



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

SEDE: "OSCAR LUCERO MOYA"

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

TRABAJO DE DIPLOMA

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA
UBICADO EN EL REPARTO VILLA NUEVA ANTE EVENTOS SÍSMICOS

Autor: José Alberto Pupo Soto

Holguín

2017



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

SEDE: "OSCAR LUCERO MOYA"

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA
UBICADO EN EL REPARTO VILLA NUEVA ANTE EVENTOS SÍSMICOS

Autor: José Alberto Pupo Soto

Tutor: Ing. Eddy Fernández Ochoa

HOLGUÍN

2017

PENSAMIENTO

"Ya creas que puedes o que no puedes, en ambos casos tienes razón".

Henry Ford

DEDICATORIA

Dedico este trabajo como muestra de amor y respeto

- A mi abuela aunque ya no este entre nosotros
- A mi familia pero muy especialmente a mi hermano, a mi papa, a mi tío y mi mama por guiarme y hacerme lo soy.
- A mi novia por su ayuda y por su amor incondicional.
- A todos mis profesores pero especialmente a mi tutor Eddy por la ayuda y todos los conocimientos que me han trasmitido.
- A mis amigos por los buenos y malos momentos que nos han forjado.
- A todo los que han contribuido a con su granito.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a todos los que han ayudado a que llegue este día tan especial pero muy especialmente a

- A mis padres a mi tío por su ayuda por estar siempre apoyándome
- A mi novia, a sus padres y sus abuelos por el afecto y la ayuda que me han brindado.
- A mi tutor Eddy
- A todos mis amigos

RESUMEN

En Cuba la construcción de viviendas es una problemática actual, sobre todo en el caso de las provincias de la región suroriental dado que estas exigen además soluciones constructivas que garanticen la seguridad sísmica. En el presente trabajo se evalúa una variantes de edificación multifamiliar de 4 niveles en las ciudad de Holguín , como nuevas alternativas de construcción para la región oriental de Cuba de manera que la mampostería reforzada sea una alternativa constructiva factible y segura en zonas de alta peligrosidad sísmica. Las edificaciones serán construidas en suelo firme clasificado como S2 o C según la norma sísmica cubana NC46:1999 y la propuesta de norma sísmica NC46:2014. Los resultados obtenidos se corresponden con la solución del Paso 5 de la metodología ERAD, la cual se aplica al estudio de las variantes generadas, dando lugar a futuras investigaciones. 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 15. Los muros de mampostería reforzada se chequean aplicando las formulaciones necesarias de la Norma Mexicana para el diseño de mampostería reforzada del 2002; y las vigas de hormigón armado por las formulaciones del ACI318:2008, para lo cual se elaboraron plantillas de cálculo EXCEL. Se estudiaron también variantes con una reducción de las cargas sísmicas ofrecidas por la NC46 2014 asumiendo un factor de reducción por ductilidad de 2.5, y variantes aligeradas; así también como una variante en la Zona 2A de la norma cubana NC46:1999. En este trabajo no se persiguió como objetivo ofrecer un proyecto ejecutivo de las variantes de edificios estudiadas, sino definir si son construibles a partir de los datos de partida para el diseño estructural. Es por ello que las variantes que resulten finalmente construibles deben ser rediseñadas estructuralmente con vista a ofrecer proyectos ejecutivos técnicamente racionales que puedan ser sustentables económicamente.

ABSTRACT

Nowadays, housing construction constitutes a problem in our country, particularly in the case of the southeastern provinces, since they also demand constructive solutions to guarantee seismic resistance. In this paper, there are evaluated several variants of earthquake resistant buildings of two to five levels in the cities of Guantánamo and Bayamo, as new building alternatives for the eastern region of our country, in such a way that the reinforced masonry would be a feasible and save constructive choice in those areas of high seismic risk. The aforementioned buildings will be constructed on firm soil, classified as S2 or C according to the Seismic Cuban Standard NC46:1999 and the seismic standard proposition NC46:2012. The obtained results are in correspondence with the solution of the Fifth Step of the ERAD methodology, which is applied to the study of the generated variants, which give rise to future investigations.

Calculation loadings are obtained starting from the combinations for the load cases of the seismic actions that take into account maximum and minimum accidental eccentricities of mass centers in mezzanines and roofs; which are recommended by the correspondent building codes. Advanced models in two-dimensional finite elements (Shell) are used for the structural design, applying the thin plates theory and using SAP 2000 version 15.

Masonry walls and reinforced concrete beams that connect them are checked applying formulations recommended by the Mexican Code for the design of reinforced masonry buildings of 2002 and ACI 318 formulations: 2008, respectively, which were developed on EXCEL calculation templates.

There were also studied variants with a reduction of the seismic loads offered by the NC46:2012, assuming a ductility reduction factor of 2.5 and lightened variants, as well as a variant on the 2A Zone according to Cuban Seismic Code NC 46:1999

In this paper, the pursued goal was not to offer an executive project of the studied building variants, but to define whether they can be (or not) constructed. That is why the variants that could be constructed must be structurally redesigned with a view to

offer executive projects that would be technically rational and could be financially sustainable.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES SOBRE EL EMPLEO DE LA MAMPOSTERÍA EN ZONAS SÍMICAS.....	7
I.1 Generalidades	7
I.2 Uso de mampostería en zonas sísmicas	7
I.2.1 Mampostería confinada.....	8
I.2.2 Mampostería reforzada	9
I.3 Revisión normativa	10
I.4 Consideraciones para el diseño sísmico.....	14
I.5 Consideraciones y requisitos de los materiales	17
I.5.1 Piezas y/o material del muro	17
I.5.2 Mortero para pegar piezas	17
I.5.3 Morteros y concretos de relleno	19
I.5.4 Anclaje	19
.....	20
I.5.5 Consideraciones del refuerzo.....	20
I.5.6 Dobleces del refuerzo	22
I.5.7 Refuerzo en los extremos de muros.....	23
I.6 Formulaciones para el cálculo de la Mampostería Reforzada	24
I.6.1 Cuantías de acero de refuerzo horizontal y vertical	24
I.6.2 Muros con aberturas	25
I.6.3 Muros transversales	25
I.6.4 Pretiles	26
I.6.5 Supervisión	27
I.7 Hipótesis para la obtención de resistencias de diseño a flexión	27

I.8 Resistencia a compresión de mampostería con refuerzo interior	28
I.9 Resistencia a flexo-compresión en el plano del muro.....	28
I.10 Resistencia a cargas laterales	30
I.11 Fuerza cortante resistida por la mampostería.....	30
I.12 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal	31
I.13 Comportamiento sísmico en muros	32
I.13.1 Muros de mampostería no reforzada	32
I.13.2 Muros de mampostería confinados	32
I.13.3 Muros reforzados interiormente.....	33
I.13.4 Muros no estructurales.....	33
CAPÍTULO II: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE MAMPOSTERÍA Y SU PROPUESTA EN MAMPOSTERÍA CONFINADA.....	35
II.1 Descripción del objeto de estudio	35
.....	37
II.2 Procedimiento y consideraciones para la modelación	37
II.3 Cálculo del espectro de diseño:.....	38
II.4 Estados de carga.....	39
II.5 Análisis de los resultados	41
II.6 Descripción de la propuesta	45
II.6.1 Diseño de Dalas y Castillos.....	46
II.6.2 Ubicación de Dalas y Castillos.	47
II.6.3 resistencia a compresión de muros confinados.	47
II.6.4 resistencia a flexocompresión de la mampostería	48
CONCLUSIONES GENERALES	50
RECOMENDACIONES	51

BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXO 1, TABLA DE VALORES ESPECTRALES (T vs SA)	54

INTRODUCCIÓN

La mampostería desde sus inicios ha jugado un papel fundamental en la construcción de obras civiles, dado que su uso se remonta a las primeras civilizaciones que poblaron la tierra. Entiéndase por mampostería aquella construcción o parte de ella, compuesta por unidades sólidas, unidas entre sí mediante conglomerantes o elementos de agarre mecánico, que formarán posteriormente parte de la estructura resistente.

Disímiles han sido los materiales empleados a lo largo de la historia como elementos componentes de la mampostería. Con el transcurso de los años los procesos de fabricación han ido evolucionando, sin embargo, la forma de colocación de este material continúa siendo a mano, y es ésta una de las variables que más incide en su comportamiento final. 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.

La reputación de la mampostería como material para estructuras resistentes a sismos es mala a nivel internacional, puesto que los informes dados de la mayoría de los sismos importantes destacan su mal desempeño y el alto número de colapsos de construcciones de este material. Sin embargo, estas anotaciones se refieren casi siempre a construcciones de mampostería no reforzada y de materiales pobres como el adobe. Hay que reconocer que la baja resistencia a tracción de la mampostería limita fuertemente la capacidad de los muros para resistir cargas laterales y que el comportamiento del material es inherentemente frágil. No obstante, 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. Además, con el confinamiento proporcionado por las dadas y castillos o con el refuerzo horizontal y vertical colocado en el interior de los huecos del muro, se puede evitar la posibilidad de un colapso frágil y proporcionar una aceptable ductilidad a los muros (Meli, 1990).

En algunos países, como Estados Unidos de América, Nueva Zelanda y Japón, la única opción técnica y económica es la mampostería reforzada. En esta modalidad, el comportamiento es comparable al de muros estructurales de concreto reforzado. Sin embargo, el éxito de esta solución radica en buena parte en que su ejecución sea adecuada. Sólo estos países, con un mayor nivel tecnológico en la industria de la construcción, y con una preparación más amplia de los obreros, pueden adoptar este sistema. En él, los huecos, verticales y horizontales, de los bloques alojan el refuerzo y son rellenados con mortero. Aunque el daño excesivo observado en estructuras de mampostería después de eventos sísmicos de diferente intensidad ha llegado a ganarle a la mampostería una mala reputación como material sismorresistente, las pruebas experimentales llevadas a cabo en México y en algunos países de América Latina, Europa y Asia, han dejado claro que con el debido cuidado durante su diseño y detallado, estas resultan una buena alternativa para la sismorresistencia. A pesar de lo anterior, es importante mencionar que todavía hay muchos casos de relevancia para la práctica de la ingeniería estructural para los que no se cuenta con la información suficiente sobre el comportamiento de muros y sistemas estructurales de mampostería (Zúñiga y Terán, 2008).

La mampostería reforzada no ha cobrado auge en muchos países ya que no se ha podido implantar una práctica para su correcta ejecución. En diversos casos en que se ha aplicado, se ha encontrado que el refuerzo no se había colocado en la cantidad y posición adecuadas, así como que el colado de los huecos interiores se había efectuado de manera defectuosa. Por otra parte, en algunos países latinoamericanos ubicados en zonas sísmicas, se ha popularizado el empleo de edificios multifamiliares de altura media (hasta 5 ó 6 pisos), con muros de carga de 12 a 24 cm de espesor, de mampostería, con elementos perimetrales de concreto reforzado o de mampostería con refuerzo interior, diseñados y construidos con la base de reglamentos propios que recogen las investigaciones y experiencias realizadas.

Cuba es una región con vulnerabilidad sísmica moderada, en la que se presentan dos formas de génesis de sismos: de entre placas y de interior de placas. La primera se presentan en el borde sur de la región oriental de Cuba, mientras que la de interior de placas, conocida también como zonas sismogénicas de baja actividad, se presentan fundamentalmente en la región central y oriental del país; motivo por el cual se debe replantear las técnicas empleadas tradicionalmente para la construcción en mampostería. Debido a su bajo costo en comparación con el hormigón y el acero posee un amplio empleo en viviendas y edificios de viviendas, por lo que se hace necesario revisar la capacidad soportante de un edificio de mampostería ubicado en el reparto Villa Nueva, manzana diez, ante la ocurrencia de un sismo y así evitar el fallo total o parcial de la estructura. De esta forma surge la contradicción siguiente: resistirá el edificio anterior la carga sísmica correspondiente a la zona dos de la NC 46 del 2014.

El **problema** de investigación de este trabajo es la vulnerabilidad de un edificio de mampostería no reforzada ante eventos sísmicos.

El **objeto** de la investigación lo constituye el edificio de mampostería ubicado en el reparto Villa Nueva manzana diez.

El **campo de acción** de la investigación es el diseño sismorresistente de un edificio multifamiliar de mampostería.

Como **objetivo general** se definió realizar el diagnóstico del comportamiento sísmico de la variante de edificio multifamiliar de mampostería empleado en el reparto Villa Nueva, Holguín.

Los **objetivos específicos** propuestos son:

- Realizar un análisis del estado del arte en lo concerniente al empleo de la mampostería como material de construcción en zonas sísmicas.
- Analizar del comportamiento estructural de la variante de edificio multifamiliar de mampostería ubicado en el reparto Villa Nueva, manzana diez, Holguín.
- Evaluar la vulnerabilidad sísmica de la variante de edificio multifamiliar de mampostería.

La **hipótesis** se sustenta en que realizando el análisis del comportamiento sísmico de la variante de edificio multifamiliar de mampostería empleado en la manzana diez del reparto Villa Nueva, Holguín, permitirá demostrar la vulnerabilidad sísmica de estos.

Para el desarrollo de la investigación se consideran las siguientes **tareas científicas** en base a los objetivos específicos señalados:

Investigación inicial:

- Realizar un estudio documental que permita establecer el estado de la ciencia en lo concerniente al diseño en mampostería en zonas sísmicas.
- Fundamentar desde lo teórico el proceso de diseño de edificios de mampostería en zonas sísmicas.

Modelación de los casos de estudios

- Análisis del proyecto ejecutivo de los edificios multifamiliares de mampostería empleados en la manzana diez del reparto Villa Nueva, Holguín.
- Modelar en el software sap2000 la tipología seleccionada de edificio de mampostería.
- Evaluar la resistencia estructural de la variante seleccionada.
- Estimar los valores de desplazamientos en la estructura bajo los efectos de carga sísmicas.
- Evaluar la vulnerabilidad sísmica de la variante de edificio multifamiliar de mampostería seleccionado.

Variable dependiente: Comportamiento de las estructuras de mampostería

Variable independiente: Excitación sísmica

Declaración de los métodos de investigación:

Métodos Teóricos

Histórico – Lógico: Para realizar un análisis histórico de las estructuras de mampostería y la resistencia de esta ante la ocurrencia de cargas sísmicas. Resulta importante además para el análisis cronológico de los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan al objeto y campo de la investigación.

Hipotético – Deductivo: Para la elaboración de las preguntas científicas de la investigación, precisión de las variables y la asunción de una lógica investigativa.

Sistémico-Estructural: Para conformar el aporte de la investigación con un enfoque sistémico que considere su estructura, componentes y relaciones que se dan entre ellos.

Modelación: Para la elaboración de modelos que permitan comprender el alcance y significación del aporte de la investigación.

Análisis-Síntesis: Para el análisis de la información procedente de la caracterización histórica, teórico-metodológica y empírica del objeto y campo de la investigación.

