

ANÁLISIS DE LAS TENSIONES SURGIDAS EN ELEMENTOS PLANOS DE HORMIGÓN ARMADO PRODUCTO A GRADIENTES DE TEMPERATURA

Ing. Arianna Suarez Ayala¹, MSc. Ing. Alejandro Hernández Hernández²

1. Empresa de Proyectos de la Agricultura, Vía Blanca Km.4,
Matanzas, Cuba. arianna.suarez96@nauta.cu

2. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía
Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. alejandro.hdez@umcc.cu

Resumen

En Cuba se están desarrollando sistemas de edificaciones donde la estructura portante está compuesta por elementos planos de hormigón armado sometidos a marcados gradientes de temperatura, debido al sistema de climatización en el interior de las habitaciones y la temperatura del medio circundante. Para analizar el comportamiento de estos elementos que presentan fisuras se realiza un modelo computacional sometido a gradiente térmico para analizar el comportamiento de las tensiones ante la influencia de este. Después de consultar diversas bibliografías y con la modelación computacional se muestran resultados con los que se puede concluir que: las tensiones que se generan alcanzan la rotura no solo por la temperatura sino por la aplicación de otras cargas. En ocasiones el diferencial térmico si produce un aumento de las tensiones demostrándose que existe un efecto por temperatura en los elementos planos de hormigón armado que puede llegar a superar las tensiones de rotura.

Palabras claves: Gradiente térmico; Fisuración; Modelación estructural.

Introducción

La temperatura es la propiedad física que se refiere a las nociones comunes de calor o ausencia de calor, la misma está en constante cambio. Las construcciones también se ven afectadas por estas variaciones llamadas gradientes de temperatura; cuando sus elementos están sometidos a bajas temperaturas en el interior de la edificación producto a la climatización, y en el exterior están expuestas a la radiación solar. Estas variaciones pueden ser las causantes de una de las patologías más significativas en las estructuras de hormigón: las fisuras.

Son muchos los autores que han investigado sobre el comportamiento térmico de estructuras de hormigón armado, así como el desarrollo de modelos computacionales que permiten un mejor estudio y comprensión de este fenómeno. (Croppi y Sánchez, 2018) presentan un modelo numérico por el método de elementos finitos (MEF) donde se analiza el fenómeno de variación de temperatura, evolución de propiedades mecánicas y respuesta del material ante las tensiones generadas en el tablero de hormigón del viaducto de acceso al puente de Öresund, Dinamarca. Se tiene en cuenta condiciones ambientales extremas (temperaturas por debajo de los -20°C).

(Aguirre y Aguirre, 2018) exponen elementos de hormigón armado a altas temperaturas durante diferentes tiempos, y luego son enfriados a temperatura ambiente durante 24 h, momento en que se evaluaron mediante observación los cambios producidos. Las variaciones de temperatura en el medio ambiente traen consigo efectos sobre las estructuras. Una consecuente fisuración puede influir notablemente en la durabilidad y funcionalidad de estas estructuras. (Crespo, 2011)

Cuando el hormigón aumenta de temperatura, se produce una disminución de las propiedades mecánicas que causa la reducción de la capacidad de carga de un elemento, se producen cambios de volumen inducidos por tensiones térmicas, además de generar expansión, tensiones, deformaciones y reducción de resistencia en los componentes estructurales. A esto, se suma la degradación de la adherencia en el acero inducida por la temperatura que influye en la propagación de grietas en el hormigón y que tiene un efecto sobre la integridad del mismo. (Aguirre and Aguirre, 2018)

Con el desarrollo de la tecnología y la ingeniería se ha podido profundizar en el comportamiento de elementos de hormigón armado cuando son expuestos a fuertes gradientes térmicos, mediante software de modelación.

Modelo

La estructura a modelar es un edificio de 3 plantas de muros portantes, la cual no es una edificación real, pero se toma como guía los planos de un edificio similar a este, la misma

no posee ninguna irregularidad en planta o en elevación. Dicha edificación se supone ubicada en Varadero.

