

Rehabilitación Sísmica del Edificio de Escuela Superior del Liceo Ponceño en Ponce, Puerto Rico

Armando J. Díaz Bula

Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil

Héctor J. Cruzado, PhD

Departamento de Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y Agrimensura

Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — *Los sismos ocurridos en el sur de Puerto Rico durante los días 6, 7 y 11 de enero de 2020 alcanzaron magnitudes, según la escala Richter, de 5.8, 6.4 y 6.0, respectivamente. Estos terremotos ocasionaron daños estructurales, especialmente a estructuras de hormigón reforzado. Según una evaluación visual, el Edificio de Escuela Superior ubicado en las instalaciones del Liceo Ponceño sufrió daños en distintos elementos estructurales. Se realizó un análisis estructural y se determinó que la edificación diseñada en el 2010 no cumple con los códigos vigentes en Puerto Rico. Por lo tanto, se realizó el diseño de una rehabilitación que incluye nuevas paredes estructurales en ambas direcciones del edificio y la independización de las escaleras a la estructura principal.*

Términos claves — *estructura sismorresistente, hormigón reforzado, rehabilitación estructural y terremotos.*

INTRODUCCIÓN

A través de una inspección visual, se observaron algunos daños estructurales en el Edificio de Escuela Superior del Liceo Ponceño en Ponce debido a los sismos ocurridos en el sur de Puerto Rico durante los días 6, 7 y 11 de enero de 2020. Estos temblores de tierra alcanzaron magnitudes de 5.8, 6.4 y 6.0 en la escala Richter, respectivamente, además de los múltiples

microsismos durante esos días y posteriormente. Los terremotos ocasionaron daños estructurales a varios edificios localizados en la zona sur de Puerto Rico, incluyendo estructuras en Ponce.

Para este proyecto se realizó un análisis estructural del Edificio de Escuela Superior con el objetivo de verificar si el diseño original, elaborado en el 2010, cumple con los códigos de construcción vigentes en Puerto Rico y realizar recomendaciones para la rehabilitación de la estructura.

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El Edificio de Escuela Superior es parte de las instalaciones del Liceo Ponceño, el cual está ubicado en el 2825 Avenida F. D. Roosevelt, Ponce, Puerto Rico. De acuerdo con los planos de construcción, el edificio fue diseñado en el 2010. Esta estructura tiene uso de estacionamiento en el primer nivel y de salones de clase en el segundo nivel. La edificación tiene medidas en planta de 156 pies de largo y 62 pies con 6 pulgadas de ancho. La altura de la estructura es de 10 pies con 4 pulgadas en cada nivel. La misma está dividida en nueve tramos de 17 pies con 3 pulgadas, centro a centro.

La Figura 1 muestra el plano de elevación longitudinal del edificio. La Figura 2 presenta el estacionamiento, uso que tiene el edificio en el primer nivel, y la Figura 3 muestra un salón de clases ubicado en el segundo nivel del edificio.

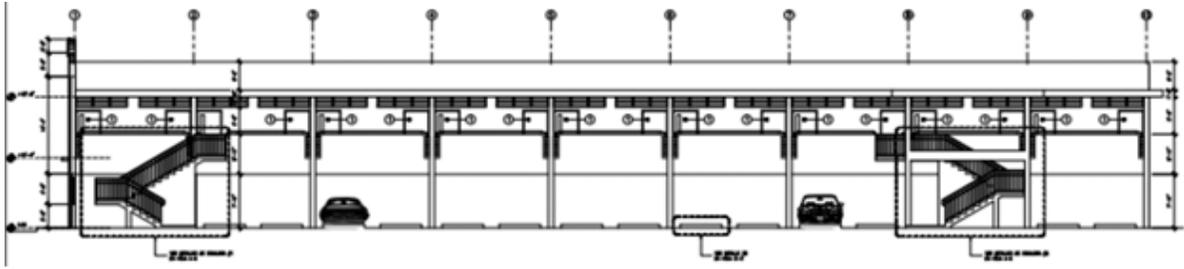


Figura 1
Plano de Elevación



Figura 2
Estacionamiento del Primer Nivel del Edificio

El edificio fue diseñado y construido con vigas, columnas y losas de hormigón reforzado. Cuenta con dos escaleras de hormigón, según se puede apreciar en la Figura 1. El edificio no contiene paredes en el primer nivel y tiene paredes de bloques y de *gypsum board*. En otras palabras, el edificio no tiene paredes estructurales.

El edificio no presenta la condición de columnas cortas, pero sí presenta dos condiciones que lo hicieron susceptible a los terremotos. Primero, al no tener paredes estructurales, el edificio tiene la condición de *soft story*. Segundo, según se puede apreciar en la Figura 2, todas las columnas son rectangulares y tienen la misma orientación, provocando que el edificio sea susceptible a movimientos sísmicos en la dirección longitudinal del edificio.