Métodos Empíricos

Análisis documental: Para la búsqueda de información relacionada con la caracterización histórica, teórico-metodológica y empírica del objeto y campo de la investigación.

Observación científica: Para la realización del diagnóstico del objeto y campo de la investigación.

Métodos Estadísticos- Matemáticos:

Estadísticos descriptivos: Para precisar la población y la muestra, el procesamiento y la presentación de los resultados provenientes del diagnóstico del objeto y campo de la investigación.

El **aporte** de la investigación consiste en evaluar si la estructura resiste las cargas sísmicas definidas en la norma vigente.

La **novedad científica**: el análisis realizado a la estructura de mampostería ante eventos sísmicos considera la actual norma vigente (NC 46 de 2014), para la cual dicha estructura no ha sido revisada.

Actualidad de la investigación: La investigación está contenida dentro de una de las líneas de investigación del departamento de construcciones de la “Universidad de Holguín”: Resiliencia físico-espacial de elementos estructurales e hidrotécnicos, recursos naturales y urbanos.

La estructura del informe consta de dos capítulos, conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

El capítulo 1 se corresponde fundamentalmente con el uso de la mampostería en zonas sísmicas, las propiedades de los materiales que la constituyen y los diferentes tipos de comportamientos que esta asume ante las cargas sísmicas.

El capítulo 2 se encamina a todo el proceso de modelación, análisis, obtención de las sollicitaciones en la tipología de estructura utilizada y revisión de los elementos estructurales del objeto de estudio ante dichas cargas según la norma vigente en Cuba. Además del planteamiento de propuestas, encaminadas a un mejoramiento de la estructura ante la ocurrencia de un sismo.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES SOBRE EL EMPLEO DE LA MAMPOSTERÍA EN ZONAS SÍMICAS

Con el siguiente capítulo se pretende exponer cuáles han sido los antecedentes históricos del uso de la mampostería estructural en zonas de mediano a alto peligro sísmico, en el marco nacional e internacional. Se toma como referencia la norma cubana pero al mismo tiempo se entabla una comparación entre esta y la norma mexicana para conocer ventajas y desventajas. Se abordan cuestiones tales como el comportamiento de los muros, consideraciones para el diseño etc., muy importantes a la hora de diseñar cualquier estructura de elementos de mampostería (Lora, 2013).

I.1 Generalidades

La mampostería es un material que está formado a partir de la unión de varios materiales, lo cual influye en su comportamiento no elástico. En la misma se interrelacionan las unidades de mampostería, unidas a través de un mortero, el cual generalmente se elabora con cemento Portland, además estará presente el mortero del refuerzo como un tercer elemento, lográndose la transferencia de esfuerzos a través de dicho mortero, llamado mortero de macizado.

La mampostería reforzada es aquella con muros reforzados con barras o alambres corrugados de acero, horizontales y verticales, colocados en las celdas de las piezas, en ductos o en las juntas. El acero de refuerzo, tanto horizontal como vertical, se distribuirá a lo alto y largo del muro.

I.2 Uso de mampostería en zonas sísmicas

El uso de la mampostería a nivel mundial ha tenido tal auge que pasa de ser simplemente barato a formar parte de la cultura constructiva. Antiguamente, las viviendas y locales de distintos usos se fabricaban a base de adobe y mampostería formada por materiales débiles y de baja densidad, muchas veces sin usar aglomerantes y carente de algún refuerzo. Debido a esto existen ejemplos de ciudades que han sido gravemente afectadas, entre ellas: Pakistán que quedó en ruinas tras el terremoto del ocho de octubre del 2005 de magnitud 7.6 en la escala de Richter y que dejó un aproximado de 73 000 muertos, destrucción total de 600 000 edificios en la zona, 6 298 instituciones de educación y 782 instalaciones de

salud(Russell, 2008), Italia que el seis de abril del 2009 sufrió también un sismo que causó 305 muertos y más de 15 000 edificios dañados(Russell, 2008).

Países como México y Chile se vieron en la necesidad de implementar requisitos de diseños más estrictos y variar los coeficientes de seguridad, para lograr mejores resultados en su utilización en zonas sísmicas. Dado que el adobe y la mampostería no reforzada han tenido un desempeño desfavorable ante sismos medianos e intensos, actualmente las más idóneas son la mampostería confinada y la mampostería reforzada dado sus grandes resultados en cuanto a la resistencia de cargas dinámicas; aunque, es válido aclarar, que en México prácticamente se ha descartado la utilización de esta última ya que conlleva un elevado rigor y control a la hora de su construcción y aun así, existe la posibilidad de presentar las siguientes desventajas constructivas planteadas por Ruiz (2003):

- fallas locales de las piezas huecas por el desprendimiento de sus paredes.
- inadecuado anclaje del refuerzo interior en los elementos exteriores.
- necesidad de altas cantidades de refuerzo interior para asegurar un buen comportamiento.
- puede presentar oquedades en las piezas luego del colado.

Cuba, debido a la influencia colonial y por cuestiones de economía, es un país con un alto porcentaje de construcciones de mampostería de uno y hasta cuatro niveles, muchas construidas sin el asesoramiento de un ingeniero; fundamentalmente, provincias orientales como Guantánamo, Holguín, Granma y Santiago de Cuba son zonas de gran intensidad sísmica con valores históricos máximos registrados de 7.0, 8.0 y hasta 9.0 en la escala de Richter (Chuy, 2014).

I.2.1 Mampostería confinada

La llamada mampostería confinada consiste en rodear perimetralmente al muro de carga con elementos de concreto reforzado (castillos y dalas) de secciones transversales pequeñas, con el fin de proporcionar a este un confinamiento; mejora su ductilidad y le permite soportar repeticiones de carga lateral sin deteriorarse excesivamente. Las dimensiones transversales de los castillos y dalas varían entre

los países; en México el ancho es igual al espesor del muro y el peralte típico es de 15 y 25 cm respectivamente (Sánchez, 1995).

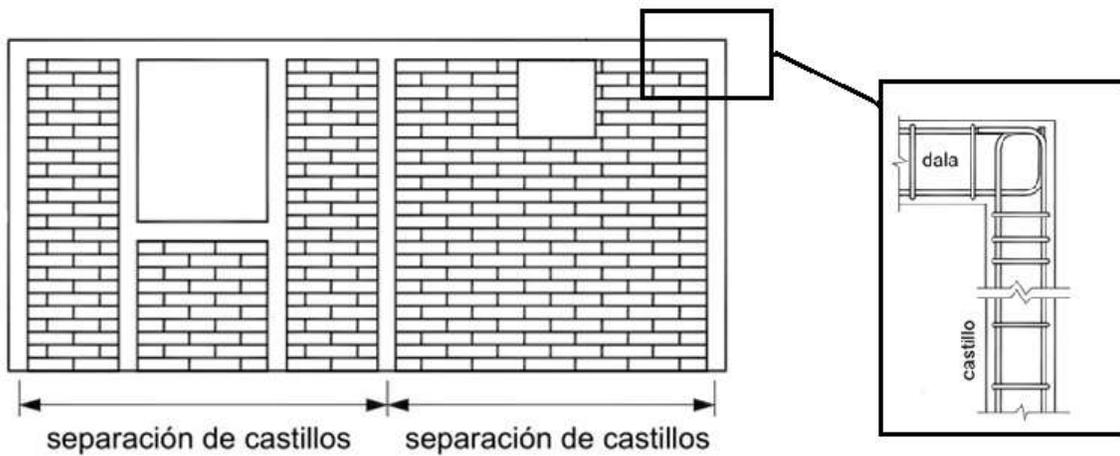
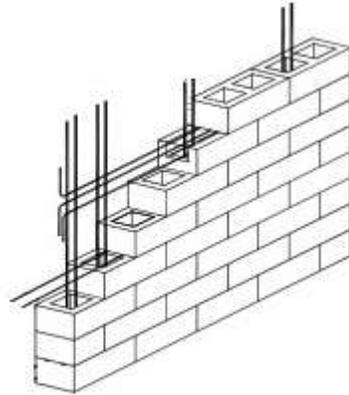


Figura I.1 mampostería confinada

I.2.2 Mampostería reforzada

En la mampostería reforzada interiormente se distribuye el refuerzo horizontal y vertical en el interior del muro, aprovechando para ello piezas huecas o con formas especiales para alojar el refuerzo y colar los huecos con mortero o lechada de elevada fluidez. En otros casos se construyen muros con piezas macizas alojando el refuerzo horizontal a lo largo de las juntas. En el caso de muros reforzados, el reglamento establecido por las normas asociadas a cada país especifica requisitos de construcción y cuantías mínimas del acero de refuerzo. Cabe mencionar que este es el sistema de mampostería más conocido y utilizado en países como Japón, Estados Unidos, Nueva Zelanda e Italia, entre otros (Sánchez, 1995).



mampostería con refuerzo interior

Figura I.2 mampostería reforzada interiormente

I.3 Revisión normativa

Norma Mexicana

Mampostería confinada.

Primeramente la norma plantea un factor de comportamiento sísmico (Q) que diferencia su valor en dependencia del tipo de pieza y de refuerzo a utilizar, tanto en mampostería confinada como en la reforzada interiormente; exige la presencia de castillos en los extremos de los muros, en las intersecciones con otros muros y en puntos intermedios a una distancia no mayor que 1.5 de la altura del muro o 4 metros, así como dalas en todo extremo horizontal de los muros a menos que este último, esté ligado a un elemento de concreto reforzado con un peralte mínimo de 100 mm. Además, existirán dalas en el interior del muro a una separación no mayor de 3 m y en la parte superior de pretilas o parapetos cuya altura sea superior a 500 mm. El concreto de castillos y dalas tendrá una resistencia a compresión, f_c' , no menor de 15 MPa (150 kg/cm²).

Mampostería reforzada.

En este caso se expone que la resistencia ante cargas verticales y laterales de un muro de mampostería reforzada interiormente, deberá revisarse para el efecto de carga axial, la fuerza cortante, de momentos flexionantes en su plano y, cuando proceda, también para momentos flexionantes normales a su plano principal de

flexión. En la revisión ante cargas laterales solo se considerará la participación de muros cuya longitud sea sensiblemente paralela a la dirección de análisis.

Cuando sean aplicables los requisitos del método simplificado de diseño sísmico (sección 3.2.3.3 de dicha norma), la revisión ante cargas laterales podrá limitarse a los efectos de la fuerza cortante. Cuando la estructura tenga más de tres niveles, adicionalmente a la fuerza cortante, se deberán revisar por flexión en el plano los muros que posean una relación altura total a longitud mayor que dos.

También plantea las cuantías de acero para el refuerzo vertical y horizontal, criterios que la norma cubana no tiene en cuenta:

$$p h + p v \geq 0.002 \quad (I.1)$$

$$p h \geq 0.0007; p v \geq 0.0007 \quad (I.2)$$

donde ph es la cuantía de acero de refuerzo horizontal y pv es la cuantía de acero de refuerzo vertical.

Además, el refuerzo vertical en el interior del muro tendrá una separación no mayor de seis veces el espesor del mismo ni mayor de 800 mm. El espesor de la mampostería de los muros, t , no será menor que 100 mm (por debajo de lo que plantea la norma cubana) y la relación altura a espesor de la mampostería del muro, H/t , no excederá de 30.

Norma Cubana

La NC 774 del 2012 aborda muy poco sobre el uso de la mampostería reforzada y confinada especialmente en zonas sísmicas, por lo que se hace un análisis para entablar una comparación entre esta y las normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería del Distrito Federal de México.

Sobre la mampostería reforzada la (NC 774 del 2012) plantea:

(1) La resistencia de los elementos de mampostería armada se calculará mediante una teoría que considere el comportamiento no lineal de los materiales y los efectos de segundo orden.

(2) Las propiedades de deformación del hormigón de relleno se considerarán iguales a las de la mampostería.

(3) El proyecto de elementos de mampostería armada con sollicitación normal, de compresión o de flexión simple o compuesta, se fundamentará en las siguientes hipótesis:

- la sección se mantiene plana.
- la armadura tiene la misma variación de deformación unitaria que la mampostería.
- la resistencia a tracción de la mampostería es nula.
- la máxima deformación a compresión de la mampostería depende del material.
- la máxima deformación a tracción de la armadura depende del material.
- el diagrama tensión-deformación de la mampostería puede ser parabólico, parabólico-rectangular o rectangular.
- el diagrama tensión-deformación de la armadura puede ser el bilineal simplificado.
- en secciones con solo esfuerzo normal de compresión, la deformación unitaria se limita a 0,002.
- en secciones parcialmente comprimidas, la deformación unitaria límite a compresión se tomará igual a 0,0035 (ver Figura 6.1). En situaciones intermedias, el diagrama se define admitiendo que la deformación unitaria es 0,002 a 3/7 de la altura de la sección, medida desde la cara más comprimida.

(4) Las reglas de aplicación se refieren a flexión recta y esviada, e incluyen muros y vigas.

(5) Cuando una zona comprimida incluya parte de mampostería y parte de hormigón, como resistencia de diseño de dicha zona se tomará la del material menos resistente.

Además, espesores mínimos de muros de carga para cada tipo de material (125 mm si es de ladrillo y 150 mm si es de bloque), un solape entre piezas de 0.4 veces el grueso de la pieza y no menor de 40 mm, el espesor de las juntas

horizontales y verticales será mayor que 7 mm y menor que 13 mm, y estas deberán ser totalmente llenas. En el caso del armado, este trabajará solidariamente con la mampostería. Cuando las armaduras de acero estén incluidas en las juntas horizontales, el espesor mínimo del recubrimiento desde la armadura hasta la cara de la mampostería será de 15 mm, y sobre y bajo la armadura no será menor que 2 mm. El área de la armadura será la mínima requerida para cumplir los correspondientes criterios de cálculo y en elementos de mampostería con armaduras para cumplir la resistencia, el área de la armadura principal no será menor que el 0,10% del área de la sección de la mampostería. El área de la armadura transversal no será menor que 0,05% del producto del ancho total por el canto útil.

De la mampostería confinada plantea:

- (1) La mampostería confinada se construirá con elementos armados verticales y horizontales de modo que se limite la deformación de la mampostería a causa de acciones en su plano.
- (2) La mampostería confinada se construirá entre elementos de hormigón armado o de mampostería armada, horizontales en cada piso, y verticales en las intersecciones de muros y a ambos lados de cada hueco de área mayor que 1,5 m². Se dispondrán elementos adicionales de hormigón armado o mampostería armada cuando sean necesarios para cumplir con la separación máxima entre ellos, tanto vertical como horizontal, de 4 m.
- (3) El área de la sección de los elementos confinantes de hormigón armado o de mampostería armada no será menor que 0,02 m², con una dimensión mínima de 100 mm y un área mínima de armadura de 0,02 t mm² (siendo t el espesor del muro), ni menor que 200 mm².
- (4) Los elementos armados se hormigonarán en la mampostería después de ejecutada y se anclarán a ésta.

(5) Cuando se emplee mampostería confinada según el apartado 6.8 de la NC774 del 2012, se colocarán barras de diámetro no menor que 6 mm y a separación no mayor que 600 mm correctamente ancladas en el hormigón de relleno y en las juntas de mortero.