Descripción del modelo

El modelo físico presenta en su **geometría** 7 luces de 4 m a lo largo y 3 luces de 5 m a lo ancho. Presenta 3 niveles. Se toma como referencia características del sistema de muros portantes de edificios similares construidos en Cuba. Los muros poseen un espesor de 0,20 m y las losas de 0,12 m. Puntal de nivel de piso terminado (NPT) a NPT = 2,90 m. Posee 1 escalera en el centro del edificio.

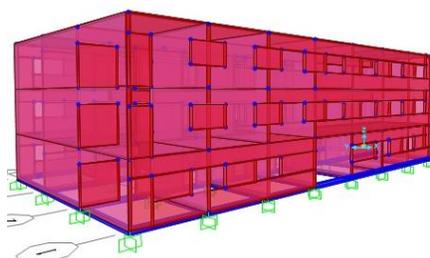


Figura 1 Geometría del edificio. (Elaboración propia en SAP 2000)

Condiciones de apoyo: La unión entre los muros se considera totalmente rígida así como la unión entre las losas. Las uniones losa muro se consideran totalmente empotradas. Los muros de la planta baja están apoyados sobre una viga de cimentación.

Materiales: La estructura es de hormigón armado, las tensiones máximas a compresión son significativamente mayores que a tracción y para describir el comportamiento del material se usa un modelo lineal elástico. Módulo de Poisson, (ν) 0,2, peso por unidad de volumen 23,563 kN/m³, módulo de elasticidad, E 24 855 578 kN/m², resistencia a compresión f_c 27 579,032 kN/m², coeficiente de expansión térmica, A $9,9 \times 10^{-06} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Cargas: Para la determinación de las cargas de uso, se tiene en cuenta el desagüe por tragante no accesible al público y como uso se pretende un edificio de habitaciones de hotel (según NC: 284:2003 Edificaciones. Cargas de uso). En cuanto a las cargas permanentes, la cubierta está compuesta por losas de hormigón armado y 3 capas de papel asfáltico, mientras que los entresijos se componen de losa de hormigón armado, 5 cm de relleno de mejoramiento, 2 cm de mortero y losas cerámicas de 2 cm de espesor (según NC: 283:2003 Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño). Para las cargas térmicas se toma la temperatura máxima ambiente registrada en el año 2018 de 34,3 °C y 16 °C producto de la climatización. Se realiza la variación del gradiente para estudiar el comportamiento de las tensiones. Se definen en el programa las Cargas de Uso, las Cargas Permanentes y Cargas Térmicas, se introduce una combinación igual a $1,2 (G + F + T) + 1,6 (Q + H) + 0,5 Q_c$ (como indica la NC: 450:2006 Edificaciones-Factores De Carga O Ponderación-Combinaciones).

Tipos de elementos: Elementos finitos usados para modelar los muro de 0,20 m de espesor: (Tipo Shell). Elementos finitos usados para modelar las losas de 0,12 m de espesor: (Tipo Shell). Elementos finitos usados para modelar la viga de cimiento de 0,20 m de ancho y 0,30 m de peralto: (Tipo Frame).

Discretización del modelo

Densidad del mallado: Se realiza un mallado progresivo 2^n , dando como resultado los siguientes modelos: (solo se muestra el mallado o discretización de algunos de los muros pero el mismo proceso se siguió con todos los elementos)

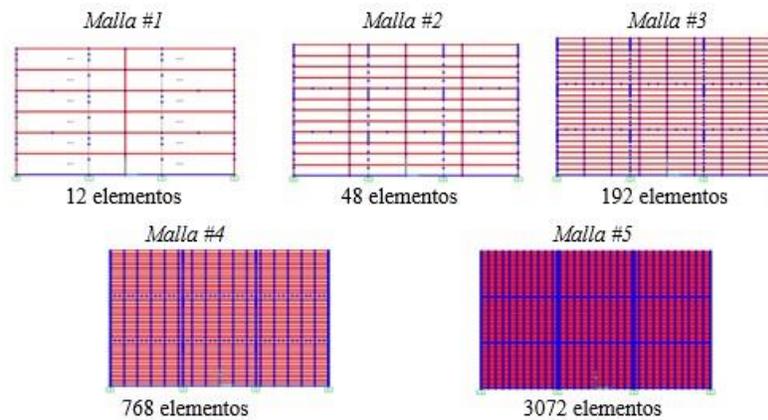


Figura 2 Mallado progresivo de muros laterales. ((Elaboración propia en SAP 2000))

