



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Pons-Gascón, Wilfredo Felipe; Álvarez Deulofeu, Eduardo Rafael
DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA
REFORZADA PARA SU CONSTRUCCIÓN EN LAS CIUDADES DE BAYAMO Y GUANTÁNAMO

Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 1, 2018, Enero-Marzo 2019, pp. 36-52

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba

Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358269008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

**DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE EDIFICIOS DE
VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA PARA SU CONSTRUCCIÓN
EN LAS CIUDADES DE BAYAMO Y GUANTÁNAMO**

**EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURAL DESIGN OF REINFORCED
MASONRY HOUSING BUILDINGS FOR THEIR CONSTRUCTION IN
BAYAMO AND GUANTÁNAMO CITIES**

Autores:

Wilfredo Felipe Pons-Gascón, wilfredo@cenais.cu. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais). Teléfono: (+53) 54960262. Santiago de Cuba, Cuba.

Eduardo Rafael-Álvarez Deulofeu, eaalvarez@uo.edu.cu. Universidad Oriente, Facultad de Construcciones. Teléfono: (+53) 58250189. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Se evalúan variantes de edificaciones sismorresistentes de mampostería reforzada de 2 a 5 niveles para su construcción en las ciudades de Guantánamo y Bayamo, mediante la metodología para la Evaluación Rápida por Análisis Dinámico (ERAD). Para el diseño estructural se utilizaron modelos avanzados en elementos finitos bidimensionales, con el empleo del programa SAP2000v19. Se compararon los espectros de diseño de aceleraciones de dichas ciudades de la NC46:2017 y la zona 2A de la NC46:1999. Para el diseño y chequeo de los elementos se implementaron principalmente la Norma Mexicana de Mampostería Reforzada de 2002 y la ACI318:2014. Los resultados demuestran que en la ciudad de Bayamo solo se permitirán edificios de hasta 4 niveles, si se aligera o se adopta un coeficiente de ductilidad de 2.5; esto garantizaría la ocurrencia de daños mínimos en elementos estructurales. En Guantánamo se requerirá el empleo de ambas medidas para alcanzar el cuarto nivel.

Palabras clave: mampostería reforzada, espectro de diseño, edificaciones sismorresistentes.

ABSTRACT

Variations of seismic resistant buildings of reinforced masonry from 2 to 5 levels are evaluated for their construction in the cities of Guantánamo and Bayamo using the methodology for the Rapid Assessment by Dynamic Analysis (ERAD, Spanish acronym). For the structural design, advanced two-dimensional finite element models were used, using SAP2000v19 program. The acceleration design spectra of these cities NC46: 2017 and zone 2A of NC46: 1999 were compared. For the design and checking of the elements, the Mexican Reinforced Masonry Standard of 2002 and the ACI318: 2014 were implemented. The results show that in the city of Bayamo only buildings of up to four levels will be allowed if they are lightened or if a ductility coefficient of 2.5 is adopted, the latter would guarantee the occurrence of minimal damage in structural elements. In Guantánamo, the use of both measures will be required to reach the fourth level.

Key words: reinforced masonry, design spectrum, earthquake-resistant structures.

INTRODUCCIÓN

La mampostería desde sus inicios ha tenido un papel fundamental en la construcción de obras civiles, pues su uso se remonta a las primeras civilizaciones que poblaron la tierra. Se entiende por mampostería aquella construcción o parte de ella compuesta por unidades sólidas, juntadas entre sí mediante conglomerantes o elementos de agarre mecánico, que formarán posteriormente parte de la estructura resistente. Alcocer (1997) plantea que:

En el pasado, la construcción de edificios de mampostería se hizo mediante el método de prueba y error, es decir, en donde la experiencia de éxitos y fracasos, sirvió para establecer las reglas y costumbres en las edificaciones. Más recientemente se adoptó el esquema de diseño elástico, en el que se limitan los esfuerzos de trabajo a valores menores que ciertos valores admisibles. No fue hasta hace algunas décadas que comenzó a usarse el diseño por resistencia última en la mampostería. En este se pretende aprovechar la resistencia de los materiales y establecer factores de seguridad conocidos para varios estados límites (p. 165).

