

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

Autor: Armando J. Díaz Bula

Consejero: Héctor J. Cruzado

Departamento de Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y Agrimensura



## 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.

## 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. El edificio fue diseñado y construido con vigas, columnas y losas de hormigón reforzado. Cuenta con dos escaleras de hormigón.

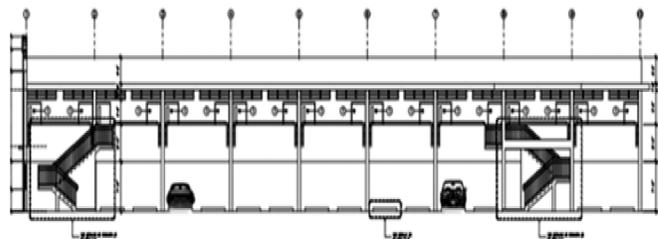


Figura 1. Plano de Elevación del Edificio

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, 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.



Figura 2. Columnas Rectangulares en Edificio

## Daños Estructurales

El edificio presentó daños estructurales en las columnas del primer nivel y en las escaleras. Estos daños en las columnas fueron fallas tipo cortante; estas no cumplen con los requerimientos del *American Concrete Institute* [1]. Las escaleras del edificio sufrieron varios daños que parecen haber sido ocasionados por impacto entre las escaleras y la estructura principal durante los terremotos.



Figura 3. Falla en Columna Primer Nivel del Edificio.



Figura 4. Daños en la escalera

## 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]. 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 Figura 5.

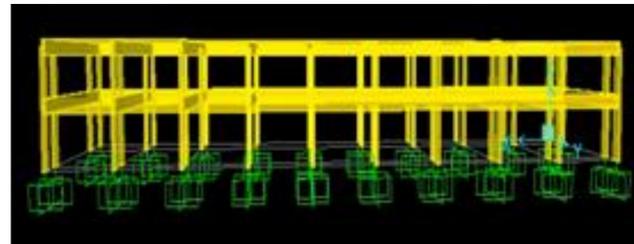


Figura 5. Modelo Estructural del Programa SAP2000

## 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, ilustrado en la Figura 6, se diseñaron nuevas paredes estructurales de hormigón reforzado según se muestran en la Figura 7. 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.

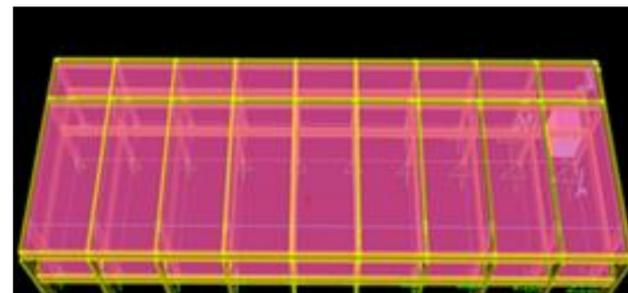


Figura 6. Vista de Tope de Estructura de Hormigón Armado

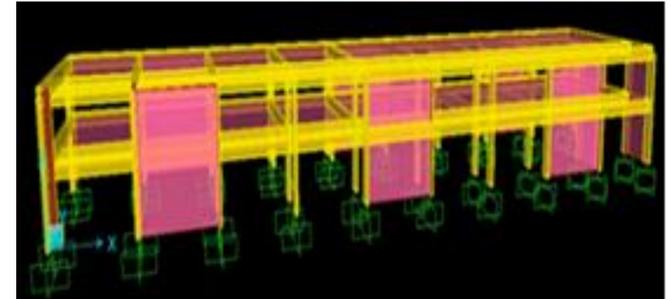


Figura 7. Paredes Estructurales

## Conclusiones

Se recomienda diseñar y construir paredes estructurales en ambas direcciones del edificio. 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. 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. 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

## Agradecimientos

- Dr. Héctor Cruzado, PhD
- Ing. David Smith Lao

## Referencias

- ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete: (ACI 318-95); and Commentary (ACI 318R-95)*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 1995.
- 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.
- The Applied Technology Council, "Hazards by Location," ATC [Online]. Disponible en: <https://hazards.atcouncil.org/>. [Accesado: April 10, 2021]
- J. A. Martínez-Cruzado, R. R. López-Rodríguez, y Y. González-Avellanet, *Rehabilitación Sísmica de Casas En Zancos*. Mayagüez, PR: Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, 2013.