



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**“CONCRETO CELULAR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL “**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

Presenta:

BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

Asesor:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

Co-Asesor:

DR. CESAR PÉREZ CÓRDOVA



BUAP

Oficio No. 3110/2017

C. Bruno José Javier López

Pasante de la Maestría en Ingeniería
con opción terminal en Estructuras
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **Concreto celular para la construcción de viviendas de interés social, en Villahermosa, Tabasco**. Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Estructuras. Asignándose como Asesor a la M.I. Silvia Contreras Bonilla y Co-asesor al Dr. César Pérez Córdova.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Zaragoza, octubre 5 de 2017.


M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director

C.c.p. M.I. Silvia Contreras Bonilla y Dr. César Pérez Córdova, Asesor y Co-asesor del Tema de Tesis

C.c.p. Archivo

ABH/MCF/sco*



80 AÑOS
DE UNIVERSIDAD

Facultad
de Ingeniería

Bvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. 108 C, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P R E S E N T E:

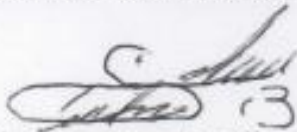
Por este conducto le envío un cordial saludo y al mismo tiempo le informo que el C. Javier López Bruno José, alumno de la Maestría en Ingeniería, opción terminal Estructuras ha elaborado el trabajo titulado:

"Concreto celular para la construcción de viviendas de interés social"

Como tema de tesis, el cual ha sido revisado y no existe inconveniente alguno en autorizar su impresión. Lo anterior, para efectos académicos a que haya lugar.

Agradeciendo su atención, quedo de usted como su seguro servidor

Atentamente
H. Puebla de Z. 20 de octubre de 2017



M.I. Silvia Contreras Bonilla
Director de la Facultad de Ingeniería

C.c.p. Dr. Alejandro Bautista Hernández.- Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado
C.c.p. Ing. Javier López Bruno José

Dedicatoria

A Dios:

Por brindarme vida y cuidarme en todo momento en este largo camino y por ponerme a las personas correctas durante este viaje.

A mis padres:

Por ser un pilar en mi vida, por todo su amor, cariño y confianza en mis decisiones. Por el ejemplo y las lecciones que me dieron en todo momento y su influencia en mi desarrollo personal y profesional. Los amo.

A mis hermanos:

Por ayudarme a creer en mis sueños y metas profesionales, por estar a mi lado siempre y querer todo lo bueno para su hermano menor. Son los mejores compañeros de vida.

A mi prima Tere:

Por cuidarme, protegerme y estar siempre al pendiente de mí, cuando estaba lejos de casa y ser como una segunda madre lejos de mi hogar, con mucho cariño.

A mi novia Martha:

Por toda la ayuda que me has brindado y estar a mi lado durante la elaboración de este trabajo, en los momentos más críticos e importantes, ya que no fue sencillo pero siempre me dabas ánimos y esperanzas para tener éxito en este proyecto. Te amo, gracias por todas las palabras de aliento.

Agradecimientos

A la M.I. Silvia Contreras Bonilla, por todo su trabajo, consejos, apoyo y atención durante la elaboración de este trabajo.

Al CENAPRED, por su trabajo y tiempo invertidos en la parte experimental ya que sin los valores en el procesamiento de los datos obtenidos, no se podría elaborar la parte comparativa en este trabajo.

Al Ing. José Manuel Cuatlayotl, por la información, consejos e invitación a obra y observar el sistema constructivo del estado de Puebla que sirvieron de mucho para la realización de este trabajo.

Al Ing. Oswaldo Trejo Almontes, por su apoyo, tiempo e información del manejo del programa estructural.

Al Dr. Jorge Luis Varela Rivera, Profesor del Cuerpo Académico de Estructuras y Materiales en la Facultad de Ingeniería de la UADY.

Al Arq. José Manuel Castillo, por la información y consejos sobre los procesos constructivos del sistema HEBEL.

Al personal docente del Postgrado en Ingeniería de la BUAP.

A Martha, por todo su amor, cariño y apoyo para la realización de este trabajo.

Índice

Resumen	14
Abstract.....	16
Introducción.....	18
Capítulo 1. Generalidades y características del concreto celular	20
1.1. El concreto celular	20
1.1.1. Propiedades del concreto celular	21
1.1.2. Tipos del concreto celular	23
1.1.2.1. Descripción y características de los tipos de Concreto Celular	24
1.2. Elaboración del concreto celular	26
1.2.1. Materiales utilizados para la fabricación del concreto celular	28
1.2.2 Propiedades físicas y químicas de los elementos para la fabricación del concreto celular	30
1.3. Criterios de diseño para el muro en construcciones tradicionales.....	32
1.3.1. Contribución del concreto en la resistencia a cortante	33
1.3.2. Contribución del acero de refuerzo en la resistencia a cortante ...	34
1.3.3. Diseño a flexión	35
1.3.4. Compresión Diagonal	35
1.3.5. Deslizamiento en la base del muro	36
Capítulo 2 Aplicación del concreto celular como elemento estructural	38
2.1. Elementos estructurales y métodos constructivos del concreto celular	38
2.1.1. Aplicación del concreto celular en losas	38
2.1.2. Aplicación del concreto celular en muros	40
2.1.3. Aplicación del concreto celular en construcciones de baja carga estructural	43
2.1.4. Aplicación del concreto celular en construcciones de alta carga estructural	45
2.2. Construcciones con concreto celular para viviendas	47
2.3 Diseño de la vivienda de interés social	56
2.3.1 Normatividad para mampostería apegado a las NTC.	58
2.3.1.1 Materiales para mampostería	59
2.3.1.1.1 Piezas	59
2.3.1.1.2 Resistencia a la compresión de las piezas	60

2.3.1.1.3 Resistencia a la compresión de morteros	60
2.3.1.1.4 Resistencia a la compresión de la mampostería.....	61
2.3.1.1.5 Resistencia a tensión diagonal	63
2.3.1.1.6 Resistencia a tensión	64
2.3.1.1.7 Modulo de elasticidad	64
2.3.1.1.8 Modulo de cortante	64
2.3.2 Calculo del proyecto mediante mampostería y sistema constructivo del estado de Tabasco	65

Capítulo 3. Características del terreno y pruebas de laboratorio del concreto celular86

3.1 Zona de estudio del municipio del centro en el estado de Tabasco para la construcción de una vivienda de interés social	86
3.1.1. Localización.....	87
3.1.2. Fisiografía.....	88
3.1.3. Edafología.....	89
3.1.4. Hidrología	90
3.1.5. Clima	92
3.1.6. Factores de riesgo.....	93
3.1.6.1. Peligro por Sismos	94
3.1.6.2. Peligro por Vulcanismo	95
3.1.6.3. Riesgos por fenómenos meteorológicos	96
3.2. Pruebas de laboratorio del concreto celular	98
3.2.1. Propiedades geométricas y pruebas de resistencia de los elementos de CCCA	100
3.2.1.1. Bloques CCCA	100
3.2.1.2. Cubos CCCA	101
3.2.1.3. Prismas CCCA	102
3.2.1.4 Resistencia a Compresión	102
3.2.1.4.1 Bloques	102
3.2.1.4.2 Cubos	103
3.2.1.4.3 Prismas	103
3.2.1.5 Resistencia a Flexión.....	105
3.2.1.6 Resistencia del mortero	105
3.2.2. Pruebas de resistencia a pilas	106
3.2.3. Pruebas de resistencia a muretes	109
3.2.4. Propiedades de diseño	113
3.2.5. Resumen de resultados	115

Capítulo 4. Diseño, modelado y revisión de la Vivienda de Interés Social mediante programas externos.118

4.1 Requerimientos para el método estático y análisis sísmico simplificado para ambos procesos constructivos	119
---	-----

4.2 Revisión de ambos sistemas constructivos por los métodos de análisis sísmico simplificado y estático.	123
4.3 Estados de daños y distorsiones	149
4.4 Obtención de las distorsiones de la mampostería con el software ANEMgcW.	174
4.5 Modelo de la vivienda de interés social con concreto celular	181
4.5.1. Diseño elástico de la vivienda de interés social con concreto celular empleando el SAP2000 v15.....	189
4.5.2. Comparación de la construcción de la mampostería confinada apegada a la NTC, con los valores de diseño para CCCA.	200
4.5.3. Comparación estructural de ambos tipos de construcción	213
Conclusiones	218
Recomendaciones	222
Referencias literarias.....	224
Referencias electrónicas	226
Anexos.....	228

CONCRETO CELULAR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

Resumen

El objetivo del presente trabajo es proponer el sistema constructivo de mampostería con bloques prefabricados de concreto celular, en la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Para ello se revisará una vivienda de interés social de un solo nivel, con las dimensiones establecidas por el Instituto de Vivienda del Estado de Tabasco (INVITAB), aplicando la reglamentación y metodología para construcciones de mampostería que marcan las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal (NTCDF), donde se comparará el sistema constructivo convencional empleando un block de concreto hueco y el block de concreto celular, determinando que cumplen con la revisión de compresión y cortante.

Siguiendo la misma revisión, se aplicará el "Método de Análisis Sísmico Simplificado", que marca el Capítulo 7 de las Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo, complementando la revisión por carga lateral y obteniendo la fuerza sísmica concentrada. Finalmente, una vez obtenidos los cuadros comparativos de ambos sistemas de construcción, se calculará la distorsión de cada muro, para obtener un parámetro más claro de la deformación de cada elemento por agrietamiento, dando así una pauta más de seguridad a la vivienda de interés social.

Abstract

The objective of the present work is to propose the system of masonry construction with prefabricated blocks of cellular concrete, in the city of Villahermosa, Tabasco. To do this, a social housing of a single level will be reviewed, with the dimensions established by the "*Instituto de la Vivienda del estado de Tabasco*" (INVITAB), applying the regimentation and methodology for masonry constructions that mark the "*Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal*" (NTCDF), where the conventional construction system will be compared using a hollow concrete block and the cellular concrete block, determining that they comply with the compression and shear revision.

Following the same review, the "Simplified Seismic Analysis Method", which marks Chapter 7 of the Complementary Technical Standards for earthquake design, will be applied, complementing the lateral load revision and obtaining the concentrated seismic force. Finally, once the comparative chart of both construction systems are obtained, the distortion of each wall will be calculated to obtain a clearer parameter of the deformation of each element by cracking, thus giving a further pattern of security to housing of social interest.

Introducción

En el estado de Tabasco, actualmente la vivienda de interés social es una opción para las nuevas familias, sin embargo y debido a los costos elevados de muchas de ellas, ya sea por los factores de; ubicación o diseño, se han vuelto poco viable y han dejado a un lado la parte de interés social. De ese modo es como surge el presente trabajo “Concreto Celular para la Vivienda de Interés Social”, propiamente como su nombre lo indica, se busca analizar la forma de construcción de una vivienda de interés social empleando el sistema constructivo prefabricado de Concreto Celular Curado en Autoclave (CCCA), con el apoyo y uso de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Mampostería y las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. Para una mayor brevedad y mención de ambas, en el presente trabajo se referirá como NTC-M y NTC-S, respectivamente.

Empleando las NTC-M y NTC-S, se podrán calcular los esfuerzos máximos a compresión y cortante en el rango lineal suponiendo que todos los valores serán empleados en un estado elástico, y aplicando únicamente los factores de reducción donde sea necesario. Una vez obteniendo la “Fuerza Sísmica Concentrada”, por el Método Simplificado se emplearán softwares comerciales como el ANEMgcW y el programa para diseño estructural SAP 2000, en el cual se definirán los parámetros de diseño obtenidos por la revisión del método simplificado y mampostería según las Normas Técnicas Complementarias para cada una. Con el objetivo de poder obtener las distorsiones de cada elemento muro y así poder graficar “la curva de capacidad” y tener un parámetro más claro del estado de daño de cada uno. Es importante mencionar que los valores de diseño tanto la resistencia a compresión, módulo de elasticidad y densidad del concreto celular serán tomados de pruebas de laboratorio realizadas por el CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), mediante la normativa de la ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación), comparando con valores obtenidos del RCDF y

el IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto) para lo cual el trabajo se divide en cuatro capítulos, a fin de obtener un panorama más amplio del tema a tratar.

Al principio se analizan las características del concreto celular, sus componentes que lo caracterizan como un material ligero y sus diversas propiedades que brindan un beneficio extra al de la mampostería convencional.

Posteriormente y mediante los datos de la zona en donde se realizarán los parámetros del tipo de suelo, se llevará a cabo el diseño de la vivienda, con cada uno de los elementos estructurales elaborados con concreto celular y se describirá la ventaja que brinda este material para la zona sur del país, donde el clima es muy caluroso y a su vez húmedo, cuestión donde el material podrá economizar desde el costo de la mano de obra por su fácil instalación, hasta ser un material térmico.

Teniendo el diseño y cada uno de sus elementos estructurales, se comparará el rendimiento estructural del material con el de la mampostería convencional.

Capítulo 1. Generalidades y características del concreto celular

El concreto celular también conocido como concreto aireado, se crea incluyendo una multitud de micro burbujas en una mezcla a base de cemento arena y otros materiales sílices. Esto se logra mezclando el agente químico espumador con agua, y generando espuma con la dilución, generalmente utilizando aire comprimido.

Para lograr resultados óptimos, se requiere de un aireador. La espuma se mezcla entonces con la lechada de arena/cemento/agua. Se comporta igual que el concreto denso pesado ordinario en la mayoría de los aspectos, tales como el curado.

La cantidad de aire que se puede incluir en los concretos aireados prefabricados o colados en sitio varía de 20 a 50 por ciento en volumen cuando se los utiliza estructuralmente, pero puede llegar a ocupar de 51 a 80 por ciento en concretos colados en sitio destinados sólo para aislamiento térmico, de empaque o relleno.

1.1. El concreto celular

El concreto celular se puede definir como una mezcla con estructura más o menos homogénea de silicatos de calcio en granos finos que contiene pequeñas burbujas de aire no comunicadas entre sí, es un material de peso ligero que puede ser elaborado con o sin agregados, adicionando solo un gas o una espuma que reacciona químicamente.

De acuerdo con el ACI 523.3R-93, el concreto celular se define como un producto ligero a base de cemento Portland, cemento con arena sílice, cemento puzolánico, pastas de sílice y limo o pastas que contienen mezcla de estos ingredientes y tienen una estructura celular, lograda mediante químicos formadores de gas o agentes de espuma (ACI, 1993). Es un material de peso ligero que contiene aire estable o celdas de aire uniformemente distribuidas a través de la mezcla en un volumen mayor del 20%. Las celdas de aire se añaden

a la mezcla como espuma estable preformada o a través de un aditivo dentro de la mezcla.

La característica más sobresaliente del concreto aireado es su densidad, Sin embargo, sus propiedades térmicas, acústicas, trabajabilidad, etcétera, generan grandes ventajas en la industria de la construcción.

Resistencia a la compresión. Esta varía en el concreto celular en un amplio rango que es determinado por su densidad, siendo esta de 320 a 1,920 kg/m³.

Cuando el concreto aireado es elaborado sin aditivos y con arena, su rango varía de 800 a 1,920 kg/m³; las mezclas que están adicionadas con agentes dispersantes y arena tienen una densidad aproximada de 1,360 kg/m³.

Las combinaciones que tienen una densidad en estado plástico por arriba de 800 kg/m³ tienen una cantidad aproximada de 390 kg/m³ de cemento.

1.1.1. Propiedades del concreto celular

Las propiedades del concreto celular, son las características o ventajas que tiene sobre el concreto ordinario, las cuales son:

Absorción: Las pruebas realizadas han demostrado que el espumante produce un concreto celular con una absorción de agua muy baja. Cuanto mayor sea el contenido de aire, menor será la absorción de agua.

Resistencia al fuego: Es extremadamente resistente al fuego y es apto para los trabajos con riesgo de incendio. Las pruebas han demostrado que, además de la protección prolongada contra el fuego, la aplicación de un calor intenso, como una llama a alta energía mantenida cercana a la superficie, no provoca ni la rotura ni la explosión, contrariamente al comportamiento del concreto con densidad normal.

Durabilidad: Es un material de larga duración que no está sometido al efecto del tiempo. No se descompone y es duradero como una roca. Su alta resistencia a la compresión permite que se pueda utilizar un menor peso/volumen en la construcción.

Calor: Gracias a la alta variación térmica, las construcciones con concreto celular logran acumular calor, lo que permite reducir los gastos de calefacción del

20 al 30 por ciento.

Microclima: Evita la pérdida de calor en invierno; es resistente a la humedad, permite evitar las temperaturas muy altas en verano y controlar la humedad en el aire absorbiéndola y favorece la creación de un microclima (similar a una casa de madera).

Montaje rápido: La baja densidad y, por tanto, la ligereza del concreto celular, junto al mayor tamaño de los bloques respecto a los ladrillos, permite aumentar sensiblemente la velocidad de colocación. El concreto celular se puede trabajar y cortar fácilmente para ranurar canales, pasos para cables eléctricos y tubos. La facilidad de montaje es debido a la alta precisión de sus dimensiones, con una tolerancia de más menos 1 milímetro.

Aislamiento acústico: Tiene una absorción acústica alta. Las estructuras construidas con concreto celular cumplen las normas en materia de aislamiento acústico.

Compatibilidad ambiental: Su respeto medioambiental es sólo superado por la madera. El coeficiente de compatibilidad ambiental del concreto poroso es 2; el de la madera 1, el de los ladrillos 10 y el de los bloques de arcilla expandida 20.

Versatilidad: Gracias a su facilidad de elaboración, se pueden producir varias formas de ángulos, arcos y pirámides que aumentan el valor estético de los edificios.

Economía: La exactitud geométrica de las dimensiones de los bloques de concreto celular permite hacer más sutil el aplanado interno y externo. El concreto celular pesa del 10 al 87 por ciento menos respecto al concreto de peso normal. Esta fuerte reducción en el peso, supone un ahorro importante sobre el costo de la estructura y los cimientos.

Protección: El concreto celular protege de la propagación del fuego, y corresponde al primer grado de resistencia, como se ha demostrado en las pruebas. Se puede usar, por lo tanto, para construcciones antincendios. Si la superficie de concreto celular está expuesta a un calor intenso, como a una lámpara de soldadura, no se rompe ni estalla como sucede, con el concreto

pesado. Como consecuencia, el acero encofrado está protegido del calor durante un periodo más largo. Las pruebas demuestran que la superficie de concreto celular de 100 milímetros de espesor puede resistir al fuego durante 4 horas. En las pruebas realizadas en Australia, la parte exterior de un panel de concreto celular de 150 milímetros de espesor ha sido expuesta a temperaturas de hasta 1,200°C.

Transporte: La combinación favorable de peso, volumen facilita el transporte de este material para las construcciones, tanto de material premezclado como elementos prefabricados.

Así, atendiendo a sus características vitales, podemos decir que el concreto aireado es:

- Aislante térmico y acústico por su bajo peso y densidad variable.
- Bombeable y autonivelante por su consistencia que varía de plástica a fluida.

1.1.2. Tipos del concreto celular

Los tipos del concreto celular son variados, debido a sus componentes y agregados que pueden variar la aplicación directa del producto. Existen aditivos como: generador espumante, fibra dispersante, retardante, expansor, escoria, ceniza volante, etcétera, que ayudan a cubrir algunas de las deficiencias que van aparejadas a la baja densidad del concreto celular.

Puede considerarse que existen dos grupos principales de concretos celulares: concretos aireados y microporitos figura 1.1. La diferencia entre ambos grupos la define el sistema de porosidad que presenta, así como el tamaño de los poros. En los concretos aireados la porosidad se forma mediante la inclusión de aire o agentes espumosos, dando como resultado una gran cantidad de burbujas microscópicas. En los microporitos la estructura porosa se debe al tipo de mortero o producto cementante que se emplee, el cual debe de ser un material sumamente diluido y de fraguado rápido, que permita que el aire entre a los poros

que se forman cuando la mezcla comienza a fraguar, dando un sistema de porosidad bastante homogéneo.

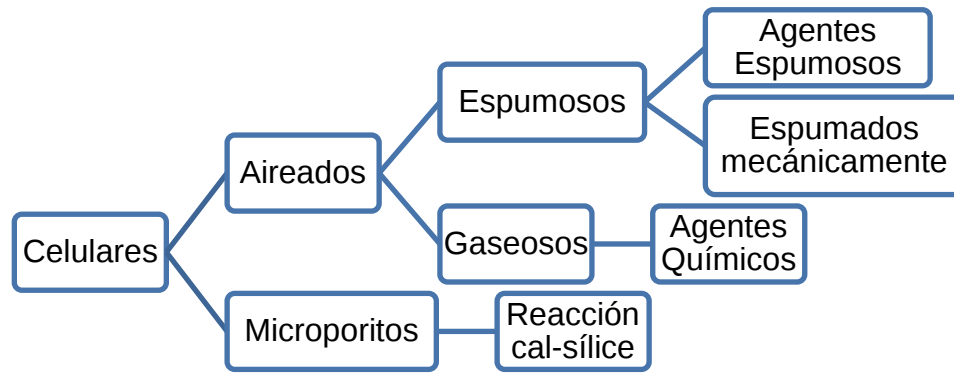


Figura 1.1 Formas de elaboración del concreto celular curado en autoclave (ACI 1993).

1.1.2.1. Descripción y características de los tipos de Concreto Celular

Concreto celular puro

Se emplea cemento Portland, agua, gas o espuma preparada, no contiene agregados sólidos, generalmente está limitado en el rango de baja densidad siendo de 200 a 700 kg/m³. En su elaboración se mezclan primero el cemento y el agua, y posteriormente se añade un agente químico o una espuma estable preparada, la cual debe ser bien mezclada con la pasta de cemento para lograr la consistencia celular.

Concreto celular arenado

Contiene cemento, arena con un diámetro máximo de 4 milímetros con finos de 0.2 milímetros para lograr resistencias más elevadas, agua y el agente escogido para desarrollar las células, el rango de su densidad es de 850 a 1,900 kg/m³. Agregados minerales tales como arena de sílice se utilizan con éxito para evitar la contracción del concreto celular.

Concreto celular con agregados ligeros

Se realizan con tezontle, piedra pómez, etcétera, para lo cual se reemplaza parte de la arena. Estos agregados deben contar con una resistencia mayor para aumentar su resistencia a la compresión (se logran mezclas de 1,600 kg/m³).

Concreto celular con agregados expansivos

La adición de vermiculita y perlita en el concreto ha demostrado que ayuda en climas cálidos a retener el agua del curado. Estos son ideales cuando el concreto celular se use como protección a las estructuras metálicas contra el fuego. Estos agregados se utilizan en la fabricación de prefabricados ya que logran su expansión a altas temperaturas.

Concreto celular modificado

Se considera concreto celular modificado a cualquiera de los tipos antes mencionados al que se le añade un aditivo.