El daño en estructuras de mampostería después de eventos sísmicos ha llegado a otorgarle a esta tipología constructiva una mala reputación sismorresistente. Pruebas experimentales llevadas a cabo en muchos países de América Latina, Europa y Asia han dejado claro que con el debido cuidado durante su diseño y detallado, las estructuras de mampostería resultan una buena alternativa para la sismorresistencia (Alcocer, 1997).

La mampostería por sí sola posee baja resistencia ante esfuerzos de tracción, lo cual limita su capacidad para resistir cargas laterales y provoca que el comportamiento del material sea frágil ante estos esfuerzos. Sin embargo, es bueno aclarar que los edificios de este material cuentan usualmente con un elevado número de muros alineados en dos direcciones ortogonales, lo que proporciona una alta resistencia a cargas laterales en ambas direcciones. Con el objetivo de mejorar su comportamiento, se les provee a los muros de mampostería un confinamiento proporcionado por dalas y castillos. En algunos casos, también poseen refuerzo vertical y horizontal colocado en el interior de

los huecos del muro, por esto puede contar con una ductilidad aceptable y a su vez evitar la posibilidad de fallo frágil (Meli, 1990).

Esta última descripción dada por Meli (1990) se refiere a la mampostería reforzada, que es aquella que cuenta con muros reforzados con barras o alambres corrugados de acero, horizontales y verticales; colocados en las celdas de las piezas, ductos o juntas. El acero de refuerzo, tanto horizontal como vertical, se distribuirá a lo alto y largo del muro. Los requisitos de los materiales y consideraciones constructivas se corresponderán con los de la norma técnica complementaria, específicamente con la sección correspondiente al diseño y construcción de estructuras de mampostería.

En Cuba la construcción de viviendas es una problemática actual, sobre todo en provincias de la región suroriental, ya que estas exigen, además, soluciones constructivas que garanticen la seguridad sísmica. Las variantes estudiadas de edificaciones sismorresistentes de 2 a 5 niveles en las ciudades de Guantánamo y Bayamo serán nuevas alternativas de construcción para la región oriental de Cuba, de manera que la mampostería reforzada sea una variante constructiva factible y segura en zonas de alta peligrosidad sísmica. Se estudiaron también variantes con una reducción de las cargas sísmicas ofrecidas por la NC 46:2017, asumiendo un factor de reducción por ductilidad de 2.5 y variantes aligeradas; así como una variante en la Zona 2A de la norma cubana NC46:1999. Las edificaciones fueron concebidas en suelo firme clasificado como S2 o C, según las normas de construcciones sismorresistentes NC46:1999 y NC46:2017.

Los resultados obtenidos se corresponden con la solución del Paso 5 de la metodología ERAD (Álvarez, 1994). Las solicitaciones de cálculo son obtenidas a partir de las combinaciones para los estados de cargas de las acciones sísmicas, que consideran las excentricidades accidentales máximas y mínimas de los centros de masas en los entrepisos y cubiertas recomendadas por los reglamentos correspondientes. Para el diseño estructural se utilizan modelos avanzados en elementos finitos bidimensionales (Shell), aplicando la teoría de placas delgadas y utilizando el programa SAP2000 versión 19. Los muros de mampostería reforzada se chequearon mediante la aplicación de las formulaciones necesarias de la Norma mexicana para el diseño de mampostería reforzada de 2002, las vigas de hormigón armado por las

formulaciones del ACI318:2014, para lo cual se elaboraron plantillas de cálculo Microsoft Excel.

En este trabajo no se persiguió como objetivo ofrecer un proyecto ejecutivo de las variantes de edificios estudiadas, sino definir si es factible su construcción a partir de los datos de partida para el diseño estructural. Es por ello que las variantes que resultan construibles deben ser rediseñadas estructuralmente, con vistas a ofrecer proyectos ejecutivos técnicamente racionales que puedan ser sustentables desde el punto de vista económico.

