

Evaluación y rehabilitación del edificio Almacén de Embotellado de la Compañía Cervecera de Puerto Rico

Xiomara M. Santiago Orama

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 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 rehabilitación. Se determinaron deficiencias en algunos elementos estructurales y se presentaron soluciones de diseño, siguiendo los estándares vigentes.

Términos Clave — análisis y diseño estructural, códigos de construcción y rehabilitación sísmica.

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, aproximadamente a las 4:24 AM, Puerto Rico sufrió un movimiento sísmico en la zona sur. El epicentro fue localizado a 13.6 kilómetros al sur de la ciudad de Ponce, Puerto Rico. Inicialmente, la agencia científica Servicios Geológicos de Terremotos de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) reportó una magnitud inicial de 6.6 y luego fue reducido a 6.4. Apenas 10 minutos después, una réplica de magnitud 5.6 fue registrada a unos ocho kilómetros frente a la costa suroeste del país. Pasadas unas horas, se registró otro sismo de magnitud 5.8 a más de 1.5 kilómetros al sur del país [2]. Varias

estructuras resultaron afectadas por estos eventos sísmicos [1].

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, algunos adyacentes con otros. Los edificios más antiguos de la sede fueron diseñados antes del 1987, por lo que se prevé que no hubo consideraciones sísmicas al momento de ser realizado el diseño [3].

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

Como parte inicial, se recopiló información general del edificio, esto según los planos del edificio existente provistos por el cliente y fotos de algunas visitas de inspección al lugar. En los planos existentes 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) [4]. Este se basa en un proceso de tres niveles para la evaluación sísmica, de acuerdo con un nivel de desempeño de edificio. Este nivel de desempeño conecta el nivel de desempeño de elementos estructurales y los no estructurales. De los tres niveles de evaluación, dos fueron realizados. Estos son: 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.

El estándar ASCE/SEI 41-17 a su vez hace referencias a otros estándares como, por ejemplo, el Estándar de Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras Estructuras (ASCE/SEI 7-16) [5]. Este documento detalla los distintos medios para determinar las cargas de diseño. También incluye cómo evaluar las combinaciones de carga, entre otros.

Además, fue necesario la utilización del Código Internacional de Edificios (conocido por sus siglas en inglés como IBC) [6]. Este es una herramienta para proveer seguridad dentro del ambiente de la construcción. Por último, se utilizó el código Requisitos y Especificaciones para Estructuras de Mampostería (ACI 530-13) [7]. Este estándar cubre el diseño y la construcción de estructuras de mampostería.

Para la creación del modelo de la estructura se utilizó el programa SAP 2000. El método de análisis del programa se basa en el método de elementos finitos.

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.



Figura 2

Paredes de mampostería del edificio existente



Figura 3

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

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. Según el detalle de la fundación, la varilla longitudinal (conocida en inglés como "dowels") está doblada hacia afuera. Este detalle fue tomado en consideración al modelar las columnas con soportes tipo "pin" con respecto al suelo. 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) [4].

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 INICIAL (NIVEL 1)

El proceso de evaluación inicial (nivel 1) consiste en una serie de pasos provistos por el estándar ASCE/SEI 41-17. Inicialmente, el objetivo de nivel de desempeño del edificio fue escogido, de acuerdo con la sección 2.2 del estándar. Este nivel de desempeño debe ser escogido por mutuo acuerdo entre el cliente y el diseñador. El objetivo seleccionado fue el objetivo de desempeño básico para edificios existentes (BPOE, por sus siglas en inglés). Este objetivo de desempeño es el más común, pues tiene como propósito replicar los requisitos de rehabilitación tradicionales.

Luego, se escoge un nivel de peligro y sismicidad. Las tablas proveen dos tipos de sismo según el por ciento de probabilidad de excedencia. Estos se distinguen entre Sismo de Seguridad Básico 1 (SE-1E, por sus siglas en inglés) y Sismo de Seguridad Básico 2 (BSE-2E, por sus siglas en inglés). Para un riesgo sísmico con probabilidad de

excedencia de 20% en 50 años, el BSE-1E es seleccionado. Mientras que para un riesgo sísmico con probabilidad de excedencia de 5% en 50 años, el BSE-2E es seleccionado. Para el proyecto en referencia se seleccionó BSE-1E como riesgo sísmico.