Concreto celular con aditivo dispersante. Ayuda a exponer mayor superficie de las partículas del cemento a la hidratación. Su acción dispersante aumenta la fluidez e incrementa la resistencia a la compresión debido a la reducción de la proporción agua/cemento en la mezcla, logrando un incremento de resistencia hasta de 10 por ciento en densidades de 1,400 kg/m³, y de 40 por ciento en densidades de 1,750 kg/m³.

Concreto celular con aditivo expansor

La utilización de aditivo expansor en el concreto aireado refuerza a los componentes de éste, ya que la expansión puede ser de la misma magnitud que la contracción y la retracción del concreto; esta expansión compensa parcialmente los efectos de compresión en el secado característicos del concreto aireado. La tendencia a expandirse se controla por el acero de refuerzo, por lo cual éste debe ser colocado lo más cercano posible al centro de la sección para evitar empuje y por consiguiente, una deformación del elemento.

Concreto celular con escoria y ceniza volante

La arena puede ser reemplazada por las cenizas de combustible pulverizado o escoria de alto horno molidas. Estos funcionan en parte como relleno y en parte como reactivo químico con el cementante. La ceniza volante y la arena de cuarzo se emplean para reemplazar parcialmente la cantidad de cemento, lo cual ayuda a reducir tiempo de mezclado y, por consiguiente, la segregación; además, aumenta la resistencia del concreto celular.

Concreto celular con otros aditivos

Este concreto es compatible también con los agentes humectantes, densificadores, retardantes, estabilizadores de poros. También se utilizan los álcalis solubles (sosa cáustica) para acelerar la reacción de adiciones metálicas.

La arena y otros componentes sílicos se muelen en molino de bolas hasta llegar un grado de finura comparable a la finura del cemento ordinario.

Las mezclas del concreto aireado se pueden hacer con cemento Portland tipo I, normal, y con cemento Portland tipo III, resistencia rápida.

1.2. Elaboración del concreto celular

La prefabricación

El concreto celular prefabricado puede ser producido en bloques para muros y unidades reforzadas para muros y losas. Su densidad varía de 400 a 800 kg/m³.

Los bloques son de gran utilidad en la industria de la construcción porque reducen enormemente el peso muerto de las estructuras y representan ahorros considerables en las cargas, así como por la gran área que se puede cubrir con cada uno de ellos. Además, aporta beneficios a la edificación ya que es posible fabricar paneles reforzados de gran tamaño, pudiendo estos ser elementos de carga estructuralmente hablando.

Para elaborar prefabricados con concreto celular se debe contar con un espacio para colar el material en moldes, cortar y curar. Se requiere mantener una temperatura ambiente constante para poder fabricar elementos de alta calidad.

Primero se coloca con precisión el acero de refuerzo de manera que cuando se corten las piezas no se dañe éste. El concreto es vertido en moldes que son llenados parcialmente y a los 20 minutos la mezcla se expande cubriendo totalmente el molde. Después de cuatro a seis horas, el colado habrá fraguado lo necesario para poder ser cortado.

De acuerdo con la norma del ACI 523.2 R-68 hay varios sistemas que se pueden utilizar para el curado del concreto celular:

a) Curado por lo menos a 21°C o más, como mínimo por siete días si es cemento Portland normal tipo I y por tres días si se utiliza cemento Portland tipo III de resistencia rápida.

b) Curado en autoclave, lugar donde permanecerá de 14 a 28 horas. Bajo una presión aproximada de 10.5 kg/cm² y a una temperatura de 185°C. El curado en vapor es necesario para obtener “concreto gas” de primera calidad.

c) Cualquier sistema de curado podrá ser utilizado mientras se conserve el contenido de agua del concreto y se proporcione la máxima calidad de resistencia a los elementos.

El acero de refuerzo utilizado en el concreto curado en autoclave debe ser protegido para evitar la corrosión, en un baño de una mezcla de recubrimiento que puede ser: Protegerlo con concreto celular de mayor espesor, solución bituminosa oxidada que se endurece al aire, capa de lechada de cemento con o sin látex de hule y un material coloidal como la caseína, resinas epóxicas, ahogado en concreto normal u otra solución podría ser utilizar aceros pre-esforzados.

El colado en sitio

El concreto celular es ideal para colarse en el sitio, ya que es fácil adicionar la espuma directamente en la obra. El cemento, el agua, los agregados seleccionados y los aditivos se colocan en la mezcladora del mismo modo que se hace con el concreto normal; a éste se le introduce el generador de espuma especial que es un concentrado diluido en agua.

La cantidad del aditivo espumante depende del tipo de elemento, el volumen de concreto, la eficiencia de la mezcladora y la densidad que se espera del concreto. Cuando se agrega la espuma se continúa el mezclado para que al agitarla logre su expansión total y así garantizar la distribución uniforme de las células de aire en la mezcla.

Normalmente para evitar la contracción del concreto celular este es curado en autoclave; y para el diseño de mezcla colada en sitio, es necesario hacer ajustes como añadir fibras y agentes expansivos que eviten la fisuración y contracción por secado. El acero de refuerzo también ayuda a controlar la contracción por secado.

El concreto celular es autonivelante, fácil de trabajar y bombeable, pero es necesario utilizar retardadores y fluidificantes cuando es colado en clima cálido (superior a 22°C), con la finalidad de no perder su estructura celular, y en clima frío (1 a 4°C), se deben tomar precauciones como el calentado del agua. El concreto celular nunca debe ser colado cuando haya presencia de nieve, lluvia, granizo o heladas.

El colado del concreto aireado debe ser en capas cuyo espesor no sea mayor a 50 centímetros, para permitir que por sí solo se nivele y se compacte, ya que el compactado con vibrador destruye las células del material.

El concreto celular debe ser curado por aspersión o con membrana para evitar la pérdida de agua, por lo que no se permitirá el tránsito en las áreas hasta que no estén fraguadas (5 a 6 hrs.), ya que esto produciría la destrucción de los poros.

1.2.1. Materiales utilizados para la fabricación del concreto celular

Cementantes

Los concretos aireados se hacen a base de cemento o cal, en cambio los microporos utilizan únicamente cal. El cemento Portland se emplea para la elaboración de concretos espumosos o gaseosos.

Los cementos a base de escorias de altos hornos no se recomiendan para concretos celulares ya que se tienen problemas durante el curado en autoclave (vapor a alta presión), debido sobre todo al fraguado lento que presentan. Tampoco son recomendables los cementos con excesivo contenido de aluminio. Los concretos celulares cuya cementación se hace a base de cal, como los silicatos espumosos y los microporitos emplean cal quemada la cual al hidratarse requieren bastante cantidad de agua, misma que se obtiene de la mezcla, acelerando el endurecimiento de la estructura celular. El calor que se genera durante la hidratación facilita la reacción cal-sílice, necesaria para la formación del concreto.

El rápido fraguado de la mezcla evita y previene la formación de grietas que pudieran ser perjudiciales en el producto final.

Agregados

Los principales agregados para concretos celulares lo constituyen la arena sílice y las cenizas de combustible pulverizados. También existen otros materiales con alto contenido de sílice que pueden emplearse en la fabricación de concretos ligeros celulares, pero que son poco conocidos. La arena que se utiliza puede ser inerte o ser un agregado activo químicamente. Cuando es inerte debe llenar los mismos requerimientos que el concreto ordinario. En muchos casos se pueden combinar arena natural con arena seleccionada o cenizas de combustible pulverizado, pero se debe de tener cuidado en cada caso y aumentar el periodo de curado en autoclave para lograr resultados óptimos.

Los materiales que se emplean para la elaboración del concreto celular parten de las características finales que tendrá el agregado en la construcción o medio donde se empleara, pueden ser dos métodos de producción; químicos y espumados, como se muestra en la figura 1.2.

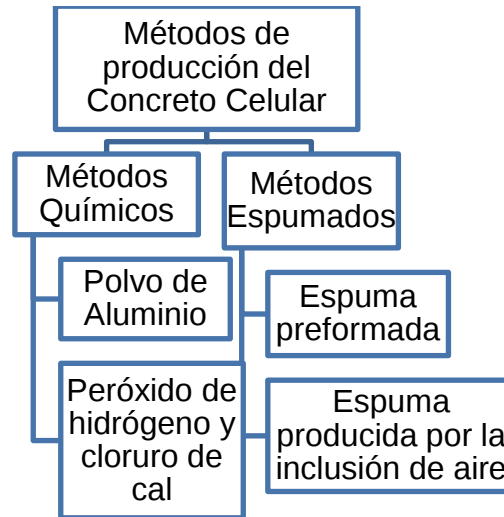


Figura 1.2 Métodos de producción del concreto celular (SMIE 2006)

1.2.2 Propiedades físicas y químicas de los elementos para la fabricación del concreto celular

Espuma producida por la inclusión de aire

El método consiste en la adición de un agente espumante o aditivo de alto poder de concentración a la mezcla de concreto o mortero celular (por lo general se utiliza una forma de proteína hidrolizada o jabón de resina) durante el mezclado a alta velocidad. Se añaden a la mezcla las dosis especificadas por el fabricante. Al contacto con el agua y con el movimiento del mezclado se genera espuma que atrapa el aire y lo incluye en forma de burbujas en la mezcla.

Espuma preformada

Consiste en producir una espuma estable que no se disuelva luego de incorporarla a la masa cementante. La espuma mantiene su consistencia hasta el momento de llevar a cabo la mezcla de agregados y cemento, en caso de no utilizarse se convierte en líquido al paso de los minutos.

El proceso de fabricación de concreto celular con espuma preformada es más fácil de controlar en comparación con los métodos químicos y de espumado en la mezcla y por lo general resulta más económico.

Es posible diseñar la mezcla sin preocuparse por la cantidad de agua, cambios de temperatura u otros factores que puedan afectar la reacción del

aditivo con la mezcla. Si no se tiene un buen control de la cantidad de espuma que se le agregue a la mezcla, puede ocasionar que las densidades del concreto varíe por lo que es importante poder medir con precisión qué cantidad de espuma se está utilizando.

El procedimiento requiere de un generador de espuma, aditivo y algunos cuidados en la elaboración y curado del concreto, además ofrece la ventaja de poder realizar colados in situ gracias a que la bomba generadora de espuma puede ser portátil.

Peróxido de hidrogeno

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2), también conocido como agua oxigenada, dioxigen o dioxidano, es un compuesto químico con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua, que por lo general se presenta como un líquido ligeramente más viscoso que ésta. Es conocido por ser un poderoso oxidante.

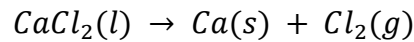
A temperatura ambiente es un líquido incoloro con olor penetrante e incluso desagradable y sabor amargo. Pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno gaseoso se encuentran naturalmente en el aire. El peróxido de hidrógeno es muy inestable y se descompone lentamente en oxígeno y agua con liberación de gran cantidad de calor, su velocidad de descomposición puede aumentar mucho en presencia de catalizadores.

Aunque no es inflamable, es un agente oxidante potente que puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica o algunos metales, como el cobre, la plata o el bronce.

Cloruro de calcio

El cloruro de calcio puede dar una fuente de iones de calcio en una solución, por ejemplo por precipitación porque muchos compuestos con el calcio son insolubles, por esa razón se utiliza como coagulante en algunos tipos de tratamientos de aguas residuales.

El cloruro de calcio fundido puede ser electrolizado depositándose calcio metálico en el cátodo y recogiendo cloro gaseoso en el ánodo:



El cloruro de calcio se usa en mezclas de concreto para acelerar su tiempo de fraguado pero los iones de cloro son corrosivos para el hierro por lo que no debe usarse el concreto armado. La forma anhidra del cloruro de calcio también puede usarse para este fin y puede servir para determinar la cantidad de humedad en el concreto.

Polvo de aluminio

Este elemento reacciona con el hidróxido de cal libre del cemento durante el fraguado y genera hidrógeno en forma de burbujas diminutas que son distribuidas en toda la masa, formando una reacción que, simplificada, resultaría en aluminato tricálcico hidratado + hidrógeno. La rapidez e intensidad de la reacción depende del tipo y de la cantidad de polvo de aluminio que se agregue a la mezcla, así como de la finura del cemento, temperatura, proporción de los componentes y algunos otros factores.

El porcentaje de aluminato para tener una compensación de todas las disminuciones de volumen que sufre un concreto desde que se coloca hasta que está endurecido y seco es del orden de 0.005 a 0.02 por ciento del peso del cemento.

1.3. Criterios de diseño para el muro en construcciones tradicionales

El objetivo en el presente trabajo es poder determinar la capacidad de cada elemento y material de la mampostería cuando están sujetos a determinados esfuerzos, como el objetivo es verificar la capacidad de resistencia de una vivienda de interés social empleando las NTC-M y un elemento muro conformado por piezas de concreto celular, en este apartado 1.3, se revisaran las ecuaciones por parte de las Normas Técnicas Complementarias en su apartado de Concreto

(NTC-C) en la aplicación de muros de concreto y refuerzos de acero, en el cual se podrán observar las variables de revisión entre la mampostería y muros de concreto armado. Observando los diferentes modos de falla que podemos revisar de igual modo en la mampostería.

Con las características de colado “*in situ*” y con la cuantía de refuerzo en el alma, el diseño puede ocasionar que con una falla en el muro se dé del tipo cortante por tensión diagonal. Similar a los criterios analizados de un muro con elementos prefabricados, con la diferencia que el acero no toma relevancia sino la mampostería. Analizando esto se puede llegar a un diseño por capacidad dando mayor resistencia a los modos de falla no deseados que son los siguientes:

- Falla a flexión
- Falla en compresión diagonal
- Falla por deslizamiento en la base del muro

En donde podemos observar la primera diferencia entre ambos procesos, ya que las NTC-M, descartan las deformaciones a flexión y torsión al aplicarse un método simplificado.

La mayoría de los reglamentos existentes consideran la resistencia a cortante de un muro de concreto como la contribución del concreto más la contribución del acero.

En los reglamentos de EUA (ACI-2005) y México, (NTC-C, 2004) se obtienen resistencias nominales y se utilizan factores de reducción de resistencia para considerar variaciones en las propiedades de los materiales, defectos constructivos, y para cubrir sensibles errores de los cálculos. Los factores reflejan la importancia del miembro en la estructura.

1.3.1. Contribución del concreto en la resistencia a cortante

En el reglamento ACI y NTC-C se considera un incremento de la resistencia a cortante en muros de relación de aspecto baja; para este tipo de muros ambas resistencias son similares. Para muros esbeltos en el NTC-C se aplica la teoría de vigas.

Las resistencias que marcan las NTC-C, son menores en comparación con el ACI.

La expresión que da las NTC-C, para evaluar la contribución del concreto en la resistencia a cortante suponiendo falla por tensión diagonal es la siguiente, para concretos de peso normal:

Para una relación $H/L \leq 5.1$, en Kgf, se tiene en la ecuación (1.1).

$$V_{cR} = 0.85 * F_R \sqrt{f_c} * tL \quad (1.1)$$

Y de acuerdo con el capítulo 12 de las NTC-C, para concretos ligeros, el valor de $\sqrt{f_c}$ se cambia por $0.5\sqrt{f_c}$ para Kgf/cm², ecuación (1.2).

$$V_{cR} = 0.85 * F_R * 0.5\sqrt{f_c} * tL \quad (1.2)$$

Donde f_c es la resistencia nominal del concreto en compresión, t es el espesor del muro y L su longitud. $F_R=1$.

Si se sustituyen los valores en la ecuación (1.1), resulta la contribución del concreto a la resistencia a cortante para muros bajo carga monótona.

En el caso que se sustituyan los valores de los elementos en la ecuación (1.2), tenemos que la contribución del concreto a la resistencia a cortante para muros bajo carga monótona y cíclica.

1.3.2. Contribución del acero de refuerzo en la resistencia a cortante

Tanto en el RCDF como en el ACI se considera que la totalidad del refuerzo horizontal fluye. Las expresiones utilizadas por ambos reglamentos se presentan en las ecuaciones (1.3) y (1.4) respectivamente.

$$V_s = \rho_{hor} * f_y * t * L \quad (1.3)$$

$$V_s = \frac{A_{hor} * f_y * (0.8 * L)}{s} \quad (1.4)$$

Donde, para la ecuación 1.3, ρ_{hor} es la cuantía de acero de refuerzo horizontal, f_y es el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo, t es el espesor del muro y L la longitud del mismo, A_v es el área de las barras de refuerzo horizontal, f_y su esfuerzo nominal de fluencia y S su separación.

Con lo anterior se concluye que la resistencia total para los muros, de acuerdo con las NTC-C, para concretos ligeros es la que se da al sustituir en la ecuación 1.3, la cuantía de acero.

1.3.3. Diseño a flexión

Los muros se diseñan para que el esfuerzo cortante asociado a la falla por flexión sea mayor que el asociado a la falla por cortante por tensión diagonal.

1.3.4. Compresión Diagonal

Cuando las cuantías de refuerzo son grandes, los esfuerzos de tensión en el concreto son pequeños en comparación con los esfuerzos en el acero y no se alcanza a lograr una falla por tensión diagonal. Los esfuerzos en el puntal de compresión se incrementan hasta la falla por compresión diagonal en el concreto. Regularmente en una falla por compresión diagonal se desarrolla poca ductilidad. Para prevenir este tipo de falla, las NTC-C consideran un esfuerzo cortante máximo. Con la siguiente ecuación (1.5) en Kgf.

$$V_{cR} + V_s < 0 = 2 * A_{cm} * \sqrt{f_c^*} \quad (1.5)$$

Donde V_{cR} y V_s son las contribuciones a la resistencia a cortante del concreto y del acero respectivamente, f_c^* es la resistencia nominal del concreto en compresión y A_{cm} el área bruta de la sección de concreto comprendida por el espesor del muro y la longitud de la sección en la dirección de la fuerza cortante de diseño.

1.3.5. Deslizamiento en la base del muro

Cuando se presentan elevadas cantidades de acero de refuerzo en los extremos del muro, es muy poco probable que se presente este tipo de falla. La revisión que se realiza con las expresiones dadas en el eurocódigo 8 (incorporando los factores que marcan las NTC para concretos ligeros), el cual considera que la resistencia al deslizamiento es la suma de las siguientes ecuaciones (1.6) y (1.7).

$$V_{dd} < \phi = \begin{cases} 1.5 \sum A_v 0.496 \sqrt{f_c} * f_y \\ 0.25 f_y \sum A_v \end{cases} \quad (1.6)$$

$$V_{fd} < \phi = \begin{cases} \mu_f \left[(\sum A_v f_y + N) \xi + \frac{M}{Z} \right] \\ 0.25 \eta (0.246) f_c * \xi t L \end{cases} \quad (1.7)$$

$$\eta = 0.6 \left(1 - \frac{f_{cr}}{250} \right) \quad (1.8)$$

Donde V_{dd} es la resistencia dada por el refuerzo vertical trabajando como dovela, V_{fd} la resistencia de fricción del concreto, A_v es el área de todo el refuerzo vertical en el muro, μ_f el coeficiente de fricción del concreto el eurocódigo recomienda un valor de 0.7, Z es el brazo de palanca, N es la carga axial; ecuación (1.8), M es el momento flexionante de diseño que se considera como el correspondiente a la resistencia a cortante calculada con la expresión de las NTC-C para concretos ligeros y ξ la profundidad del eje neutro normalizada. Finalmente este apartado solo sirve de ejemplo y del modo de obtención para poder calcular la resistencia de los muros empleando otro método constructivo, en este caso muros de concreto armado, para el caso de este trabajo esta opción se descarta debido a los altos costos en materiales y mano de obra, además de los tiempos que serían mucho mayores a los que se estima en la construcción de una vivienda de interés social, con elementos prefabricados.

Capítulo 2 Aplicación del concreto celular como elemento estructural

2.1. Elementos estructurales y métodos constructivos del concreto celular

El concreto celular es un material como se describió en el apartado 1.1., y los tipos de concreto celular que existen en el apartado 1.1.2., con la capacidad de ser distribuido en formas prefabricadas que se ajustan a la construcción moderna en sus elementos estructurales, como es el caso de las losas prefabricadas que ya traen ciertas características así como también densidades, peso, resistencia y un método de aplicación especial por su tipo de composición física y química. Dependiendo del tipo de composición que se emplee y del lugar donde se colocará, el concreto celular es más útil en la prefabricación que el colado en sitio, por su fraguado y su resistencia final obtenida.

2.1.1. Aplicación del concreto celular en losas

En el caso de las losas la aplicación del concreto celular colado en sitio, no es recomendable debido a que la resistencia óptima que adquiere el material es por medio del proceso de autoclave (tratado con vapor de alta presión) y al tratarse de un elemento que será constituido en medio del interperismo y un claro con dimensiones por arriba de los 3 metros, la presencia de agrietamientos, el tiempo de fraguado y del rompimiento acelerado de las burbujas de aire, causarían una resistencia mínima a la esperada, aun con mayores cuidados que con la elaboración de un concreto tradicional. Por tanto este elemento estructural se empleara puramente prefabricado, con las características de la figura (2.1).

Las propiedades tanto de espesor como peso de diseño, se muestra en la tabla (2.1), con estos valores podremos ajustar el diseño de la losa de azotea para el cálculo de la vivienda de interés social.

Longitud [m]	Sobrecargas Máximas de Servicio Panel Hebel AAC-6 [Kg/m ²]							
	Losa de Azotea				Losa de Entrepiso			
	Espesor de Panel (cm)				Espesor de Panel (cm)			
	10.0	15.0	17.5	20.0	10.0	15.0	17.5	20.0

	Peso de Diseño [Kg/m ²]				Peso de Diseño (Kg/m ²)			
	72.0	108.0	126.0	144.0	72.0	108.0	126.0	144.0
2.0	725	1209	1469	1759	754	1219	1481	1770
2.5	560	917	1103	1310	430	935	1120	1324
3.0	316	736	878	1036	220	761	901	1055
3.5	174	615	727	853	–	625	754	877
4.0	94	529	620	723	–	385	650	751
4.5	–	352	540	627	–	239	480	657
5.0	–	228	462	552	–	–	315	517
5.5	–	145	316	496	–	–	205	354
6.0	–	87	214	366	–	–	–	240

Tabla 2.1 Propiedades del panel prefabricado para losa (del fabricante) basada en las normas ACI.

Nota: Las sobrecargas máximas de servicio (carga muerta y viva) indicados en esta tabla consideran la revisión estructural por flexión, cortante y deflexiones de acuerdo al ACI-523.