Se realizó específicamente el diseño estructural de los muros de mampostería reforzados interiormente y de las vigas de acople de hormigón armado que los conectan. Se diseñaron y comprobaron siete variantes: una para la zona 2A según la norma de construcciones sismorresistentes vigente NC46:1999; tres para Bayamo y tres para Guantánamo por la NC46: 2014, en las que se incluyen además una variante aligerada y otra para el mismo sitio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó con la aplicación de la metodología ERAD (Álvarez, 1994). Esta se basa en la aplicación del método de análisis modal simplificado, como método de espectro de respuesta a la solución de un modelo de cálculo que simplifica el análisis de edificios con oscilaciones acopladas de translación y torsión. La metodología supone la caracterización del comportamiento sismorresistente de sistemas estructurales a partir del estudio de un número mínimo de variantes de edificios. Estas variantes son obtenidas de la selección de un número de parámetros variables esenciales de proyecto, que pudieran generar variantes con comportamiento estructural diferente ante las acciones sísmicas. La influencia de estos parámetros variables en el comportamiento estructural de las variantes se obtiene a través de la evaluación de un reducido número de parámetros de control. Para la evaluación de la seguridad sísmica se recomienda el criterio de la balanza de ductilidad, en caso de que exista la posibilidad de que la estructura pueda incursionar con éxito en el dominio de comportamiento elasto-plástico del material bajo sollicitaciones producidas por sismos fuertes. En caso contrario, se recomienda que la evaluación de la seguridad sísmica se realice a partir del chequeo de estados límites de

resistencia o estabilidad para el dominio de comportamiento cuasi elástico del material.

La aplicación de la metodología ERAD al estudio de variantes de edificios de viviendas de mampostería reforzada en zonas de alto riesgo sísmico supone que se resuelvan los pasos siguientes:

1. Peligrosidad sísmica y características de la base de suelo soportante.
2. Generación de las variantes de edificios.
3. Evaluación de la tipología estructural y detalles constructivos. Modificaciones al sistema constructivo.
4. Testimonio acerca de la influencia de los parámetros variables seleccionados en el comportamiento dinámico de las variantes de edificios generados.
5. Diseño de las zonas críticas de la estructura.
6. Evaluación de la seguridad sísmica.
7. Comparación económica para estimar costo adicional por seguridad sísmica.
8. Evaluación final.

RESULTADOS

Análisis de la zonificación sísmica según NC 46 (1999) y NC 46 (2017)

Con el fin de aplicar la norma de construcciones sismorresistentes NC46:1999, el territorio nacional se dividió en 4 zonas sísmicas, las cuales se indican en los Mapas de Zonificación Sísmica con Fines de Ingeniería (Figura 1a), y se les asignaron valores de aceleración en fracciones de la gravedad según la zona. Entiéndase por zona sísmica un área geográfica en la cual se admite que la máxima intensidad esperada de las acciones sísmicas en un período de tiempo prefijado es similar en todos sus puntos. La norma de construcciones sismorresistentes NC46:2017 las divide en 5 zonas físicas y una teórica, las cuales se indican en el Mapa de Zonificación Sísmica (Figura 1b).

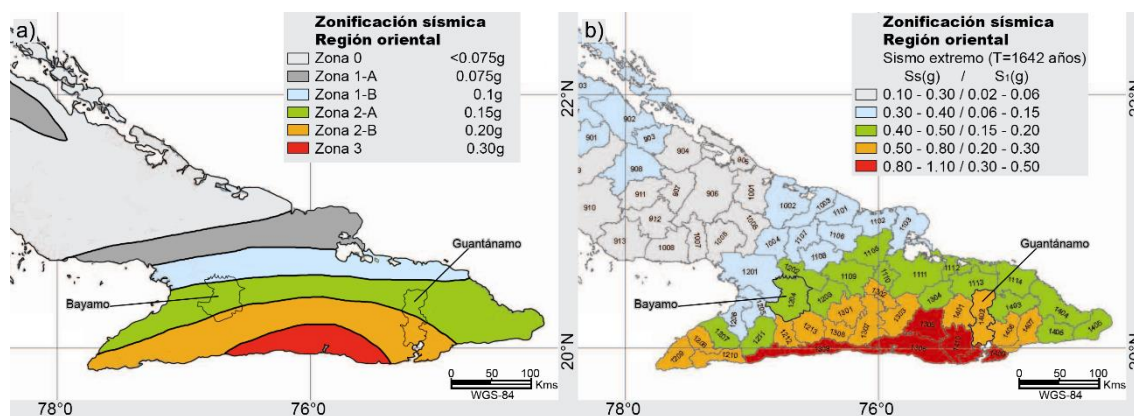


Figura 1. Mapa de zonificación sísmica con fines de ingeniería para la región oriental. a) NC 46:1999. b) NC46: 2017.