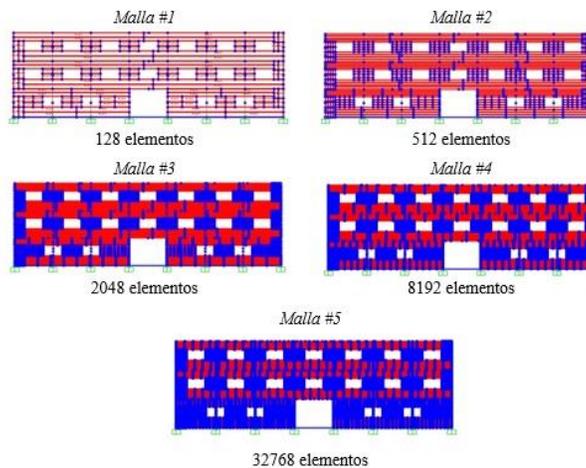


Figura 3 Mallado progresivo de muros frontales. (Elaboración propia en SAP 2000)

Se determinaron las tensiones y deformaciones en los puntos donde se espera obtener los valores más elevados en todos los elementos del modelo: muros laterales acotados de A-H, muros frontales de 1-4, losa de cubierta y losa de entrepisos 1 y 2; donde se pudo observar

que a medida que aumenta la cantidad de elementos de la malla van tomando valores constantes, mostrando el ajuste del modelo.

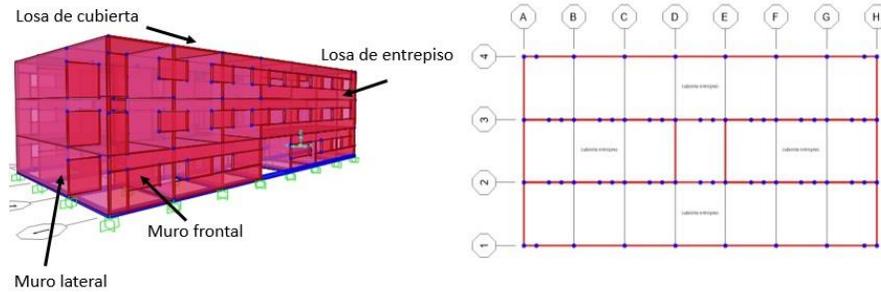


Figura 4 Vista en planta y elevación del edificio. (Elaboración propia en SAP 2000)

Tensiones Máximas y Tensiones Von Mises

El modelo se somete al gradiente dado por la temperatura del medio circundante (34,3°C temperatura máxima registrada en el año 2018) y la climatización en el interior de las habitaciones (16°C). Se comienzan por el 10% hasta llegar al 100% del gradiente para analizar el comportamiento del material ante la variación y ver donde el hormigón alcanza la rotura, determinando las Tensiones Máximas y de Von Mises en los puntos donde se observa concentración de tensiones.