Figura 2.1 Características del panel losa (Hebel 2010)

Longitud: *Hasta 6.00 m.*

Ancho: *61.00 cm.*

Espesores: *10.00, 12.50, 15.00, 17.50, 20.00, 25.00 y 30.00 cm.*

Clase AAC-6:

Resistencia a la compresión = 61.20 kg/cm^2

Peso do Diseño = 720.00 kg/m^3

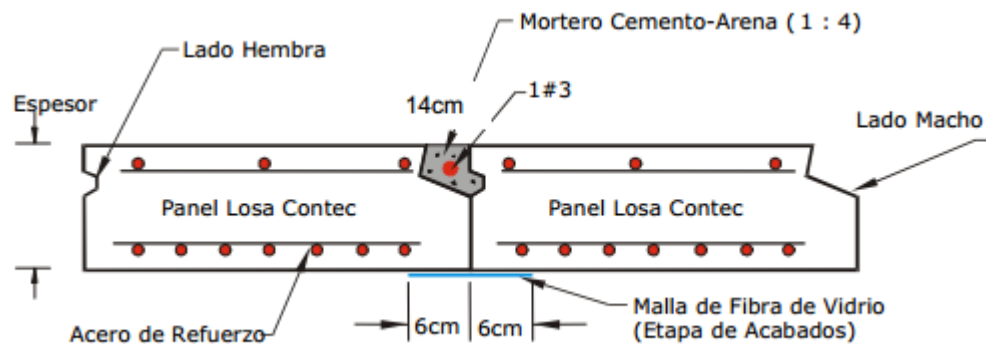


Figura 2.2 Corte del panel para losa Hebel y su aplicación.

Entonces la aplicación del concreto celular en losas es por unidades prefabricadas con ciertas características, como la protección del acero con recubrimientos anticorrosivos.

2.1.2. Aplicación del concreto celular en muros

Para el caso de los muros el sistema con concreto celular puede ser de dos tipos, tanto prefabricado figura 2.3 y colado "*in situ*", de esta forma se puede elegir cualquiera de los dos dependiendo de varios factores; económicos, tiempo, materiales y mano de obra con la que se cuente debido a que al ser colado en el lugar de trabajo se necesita el correcto proporcionamiento de la espuma expansora o de los elementos que generan la reacción química para que se forme el concreto celular, ya que las partículas de aire serían inestables y podrían causar pequeñas tensiones que a la par crearían agrietamientos en el muro recién se esté colando la mezcla.

Sistema prefabricado; mediante este método el levantamiento de las hiladas podría decirse es particularmente fácil, necesitando menos mano de obra, menores tiempo de construcción y utilizando el adhesivo especial se puede ahorrar tiempo, con el único empleo de mortero en el desplante de la primera

hilada de blocks. En la tabla 2.2, se observan los valores de diseño de los blocks de concreto celular curado en autoclave.



Figura 2.3 Características del bloque prefabricado.

Longitud: 61 *cms*

Peralte: 20 *cms*

Clase AAC-4:

Resistencia a la compresión = 40.8 *kg/cm²*

Peso de Diseño = 600 *kg/m³*

Clase AAC-6:

Resistencia a la compresión = 61.2 *kg/cm²*

Peso de Diseño = 720 *kg/m³*

Información							
Espesor	Peso de Diseño		Peso por Pieza *		Pallet (Tarima)		
	AAC-4	AAC-6	AAC-4	AAC-6			
<i>cm</i>	<i>Kg/m2</i>	<i>Kg/m2</i>	<i>Kg/pza.</i>	<i>Kg/pza.</i>	<i>Pzas.</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>

10.0	60	72	7.32	8.78	180	21.960	2.196
12.5	75	90	9.15	10.98	144	17.568	2.196
15.0	90	108	10.98	13.18	120	14.640	2.196
17.5	105	126	12.81	15.37	96	11.712	2.050
20.0	120	144	14.64	17.57	84	10.248	2.050
25.0	150	180	18.30	21.96	72	8.784	2.196
30.0	180	216	21.96	26.35	60	7.320	2.196
*Basado en Peso de Diseño							

Tabla 2.2 Propiedades del block de concreto celular autoclaveado (del fabricante) basada en las normas ACI.

En esta situación el bloque prefabricado de concreto celular curado en autoclave tiene propiedades más resistentes que al elaborar un muro de concreto celular con espuma preformada “in situ”, aunque sin descartar esa posibilidad el muro de igual forma se puede; colar y cimentar siempre que se tenga mano de obra especializada, en la figura 2.4, se observa el desplante del primer block de concreto celular y los espesores mínimos de las juntas y del nivel de desplante.

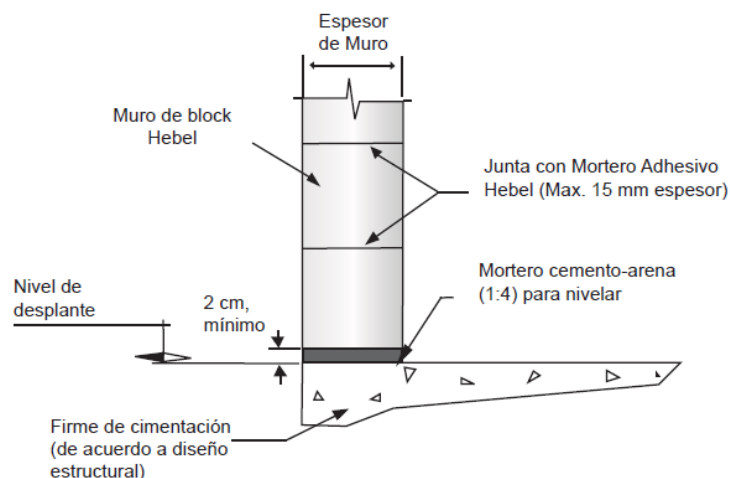


Figura 2.4 Corte del block de concreto celular curado en autoclave Hebel, y su aplicación. Siendo sujetos de estudio a cargas verticales y laterales.

Para poder construir un muro “*in situ*”, de la misma manera que con el prefabricado se necesita una cimentación que soporte la estructura y la bajada de cargas del peso de la estructura.

Para el caso de la construcción de un muro con concreto celular confinado, se lleva un cimbrado, al ser un muro de mampostería con castillos de concreto armado, para esto primero se colará la cimentación con el acero vertical de los castillos (figura 2.5), después se colocará la cimbra necesaria para soportar los esfuerzos provocados por el concreto fresco en los castillos.



Figura 2.5 Armado y colado de los castillos del muro “*in situ*”, con mampostería de block celular.

2.1.3. Aplicación del concreto celular en construcciones de baja carga estructural

Se puede definir como construcciones o edificaciones de baja carga estructural a los tipos residenciales, obras públicas; como centros de salud, centros escolares con un tránsito mínimo y edificios municipales con peraltes y claros no tan prolongados.

Para estas situaciones el concreto celular, por el tiempo de construcción y cuando son obras de mayor número como las residenciales, las fraccionadoras o el grupo constructor, para el abaratamiento de costos optan por el uso del material

prefabricado, dejando en claro que la calidad, resistencia y manejabilidad del mismo es mucho mayor al proceso de colado en sitio con concreto celular.

En la situación de hoy en día, donde la economía es un tema de gran importancia para todas las familias mexicanas, el emplear el concreto celular en una vivienda reduce costos ya que las propiedades térmicas que ofrece el material prefabricado hace que la temperatura en la casa sea más estable dentro de la vivienda, reduciendo la energía necesaria para calentar o enfriar la misma. Los muros de block térmico son de tres a ocho veces más eficientes en la parte térmica que cualquier material de blocks huecos. Como igual se vio en el capítulo 1.1.1, las propiedades del concreto celular, una de las ventajas para la vivienda en cuestión de confort es que las paredes proveen aislamiento acústico, en seguridad el tiempo de propagación del fuego es mucho menor que al del concreto ordinario.

En la figura 2.6, se muestra el uso de la mampostería reforzada, junto con el uso de panel tipo losa de concreto celular curado en autoclave. Al igual que se puede emplear con la mampostería reforzada el concreto celular es empleado en construcciones tipo residenciales en donde predomina el sistema de construcción por paneles, bloques, losas tipo losacero y paneles curados, como lo muestra la figura 2.7.



Figura 2.6 Construcción de una vivienda residencial con block celular y panel losa celular.



Figura 2.7 Vivienda tipo residencial con concreto celular

2.1.4. Aplicación del concreto celular en construcciones de alta carga estructural

Las construcciones de alta carga estructural, son aquellas que se diseñan con refuerzos y para un determinado tipo de construcción u obra especial, que tendrá un tránsito diario mayor, que al de una con menor carga estructural. Industrial, comercial e institucional son este tipo de obras en el cual a diario el tránsito de carga viva es mayor al de un edificio tipo residencial.

Dependiendo del edificio, ya sea de tipo comercial; universidades, hospitales, oficinas. El uso de materiales prefabricados es ideal para el abaratamiento de costos, y con un diseño estructural que soporte los claros muy prolongados o de mayor altura en comparación al uso residencial. Varias edificaciones destinadas a diversos campos como en las construcciones industriales que se busca un margen de seguridad mayor por el tipo de trabajos y así proteger la integridad de los trabajadores y maquinarias, la protección contra el fuego y la ligereza del material son idóneos para este tipo de edificaciones. Para esto la clave es la ligereza, durabilidad, resistencia al fuego y aislante térmico. En la figura 2.8 se puede observar una estructura de tipo industrial, con paneles de muro vertical, horizontal y losa de entrepiso y azotea.

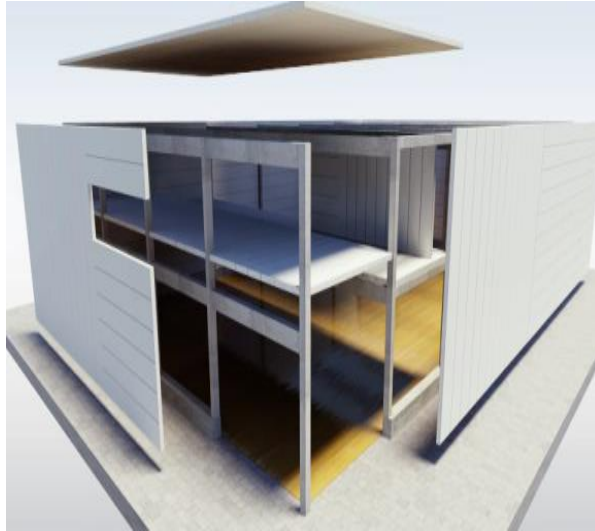


Figura 2.8 Utilización de panel losa y panel muro para edificaciones industriales

El uso de materiales prefabricados, no siempre se apega a un mismo proceso constructivo, en el caso de grandes claros con construcciones más ligeras y de un uso puramente industrial se puede optar, por materiales que proporcionen un mayor rango de dimensiones, pero con las características de un elemento unitario como el bloque figura 2.9.



Figura 2.9 Ensamblado de edificio industrial con panel muro de concreto celular

2.2. Construcciones con concreto celular para viviendas

La vivienda con concreto celular, puede llegar a ser mixta en cuanto a materiales signifique, dependiendo muchas veces del factor económico, un ejemplo claro es combinar muros de mampostería tradicional, block, cemento, arena y agua.

2.2.1 Proceso constructivo

Muro

Primero como cualquier obra a edificar se debe considerar las propiedades mecánicas del suelo dependiendo las consideraciones necesarias para suelos expansivos, suelos de baja capacidad, rellenos, etc., como lo muestra la figura 2.10 y 2.11.



Figura 2.10 Excavación del terreno natural



Figura 2.11 Preparación del terreno natural para el armado, cimbrado y colado de la cimentación

El segundo punto es ya teniendo la cimentación se agrega el mortero para desplantar la primera hilada de block sobre una cama de mortero cemento-arena 1:4, corrigiendo el nivel de cada block colocado en la figura 2.12, se muestra la aplicación de mortero para la colocación de la primera hilada, en la figura 2.13 se ve el detalle del armado de los bloques tipo “O” de concreto celular.



Figura 2.12 Aplicación del mortero para pegar la primera hilada de blocks

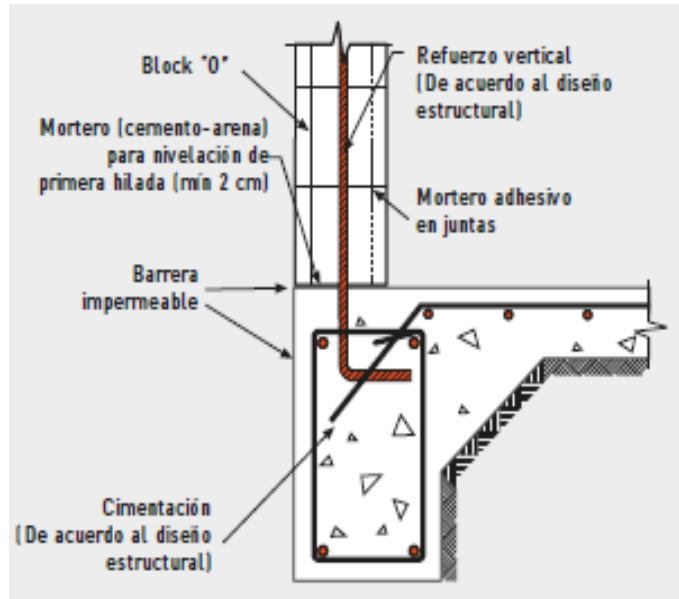


Figura 2.13 Corte de la cimentación y detalle del armado de refuerzo para el block tipo "O"

Para pegar cada block, en lugar de utilizar el mortero normal, se emplea un mortero adhesivo especial como lo indica la figura 2.14, el cual se "bate", hasta lograr una consistencia que fluya a través de la cuchara.



Figura 2.14 Preparación del mortero adhesivo para el pegado del block celular y agregado del aditivo, mezclado con el mortero para las juntas. Fuente Xella Mexicana.

Revisar que el traslape de boquillas verticales entre block y block sea de 10 centímetros como mínimo. Y las laminillas conectoras estén colocadas a cada 40 centímetros, figura 2.15. Se debe corroborar la unión de muros con los castillos de concreto.



Figura 2.15 Aplicación de la mezcla con la consistencia adecuada.

Revisar el plomo de cada muro al menos cada 5 hiladas, figura 2.16. Identificar el ajuste de apoyo de dintel: ajuste menor a 5 centímetros con mortero cemento-arena 1:4. Identificar, suministrar y colocar los dinteles, revisar que el enrase de block esté a nivel con objeto de asegurar el apoyo de los paneles a nivel.



Figura 2.16 Revisión del nivel de cada block, a cada cierta hilada.

Para el refuerzo vertical se usaran block tipo “O” y para el refuerzo horizontal block tipo “U”. En la figura 2.17 se puede apreciar el refuerzo vertical en las

esquinas de los muros con block tipo “O” y en la figura 2.18 el refuerzo horizontal con el block tipo “U”.

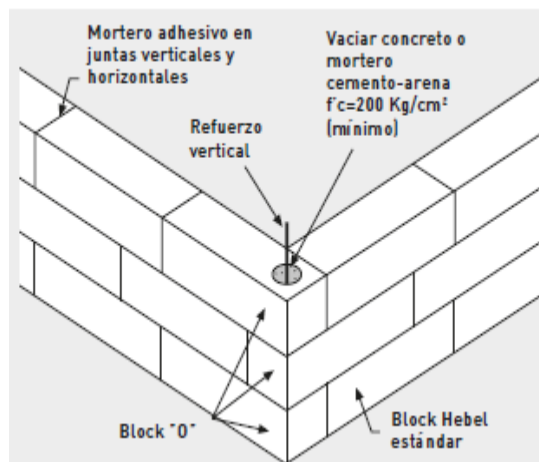


Figura 2.17 Refuerzo vertical.

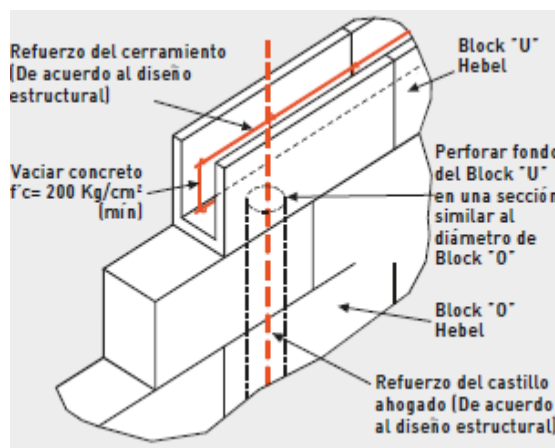


Figura 2.18 Refuerzo horizontal

Detalle constructivo del muro con block prefabricado, figura 2.19. En el cual se aprecian los refuerzos desde los muros esquineros con refuerzo vertical, las cadenas de cerramiento con refuerzo horizontal, los traslapes de los bloques, la aplicación del refuerzo en ventanas con block tipo “U” y la unión entre el block y el panel para losa de concreto celular.

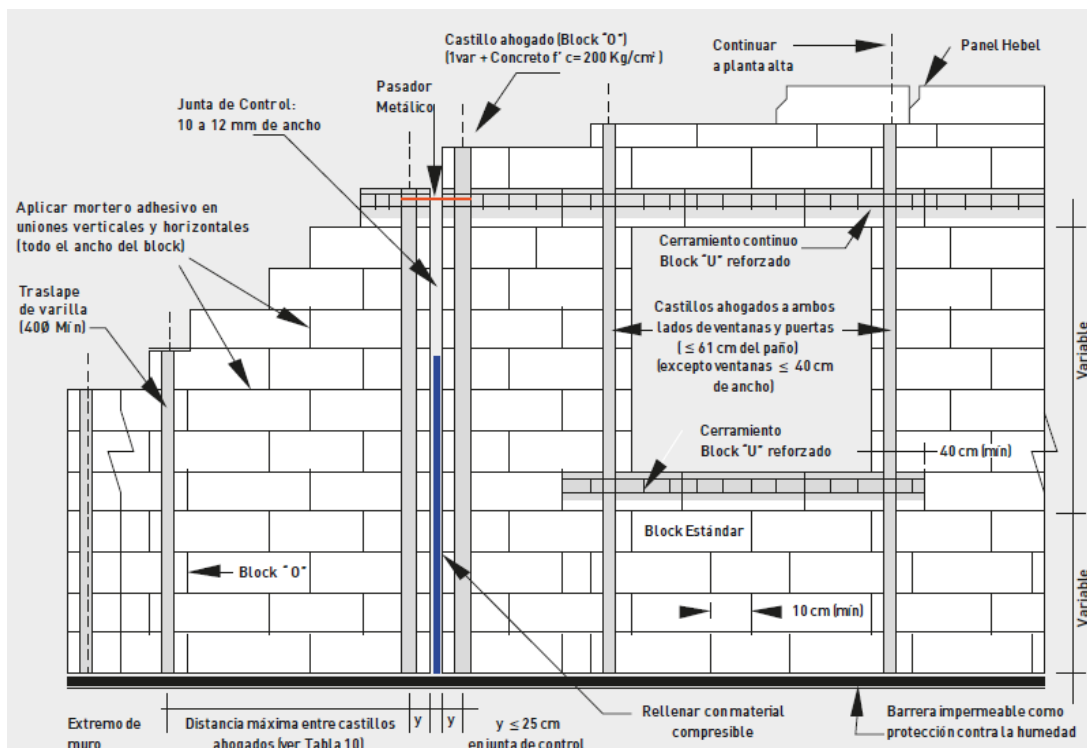


Figura 2.19 Detalle del armado final para cada muro

Losa

Similar al montaje de una losa normal, la losa prefabricada de concreto celular necesita de una cimbra con polines de madera para poder reposar los paneles.

Se revisa el enrase de los muros cargadores aquellos que se realizan sobre la mampostería, si es sobre mampostería celular no deberán ser menores a 5 centímetros de altura; de lo contrario se deberá utilizar mortero (cemento-arena).



Figura 2.21 Revisión del enrase previo a la colocación del panel losa

Revisión de medidas interiores de los elementos de apoyo para garantizar el apoyo mínimo de los paneles para finalmente realizar la verificación física de dimensiones y cantidad de paneles.

Colocación de los paneles, por medio de poleas y con ayuda de un oficial y un ayudante. Para la colocación se puede emplear desde maquinaria especializada, figura 2.22, o igual mediante el uso de poleas y cuerdas.



Figura 2.22 Utilización de una grúa o Titán para ayudar a los obreros con poleas sobre los muros de concreto celular

Revisión de las salidas de acero de cada panel, cuidar que las juntas de conexión sean macho-hembra, figura 2.22.

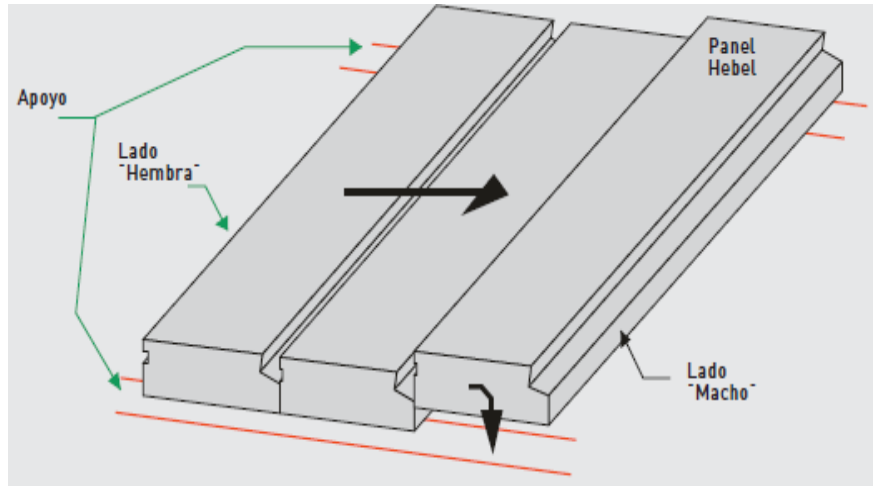


Figura 2.22 Diagrama de conexión del panel losa

Colado de las juntas de conexión para las juntas longitudinales entre paneles debe tener un proporcionamiento 1:3 y un revenimiento entre 8 y 10 centímetros. En la figura 2.23 se aprecia la junta del mortero.

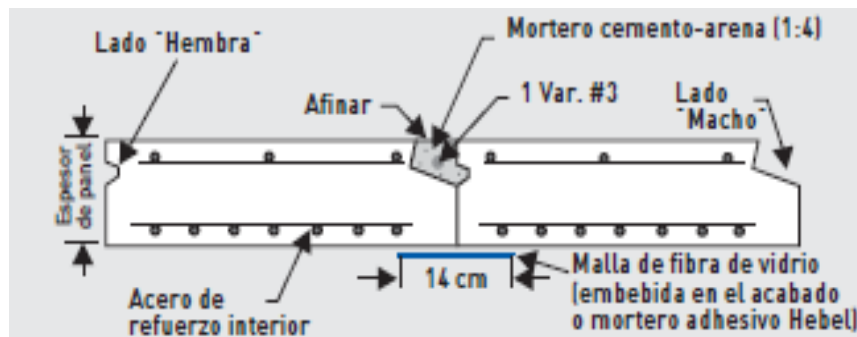


Figura 2.23 Corte del panel losa mostrando la aplicación del mortero entre juntas

Entre cada junta se colocara una varilla del #3 en las juntas de cortante, figura 2.24, luego cimbrar y armar el anillo de confinamiento con 2 varillas del #3 a lo largo de todo el anillo y una varilla del #2 a cada 40 centímetros (diagonal).

