



Resumen

Los edificios más antiguos en la Compañía Cervecera de Puerto Rico fueron diseñados antes de 1980, por lo que, al momento de su diseño, no se tomaron consideraciones sísmicas. En respuesta al evento sísmico de magnitud 6.4 en la Escala Richter, ocurrido el 7 de enero de 2020, fue realizada una evaluación para determinar carencias estructurales en uno de los edificios del complejo, específicamente el almacén de embotellado. Posteriormente, se llevó a cabo un diseño de mejoras. Se determinaron deficiencias en algunos elementos estructurales y se presentaron soluciones de diseño, siguiendo los estándares vigentes.

Introducción

Puerto Rico está situado entre dos placas tectónicas. Estas son la placa de América del Norte y la placa del Caribe [1]. Esta información se traduce en que más eventos sísmicos son esperados en el país, por lo que se deben tomar en cuenta consideraciones sísmicas a la hora del diseño. El 7 de enero de 2020, Puerto Rico sufrió un movimiento sísmico en la zona sur. Uno de los edificios afectados fue el Almacén de Embotellado de la Compañía Cervecera de Puerto Rico. En la Figura 1 se puede observar una vista aérea del edificio existente. Esta empresa fue fundada el 2 de noviembre de 1937 y se encuentra en el municipio de Mayagüez, Puerto Rico. Las instalaciones tienen varios edificios. Los edificios más antiguos de la cede fueron diseñados antes del 1987, por lo que se prevé que no hubo consideraciones sísmicas al momento de ser realizado el diseño [2]. Los objetivos de este proyecto fueron evaluar los daños sufridos por el Almacén de Embotellado, determinar las deficiencias estructurales de este edificio y diseñar una rehabilitación, o nuevos elementos, el que resulte ser necesario.



Figura 1
Imagen aérea del edificio existente

Metodología

Se recopilaron planos del edificio y fotos de visitas de inspección al lugar. En los planos se encontró información detallada acerca de los elementos. El proceso de evaluación y el proceso de diseño de rehabilitación fue regido estrictamente por el Estándar de Evaluación Sísmica y Rehabilitación de Edificios Existentes (ASCE/SEI 41-17) [3]. Este se basa en un proceso de tres niveles para la evaluación sísmica, de acuerdo con un nivel de desempeño de edificio. De los tres niveles de evaluación, dos fueron realizados: evaluación inicial (nivel 1) y evaluación y rehabilitación basado en las deficiencias (nivel 2). El análisis sistemático (nivel 3) es uno más avanzado y requiere de un nivel alto de experiencia por parte del ingeniero estructural, por lo que este estudio se limita a los niveles 1 y 2. Se realizó un modelo de la estructura utilizando el programa SAP 2000.

Descripción De La Estructura

El edificio existente es un sistema de pórtico de hormigón reforzado de tres pisos compuesto por losas de piso y techo, columnas y vigas, con paredes de relleno de mampostería (conocido en inglés como "masonry infill"). En las Figuras 2 y 3 se pueden apreciar algunos de los componentes del edificio. El edificio cuenta con un elevador y escaleras. El edificio es adyacente en todo su lado norte con un edificio de almacén, y una parte del lado oeste con un edificio que tiene como función almacenar tanques. De acuerdo con la Tabla 3-1.4 del estándar ASCE/SEI 41-17, el tipo de estructura que aplica es pórtico de concreto con paredes de mampostería para cortante (tipo C3) [3].



Figura 2
Paredes de mampostería del edificio existente



Figura 3
Losas, columnas y paredes vistos desde el interior del edificio existente

Daños De La Estructura

Según la inspección realizada, no se observaron daños mayores en los elementos de viga, columna o losa. Daños no severos fueron observados en las paredes de mampostería. En la Figura 4 se puede observar daños en una de las paredes del edificio. Al ser un edificio diseñado antes del 1987, es de esperarse que las paredes de mampostería no tengan capacidad en cortante.



Figura 4
Daños en paredes de mampostería del edificio existente

Evaluación (Nivel 1 y 2)

El proceso de evaluación inicial (nivel 1) consiste en una serie de pasos provistos por el estándar ASCE/SEI 41-17. El objetivo seleccionado fue el objetivo de desempeño básico para edificios existentes (BPOE, por sus siglas en inglés). Para el proyecto en referencia se seleccionó el Sismo de Seguridad Básico 1. Esto se traduce en un riesgo sísmico con probabilidad de excedencia de 20% en 50 años. El nivel de desempeño estructural es ocupación inmediata (S1, por sus siglas en inglés) y el nivel de desempeño no estructural es retención de posición (NB, por sus siglas en inglés) [3]. La selección de ambos niveles de desempeño resulta en un BPOE 1-B. Para el análisis de cargas sísmicas, se utilizó la herramienta del Centro de Tecnología Aplicada (ATC, por sus siglas en inglés) [7]. También, como parte del proceso de evaluación inicial, las fuerzas sísmicas fueron calculadas mediante un análisis lineal estático. Se determinó un cortante de 1,709 kips. Según la evaluación inicial (nivel 1), los puntos de cotejo que no cumplieron con los requisitos fueron: comprobaciones de esfuerzo cortante, proporciones y paredes de cavidad. En la Figura 5 se puede observar el modelo en el programa SAP 2000. Nótese que todos los puntos apuntan a un problema: las paredes no resisten cortante. Dos opciones son posibles según el estándar ASCE/SEI 41-17. Las paredes existentes se pueden rehabilitar, o las mismas pueden ser demolidas del edificio existente y ser reemplazadas por nuevas paredes resistentes a cortante.