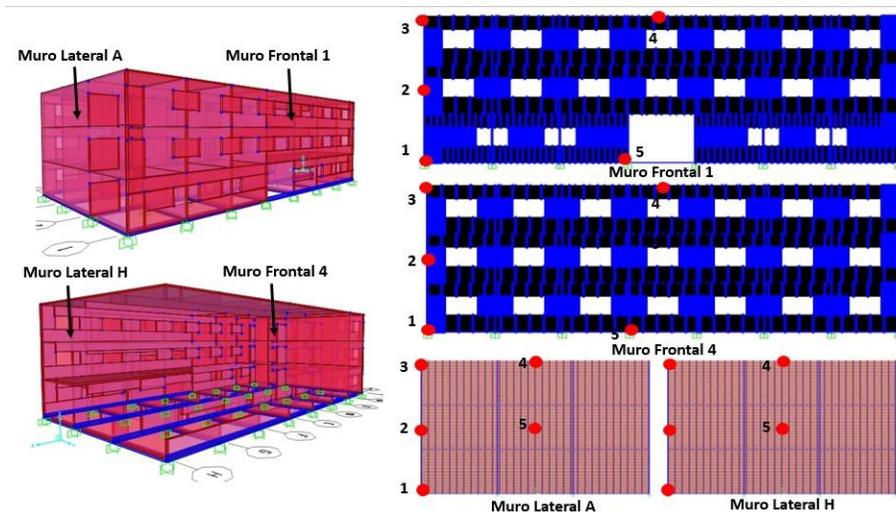


Figura 5 Puntos comprobados para determinar las Tensiones Máximas y de Von Mises en muros exteriores sometido a gradiente térmicos. (Elaboración propia)

La tensión máxima establecida para el hormigón ha sido determinada como el 62% de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión del hormigón ($f'c$).

Luego de medir todos los puntos a evaluar en los muros que se encuentran sometidos a la variación de temperatura entre el medio circundante y la climatización en el interior, fueron detectados diferentes comportamientos:

- Las tensiones máximas y de Von Mises no alcanzan la rotura del hormigón en ningún momento durante la aplicación de la carga.
- Las tensiones máximas y de Von Mises superan en todo momento el módulo de rotura del hormigón.
- Las tensiones máximas son inferiores a la rotura no siendo así las de Von Mises.
- Las tensiones en general alcanzan la rotura con el aumento del gradiente térmico.

Hay que tener en cuenta que las tensiones son calculadas con la combinación de todas las cargas CP, CU y T, por lo que se alcanza la rotura no solo por la temperatura sino por la aplicación de las otras cargas. Sin embargo, sea alcanzada o no la rotura del hormigón se aprecia como las tensiones aumentan a medida que aumenta el gradiente de temperatura.

En el modelo los puntos 3, 4 y 5 que son los que se encuentran en el borde superior de la esquina y los que están en el centro del tramo analizado se aprecia que un aumento del gradiente de temperatura produce un aumento de tensión elevado, en el resto de los puntos el comportamiento de las tensiones producto del aumento de la temperatura es casi constante por lo que se puede concluir que el efecto de la temperatura en ellos es bajo.

En los gráficos siguientes se observa el comportamiento de las curvas de tensión en los puntos notables de cada muro analizado donde existe un mayor efecto de la variación de temperatura. Se aprecia que las tensiones se incrementan según aumenta el gradiente de temperatura aplicada, demostrándose el efecto de la misma sobre los elementos.

