delta l_t (1 - \beta)$
- $\frac{FL}{EA} = (1 - \beta) * \alpha * t * E * A$

El efectuar un diseño óptimo involucra que se debe evaluar el porcentaje de deformación  $\beta \Delta l_t$  que la estructura pueda tolerar ante efectos térmicos sin la pérdida de su serviciabilidad o rendimiento, para luego efectuar el correspondiente reforzamiento de los elementos estructurales afectados e incluirlos a los requerimientos convencionales de diseño con el objeto de resistir las fuerzas  $(1 - \beta)$  y  $\alpha * t * E * A$ .

Sin embargo, si lo anteriormente expuesto no puede efectuarse bajo un costo-beneficio eficiente, entonces debe considerarse la necesidad de efectuar las siguientes alternativas:

- Proveer conexiones apropiadas entre los componentes estructurales, y no estructurales que permitan una mayor tolerancia de deformación sin la pérdida de rendimiento del sistema estructural.
- Proveer juntas de expansión para así reducir los efectos del parámetro

$$\Delta l_t = \alpha * t * L$$

## 2.5 Ejemplo de la aplicación del Método Empírico de *Federal Construction Council - Technical Report No. 65*

Se presenta un ejemplo de análisis de un edificio de 180 metros de longitud y 45 metros de ancho bajo el Método Empírico de *Federal Construction Council – Technical Report No.65*. Este sistema estructural posee vigas y columnas que son construidas con acero estructural; así mismo, el sistema de piso corresponde al sistema deck con una losa de 12 centímetros de espesor, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Quito - Ecuador. El propósito del siguiente ejemplo de análisis es guiar al lector ante la decisión de la pertinencia de colocar juntas de dilatación en un determinado sistema estructural.

De acuerdo a lo que se establece en *ACI 224.3R*, específicamente en el apartado *1.1 Joist in Concrete Construction* se menciona que una estructura no puede fabricarse continuamente a causas de los cambios de temperatura.

Esto hace mención al instante de fundición del hormigón y que en el presente ejemplo se refiere a la fundición de las respectivas losas del sistema de piso del edificio, traducándose a que una fundición continua de grandes longitudes traerá consecuencias adversas ya que la temperatura de retracción del hormigón acompañada por los cambios de temperatura durante el día de fundición del medio externo generarán la aparición de esfuerzos no deseados y de ahí que se anticipe la colocación de juntas de dilatación.

La tabla 1.2 de *ACI 224.3R*, y que se reproduce en el presente documento como tabla 1, presenta resultados de la investigación de varios autores que recomiendan ciertas longitudes efectivas para edificios con el objeto de evitar consecuencias adversas de los cambios de temperatura; además los datos que se encuentran en esta tabla se interpretan también como las longitudes efectivas en las que se puede colocar las juntas de dilatación o expansión o a su vez la longitud efectiva de edificios.

**Tabla 1** Longitudes admisibles para edificios sin la inclusión de juntas o espaciamiento entre juntas de dilatación.

Autor	Espaciamiento
Lewerenz (1907)	75 pies (23m) para muros
Hunter (1953)	80 pies (25m) para muros y techos aislados, 30 a 40 pies (9 a 12m) para techos no aislados
Billing (1960)	100 pies (30m) máxima longitud de edificios sin juntas. Recomendación de colocación de juntas en lugares de cambios abruptos en planta y en cambios en altura del edificio considerando la existencia de concentraciones de esfuerzos
Wood (1981)	100 a 120 pies (30 a 35m) para muros
Indian Standards Institution (1964)	45m ( $\approx$ 148pies) máxima longitud del edificio entre juntas
PCA (1982)	200 pies (60m) máxima longitud del edificio sin juntas
ACI 350R-83	120 pies (36m) en estructuras sanitarias parcialmente llenas con líquido (espaciamientos más cercanos son requeridos cuando no existe la presencia de líquidos)

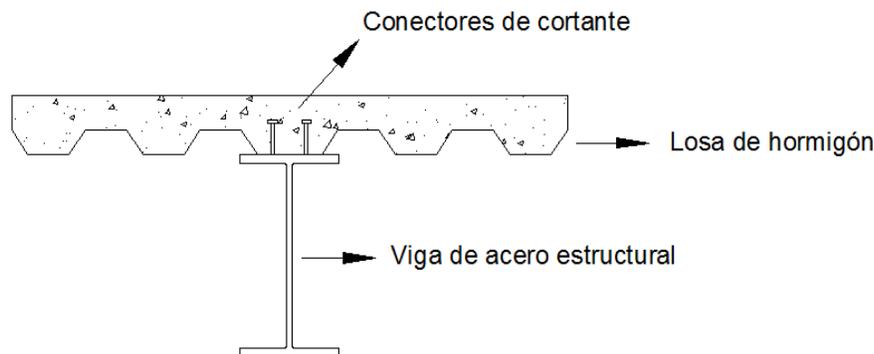
Con estos lineamientos anotados anteriormente se establece que la estructura del presente ejemplo al contar con 180 metros de longitud deberá necesariamente estar dividida en bloques a fin de evitar efectos adversos por cambios de temperatura.

