



Delwin M. Colón Rivera, PE
 Consejero: Héctor J. Cruzado, PhD, PE

Departamento de Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y Agrimensura

Resumen

Este proyecto investiga y presenta el procedimiento de evaluación y análisis sísmico de la Escuela Superior Aurea Quiles Claudio en Guánica utilizando el estándar ASCE 41-17 para edificaciones existentes. El resultado de la evaluación evidenció las vulnerabilidades de la estructura, las cuales concuerdan con los daños ocurridos debido a la secuencia sísmica del 2020 y se presentan varias alternativas para reparación de esta. Los resultados obtenidos de las reparaciones propuestas se han comparado con los datos originales resultado en una reducción sustancial de riesgo sísmico y en ahorros significativos que evitarían la demolición y construcción de una estructura nueva.

Introducción

Un incremento sustancial de actividad sísmica se experimentó en Puerto Rico desde la noche del 28 de diciembre de 2019, dando paso a una secuencia sísmica que aún sigue activa en mayo de 2022. De estos, el evento más significativo y de mayor intensidad fue el de la mañana del 7 de enero de 2020, con magnitud 6.4. Con estos eventos, se descubrió la vulnerabilidad estructural de las escuelas, las cuales sufren en su mayoría del defecto de columna corta y el cual fue uno de los causantes principales del colapso o cierre total de alguna de ellas debido a la severidad de los daños. La escuela superior Áurea Quiles Claudio no experimentó un colapso total, pero sufrió daños sumamente severos los cuales obligaron a su cierre permanente y posible demolición. El estándar ASCE/SEI 41-17 [1] provee las herramientas para la inspección de estructuras existentes e identificación de vulnerabilidades y/o deficiencias evaluando cada componente estructural por separado mediante listas de cotejo. Además, provee criterios mínimos de aceptación para el nivel de desempeño sísmico requerido con el fin de desarrollar de estrategias de mitigación y reparación que se centren en las vulnerabilidades encontradas. Su utilización puede ser una herramienta efectiva para descubrir deficiencias adicionales en estructuras existentes.

Descripción de Estructura

La escuela superior Áurea Quiles Claudio está localizada en el municipio de Guánica, diseñada y construida en 1990. Ubicada sobre suelos blandos tipo E, consta de cuatro edificaciones de dos niveles cada una y separadas entre sí por una junta de expansión de una pulgada de grosor, ubicadas de forma simétrica formando un cuadrado. Su sistema estructural consta mayormente de vigas y columnas que forman pórticos resistentes a momento junto a paredes exteriores e interiores de mampostería y hormigón reforzado.



Figura 1

Vista de planta de la escuela Áurea Quiles Claudio

Descripción de Daños

A pesar de no haber colapsado, la escuela presentó daños severos en sus elementos estructurales que comprometían por completo su seguridad y estabilidad, impidiendo que fuera reabierta al estudiantado. En base a las fotos e información provista en el informe inicial de inspección postsismo [2], se pueden apreciar agrietamientos severos y separación en las paredes, agrietamientos en vigas, grietas en losas de techo, desprendimiento de hormigón en columnas, grietas horizontales en la conexión viga-columna entre otros daños. Pero el daño más predominante fueron las grietas en forma de X en la parte superior de la gran mayoría de las columnas de la estructura, causado por el defecto de columna corta.



Figura 3
 Daño por efecto de columna corta



Figura 4
 Grieta en columna y separación de pared

Evaluación con el ASCE 41-17

El estándar ASCE 41-17 contempla tres niveles de análisis y evaluación de la estructura. El primer nivel (*Tier 1*) se compone de una serie de evaluaciones de cumplimiento en forma de lista de cotejo que permite hacer un proceso de radiografía del estado de cada elemento estructural. Básicamente, cada tipo de estructura tiene su propia lista de cotejo para cada objetivo de desempeño sísmico deseado y se evalúa el cumplimiento de vigas, columnas, fundaciones y paredes, entre otros, para identificar posibles vulnerabilidades sísmicas en localizaciones específicas. Los componentes estructurales que no estén en cumplimiento con los parámetros mínimos para el objetivo de desempeño sísmico deseado luego de realizada la evaluación de primer nivel, al igual que los desconocidos, serán catalogados como deficiencias o vulnerabilidades sísmicas. El segundo nivel de evaluación (*Tier 2*), se compone de procedimientos de análisis estático lineal o dinámico lineal para revisar aquellos componentes identificados como deficiencias potenciales. De ser necesario un análisis más detallado, se procede al tercer nivel de evaluación (*Tier 3*), el cual utiliza análisis no lineal y efectos de segundo orden. A modo de resumen, las deficiencias encontradas fueron las siguientes:

- Paredes interferentes
- Chequeo de esfuerzo cortante en columnas
- Columnas cautivas
- No fallas en cortante
- Columna fuerte-viga débil
- Empalmes de acero de refuerzo en columnas
- Empalmes de acero de refuerzo en vigas
- Refuerzo de acero transversal en juntas.
- Estribos y ganchos de amarre
- Compatibilidad de deflexión

Análisis y Propuestas de Mitigación

Luego de completado el análisis de primer nivel, para el segundo nivel de análisis se desarrolló un modelo estructural del plantel escolar basado en los planos existentes en el programa ETABS V9.7.2. Inicialmente, se analizó el modelo como una sola estructura, pero se decidió dividir la estructura completa en edificios independientes, ya que existe una junta de expansión entre cada edificio indicada en los planos. Dada su simetría, solamente se crearon dos modelos adicionales: uno para el lado norte y otro para el lado este.

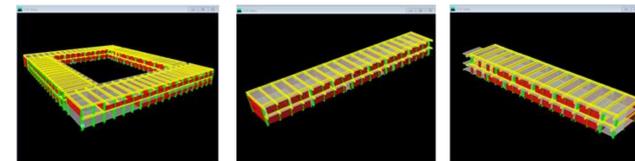


Figura 5
 Modelos Estructurales en ETABS V9.7.2

Las técnicas propuestas de mitigación y reparación para cada deficiencia encontrada son las siguientes:



Figura 6
 Aislamiento pared-columna



Figura 7
 FRP Jacketing en vigas



Figura 8
 RC Jacketing en columnas



Figura 9
 Arriostre de acero

Incorporando las técnicas de rehabilitación propuestas en el modelo estructural original de la escuela preparado en ETABS V.9.7.2 se obtuvieron varios resultados positivos, entre ellos los siguientes desplazamientos:

Dirección	Original (in)	Reparación (in)	Diferencia (in)
Norte X	0.001656	0.0001788	-0.001477
Norte Y	0.001092	0.00024	-0.000852
Este X	0.00108	0.00042	-0.00066
Este Y	0.00036	0.000048	-0.000312

Considerando el factor económico, se ha preparado una comparativa de costos aproximados que contrasta las opciones propuestas con la opción de demolición y construcción total.

Demolición y construcción	Reparación	Diferencia
\$11,000,000.00	\$2,108,870.00	-\$8,891,130.00

Conclusión y Recomendaciones

El procedimiento de evaluación sísmica de la escuela superior Áurea Quiles Claudio en Guánica utilizando el estándar ASCE/SEI 41-17 evidenció vulnerabilidades además de las ya conocidas, como columna corta, las cuales concuerdan con las fotos de los informes de inspección postsismo. Se presentaron varias alternativas de reparación para cada defecto, que se incorporaron al modelo estructural creado en el programa ETABS V.9.7.2, cuyos resultados obtenidos se compararon con los cálculos y datos originales, resultando en un aumento sustancial de resistencia y una reducción de riesgo sísmico. Como complemento para la viabilidad de las reparaciones propuestas, se presentó una comparativa de costos aproximados entre las opciones de reparación y demolición/construcción total, la cual demuestra que la opción de reparación es la más costo-efectiva. En conclusión, la aplicación del estándar ASCE 41-17 a cualquier edificación existente puede resultar en la identificación temprana de vulnerabilidades estructurales no evidentes antes de un evento sísmico y, a su vez, ayudará a la prolongación de la vida útil de cualquier tipo de edificación y brindará visibilidad a la condición estructural actual de las estructuras existentes. Se recomienda un procedimiento de diseño más detallado para las opciones propuestas y una evaluación más abarcadora sobre el comportamiento de la estructura con estas.

Agradecimientos

- Prof. Héctor J. Cruzado, PhD, PE – PUPR
- Ing. Paul J. Vagnetti, MECE, PE – Engineered Advantage
- Ing. Andrés F. Ocampo, PhD – Engineered Advantage

Referencias

1. *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, ASCE standard ASCE/SEI 41-17, 2017. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
2. P. Vagnetti, "Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Escuela Áurea Quiles", Engineered Advantage, San Juan, Puerto Rico, rep., 2020.
3. *FEMA 547: Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, NEHRP, FEMA, 2006, Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency.
4. *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, ASCE standard ASCE/SEI 7-16, 2017. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
5. A. Teran and J. Ruiz, "Reinforced concrete jacketing of existing structures" in *Earthquake Engineering 10th World Conference*, Balkema, Rotterdam, 1992, pp. 5107-5113.
6. *Building Code Requirements for Structural Concrete*, ACI standard ACI 318-19, 2019. ACI Committee.
7. Gobierno de Puerto Rico, "Concilio de Reconstrucción de Puerto Rico, segundo informe", San Juan, Puerto Rico, 2021.