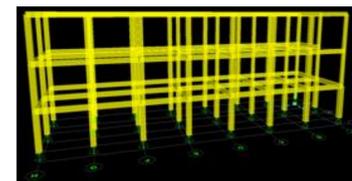


Figura 5
Modelo de Edificio Existente en el Programa SAP 2000

Elemento Estructural Propuesto

Se proponen paredes de mampostería, hormigón y refuerzo de acero. Mayor número de paredes estructurales en ambas direcciones ortogonales fue añadido. Es importante mantener la simetría en la distribución de las paredes y amarrar todas las fundaciones en la periferia. La carga viva y muerta de diseño se tomó en la magnitud de 120 kips, la carga cortante fue de 200 kips y el momento producido en el muro fue de 2,800 Kip-pie. La altura de la pared se estableció como 14 pies, largos establecidos por los tramos existentes y espesor del bloque de 7.625 pulgadas. El análisis de cargas, en el plano, usando un bloque con resistencia de 1,500 libras por pulgada cuadrada se necesita el refuerzo vertical de una barra No. 5 a 12 pulgadas de espaciado. Los huecos del bloque deben estar repletos de mortero. El diseño de cortante resultó en la necesidad de un refuerzo mínimo en el plano horizontal. Por lo tanto, será aceptable el uso de barras No. 9 a 8 pulgadas de espaciado. El análisis de cargas, fuera del plano, muestra que el momento en comparación con la carga en el plano es menor. Por lo tanto, el uso de refuerzo requerido para la carga en el plano será satisfactorio. En última instancia, elementos de borde no fueron necesarios. Esto, ya que la sección de muro, geoméricamente simétrica, cumple con las condiciones previstas en el código [6]. En la Figura 6 se puede observar el modelo con las paredes estructurales propuestas.

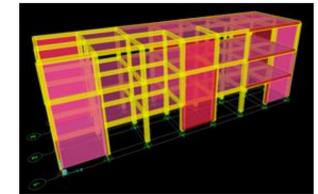


Figura 6
Modelo de Edificio Propuesto

Conclusión

El estándar ASCE/SEI 41-17 no ha sido adoptado oficialmente en Puerto Rico; no obstante, es crucial para los temas de resiliencia sísmica en edificios existentes. Según la evaluación inicial (nivel 1), los puntos de cotejo que no cumplieron con los requisitos fueron aquellos que dependían de la resistencia a cortante de las paredes. Como bien fue mencionado, este resultado era de esperarse, pues los planos de la estructura original fueron creados antes del año 1987 y para ese entonces no eran tomadas en cuenta las consideraciones sísmicas. Se modificó la estructura existente utilizando paredes de mampostería con hormigón y acero de refuerzo. Algunas de las ventajas de utilizar mampostería, en lugar del diseño de estructuras en hormigón convencional es que la mampostería presenta una mayor ductilidad. En algunas ocasiones la mampostería resulta más ligera que el hormigón. Si bien la mampostería tiene ventajas, también tiene algunas desventajas. En Puerto Rico no es requisito que el personal que inspeccione las obras de mampostería esté certificado. También se requiere una garantía de calidad muy rigurosa en comparación con el hormigón, y un seguro de calidad que muy pocas veces (o ninguna) es tomado en cuenta.

Referencias

- [1] H. Tiegan, "La Secuencia sísmica del invierno 2019-2020 en Puerto Rico que ha mantenido a la población en alerta," Temblor, Inc. Jan 8, 2020. [Website]. Available: <http://temblor.net/earthquake-insights/la-secuencia-sismica-del-invierno-2019-2020-en-puerto-rico-que-ha-mantenido-a-la-poblacion-en-alerta-10340/>. [Accessed: March 10, 2021].
- [2] B. Vázquez Colón, "Ingenieros Alertan Sobre Construcciones," El Vocero, Jan 9, 2020. [Online]. Available: https://www.elvocero.com/actualidad/ingenieros-alertan-sobre-construcciones/article_ffcb94b4-3281-11ea-a317-bbacbd184989.html. [Accessed: March 5, 2021].
- [3] American Society of Civil Engineers, Seismic Evaluation and Rehabilitation of Existing Buildings: ASCE/SEI 41-17. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2017. [Accessed: March 6, 2021].
- [4] 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, 2016.
- [5] International Code Council, International Building Code: IBC 2018. Falls Church, VA: International Code Council, 2018. [Accessed: March 13, 2021].
- [6] ACI Committee 530, Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures and Companion Commentaries: ACI 530-13. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 1995.
- [7] The Applied Technology Council, "Hazards by Location", ATC. [Website]. Available: <http://www.hazards.atcouncil.org/>. [Accessed: March 13, 2021].