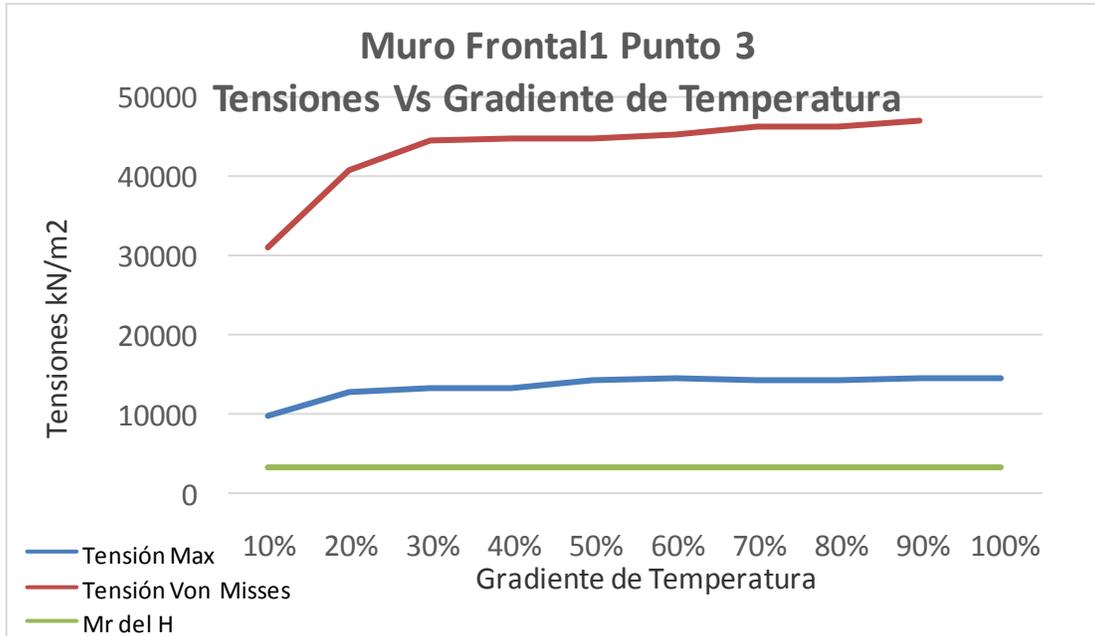


Figura 6 Tensiones en el muro aplicado el gradiente. (Elaboración propia)

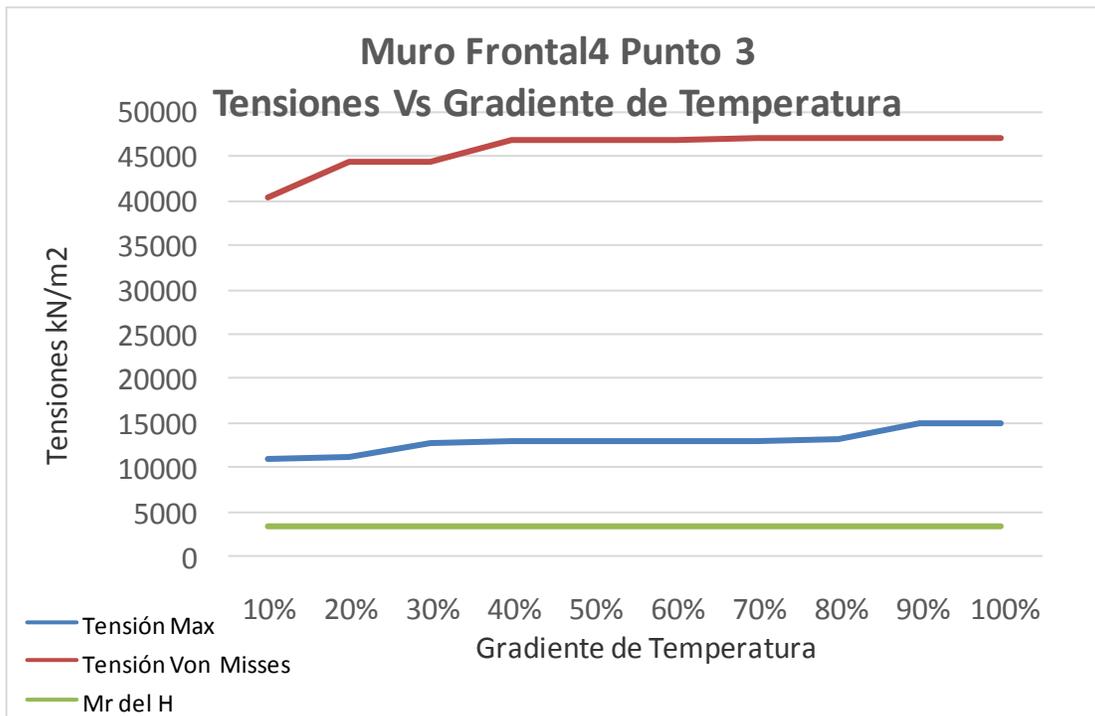


Figura 7 Tensiones en el muro aplicado el gradiente. (Elaboración propia)

