**12do SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ESTRUCTURAS, GEOTECNIA Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**Influencia de la resistencia a compresión de los bloques en la altura de una edificación bajo carga sísmica**

***Influence of the compressive strength of the blocks in the height of a building under seismic load***

**Ing. Zenayda Corratgé Yzaguirre1, Ing. Lisandra Ordoñez Hernández2, Dra. Ing. Janet Otmara Martínez Cid3**

1-Zenayda Corratgé Yzaguirre. Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” Cujae, Cuba. E-mail: zenayda@civil.cujae.edu.cu

2- Lisandra Ordoñez Hernández. Empresa de Diseño y Servicio de Ingeniería, Cuba. E-mail: lordonezh@nauta.cu

3- Janet Otmara Martínez Cid. Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” Cujae, Cuba. E-mail: jcid@civil.cujae.edu.cu

**Resumen:**

Los pórticos de hormigón armado constituyen una de las tipologías más utilizadas en la construcción de edificios. Bajo carga lateral es imprescindible la incorporación de elementos rigidizadores que garanticen la reducción de los desplazamientos horizontales a límites permisibles y que contribuyan a un mayor desempeño estructural de la edificación debido a la alta capacidad de deformación que poseen. Una de las vías utilizadas es el empleo de mampostería confinada trabajando conjuntamente con los pórticos. En el desempeño de la mampostería juega un papel esencial la resistencia a compresión de los bloques que la componen. En Cuba esta es de 7 MPa, inferior a la media empleada por varios países que es de 20 MPa. Se propone incrementar la misma a 12 MPa y para ello es necesario verificar la influencia de este parámetro en el desempeño estructural de las edificaciones en las que se emplea la mampostería confinada como rigidizador ante cargas laterales, específicamente el sismo. En el presente trabajo se determina, para una edificación tipo destinada a vivienda, la altura máxima para 6 casos de estudios, considerando el empleo de bloques de 7 MPa y 12 MPa. Se emplea el Método Estático Equivalente y el análisis por desempeño que establece la Norma Cubana de Sismo NC- 46: 2017. Se utiliza para la modelación estructural el programa ETABS 2016. Se reportan los desplazamientos, derivas, solicitaciones y la altura que se alcanzan en las edificaciones con el empleo de ambas resistencias así como el diseño de los muros de mampostería confinada.

***Abstract:***

*The reinforced concrete frames are one of the most used typologies in the construction of buildings. Under lateral loading it is essential to incorporate stiffeners that guarantee the reduction of horizontal displacements to permissible limits and that contribute to a greater structural performance of the building due to the high deformation capacity they possess. The confined masonry working together with frames in one of the most used structural solutions. In the performance of the masonry plays an essential role the compressive strength of the blocks that compose it. The compressive strength of the block in Cuba is 7 MPa, lower than the average used by several countries, which is 20 MPa. It is proposed to increase it to 12 MPa and for this it is necessary to verify the influence of this parameter, from the structural point of view, on the performance of the buildings in which the confined masonry is used as stiffener under lateral loads, specifically the earthquake. In this work, for a structural configuration of a type building intended for housing, the maximum height for 6 cases of studies is determined, considering the use of blocks of 7 MPa and 12 MPa. The Equivalent Static Method and the performance analysis established by the Cuban Seismic Standard NC-46: 2017 are used. The ETABS 2016 program is used for structural modeling. The displacements, drifts, solicitations and the height of the buildings with the employment of both resistances as well as the design of the confined masonry are reported.*

**Palabras Clave:** Carga sísmica, mampostería confinada, ETABS, bloques.

***Keywords:*** *seismic load, confined masonry, ETABS, blocks.*

**1. Introducción**

Los pórticos constituyen una de las tipologías más utilizadas en la construcción de edificios altos. La limitación fundamental en la altura de los mismos lo constituye el incremento de desplazamientos laterales más allá de los permisibles por la acción de cargas laterales ya sean de viento o sismo, por la alta capacidad de deformación que poseen. Lo anterior ha obligado a concebir y disponer diversas formas de rigidización frente a carga lateral para estas edificaciones. Una vía utilizada es el empleo de mampostería confinada en los pórticos, aprovechando las ventajas constructivas y estructurales que posee este material.