En cuanto a las dimensiones prefijadas mínimas y máximas, se usan los mismos criterios que la mampostería reforzada, con la diferencia de que reflejan los enlaces entre muro-muro o muro-otro elemento para la transmisión de acciones verticales y laterales.

I.4 Consideraciones para el diseño sísmico

Gran parte de la región latinoamericana se encuentra ubicada en zonas de amenaza sísmica importante. La población de menores recursos, resuelve mayoritariamente su problema de vivienda construyéndolas con muros portantes de mampostería. Muchos países cuentan con normas y reglamentos para el proyecto de edificaciones de mampostería estructural que facilitan el diseño sismoresistente; otros las tienen, pero menos detalladas. Esta particular condición no resulta conveniente pues se pueden aplicar normas calibradas para otras regiones con diferentes materiales y técnicas constructivas.

Es frecuente la vulnerabilidad de estas edificaciones al no contar con los detalles del diseño, requiriéndose identificar los mecanismos frágiles para evitarlos en todo lo posible. Primeramente, hace falta considerar dos aspectos importantes: el primero de ellos se presenta con las alternativas de los tipos de elementos a utilizar y el segundo en la confianza con las propiedades mecánicas de los materiales a emplear. La mampostería se viene utilizando para la fabricación de columnas, vigas, paredes o muros, pero la posibilidad de generar elementos estructurales confiables depende, entre otras cosas, del conocimiento y control de los materiales que lo componen (Castillas, 1998).

Según Castilla (1996), la ocurrencia de sismos en el territorio venezolano y en gran parte de Latinoamérica, demuestra que la inmensa mayoría de los fracasos dados por la mampostería estructural obedeció más a vulnerabilidades generadas por deficiencias constructivas, que a la mala conducta de la mampostería. No cerrar los

lazos de confinamiento, interrumpir arbitrariamente el acero de refuerzo, no anclar debidamente las vigas de corona (dala) con los machones (castillo), el amarre inadecuado de sistemas de pisos y techos a los muros y la mala calidad de los materiales, son algunas de las deficiencias que han generado peligrosos daños. En el caso de la mampostería confinada, la presencia de aberturas como ventanas y puertas pone en condición desventajosa al muro, al proporcionarle por adelantado una gran grieta; la falta de vaciado con mortero a las juntas verticales de la mampostería, también genera un estado de pre-agrietamiento diagonal de los muros, así como una incorrecta colocación de los servicios.

Según (Castilla, 1998), una propuesta moderna de norma sería el diseño por agotamiento resistente de los materiales, con aspectos extras a tener en cuenta como: los factores de mayoración de carga y los coeficientes de minoración de la resistencia; para este último se debe tomar en cuenta la calidad impredecible de la mano de obra y las tolerancias dimensionales y de resistencia.

Por otra parte, están los considerados edificios altos, en los cuales debe evitarse una relación de aspecto elevada (relación entre altura y ancho). Un aumento desenfrenado en la relación de aspecto de un muro, resulta en un cambio drástico en su comportamiento ante cargas laterales, lo que conlleva un cambio de una respuesta lateral dominada por corte a una dominada por flexión. De acuerdo con (Valenzuela, 2009), los edificios de mampostería exhiben una reducción sustancial de la sobrerresistencia (en relación a su resistencia lateral de diseño) conforme se incrementa su número de pisos.

Según la (NC 46 del 2014) se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de realizar el diseño:

- los edificios y cada una de sus partes deberán ser diseñados y construidos para resistir las sollicitaciones sísmicas de cálculo, de acuerdo con el peligro sísmico de la zona, el tipo de perfil del suelo donde estén ubicados y con el tipo, uso e importancia de la obra.

- se considerará que las fuerzas horizontales del sismo actúan según las dos direcciones principales de la estructura o en las direcciones que resulten más desfavorables.
- las cargas deben transferirse desde su punto de aplicación hasta su punto final de resistencia. Por lo tanto debe proveerse una trayectoria o trayectorias continuas, con suficiente resistencia y rigidez para garantizar la adecuada transmisión de las cargas hasta la cimentación. La cimentación debe diseñarse para los efectos de las cargas y los movimientos sísmicos.
- la distribución en planta de las fuerzas horizontales para el caso de edificaciones que cuenten con diafragmas rígidos al nivel de los pisos, será de acuerdo con las rigideces de los elementos resistentes, debiendo existir compatibilidad entre las deformaciones de esos elementos.
- si los elementos no estructurales pudieran afectar significativamente el comportamiento sísmico de la estructura deberán ser considerados en el análisis, y detallarse en el proyecto el refuerzo y/o anclaje de estos de manera concordante con esta condición.
- si se considera que los elementos no estructurales no afectarán significativamente el comportamiento sísmico de la estructura deberá detallarse en el proyecto el refuerzo y/o anclaje de éstos de manera concordante con esta condición.
- los elementos estructurales y no estructurales tales como paredes de hormigón y mampostería deberán ser ancladas a todos los entrepisos y cubiertas, los cuales le proporcionan soporte lateral ante las cargas horizontales que actúan tanto en el plano de la pared como normal a este.
- cuando al distribuir la fuerza horizontal, un sólo elemento de la estructura, tímpano o pórtico resiste una fuerza del 30 % o más del total de la fuerza horizontal en cualquier nivel, dicho elemento deberá diseñarse para el 125 % de dicha fuerza.
- en el diseño de edificios en donde el sistema de resistencia sísmica no sea hiperestático, debe tenerse en cuenta el efecto adverso que implicaría en la estabilidad del edificio el fallo de uno de los miembros o conexiones.

- los cálculos se harán para el estado límite de resistencia así como para otros estados que se estimen pertinentes. Su diseño debe presentar la rigidez y el arriostramiento requeridos, que garanticen su correcto comportamiento de conjunto.
- la fuerza sísmica vertical se considerará que actúa en los elementos simultáneamente con la fuerza sísmica horizontal y en el sentido más desfavorable para el análisis.
- no se considerarán actuando simultáneamente las cargas debido al viento y al sismo.

I.5 Consideraciones y requisitos de los materiales

I.5.1 Piezas y/o material del muro

Las piezas huecas a que hacen referencia las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo son las que tienen, en su sección transversal más desfavorable, un área neta de por lo menos 50 por ciento del área bruta; además, el espesor de sus paredes exteriores no es menor que 15mm (fig. I.3). Para piezas huecas con dos hasta cuatro celdas, el espesor mínimo de las paredes interiores deberá ser de 13mm. Para piezas multiperforadas, cuyas perforaciones sean de las mismas dimensiones y con distribución uniforme, el espesor mínimo de las paredes interiores será de 7mm. Se entiende como piezas multiperforadas aquéllas con más de siete perforaciones o alvéolos (fig. I.3). La resistencia a compresión de la pieza será mayor o igual que 10MPa.

I.5.2 Mortero para pegar piezas

Los morteros que se empleen en elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- Su resistencia a compresión será por lo menos de 4MPa.
- Siempre deberán contener cemento en la cantidad mínima indicada en la tabla I.1.
- La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3. El volumen de arena se medirá en estado suelto.

- Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.
- Si el mortero incluye cemento de albañilería, la cantidad máxima de éste, a usar en combinación con cemento, será la indicada en la tabla I.1.

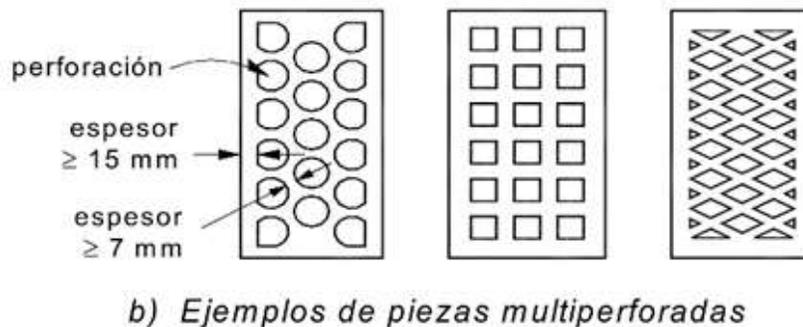
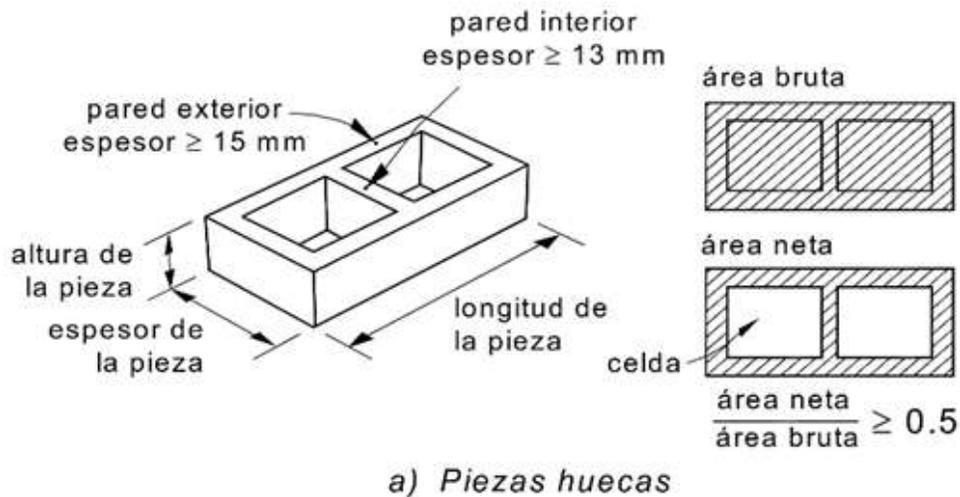


Figura I.3 Piezas.

Tabla I.1 Proporcionamientos, en volumen, recomendados para mortero en elementos estructurales

Tipo de mortero	Cemento hidráulico	Cemento de albañilería	Cal hidratada	Arena	Resistencia nominal f_j^* ;MPa
I	1	-	0 a $\frac{1}{4}$	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen	12.5
	1	0 a $\frac{1}{2}$	-		7.5
II	1	-	$\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$		
	1	$\frac{1}{2}$ a 1	-		
III	1	-	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{4}$		

I.5.3 Morteros y concretos de relleno

Los morteros y concretos de relleno que se emplean en elementos estructurales de mampostería para rellenar celdas de piezas huecas deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Su resistencia a compresión será por lo menos de 12.5MPa.
- El tamaño máximo del agregado no excederá de 10mm.
- Se empleará la mínima cantidad de agua que permita que la mezcla sea lo suficientemente fluida para rellenar las celdas y cubrir completamente las barras de refuerzo vertical, en el caso de que se cuente con refuerzo interior. Se aceptará el uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad.

Tabla I.2 Proporcionamientos en volumen recomendados para morteros y concretos de relleno en elementos estructurales

Tipo	Cemento hidráulico	Cal hidratada	Arena	Grava
Mortero	1	0 a 0.25	2.25 a 3	-
Concreto	1	0 a 0.1		1 a 2

Tabla I.3 Resistencia de diseño a compresión de la mampostería, f_m^* , para algunos tipos de piezas, sobre área bruta

Tipo de pieza	f_m^* [MPa]		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
Tabique de barro recocido ($f_p^* \geq 6$ MPa)	1.5	1.5	1.5
Tabique de barro con huecos verticales ($f_p^* \geq 12$ MPa)	4	4	3
Bloque de concreto ($f_p^* \geq 10$ MPa)	2	1.5	1.5
Tabique de concreto ($f_p^* \geq 10$ MPa)	2	1.5	1.5

I.5.4 Anclaje

El refuerzo horizontal colocado en juntas de mortero deberá ser continuo a lo largo del muro, entre dos castillos si se trata de mampostería confinada, o entre dos celdas rellenas y reforzadas con barras verticales en muros reforzados interiormente. Si se requiere, se podrán anclar dos o más barras o alambres en el mismo castillo o celda que refuercen muros colineales o transversales. No se admitirá el traslape de alambres o barras de refuerzo horizontal en ningún tramo.

El refuerzo horizontal deberá anclarse en los castillos, ya sea exteriores o interiores, o en las celdas rellenas reforzadas (fig. I.4). Se deberá anclar mediante dobleces a 90 grados colocados dentro de los castillos o celdas. El doblez del gancho se colocará verticalmente dentro del castillo o celda rellena lo más alejado posible de la cara del castillo o de la pared de la celda rellena en contacto con la mampostería.

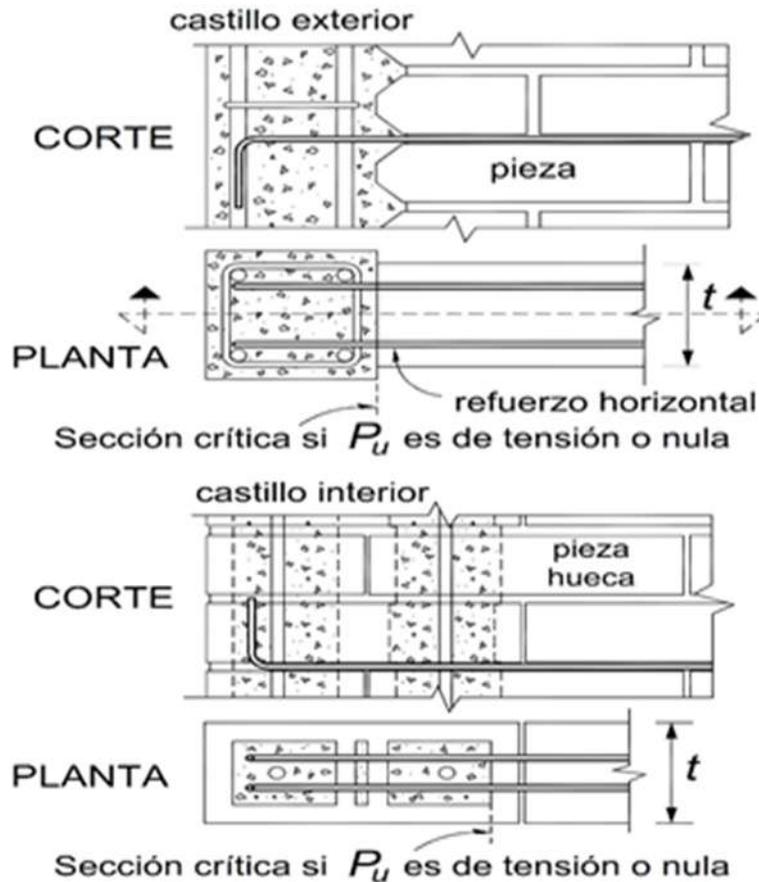


Figura I.4 Anclaje de refuerzo horizontal

I.5.5 Consideraciones del refuerzo

- Se permitirá el uso de acero de refuerzo horizontal colocado en las juntas de mortero para resistir fuerza cortante. El refuerzo consistirá de barras corrugadas o alambres corrugados laminados en frío que sean continuos a lo largo del muro.
- No se permite el uso de armaduras planas de alambres de acero soldados por resistencia eléctrica (“escaleras”) para resistir fuerza cortante inducida por sismo.

