

# REFORZAMIENTO SÍSMICO DE UNA NAVE INDUSTRIAL, UN COLISEO Y UN TEATRO

## SEISMIC REINFORCEMENT OF AN INDUSTRIAL BUILDING, A COLISEUM AND A THEATER

Autor:

CAPT. DE E. Marco Alfonso Garzón Vaca.

Artículo en base a la Tesis de Grado del mismo nombre.

Director: Dr. Roberto R. Aguiar F.

Codirector: Ing. Manuel A. Cando L., MSc.

Carrera de Ingeniería Civil

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO –Sede Sangolquí.

e-mail: magarzon5@espe.edu.ec

**RESUMEN** - La vulnerabilidad física de edificaciones tiene que ver con el grado de susceptibilidad que tiene una estructura a sufrir daños parciales o totales, por la ocurrencia de movimientos sísmicos de intensidad y magnitud dadas, durante un periodo de tiempo y lugar determinado; lo que puede ocasionar la pérdida de funcionalidad teniendo como consecuencia la pérdida grave de bienes materiales y vidas humanas. La vulnerabilidad estructural es una característica exclusiva de las construcciones, que no solo depende del sistema estructural, sino también de los elementos no estructurales y de otros factores como: edad, material, calidad de construcción,

especificación de cálculo, diseño sismo resistente etc.

Un estudio de vulnerabilidad sísmica puede concluir en la necesidad de refuerzo estructural. El refuerzo sísmico de una estructura puede ser necesario cuando la obra ha sufrido daños a causa de un terremoto o si se determina que una estructura es vulnerable a sufrir daños severos o colapso. Obras esenciales deben seguir prestando servicios después de una catástrofe, por lo tanto, deben resistir sismos destructivos sin sufrir daños secundarios significativos que pueden poner en peligro su funcionamiento; para lograr esto es necesario adicionarles mayor capacidad

**ABSTRACT** - The physical vulnerability of buildings has to do with the degree of susceptibility that has a structure to partial or total damage, by the occurrence of earthquakes of magnitude and intensity given, over a period of time and location determined; which can result in loss of functionality having as serious consequence loss of materials goods and human lives. Structural vulnerability is a unique feature of the buildings, which not only depends on the structural system, but also of non-structural and other factors such as age, material, quality construction, calculation specification, earthquake resistant design, etc.

A seismic vulnerability study can conclude on the need for structural reinforcement. The seismic reinforcement of a structure may be necessary when the work has been damaged by an earthquake or if it is determined that a structure is vulnerable to severe damage or collapse. Works should continue to provide essential services after a disaster, therefore, must resist destructive earthquakes without significant side damage that may jeopardize their operation, to achieve this is necessary greater capacity add resistant, reducing lateral displacement and the amount of damage.

## **I. INTRODUCCIÓN.**

La actividad sísmica ha tenido una presencia constante en la vida de los pueblos latinoamericanos, lo que nos permite rastrearla a las épocas prehispánicas a través de los escritos que han sobrevivido hasta nuestros días.

La región latinoamericana está formada por las placas tectónicas de Norteamérica, Cocos, el Caribe, Nazca y Sudamérica. Estas placas, de material *duro*, se asientan sobre el material *suave* de la astenósfera y se mueven como cuerpos rígidos que flotan a la deriva. El movimiento relativo entre ellas es la causa de la gran actividad sísmica generada en sus bordes, en las costas latinoamericanas del Pacífico y en la cuenca del Caribe.

Los sistemas de fallas localizados en el interior de las placas tectónicas generan también una actividad sísmica importante en Latinoamérica; es así que en los últimos años se han producido varios sismos en el mundo entre ellos el del 12 de Enero del 2010 en Haití y del 27 de Febrero del 2010 en Chile, los cuales han provocado terribles pérdidas humanas y económicas.

Por lo señalado anteriormente es sumamente necesario considerar estudios de investigación para la determinación de la vulnerabilidad sísmica, especialmente de

estructuras grandes que albergan a gran cantidad de personas como son coliseos, teatros y naves industriales ya que gran parte de éstas en la actualidad y ante la presencia de un sismo se tornan vulnerables porque fueron construidas con poco o nada criterio sísmico; todo esto exige que el presente estudio se lo realice de una manera eficaz para que los resultados obtenidos sean eficientes al momento de solucionar problemas en este tipo de estructuras como: rigidez insuficiente transversal y/o longitudinal, disminución en su capacidad resistente, deformaciones sísmicas considerables y daños en los elementos estructurales y no estructurales.

## **II. METODOLOGÍA DEL REFORZAMIENTO SÍSMICO PROPUESTO.**

Las tres estructuras analizadas tienen un denominador común y es que se trata de estructuras bastante rígidas en sentido transversal, donde que se tienen que cubrir grandes luces, pero son muy flexibles en sentido longitudinal. Por este motivo se reforzó teniendo en consideración los siguientes aspectos:

- Bajar los períodos de vibración en sentido longitudinal mediante la rigidización de los pórticos en la mencionada dirección.
- Que las columnas interiores de los pórticos exteriores transversales,

lleguen hasta la cercha de la cubierta y peor en el caso de que no existan columnas intermedias como en el caso del Coliseo del Colegio Benalcazar.