Si bien la albañilería ha sido empleada en diferentes épocas y circunstancias para construir elementos tan diversos como arcos, vigas y columnas, su expresión fundamental y preponderante es el muro; en los cuales, la resistencia a compresión de los bloques resulta fundamental debido a su influencia directa en la resistencia de la propia mampostería y, por tanto, en la capacidad de carga de los muros y en la altura que puede alcanzar una edificación.

La mampostería confinada constituye una de las vías más empleadas internacionalmente (Astroza et al, 2017; Bartolini et al, 2017; Jain et al, 2015; Carlevaro et al 2017) para la rigidización de edificios sometidos a carga sísmica, fundamentalmente aquellos destinados a viviendas (Davy et al, 2017; Hart et al, 2017; Iyer et al, 2017; Jain, 2015; Nacif et al, 2017).

Internacionalmente los valores máximos de resistencia a compresión bruta de los bloques oscilan entre 13 y 25 MPa lo que hace posible la construcción de edificaciones que superan los 10 niveles, mientras que en Cuba se establece 7 MPa como valor máximo.

Actualmente se propone incrementar la resistencia a compresión del bloque en Cuba a 12 MPa y para ello es necesario verificar la influencia de este parámetro, desde el punto de vista estructural, en la altura que puede ser alcanzada en las edificaciones compuestas por muros de carga de mampostería considerando la acción de cargas horizontales.

Los muros de albañilería sin refuerzo presentan importantes limitaciones para resistir acciones sísmicas debido a la baja capacidad de la albañilería para resistir tracciones y a su comportamiento frágil una vez que se produce el agrietamiento. Dadas estas características de la albañilería sin refuerzo, es necesario reforzar los muros y una forma de hacerlo es por medio de elementos esbeltos de hormigón armado que confinan el paño de albañilería y que deben cumplir con los requisitos establecidos por las normas de diseño y cálculo de estructuras de albañilería. El confinamiento se logra en la medida que las columnas y vigas enmarquen completamente el paño de albañilería proporcionándole, ante acciones contenidas en el plano del muro, capacidad de deformación lateral y de disipación de energía una vez que se agrieta el paño (Bazán, Meli, 2005; Kingsley et al, 2014; Singhal, 2016).

Partiendo de un estudio anterior (González, 2017) en el que se consideró la acción del viento con esta tipología estructural, en el presente trabajo se pretende obtener la altura límite de una edificación tipo destinada a vivienda, con tipología estructural de pórticos de hormigón armado considerando muros de mampostería confinada como elemento rigidizador para la acción de la carga de sismo. Se emplea el Método Equivalente de la NC 46:2017 para la determinación de la carga sísmica y se emplea la resistencia a compresión de los bloques actuales cubanos, 7 MPa y la propuesta de 12 MPa con el objetivo de definir la cantidad de niveles que logran incrementarse con la modificación de este parámetro. Se considera, además, el análisis por desempeño que establece la Norma Cubana de Sismo NC- 46: 2017; y se empleará para la modelación el programa ETABS 2016.

**2. Metodología**

Los casos a estudiar serán edificaciones destinadas a programas de viviendas, ubicadas en la provincia de Santiago de Cuba y conformadas según la planta que se muestra en la figura 1. Atendiendo los requisitos que exige la NC 46:2017 la estructura no presenta irregularidades en planta ni elevación.



Figura 1. Planta de la edificación. (Fuente: Elaboración propia)

El sistema estructural estará compuesto por pórticos de hormigón armado, rigidizados con muros de mampostería confinada con disposición en los ejes A, E, 2 Y 4; y losas hormigonadas in situ.

El análisis considera, además de las dos propuestas de resistencia a compresión de los bloques de 7 MPa y 12 MPa, tres posibles factores de escala (Kd) para la determinación de la carga sísmica atendiendo a la NC 46:2017.

Existirán tres posibles alternativas: Kd= 0,5; Kd= 0,66; y Kd= 0,8, las cuales responden a tres de los cuatro niveles de diseño con los cuales se realiza el análisis en zona sísmica:

Sismo mínimo – 20 % probabilidad de ser excedido en 50 años; Kd = 0,50

Sismo ordinario – 10 % probabilidad de ser excedido en 50 años; Kd = 0,66

Sismo severo – 5 % probabilidad de ser excedido en 50 años; Kd = 0,80

Lo anterior implica 6 casos de análisis, mostrados en la figura 2.