La categoría específica del BPOE depende de la categoría de riesgo y el riesgo sísmico seleccionado. Según la categoría de riesgo dictada por la Tabla 1.5-1 del estándar ASCE/SEI 7-16, se selecciona una categoría de desempeño estructural y no estructural dentro del BPOE [4]. La categoría de riesgos para edificios de almacén es II, pero un valor conservador de IV fue utilizado por la importancia de la fábrica para la economía de la región y del país. El factor de importancia ocupacional se obtiene de la Tabla 1.5-2 del estándar ASCE/SEI 7-16. Este valor es 1.50. Según la Tabla 2-1 del estándar ASCE/SEI 41-17, 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) [4]. 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) [8]. Esta herramienta requiere que se ingrese la ubicación y la clase de sitio. Esta se determina en función del tipo de suelo en la localización de la estructura, en los primeros 100 pies de profundidad. Para el proyecto en referencia se asumió clase D (suelo rígido). La forma detallada de clasificar cada sitio, a base del suelo, es detallada en el capítulo 20 en el estándar ASCE/SEI 7-16.

Utilizando la herramienta de ATC, se obtuvieron los siguientes valores:

- Máxima aceleración espectral para periodos cortos (0.2 segundos): $S_s = 0.440g$
- Máxima aceleración espectral para periodos largos (1.0 segundos): $S_1 = 0.175g$
- Coeficiente de sitio para periodos cortos: $F_a = 1.448$

- Coeficiente de sitio para periodos largos: $F_v = 2.250$
- Aceleración espectral de diseño para periodos cortos: $S_{Ds} = 0.424g$
- Aceleración espectral de diseño para periodos largos: $S_{Dl} = 0.262g$

El nivel de sismicidad es clasificado como alto, moderado, bajo, o muy bajo, según la Tabla 2-4 del estándar ASCE/SEI 41-17 [4]. El nivel de sismicidad depende de los valores de las máximas aceleraciones espectrales para periodos cortos (S_{Ds}) y largos (S_{Dl}), y de los coeficientes de sitio (F_a y F_v). Según los valores previamente calculados, el valor de sismicidad es alto.

También, como parte del proceso de evaluación inicial, las fuerzas sísmicas fueron calculadas mediante un análisis lineal estático. La distribución de la fuerza sobre la altura del edificio, las correspondientes fuerzas internas y los desplazamientos del sistema se determinaron mediante un análisis linealmente elástico de acuerdo con la sección 7.4 del estándar ASCE/SEI 41-17 [4]. El valor de la fuerza cortante en la base del edificio depende de varias variables. Entre ellas:

- Tres factores de modificación (C_1 , C_2 y C_m), donde $C_1 = 1.16$, $C_2 = 1.00$ y $C_m = 1.00$.
- Peso sísmico total de la estructura (W). Esta variable incluye la carga muerta total y porciones aplicables de otras fuerzas de gravedad. Por ejemplo, en casos de edificios usados como almacén, un mínimo de 25% de la carga viva debe ser aplicable. Para este proyecto, se determinó $W = 2,290$ k.
- Espectro de aceleración de respuesta en el periodo fundamental del edificio (S_a).

El valor de S_a , a su vez, es dependiente de las siguientes variables:

- Parámetros de diseño para periodo corto (S_{dl}) y largo (S_{ds}) de la respuesta espectral de aceleración. Nótese que estos fueron determinados previamente.
- El valor de periodo fundamental de vibración del edificio en la dirección tomada en consideración (T).

El valor de T debe ser calculado de acuerdo con la sección 4.4.2.4 del estándar ASCE/SEI 41-17 [4]. A su vez, el valor de T depende de los siguientes factores:

- Factor para sistemas de pórticos (C_t). Este valor fue tomado como 0.020.
- La altura en pies desde la base a nivel de techo, este valor es 42.84 pies.
- Se utilizó un factor β de 0.75, este aplica para sistemas de pórticos.
- El valor de S_a resultó 0.638.
- El valor del periodo fundamental es 0.33 segundos.
- Finalmente, se determinó un cortante de 1,709 kips.

La fuerza cortante es distribuida verticalmente usando factores de distribución vertical, factor dependiente del periodo, porción del peso asignado al nivel, altura del nivel, y el valor de fuerza lateral. Es conveniente una tabla para realizar el cómputo. Los cómputos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1
Fuerzas Cortantes por piso

Piso (No.)	$W_x (h_x)^k$ (kip-pie)	F_x (kip)
3	4,581	653
2	4,266	608
1	3,149	448
Σ	11,996	1,709*

*Nótese que este valor coincide con V , pues esta es la reacción horizontal debido a las fuerzas horizontales actuando en cada piso.