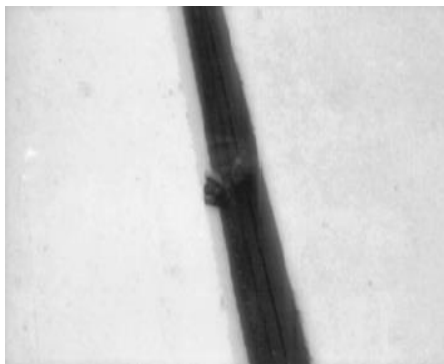


Figura 2.24 Refuerzo entre juntas con varillas #3

El concreto para colado de anillos perimetrales debe tener una resistencia mínima de 200 kg/cm², se recomienda utilizar agregado de tamaño máximo de 10 milímetros y un revenimiento entre 10 y 12 centímetros. Las superficies de colado se deben humedecer previo a la colocación del concreto. Finalmente el concreto se coloca y se compacta manualmente. Las placas de la losa se colocaran de manera en que el lado de mayor longitud quede horizontal sin ser paralelo a las juntas longitudinales, figura 2.25.

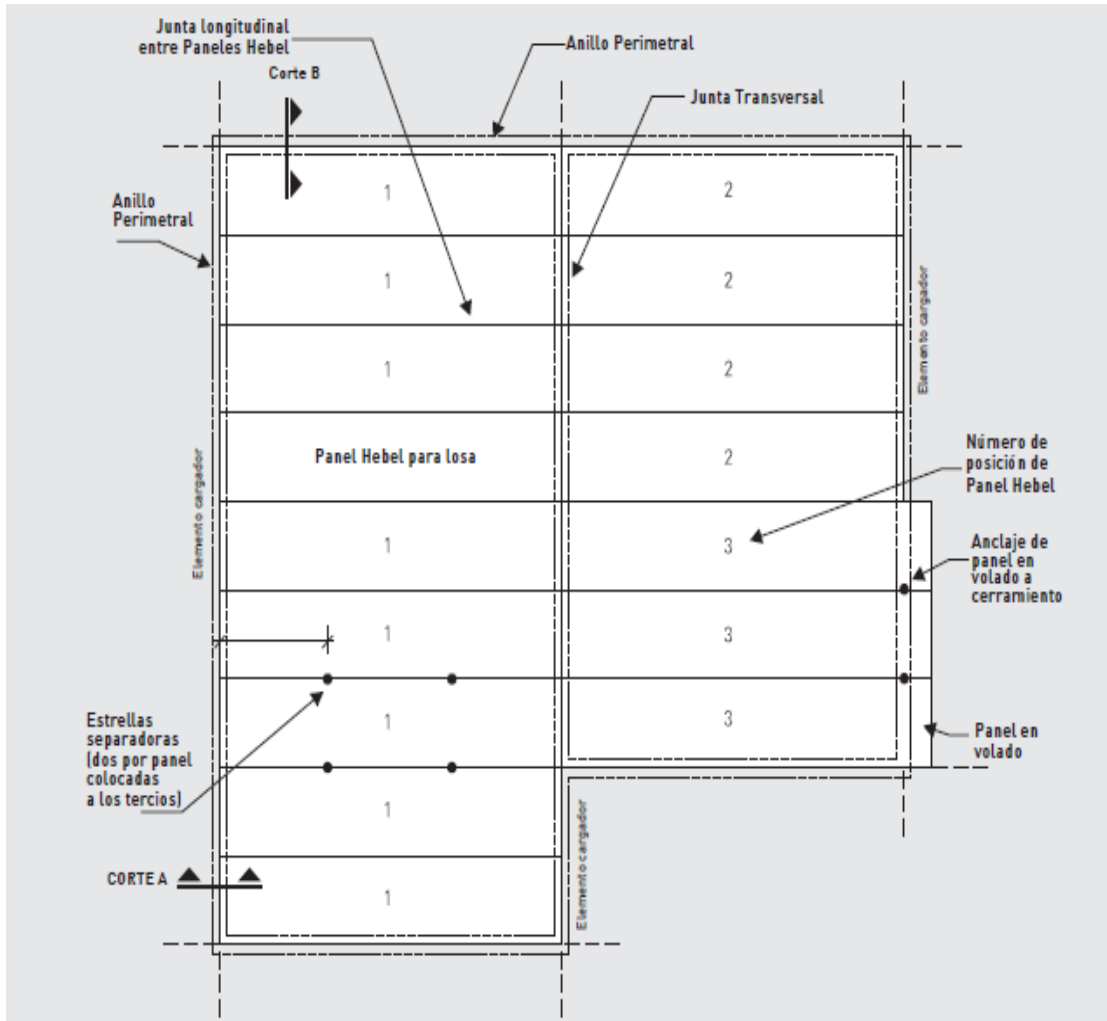


Figura 2.25 Detalle final en planta de la colocación del panel losa sobre el enrase de muros.

2.3 Diseño de la vivienda de interés social

La vivienda de interés social en nuestro país a través de los años, no siempre cumple con las expectativas del usuario y en ocasiones no posee las condiciones necesarias de habitabilidad, contemplando que la vivienda típica de interés social hoy en día es completamente de mampostería, para suponer un ahorro considerable a la empresa constructora, muchas veces son indiferentes a los conceptos básicos como clima, materiales y terreno.

A su vez este tipo de construcción deja detrás una gran contaminación, juntando el aumento de los materiales desechados (recortes de madera, acero y la cimbra empleada para las losas de entrepiso).

El desarrollo de la presente tesis sin embargo se apega a la factibilidad del uso del concreto celular curado en autoclave, como un material empleado en la construcción de la vivienda de interés social que demuestre ser seguro y motive al usuario a la autoconstrucción, dejando atrás la poca habitabilidad que tienen muchas viviendas y que en un futuro se pueda emplear este sistema constructivo.

El objetivo de este diseño, busca que mediante las dimensiones y distribución con la que cuenta sea además de segura, cómoda y factible para una familia. En la figura 2.26 se puede apreciar la fachada de la vivienda en la cual se contempla un diseño típico con detalles sobrios, los cuales pueden ser modificados fácilmente por el usuario final.

La distribución de la vivienda como lo muestra la figura 2.27, contempla todas las necesidades básicas de una familia, en la cual se puede llegar a tener diferentes áreas de convivencia y privacidad para cada miembro de la misma.

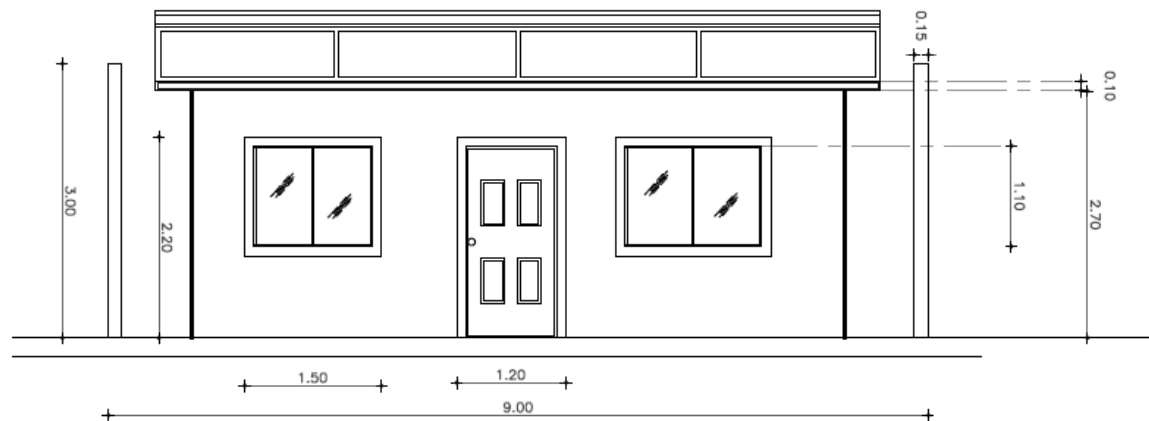


Figura 2.26 Fachada del proyecto de la vivienda de interés social.

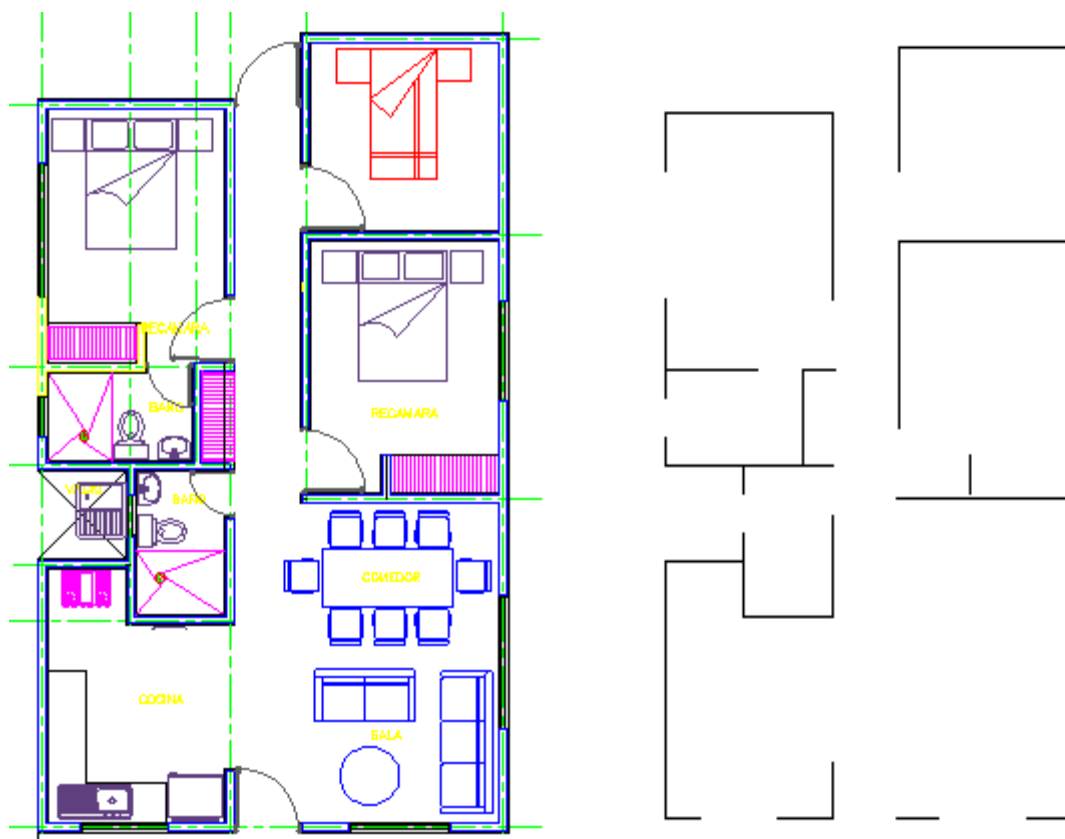


Figura 2.27 Planta del proyecto de vivienda de interés social junto con sus C_L del muro, base para el modelado del mismo.

2.3.1 Normatividad para mampostería apegado a las NTC.

Para el apartado de normatividad la presente tesis tiene dos enfoques tan diferentes como un proceso constructivo casi similar, como se vio en el capítulo 1 en el apartado 1.3, apegado a las NTC, en su sección de Concreto, los muros fallan por flexión y compresión, ya sea que tenga un refuerzo de acero o no.

Siendo este apartado de las NTC-M, el más cercano a las propiedades mecánicas del muro y que se modelará con los valores de diseño del concreto celular para poder obtener los esfuerzos de falla mediante el análisis estático de igual forma por NTC. Se podrá hacer uso como una medida o rango para tener una idea de las distintas fallas que pueden ocurrir en el muro de mampostería.

2.3.1.1 Materiales para mampostería

2.3.1.1.1 Piezas

Las NTC-M, revisa desde los detalles que componen a la misma en la tabla 2.3 nos muestra los tipos de piezas y pesos, en este caso las piezas deben de cumplir con ciertas condiciones y características siguiendo la norma NMX-C-404-ONNCCE.

Tipo de pieza	Valores en KN/m^3 (kg/m^3)
Tabique de baño recocido	13 (1300)
Tabique de baño con huecos verticales	17 (1700)
Bloque de concreto	17 (1700)
Tabique de concreto (tabicón)	15 (1500)

Tabla 2.3 Peso volumétrico en estado seco de las piezas de mampostería

Como la revisión de la tesis consistirá en un elemento muro, solo necesitaremos la revisión por parte de las piezas y mortero figura 2.28 tal como lo marca el capítulo 2 de las NTC-M.

Por tanto se revisará la parte de piezas huecas y el respectivo mortero.

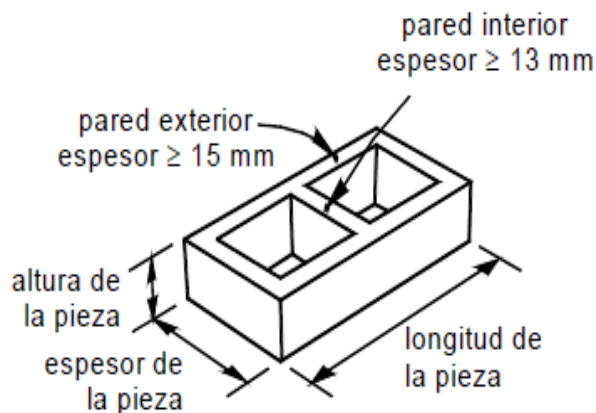


Figura 2.28 Dimensiones de una típica pieza hueca de concreto (RCDF)

2.3.1.1.2 Resistencia a la compresión de las piezas

Para las NTC-M, la resistencia a compresión de las piezas se determinará mediante la NMX-C-036. En el cual para su diseño se empleara un valor de resistencia de f_p^* , del área bruta de la pieza. Entonces la resistencia del diseño será mediante la ecuación (2.1).

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1+2.5c_p} \quad (2.1)$$

$\bar{f}_p$ Es la media de compresión de las piezas y c_p es el coeficiente de variación de las piezas, este último no se tomara menor a 0.25 ya que por su proceso de fabricación algunas piezas no cumplen con la NMX-C-404-ONNCCE.

2.3.1.1.3 Resistencia a la compresión de morteros

La resistencia a compresión del mortero ya sea para pegar las piezas o se emplee como relleno mediante las NTC-M, de acuerdo a los ensayos de la NMX-C-061-ONNCCE. Con este apartado tenemos que la resistencia de diseño a compresión del mortero será con la ecuación 2.2.

$$f_j^* = \frac{\bar{f}_j}{1+2.5c_j} \quad (2.2)$$

$\bar{f}_j$ Es la media de compresión de las piezas de cubos o relleno y c_j es el coeficiente de variación de los cubos o mortero este último no se tomara menor a 0.2.

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

- a) Su resistencia a compresión será por lo menos de 4 MPa (40 kg/cm^2).
- b) Siempre deberán contener cemento en la cantidad mínima indicada en la tabla 2.2.
- c) 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.
- d) 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 2.4.

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena	Resistencia nominal en compresión f_j^* MPa (kg/cm^2)
I	1	—	0 a 1/4	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen	12.5 (125)
	1	0 a 1/2	—		
	1	—	1/4 a 1/2		
II	1	1/2 a 1	—	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen	7.5 (75)
III	1	—	1/2 a 1 1/4		4.0 (40)

Tabla 2.4 Proporcionamientos en volumen recomendados para mortero estructural

2.3.1.1.4 Resistencia a la compresión de la mampostería

La resistencia a compresión de la mampostería f_m^* , el reglamento lo determina mediante tres modos:

1.- Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra, figura 2.29

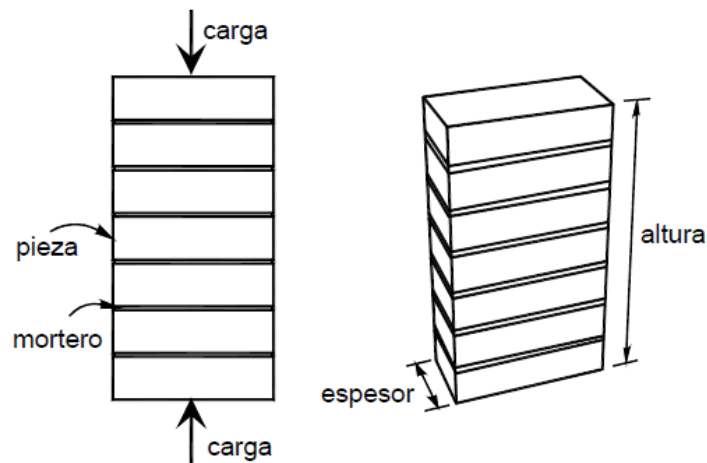


Figura 2.29 Ensaye de pilas de mampostería sujetas a compresión

La resistencia a compresión de la mampostería se determinara con la ecuación 2.3

$$f_m^* = \frac{\overline{f_m}}{1+2.5c_m} \quad (2.3)$$

$\overline{f_m}$ Es la media de compresión de las pilas y c_m es el coeficiente de variación de las pilas de mampostería este último no se tomara menor a 0.15.

2.- A partir de la resistencia de diseño de las piezas y el mortero, Para bloques y tabiques de concreto con relación altura a espesor no menor que 0.5, y con $f_p^* \geq 10$ MPa (100 kg/cm²), la resistencia de diseño a compresión podrá ser la que indica la tabla 2.5.

$f_p^* > \text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$	$f_m^*, \text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
10(100)	5 (50)	4.5 (45)	4(40)
15 (150)	7.5 (75)	6(60)	6(60)
> 20 (200)	10(100)	9 (90)	8 (80)

Tabla 2.5 Resistencia de diseño a compresión de la mampostería en piezas de concreto

3.- Valores indicativos en este último punto se revisan diversos tipos de mampostería, aquellos en donde si no se realizan determinaciones experimentales deberán o podrán emplearse los valores de f_m^* para distintos tipos de piezas y morteros, como se presentan en la tabla 2.6.

Tipo de pieza	$f_m^*, \text{MPa (kg/cm}^2\text{)}$		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
Tabique de barro recocido ($f_p^* > 6$ MPa. 60 kg/cm ²)	1.5(15)	1.5(15)	1.5(15)

Tabique de barro con huecos verticales ($f_p^* > 12$ MPa. 120 kg/cm^2)	4(40)	4(40)	3 (30)
Bloque de concreto (pesado) ($f_p^* > 10$ MPa. 100 kg/cm^2)	2 (20)	1.5(15)	1.5(15)
Tabique de concreto (tabicón) ($f_p^* > 10$ MPa. 100 kg/cm^2)	2 (20)	1.5(15)	1.5(15)

Tabla 2.6 Resistencia de diseño a compresión de la mampostería f_m^* , para algunos tipos de pieza

2.3.1.1.5 Resistencia a tensión diagonal

La NTC-M habla del diseño a compresión diagonal de la mampostería, v_m^* , que es posible determinarlo de 2 formas.

La primera mediante muretes que tendrán una longitud y número de hiladas necesarios para que el ancho y largo sean iguales siendo esta media una y media de la pieza como mínimo. El proceso parte de aplicarle una carga de compresión monótona a lo largo de su diagonal, obteniendo el esfuerzo cortante medio dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete, ecuación 2.4.

$$v_m^* = \frac{\overline{v_m}}{1+2.5c_v} \quad (2.4)$$

$\overline{v_m}$ Es la media de resistencia a compresión diagonal del murete y c_v es el coeficiente de variación de la resistencia a compresión del murete que en ningún caso será menor a 0.20.

La segunda forma es a través de valores indicativos cuando no se disponga de alguna prueba de resistencia de muretes. Se puede emplear la tabla 2.7.

Pieza	Tipo de mortero	$v_m^* > \text{MPa}$ (kg/cm^2)
Tabique de barro recocido	I	0.35 (3.5)
($f_p^* > 6$ MPa, 60 kg/cm^2)	II y III	0.3 (3)
Tabique de barro con huecos	I	0.3 (3)

verticales ($f_p^* > 12$ MPa, 120 kg/cm^2)	II y III	0.2 (2)
Bloque de concreto (pesado)	I	0.35 (3.5)
($f_p^* > 10$ MPa, 100 kg/cm^2)	II y III	0.25 (2.5)
Tabique de concreto (tabicón)	I	0.3 (3)
($f_p^* > 10$ MPa, 100 kg/cm^2)	II y III	0.2 (2)

Tabla 2.7 Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería.

2.3.1.1.6 Resistencia a tensión

Se considerará que es nula la resistencia de la mampostería a esfuerzos de tensión perpendiculares a las juntas. Cuando se requiera esta resistencia deberá proporcionarse el acero de refuerzo necesario.

2.3.1.1.7 Modulo de elasticidad

El módulo de elasticidad de la mampostería, E_m , se determinará por:

1.- Ensayes de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearán en la obra.

2.- Determinación a partir de la resistencia de diseño a compresión de la mampostería.

a) Para mampostería de tabiques y bloques de concreto:

$$E_m = 800f_m^* \text{ Para cargas de corta duración} \quad (2.5)$$

$$E_m = 350f_m^* \text{ Para cargas sostenidas} \quad (2.6)$$

2.3.1.1.8 Modulo de cortante

El módulo de cortante de la mampostería, G_m , se determinará por:

1.- Ensayes de muretes construidos con las piezas y morteros que se emplearán en la obra.

2.- Determinación a partir del módulo de elasticidad de la mampostería. Mediante el empleo del módulo de elasticidad de la sección 2.3.1.1.7

$$G_m = 0.4E_m \quad (2.7)$$

2.3.2 Cálculo del proyecto mediante mampostería y sistema constructivo del estado de Tabasco

Metodología:

Para el cálculo de la vivienda de interés social y su revisión de muros de mampostería se elaboró en la aplicación de hoja de cálculo Microsoft Excel, la formulación de cada ecuación para la revisión de su estructura apegándose a las Normas Técnicas Complementarias para diseño de Mampostería y Normas Técnicas Complementarias para diseño por Sismo, NTC-M y NTC-S, pero siguiendo un proceso constructivo empleado en la región y zona centro del estado de Tabasco, ya que al ser una zona con un nivel bajo de sismicidad, varios contratistas optan por variar las especificaciones del acero y hacer cumplir un armex prefabricado o coloquialmente (armex cadena y armex castillo), como refuerzos horizontales y verticales respectivamente. Por lo que variará la resistencia al cortante. Es por ello que en esta sección 2.3.2, se hará una revisión lineal de la estructura por cargas gravitacionales y cortante, empleando las NTC y el proceso constructivo regional.