Figura 2. Casos de análisis. (Fuente: Elaboración propia).

**Descripción del modelo**

**Geometría**

Se consideraron las dimensiones generales estipuladas por arquitectura que responden a intercolumnios de 4,6 m y 6 m y altura de NPT a NPT de 2,8 m.

La sección transversal de las vigas es de 40 x 40 cm y las columnas de 40 x 40 cm. Las losas de cubierta y entrepisos son de 15 cm de espesor. Los muros de mampostería confinada están formados por bloques de 20 cm (t). A partir de las dimensiones de los pórticos en los que se encuentran ubicados los muros así como de los módulos de deformación de los materiales empleados, se obtiene un ancho de diagonal comprimida$ ( \dot{ω})$ de 91 cm y 84 cm para el empleo de bloques de 7 MPa y 12 MPa respectivamente.

**Condiciones de borde**

Las columnas se consideran empotradas en su base y las uniones viga-columna continuas. La diagonal de compresión que representa la mampostería confinada se suponen biarticulada al pórtico.

**Materiales**

El material a emplear para los pórticos y losas es hormigón armado con una densidad de 24 kN/m³. La resistencia a compresión del hormigón es de 30 MPa, según la norma NC 207:2003. La resistencia característica a compresión de la mampostería macizada para ambas propuestas de resistencia a compresión de los bloques, así como la resistencia a compresión del mortero se muestra en la tabla 1. Declarar la resistencia a compresión neta de la mampostería *(f´mnbl)* responde a la exigencia del empleo de mampostería reforzada en edificaciones ubicadas en zonas de alto riesgo sísmico, como es el caso que se analiza.

Tabla 1. Resistencia característica a compresión del mortero, bloques y de la mampostería simple y macizada (para su empleo en reforzada) empleadas en al análisis.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **f´M (MPa)** | **f´bl (MPa)** | **f´mbl (MPa)** | **f´mnbl (MPa)** |
| 5.2 | 7 | 3.36 | 6.80 |
| 5.2 | 12 | 4.68 | 9.50 |

**Cargas**

Cargas permanentes (NC-283: 2003)

Las cargas permanentes consideradas tanto en entrepisos como en cubierta son:

Relleno de piso: 0,72 kN/m2

Mortero de cemento Portland: 0,2 kN/m2

Losas hidráulicas: 0,23 kN/m2

Tabiques divisorios: 1,6 kN/m2.

Enrajonado: 2,7 kN/m2

Soladura: 0,2 kN/m2

Cargas de uso (NC-284: 2003)

Habitaciones de viviendas comunes: 1,5 kN/m2

Escaleras para edificios de más de 2 plantas: 4,5 kN/m2

Azoteas con desagüe por tragante, pero no accesible al público: 2 kN/m2

Carga de sismo (NC 46: 2017)

La tabla 3 muestra los coeficientes de peligro sísmico que responden a la zona en la que se encuentran ubicadas las edificaciones.

Tabla 3. Peligro sísmico en la zona de ubicación de las edificaciones. (NC 46:2017)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Provincia** | **Municipio** | **So (g)** | **Ss (g)** | **S1 (g)** | **TL (s)** | **Zona** |
| Santiago de Cuba | Santiago de Cuba | 0,513 | 1,035 | 0,428 | 6,0 | 5 |

Los coeficientes fueron ajustados por clase de sitio e intensidades sísmicas especiales. El análisis se realizará para tres factores de escala, los cuales corresponden con los sismos mínimo, ordinario y severo.

La tabla 4 muestra los niveles de desempeño considerados:

Tabla 4. Niveles de desempeño para obras ordinarias o normales.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nivel de demanda sísmica** | **Nivel de desempeño sísmico** | **Kd** |
| Sismo frecuente | Ocupación inmediata | 0.50 |
| Sismo ordinario | Operativo | 0.66 |
| Sismo severo | Seguridad de vida | 0.80 |

**Combinaciones de carga** (NC 450: 2006, NC 46: 2017)

1,2 G + Q + Sv ± Sh

0,9 G – Sv ± Sh

G + Q + Ex

G + Q + Ey

1,2 G + 1,6 Q + 0,5 Qc

1,2 G + 1,6 Qc + 0,5 Q

1,2 G + Q + Sv ± Sh

0,9 CP - Sv ± Sh

La figura muestra el modelo de una de las edificaciones.