Aceleraciones máximas del suelo y características de la base de suelo soportante

Los parámetros más importantes a definir son los que caracterizan la peligrosidad sísmica en el lugar o región donde serán ubicadas las edificaciones objeto de estudio y el tipo de base de suelo soportante según la clasificación de la norma de construcciones sismorresistentes cubana vigente, tomada de la clasificación propuesta en los reglamentos sísmicos norteamericanos. Para realizar el estudio de variantes de edificios de viviendas de mampostería reforzada en zonas de alta peligrosidad sísmica se tomaron en consideración las aceleraciones horizontales máximas del suelo, especificadas por la norma de construcciones sismorresistentes cubana vigente y la nueva norma de construcciones sismorresistentes NC46:2017, referidas al mapa de peligrosidad sísmica de la región oriental. Se decidió que el estudio de las variantes debía realizarse para la zona 2A y específicamente en las ciudades de Guantánamo y Bayamo, debido a que estas ciudades presentan grandes aceleraciones en la base en comparación con otras próximas a la ciudad de Santiago de Cuba. Según los valores especificados de aceleraciones horizontales máximas del suelo para un período de vida útil del edificio de 50 años y una probabilidad de excedencia de un 15 % se corresponden con un período de retorno de 310 años, según se plasma en la nueva norma de construcciones sismorresistentes NC46: 2017, para un período de vida útil del edificio de 50 años y una probabilidad de excedencia de un 10 % se corresponden con un período de retorno de 50 años.

En relación con la base de suelo soportante del sitio de emplazamiento de una edificación, la norma de construcciones sismorresistentes cubana define cuatro tipos de bases de suelo, los cuales se diferencian fundamentalmente según el grado de consolidación de los mismos (rocosos, semirrocosos, medio consolidados y blandos). El tipo de base de suelo soportante define el espectro de respuesta de cálculo de la estructura. Según la norma de construcciones sismorresistentes cubana vigente, una base de suelo soportante S2 se corresponde con depósitos estables de suelos no cohesivos o arcillas duras cuando su profundidad hasta la base rocosa excede los 60 m y los estratos superiores están compuestos por arenas, gravas o arcillas duras (este material puede caracterizarse por una velocidad de propagación de una onda de cortante entre 240m/seg y 450m/seg). Sus períodos están comprendidos entre 0,5 y 0,8 segundos”, por la nueva norma se muestran 6 tipos de suelos y se utilizará el suelo C, que se corresponde, según la NC:46 2017, a suelos muy densos o roca blanda, de cualquier espesor, que cumpla con el criterio de velocidad de la onda de $360 \text{ m/s} < V_s \leq 760 \text{ m/s}$; o de suelos muy densos o roca blanda, de cualquier espesor, que cumpla con cualquiera de los dos criterios $N > 50$, o $S_u \geq 100 \text{ kPa}$ ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$). En este trabajo se asume que las edificaciones objeto de estudio se construirán sobre suelos que pueden ser clasificados como suelos medio consolidados S2 y/o C en las ciudades de Guantánamo y Bayamo.

Hipótesis para la obtención de resistencias de diseño a flexión

La determinación de resistencias de secciones de cualquier forma sujeta a flexión, carga axial o una combinación de ambas se efectuará con el criterio de resistencia a flexo-compresión, que se especifica para concreto reforzado, y con base en las hipótesis siguientes:

- La mampostería se comporta como un material homogéneo.
- La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana.
- Los esfuerzos de tracción son resistidos por el acero de refuerzo únicamente.
- Existe adherencia perfecta entre el acero de refuerzo vertical y el concreto o mortero de relleno que lo rodea.
- La sección falla cuando en la mampostería se alcanza la deformación unitaria máxima a compresión, que se tomará igual a 0.003.

- A menos que los ensayos permitan obtener una determinación de la curva esfuerzo–deformación de la mampostería, esta se supondrá lineal hasta la falla.

Generación de variantes de edificios para el diseño

Se genera un proyecto arquitectónico de edificios de viviendas de 2 a 5 niveles de mampostería reforzada interiormente, en los que la planta de arquitectura, las dimensiones de los elementos estructurales, el tipo y calidad de los materiales de construcción y la función de los edificios no varían; solo se varía el crecimiento vertical, por lo que este resulta el parámetro variable.

