

Diseño Del Reforzamiento Del Edificio De La Facultad De Ingeniería De La Pontificia Universidad Javeriana Seccional Cali

**Karla Aponte
Katheryn Bedoya
Bibiana Gutiérrez
Diego López**

**Director:
Iván Fernando Otalvaro Calle**

Resumen

El objetivo general de este trabajo de grado consiste en diseñar una propuesta de reforzamiento estructural viable y factible, para la construcción de un tercer nivel en el edificio de la Facultad de Ingeniería de la PUJ. Para dar cumplimiento a este objetivo principal se elaboró el diagnóstico de la estructura existente para identificar los problemas, daños y patologías de la estructura. Posteriormente se realizó el diagnóstico de vulnerabilidad del edificio, el avalúo de cargas, chequeo de derivas y chequeo de elementos estructurales existentes, teniendo en cuenta que el diseño de la estructura fue bajo la norma NSR-98 y deberá cumplir la norma NSR -10. Se evaluó el comportamiento de la estructura existente con la adición del tercer nivel. Finalizada esta evaluación se diseñaron los elementos de reforzamiento estructural y para concluir se realizó la propuesta del diseño arquitectónico del tercer nivel propuesto, proponiendo alternativa para la intervención de la estructura y su evaluación costo-beneficio.

Introducción

La Pontificia Universidad Javeriana, seccional Cali cuenta con un edificio específico para la facultad de ingeniería el cual está conformado por cuatro niveles. Se pretende realizar la implementación de un tercer nivel destinado a espacios aptos para oficinas y salas de uso académico, mediante una ampliación vertical, para lo cual se requiere del diseño de reforzamiento del edificio. Con el diseño del reforzamiento estructural se busca incrementar la capacidad de soporte requerida para la construcción del tercer nivel del edificio. El diseño implica conocer las especificaciones técnicas para la adecuada interpretación de la información geotécnica, estructural, metodológica y patológica; de tal manera que se pueda garantizar una nueva construcción exitosa.

Por lo anterior se propuso como objetivo general de este estudio, diseñar estructural y arquitectónicamente un nivel adicional según la capacidad portante al edificio de ingeniería.

1. Fundamentación teórica sobre diseño de reforzamiento

Para definir los elementos del reforzamiento estructural es necesario partir de un estudio de vulnerabilidad de la estr

uctura, un modelamiento, aplicar cargas de sismo, y realizar el análisis estructural de las alternativas de reforzamiento.

Modelamiento del diseño estructural. El diseño de los elementos del reforzamiento parte del modelamiento del diseño estructural. Para tal fin se debe realizar la modelación del nuevo nivel, el análisis de carga vertical y la aplicación de las cargas.

Diseñar nuevo nivel sobre estructura existente mediante el software de diseño AutoCAD. Con base al plano estructural existente del nivel a reforzar, se realiza el diseño arquitectónico del nuevo nivel. Esta alternativa arquitectónica debe diseñarse para que posea la resistencia y rigidez adecuadas ante las cargas mínimas de diseño prescritas en la norma y debe verificarse que la estructura dispone de rigidez adecuada para limitar la deformabilidad ante las cargas de servicio, de tal manera que no se vea afectado el funcionamiento de la edificación.

Análisis de carga vertical mediante la implementación del software ETABS. Para el análisis a carga vertical de la estructura actual, con la adición de un nuevo nivel, es decir, sin reformar la estructura existente, se toma el plano del piso a evaluar, y con base a estos datos, se procede a realizar el avalúo de cargas por ejes por medio del programa de elementos finitos ETABS.

Aplicar cargas de sismo mediante el software ETABS. En este paso se debe localizar el lugar donde se construirá la edificación dentro de los mapas de zonificación sísmica proporcionados y el grupo de uso que va a tener una vez se lleven a cabo las modificaciones en el Capítulo A.2 del reglamento NSR-10 y determinar el nivel de amenaza sísmica del lugar. En el momento de realizar el análisis sísmico de la estructura se aplican los movimientos sísmicos de diseño prescritos, a un modelo por medio del software ETABS, de la estructura estudiada, tal como se define en el Capítulo A.3 de la norma. Este análisis se ejecuta para los movimientos sísmicos de diseño sin ser divididos por el coeficiente de capacidad de disipación de energía, **R**, y debe hacerse de acuerdo al grado de irregularidad de la estructura y el procedimiento de análisis según el comportamiento y los materiales de la estructura.