DAÑOS ESTRUCTURALES

El Edificio de Escuela Superior del Liceo Ponceño presentó daños estructurales, principalmente en las columnas del primer nivel y en las escaleras. En las Figuras 4, 5 y 6, respectivamente, se pueden apreciar ejemplos de daños que sufrieron varias de las columnas del primer nivel. Estos daños en las columnas fueron fallas tipo cortante. En las Figura 6 se puede notar que la distancia del primer aro de la columna a la viga es mayor de 2 pulgadas; esto no cumple con los requisitos del *American Concrete Institute* [1].



Figura 3
Salón de Clases del Segundo Nivel del Edificio



Figura 4
Falla en Columna del Primer Nivel del Edificio



Figura 5
Falla en Columna



Figura 6
Distribución de Aros en Columnas

Las escaleras del edificio sufrieron varios daños, según se puede ver en las Figuras 7 y 8. Estos daños parecen haber sido ocasionados por impacto entre las escaleras y la estructura principal durante los terremotos.



Figura 7
Falla en Escalera Vista Lateral



Figura 8
Falla en Escalera Vista Inferior

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para el análisis estructural del edificio, se consideraron cargas vivas, cargas muertas y cargas sísmicas. El cálculo de estas cargas se hizo de acuerdo con el *Puerto Rico Building Code 2018*, que hace referencia al estándar ASCE/SEI 7-16 [2]. Para este proyecto se consideró una carga viva de 40 libras por pie cuadrado y 80 libras por pie cuadrado en el segundo nivel que aplican a salones y pasillos, respectivamente.

Para las cargas muertas, se estimó el peso propio de los elementos. Se calculó una carga muerta total de 1,833 kips en el segundo nivel y 952 kips en el nivel del techo.

El cortante basal para diseño sísmico y las correspondientes fuerzas laterales se calcularon utilizando el Método de la Fuerza Lateral

Equivalente [2]. A continuación, se presentan los parámetros utilizados y resultados obtenidos:

- Peso sísmico total, $W = 2,785$ kips
- Categoría de ocupación: III
- Factor de Importancia, $I = 1.25$
- Aceleración espectral máxima para períodos cortos, $S_s = 1.05$ [3]
- Aceleración espectral máxima para períodos largos, $S_1 = 0.34$ [3]
- Clasificación de sitio: D
- Aceleración espectral de diseño para períodos cortos, $S_{DS} = 0.756$
- Aceleración espectral de diseño para períodos largos, $S_{D1} = 0.389$
- Período natural aproximado, $T = 0.1793$ segundos. Para determinar T se tomó en consideración un tipo de estructura de pórtico de hormigón reforzado resistente a momento.
- Coeficiente de modificación de respuesta, $R = 8$
- Coeficiente de respuesta sísmico, $C_s = 0.118$
- Cortante basal sísmico, $V = 328.63$ kips
- Distribución de cargas por piso, F_x : $F_1 = 161.195$ kips (nivel de salones de clases); $F_2 = 167.43$ kips (nivel del techo).

Las cargas vivas y sísmicas estimadas fueron aplicadas a un modelo estructural desarrollado con el programa de computadoras SAP2000. El modelo se presenta en las Figuras 9 y 10. Las cargas muertas no se introdujeron en el modelo porque el programa las estima, tomando en consideración el peso propio de cada elemento.

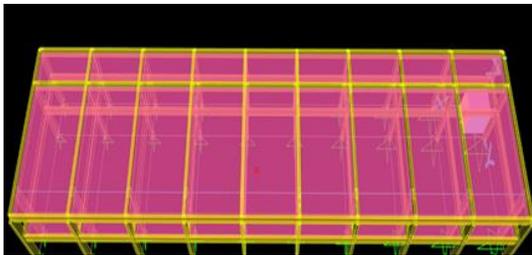


Figura 9

Vista de Tope de Estructura de Hormigón Armado

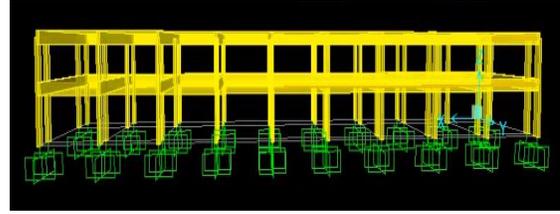


Figura 10

Vista 3D de la Estructura de Hormigón Armado

Para desarrollar el modelo, se asumió una resistencia de hormigón a los 28 días luego del vaciado de 4,000 libras por pulgada cuadrada y un esfuerzo de cedencia del acero de refuerzo de 60,000 libras por pulgada cuadrada. El acero de refuerzo que se consideró en los elementos estructurales es el indicado en los planos de construcción diseñados originalmente en el 2010.

En el modelo se consideraron articulaciones empotradas en las juntas de las zapatas, estableciendo así para el diseño la dirección hacia dentro del gancho de las varillas longitudinales de las columnas hasta las zapatas.

Al correr el programa, el modelo falló. Las columnas en el primer nivel presentaron no tener la capacidad necesaria. Por esta razón, se realizó un diseño de rehabilitación sísmica basado en los valores de análisis obtenidos del programa.