Según mencionado anteriormente, se utilizó el programa SAP 2000 para modelar la estructura existente. Se plasmó el mismo según los planos de construcción del edificio de almacén existente. El mismo incluye losas de piso y techo, columnas y vigas. Las secciones de las vigas y las columnas fueron detalladas en el programa. En la Figura 5 se puede observar el modelo en el programa SAP 2000.

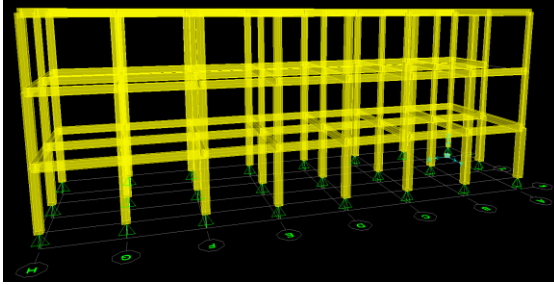


Figura 5

Modelo de Edificio Existente en el Programa SAP 2000

El estándar ASCE/SEI 41-17 considera que los edificios diseñados, construidos o evaluados de acuerdo con las disposiciones de referencia que se dictan en la sección 3-3 de dicho estándar, cumplen con las disposiciones de la mencionada norma para el nivel de desempeño indicado. El edificio bajo estudio fue diseñado antes de las fechas establecidas en la Tabla 3-3, y, por lo tanto, es posible el incumplimiento con las disposiciones del ASCE/SEI 41-17 [4].

Si se determina que el edificio no cumple con alguna de estas secciones o no se puede determinar el cumplimiento, la estructura no cumple con las disposiciones de construcción de referencia de esta sección. Sin embargo, el edificio de almacén en referencia no cumple con los requisitos con las ediciones de un código o disposición de diseño/rehabilitación, pues el edificio fue diseñado en fechas anteriores de las establecidas como año de referencia en la tabla que aplica. Según la Tabla 4-6 del estándar ASCE/SEI 41-17, para un nivel de sismicidad alto, y para un nivel de desempeño estructural (previamente seleccionado) S1, es establecido que se deben verificar tres listas de cotejo [4]. Estas listas de cotejo son: lista de cotejo de configuración básica (sección 17.1.2), lista de cotejo de ocupación inmediata (sección 17.2 a 17.17), y lista de cotejo no estructural de retención de posición (sección 17.19). Este estudio hace énfasis en los elementos estructurales. Cada una de las declaraciones de evaluación en la lista de verificación se marcará como cumple (C), no cumple (NC), no aplica (NA) o desconocido (U).

Las declaraciones de cumplimiento identifican cuestiones que son aceptables de acuerdo con los

criterios de esta norma, mientras que las declaraciones de incumplimiento o desconocidas identifican asuntos que requieren una investigación adicional para demostrar la conformidad con el objetivo de desempeño aplicable. Es posible que ciertas declaraciones de evaluación no se apliquen al edificio específico que se está evaluando. La lista de cotejo de configuración básica para nivel de sismicidad alto incluye los siguientes puntos (se incluye el resultado de la evaluación entre paréntesis):

- **Ruta de carga:** La estructura contiene una ruta de carga completa y bien definida, incluidos los elementos estructurales y las conexiones, que sirven para transferir las fuerzas inerciales asociadas con la masa de todos los elementos del edificio a la cimentación (C).
- **Edificios adyacentes:** La distancia libre entre el edificio que se evalúa y cualquier edificio adyacente es mayor que el 1.5% de la altura del edificio más corto en alta sismicidad (C).
- **Entrepisos:** Los niveles de los entrepisos interiores se arriostran independientemente de la estructura principal o se anclan a los elementos de resistencia sísmica de la estructura principal (NA).
- **Piso débil:** La suma de las resistencias de esfuerzo cortante del sistema de resistencia a la fuerza sísmica en cualquier piso en cada dirección no es menos del 80% de la fuerza en el piso adyacente anterior (C).
- **Piso suave:** La rigidez del sistema de resistencia a la fuerza sísmica en cualquier piso no es menos del 70% de la fuerza sísmica que resiste la rigidez del sistema en un piso adyacente por encima o menos del 80% de la fuerza sísmica promedio que resiste la rigidez del sistema de los tres pisos de arriba (C).
- **Irregularidades verticales:** Todos los elementos verticales en los sistemas resistentes a la fuerza sísmica son continuos hasta la cimentación (C).