- El esfuerzo especificado de fluencia para diseño, f_y , no deberá ser mayor que 600MPa.
- El acero a emplear tendrá un diámetro mayor de 5.5mm, de barras corrugadas y solamente se podrá emplear barras lisas como cercos
- El diámetro del refuerzo horizontal no será menor que 3.5 mm ni mayor que tres cuartas partes del espesor de la junta (fig. I.5). La distancia libre entre barras paralelas, empalmes de barras, o entre barras y empalmes, no será menor que el diámetro nominal de la barra más gruesa, ni que 25 mm

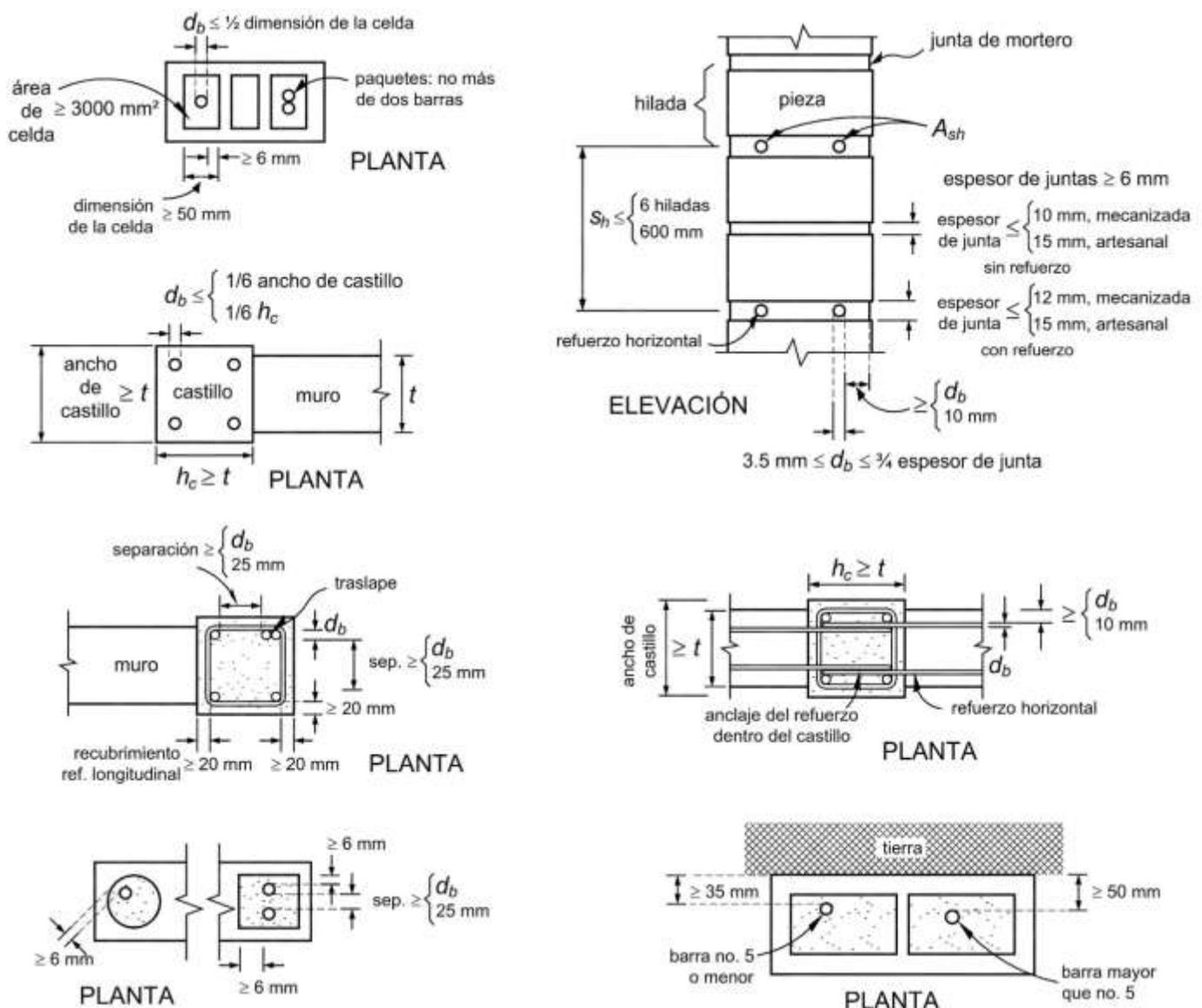


Figura I.5 Tamaño, colocación y protección del refuerzo

I.5.6 Dobleces del refuerzo

El radio interior de un doblez será el especificado para concreto reforzado.

En barras rectas

Las barras a tensión podrán terminar con un doblez a 90 ó 180 grados. El tramo recto después del doblez no será menor que $12 d_b$ para dobleces a 90 grados, ni menor que $4 d_b$ para dobleces a 180 grados, donde d_b es el diámetro de la barra (fig. I.6).

En estribos

Los estribos deberán ser cerrados, de una pieza, y deben rematar en una esquina con dobleces de 135 grados, seguidos de tramos rectos de no menos de $6 d_b$ de largo ni de 35 mm (fig. I.6).

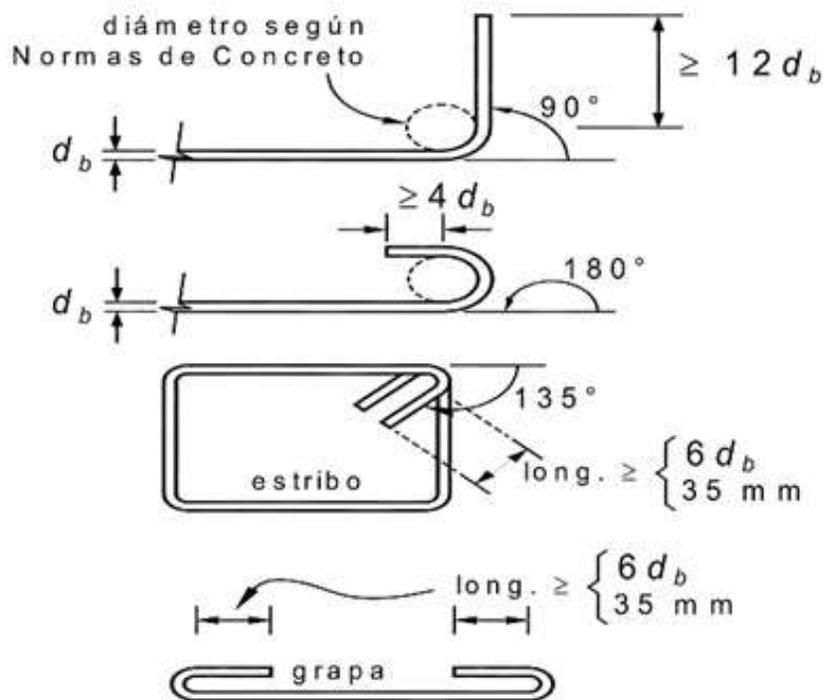


Figura I.6 Dobleces del refuerzo

En grapas

Las grapas deberán rematarse con dobleces a 180 grados, seguidos de tramos rectos de no menos de $6d_b$ de largo ni de 35 mm (fig. I.6).

I.5.7 Refuerzo en los extremos de muros

Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, a menos que este último esté ligado a un elemento de concreto reforzado con un peralte mínimo de 100mm. Aún en este caso, se deberá colocar refuerzo longitudinal y transversal.

(fig. I.7)

El refuerzo longitudinal de la dala deberá dimensionarse para resistir la componente horizontal del puntal de compresión que se desarrolle en la mampostería para resistir las cargas laterales y verticales. En cualquier caso, estará formado por lo menos de tres barras, cuya área total será obtenida con la ecuación:

$$A_s = \frac{0.2f_c' \times t^2}{f_y} \quad (I.3)$$

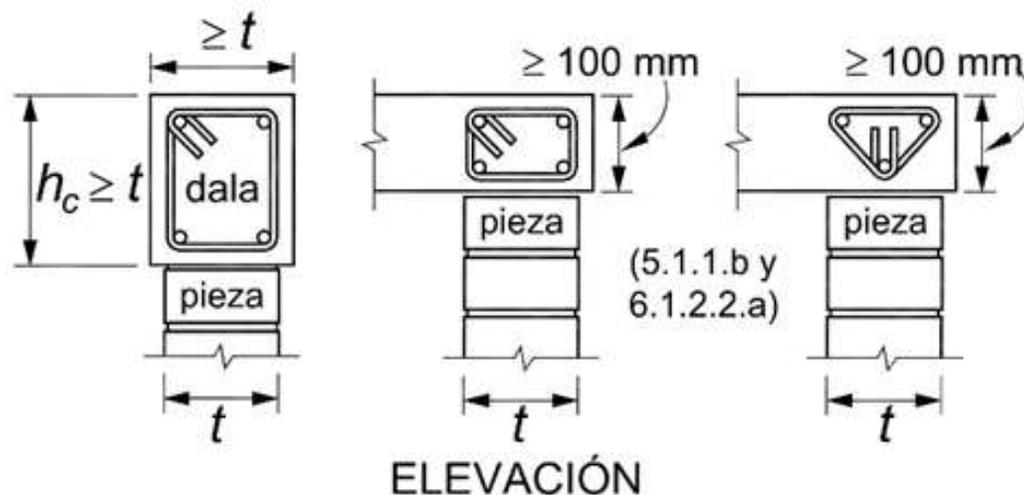


Figura I.7 Requisitos para mampostería con refuerzo interior

El refuerzo transversal de la dala estará formado por estribos cerrados y con un área, A_{sc} al menos igual a la calculada con la siguiente ecuación:

$$A_{sc} = \frac{10000 s}{f_y h_c} \quad (I.4)$$

Si se usan en MPa y mm.

Donde h_c es la dimensión de la dala en el plano del muro. La separación de los estribos, s , no excederá de $1.5 t$ ni de 200mm.

I.6 Formulaciones para el cálculo de la Mampostería Reforzada

I.6.1 Cuantías de acero de refuerzo horizontal y vertical

La suma de la cuantía de acero de refuerzo horizontal, P_h , y vertical, P_v , no será menor que 0.002 y ninguna de las dos cuantías será menor que 0.0007, es decir:

$$P_h + P_v \geq 0.002 \quad (I.5)$$

$$P_h \geq 0.0007; P_v \geq 0.0007 \quad (I.6)$$

Dónde: $P_h = \frac{A_{sh}}{S_h \times t}$ y $P_v = \frac{A_{sv}}{S_v \times t}$

A_{sh} área de acero de refuerzo horizontal que se colocará a una separación S_h

Cuando se emplee acero con esfuerzo de fluencia especificado mayor que 412 MPa, las cuantías se podrán reducir multiplicándolas por 412 / f_y , en MPa.

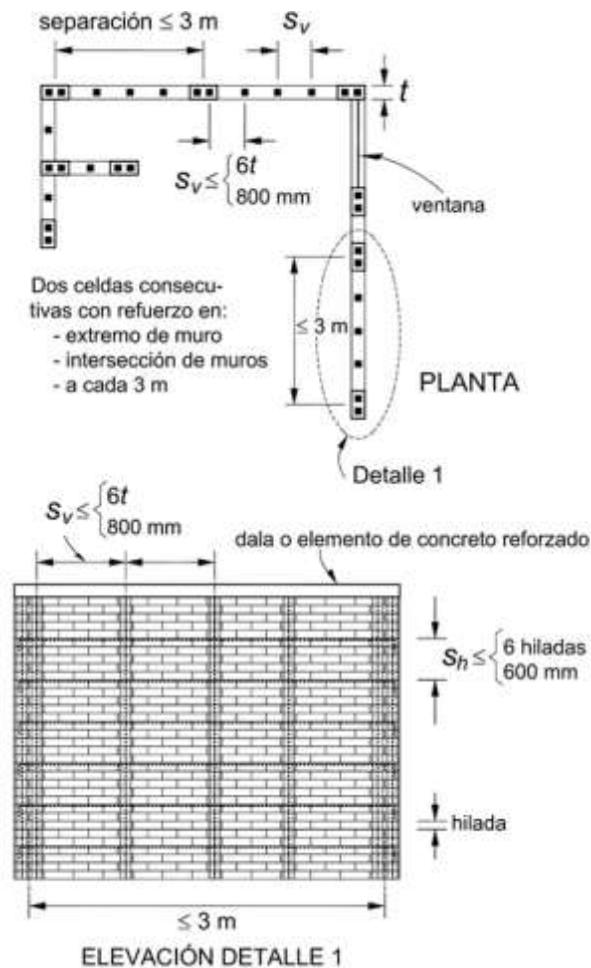


Figura I.8 Requisitos para mampostería con refuerzo interior

I.6.2 Muros con aberturas

Existirán elementos de refuerzo vertical y horizontal en el perímetro de toda abertura cuya dimensión exceda de la cuarta parte de la longitud del muro, de la cuarta parte de la distancia entre intersecciones de muros o de 600 mm, o bien en aberturas con altura igual a la del muro (fig. I.9).

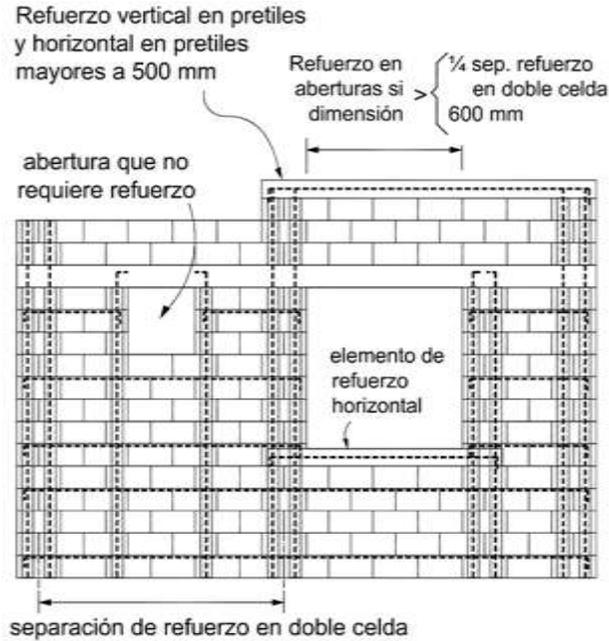


Figura I.9 Refuerzo en aberturas y pretiles

I.6.3 Muros transversales

Cuando los muros transversales sean de carga y lleguen a tope, sin traslape de piezas, será necesario unirlos mediante dispositivos que aseguren la continuidad de la estructura (fig. I.10). Los dispositivos deberán ser capaces de resistir 1.33 veces la resistencia de diseño a fuerza cortante del muro transversal dividida por el factor de resistencia correspondiente. En la resistencia de diseño se incluirá la fuerza cortante resistida por la mampostería y, si aplica, la resistida por el refuerzo horizontal.