Figura 3. Modelo obtenido con el programa ETABS. Se muestran las diagonales que representan los muros de mampostería confinada. (Fuente: Elaboración propia)

**3. Resultados y discusión**

Para el análisis del efecto de la resistencia a compresión de los bloques en la altura que pueden ser alcanzadas en las edificaciones, se partió de las alturas obtenidas en investigación previa (González, 2017) realizada con carga de viento.

La tabla 5 muestra la altura de partida en el análisis de las edificaciones de los 6 casos de estudio.

Tabla 5. Cantidad de niveles propuestos para comenzar el análisis.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Resistencia a compresión de los bloques (MPa)** | **Kd=0.50** | **Kd=0.66** | **Kd=0.80** |
| 7 | 6 | 5 | 4 |
| 12 | 7 | 6 | 5 |

**Estado Límite de Servicio**

**Desplazamiento en el tope de la edificación**

Las tablas 6 y 7 resumen los valores de desplazamientos en el tope y derivas obtenidos para las combinaciones G + Q + Ex y G + Q + Ey desfavorables.

Tabla 6. Desplazamientos en el tope de las edificaciones.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **f´bl** | **Kd** | **Nivel** | **Ux (mm)**(G + Q + Ex) | **Uy (mm)**(G + Q + Ey) | **Δpermisible****H/600 (mm)** |
| 7 | 0.50 | 5 | 17.4 | 16.6 | 23.3 |
| 0.66 | 4 | 14.3 | 13.8 | 18.6 |
| 0.80 | 3 | 9.6 | 9.3 | 14.0 |
| 12 | 0.50 | 6 | 22.5 | 21.2 | 28.0 |
| 0.66 | 5 | 19.9 | 18.9 | 23.3 |
| 0.80 | 4 | 14.9 | 14.3 | 18.6 |

**Derivas**

La tabla 7 muestra los valores de derivas obtenidos para lascombinacionesG + Q + Ex, G + Q + Ey.

Tabla 7. Máximas derivas obtenidas.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **f´bl** | **Kd** | **Nivel** | **Sentido X**(G + Q + Ex) | **Sentido Y**(G + Q + Ey) | **Δu permisible** |
| 7 | 0.50 | 2 | 0.0061 | 0.0057 | 0.02 |
| 0.66 | 2 | 0.0062 | 0.0058 | 0.02 |
| 0.80 | 2 | 0.0049 | 0.0048 | 0.02 |
| 12 | 0.50 | 2 | 0.0064 | 0.0061 | 0.02 |
| 0.66 | 2 | 0.0068 | 0.0065 | 0.02 |
| 0.80 | 2 | 0.0063 | 0.0060 | 0.02 |

En todos los casos las derivas son menores que la permisible. Se destaca que en todos los casos estos valores se reportan siempre en el segundo nivel, resultado acorde con la forma en que se deforman los pórticos continuos bajo la acción de cargas laterales, en los que los mayores desplazamientos relativos entre los pisos se concentran en los niveles inferiores.

**Estado Límite Último**

En la tabla 8 se reportan los máximos valores de carga axial de compresión en la diagonal de trabajo (Pactuante) del muro de mampostería así como la capacidad resistente a compresión de esta diagonal (Presistente).

La capacidad resistente de la diagonal de compresión se determina por la expresión (1) (NC 774: 2012):

$P\_{u}\leq ∅∙β∙f\_{mnbl}^{´}∙\dot{ω t}$ (1)

Siendo:

$∅$= 0.8

$β$= 0.89

$f\_{mnbl}^{´}, \dot{ω ,t}:$ Resistencia a compresión neta del muro, ancho de la diagonal de compresión y espesor del muro respectivamente.