- Colocación de tensores en algunos vanos de la cubierta con el propósito de crear vigas de borde de considerables dimensiones que resistan los desplazamientos laterales en sentido longitudinal.

Como son estructuras con piso liviano, el análisis sísmico se realizó con un modelo de piso flexible concentrando las masas en puntos discretos y sin considerar el momento de inercia de las masas.

En el análisis sísmico el objetivo fundamental fue determinar la deriva global porque este parámetro es el que mejor se relaciona con el daño esperado en la estructura.

Un problema crítico en los elementos de acero es el de pandeo, por esta razón se determinó la capacidad de carga de sus elementos teniendo en cuenta el pandeo local y global.

Finalmente se debe destacar que el reforzamiento propuesto implica un costo bajo que no va a superar el 10% del costo total de la estructura.

### III. CONCLUSIONES.

#### Nave Industrial (laboratorios del CICTE).

- a) En el diagnóstico de vulnerabilidad Sísmica la Nave Industrial (laboratorios CICTE), el análisis sísmico en el sentido transversal presentó un período de vibración máximo  $T_{max}$  de 0,28 seg, un desplazamiento máximo  $q_{max}$  de 3,06 cm y una deriva de piso global  $\gamma_g$  de 0,51%; éstos valores son menores que los admisibles y demuestran claramente que la estructura transversalmente es lo suficientemente rígida ante la acción del sismo de diseño según el NEC – 11.
- b) En el diagnóstico de vulnerabilidad Sísmica la Nave Industrial (laboratorios CICTE), el análisis sísmico en el sentido longitudinal, presentó un período de vibración máximo representado por un número complejo  $T_{max}$  de  $0 + 7,2522 i$ ; éste valor es mayor que el admisible e indica claramente que la estructura longitudinalmente es muy flexible, llegando inclusive al colapso ante la acción de una fuerza sísmica en ese sentido.
- c) Al realizar el análisis Sísmico en el sentido longitudinal con el reforzamiento propuesto, la Nave Industrial muestra un período de

vibración máximo  $T_{max}$  de 0,39 seg, un desplazamiento máximo  $q_{max}$  de 4,51 cm y una deriva de piso global  $\gamma_g$  de 0,78%; éstos valores son menores que los admisibles y demuestran que la estructura es rígida ante la acción de una fuerza sísmica en ese sentido; por lo tanto el reforzamiento sísmico propuesto es adecuado.

#### Coliseo del Colegio “Sebastián de Benalcazar”.

- d) En el diagnóstico de vulnerabilidad Sísmica el Coliseo del Colegio “Sebastián de Benalcazar”, el análisis sísmico en el sentido transversal presentó un período de vibración máximo  $T_{max}$  de 0,93 seg, un desplazamiento máximo  $q_{max}$  de 24,89 cm y una deriva de piso global  $\gamma_g$  de 1,82%; éstos valores son mayores que los admisibles y demuestran que la estructura transversalmente, ante la acción de una fuerza sísmica en ese sentido es flexible, y más aún en el sentido longitudinal ya que los desplazamientos son números complejos muy altos haciendo que la estructura inclusive llegue al colapso.
- e) El análisis Sísmico, con el reforzamiento propuesto el Coliseo Colegio “Sebastián de Benalcázar”, muestra un período de vibración máximo  $T_{max} = 2,13$  seg, un

desplazamiento máximo  $q_{max} = 48,95 \text{ cm}$  y una deriva de piso global  $\gamma_g = 3,58\%$ ; éstos valores a pesar de ser mayores que los admisibles demuestran que la estructura longitudinalmente adquirió mayor rigidez para soportar una acción sísmica en ese sentido; en tal razón la propuesta de reforzamiento sísmico es adecuada.

#### **Teatro del Colegio “Sebastián de Benalcázar”.**

- f) Con la propuesta presentada para el Teatro del Colegio “Sebastián de Benalcázar” se logra tener una mayor rigidez en el sentido longitudinal, aspecto sísmico esencial que permitirá a la estructura soportar el nuevo sistema de cargas al que ha sido sometido, debido a las remodelaciones a las que ha tenido que someterse, especialmente en cuanto al tipo de cielo falso y a los nuevos equipos de cine e iluminación.

de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, **Primera Edición.**

- Aguiar R., (2008) *Análisis Sísmico de Edificios*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, **Primera Edición.**
- Aguiar R., (2006) *Deriva máxima de piso y curvas de fragilidad en edificios de hormigón armado*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército.
- Aguiar R., (2010,1), “Análisis de tres sismos interplaca tipo thrust registrados en Chile 2010, Perú 2007 y Ecuador 1998”. Revista Sud Americana de Ingeniería Estructural. En revisión arbitral, Brasil.
- Casano M (2009), *Análisis de estructuras bajo acciones dinámicas*. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional Paraná.
- Franz Sauter F, *Refuerzo sísmico de estructuras*.
- NEC – 11 (2011). Norma ecuatoriana de la construcción. Ecuador, Agosto 2011.

#### **IV. BIBLIOGRAFÍA.**

- Aguiar R., (2004) *Análisis Matricial de Estructuras*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, **Tercera Edición.**
- Aguiar R., (2007) *Dinámica de Estructuras con MATLAB*, Centro