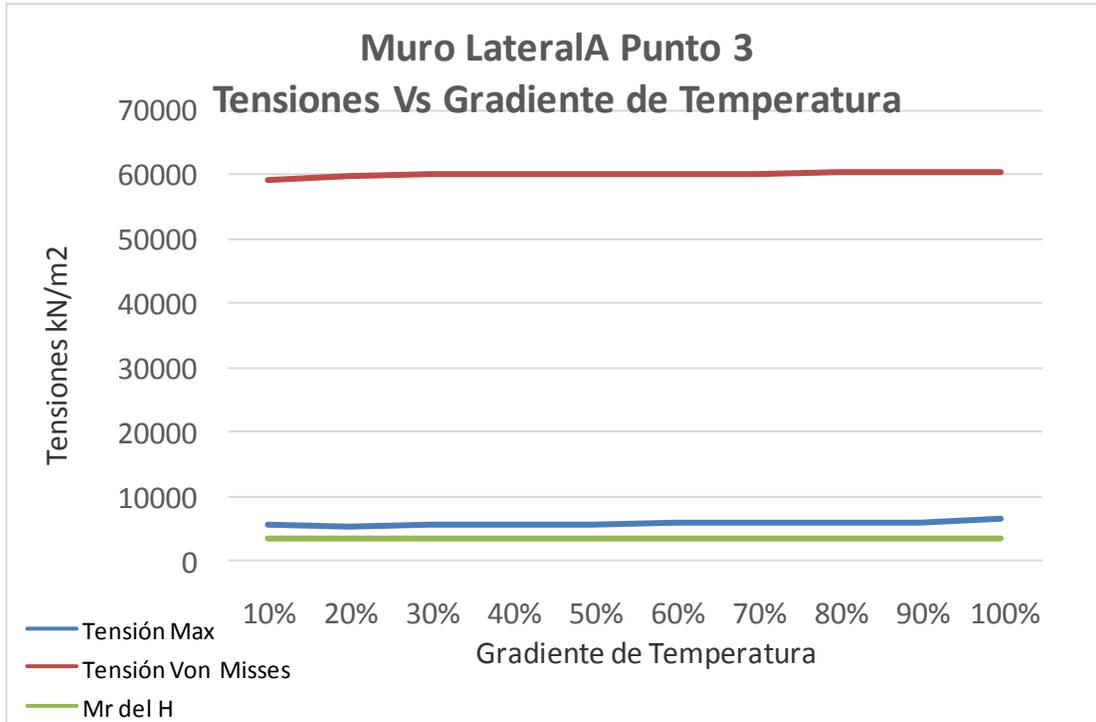


Figura 8 Tensiones en el muro aplicado el gradiente. (Elaboración propia)

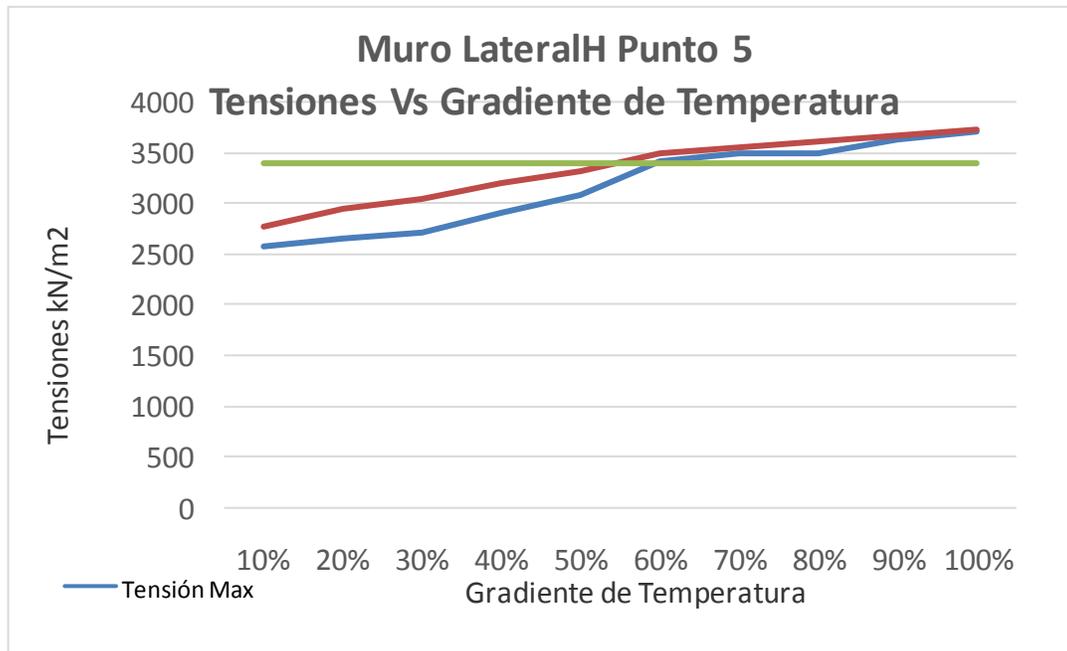


Figura 9 Tensiones en el muro aplicado el gradiente. (Elaboración propia)