Datos de proyecto

Tabla 1. Resumen de los datos de proyecto utilizados para la generación de las variantes de edificios objeto de estudio

Datos de proyecto para la generación de las variantes de edificios				
Datos relativos a la geometría de las variantes				
Número de pisos		2-5		V
Modulación en planta		3.25 x 4.50m		C
Crecimiento vertical		2.70m		C
Caracterización de los materiales de construcción				
Acero G-40	Todos	R _{ak} =300MPa E _a = 210000MPa		C
Hormigón	Losas	R' _{bk} =25MPa E _b = 24000MPa		C
	Viga Cerramento	R' _{bk} =30MPa E _b = 26300MPa		C
	Escalera	R' _{bk} =25MPa E _b = 24000MPa		C
	Viga descanso de escalera	R' _{bk} =25MPa E _b = 24000MPa		C
	Zapata	R' _{bk} =25MPa E _b = 24000MPa		C
Cargas permanentes				
• Peso propio				
Mampostería reforzada	Paredes	R' _{bk} =1.5MPa E _m = 1200MPa		C
	Zócalo	R' _{bk} =1.5MPa E _m = 1200MPa		C
Elementos estructurales	Losa	Espesor: 12cm	24kN/m ³	C
	Viga Cerramento	Sección transversal: 20x50cm	24kN/m ³	C
	Losa de escalera	Espesor: 10cm	24kN/m ³	C
	Descaso de escalera	Espesor: 12cm	24kN/m ³	C
	Viga descanso de escalera	Sección Transversal: 20x30cm	24kN/m ³	C
	Paredes	Espesor: 20cm	21kN/m ³	C
	Zócalo	Espesor: 20cm	21kN/m ³	C
	Zapata	Sección Transversal: 30x40cm	24kN/m ³	C
Elementos no estructurales	No se consideran			
• Revestimientos de pisos e impermeabilización				
Variantes de entrepisos	Pesada	Mosaico (2.5cm), mortero (2.5cm) y atesado (5cm)	2.0kN/m ²	V
	Aligerada	Losa cerámica (10mm), Mortero de nivelación (3cm) y cemento cola	0.8kN/m ²	
Variantes de cubiertas	Pesada	Rasilla (1.25), mortero (2.5cm), atesado (7cm)	2.0kN/m ²	V
	Aligerada	Hormigón celular y manta asfáltica bituminosa	0.6kN/m ²	

Datos de proyecto para la generación de las variantes de edificios			
Cargas temporales			
Entrepisos	Habitaciones de viviendas comunes	1.5kN/m ²	C
Cubierta	Acceso solo para mantenimiento	0.8kN/m ²	C

Nota: V: Variable, C: Constante

Excentricidades de las cargas sísmicas

Las tensiones normales y tangenciales extremas son obtenidas a partir de las combinaciones de cargas de cálculo para las cargas sísmicas ofrecidas por el método estático equivalente, aplicado en cada uno de los pisos en los centros de masas para excentricidades máximas y mínimas resultantes de la consideración de las excentricidades accidentales.

Combinaciones de cargas

Se consideran predominantes las combinaciones de cargas que incluyen las acciones sísmicas definidas a partir de la norma de construcciones sismorresistentes cubana y las cargas gravitatorias. Se analizan además los resultados ofrecidos para las envolventes obtenidas de las combinaciones de cargas consideradas. Para la comparación de los resultados se consideran las mismas combinaciones de cargas y envolventes para el Método estático equivalente y Método de espectro de respuesta, lo cual permite llegar a conclusiones acerca de la influencia de los parámetros variables en los parámetros de control para el diseño de las variantes de edificios estudiadas, definir zonas críticas para cada uno de los elementos estructurales y solicitaciones que se utilizarán en el diseño estructural de las variantes de edificios a construir.