Como se observa, las recomendaciones de longitudes efectivas adoptadas para edificios y que pueden ser aplicadas en el Ecuador, radican en las presentadas por *Indian Standards Institution* con 45 metros y *PCA* con 60 metros.

Las vigas de acero están ligadas a la losa de hormigón mediante conectores de corte, haciendo que estos dos materiales trabajen monólicamente para todos los estados de carga, incluyéndose los cambios de temperatura.

Las vigas de acero transfieren todas las cargas y deformaciones que presente la losa de hormigón hacia las columnas del edificio del presente ejemplo, creándose así el proceso de redundancia estructural.

Si bien es cierto las losas son los elementos que directamente se ven afectadas por los efectos de los cambios de temperatura, por estar mayormente expuestas a los medios ambientales, las vigas de acero estructural que sirven de soporte a éstas se ven también afectadas por cambios de temperatura que son similares ya que tanto el acero estructural como el hormigón poseen coeficientes de dilatación muy similares, provocando que las vigas de acero se vean afectadas por expansiones similares a las del hormigón.



**Figura 4** Sección monolítica acero estructural – hormigón mediante conectores de cortante

Para estimar la elongación de las losas de hormigón causada por los cambios de temperatura debe multiplicarse su coeficiente de dilatación térmica ( $\alpha = 9.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) por la longitud de la estructura y por el respectivo cambio de temperatura, es decir la aplicación de la ecuación (4) del presente documento.

$$\Delta l_t = \alpha * t * L$$

$$\Delta l_t = \frac{9.9 \times 10^{-6}}{^{\circ}\text{C}} * 30^{\circ}\text{C} * 180\text{m}$$

$$\Delta L = 0.0534 \text{ m}$$

Como puede observarse se ha considerado un diferencial de temperatura de 30°C, que se traducen en 10°C por retracción del hormigón y 20°C por los cambios propios de temperatura, es decir se considera que en la ciudad de Quito en la mañana (6:00 AM) se tiene una temperatura de alrededor de 6°C, mientras que en las horas de la tarde (4:00 PM) se tiene alrededor de 26°C.

Como resultado se observa que existen 5.34 cm de deformación en la longitud de la estructura misma que produciría el fisuramiento de las losas de hormigón, seguidamente estas deformaciones serían trasladadas hacia las vigas de acero y por éstas hacia las columnas de la estructura, apareciendo momentos flectores de altas consideraciones que ocasionarían la falla del sistema estructural.

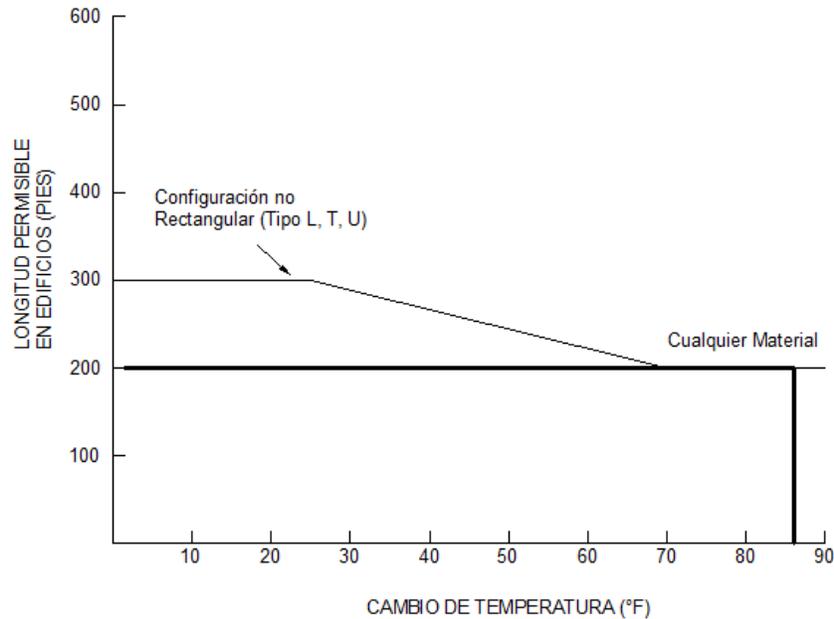
Se menciona que *American Institute of Steel Construction AISC*, también describe lineamientos para efectuar el análisis de efectos térmicos en edificios de aceroestructural, como el del presente ejemplo. En el acápite referente a efectos térmicos que se encuentran dentro del *Steel Construction Manual 14th. Edition*, se menciona que a pesar de que los edificios son construidos con materiales flexibles, en este caso acero estructural, las juntas de expansión son requeridas cuando las dimensiones son considerables en longitud.