En el capítulo 4 de este trabajo se analizarán los dos tipos de construcción tanto por mampostería convencional, como por concreto celular, aplicando los materiales, resistencias, calidad de pieza y deformaciones permisibles que marcan las Normas Técnicas Complementarias en su sección de mampostería y de sismo.

En este apartado obtendremos la resistencia a compresión de los muros de mampostería y su resistencia al cortante con la consideración que la mampostería se comporta como un material homogéneo y donde la distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana. Para eso y ya contando con las medidas del proyecto y a su vez calculando la carga actuante en la losa mediante la consideración que el elemento y los materiales tendrán un comportamiento lineal, en donde se emplearán valores en el rango elástico. Así habiendo calculado las cargas que regirán en la

estructura, los primeros pasos, son realizar la bajada de cargas actuantes en la losa y muro, esta revisión se hará con apoyo de las normas Técnicas Complementarias en su apartado de Acciones, Mampostería.

En la parte del método simplificado se empleará para el diseño los apartados de las NTC-S, pero para los valores del coeficiente sísmico, periodos y aceleraciones se obtendrán del Reglamento de Construcciones del Municipio del Centro del estado de Tabasco, donde $c=0.36$ (coeficiente sísmico) en este caso para estructuras del grupo B, cuando en NTC, es de $c=0.4$.

Se revisó el claro crítico, aquel que cuenta con el área de mayor dimensión sin refuerzo de trabes o marcos interiores, este mismo cumple con la condición de L/S , donde L , es el lado largo y S el lado corto, dando que es una losa que trabaja en ambos sentidos. Con esto podemos determinar que tiene áreas tributarias de gran tamaño. Como la revisión que se necesita es el estudio del comportamiento de los muros, se descarta la contribución de la losa en un aspecto explicativo, más sin embargo no numérico, ya que igual representa una carga por gravedad y actúa directamente en el muro.

Los objetivos de esta hoja de cálculo apegada completamente a las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal y siguiendo un proceso regional para la distribución del refuerzo de acero, son los siguientes:

- Obtener la excentricidad torsional calculada estáticamente (e_s).
- Visualizar con mayor claridad la relación entre el ancho de cada muro y su altura.
- Que la diferencia que existe entre la longitud y ancho de la planta, cumpla con la condición del capítulo 3, sección 3.2.3.3 de las NTC-Mampostería, la cual menciona que la diferencia no sea mayor a 2.
- La altura de la estructura no será mayor a 13 metros.
- Una vez que sean revisadas las resistencias de diseño a compresión y cortante, se revisarán que sean mayores a las actuantes, por lo cual en la

misma tabla se hará mención de la leyenda: "SI CUMPLE", para cada uno de los casos anteriores.

- Para que la siguiente hoja de cálculo cumpla además de todo lo anterior, se hará una revisión de cada fuerza sísmica concentrada (F_i), de cada elemento tipo muro y al final se comparará que la suma de todas las fuerzas sean igual a la (F_{sn}) concentrada.

Cumpliendo cada uno de los pasos anteriores se puede dar por concluido la revisión lineal de la mampostería y la obtención de la fuerza sísmica concentrada que obra en la estructura.

Para la revisión de los muros por medio de la reglamentación del D.F. se emplearon cuatro de los puntos que menciona las NTC, mediante el:

1.- Calculo del centro de rigidez de los muros.

El centro de rigidez es el punto con respecto al cual la estructura se mueve desplazándose como un todo, es el punto donde se pueden considerar concentradas las rigideces de todos los marcos. Si el edificio presenta rotaciones estas serán con respecto a este punto.

Existe línea de rigidez en el sentido X y línea de rigidez en el sentido Y, la intersección de ellas representa el centro de rigidez. Las líneas de rigidez representan la línea de acción de la resultante de las rigideces en cada sentido asumiendo que las rigideces de cada pórtico fueran fuerzas.

El centro de rigidez de los muros, se obtiene después de distribuir cada una de las direcciones en las que actuaran las fuerzas en la estructura, determinando los muros que estén sujetos a la fuerza en la dirección X, tabla 2.8 y los muros que estén sujetos a la fuerza en la dirección Y, tabla 2.9.

Muros en la dirección X.

No.	L (m)	H _{muro} /L	t (cm)	A _x (cm ²)	F _{AE}	A _{xE} (cm ²)	Y (m)	Z A _{xE} (cm ² m)
1	3.00	1.02	12.00	3600.00	1.00	3600.00	0.00	0.0000
2	2.85	1.07	12.00	3420.00	1.00	3420.00	1.00	3420.0000
3	1.56	1.96	12.00	1872.00	0.54	1013.35	5.00	5066.7574
4	0.50	6.10	12.00	600.00	0.06	33.37	5.00	166.8270
5	3.00	1.02	12.00	3600.00	1.00	3600.00	3.00	10800.0000
6	2.85	1.07	12.00	3420.00	1.00	3420.00	6.50	22230.0000
7	3.00	1.02	12.00	3600.00	1.00	3600.00	7.00	25200.0000
8	1.35	2.26	12.00	1620.00	0.41	656.73	8.00	5253.8492
9	1.50	2.03	12.00	1800.00	0.50	900.87	8.85	7972.6621
10	2.85	1.07	12.00	3420.00	1.00	3420.00	12.00	41040.0000
11	3.00	1.02	12.00	3600.00	1.00	3600.00	12.00	43200.0000
				Σ = 30552.00	Σ = 27264.31	Σ = 164350.10		

Tabla 2.8 Muros en dirección X, longitudes, áreas y coordenadas de ejes.

Calculo del centro de rigidez en la dirección X

$$Y_R = \Sigma Y A_{xE} / \Sigma A_{xE} = \underline{6.028 \text{ metros.}} \quad (2.8)$$

Muros en la dirección Y.

No.	L (m)	H _{muro} /L	t (cm)	A _y (cm ²)	F _{AE}	A _{ZE} (cm ²)	X (m)	X A _{ZE} (cm ² m)
A	4.00	0.76	12.00	4800.00	1.00	4800.00	0.00	0.000000
B	1.50	2.03	12.00	1800.00	0.50	900.87	0.00	0.000000
C	4.00	0.76	12.00	4800.00	1.00	4800.00	0.00	0.000000
D	2.35	1.30	12.00	2820.00	1.23	3464.10	1.35	4676.529375
E	0.66	4.62	12.00	792.00	0.10	76.74	1.56	119.713386
F	2.90	1.05	12.00	3480.00	1.00	3480.00	2.85	9918.000000
G	1.50	2.03	12.00	1800.00	0.50	900.87	2.35	2117.034574
H	1.85	1.65	12.00	2220.00	0.76	1690.06	2.85	4816.664051
I	0.86	3.55	12.00	1032.00	0.16	169.78	2.85	483.867581
J	1.90	1.61	12.00	2280.00	0.80	1830.83	4.00	7323.304723

K	2.90	1.05	12.00	3480.00	1.00	3480.00	4.00	13920.000000
L	0.68	4.49	12.00	816.00	0.10	83.93	5.23	438.949682
M	3.00	1.02	12.00	3600.00	1.00	3600.00	7.00	25200.000000
N	4.00	0.76	12.00	4800.00	1.00	4800.00	7.00	33600.000000
O	5.00	0.61	12.00	6000.00	1.00	6000.00	7.00	42000.000000
			Σ =	44520.00	Σ =	40077.16	Σ =	144614.06

Tabla 2.9 Muros en dirección Y, longitudes, áreas y coordenadas de ejes.

Calculo del centro de rigidez en la dirección Y

$$X_R = \Sigma X A_{YE} / \Sigma A_{YE} = \underline{3.608 \text{ metros.}} \quad (2.9)$$

Los centros de rigidez obtenidos dan como resultado 6.028 metros en el eje Y y 3.608 metros en el eje X.

2.- Calculo del centro de cortante de los muros.

$\gamma_{\text{muro}} =$	1.700	Ton/m ³	Peso volumétrico del bloque hueco.
$H_{\text{muro}} =$	2.70	m	Altura libre de los muros.
$H_{\text{pretil}} =$	0.350	m	Altura libre de los pretils.
$CM +$	0.500		Carga para diseño por
$CVM =$		Ton/m ²	Gravedad.

Para el cálculo del centro de cortante se necesitan los valores del peso volumétrico del bloque a emplear, así como los valores de la altura del muro, más las combinaciones de carga muerta, más carga viva, tabla 2.10.

CM+CV

No. Muro	L _{muro} (m)	Atrib (m ²)	t (cm)	W _{muro} (Ton)	Pact (Ton)
1	3.00	2.250	12.00	2.07	3.191
2	2.85	2.031	12.00	1.96	2.978
3	1.56	2.392	12.00	1.07	2.270

4	0.50	1.926	12.00	0.34	1.307
5	3.00	4.500	12.00	2.07	4.316
6	2.85	1.982	12.00	1.96	2.953
7	3.00	5.805	12.00	2.07	4.968
8	1.35	0.393	12.00	0.93	1.126
9	1.50	3.824	12.00	1.03	2.945
10	2.85	3.261	12.00	1.96	3.593
11	3.00	4.305	12.00	2.07	4.218
			Σ X =	17.53	33.86
A	4.00	3.670	12.00	2.75	4.589
B	1.50	0.563	12.00	1.03	1.314
C	4.00	2.837	12.00	2.75	4.173
D	2.35	1.577	12.00	1.62	2.406
E	0.66	0.839	12.00	0.45	0.874
F	2.90	7.120	12.00	2.00	5.557
G	1.50	0.883	12.00	1.03	1.474
H	1.85	6.904	12.00	1.27	4.726
I	0.86	0.366	12.00	0.59	0.775
J	1.90	3.400	12.00	1.31	3.008
K	2.90	5.835	12.00	2.00	4.914
L	0.68	0.750	12.00	0.47	0.843
M	3.00	2.250	12.00	2.07	3.191
N	4.00	3.750	12.00	2.75	4.629
O	5.00	6.069	12.00	3.44	6.477
			Σ Y =	25.54	48.95
			Σ T =	43.07	82.812

Tabla 2.10 Pesos y cargas finales de los muros con la combinación CM+CV.

$$X_C = \Sigma W_{TOTAL} X / \Sigma W_{TOTAL} = 0.41 \text{ Metros.} \quad (2.10)$$

$$Y_C = \Sigma W_{TOTAL} Y / \Sigma W_{TOTAL} = 0.59 \text{ Metros.} \quad (2.11)$$

Para el cálculo de la misma estructura pero sujeto a la carga para diseño por sismo, tabla 2.11.

CM+CVI **0.700** Ton/m² Carga para diseño por sismo.

No. Muro	L _{muro} (m)	Atrib (m ²)	T (cm)	W _{muro} (Ton)	Pact (Ton)
1	3.00	2.250	12.00	2.07	3.641
2	2.85	2.031	12.00	1.96	3.384
3	1.56	2.392	12.00	1.07	2.748
4	0.50	1.926	12.00	0.34	1.692
5	3.00	4.500	12.00	2.07	5.216
6	2.85	1.982	12.00	1.96	3.349
7	3.00	5.805	12.00	2.07	6.129
8	1.35	0.393	12.00	0.93	1.205
9	1.50	3.824	12.00	1.03	3.709
10	2.85	3.261	12.00	1.96	4.245
11	3.00	4.305	12.00	2.07	5.079
			Σ X=	17.53	40.40
A	4.00	3.670	12.00	2.75	5.323
B	1.50	0.563	12.00	1.03	1.427
C	4.00	2.837	12.00	2.75	4.740
D	2.35	1.577	12.00	1.62	2.722
E	0.66	0.839	12.00	0.45	1.042
F	2.90	7.120	12.00	2.00	6.981
G	1.50	0.883	12.00	1.03	1.651
H	1.85	6.904	12.00	1.27	6.107
I	0.86	0.366	12.00	0.59	0.848
J	1.90	3.400	12.00	1.31	3.688
K	2.90	5.835	12.00	2.00	6.081
L	0.68	0.750	12.00	0.47	0.993
M	3.00	2.250	12.00	2.07	3.641
N	4.00	3.750	12.00	2.75	5.379
O	5.00	6.069	12.00	3.44	7.691
			Σ Y =	25.54	58.31
			Σ T =	43.07	98.708

Tabla 2.11 Pesos y cargas finales de los muros con la combinación CM+CVI.

$$X_C = \Sigma W_{TOTAL} X / \Sigma W_{TOTAL} = 0.41 \text{ Metros.} \quad (2.12)$$

$$Y_C = \Sigma W_{TOTAL} Y / \Sigma W_{TOTAL} = 0.59 \text{ Metros.} \quad (2.13)$$

3.- Calculo de la excentricidad.

La asimetría en la distribución en planta de los elementos estructurales resistentes de la estructura, causa una vibración torsional ante la acción sísmica y genera fuerzas elevadas en elementos de la periferia del edificio. La vibración torsional ocurre cuando el centro de masa de una estructura no coincide con su centro de rigidez.

Ante esta acción la estructura tiende a girar respecto a su centro de rigidez, lo que causa grandes incrementos en las fuerzas laterales que actúan sobre los elementos perimetrales de soporte de manera proporcional a sus distancias al centro de ubicación.

En este caso del total de la sumatoria de áreas en la dirección X y Y, y la diferencia de los pesos totales de los muros en las direcciones antes mencionadas, nos genera la excentricidad de la estructura en ambos sentidos.

$$e_X = |X_R - X_C| = 3.238 \text{ metros.} \quad (2.14)$$

$$e_Y = |Y_R - Y_C| = 5.435 \text{ metros.} \quad (2.15)$$

4.- Análisis Sísmico Estático, empleando el método simplificado de análisis.

Fuerza sísmica lateral que actúa sobre todo el entrepiso sin considerar efectos de torsión, momentos de volteo o desplazamientos laterales.

$$F_{sn} = \frac{c}{Q} \frac{\sum_{n=1}^N W_n}{\sum_{n=1}^N W_n h_n} W_n h_n \quad (2.16)$$

En donde:

F_{sn} = Fuerza sísmica a la altura de la masa "n"

c = Coeficiente sísmico

Q = Factor de comportamiento sísmico

W_n = Peso de la masa "n"

h_n = Altura de la masa "n"

Factor de comportamiento sísmico: $Q=1.5$, de acuerdo con las NTC-S, para el caso de muros confinados por medio de castillos y cadenas de concreto reforzado se recomienda un coeficiente sísmico $c=0.36$ para estructuras del Grupo B, según reglamento de construcción del municipio de Centro del estado de Tabasco, en la tabla 2.12, se calculó el valor de F_i (Fuerza sísmica concentrada), la cual en el caso de edificios con más de 2 plantas, es la resultante de la sumatoria de cada nivel. Para este caso la vivienda es de una sola planta por lo que para cumplir la condición que marcan las NTC-S., En las tablas 2.13 y 2.14 se analizan las fuerzas admisibles en la dirección X y en la dirección Y.

Número de Masa	W_i (Ton)	h_i (m)	$(W_i)(h_i)$ (Ton-m)	F_{ix} (Ton)	F_{iz} (Ton)	$F_{ix} \cdot h_i$ (Ton-m)	$F_{iz} \cdot h_i$ (Ton-m)
1	68.816	3.450	237.415	16.516	16.516	56.980	56.980
$\Sigma(W_i) =$	68.816	$\Sigma(W_i)(h_i) =$	237.415			56.980	56.980

Tabla 2.12 Fuerzas sísmicas obtenidas con el método estático.

$$f_m^* = \begin{matrix} \text{Resistencia de diseño a compresión para bloques de concreto macizos} \\ \text{(NTC-2004)} \end{matrix}$$

$$f_{sn} \text{ Total} = \begin{matrix} 20 \\ 16.51585 \end{matrix}$$

Dirección en X

No. Muro	L (m)	t (cm)	H _{muro} (cm)	L ³ (m ³)	E _{muro} (Kg/cm ²)	Fsi (Ton)
1	3.00	12.00	305.00	27.000	16000	2.382
2	2.85	12.00	305.00	23.149	16000	2.042
3	1.56	12.00	305.00	3.796	16000	0.335
4	0.50	12.00	305.00	0.125	16000	0.011
5	3.00	12.00	305.00	27.000	16000	2.382
6	2.85	12.00	305.00	23.149	16000	2.042
7	3.00	12.00	305.00	27.000	16000	2.382
8	1.35	12.00	305.00	2.460	16000	0.217
9	1.50	12.00	305.00	3.375	16000	0.298
10	2.85	12.00	305.00	23.149	16000	2.042
11	3.00	12.00	305.00	27.000	16000	2.382
				Σ = 187.20	Σ = 16.516	

Tabla 2.13 Esfuerzo admisible en el acero de la dirección X.

Dirección en Y

No. Muro	L (m)	t (cm)	H _{muro} (cm)	L ³ (m ³)	E _{muro} (Kg/cm ²)	Fsi (Ton)
A	4.00	12.00	305.00	64.00	16000	2.476
B	1.50	12.00	305.00	3.38	16000	0.131
C	4.00	12.00	305.00	64.00	16000	2.476
D	2.35	12.00	305.00	12.98	16000	0.502
E	0.66	12.00	305.00	0.29	16000	0.011
F	2.90	12.00	305.00	24.39	16000	0.943
G	1.50	12.00	305.00	3.38	16000	0.131
H	1.85	12.00	305.00	6.33	16000	0.245
I	0.86	12.00	305.00	0.64	16000	0.025
J	1.90	12.00	305.00	6.86	16000	0.265
K	2.90	12.00	305.00	24.39	16000	0.943

L	0.68	12.00	305.00	0.31	16000	0.012
M	3.00	12.00	305.00	27.00	16000	1.044
N	4.00	12.00	305.00	64.00	16000	2.476
O	5.00	12.00	305.00	125.00	16000	4.836
				$\Sigma =$	426.93	$\Sigma =$ 16.516

Tabla 2.14 Esfuerzo admisible en el acero de la dirección Y.

La carga a compresión al no ser muros esbeltos, producirá un esfuerzo a todo lo largo del muro, con la combinación de cargas muertas y vivas aplicadas al elemento. En el caso de la tabla 2.15, se analizó el muro solo con la carga viva y en la tabla 2.16, con la carga viva accidental.

Carga a compresión actuante sobre los muros (CM + CV)

No. Muro	L _{muro} (m)	L _{pretiil} (m)	Atrib (m ²)	t (cm)	W _{muro} (Ton)	W _{pretiil} (Ton)	P _{act} (Ton)
1	3.00	3.00	2.250	12	2.066	0.268	3.458
2	2.85	2.85	2.031	12	1.962	0.254	3.232
3	1.56	1.56	2.392	12	1.074	0.139	2.409
4	0.50	0.50	1.926	12	0.344	0.045	1.352
5	3.00	3.00	4.500	12	2.066	0.268	4.583
6	2.85	2.85	1.982	12	1.962	0.254	3.207
7	3.00	3.00	5.805	12	2.066	0.268	5.236
8	1.35	1.35	0.393	12	0.929	0.120	1.247
9	1.50	1.50	3.824	12	1.033	0.134	3.078
10	2.85	2.85	3.261	12	1.962	0.254	3.847
11	3.00	3.00	4.305	12	2.066	0.268	4.486
A	4.00	4.00	3.670	12	2.754	0.357	4.946
B	1.50	1.50	0.563	12	1.033	0.134	1.448
C	4.00	4.00	2.837	12	2.754	0.357	4.530
D	2.35	2.35	1.577	12	1.618	0.210	2.616
E	0.66	0.66	0.839	12	0.454	0.059	0.933
F	2.90	2.90	7.120	12	1.997	0.259	5.815
G	1.50	1.50	0.883	12	1.033	0.134	1.608

H	1.85	1.85	6.904	12	1.274	0.165	4.891
I	0.86	0.86	0.366	12	0.592	0.077	0.852
J	1.90	1.90	3.400	12	1.308	0.170	3.178
K	2.90	2.90	5.835	12	1.997	0.259	5.173
L	0.68	0.68	0.750	12	0.468	0.061	0.904
M	3.00	3.00	2.250	12	2.066	0.268	3.458
N	4.00	4.00	3.750	12	2.754	0.357	4.986
O	5.00	5.00	6.069	12	3.443	0.446	6.923
				Σ =	43.073	5.583	88.396

Tabla 2.15 Carga a compresión de los muros en ambas direcciones con la combinación de carga (CM+CV).

Carga a compresión actuante sobre los muros (CM + CVI)

No. Muro	L _{muro} (m)	L _{pretiil} (m)	Atrib (m ²)	t (cm)	W _{muro} (Ton)	W _{pretiil} (Ton)	P _{act} (Ton)
1	3.00	3.00	2.250	12	2.066	0.268	3.908
2	2.85	2.85	2.031	12	1.962	0.254	3.638
3	1.56	1.56	2.392	12	1.074	0.139	2.888
4	0.50	0.50	1.926	12	0.344	0.045	1.737
5	3.00	3.00	4.500	12	2.066	0.268	5.483
6	2.85	2.85	1.982	12	1.962	0.254	3.604
7	3.00	3.00	5.805	12	2.066	0.268	6.397
8	1.35	1.35	0.393	12	0.929	0.120	1.325
9	1.50	1.50	3.824	12	1.033	0.134	3.843
10	2.85	2.85	3.261	12	1.962	0.254	4.499
11	3.00	3.00	4.305	12	2.066	0.268	5.347
A	4.00	4.00	4.233	12	2.754	0.357	6.074
B	1.50	1.50	5.233	12	1.033	0.134	4.829
C	4.00	4.00	2.837	12	2.754	0.357	5.097
D	2.35	2.35	1.577	12	1.618	0.210	2.931
E	0.66	0.66	0.839	12	0.454	0.059	1.101
F	2.90	2.90	7.120	12	1.997	0.259	7.239
G	1.50	1.50	0.883	12	1.033	0.134	1.784
H	1.85	1.85	6.904	12	1.274	0.165	6.272
I	0.86	0.86	0.366	12	0.592	0.077	0.925

J	1.90	1.90	3.400	12	1.308	0.170	3.858
K	2.90	2.90	5.835	12	1.997	0.259	6.340
L	0.68	0.68	0.750	12	0.468	0.061	1.054
M	3.00	3.00	2.250	12	2.066	0.268	3.908
N	4.00	4.00	3.750	12	2.754	0.357	5.736
O	5.00	5.00	6.069	12	3.443	0.446	8.137
$\Sigma =$					43.073	5.583	107.955

Tabla 2.16 Carga a compresión de los muros en ambas direcciones con la combinación de carga (CM+CVI).

Calculo de la resistencia a compresión de los muros.

La carga vertical resistente para muros confinados se obtiene con la siguiente expresión:

$$P_R = F_R F_E (f_m^* A_T + \Sigma A_S f_y) \quad (2.17)$$

En donde:

$F_R = 0.6$ (muro confinado).

F_E = Factor de reducción por excentricidad y esbeltez.

f_m^* = Resistencia de diseño a compresión (20 Kg/cm², mortero tipo I).