- Combinaciones de cargas según la NC46: 1999

Método estático equivalente (considera las excentricidades accidentales)

Combinaciones de excentricidades máximas (Cargas mayoradas)

$$C5 - 1.2PP + 1.2CP + 1.12CTld + 0.7CTcd + 1.30CSEmax_x + 0.39CSEmax_y$$

$$C6 - 1.2PP + 1.2CP + 1.12CTld + 0.7CTcd + 0.39CSEmax_x + 1.30CSEmax_y$$

$$C7 - 0.9PP + 0.9CP + 1.30CSEmax_x + 0.39CSEmax_y$$

$$C8 - 0.9PP + 0.9CP + 0.39CSEmax_x + 1.30CSEmax_y$$

Combinaciones de excentricidades mínimas (Cargas mayoradas)

C13 - 1.2PP + 1.2CP+ 1.12CTld + 0.7CTcd + 1.30CSEmin_x + 0.39CSEmin_y

C14 - 1.2PP + 1.2CP+ 1.12CTld + 0.7CTcd + 0.39CSEmin_x + 1.30CSEmin_y

C15 - 1.2PP + 1.2CP+ 1.30CSEmin_x + 0.39CSEmin_y

C16 - 0.9PP + 0.9CP+ 0.39CSEmin_x + 1.30CSEmin_y

- Combinaciones de cargas según la norma NC46:2017

Método estático equivalente según la norma NC46:2017

Excentricidades máximas

C5 - 1.2PP + 1.2CP+ 0.2CTld + 0.2CTcd + 1CSEmax_x + 0.3CSEmax_y

C6 - 1.2PP + 1.2CP+ 0.2CTld + 0.2CTcd + 0.3CSEmax_x + 1CSEmax_y

C7 - 0.9PP + 0.9CP+ 1CSEmax_x + 0.3CSEmax_y

C8 - 0.9PP + 0.9CP+ 0.3CSEmax_x + 1CSEmax_y

Excentricidades mínimas

C13 - 1.2PP + 1.2CP+ 0.2CTld + 0.2CTcd + 1CSEmin_x + 0.3CSEmin_y

C14 - 1.2PP + 1.2CP+ 0.2CTld + 0.2CTcd + 0.3CSEmin_x + 1CSEmin_y

C15 - 0.9PP + 0.9CP+ 1CSEmin_x + 0.3CSEmin_y

C16 - 0.9PP + 0.9CP+ 0.3CSEmin_x + 1CSEmin_y

DISCUSIÓN

Los espectros de diseño de aceleraciones responden a la peligrosidad sísmica y tipo de base de suelo soportante de las normas correspondientes en cada uno de los casos, Bayamo Figura 2, a) y Guantánamo Figura 2, b).

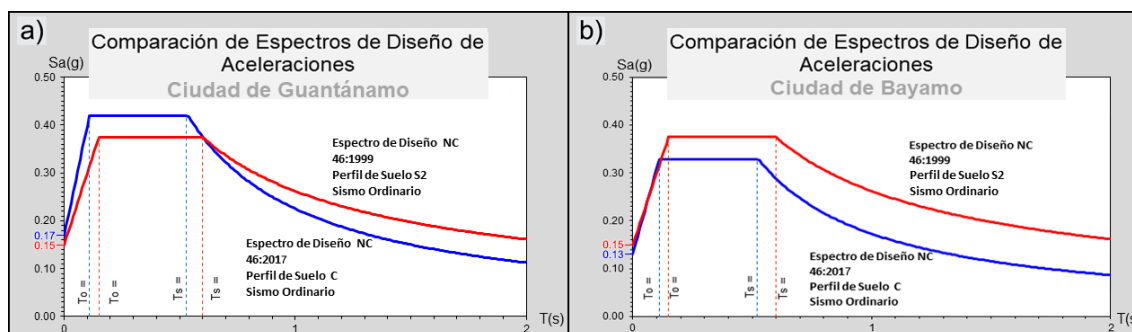


Figura 2. Comparación de los Espectros de Diseño de Aceleraciones. a) Ciudad de Guantánamo (NC 46:2017) y la Zona 2A NC: 46 2017, Zona 2A NC: 46 1999, b) Ciudad de Bayamo (NC46:2017) y la Zona 2A NC: 46 2017, Zona 2A NC:46 1999.

Generación de ficheros Excel para el diseño de muros reforzados y vigas acopladas

Para el diseño de los elementos estructurales se crearon ficheros Excel, donde se procesaron todos los datos según su naturaleza. Se disgregaron los ficheros por tipo de dispositivo (viga acoplada y muro reforzado) y fueron creados 30 ficheros de muros, clasificados en dependencia de su dirección de análisis y su longitud. Además de 21 ficheros de análisis para las vigas acopladas en ambas direcciones de trabajo, para cada una de las variantes de edificio de dos a cinco niveles.