Conclusiones

Las tensiones que se generan en los elementos planos de hormigón armado producto al gradiente de temperatura superan las tensiones que puede soportar el material, fisurándose, alcanzando la rotura no solo por la temperatura sino por la aplicación de cargas restantes. El aumento del diferencial térmico produce un aumento de las tensiones por lo que se puede decir que existe un efecto por temperatura en los elementos planos de hormigón armado. Existen puntos de concentración de tensiones producto de todos tipos de cargas, por lo general se destacan dos tipos, los primeros son puntos donde producto de cargas verticales se alcanza la rotura del hormigón, por ende el efecto del gradiente térmico aunque según aumenta la temperatura aumentan las tensiones pero no son las causantes de la rotura y los segundos puntos notables son aquellos en los que el aumento del gradiente térmico produce la fisuración y rotura del hormigón, aspecto que debe ser tratado con especial cuidado por los diseñadores.

Bibliografía

AGUIRRE, M. E. U. & AGUIRRE, G. J. A. J. G. T. 2018. Efecto del tiempo de exposición al fuego en la resistencia a flexión de vigas de hormigón armado. 19, 7-18.

BITENCOURT, L. A. G., MANZOLI, O. L., TRINDADE, Y. T., RODRIGUEZ, E. A. & DIAS DA COSTA, D. 2018. Modeling reinforced concrete structures using coupling finite elements for discrete representation of reinforcements. *Finite Elements in Analysis and Design*, 149, 32-44.

BUSTAMANTE, G. R. & VÁSQUEZ, F. D. 2018. Comparación de tiempo y costo entre el hormigón tradicional y elementos prefabricados para edificios de mediana altura en la ciudad de Cuenca. Universidad del Azuay.

CAPOTE, J. A., ALVEAR, D., LÁZARO, M., CRESPO, J., FLETCHER, I., WELCH, S. & TORERO, J. 2011. Modelado de las solicitaciones de los elementos estructurales de hormigón en edificios de gran altura en incendios reales. *Informes de la Construcción* 63, 83-91.

CARRERA, S. P. & IRIGOYEN, M. V. 2018. Diseño estructural en condiciones de incendio del sistema de entrepiso del edificio “Torino” aplicando un método de cálculo basado en la modelación estructural del edificio. Quito, 2018.

CHALCO, C. G. & PROAÑO, M. R. J. C. 2018. Juntas de dilatación en edificios. 17.

CROPPI, J. I. & SÁNCHEZ, P. J. J. R. T. Y. C. 2018. Modelo Termo-Mecánico para el Análisis de Estructuras de Hormigón a Edades Tempranas. 66-78.

GALLARDO, D. 2019. Análisis estructural de la cubierta del Hipódromo de la Zarzuela de Eduardo Torroja mediante SAP2000.

GARCÍA, J. A. 2016. Modelación numérica de pisos industriales en concreto rígido Camilo Cienfuegos, Matanzas.

HAILOO, H. & GREEN, M. F. 2019. GFRP reinforced concrete slabs in fire: Finite element modelling. *Engineering Structures*, 183, 1109-1120.

HERNÁNDEZ, E. 2017. Hormigonarmado y pretensado.

LARRUA, R. & PIGNATTA, V. J. R. T. D. L. F. D. I. U. D. Z. 2013. Modelación térmica del ensayo de conexiones acero-hormigón a elevadas temperaturas. 36, 210-218.

LEONARDO, Z. S. 2017. Elaboración de un software en base a MATLAB para el cálculo y diseño de losas macizas y nervadas. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

MEDINA, M. J. 2017. Reproducción en FDS de un incendio real de aparcamiento.
Universidad Politècnica de Catalunya Barcelona.



CD Monografías 2019
(c) 2019, Universidad de Matanzas
ISBN: 978-959-16-4317-9