DISEÑO ESTRUCTURAL

Se aplicó el uso de las categorías D, E y F del capítulo 18 del código de ACI [1], que son las categorías donde se implementa el diseño sismorresistente [1]. Para el modelo desarrollado en SAP2000, se diseñaron nuevas paredes estructurales de hormigón reforzado. Al igual que se hizo en el análisis de la estructura original, se utilizó una resistencia del concreto a los 28 días luego del vaciado de 4,000 libras por pie pulgada cuadrada y un esfuerzo de cedencia del acero de refuerzo de 60,000 libras por pulgada cuadrada para las nuevas paredes.

CONCLUSIÓN

El diseño original realizado para el Edificio de Escuela Superior en las instalaciones de Liceo Ponceño en Ponce, Puerto Rico, no cumple con el código vigente “ACI 318-19” [1]. El mismo no presenta columnas cortas.

Se recomienda diseñar y construir paredes estructurales en ambas direcciones del edificio, según se presentan en la Figura 11. Estas paredes tienen un espesor de 10 pulgadas y es recomendado utilizar dos camadas de acero de refuerzo con diámetro de 0.5 pulgadas a un espaciamiento de 12 pulgadas en dirección vertical y horizontal.

Se debe lograr una conexión rígida entre las nuevas paredes, y las columnas y vigas existentes. Esto se puede lograr aplicando lo siguiente [4]:

- Las paredes deben abrazar las columnas y vigas existentes.
- Se tienen que instalar *dowels* por todo lo largo de la parte inferior de la viga superior. Esto se realiza con el propósito de transferir adecuadamente las cargas sísmicas entre la viga existente y la pared de carga nueva. De igual manera, se deben instalar *dowels* por todo lo alto de las columnas adyacentes a la pared estructural nueva. Los *dowels* deben de ser de 24 pulgadas de largo, siendo así 6 pulgadas dentro del hormigón de los elementos existentes y 18 pulgadas dentro del hormigón de las paredes nuevas. Para introducir estos *dowels*, se deben barrenar las vigas y columnas existentes para luego introducir los mismos con suficiente *epoxy* de manera que cuando se introduzca la varilla salga exceso de *epoxy* al exterior. El *epoxy* que se utilice debe tener una capacidad mínima en tensión de 4,000 libras por pulgada cuadrada y haber sido probado bajo carga cíclica. Además, la combinación provista de diámetro de acero de refuerzo, profundidad, separación y distancia a la orilla de los agujeros debe alcanzar una resistencia última en tensión de 16,000 libras.
- Se deben construir fundaciones continuas nuevas para las paredes estructurales.

Las mismas deben tener *dowels* a lo largo que sirvan para transferir las cargas de la pared a la zapata. Estas zapatas deben tener acero de refuerzo de 5/8 de pulgada a 6 pulgadas en la dirección larga y varilla de 1/2 pulgada espaciada a 12 pulgadas en la dirección corta. Las zapatas deben tener un ancho mínimo de 36 pulgadas y una profundidad con mínimo de 15 pulgadas.

Por otro lado, las escaleras se deben independizar completamente de la estructura principal para así evitar algún impacto de una estructura a la otra durante un sismo. Para separar las estructuras se puede utilizar la tecnología de junta de expansión flexible de 1 pulgada o una junta asfáltica.

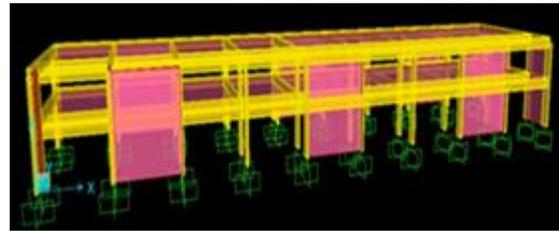


Figura 11
Paredes Estructurales

Se rehabilitó la estructura utilizando paredes estructurales en ambas direcciones del edificio. Se recomendó independizar la escalera de la estructura principal. Estas mejoras y rehabilitación a la estructura permitirán obtener un edificio sismorresistente.

Definitivamente, no se deben construir edificios sin paredes estructurales en ambas direcciones de la edificación. Esto presenta un riesgo inmenso para la estructura durante terremotos.

REFERENCIAS

- [1] ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete: (ACI 318-95); and Commentary (ACI 318R-95)*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 1995.

- [2] American Society of Civil Engineers, *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and other Structures: ASCE/SEI 7-16*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2017.
- [3] The Applied Technology Council, "Hazards by Location," *ATC* [Online]. Available: <https://hazards.atcouncil.org/>. [Accessed: April 10, 2021]
- [4] J. A. Martínez-Cruzado, R. R. López-Rodríguez, y Y. González-Avellanet, *Rehabilitación Sísmica de Casas En Zancos*. Mayagüez, PR: University of Puerto Rico at Mayagüez, 2013.