Evaluación de la influencia del cambio de norma de construcciones sismorresistentes en el diseño estructural de las variantes generadas

Una vez estudiado el cambio de norma se evidencia una discreta reducción de las demandas sísmicas horizontales. Esta reducción se debe a que según el nuevo reglamento el peso sísmico disminuye discretamente; esto se ve claramente en los cortantes basales (Figura 3). La disminución del peso sísmico está condicionada por la consideración de un por ciento significativamente menor de cargas de utilización en la NC46:2017, que actúan simultáneamente con las cargas de peso propio y cargas permanentes. Debe

aclararse que la peligrosidad sísmica apenas se modifica en el caso de edificios soportados en bases de suelos rígidos (Perfil C). Para la evaluación de la influencia del cambio de la norma de construcciones sismorresistentes en el diseño estructural de las variantes generadas se consideraron también las acciones sísmicas verticales, según el nuevo código (NC 46, 2017). En el caso del diseño estructural de los muros de mampostería reforzada resultaron incrementos en los esfuerzos axiales, tanto en carga como en descarga, lo que modificó el comportamiento de estos muros a la flexión compuesta.

Una evaluación de la influencia del cambio de norma de construcciones sismorresistentes basada en la revisión del estado límite último de cortante muestra este estado límite como dominante respecto a la flexión compuesta. En cambio, para el código anterior, existen 4 vigas del primer nivel de las variantes de 5 niveles que el diseño no procede debido a que exige de un tipo de refuerzo diagonal, que por razones técnico-constructivas no puede ser dispuesto. Sin embargo, con el cambio de código todas ellas cumplen con este criterio de discriminación.