Alternativamente, el área de acero de los dispositivos o conectores, A_{ST} colocada a una separación s en la altura del muro, se podrá calcular mediante la expresión siguiente:

$$A_{st} = \frac{2.5(V_{mR} + V_{SR}) t s}{F_R L f_y} \quad (I.7)$$

Donde A_{ST} está en mm^2 , V_{mR} y V_{SR} , en N, son las fuerzas cortantes resistidas por la mampostería y el refuerzo horizontal, si aplica, F_R se tomará igual a 0.7, t y L son el espesor y longitud del muro transversal en mm, y f_y es el refuerzo especificado de fluencia de los dispositivos o conectores, en MPa. La separación s no deberá exceder de 300 mm.

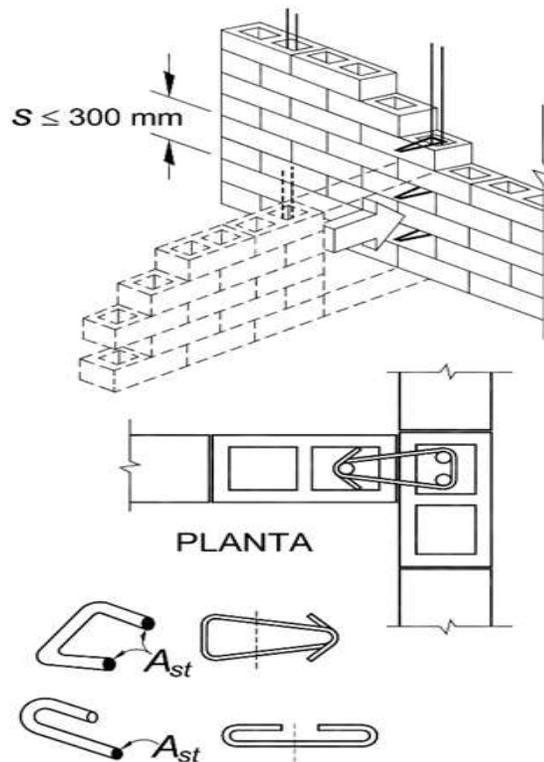


Figura I.10 Conectores entre muros sin traslape de piezas

I.6.4 Pretilos

Los pretilos o parapetos deberán reforzarse interiormente con barras de refuerzo. Se deberá proporcionar refuerzo horizontal en la parte superior de pretilos o parapetos cuya altura sea superior a 500 mm (fig. I.9).

I.6.5 Supervisión

Deberá haber una supervisión continua en la obra que asegure que el refuerzo esté colocado de acuerdo con lo indicado en planos y que las celdas en que se aloja el refuerzo sean coladas completamente

I.7 Hipótesis para la obtención de resistencias de diseño a flexión

La determinación de resistencias de secciones de cualquier forma sujetas 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 se alcanza, en la mampostería, 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, ésta se supondrá lineal hasta la falla.

En muros con piezas huecas en los que no todas las celdas estén rellenas con mortero o concreto, se considerará el valor de f_m^* de las piezas huecas sin relleno en la zona a compresión.

Muros sometidos a momentos flexionantes, perpendiculares a su plano podrán ser confinados o bien reforzados interiormente. En este último caso podrá determinarse la resistencia a flexo-compresión tomando en cuenta el refuerzo vertical del muro,

cuando la separación de éste no exceda de seis veces el espesor de la mampostería del muro, t .

I.8 Resistencia a compresión de mampostería con refuerzo interior

La carga vertical resistente, P_R , se calculara como:

$$P_R = F_R \cdot F_E \left(f_m \cdot A_T + \sum A_s f_y \right) \leq 1.25 F_R \cdot F_E \cdot f_m \cdot A_T \quad (I.8)$$

Alternativamente P_R se podrá calcular con

$$P_R = F_R \cdot F_E (f_m + 0.7) A_T \leq 1.25 F_R F_E f_m \cdot A_T \quad (I.9)$$

si se usan MPa y mm^2

I.9 Resistencia a flexo-compresión en el plano del muro

Método general de diseño

La resistencia a flexión pura o flexocompresión en el plano de un muro confinado exterior o interiormente se calculará con base en las hipótesis expuestas anteriormente.

Método optativo

Para muros con barras longitudinales colocadas simétricamente en sus extremos, las fórmulas simplificadas siguientes dan valores suficientemente aproximados y conservadores del momento flexionante resistente de diseño (Normas técnicas complementarias para el diseño de estructuras de mampostería, 2004).

El momento flexionante resistente de diseño de la sección (M_R) se calculará de acuerdo con la ecuación.

$$M_R = F_R M_0 + 0.3 P_u d; \text{ si } 0 \leq P_u \leq \frac{P_R}{3} \quad (I.10)$$

$$M_R = (1.5 F_R M_0 + 0.15 P_R d) \left(1 - \frac{P_u}{P_R} \right); \text{ si } P_u > \frac{P_R}{3} \quad (I.11)$$

Donde

$$M_0 = A_s f_y d' \quad (I.12)$$

A_s área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en los extremos del muro.

d' distancia entre los centroides del acero colocado en ambos extremos del muro

d distancia entre el centroide del acero de tracción y la fibra a compresión máxima.

P_u carga axial de diseño a compresión, cuyo valor se tomará con signo positivo F_R se tomará igual a 0.8, si $P_u \leq P_R/3$ e igual a 0.6 en caso contrario.

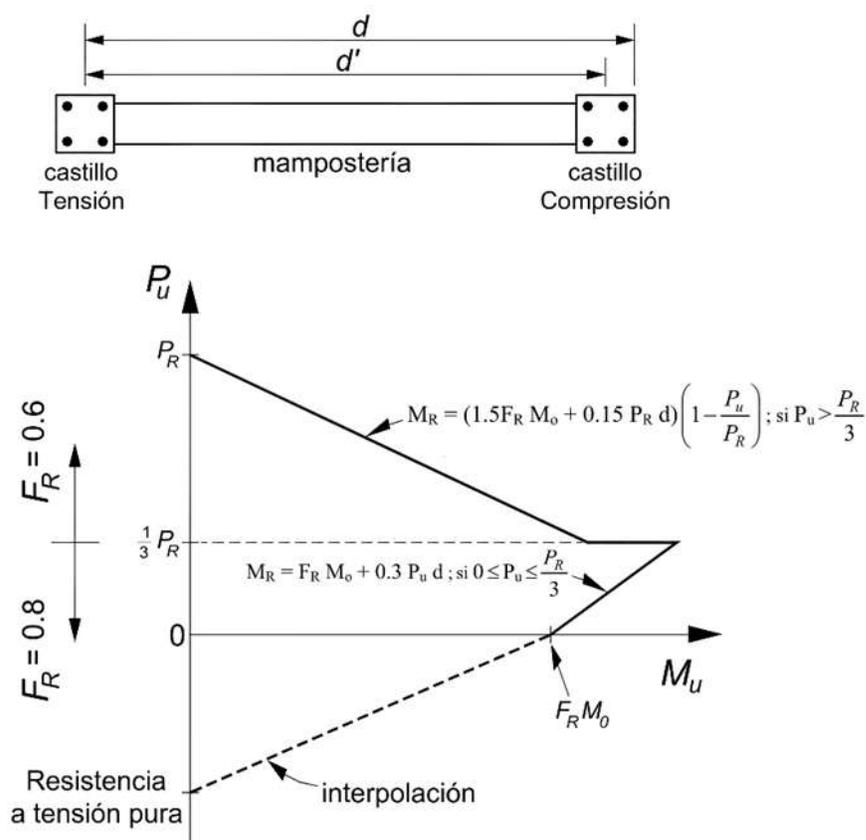


Figura I.11 Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante resistente de diseño con el método optativo (Fuente: Normas técnicas complementarias para el diseño de estructuras de mampostería, 2004, p. 34)

Para cargas axiales de tensión será válido interpolar entre la carga axial resistente a tensión pura y el momento flexionante resistente M_o , afectando el resultado por $F_R=0.8$ (fig. I.11)

I.10 Resistencia a cargas laterales

Consideraciones generales

La resistencia a cargas laterales será proporcionada por la mampostería. Se acepta que parte de la fuerza cortante sea resistida por acero de refuerzo horizontal. Cuando la carga vertical que obre sobre el muro sea de tensión se aceptará que el acero de refuerzo horizontal resista la totalidad de la carga lateral.

Cuando se use el método simplificado la resistencia a fuerza cortante de los muros se afectará por el factor F_{AE} . El factor de resistencia, F_R , se tomará igual a 0.7 (fig. I.12).

I.11 Fuerza cortante resistida por la mampostería

La fuerza cortante resistente de diseño, V_{mR} , se determinará como sigue:

$$V_{mR} = F_R(0.5v_m * A_T + 0.3P) \leq 1.5F_Rv_m * A_T \quad (I.13)$$

Donde P se deberá tomar positiva en compresión.

La carga vertical P que actúa sobre el muro deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga.

Si la carga vertical P es de tensión, se despreciará la contribución de la mampostería V_{mR} ; por lo que la totalidad de la fuerza cortante deberá ser resistida por el refuerzo horizontal. La resistencia a compresión diagonal de la mampostería para diseño, V_{m*} , no deberá exceder de 0.6 MPa, a menos que se demuestre con ensayos que satisfacen, que se pueden alcanzar mayores valores. En adición se deberá demostrar que se cumplen con todos los requisitos de materiales, análisis, diseño y construcción aplicables.

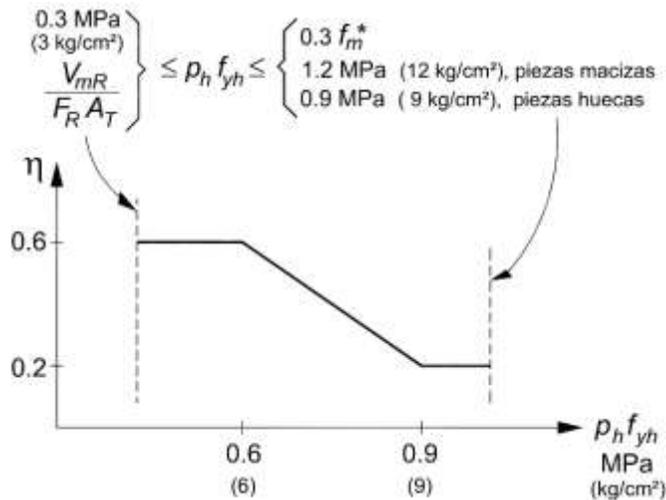


Figura I.12 Factor de eficiencia η (Fuente: Normas técnicas complementarias para el diseño de estructuras de mampostería, 2004, p. 34)

I.12 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal

Cuantías mínima y máxima del acero de refuerzo horizontal

Si se coloca acero de refuerzo horizontal para resistir fuerza cortante, la cuantía de acero de refuerzo horizontal, p_h , no será inferior a $0.3/f_{yh}$ si se usan MPa ni al valor que resulte de la expresión siguiente:

$$P_h = \frac{V_{mR}}{F_R f_{yh} A_T} \quad (I.14)$$

En ningún caso p_h será mayor que $0.3 \frac{f_m^*}{f_{ym}}$; ni que $1.2/f_{yh}$ para piezas macizas, ni que $0.9/f_{yh}$ para piezas huecas si se usan MPa.

Diseño del refuerzo horizontal

La fuerza cortante que toma el refuerzo horizontal, V_{SR} , se calculará con η

$$V_{SR} = F_R \eta p_h f_{yh} A_T \quad (I.15)$$

El factor de eficiencia del refuerzo horizontal, η , se determinará con el criterio siguiente:

$$\eta = 0.6; \text{ si } p_h f_{yh} \leq 0.6 \text{ MPa}$$

$$\eta = 0.2; \text{ si } p_h f_{yh} \geq 0.9 \text{ MPa}$$

Para valores de p_h y f_{yh} comprendidos entre 0.6 y 0.9 MPa, η se hará variar linealmente (ver fig. 1.10).

I.13 Comportamiento sísmico en muros

Es común que se comparen desfavorablemente las construcciones de mampostería ante las estructuras de acero y concreto, debido a los altos daños causados por sismos medianos e intensos en esta. Cabe destacar, que gran parte de las fallas localizadas en construcciones de mampostería se debe a que estas no fueron objeto de un diseño estructural adecuado, sumado a la mala calidad de los materiales y defectos estructurales y de construcción (Sánchez, 1995).

I.13.1 Muros de mampostería no reforzada

La experiencia señala que el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería no reforzada es desfavorable, por lo que se recomienda no utilizarla, de lo contrario se debe mejorar su comportamiento sísmico mediante algún refuerzo que proporcione confinamiento y ductilidad a los muros.

Según (Sánchez, 1998), las principales causas que contribuyen a su mal comportamiento son:

- escasa resistencia en tensión y escasa adherencia de los morteros.
- no se logra una buena liga entre los muros transversales aun con cuatrapeo de las piezas.
- alto grado de interperismo.
- aberturas en forma de puertas y ventanas no reforzadas.
- Elevados pesos sobre los muros provenientes de sistemas de techos que se traducen en elevadas fuerzas sísmicas.

I.13.2 Muros de mampostería confinados

Por el comportamiento observado hasta ahora, puede decirse que el uso de mampostería confinada en zonas sísmicas es satisfactorio. El marco perimetral de concreto provee al tablero de una mayor capacidad de deformación y de una efectiva unión entre muro-muro y muros-sistema de piso, aunque no quita la posibilidad de agrietamientos diagonales, ya que la resistencia en tensión diagonal no aumenta

apreciablemente por la presencia de dalas y castillos. Una solución para aumentar la resistencia a cortante de la mampostería confinada es mediante el uso de refuerzo horizontal en las juntas, o de mallas de acero electrosoldadas adosadas sobre el tablero con grapas, y con un repello aplanado de mortero como recubrimiento (Sánchez, 1995).

I.13.3 Muros reforzados interiormente

La mampostería con refuerzo interior es un procedimiento muy utilizado a nivel mundial. El proceso constructivo debe ser más elaborado y detallado para lograr un buen colado de los huecos y una correcta colocación del refuerzo. En países como México este sistema ha ganado mala reputación debido a la difícil supervisión de su construcción, por lo que suele atribuírsele un comportamiento sísmico defectuoso.

Las mayores desventajas presentes en la mampostería reforzada interiormente, según (Sánchez, 1998), son:

- fallas locales de las piezas huecas por desprendimiento de sus paredes.
- la liga entre distintos elementos es menos efectiva.
- se requiere de altas cantidades de refuerzo para asegurar un buen comportamiento.

Cabe mencionar que este sistema tiene la ventaja sobre el de mampostería confinada de presentar gran cantidad de refuerzo horizontal, lo que aumenta su resistencia y su capacidad de deformación reduciendo el agrietamiento a espesores pequeños; además, desde el punto de vista arquitectónico, el muro no necesita un acabado adicional.

I.13.4 Muros no estructurales

Es necesario conocer que un correcto diseño sismoresistente deberá evitar el daño no estructural producido por sismos de baja y mediana intensidad; en caso contrario, los daños indicarían que se pudieron haber descuidado aspectos básicos del diseño.