A_T = Área bruta de la sección transversal del muro (incluye a los castillos).

A_S = Área del refuerzo longitudinal colocada en cada uno de los castillos extremos del muro.

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo del muro.

Factor de reducción por excentricidad y esbeltez.

$$F_E = \left[1 - \left(\frac{2e'}{t} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{kH}{30t} \right)^2 \right] \quad (2.18)$$

En donde:

$H = 3.35$ metros (altura libre de los muros)

$t = 12$ centímetros (espesor del muro)

$e' = t/24 = 12 \text{ cm} / 24 = 0.50 \text{ cm}$ (excentricidad accidental)

$k = 1.00$ para muros extremos en que se apoyen losas o 0.80 para muros

limitados por dos losas continuas.

Es importante recordar que de acuerdo con los criterios en que se basa el método de análisis simplificado, se omiten los efectos de excentricidad de cargas (no se consideran efectos de torsión, momentos de volteo y desplazamientos), considerándose sólo la excentricidad accidental que proponen las NTC-M.

Para el análisis de la vivienda de interés social se empleó el modelo de cálculo en base a las NTC-M. Con esto se pudo determinar mediante las áreas tributarias, figura 2.30, que muro de la vivienda presentaba un punto crítico, por parte de una longitud o claro mayor.

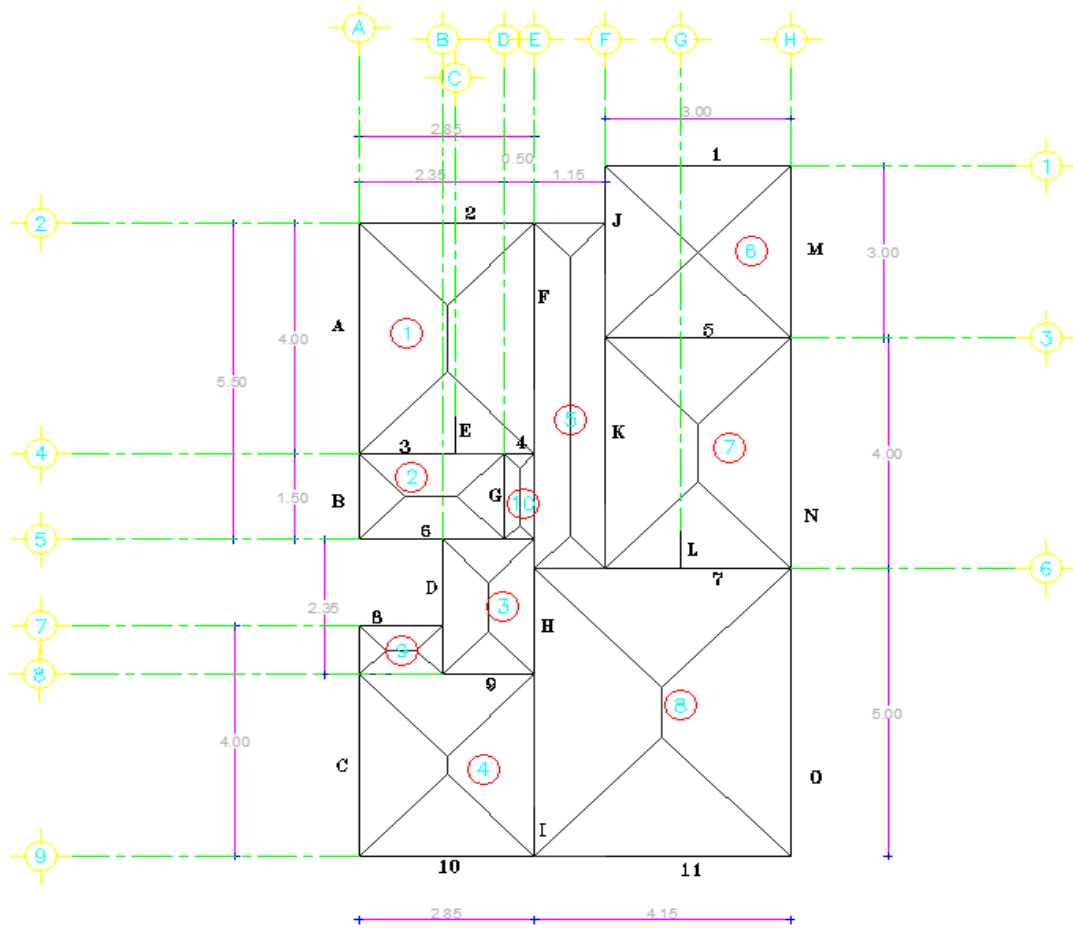


Figura 2.30 Áreas tributarias, distribución de muros en planta.

En la Tabla 2.17 se muestran los resultados obtenidos de la revisión por resistencia a compresión de los muros propuestos. Cabe mencionar que el castillo prefabricado tiene un $A_s = 0.32 \text{ cm}^2$ (para 1 sola varilla) y un esfuerzo de fluencia de $f_y = 5,000 \text{ Kg/cm}^2$, figura 2.31.

Para un castillo K-1 se tiene: $A_s f_y = (4 \times 0.32 \text{ cm}^2) (5000 \text{ Kg/cm}^2) = 6,400 \text{ kg}$

$P_u = FC P_{act}$, en donde $FC = 1.40$ por tratarse en este caso de combinaciones de CM + CVM (cargas para diseño gravitacional).

No. Muro	L _{muro} (cm)	H _{muro} (cm)	t (cm)	e' (cm)	k	F _E	A _T (cm ²)	SA _s fy (Kg)	P _R (Ton)	P _U (Ton)	Resultado
1	300.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3600	12800	13.16	4.842	Si cumple
2	285.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3420	12800	12.60	4.525	Si cumple
3	156.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	1872	12800	14.94	3.373	Si cumple
4	50.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	600	12800	7.37	1.893	Si cumple
5	300.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	3600	12800	25.21	6.417	Si cumple
6	285.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	3420	25600	27.95	4.490	Si cumple
7	300.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	3600	19200	27.12	7.330	Si cumple
8	135.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	1620	12800	7.02	1.745	Si cumple
9	150.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	1800	12800	14.51	4.310	Si cumple
10	285.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3420	25600	14.59	5.386	Si cumple
11	300.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3600	25600	15.15	6.280	Si cumple
A	400.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	4800	25600	18.87	6.924	Si cumple
B	150.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	1800	12800	7.57	2.027	Si cumple
C	400.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	4800	19200	17.88	6.341	Si cumple
D	235.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	2820	19200	11.73	3.662	Si cumple
E	66.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	792	12800	8.52	1.306	Si cumple
F	290.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	3480	19200	26.40	8.142	Si cumple
G	150.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	1800	12800	14.51	2.251	Si cumple
H	185.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	2220	12800	17.01	6.847	Si cumple
I	86.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	1032	12800	9.94	1.193	Si cumple
J	190.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	2280	12800	17.36	4.449	Si cumple
K	290.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	3480	12800	24.50	7.242	Si cumple
L	68.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	816	6400	6.76	1.265	Si cumple
M	300.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3600	19200	14.16	4.842	Si cumple
N	400.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	4800	25600	18.87	6.980	Si cumple
O	500.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	6000	32000	23.59	9.693	Si cumple

Tabla 2.17 Revisión de los muros por cargas gravitacionales.

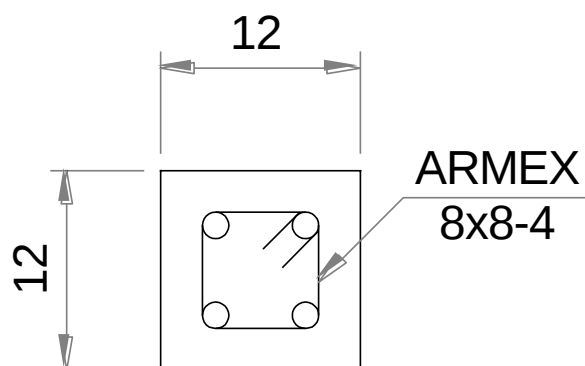


Figura 2.31 Castillos "K" propuestos (Acot. en cm).

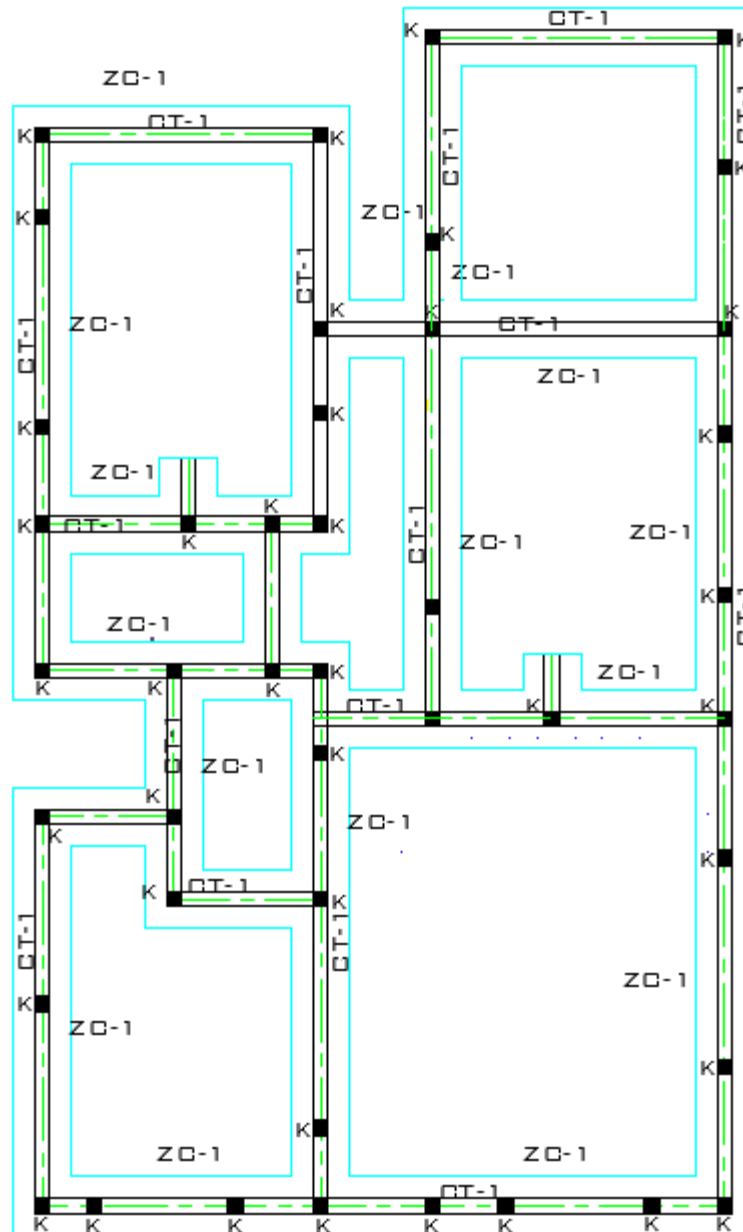


Figura 2.32 Localización en planta baja de los castillos K.

En la figura 2.32, se muestra la distribución de castillos en la vivienda, donde su refuerzo y armado se mencionan en la figura 2.31.

Revisión por Fuerza Cortante (Sismo).

La fuerza cortante resistente para muros confinados se obtiene con la siguiente expresión:

$$V_{mR} = F_R(0.5v_m^*A_T + 0.3 P) \leq 1.5 F_R(v_m^*A_T) \quad (2.19)$$

En donde:

$F_R = 0.7$ (muro confinado).

v_m^* = Resistencia de diseño a compresión diagonal (3 Kg/cm²).

A_T = Área bruta de la sección transversal del muro (incluye a los castillos).

Carga vertical de compresión (acciones permanentes y accidentales sin P = factor de carga).

En la Tabla 2.18 se muestran los resultados que se obtuvieron para la estimación de la carga vertical “P” que actúa sobre los muros de mampostería confinada (para una combinación que incluye cargas permanentes más acciones accidentales sin factor de carga): CM + CVI = 700 Kg/m².

No. Muro	L _{muro} (cm)	H _{muro} (cm)	t (cm)	v _m * (Kg/cm ²)	A _T (cm ²)	P (Ton)	$\frac{1.5 F_R v_m}{A_T}$	V _{mR} (Ton)	V _U (Ton)	Resultado
1	300.00	305	12.00	3.00	3600	3.908	11.340	4.601	2.620	Sí cumple
2	285.00	305	12.00	3.00	3420	3.638	10.773	4.355	2.247	Sí cumple
3	156.00	305	12.00	3.00	1872	2.888	5.897	2.572	0.368	Sí cumple
4	50.00	305	12.00	3.00	600	1.737	1.890	0.995	0.012	Sí cumple
5	300.00	305	12.00	3.00	3600	5.483	11.340	4.931	2.620	Sí cumple
6	285.00	305	12.00	3.00	3420	3.604	10.773	4.348	2.247	Sí cumple
7	300.00	305	12.00	3.00	3600	6.397	11.340	5.123	2.620	Sí cumple
8	135.00	305	12.00	3.00	1620	1.325	5.103	1.979	0.239	Sí cumple
9	150.00	305	12.00	3.00	1800	3.843	5.670	2.697	0.328	Sí cumple
10	285.00	305	12.00	3.00	3420	4.499	10.773	4.536	2.247	Sí cumple
11	300.00	305	12.00	3.00	3600	5.347	11.340	4.903	2.620	Sí cumple
A	400.00	305	12.00	3.00	4800	6.074	15.120	6.315	2.723	Sí cumple
B	150.00	305	12.00	3.00	1800	4.829	5.670	2.904	0.144	Sí cumple
C	400.00	305	12.00	3.00	4800	5.097	15.120	6.110	2.723	Sí cumple
D	235.00	305	12.00	3.00	2820	2.931	8.883	3.577	0.552	Sí cumple
E	66.00	305	12.00	3.00	792	1.101	2.495	1.063	0.012	Sí cumple
F	290.00	305	12.00	3.00	3480	7.239	10.962	5.174	1.038	Sí cumple
G	150.00	305	12.00	3.00	1800	1.784	5.670	2.265	0.144	Sí cumple
H	185.00	305	12.00	3.00	2220	6.272	6.993	3.648	0.269	Sí cumple
I	86.00	305	12.00	3.00	1032	0.925	3.251	1.278	0.027	Sí cumple
J	190.00	305	12.00	3.00	2280	3.858	7.182	3.204	0.292	Sí cumple
K	290.00	305	12.00	3.00	3480	6.340	10.962	4.985	1.038	Sí cumple
L	68.00	305	12.00	3.00	816	1.054	2.570	1.078	0.013	Sí cumple
M	300.00	305	12.00	3.00	3600	3.908	11.340	4.601	1.149	Sí cumple
N	400.00	305	12.00	3.00	4800	5.736	15.120	6.245	2.723	Sí cumple
O	500.00	305	12.00	3.00	6000	8.137	18.900	8.009	5.319	Sí cumple

Tabla 2.18 Revisión de los muros a cortante (sismo).

CONCLUSIÓN:

El cálculo que se realizó es aplicando el sistema constructivo que se utiliza para elaborar viviendas de interés social en el estado de Tabasco, donde las solicitudes de cargas gravitacionales son bajas y no se prevé una acción sísmica importante. Es por ello que el acero de refuerzo que es fundamental para soportar las cargas laterales, emplean el acero prefabricado, en el capítulo 4 de este trabajo se realizará como marca la NTC-M y NTC-S, para realizar una comparativa real por normas de ambos procesos constructivos.

De los cálculos antes mostrados podemos mencionar que los muros de block hueco elaborado de cemento Portland tipo I y arena de río con dimensiones de 12 x 20 x 40 cms., resultan adecuados para soportar las solicitaciones de carga a que estarán sometidos durante su vida de servicio; así mismo el acero de refuerzo que se propuso para los castillos “K” (ver Figura 2.31), donde son puramente prefabricados ya que la demanda de cargas tanto por gravedad y por cortante es relativamente baja, cumplen con ambas revisiones de igual forma con las condiciones que marcan las NTC-M, donde la fluencia del acero de refuerzo no debe ser mayor a 6,000 *kg/cm* y donde a su vez el confinamiento de las piezas de mampostería, resulta ser el adecuado.

Sin embargo esta sería la conclusión donde linealmente todos los materiales entran en el rango elástico y sus valores de diseño son los máximos a excepción del acero que tiene un factor de reducción. Como se mencionó en el punto 4, el Método de Análisis Sísmico Simplificado, descarta los desplazamientos horizontales, por torsión y los momentos de volteo, basándose únicamente en que la suma de las resistencias al corte de cada entrepiso sea cuando menos igual a F_i o Fuerza Sísmica Concentrada.

Cumpliendo esto podemos calcular la Fuerza cortante actuante (V_u) de cada muro y compararlo con la Fuerza cortante de diseño que toma la mampostería (V_{mR}). Si todas estas condiciones se cumplen donde $V_{mR} > V_u$ y $P_R > P_u$, la estructura es adecuada y resiste ante las cargas verticales y laterales, donde esta última se basa en la resistencia de los castillos y el confinamiento del muro interpretando que el refuerzo de acero es el que resistirá la falla al cortante y permitirá absorber las cargas por flexión, donde se descarta el análisis de refuerzo longitudinal y su momento resistente, en el análisis simplificado.

Como conclusión final de esta hoja de cálculo antes de revisar cada consideración de las Normas Técnicas Complementarias en el apartado de mampostería, se calculó la misma vivienda globalizando cada elemento estructural en uno solo, el muro crítico. Donde además de considerar el acero

necesario para la losa de concreto, se revisó la zapata con un esfuerzo de terreno igual a $5,000 \text{ kg/m}$.

Dando los siguientes resultados en los armados:

- Losa: $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ y un $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}$, con un espesor de 10 cms. Se propone en el claro corto 1 vr. $3/8 @ 15 \text{ cms.}$ en el sentido negativo y 1 vr. $3/8 @ 15 \text{ cms.}$ en el sentido positivo, mientras que en el claro largo 1 vr. $3/8 @ 15 \text{ cms.}$ en el sentido negativo y 1 vr. de $3/8 @ 20 \text{ cms,}$ en el sentido positivo.

Capítulo 3. Características del terreno y pruebas de laboratorio del concreto celular

Las características del terreno en el estado de Tabasco, varía dependiendo de la zona de estudio ya que en la sierra del estado se presenta mayormente los tipos de terreno calcáreos y arcillosos de color rojo, el primero es un tipo de suelo que se presenta en zonas de declive y su color es de tipo marrón y un poco más seco que el arcilloso. El tipo de suelo que mayormente conforma el territorio o planicie en el estado, es el tipo de suelo hidromórfico, este tipo de suelo llega a contener un gran porcentaje de humedad y agua.

Para poder hacer frente a esta situación las construcciones deben de cumplir con ciertas condiciones desde la excavación de su cimentación que deja de ser superficial, a una con mayor profundidad, en suelos más secos varía la cimentación donde su refuerzo puede ser combinado con estratos rocosos, compensando así el uso de un menor número de acero. Un contraste al tipo de suelo húmedo donde se requiere mayor profundidad, empleó de acero de refuerzo en mayor cantidad e ingeniería en sus zapatas.

En el apartado de las pruebas de laboratorio al concreto celular, se empleará un estudio realizado por el CENAPRED; Centro Nacional de Prevención de Desastres por sus siglas, bajo la normativa del Organismo Nacional de la Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación por sus siglas “ONNCCE”.

3.1 Zona de estudio del municipio del centro en el estado de Tabasco para la construcción de una vivienda de interés social

El estado de Tabasco resume con particular fuerza los efectos de la confluencia de la zona neo tropical y neártica resultando en la conjunción de ondas tropicales y aire húmedo provenientes de ambos océanos que generan intensas y continuas lluvias, particularmente en la Sierra Norte de Chiapas y Guatemala en la cuenca del río Mezcalapa y el río Usumacinta, afectando a los

ríos de la región, principalmente el Carrizal y el Samaria, causando elevaciones en el nivel de los mismos y saturando las partes bajas de sus riberas y las zonas de regulación.

Los efectos de estas características tan peculiares se dejaron ver con especial detalle a finales de octubre y principios de noviembre del 2007, donde las inundaciones ocasionaron pérdidas importantes en la infraestructura económica y social del estado y del municipio de Centro, principalmente de la Ciudad de Villahermosa.

Con relación a los fenómenos de origen antrópico, siendo un estado netamente petrolero y el estar asentado sobre una red muy amplia de distribución de productos y derivados de la industria hace al estado de Tabasco sensible ante este tipo de desastres. Solo es necesario recordar las explosiones en la Venta, Huimanguillo y en Cunduacán para reconocer la magnitud del peligro.

3.1.1. Localización

El municipio de Centro es uno de los diecisiete que conforman el territorio del estado de Tabasco y se encuentra ubicado entre las coordenadas extremas 17°50' de latitud norte y 92°50' de longitud oeste con 18°H' de latitud norte y 93°02' de longitud oeste. Colinda al Norte con los municipios de Centla y Nacajuca, al Sur con los municipios de Teapa y Jalapa en el estado de Tabasco y con el de Reforma en el estado de Chiapas; al Oeste comparte con los municipios tabasqueños de Cunduacán y Nacajuca y al este con el municipio de Macuspana (Figura 3.1).

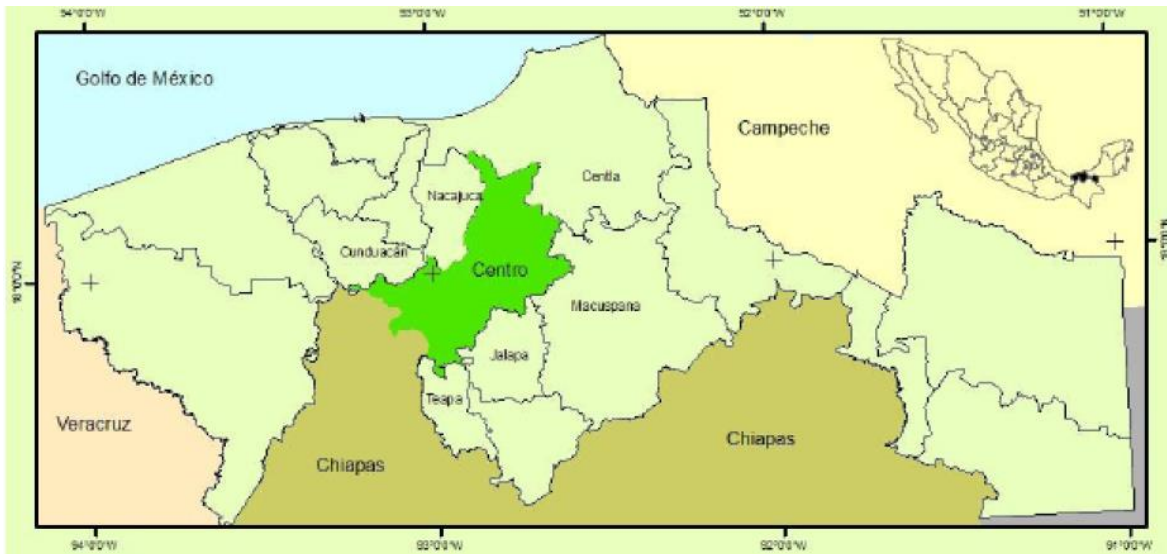


Figura 3.1 Localización del municipio del Centro en el estado de Tabasco.