Tabla 8. Valores de máxima fuerza axial en la diagonal a compresión del muro y capacidad resistente a dicho esfuerzo.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **f´bl** | **Kd** | **Nivel** | **P actuante (kN)** | **P resistente (kN)** |
| 7 | 0.50 | 2 | 806 | 880 |
| 0.66 | 2 | 805 |
| 0.80 | 1 | 695 |
| 12 | 0.50 | 2 | 1132 | 1138 |
| 0.66 | 2 | 1128 |
| 0.80 | 2 | 1036 |

El incremento de la resistencia a compresión de los bloques en 5 MPa origina un aumento de un 22% en la capacidad portante del muro.

La NC 774:2012 establece que en zona sísmica, la mampostería confinada se calculará considerando que trabaja solo la mampostería. No se tendrá en cuenta la resistencia de los elementos de hormigón armado o de mampostería armada. Atendiendo a los resultados mostrados en la tabla 8, no se requiere refuerzo por cálculo en los muros pues la capacidad resistente obtenida considerando solo el aporte del muro macizado lo confirma. No obstante, debe ser dispuesto un refuerzo mínimo (NC 774:2012) que garantice la ductilidad requerida en estructuras ubicadas en zonas de alto riesgo sísmico.

Con base en lo anterior, se plantea la siguiente cuantía de refuerzo para los muros de mampostería confinada:

Armadura horizontal: 2 Ø6mm en hiladas alternas

Armadura vertical: Ø12mm dispuestas en huecos alternos.

**4. Conclusiones**

Los resultados obtenidos permiten establecer que el incremento de la resistencia a compresión de los bloques de 7 a 12 MPa y su empleo como elemento rigidizador frente a la acción de cargas sísmicas:

1. Produce un aumento de un 22% de la capacidad portante del muro.
2. Permite, para la planta propuesta, el incremento de 1 nivel en todos los casos analizados, lo que se traduce en la posibilidad de aumentar entre 4 y 6 apartamentos por edificios.

**5. Referencias bibliográficas**

1. (2003). NC 284:2003 Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño. Cuba
2. (2003). NC 284:2003 Edificaciones. Cargas de Uso. Cuba.
3. (2017). NC 46:2017 Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción. Cuba.
4. (2006). NC 450:2006 Edificaciones. Factores de carga o ponderación. Combinaciones.
5. (2012). NC 774:2012. Código de buenas prácticas para obras de mampostería.
6. Astroza I., M., F. Andrade, et al. (2017). Confined Masonry Buildings: The Chilean Experience. 16th World Conference on Earthquake Engineering. Chile.
7. Bartolini, I. and T. Schacher (2017). Introducing confined Masonry in a Fragile State: The Case of Haiti After the 2010 Earthquake. 16th World Conference on Earthquake Engineering. Chile.
8. Bazán, E. and R. Meli (2005). Diseño sísmico de edificios. México, Noriega Editores.
9. Carlevaro, N., G. Roux-Fouillet, et al. (2017). Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada. Ecuador.
10. Davy, C., M. L. Blaisdell, et al. (2017). Seismic Retrofit of Confined Masonry Houses in Haiti: Lessons from Implementation. 16th World Conference on Earthquake Engineering. Chile.
11. González Díaz, W. (2017). Empleo de la mampostería como elemento rigidizador de edificios porticados. Cuba, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría".
12. Hart, T., J. Pazdon, et al. (2017). Case Study: Design and Construction of Confined Masonry Homes in Indonesia. 16th World Conference on Earthquake Engineering. Chile.
13. Iyer, J., S. M. Kulkami, et al. (2017). Build a safe house with confined masonry. India, Gujarat State Disaster Management Authority.
14. Jain, S. K., S. Brzev, et al. (2015). Confined masonry for residential construction. India, Indian Institute of Technology Gandhinagar.
15. Kingsley, G. R., P. Benso Shing, et al. (2014). Seismic Design of Special Reinforced Masonry Shear Walls. Estados Unidos de América, National Institute of Standars and Technology.
16. Nacif Hartley, D., M. L. Blaisdell, et al. (2017). Seismic Evaluation and Retrofit for Reducing the Vulnerability of Housing in Colombia: Development and Implementation. 16th World Conference on Earthquake Engineering. Chile.
17. Singhal, V. (2016). Seismic Design and Behaviour of Confined Masonry Buildings. Indian Institute of Technology Patna. India.