Por lo que según (Sánchez, 1998), se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- que la estructura principal posea suficiente rigidez lateral, de manera que sus desplazamientos laterales estén dentro de los límites permisibles.
- revisar las fuerzas de inercia inducidas en los momentos no estructurales debido a su propia masa, y que pueden causar su falla o volteo local.
- proveer de las holguras y detalles necesarios para que los elementos no estructurales se comporten realmente en su forma supuesta en el diseño.

Conclusiones parciales

- 1- Se muestra el uso de los distintos tipos de mampostería en zonas de peligro sísmico.
- 2- La mampostería sin refuerzo, ante la presencia de cargas sísmicas presenta un comportamiento desfavorable, debido a altos valores de tracción y cortante.
- 3- La NC 46.2014 carece de elementos necesarios para una correcta realización del diseño de estructuras de mampostería en zonas sísmicas.

CAPÍTULO II: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO MULTIFAMILIAR DE MAMPOSTERÍA Y SU PROPUESTA EN MAMPOSTERÍA CONFINADA

En el siguiente capítulos se aborda el tema de la modelación del caso de estudio, utilizando el software profesional Sap2000 v15. Con la ayuda de este se hace un estudio del comportamiento estructural de la edificación ante las cargas sísmicas. También se analiza vulnerabilidad sísmica para luego plantear una solución utilizando la mampostería confinada, con el objetivo de brindarle un aumento de la resistencia ante cargas laterales.

II.1 Descripción del objeto de estudio

La estructura de estudio se encuentra ubicada en el reparto Villa Nueva del municipio Holguín, manzana diez. Se concibió con el sistema constructivo de semiprefabricado, formado por losas prefabricadas y muros de bloque complementados con viga de cerramiento, las cuales se unen a la losa a través de juntas húmedas. (Pérez, 2009)

La edificación está resuelta con una estructura espacial de cuatro niveles, conformada por muros de bloques de hormigón tipo II, asentados con mortero tipo III, columnas y vigas cerramiento de hormigón armado colocado en el lugar y entrepisos y cubiertas con losas planas prefabricadas de hormigón armado del sistema constructivo Gran Panel Holguín(GPH). Está compuesto por 8 apartamentos de dos y tres dormitorios con áreas de $12.8m^2$ y $10.2 m^2$, comedor, cocina, terraza y baño; dos apartamentos en cada nivel y entre ellos se ubica la caja de escalera de dos ramas, además tiene la losa plana como cubierta para ubicar sobre ella los tanques de agua. El hormigón usado es de 20 MPa y la cimentación del tipo corrida de sección transversal T invertida.

Propiedades de los materiales

La estructura formada de mampostería cuenta con bloques huecos tipo II de 0,15 m y una resistencia de 5,0 MPa (NC 247, 2005), asentados con mortero tipo III de resistencia de 5,2 MPa (NC 175, 2002).

El módulo de elasticidad de la mampostería para este caso es 3040 MPa y el coeficiente de Poisson es de 0,2.

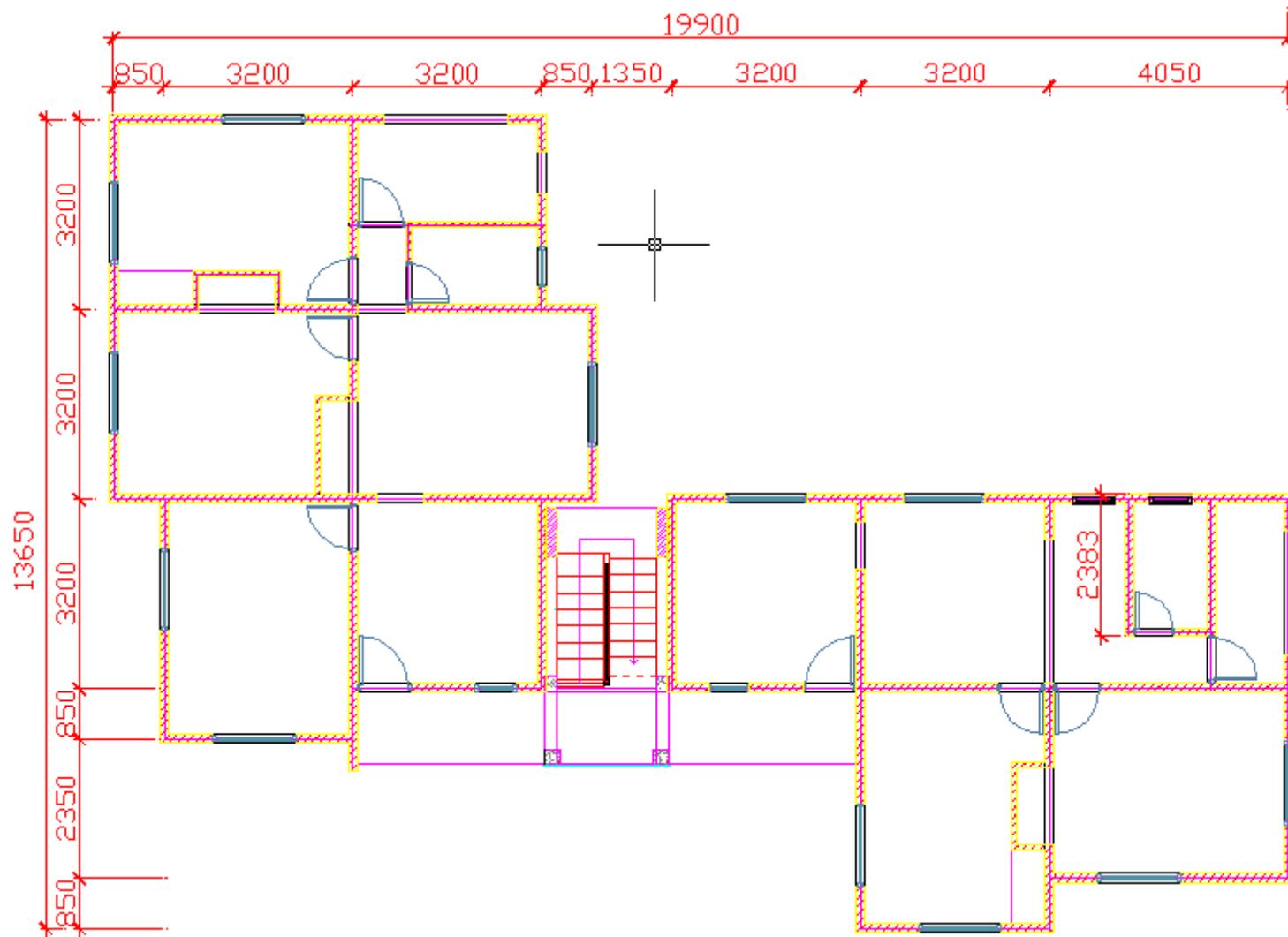


Figura II.1 *Planta arquitectónica de la estructura analizada*



Figura II.2 *Estructura analizada*

II.2 Procedimiento y consideraciones para la modelación

Para la realización del modelo se utiliza el software profesional Sap2000 v15, con el cual se logran grandes ventajas en lo referente al análisis sísmico. En el programa se proyectó una estructura con las dimensiones reales, pero debido a que los dos bloques de apartamentos están únicamente unidos por la escalera, se decidió analizarlos por separado, ya que esta distribución geométrica de dos estructuras rígidas unidas por una débil articulada no cumple con los requisitos de diseño sísmico (Castillas, 1998).

También se definieron aspectos como la geometría de los elementos, propiedades de los materiales, condiciones de apoyo; un sistema de cargas compuesto por carga de peso propio, carga de uso, carga de viento y la carga de sismo. Para el análisis sísmico se empleó la técnica de Espectro de Respuesta, a la que se le introducen los datos de período y aceleración espectral según la zonificación sísmica reflejada en la NC 46: 2014.

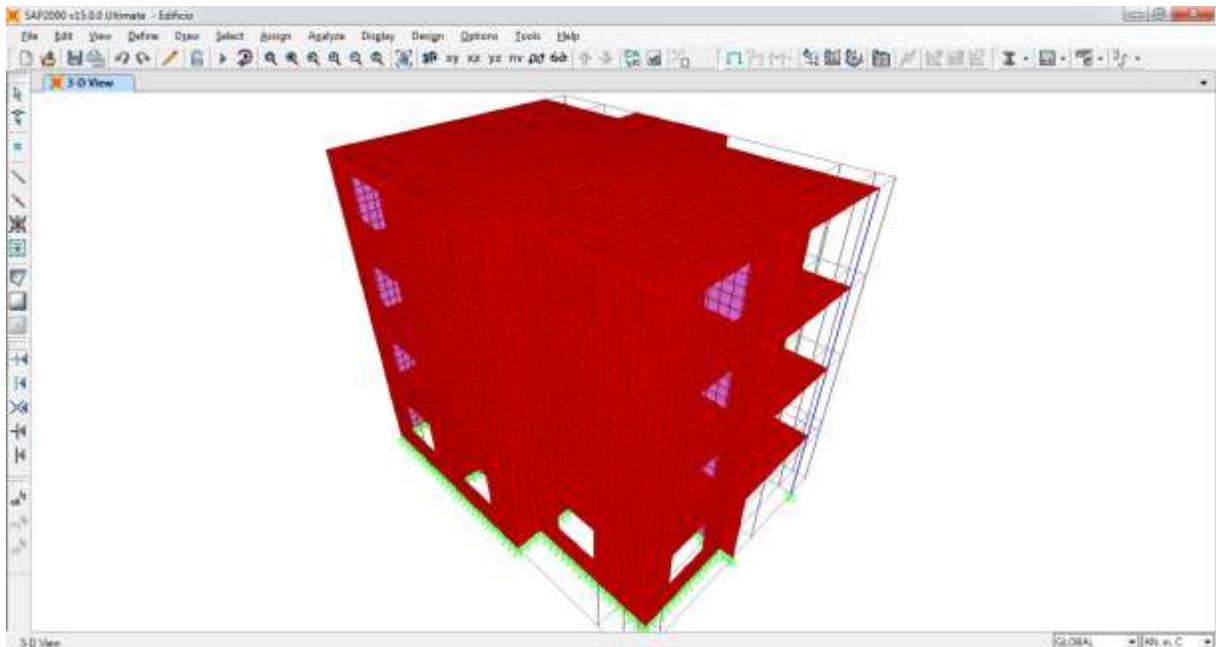


Figura II.3 Modelo de la estructura en el SAP2000

II.3 Cálculo del espectro de diseño:

En el proceso de cálculo para conformar el espectro de aceleración sísmica a emplear en el modelo, se tienen en cuenta los aspectos que a continuación se muestran:

- Valores de S_0 , S_S , S_1 y T_L
- La zona donde está emplazada la estructura.
- Nivel mínimo de protección sísmica.
- Ajuste por clase de sitio.
- La clasificación del sitio.
- Factores de escala k_d de acuerdo al tipo de sismo.
- Calibración del espectro al nivel requerido.
- Períodos de esquina del espectro.
- El cálculo de las ordenadas espectrales.
- Representación gráfica del espectro

Para municipio Holguín de la provincia de Holguín la NC 46 del 2014 plantea los siguientes valores:

Tabla II.1 Datos para la obtención del espectro de diseño

Zona	Sitio	Clasificación	So(g)	Ss(g)	S1(g)	T _L (s)	Fa	Fv	Na	Nv	kd
2	C	Obra ordinaria	0,181	0,349	0,128	9	1,2	1,66	1	1	0,66

Las ordenadas espectrales $S_a(T)$ para cualquier periodo de vibración T se definen por las siguientes expresiones:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 * \frac{T}{T_0} \right) \quad \text{para } T \leq T_0 \quad (II.1)$$

$$S_a = S_{DS} \quad \text{para } T_0 < T \leq T_S \quad (II.2)$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad \text{para } T_L < T \leq T_S \quad (II.3)$$

$$S_a = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2} \quad \text{para } T > T_L \quad (II.4)$$

Para los cuales se satisface el espectro de diseño ilustrado en la figura II.4.

II.4 Estados de carga

Para el cálculo de la acción sísmica se emplea la norma cubana de sismo NC 46 del 2014, la que plantea que la carga de sismo está definida como una acción que corresponde al nivel de resistencia a la cedencia del sistema estructural al que se aplica. Por eso, el término que representa al sismo (S) no tiene factor de carga (el factor implícito es 1,0). El término (S_h) que corresponde al sismo horizontal puede estar compuesto por dos o más sumandos. Esto se debe usualmente a requerimientos de aplicar un sismo concurrente en dirección perpendicular a la dirección analizada.

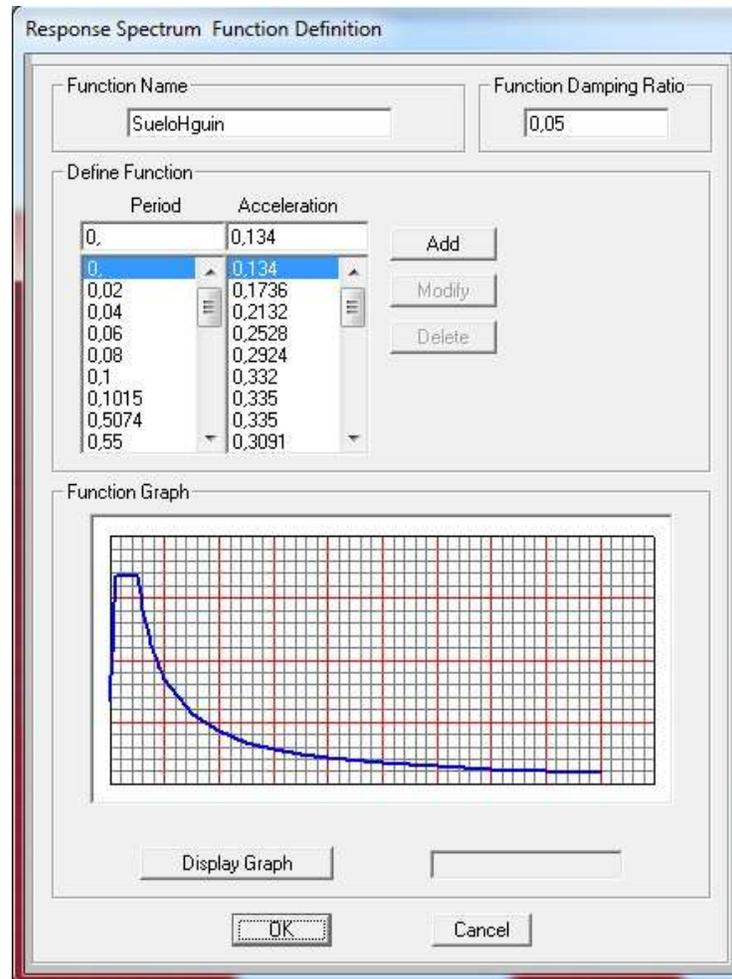


Figura II.4 Espectro de diseño

Los términos S_h y S_v pueden incorporar internamente otros factores multiplicativos de castigo, requeridos por irregularidades estructurales o factores adicionales aplicables a componentes claves para incrementar su confiabilidad sísmica. También plantea que no se diseñara para la carga de sismo y de viento a la vez pues la norma no considera estas cargas concurrentes sino alternas y que las siguientes combinaciones de carga derogan las planteadas por la NC 450 del 2006.

$$1,2G + Q + S_v \pm S_h \quad (II.5)$$

$$0,9G - S_v \pm S_h \quad (II.6)$$

Dónde:

G, Cargas permanentes, muertas o de gravedad según la NC 283:2003 o normas de este tipo de cargas reconocidas.