Al observarse una deformación de 5.34 cm sobre el edificio del presente ejemplo se continúa con la utilización del método empírico de *Federal Construction Council Technical – Report No. 65*. Como siguiente paso se procede con el cálculo de la distancia entre juntas de dilatación, con la utilización de la ecuación (2):

$$L_{m\acute{a}x} = L_{allow} + (R1 - R2 - R3 - R4) * L_{allow}$$

Dónde, para el este ejemplo se tiene:

- $L_{max}$ : Es la máxima longitud entre juntas de expansión
- $R1$ : 0,15; en este caso se considera que el edificio contará con sistemas mecánicos de calefacción o aire acondicionado.
- $R2$ : 0,33; Si el edificio no posee calefacción. Para el presente ejemplo no se aplica este factor.
- $R3$ : 0,25; Si el edificio posee columnas empotradas en la base, este factor corresponde a una de las características del presente ejemplo.
- $R4$ : 0,25; Si el edificio posee mayor rigidez que su otro frente, en este caso no se aplica este factor ya que se supone en este ejemplo que los sistemas de rigidez del edificio se encuentran totalmente equilibrados.
- $L_{allow}$ : Longitud permisible de acuerdo a la figura 3.



**Figura 5** Configuración no rectangular (Tipo L, T, U)

Esta estructura se la considera de configuración geométrica irregular tanto en planta como en elevación. Se opta por la curva de *Federal Construction Council Technical – Report No. 65* correspondiente a acero para estructuras con sistemas de rigideces simétricas.

Considerando una temperatura de diseño de 86 °F que equivalen a 30°C (máximo de las variaciones de temperaturas en Quito) se establece una longitud permisible *Lallow* de 200 pies (61m), en la curva correspondiente a cualquier material, considerando que el edificio tiene losas de hormigón y vigas y columnas de acero estructural. Continuando con el análisis:

$$L_{max} = 200 + (0.15 - 0 - 0.25 - 0) * 200$$

$$L_{max} = 200 + (-0.10) * 200$$

$$L_{max} = 180 \text{ ft} = 54.90 \text{ m}$$

Como se puede observar las disposiciones aplicadas al presente ejemplo de análisis y que se encuentran plasmadas en el método analítico propuesto por el *Federal Construction Council - Technical Report No. 65*, arrojan como resultado que se deben colocar juntas de expansión a lo sumo cada 54.90 metros para la estructura del presente ejemplo.

### 3. CONCLUSIONES

- Las restricciones de edificios son factores preponderantes al instante de realizar un estudio de cambio de temperatura que afecta a los sistemas estructurales; de éstas dependen en gran medida de las deformaciones y fuerzas que aparezcan en los elementos estructurales como consecuencia de la aplicación de cambios de temperatura.
- La temperatura de fraguado del hormigón es un factor que debe añadirse a los efectos de cambios de temperatura, considerando que los procesos exotérmicos de fraguado de este material generan calor adicional a los del medio ambiente.
- Los coeficientes de dilatación térmica tanto del acero estructural como del hormigón son muy similares, por lo que sus diferencias en dilatación térmica dependerán de factores geométricos al instante de evaluar elementos estructurales ante cambios de temperatura.
- Los efectos de los cambios de temperatura, referentes a elongaciones son acumulativos, iniciando con deformaciones de valores mínimos en la zona central de sistemas estructurales y encontrándose las máximas elongaciones en los extremos de las mismas.
- Se observa que en el ejemplo del presente documento los resultados obtenidos con el método empírico de *Federal Construction Council Technical – Report No. 65*, son muy cercanos a los valores recomendados que se encuentran en *ACI 224.3R*, para espaciamientos admisibles entre juntas de dilatación, haciendo confiable la aplicación de cualquiera de estas dos recomendaciones ante el análisis de efectos térmicos en estructuras.

### 4. REFERENCIAS

- [1] NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES – NATIONAL RESEARCH COUNCIL, (1974), *Federal Construction Council - Technical Report No.65*, Washington, D.C., Estados Unidos de América.
- [2] ACI, *ACI 224.3R-95* (Reapproved 2001) *Joints in Concrete Construction*.
- [3] NORTH AMERICAN STEEL CONSTRUCTION CONFERENCE, NASCC, (2005), *Expansion Joints: Where, When, and How* by James M. Fisher.
- [4] AISC LRFD, (2010) *Steel Construction Manual*, Décima Cuarta edición, Chicago, Illinois, Estados Unidos de América.