Análisis de alternativas de reforzamiento. A continuación, se especifica sobre las alternativas de reforzamiento a considerar según el criterio de los tesisistas.

Encamisado de columnas en concreto reforzado: Cuando el encamisado no sea completo, deberá verificarse la necesidad de colocar elementos de conexión que garanticen la transmisión de los esfuerzos de cortante entre la camisa y el elemento por reforzar (Meli, 2002)

Encamisado de muros: Para este método se debe preparar la superficie del elemento para garantizar una buena adherencia entre el concreto existente y el nuevo. Aparte de esto se debe evitar que el concreto existente se rompa por contracciones volumétricas por el fraguado (Meli, 2002)

Arrostramiento transversal: Para este método de reforzamiento, se utilizan un conjunto de elementos estructurales, a manera de amarres transversales empleados para aumentar la rigidez de la estructura y su capacidad de resistir cargas laterales, tales como los movimientos sísmicos, por lo general son elementos en acero y pueden ir en forma de X o V. (Meli, 2002)

Con base a las alternativas de reforzamiento escogidas, se debe realizar el diseño estructural, partiendo de los planos existentes, adicionando el o los reforzamientos escogidos. El software de

diseño AutoCAD, permite especificar en qué partes de la estructura se va a realizar el reforzamiento. Teniendo listo el diseño de reforzamiento, se procede a modelar la estructura por medio del software ETABS. Con los planos de diseño existentes y las alternativas de reforzamiento elegidas, se modela el plano, adicionando las diferentes cargas que actúan sobre la estructura evaluada, teniendo en cuenta el nuevo nivel con sus respectivas cargas, guiándose con las determinaciones de la norma. Luego se procede a aplicar carga de sismo y corroborar el cumplimiento de la NSR-10, mediante la implementación del software ETABS. En este paso se localiza el lugar donde se realizará el reforzamiento, dentro de los mapas de zonificación sísmica proporcionados en el Capítulo A.2 del reglamento NSR-10 y así poder determinar el nivel de amenaza sísmica del lugar.

2. Resultados

Este proyecto se realizó en la PUJ CALI la cual fue instituida en el año 1970, y cuenta con 5843 estudiantes de pregrado y 1085 de posgrado. La universidad ofrece 19 programas de pregrado de los cuales ocho han recibido acreditación de alta calidad por medio del ministerio de educación, y el campus está compuesto por 8 edificios, entre los cuales se destaca el de registro académico donde se encuentra el objeto de estudio.

El problema de esta investigación se originó debido a la apertura de nuevos programas dentro de la facultad de ingeniería, se proyecta un incremento poblacional del 1% anual que requiere de espacio para su uso, además de esto la universidad se encuentra en proceso de re-acreditación motivo por el cual ha destinado recursos para capacitación de docentes, compra de equipos, creación de espacios propios para cada carrera y reforzamiento estructural en las edificaciones más antiguas. Desde aquí surge la interrogante de cómo tener más espacio sin usar más terreno. Dándole respuesta a este interrogante con la ampliación del edificio de la facultad de ingeniería, pensando en el reforzamiento de los elementos estructurales debido al incremento de carga generado por la adición de un tercer nivel a este bloque, el cual brindaría mayor espacio para oficinas de docentes de planta y espacios aptos para salas de estudio que estén disponibles para los docentes de los nuevos programas de pregrado de la facultad de ingeniería (Ingeniería de Diseño e Ingeniería Química), además de esto hacerle mantenimiento a la estructura ya que esta tiene aproximadamente 40 años de construida por lo cual su condición de servicio debe de ser re-evaluada bajo la norma vigente NSR-10. A partir de esta solución propuesta al problema, surge el objetivo general de este estudio el cual es: diseñar una propuesta de reforzamiento estructural viable y factible, para la construcción de un tercer nivel en el edificio de la facultad de ingeniería de la PUJ.