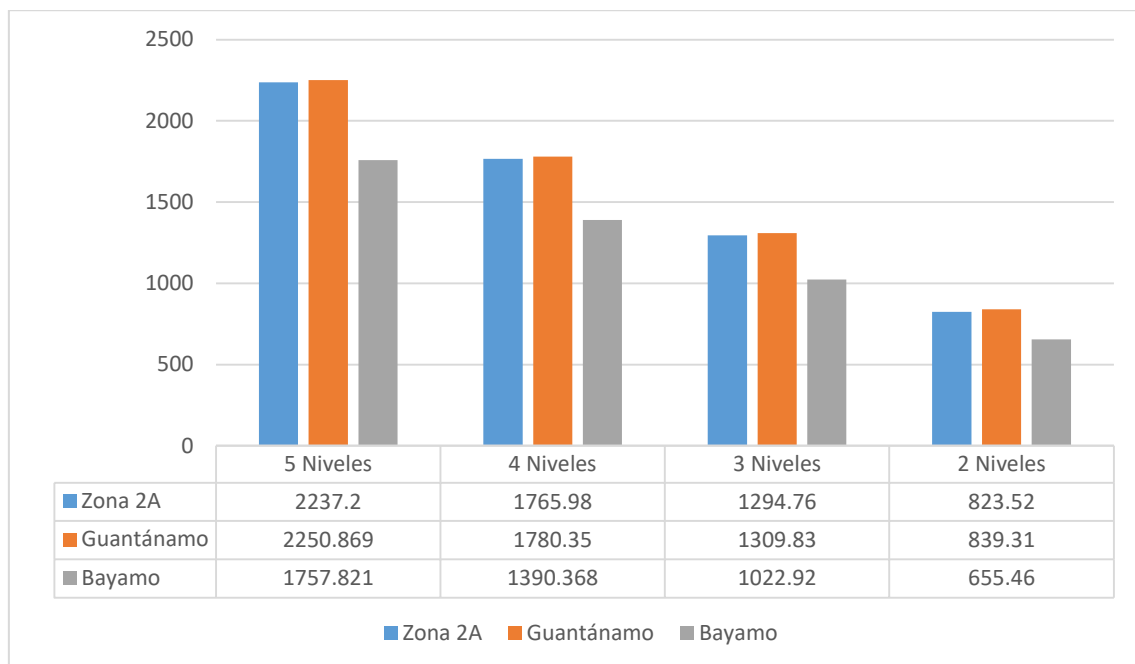


Figura 3. Comparación de los cortantes basales en kN de las variantes generadas

Discriminación de las variantes generadas

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que las variantes de edificios de 5 niveles de mampostería reforzada a construir sobre bases de suelos rígidos pueden ser discriminadas. Las variantes de 3 niveles pueden construirse, incluso considerando un comportamiento cuasi elástico ante las acciones sísmicas de diseño, lo cual garantizaría la ocurrencia de daños mínimos en los elementos estructurales. Las variantes de 4 niveles pueden construirse solo si se considera un comportamiento elásto-plástico. Por otra parte, las variantes de 4 niveles solo pueden construirse si se asumen reducciones por ductilidad moderadas, lo que supondría aceptar daños estructurales en zonas destinadas a disipar la energía sísmica; o si se consideran reducciones adicionales en las cargas gravitatorias (cargas muertas) por innovaciones tecnológicas. La variante de 4 niveles en Guantánamo solo sería posible si se consideran reducciones adicionales en las cargas gravitatorias (cargas muertas) por innovaciones tecnológicas y, además, si se asumen reducciones por ductilidad moderadas.

Tabla 2. Discriminación de las variantes evaluadas

Matriz de discriminación de las variantes evaluadas		
Bayamo Rd=1.5 NC46 (1999)	Bayamo Rd=1.6 NC46 (2017)	Bayamo Rd=2.5 NC46 (2017)
5	5	5
4	4	4
3	3	3
2	2	2
Guantánamo Rd=1.5 NC46:1999	Guantánamo Rd=1.6 NC46:2017	Guantánamo Rd=2.5 NC46:2017
5	5	5
4	4	4
3	3	3
2	2	2

Leyenda: **NEGRO** No procede, **GRIS**-Cumple solo aligerando, **BLANCO** Cumple

CONCLUSIONES

1. La peligrosidad sísmica de la Zona 2A de la NC46:1999 apenas se modifica, considerando la norma NC46: 2017 para bases de suelos rígidos (Perfil_C), en Guantánamo; sin embargo, para Bayamo los cambios son significativos.
2. El cortante basal calculado para un comportamiento cuasi elástico de la zona 2A es muy semejante al de Guantánamo, mientras que el de Bayamo es aproximadamente un 21 % menor que este.
3. Una evaluación de la influencia del cambio de norma de construcciones sismorresistentes en el diseño estructural de los muros de mampostería reforzada y vigas de acople de hormigón armado muestra al estado límite último de cortante como dominante con respecto a los estados de flexión revisados.
4. Los resultados obtenidos en esta investigación permiten definir las variantes de edificios de mampostería reforzada a construir en las ciudades de Guantánamo y Bayamo sobre bases de suelos rígidos:
 - a) No construir variantes de edificios de 5 niveles.

- b) Construir variantes de edificios de hasta 3 niveles, aceptando un comportamiento elástico ante las acciones sísmicas de diseño, lo cual garantizaría la ocurrencia de daños mínimos en los elementos estructurales.
- c) En Bayamo construir variantes de edificios de 4 niveles, si se acepta un comportamiento que considere una ductilidad de 2.5 ante las acciones sísmicas de diseño, o si se reducen las cargas gravitatorias (cargas muertas) por innovaciones tecnológicas.
- d) En Guantánamo construir variantes de edificios de 4 niveles solo si se acepta un comportamiento que considere una ductilidad de 2.5 ante las acciones sísmicas de diseño y, además, si se reducen las cargas gravitatorias (cargas muertas) por innovaciones tecnológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comité Estatal de Normalización (2017). *NC 46: 2017 Construcciones sismo resistentes. Requisitos básicos para el diseño y la construcción*. La Habana, Cuba: autor.

Comité Estatal de Normalización (1999). *NC 46: 1999 Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y la construcción*. La Habana, Cuba: autor.

Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería (2002). Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal. México.

Alcocer, S. M. (1997). Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería. En *Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Veracruz, México.

Meli, R. (1990). *Diseño Sísmico de Edificios de Muros de Mampostería*.

Álvarez, E. R. (1994) *Erdbebensichere Konstruktion rahmen- und scheibenstabilisierter Hochhaeuser*, Dissertation (Tesis Doctoral), HAB–Weimar. Weimar, Deutschland.

Recibido: junio de 2017

Aprobado: diciembre de 2017