Q, Cargas de usos o vivas según la NC 284:2003.

S, Cargas sísmicas.

Como cargas permanentes se consideraron:

Peso propio de los muros de bloques: 2 kN/m^2

Peso propio del hormigón: 24 kN/m^3

Peso de losa cerámica: $0,2 \text{ kN/m}^2/\text{cm}$

Peso de relleno de entrepiso: $0,18 \text{ kN/m}^2/\text{cm}$

Impermeabilizante en cubierta: $0,05 \text{ kN/m}^2$

De acuerdo con la NC 284:2003 se tomó que la carga de uso en entrepiso es $1,5 \text{ kN/m}^2$ y de carga de uso en cubierta $0,8 \text{ kN/m}^2$.

II.5 Análisis de los resultados

Para el análisis de los resultados, una vez corrido el modelo, primeramente se comprobó que la participación modal de las masas fuera mayor que un 90 por ciento en cada una de las direcciones principales del edificio de acuerdo con lo establecido en la NC 46: 2014. Los valores obtenidos de periodos propios y de participación modal de las masas se muestran en la Tabla II.2 y como se puede observar, esta condición ya se cumple en el modo número 19.

Una vez verificado este aspecto, se prosigue a analizar las solicitaciones que se producen en los elementos que conforman la edificación, teniendo presente las combinaciones de cargas II.1 y II.2.

Para la obtención de las solicitaciones se realizaron dos modelos, uno para cada bloque de apartamentos, para analizarlos por separado. Las figuras II.5 y II.6 representan los axiales y los cortantes por unidad de longitud, razón por la cual se expresan en kN/m. Para ello se toma las secciones más desfavorables o con altas concentraciones de tensiones de acuerdo con las combinaciones analizadas.

Tabla II.2 Periodos de vibración del edificio y participación modal de masas

Modo	Periodo [s]	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	0.128	0.731	0.020	0.000	0.731	0.020	0.000
2	0.119	0.020	0.753	0.000	0.751	0.773	0.000
3	0.094	0.000	0.004	0.000	0.751	0.777	0.000
4	0.044	0.138	0.021	0.000	0.890	0.798	0.000
5	0.043	0.024	0.115	0.011	0.913	0.914	0.011
6	0.039	0.001	0.001	0.825	0.914	0.915	0.836
7	0.034	0.000	0.000	0.000	0.914	0.915	0.836
8	0.033	0.000	0.000	0.000	0.914	0.915	0.836
9	0.032	0.001	0.005	0.000	0.915	0.921	0.836
10	0.032	0.002	0.003	0.000	0.917	0.924	0.837
11	0.031	0.001	0.002	0.000	0.918	0.926	0.837
12	0.029	0.005	0.003	0.001	0.923	0.929	0.838
13	0.028	0.001	0.000	0.001	0.924	0.929	0.839
14	0.026	0.006	0.000	0.000	0.930	0.929	0.839
15	0.023	0.000	0.000	0.000	0.930	0.929	0.839
16	0.022	0.003	0.000	0.000	0.933	0.929	0.839
17	0.019	0.000	0.000	0.000	0.933	0.929	0.839
18	0.016	0.000	0.000	0.000	0.933	0.929	0.840
19	0.013	0.000	0.000	0.065	0.933	0.929	0.905
20	0.012	0.000	0.000	0.018	0.933	0.929	0.923
21	0.009	0.000	0.000	0.012	0.933	0.929	0.934
22	0.007	0.000	0.000	0.014	0.933	0.929	0.948
23	0.004	0.000	0.000	0.018	0.933	0.929	0.967
24	0.003	0.000	0.000	0.029	0.933	0.929	0.996

Una vez hecho esto, el programa, mediante el comando *show table* en la barra *Display* muestra una relación de fuerzas axiales, cortantes y flexión según cada (*section cuts*) y según cada combinación de carga.

La figura II.5 representa una de las secciones más desfavorables, con un axial reportado de 21,58 kN a tracción, lo que supone una sollicitación por encima de la resistencia nominal de la mampostería que según la NC 774 del 2012 es nula.

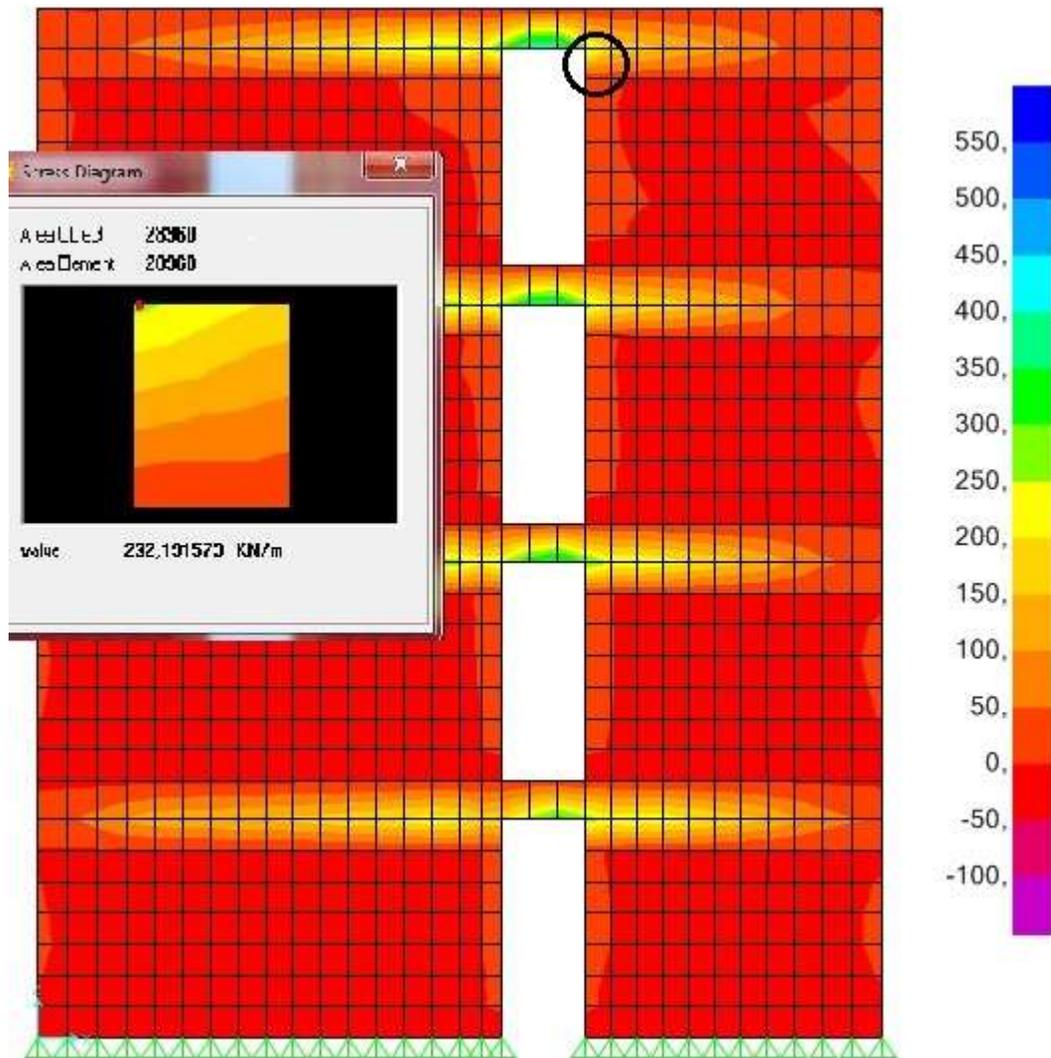


Figura II.5 Sección crítica para fuerzas axiales

La figura II.4 muestra una de las secciones críticas, actuando una fuerza cortante de 84,2 kN en la mampostería, es válido aclarar que el mayor valor de fuerza cortante se encuentra en la viga de cerramiento.

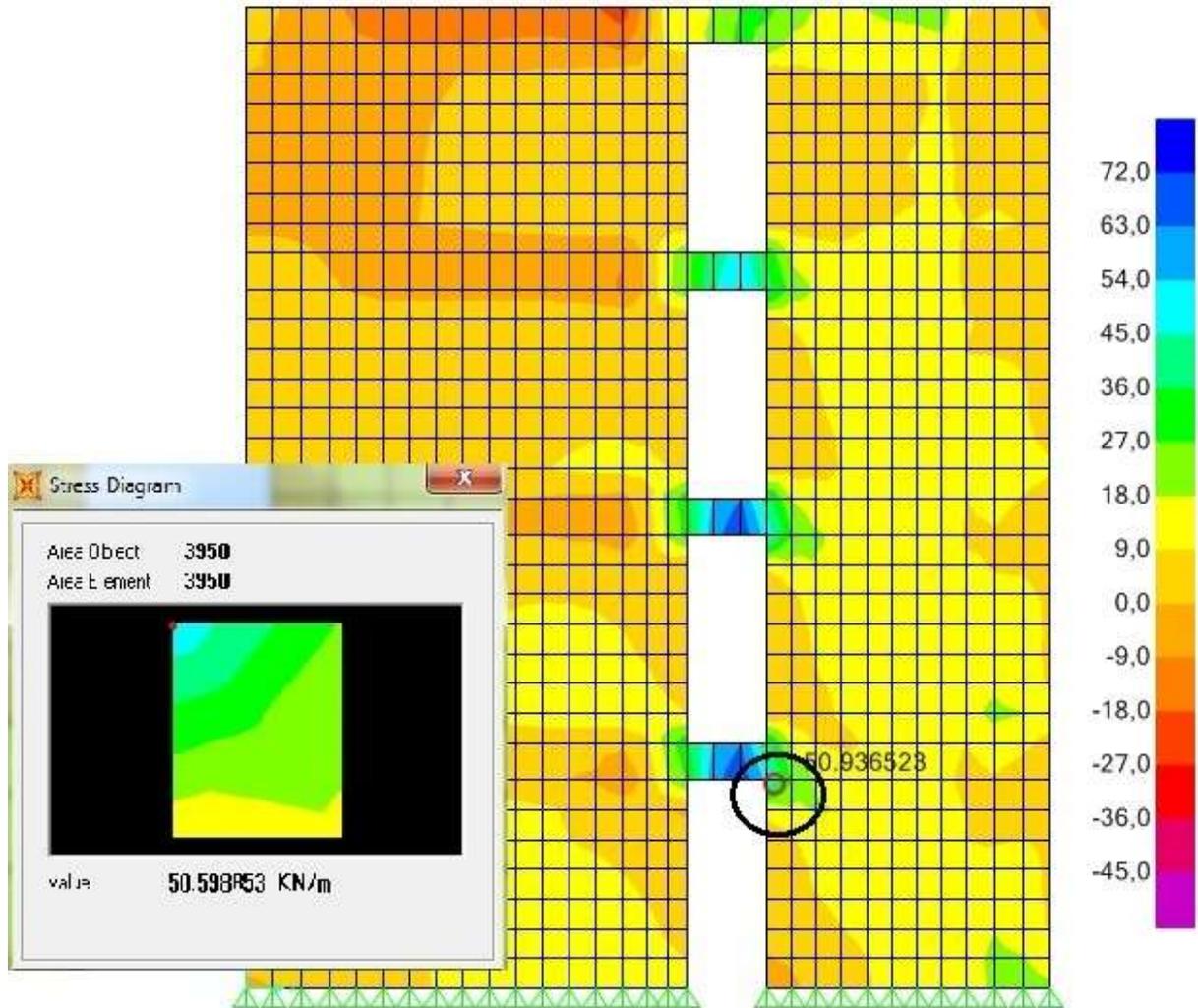


Figura II.6 sección crítica para cortante

En la Tabla II.3 se muestran los valores de solicitaciones máximos obtenidos en la estructura.

TABLE: Section Cut Forces - Design									
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	Text	Text	Text	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
F max comb5 b1	COMB4	Combination	Max	18,59	-24,93	0,10	0,34	-3,92	4,98
F max comb5 b1	COMB4	Combination	Min	-1,31	-74,79	0,04	0,32	-0,81	-0,48
F min comb5 b1	COMB6	Combination	Min	-13,87	0,67	-59,30	0,03	5,75	-3,65
F min comb5 b1	COMB7	Combination	Max	8,70	0,96	49,91	0,05	-4,27	-2,88
F min comb5 b1	COMB7	Combination	Min	-13,87	0,67	-59,30	0,03	5,75	-3,65
Mmax comb5 b1	COMB5	Combination	Max	10,08	2,11	26,38	1,91	-2,70	3,57
Mmax comb5 b1	COMB5	Combination	Min	6,66	-6,09	12,08	-0,75	-1,40	-2,15
Mmax comb5 b1	COMB6	Combination	Max	11,86	0,25	30,84	1,29	-3,23	2,34
Mmax comb5 b1	COMB6	Combination	Min	4,88	-4,23	7,62	-0,14	-0,86	-0,91
SCUT2	COMB5	Combination	Min	-4,12	1,22	0,00	0,00	0,01	0,09
SCUT5	COMB2	Combination		-25,94	0,18	-2,78	-0,03	0,45	-0,03
SCUT5	COMB5	Combination	Max	-18,23	0,67	-0,89	0,01	0,13	0,08
SCUT5	COMB5	Combination	Min	-26,40	-0,32	-3,85	-0,06	0,64	-0,15
SCUT5	COMB7	Combination	Min	-25,30	-0,13	-5,18	-0,04	0,88	-0,10
Vmin comb4 b1	COMB4	Combination	Max	-9,78	-18,01	0,31	0,23	-5,60	4,66
Vmin comb4 b1	COMB4	Combination	Min	-27,83	-45,00	0,26	0,18	-2,42	4,09
Vmin comb4 b1	COMB6	Combination	Max	-13,50	-22,14	0,32	0,23	-5,80	4,60

II.6 Descripción de la propuesta

Según lo estipulado por la NC 774 del 2012 la resistencia a cargas axiales de tracción de la mampostería es nula. La norma mexicana de igual manera plantea una resistencia nula de la mampostería ante cargas de tensión (tracción) perpendicular a las juntas, y todo esfuerzo de este tipo que se requiera deberá ser proporcionado por acero de refuerzo. Por lo que se puede afirmar que la variante de edificio analizada es altamente vulnerable ante cargas sísmicas de mediana intensidad para la región donde está emplazada la estructura.