El proceso metodológico consistió en ocho pasos que fueron: inspección, identificación, el avalúo de cargas, determinación del grado de vulnerabilidad de la estructura, la alternativa arquitectónica para la ampliación propuesta, el análisis estructural, el diseño de elementos estructurales, diseño de alternativas de posible reforzamiento. Para finalizar se presenta la alternativa arquitectónica para la ampliación propuesta, teniendo en cuenta el reforzamiento.

A partir de la inspección realizada, el levantamiento arquitectónico y estructural y los planos record, se puede establecer que la calidad del diseño de la estructura y la construcción de la edificación como bueno, donde se le otorga un coeficiente para determinar la resistencia efectiva del edificio igual a 1 (de la norma).

Se procede con el avalúo de cargas, el cual se hizo con base en los levantamientos arquitectónicos y estructurales, y adicionalmente fue comparado con las cargas mínimas muertas y vivas que determina el título B de la NSR-10. Con base en el estudio de zonificación sísmica, se determinó que la ciudad de Santiago de Cali se encuentra en la zona 4E abanico Pance, y es una zona de alta amenaza sísmica, donde permite determinar valores de Aa, Av, Fa, Fv teniendo en cuenta que es un perfil de suelo tipo D. Se determinó que el sistema estructural de la edificación, son pórticos de concreto reforzado resistente a momento con capacidad de disipación de energía especial, ya que es un sistema de pórticos de concreto reforzado, con losas armadas en una dirección, aligerada con casetones de esterilla de guadua y estamos en una zona de riesgo sísmico alto.

Para la determinación del grado de vulnerabilidad estructural, que en este caso se presenta vulnerabilidad ante un evento sísmico, se marcan los índices de flexibilidad, los cuales son la relación que existe entre los desplazamientos horizontales (deformaciones) de la estructura ante una carga de sismo y la deformación admisible por la norma, cuando estos índices son mayores a la unidad la edificación no cumple, representando daños en los elementos no estructurales, como muros o cielos falsos, después de esto se procede a realizar la combinación de carga mediante el método de resistencia última, el cual permite mayorar las cargas de servicio con unos factores de carga que son mayores a la unidad, tomando como base las combinaciones pautadas en la norma NSR-10, posteriormente a esto, teniendo las combinaciones se procede a determinar los índices de sobreesfuerzo, que es la relación entre las acciones llámese momentos, cortantes, fuerzas axiales, que existen sobre el elemento dividido la resistencia efectiva, estos índices deben de ser también menores a uno, cuando son mayores a uno implica que la estructura puede colapsar en medio de un sismo (colapsar una columna, caer una losa).

Después de esto se procede a realizar el análisis estructural, donde se modela la estructura (2 alternativas) con base en una geometría del edificio, un avalúo de cargas y unas propiedades mecánicas de los materiales, se realiza el análisis dinámico, que incluye hacer un análisis modal de la estructura, el cual se realizó mediante el método CQC, en el software ETABS, el cual permite determinar las fuerzas sísmicas que va a presentar la estructura en las dos direcciones principales (x,y), en este análisis dinámico, se calcula una cortante dinámica basal, la cual debe de ser comparada con la fuerza horizontal equivalente, como la edificación es una estructura irregular, la cortante dinámica basal debe de ser mayor o igual al 90% de la FHE, si este valor es menor deben de ajustarse los resultados, con un factor mayor a la unidad, posteriormente se realiza el chequeo de derivas, sabiendo que la deriva es el desplazamiento horizontal de un piso con respecto al otro, y por tratarse una estructura de concreto reforzado en el cual su sistema estructural son pórticos de concreto reforzado resistente a momento con capacidad de disipación de energía especial, la deriva debe de ser menor o igual al 1% de la altura de piso.

A partir de esto, con las dos alternativas chequeadas y diseñadas se procede a escoger la mejor alternativa para el posible reforzamiento, la primera que fue la que no se eligió consiste en pantallas de concreto ubicadas en los ejes D y E del edificio, en el primer y segundo piso, donde era posible su colocación arquitectónicamente, adicional a esto, era indispensable realizar el reforzamiento de aproximadamente el 80% de las columnas, además del reforzamiento de algunas de las zapatas. La alternativa de reforzamiento escogida, consiste en el encamisamiento de columnas, excepto tres de ellas, en las cuales se debe escarificar la superficie del concreto hasta el acero existente, aplicar un adherente entre concretos de diferentes edades y de fraguado lento, y adicionar los aceros de refuerzo vertical y horizontal de la columna, el recrecimiento de