3.1.2. Fisiografía

Sus características fisiográficas corresponden a la subprovincia fisiográfica Llanuras y pantanos tabasqueños dentro de la provincia fisiográfica Planicie Costera del Golfo Sur, por lo que sus formas se caracterizan por llanuras aluviales y costeras inundables con pequeños llanos y lomeríos de alturas no mayores a los 35 msnm (figura 3.2). Estas se ubican en las colonias de Tamulté y Atasta en la Ciudad de Villahermosa y en la zona rural por la localidad de Dos Montes al este de la capital, en Tamulté de las Sabanas al norte y al sur en Playas del Rosario. (INEGI, 1984).

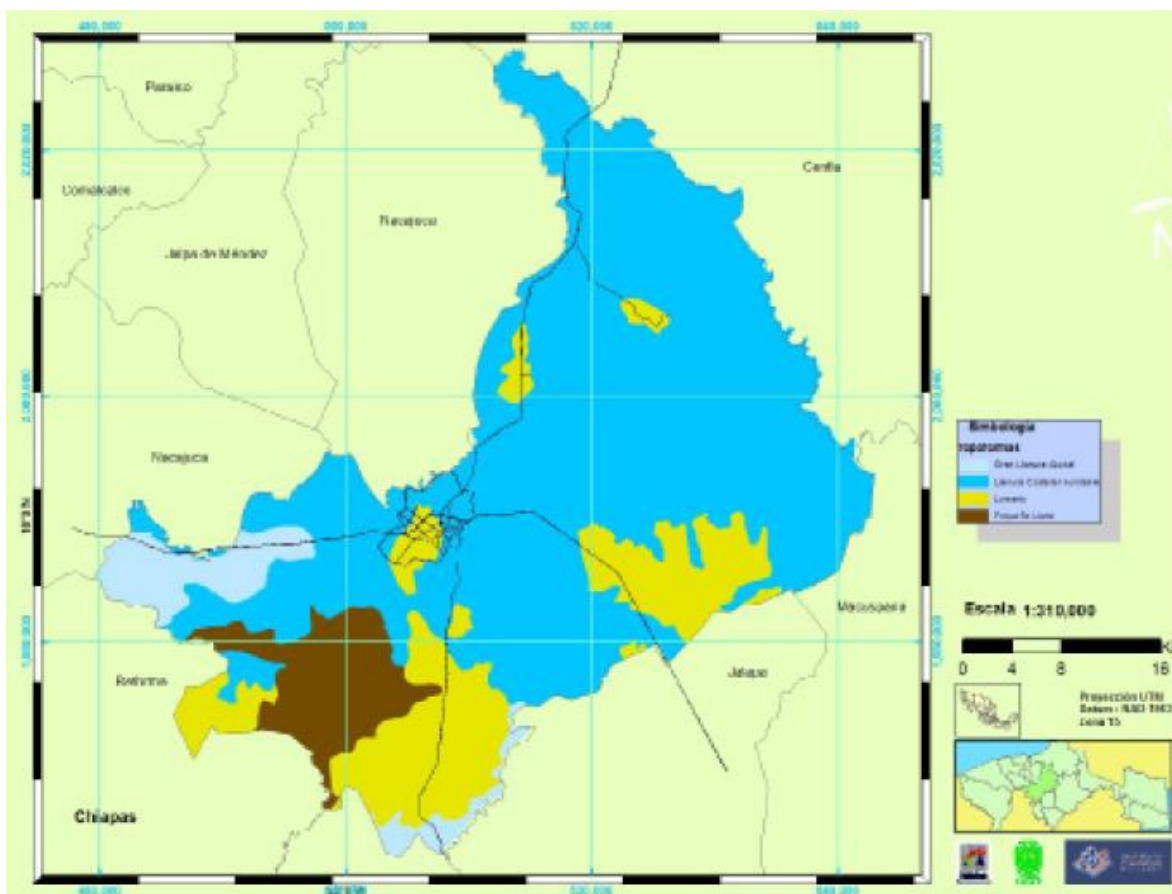


Figura 3.2 Fisiografía del municipio de Centro, estado de Tabasco

3.1.3. Edafología

En Tabasco, parte de la llanura está formada por rocas cubiertas de depósitos terciarios que afloran en algunas zonas de la sierra al sur del estado. Durante el terciario, en Tabasco y Chiapas se inició la sedimentación terrígena marina producto del levantamiento de la porción occidental de la Sierra Madre Oriental. En la llanura costera predominan suelos cuaternarios de tipo aluvial, lacustre, palustre y litoral, así como lomeríos de areniscas.

Los suelos del municipio son de origen lacustre y palustre, producto del asentamiento de materiales depositados y de los procesos de eutrofización en cuerpos de agua. Por lo general son limoso - arcillosos poco permeables y favorecen la acumulación de agua. Esto se puede observar claramente en la zona

3.1.4. Hidrología

El municipio de Centro se ubica en la Región Hidrológica # 29 en lo que se considera la Cuenca baja del río Grijalva. Esta zona está dominada por dos sistemas hidráulicos que provienen de la Sierra Norte de Chiapas. El primero de

ellos es el sistema Mezcalapa - Grijalva. Este sistema resulta de gran importancia porque recoge los escurrimientos de la zona norte de Chiapas. En su parte alta se encuentra bloqueado por cuatro presas hidroeléctricas que no solo producen un importante porcentaje de la energía nacional, sino que además sirven de control de avenidas disminuyendo así las posibilidades de inundación en las zonas bajas de Tabasco.

El referido curso de agua se divide en dos brazos en el municipio de Huimanguillo dando origen al río Samaría y al río Carrizal. Este último transcurre por 10 km más río abajo para dividirse en otros dos brazos. El más caudaloso mantiene el nombre de río Carrizal y el de menor caudal que antes se denominaba Mezcalapa ahora asume el nombre de viejo Mezcalapa o río Viejo.

Ambos sistemas atraviesan el municipio del oeste hacia el este bordeando la Ciudad de Villahermosa tanto por el norte como por el sur. Justamente al sur de la ciudad el río Viejo se une al río de la Sierra que ingresa por la parte sur del municipio y que transporta el caudal de la zona serrana de Teapa, Reforma y Tacotalpa. El río de la sierra incorpora entonces un importante caudal de los ríos Puyacatengo, de la Sierra y Tacotalpa (figura 3.4).

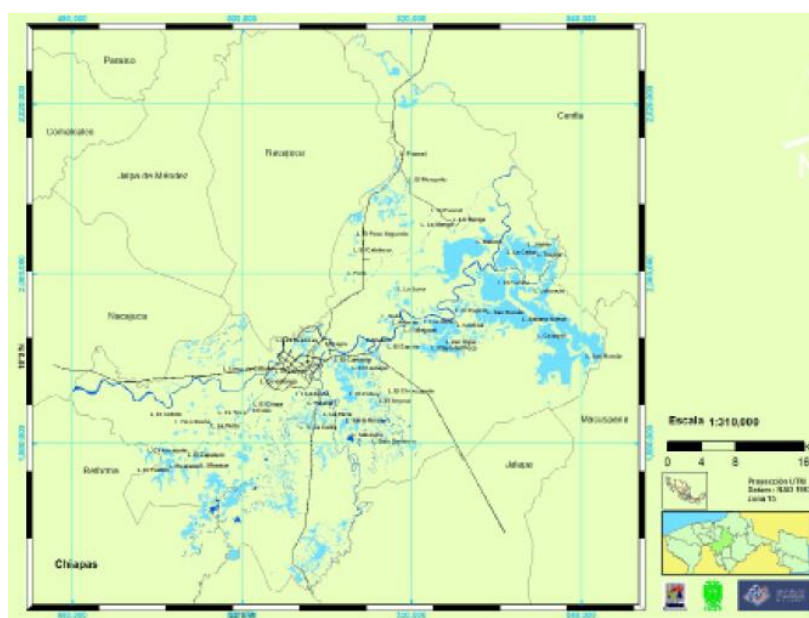


Figura 3.4 Hidrología del municipio del Centro, en el estado de Tabasco

3.1.5. Clima

El municipio del Centro cuenta con un clima del tipo cálido húmedo con abundantes lluvias en verano Am(w). La precipitación media anual oscila entre los 1900 y 2100 mm; mientras que la temperatura media se estima entre los 26°C y 28°C. Este clima se encuentra distribuido en la totalidad de la superficie del municipio y presenta periodos marcados de precipitación y sequía definidos (figura 3.5 y figura 3.6) por las siguientes características:

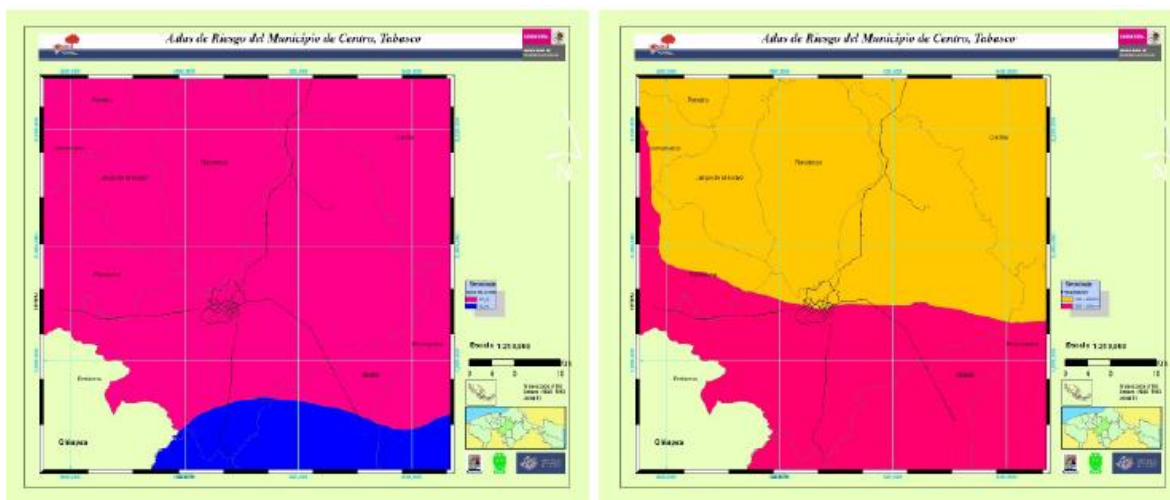


Figura 3.5 Climas y precipitación media en el municipio del Centro Tabasco.

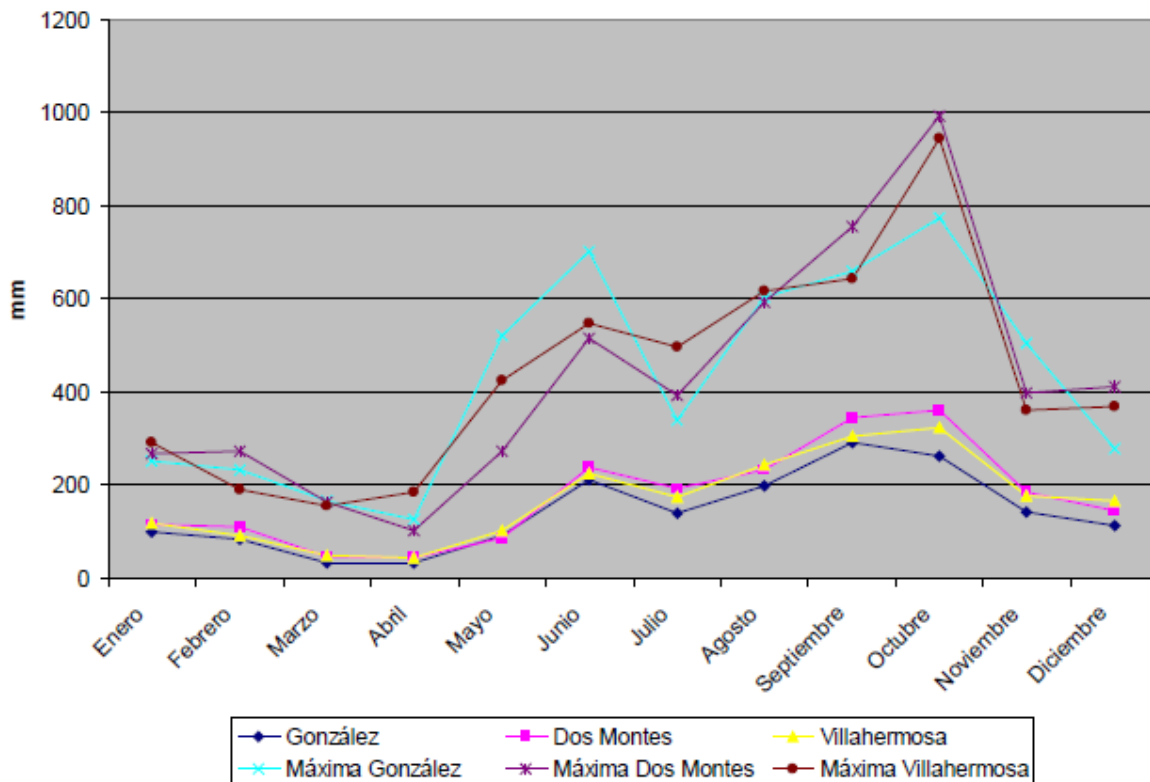


Figura 3.6 Precipitación para 3 estaciones en la capital de Villahermosa y principales poblaciones en el municipio del Centro, estado de Tabasco

3.1.6. Factores de riesgo

Los factores de riesgo, son aquellos que se caracterizan por identificar cada uno de los desastres ya sean naturales o provocados, en una cierta comunidad estos pueden ser de diversos tipos con varias magnitudes y a su vez con variables calculables solo con el daño que dejan detrás de cada gran evento, en el estado de Tabasco el mayor factor de riesgo que existe es quizá por causa natural al estar a un nivel del mar muy por debajo de lo normal, siendo denominado como una poza, la capital ubicada en el municipio del Centro es probablemente la más afectada como se pudo observar en el evento del mes de Octubre del año 2007.

3.1.6.1. Peligro por Sismos

El estado de Tabasco y en consecuencia el municipio de Centro, se encuentran ubicados en una zona considerada de baja sismicidad. Los movimientos telúricos suaves y la baja intensidad de la energía que se libera en los eventos registrados en el área, hacen que el peligro asociado a estos fenómenos en la zona sea considerado de bajo a muy bajo.

Sin embargo, a pesar de la baja intensidad en el municipio se han sentido los efectos de sismos con epicentro localizados en la zona de Chiapas - Oaxaca - Guerrero. De acuerdo a los registros existentes en el Sistema Sismológico Nacional (SSN), el promedio de magnitud para el estado y el municipio de Centro es de cuatro grados Richter (Tabla 3.1). Esta magnitud tan baja y su poca frecuencia constituyen un nivel bajo de peligro en comparación con otras zonas de mayor intensidad sísmica en la república.

<u>Fecha</u>	<u>Lat.</u>	<u>Long.</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Magnitud</u>	<u>Zona</u>
22/06/2006	17.85	-93.58	56	4.3	20 km al Oeste de Huimanguillo, Tab
11/02/2007	18.07	-93.18	103	4.4	0 km al Suroeste de Cunduacán, Tab
04/03/2007	16.62	-90.67	49	4.3	124 km al Sureste de Tenosique, Tab
29/05/2007	17.56	-92.64	24	4.4	22 km al Sur de Macuspana, Tab
08/06/2007	18.25	-93.47	11	4.4	26 km al Oeste de Comalcalco, Tab
29/06/2007	17.49	-93.74	56	4.4	52 km al Suroeste de Huimanguillo, Tab
27/09/2007	17.36	-93.79	171	4	67 km al Suroeste de Huimanguillo, Tab
30/09/2007	18.65	-93.79	63	4.5	68 km al Suroeste de Paraíso, Tab
29/11/2007	18	-93.24	25	4.5	9 km al Suroeste de Cunduacán, Tab
07/03/2008	16.52	-90.72	23	4	130 km al Sureste de Tenosique, Tab
25/03/2008	17.96	-93.04	102	4	12 km al Suroeste de Villahermosa, Tab
23/04/2008	18	-92.53	112	4.1	18 km al Norte de Benito Juárez, Tab
25/04/2008	18.02	-92.5	123	4.3	21 km al Norte de Benito Juárez, Tab
20/05/2008	16.97	-91.19	15	4.2	61 km al Sureste de Tenosique, Tab
31/05/2008	16.72	-90.52	20	4.3	128 km al Sureste de Tenosique, Tab
01/07/2008	16.36	-90.43	30	4.4	162 km al Sureste de Tenosique, Tab
16/07/2008	16.86	-90.55	14	4.3	115 km al Sureste de Tenosique, Tab
19/09/2008	16.86	-91.07	29	4	78 km al Sureste de Tenosique, Tab
18/10/2008	17.61	-91.54	12	4.2	20 km al Noroeste de Tenosique, Tab
31/10/2008	17.77	-93.44	106	4	8 km al Suroeste de Huimanguillo, Tab

Tabla 3.1 Registros de sismos en el estado de Tabasco (SSN, 2008).

3.1.6.2. Peligro por Vulcanismo

Por la ubicación geográfica del estado de Tabasco y del municipio no existe en el territorio ninguna característica que indique presencia de vulcanismo activo o extinto, por lo que en este renglón el peligro es muy bajo ante la presencia de nubes piroclásticas, derrames de lava o coladas y por partículas volátiles de alto peso y calibre.

No obstante, por su vecindad con el estado de Chiapas, Tabasco es susceptible de ser afectado por partículas volátiles de bajo peso y tamaño micrométrico como las cenizas. Un ejemplo claro de estos efectos ocurrió el 28 de marzo de 1982, cuando casi a la media noche el volcán "El Chichonal" hizo erupción (figura 3.7). La erupción fue tan violenta que en menos de una hora la columna alcanzó más de 100 km de diámetro y diecisiete de altura.

Para la madrugada del 29 de marzo los efectos de su erupción se hicieron sentir en los estados de Tabasco, Campeche, Veracruz y Oaxaca a través de una lluvia de ceniza que paralizó por completo al estado cerrando aeropuertos y un gran número de caminos.

De acuerdo con estos datos el estado de Tabasco es susceptible ante una erupción de esta magnitud, donde los efectos secundarios como el depósito de cenizas son inevitables. Cabe resaltar que no existe un mecanismo de defensa que evite este fenómeno. No obstante, debe de considerarse su inclusión en una agenda de protección civil mediante la elaboración de un plan de acción que ayude a mitigar los efectos de este tipo de fenómenos reduciendo la vulnerabilidad aun cuando su ocurrencia no sea frecuente.



Figura 3.7 Vista aérea del volcán el Chichónal en el estado de Chiapas

3.1.6.3. Riesgos por fenómenos meteorológicos

Inundaciones pluviales: son resultado de la acumulación de lluvia excedente durante horas o días, su principal característica es el agua acumulada como resultado de la precipitación registrada en esa zona. Estas tienen su origen en fenómenos hidrometeorológicos como ciclones y depresiones tropicales, así como frentes fríos.

La ciudad de Villahermosa por sus condiciones particulares de topografía y precipitación pluvial ha necesitado invertir grandes cantidades de dinero en la implementación de un sistema de bombeo (cárcamos) que no solo sirven para desplazar las aguas negras por el drenaje de la ciudad, sino que además, funcionan como una defensa ante los excedentes de precipitación que continuamente se presentan en la ciudad (Figura 3.8). Los principales eventos de

inundación pluvial se relacionan con precipitaciones intensas que en poco tiempo saturan la red de drenaje o bien cuando alguno de estos equipos falla provocando la acumulación del agua y la inundación de viviendas y comercios.



Figura 3.8 Inundación pluvial debido a intensas lluvias en la ciudad de Villahermosa, estado de Tabasco

Las inundaciones fluviales: se generan cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. A diferencia de las pluviales, en este tipo de inundaciones el agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente a lluvia sobre la zona afectada. Estas inundaciones se dan frecuentemente por efecto de las crecientes de los ríos Viejo, la Sierra y el Carrizal y algunas lagunas que se encuentran en la ciudad y áreas adyacentes. Uno de los mayores ejemplos es la inundación del 2007, una de las comunidades más afectadas fue la colonia Gaviotas (Figura 3.9).

Este tipo de fenómeno no afecta frecuentemente al municipio de Centro y a la ciudad de Villahermosa. Sin embargo, en el año 2007 para los meses de octubre y noviembre se registró la conjunción de todos estos fenómenos generando la inundación más grave de la cual se tenga historia en tierras tabasqueñas. En esa ocasión convergieron un frente frío con una depresión tropical generando precipitaciones extraordinarias superiores a los 300 mm en toda la cuenca del Grijalva - Mezcalapa y el río de la Sierra. Las intensas

precipitaciones sumadas a los escurrimientos de las zonas serranas, al desfogue de la presa Peñitas y a un tapón hidráulico en la desembocadura del río al Golfo de México sobrepasaron con mucho los peores escenarios en materia de inundación para el municipio, la ciudad y el estado en general.



Figura 3.9 Inundación Fluvial debido al desbordamiento de los ríos Carrizal y Usumacinta en el estado de Tabasco

3.2. Pruebas de laboratorio del concreto celular

Para poder determinar los valores de diseño, siendo el objetivo de la tesis el comprobar y analizar a nivel material y estructural una vivienda de interés social sometida a una carga lateral, se considerará el peso propio del elemento y una carga viva por norma.

Ya que la vivienda de interés social estará ubicada en el estado de Tabasco, este trabajo se apega a la normativa mexicana de la sociedad civil ONNCCE; “NMX C38 ONNCCE”, “NMX C128 ONNCCE” y NMX C303 ONNCCE”, las cuales nos determinaran las dimensiones adecuadas del bloque, la resistencia a compresión y la resistencia a flexión, respectivamente.

En el caso del mortero este se obtuvo por la norma “NMX C61 ONNCCE”.

El Organismo Nacional de la Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación por sus siglas “ONNCCE”, es una sociedad civil que tiene como propósito la normalización, certificación y verificación de diversos materiales relacionados a la industria de la construcción.

El presente proyecto de la vivienda de interés social se basará en valores de resistencia aprobados por un organismo certificado y por diversas instituciones afines a la construcción y con valores apegados a la normativa mexicana. Se emplearán los resultados obtenidos por pedido de Contec Mexicana, quien es una de las principales empresas junto con grupo HEBEL, distribuidora del concreto celular autoclaveado en el país, al CENAPRED; Centro Nacional de Prevención de Desastres por sus siglas, el cual desarrolla desde 1990 un programa de investigación sobre la seguridad estructural en la vivienda de bajo costo.