- **Geometría:** No hay cambios en la dimensión horizontal neta del sistema de resistencia a la fuerza sísmica de más del 30% en un piso en relación con los pisos adyacentes, excluyendo los áticos y entrepisos de un piso (C).
 - **Masa:** No hay cambio en la masa efectiva de más del 50% de un piso al siguiente, techos livianos, áticos y entrepisos (C).
 - **Torsión:** La distancia estimada entre el centro de masa del piso y el centro de rigidez del piso es menos del 20% del ancho del edificio en cualquier dimensión del plano (NA).
 - **Licuefacción:** Los suelos granulares sueltos, saturados y susceptibles a la licuefacción que podrían poner en peligro el rendimiento sísmico del edificio no existen en los suelos de cimentación a profundidades de 50 pies debajo del edificio (NA).
 - **Falla de pendiente:** El sitio de construcción está ubicado lejos de posibles fallas de taludes o desprendimientos de rocas inducidas por terremotos para que no se vea afectado por tales fallas o sea capaz de acomodar cualquier movimiento previsto sin fallas (C).
 - **Ruptura de falla superficial:** La ruptura de la falla superficial y el desplazamiento de la superficie en el edificio no se anticipan (C).
 - **Vuelco:** La relación entre la dimensión horizontal mínima del sistema de resistencia a la fuerza sísmica en el nivel de la cimentación y la altura del edificio (base / altura) es mayor que $0.6S_a$ (C).
 - **Amarres entre elementos de cimentación:** La cimentación tiene amarres adecuados para resistir fuerzas sísmicas donde zapatas, pilotes y pilares no están restringidos por vigas, losas o suelos clasificados como clase de sitio A, B o C (C).
- La lista de cotejo estructural, para ocupación inmediata, incluye los siguientes puntos (se incluye el resultado de la evaluación entre paréntesis):
- **Redundancia:** El número de líneas de muros de cortante en cada dirección principal es mayor o igual a 2 (C).
 - **Comprobación del esfuerzo cortante:** El esfuerzo cortante en los muros de cortante de mampostería reforzada, calculado mediante el procedimiento de comprobación rápida de la sección 4.4.3.3., es inferior a 70 lb / pulgada cuadrada (NC).
 - **Comprobación del esfuerzo cortante:** El esfuerzo cortante en los muros de cortante de mampostería no reforzada, calculado mediante el procedimiento de comprobación rápida de la sección 4.4.3.3. es menos de 30 psi para unidades de arcilla y 70 psi para unidades de concreto. Las bahías con aberturas superiores al 25% del área de la pared no se incluirán en el cotejo (NC).
 - **Conexiones a la pared de relleno:** La mampostería está en pleno contacto con el marco (C).
 - **Transferencia a paredes de cortante:** Diafragmas están conectados para transferir cargas a las paredes de cortante y las conexiones desarrollan el menor esfuerzo cortante de las paredes o diafragmas (NC).
 - **Columnas de hormigón:** Todas las columnas de hormigón se insertan en la base con un mínimo de cuatro barras y los “dowels” pueden desarrollar la capacidad en tensión de refuerzo en la columna ante las fuerzas sísmicas (C).
 - **Compatibilidad de deflexión:** Los componentes secundarios tienen la capacidad de corte para desarrollar la resistencia a la flexión de los componentes y cumplen con la Tabla 17-23 del estándar (C).
 - **Losas planas:** Las losas o placas planas que no forman parte del sistema de resistencia a la fuerza sísmica tienen acero inferior continuo a través de las juntas de las columnas (NA).
 - **Refuerzo en las aberturas de pared:** Todas las aberturas de pared que interrumpen el refuerzo tienen refuerzo a la medida en todos los lados (NA).
 - **Proporciones:** La relación entre la altura y el espesor de los muros de relleno no reforzados en cada piso es inferior a 13 (NC).

- **Paredes de la cavidad:** Las paredes de relleno no son de construcción de cavidad (NC).
- **Muros de relleno:** Los muros de relleno son continuos con los plafones de las vigas del marco y con las columnas a ambos lados (C).
- **Continuidad del diafragma:** Los diafragmas no están compuestos por pisos de dos niveles y no tienen juntas de expansión (C).
- **Aberturas en las paredes de cortante:** Las aberturas de diafragma inmediatamente adyacentes a las paredes de cortante son menos del 15% de la longitud de la pared (NA).
- **Aberturas en las paredes exteriores de mampostería cortante:** Las aberturas de diafragma inmediatamente adyacentes a las paredes exteriores de mampostería cortante no son mayores de 4 pies (NA).
- **Irregularidades en planta:** Hay capacidad en tensión para desarrollar la fuerza del diafragma en las esquinas reentrantes u otras localizaciones de irregularidades (NA).
- **Refuerzo del diafragma en las aberturas:** Hay refuerzo alrededor de las aberturas de diafragma mayor del 50% del ancho del edificio, en la dirección mayor (NA).