las columnas es de 20 cm en cada cara. Fue necesario el reforzamiento de algunas zapatas, ya que con base en las cargas que llegan a la cimentación y la capacidad portante aportada por el estudio de suelos, se pudo determinar las dimensiones de las zapatas y compararlas con las existentes, aquellas cuyas dimensiones están por debajo de las obtenidas es necesario reforzarlas, para esto se debe garantizar que la superficie de apoyo sea uniforme, para ello se utiliza concreto ciclópeo, posterior a esto se hacen unos anclajes en una varilla de 3/8" espaciados cada 30 cm en la zapata existente, para garantizar la transferencia de carga entre la zapata existente y la nueva zapata. Como la losa de la cubierta existente se va utilizar, parte del acero de refuerzo longitudinal de las vigas de concreto en la intersección del eje 3, debe ser anclado, dicho anclaje se realiza utilizando una pasta de anclaje, la profundidad del anclaje depende del diámetro de la varilla.

Finalmente se presenta la propuesta de la distribución arquitectónica teniendo en cuenta el reforzamiento realizado. Se escogió esta alternativa de reforzamiento, ya que una de las bases para realizar el reforzamiento de la mayoría de columnas, es que todas las columnas iban a tener una ampliación estructural, generada por el nivel adicional, además es importante anotar que dicha alternativa se puede hacer de manera parcial y es poco invasiva, y no es necesario parar el funcionamiento del edificio durante la ejecución de la obra, y por estas razones es mucho más económica.

3. Conclusiones

- Algunos elementos como columnas y vigas de la estructura existente tienen índices de sobre esfuerzos mayores a la unidad, esto quiere decir, que un evento sísmico de diseño se pueden presentar fallas.
- La edificación, aunque no obedece a un reglamento de construcción sismo resistente, en los despieces tanto de columnas como de vigas se pueden apreciar estribos de confinamiento en los extremos de dichos elementos, como lo establecen los reglamentos de construcción sismo resistente posterior a la construcción, CCCSR84, NSR98 Y NSR 10.
- La estructura existe no presenta problemas con las derivas, es decir, la vulnerabilidad con respecto al índice de flexibilidad es menor a 1.
- Aunque no se determinó la vulnerabilidad de los elementos no estructurales, el comportamiento de dichos elementos es bueno (ya que no presentan agrietamiento), pero no están construidos correctamente ya que deben de estar dilatados de la estructura que hace parte del sistema de resistencia sísmica.
- El espectro de aceleraciones calculado de acuerdo al estudio de zonificación sísmica de Cali es menor aproximadamente en un 40% al calculado de acuerdo al título A.2 del actual reglamento nsr-10.
- Es necesaria la intervención de los elementos no estructurales, muros de fachada e interiores, dicha intervención consiste en dilatarlos de la estructura de concreto para mejorar el comportamiento global de la estructura.

Bibliografía

- Congreso de la República. (19 de Agosto de 1997). Ley 400 de 1997. *Por el cual se adoptan normas sismo resistentes*. Bogotá, Colombia.
- Do Lago, P. R. (1997). *Manual para la reparación, refuerzo y protección de las estructuras en concreto*. México: Imcyc.
- García, F. (2002). *Evaluación de estructuras de concreto*. México: Imcyc.
- Guerra, M., & Chacón, D. (2010). *Manual para el diseño sismoresistente de edificios usando el programa ETABS*.
- Hernández, E. (2008). *Manual de aplicación del programa ETABS*.
- Meli, R. (2002). *Diseño Estructural*. Balieras: Limusa S.A.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Norma NSR-10*. Bogotá: AIS.
- Nawy, E. G. (2000). *Concrete construction engineering handbook*. Boca raton: CRC press.
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima*. España: Gustavo Gili.
- Sanchez, D. (1986). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogota: Bhandar Editores.
- SENA. (2012). *Planos Arquitectónicos*. Memorias de capacitación, Cali.
- Tenjo Galarza, J. (2012). *Proyección de demanda por Educacion Superior hasta el 2025*. Pontificia Universidad Javeriana, Cali.