Dado que la estructura estudiada no cumple con los requisitos necesarios para sobreponerse a la ocurrencia de un sismo según la zonificación sísmica vigente en la NC 46 del 2014, se selecciona la mampostería confinada como solución para

aportarle la seguridad necesaria a la tipología de edificio de mampostería utilizada en el reparto Villa Nueva manzana diez, y de este modo evitar el fallo total o parcial de esta.

La propuesta se regirá por las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Mampostería (2004), ya que esta brinda de forma detallada los pasos y criterios para el diseño de estructuras utilizando la mampostería confinada.

II.6.1 Diseño de Dalas y Castillos

Primeramente se plantea que el área de acero longitudinal debe cumplir lo siguiente:

$$A_s \geq 0,2 * \frac{f'_c}{f_y} * t^2 \quad (II.3)$$

$$A_s \geq 0,2 * \frac{20}{240} * 15^2 \geq 3,75 \text{ cm}^2 \quad (II.4)$$

Siendo t el espesor del muro, f'_c y f_y las resistencias del hormigón y el acero respectivamente. Por lo que se decide usar 4 barras de ½" (área igual a $1,29 \text{ cm}^2$). Luego, el área de acero para los estribos (A_{sc}) debe cumplir que:

$$A_{sc} \geq \frac{1000 * S}{f_y * h_c} \quad (II.5)$$

$$A_{sc} \geq \frac{1000 * 200}{240 * 350} \geq 23,8 \text{ mm}^2 = 0,238 \text{ cm}^2 \quad (II.6)$$

Siendo h_c el peralte de la dala y s el espaciamiento de los cercos, por lo que se emplea barras de 3/8" (área igual a $0,71 \text{ cm}^2$).

Para la sección transversal se tomó dimensiones de $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ teniendo en cuenta los criterios planteados por las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Mampostería.

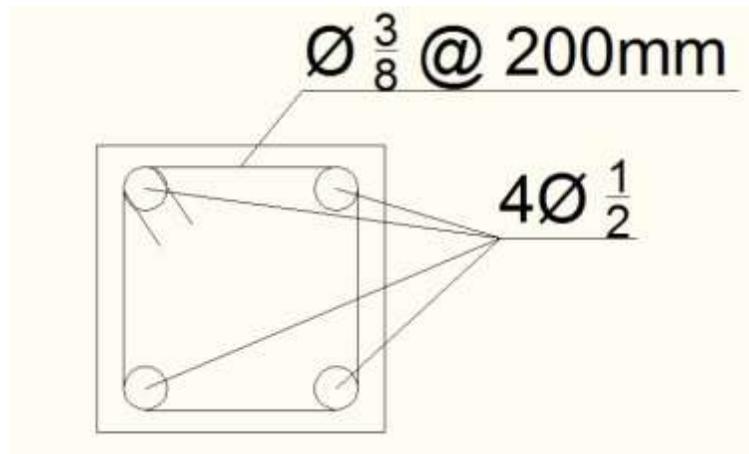


Figura II.7 sección transversal dalas y castillos.

II.6.2 Ubicación de Dalas y Castillos.

Los castillos se ubican según criterios de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Mampostería(2004), en los extremos de muros, en las intersecciones con otros muros y en puntos intermedios de los mismos para evitar separaciones de 1,5 la altura del muro o 4 metros. Las dalas se ubican en todo extremo horizontal del muro, manteniéndose sección de la viga de cerramiento especificada en el proyecto inicial. También se ubican dalas y castillos en el perímetro de toda abertura cuyas dimensiones horizontal o vertical excedan la cuarta parte de la longitud del muro o de 60 cm. La ubicación de estos elementos se muestra en las figuras II.8.

II.6.3 resistencia a compresión de muros confinados.

La carga resistente P_R se calcula:

$$P_R = F_R * F_E (f'_m + 4) A_T \quad (II.7)$$

Para $F_R = 0,6$ $F_E = 0,6$ $f'_m = 27,65 \text{ kg/cm}^2$ y un área total de $A_T = 5850 \text{ cm}^2$

Obtenemos $P_R = 66655 \text{ kg} = 666,5 \text{ kN}$

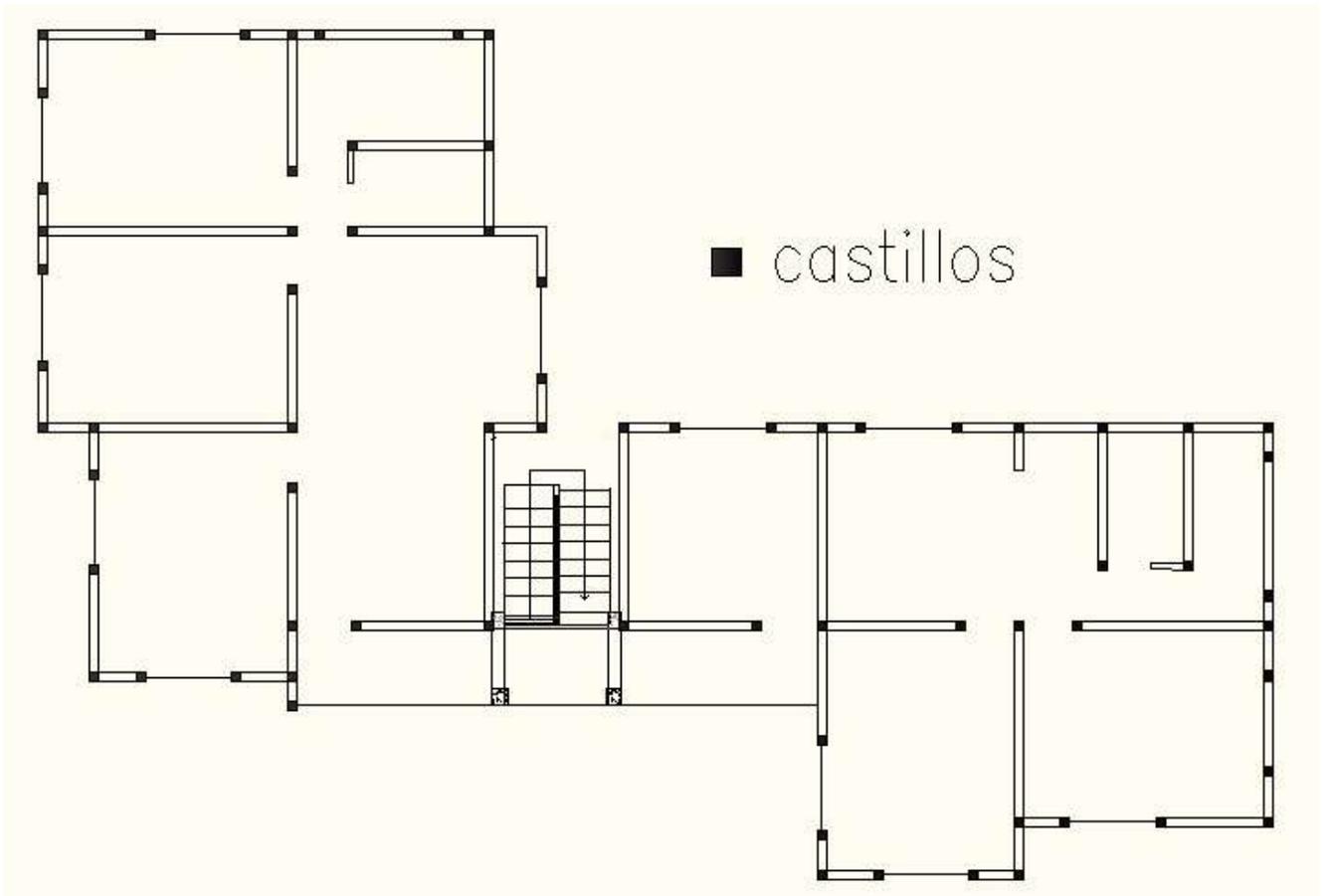


Figura II.8 ubicación de los castillos.

II.6.4 resistencia a flexocompresión de la mampostería

Próximamente se procederá a la obtención del gráfico de momento flector resistente, el cual es utilizado para la comprobación de los muros confinados de la estructura. Las siguientes ecuaciones describen el comportamiento de dicho gráfico.

$$M_R = F_R \cdot M_0 + 0,3 \cdot P_U \cdot d \quad \text{si} \quad 0 \leq P_U \leq \frac{P_R}{3} \quad (II.8)$$

$$M_R = (1,5 \cdot F_R \cdot M_0 + 0,15 \cdot P_R \cdot d) \cdot (1 - P_U/P_R) \quad \text{si} \quad P_U \geq \frac{P_R}{3} \quad (II.9)$$

Para $F_R = 0,8$ $d' = 3,9 \text{ m}$ $d = 3,975 \text{ m}$ $A_s = 3,8 \text{ cm}^2 = 0,00038 \text{ m}^2$ y
 $P_U = 27 \text{ kN}$ se obtiene:

$$M_0 = A_s \cdot f_y \cdot d' = 355,7 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (II.10)$$

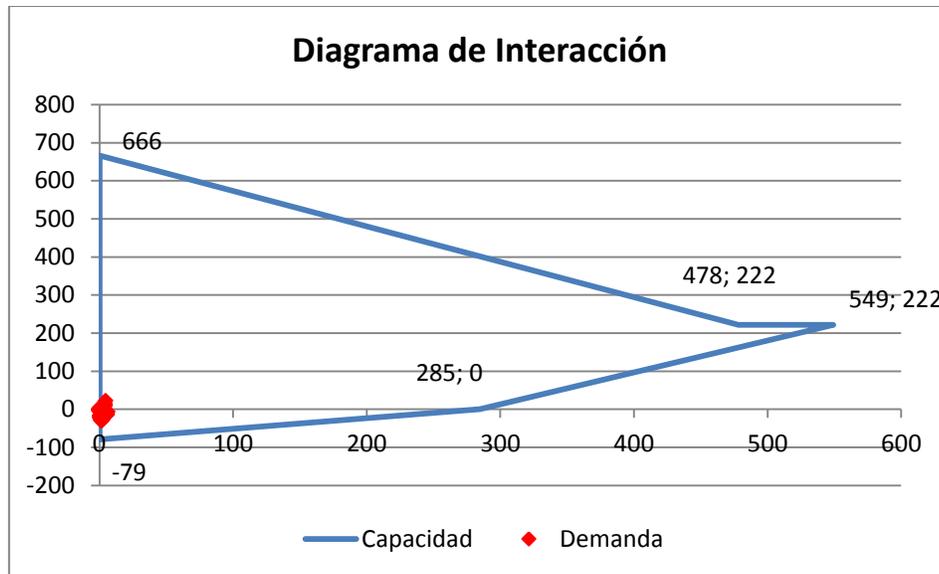


Figura II.6 *diagrama de interacción para el muro más desfavorable.*

Como puede apreciarse, todas las solicitaciones pésimas se encuentran en el interior del gráfico, lo que demuestra que esta tipología de estructura resiste perfectamente las cargas producto a sismos una vez confinados sus muros.

Conclusiones Parciales

- 1- De acuerdo con los resultados obtenidos, el objeto de obra analizado es vulnerable ante la incidencia de un sismo, pues se desarrollan valores de tracción que son inaceptables para estructuras de mampostería sin ningún tipo de refuerzo.
- 2- Con la propuesta planteada de mampostería confinada se es posible mitigar la vulnerabilidad sísmica del objeto de estudio

CONCLUSIONES GENERALES

- 1- De acuerdo con el material bibliográfico consultado, se puede apreciar que la NC774:2012 para el diseño de estructuras de mampostería no brinda elementos suficientes que garanticen un correcto comportamiento sísmico de tales estructuras.
- 2- De acuerdo con los resultados obtenidos, el objeto de obra analizado es vulnerable ante la incidencia de un sismo, pues se desarrollan valores de tracción que son inaceptables para estructuras de mampostería sin ningún tipo de refuerzo.
- 3- Con la propuesta planteada de mampostería confinada se es posible mitigar la vulnerabilidad sísmica del objeto de estudio.

RECOMENDACIONES

- 1- Realizar un análisis no lineal en el tiempo que permita evaluar de una forma más exhaustiva los valores de solicitaciones y desplazamientos que se originan en la estructura analizada.
- 2- Introducir el efecto de la interacción suelo-estructura dentro del análisis del objeto estudiado.

BIBLIOGRAFÍA

- Castillas, C., E. y Villalobos, F. (1996) Evaluación de las longitudes de solape del acero de refuerzo vertical en mampostería armada internamente bajo acciones sísmicas. IX Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica 28 al 30 de noviembre de 1996. Santo Domingo, República Dominicana.
- Castillas C., E. (1998) Recomendaciones para el diseño sismoresistente de edificaciones de mampostería estructural.
- Chuy T. J. (2014) Definiciones Básicas.
- Lora, F., A. (2013) Diseño estructural sismorresistente de edificios de viviendas de mampostería reforzada para su construcción en la ciudad Palma Soriano. Trabajo de Diploma, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.
- Meli, R. (1990) Diseño Sísmico de Edificios de Muros de Mampostería. Revista ingeniería sísmica, México DF.
- NC 774, (2012) Código de buenas prácticas para obras de mampostería.
- Normas técnicas complementarias para el diseño de estructuras de mampostería (2004). Gaceta oficial del Departamento del Distrito Federal, México.
- NC 175, (2002) Morteros de albañilería-especificaciones.
- NC 247, (2005) Bloques huecos de hormigón-especificaciones.
- NC 46, (2014) Construcciones sismorresistentes –Requisitos básicos para el diseño y construcción.
- Pérez, E. (2009) Proyecto Técnico Ejecutivo: Urbanización Villanueva. Manzanas 6 Y 10. VERTICE, Holguín.
- Russell, A. y Ingham, J. (2008) Bulletin of the New Zealand society for earthquake engineering, vol. 41, NO, 4.
- Ruiz, J., Sánchez, T. y Miranda, E. (2003) Observaciones sobre el comportamiento y diseño de edificaciones de mampostería en zonas sísmicas.

Sánchez, T., A., (1995) Diseño y Construcción de estructuras de mampostería, pág.298

Valenzuela, E. (2009) Sobrerresistencia en estructuras de mampostería. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana.

Zuñiga, O y Terán A (2008), "Evaluación basada en desplazamientos de edificaciones de mampostería confinada". *Revista de Ingeniería Sísmica*.

ANEXO 1, TABLA DE VALORES ESPECTRALES (T vs SA)

T	Sa (T)	T	Sa (T)
0	0,111	2,4	0,058
0,10147087	0,276	2,6	0,054
0,50735435	0,276	2,8	0,050
0,6	0,234	3	0,047
0,7	0,200	3,2	0,044
0,8	0,175	3,4	0,041
0,9	0,156	3,6	0,039
1	0,140	3,8	0,037
1,2	0,117	4	0,035
1,4	0,100	4,2	0,033
1,6	0,088	4,4	0,032
1,8	0,078	4,6	0,030
2	0,070	4,8	0,029
2,2	0,064	5	0,028