EVALUACIÓN NIVEL 2

La evaluación basada en deficiencias de nivel 2 requiere un análisis adicional, es decir, una evaluación más detallada de todas las deficiencias potenciales identificadas en el nivel 1 (indicadas como “NC”, es decir, no cumple). El análisis y la evaluación adicional de cada deficiencia serán suficientes para confirmar la deficiencia o demostrar la idoneidad de la estructura, en lo que se refiere a la deficiencia.

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. Nótese que todos los puntos apuntan a un problema: las paredes no resisten cortante. Este resultado era esperado, pues los planos de la estructura original fueron creados antes del año 1980. Para ese entonces, no eran tomadas en cuenta las consideraciones

sísmicas, a pesar de que Puerto Rico había sufrido eventos sísmicos previamente (año 1918).

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. De la primera opción ser escogida, se debe tomar en cuenta que las paredes son de cavidad, por lo que rellenar estas cavidades con concreto se traduciría en un peso muerto adicional. Esto es peligroso, pues aumentaría el cortante. Inclusive este es un procedimiento muy costoso.

ELEMENTO ESTRUCTURAL PROPUESTO

Según mencionado anteriormente, se eligió la opción de nuevas paredes. Las paredes se proponen de mampostería (bloque), hormigón y refuerzo de acero. Las paredes estructurales son un elemento estructural vertical diseñado primordialmente para resistir cargas laterales y minimizar los daños a la estructura (tanto de elementos estructurales como no estructurales). Mientras que las columnas están sujetas a carga axial y normalmente biaxial, las paredes están sometidas primordialmente a momento uniaxial y cortante. El mayor número de paredes estructurales en ambas direcciones ortogonales fue añadido. Se debe utilizar al menos cuatro líneas de defensa en ambas direcciones del edificio. En Puerto Rico se requiere un mínimo de 0.5%, en edificios de alta categoría de importancia, de área de paredes versus área de piso en cada dirección. Es importante mantener la simetría en la distribución de las paredes y amarrar todas las fundaciones en la periferia. En la Figura 6 se puede observar el modelo con las paredes estructurales propuestas.

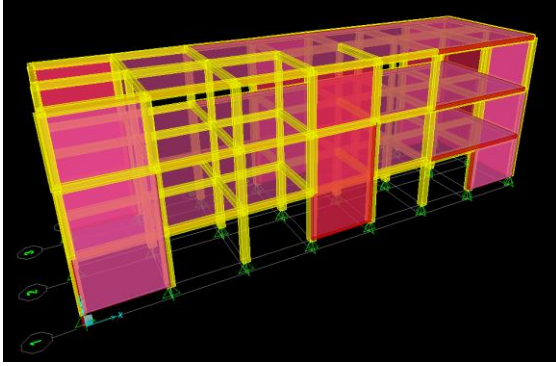


Figura 6
Modelo de Edificio Propuesto

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, data que al usar 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, ya que la capacidad de cortante del muro proporcionada por las unidades de mampostería de hormigón es mayor que la demanda de cortante real. 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 [7].

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. Por otro lado, la construcción de estructuras de mampostería requiere una garantía de calidad muy rigurosa en comparación con el hormigón, y un seguro de calidad (conocido en inglés como “quality assurance”) que muy pocas veces (o ninguna) es tomado en cuenta. También se debe tomar en consideración que el detalle de varilla debe ser de tal manera que amarre los elementos existentes. Es decir, que la varilla perteneciente a las nuevas paredes de mampostería tenga un largo de desarrollo en estos elementos existentes.

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] U.S.G.S., *Magnitude 6.4 Earthquake in Puerto Rico*, Jan 29, 2020. [Website]. Available: <https://www.usgs.gov/news/magnitude-64-earthquake-puerto-rico#:~:text=on%20January%207-.On%20Jan.,%3A24%3A26%20UTC.&text=The%20magnitude%206.4%20earthquake%20was,the%20rest%20of%20the%20island.> [Accessed: March 5, 2021].

- [3] 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].
- [4] 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].
- [5] 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.
- [6] International Code Council, *International Building Code*: IBC 2018. Falls Church, VA: International Code Council, 2018. [Accessed: March 13, 2021].
- [7] ACI Committee 530, *Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures and Companion Commentaries*: ACI 530-13. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 1995.
- [8] The Applied Technology Council, “Hazards by Location”, *ATC*. [Website]. Available: <http://www.hazards.atcouncil.org/>. [Accessed: March 13, 2021].