El fin de la prueba de laboratorio además de obtener los valores de resistencia de diseño del CCCA (concreto celular curado en autoclave), y hacer una comparativa entre los valores últimos de fábrica que mediante el empleo del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal evaluar experimentalmente la seguridad sísmica de estructuras de mampostería.

Los principales objetivos que evaluó el CENAPRED fueron:

- Los índices de resistencia a la compresión de bloques, prismas y cubos de concreto celular curado en autoclave (CCCA) y los índices de resistencia a la compresión y tensión diagonal cortante de la mampostería de bloques de CCCA.
- La resistencia a flexión del CCCA.
- La rigidez axial y al corte de la mampostería de bloques de CCCA.
- El modo de falla de las probetas ensayadas.
- La absorción y el peso volumétrico de los bloques de CCCA.

3.2.1. Propiedades geométricas y pruebas de resistencia de los elementos de CCCA

Para determinar las propiedades mecánicas el CENAPRED realizó ensayos en cubos, prismas y bloques de dos tipos de CCCA Contec. Las propiedades determinadas en los bloques fueron: dimensiones, densidad, absorción y resistencia a la compresión. Los prismas se utilizaron para determinar el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión (módulo de ruptura). Los bloques que formaron la muestra (Fig. 3.10) fueron piezas GP2 en dos espesores: 150 y 175 milímetros y piezas GP4 también en espesores de 150 y 175 milímetros. La densidad nominal de GP2 es de $0,5 \text{ Ton/m}^3$. y la de GP4 es de $0,7 \text{ Ton/m}^3$.



Figura 3.10 Bloque de CCCA (Concreto Celular Curado en Autoclave).

3.2.1.1. Bloques CCCA

Los bloques de CCCA, son aquellos que llevan un proceso especializado donde al mezclarse (arena, yeso, cemento y cal) crean diversas partículas químicas que a su vez crean esferas de aire que sirven para aligerar el peso del bloque y mejorar sus propiedades y capacidades físicas. Tal como se vio en el capítulo 1, de este trabajo.

El autoclaveado no es más que un proceso químico en el cual se trata de recrear en el bloque el comportamiento del mineral conocido como tobermorita, el cual es un inosilicato o silicato de calcio hidratado, que rechaza la absorción de agua hasta un 90 por ciento más que el bloque tradicional, en las tablas 3.2 y 3.3, se observan las dimensiones del bloque de concreto celular.

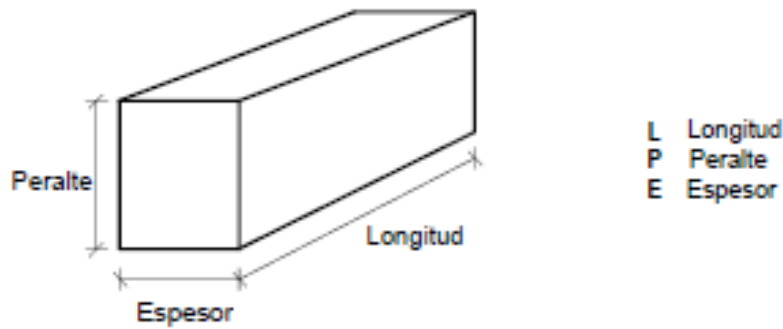


Figura 3.11 Bloque de CCCA, donde se determinan sus dimensiones.

Tablas de las dimensiones del bloque:

	Dimensiones [mm]					
	L1	L2	P1	P2	E1	E2
Media	627	627	199	199	150	149
C.V. [%]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
Nominales	625		200		150	

Tabla 3.2 Dimensión media del bloque GP2/0.5 de 150 milímetros de espesor.

	Dimensiones [mm]					
	L1	L2	PI	P2	E1	E2
Media	627	627	199	199	150	150
C.V. [%]	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
Nominales	625		200		150	

Tabla 3.3 Dimensión media del bloque GP4/0.7 de 150 milímetros de espesor.

3.2.1.2. Cubos CCCA

Para determinar los índices de resistencia el CENAPRED realizó el ensaye propuesto por las normas DIN (Deutsches Institut für Normung) o Instituto Alemán de Normalización, utilizando cubos de 100 milímetros de lado elaborados por Contec Mexicana.

El concreto celular que empleo el CENAPRED, fue elaborado a partir de cinco materias primas: arena, cal, cemento, yeso y agua combinadas con un agente expansor (silicatos).

3.2.1.3. Prismas CCCA

Las dimensiones de los prismas fueron de 150 x 150 milímetros con una altura de 300 milímetros. La elaboración de su composición fue similar a la de los cubos de CCCA. Donde se empleó por parte del CENAPRED, el mismo agente expansor para la producción de las burbujas de aire dentro de la mezcla.

3.2.1.4 Resistencia a Compresión

3.2.1.4.1 Bloques

Para determinar la resistencia a compresión en los bloques de CCCA, el CENAPRED realizó el ensaye propuesto para tabiques en la norma NMX C36 ONNCCE. El espécimen consistió en una pieza completa ensayada en una máquina universal como se muestra en la figura 3.12. Y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.4. Para obtener una distribución uniforme de la carga aplicada por el cabezal de la máquina, se colocaron dos placas de acero de 25 mm de espesor.

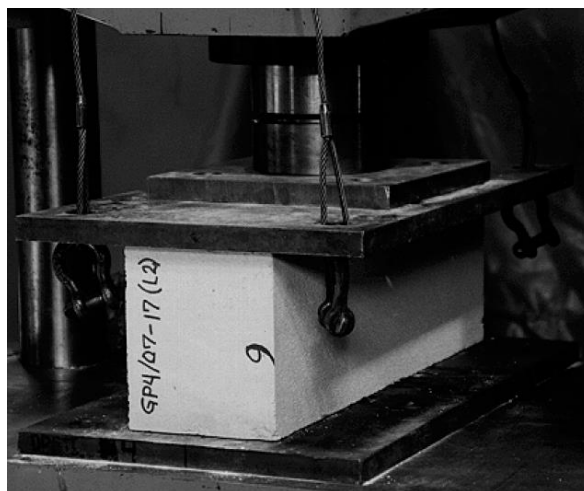


Figura 3.12 Ensaye a compresión de un bloque de CCCA, en una maquina universal

Tipo de pieza	GP2/0,5-150 mm	GP2/0,5-175 mm	GP4/0,7-150 mm	GP4/0,7-175 mm
Media	25 kg/cm^2	26 kg/cm^2	40 kg/cm^2	43 kg/cm^2
C.V.	0.05	0.08	0.03	0.03
Media	25 kg/cm^2 (2,5 MPa)		41 kg/cm^2 (4,1 MPa)	

Nota: 1.00 kg/cm^2 = 0,0981 MPa

Tabla 3.4 Resistencia a compresión de los bloques

3.2.1.4.2 Cubos

Para determinar este índice de resistencia se realizó el ensaye propuesto por las normas DIN alemanas utilizando cubos de 100 milímetros de lado.

La resistencia a la compresión se determinó para dos densidades: GP2/0.5 y GP4/0.7. En la Tabla 3.5 se incluyen los valores promedio y dispersión, de un promedio de 20 muestras realizadas.

Muestra		Resistencia a compresión	Contenido de agua
GP2/0,5	Media	37 kg/cm^2 (3.6 MPa)	16%
	C.V.	0.06	0.13
GP4/0,7	Media	56 kg/cm^2 (5.5 MPa)	16%
	C.V.	0.05	0.10

Tabla 3.5 Resistencia a la compresión en cubos

3.2.1.4.3 Prismas

La resistencia a la compresión también se obtuvo del ensaye de prismas de 150 x 150 milímetros y 300 milímetros de altura. En la Tabla 3.6 se incluyen los valores medios y su dispersión, de un promedio de 10 muestras.

También se determinó del módulo de elasticidad de los prismas según la NMX C128 ONNCCE. En la Figura 3.13 se presenta la instrumentación colocada en los prismas para conocer la relación esfuerzo-deformación, (figura 3.14).

La NMX C128 ONNCCE permite determinar el módulo de elasticidad mediante el cálculo de la pendiente de una recta secante que inicia sobre la curva esfuerzo deformación para una deformación de 0.00005 y que la cruza en el 40% del máximo valor de resistencia a compresión.

Muestra		Resistencia a compresión	Módulo de elasticidad	Contenido de agua
GP2/0,5	Media	29 kg/cm^2	13 155 kg/cm^2	16%
	C.V.	0.08	0.08	0.18
GP4/0,7	Media	43 kg/cm^2	18 730 kg/cm^2	15%
	C.V.	0.10	0.14	0.22

Tabla 3.6 Resistencia y módulo de elasticidad de prismas (h/l=2)

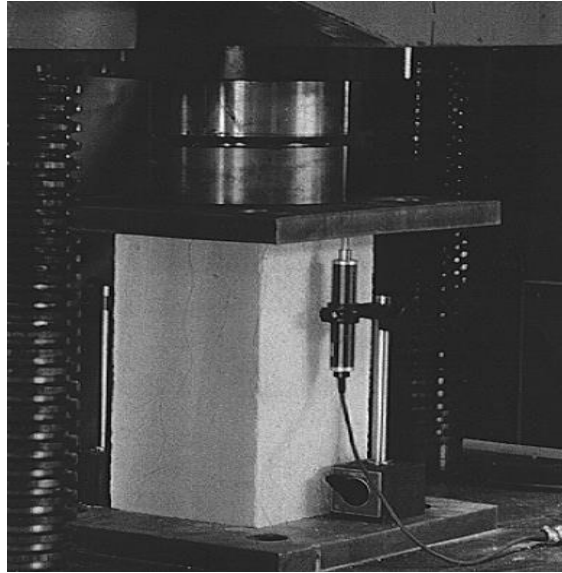


Figura 3.13 Ensayo de compresión en prismas.

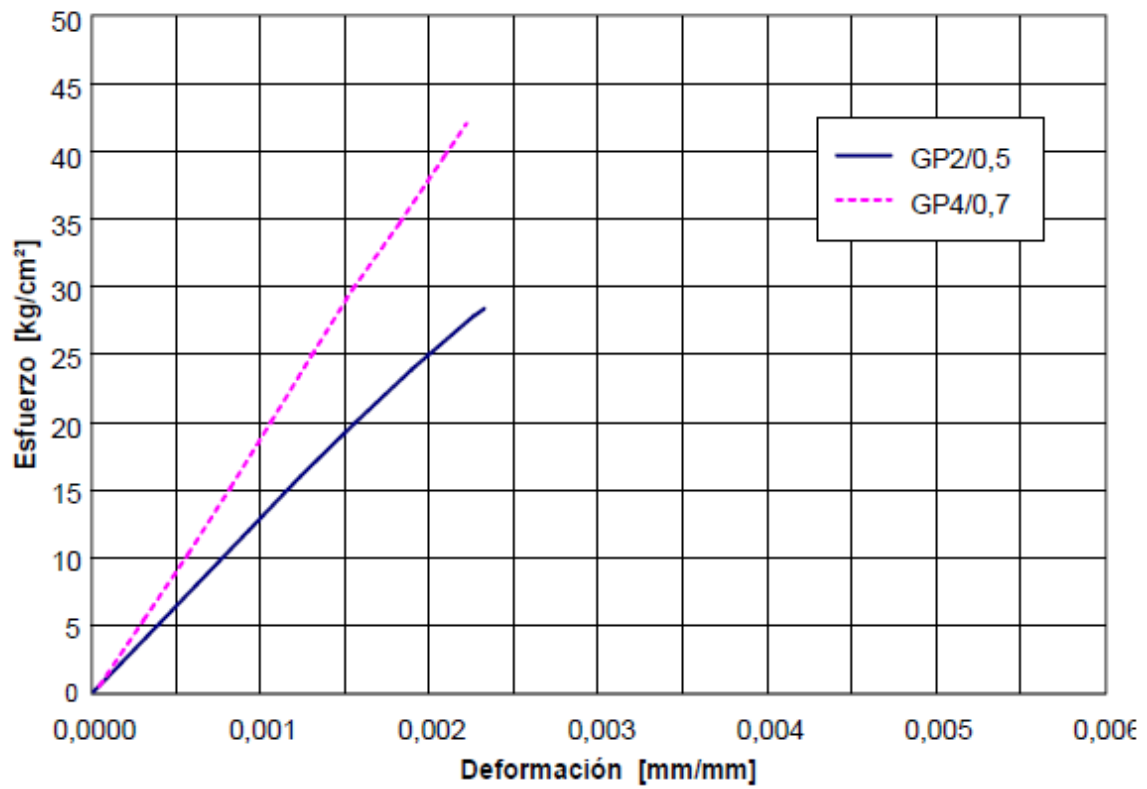


Figura 3.14 Curvas promedio Esfuerzo – Deformación de los prismas.

3.2.1.5 Resistencia a Flexión

La resistencia a la flexión del CCCA se obtuvo de acuerdo con la norma NMX-C303 ONNCCE usando una viga simple con carga en el centro del claro. Los especímenes fueron prismas de 150 x 150 x 500 milímetros tal como lo muestra la figura 3.15.

Aún cuando los valores resultantes de esta prueba no se utilizaran por el tipo de análisis empleado, no se descarta su revisión por parte del CENAPRED, en donde se obtuvieron los valores de la tabla 3.7.

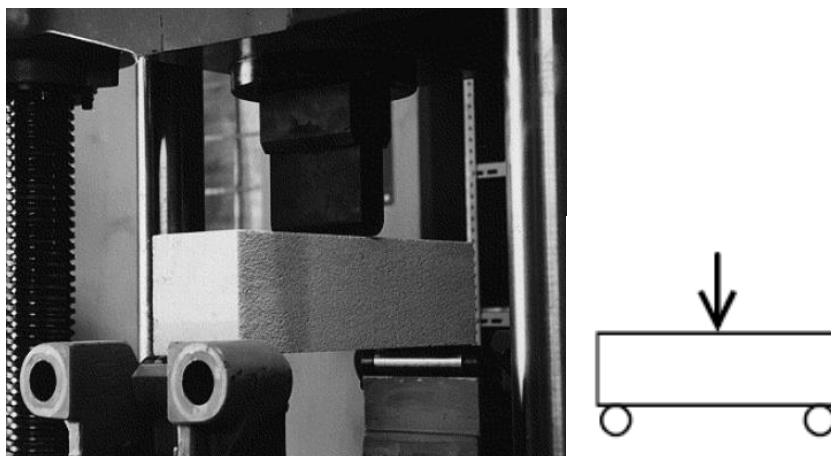


Figura 3.15 Ensayo de flexión en prismas empleando una viga simple con carga en el centro (CENAPRED).

Tipo de muestra		Módulo de ruptura	Contenido de agua
GP2/0,5	Media	8,4 kg/cm ²	39%
	C.V.	0.03	0.04
GP4/0J	Media	11,5 kg/cm ²	27%
	C.V.	0.04	0.13

Tabla 3.7 Resistencia a flexión de prismas

3.2.1.6 Resistencia del mortero

La resistencia del mortero adhesivo Contec tipo I se obtuvo de acuerdo con la norma NMX-C-61 (Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos). Se ensayaron un total de 30 cubos de 5 cm de arista:

seis cubos por edad a los 3, 7, 14, 28 y 49 días. La evolución de la resistencia a compresión con la edad a la prueba se presenta en la figura 3.16.

La evolución de la resistencia del mortero presentó una tendencia creciente, pero con un incremento muy importante entre 3 y 7 días. La resistencia promedio a los 28 días fue igual a 165 kg/cm², superior en más de 30% al valor típico de la resistencia nominal del mortero tipo I. Lo que hace que este adhesivo cementante, sea ideal para la porosidad del concreto celular, logrando penetrar las pequeñas burbujas de aire que conforman la estructura del concreto celular, obteniendo una mayor adherencia que con el mortero convencional, además es importante hacer mención que este adhesivo cementante no requiere de arena, para su preparación en obra.

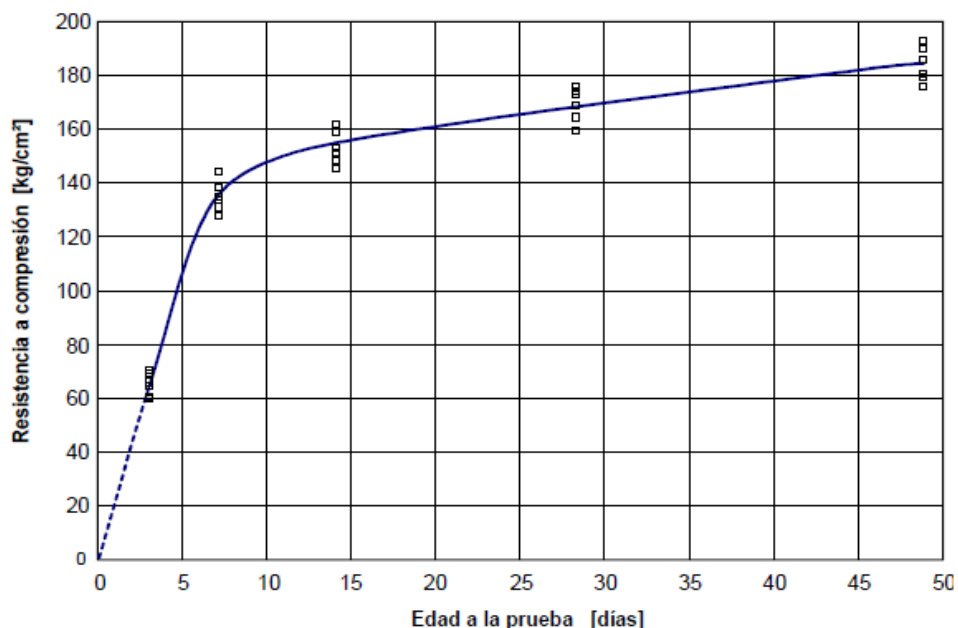


Figura 3.16 Evolución de la resistencia a compresión de cubos de mortero adhesivo Contec tipo I

3.2.2. Pruebas de resistencia a pilas

El comportamiento del conjunto pieza-mortero sujeto a carga axial simple, se estudió del ensaye de pilas con relación altura espesor de cuatro piezas de acuerdo con la norma mexicana referente a este tipo de ensaye ONNCCE.

El CENAPRED construyó nueve pilas para cada uno de los tipos de piezas y seis más con piezas de distintos lotes. Se empleó mortero adhesivo Contec

proporcionado de acuerdo con la especificación del fabricante. Para elaborar este mortero no se emplea arena. El mortero adhesivo Contec se aplicó con una cuchara Contec de anchura igual al espesor del bloque que se estaba colocando (la mezcla de mortero fluye a través de los dientes de la cuchara).

Los especímenes fueron contruidos por un mismo albañil entrenado en el sistema, cuidando la verticalidad de los costados y nivelando cada pieza al colocarla. El espesor de las juntas fue de 1,0 a 2,0 mm aproximadamente. Los especímenes se conservaron en el interior del laboratorio hasta su prueba. El ensaye se realizó en una máquina universal.

Para registrar la curva esfuerzo-deformación de la pila, se colocaron simétricamente dos transductores de desplazamiento que medían la deformación total entre los extremos de las pilas. Los puntos de referencia de los transductores fueron dos marcos rígidos de aluminio sujetos a la pila con tornillos de punta. La longitud de medición fue del orden de 480 milímetros.

En la Tabla 3.8 se presentan los resultados de las pruebas de pilas. El módulo de elasticidad E_m se calculó como la pendiente de la secante al 40% de la resistencia. En la Figura 3.17 se presentan las curvas promedio esfuerzo-deformación para los cuatro tipos de bloque ensayados.

Prueba		GP2/0.5		GP4/0.7	
		150 mm	175 mm	150 mm	175 mm
Resistencia del mortero, f_b [kg/cm ²]	Media	160			
Compresión axial, f_m [kg/cm ²]	Media	28.5	27.0	44.8	36.3
	C.V.	0.06	0.05	0.10	0.07
Módulo de Elasticidad, E_m [kg/cm ²]	Media	13640	13860	23215	21870
	C.V.	0.11	0.08	0.05	0.06
$\overline{f_m}/\overline{f_p}$	Media	1.15	1.03	1.12	0.80
$\overline{E_m}/\overline{f_p}$	Media	479	514	518	640

Tabla 3.8 Valores de compresión en las pilas (CENAPRED).

De la Figura 3.17 se observa que las curvas fueron prácticamente elástico-lineales hasta la resistencia que está asociada a una falla súbita. El comportamiento se puede aproximar a una línea recta hasta la resistencia a una deformación de 0,002.

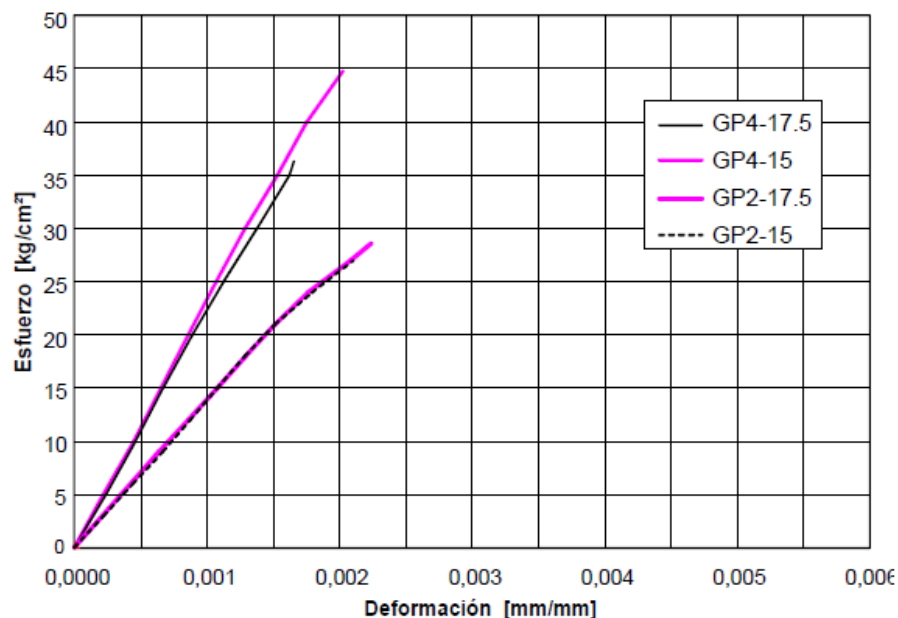


Figura 3.17 Curvas promedio esfuerzos – deformación de pilas (CENAPRED).

En la Figura 3.18 se presentan las curvas esfuerzo-deformación promedio considerando la desviación estándar correspondiente. La línea continua gruesa corresponde a la curva promedio, mientras que las discontinuas corresponden al promedio más y menos la desviación estándar correspondiente a cada nivel de deformación.

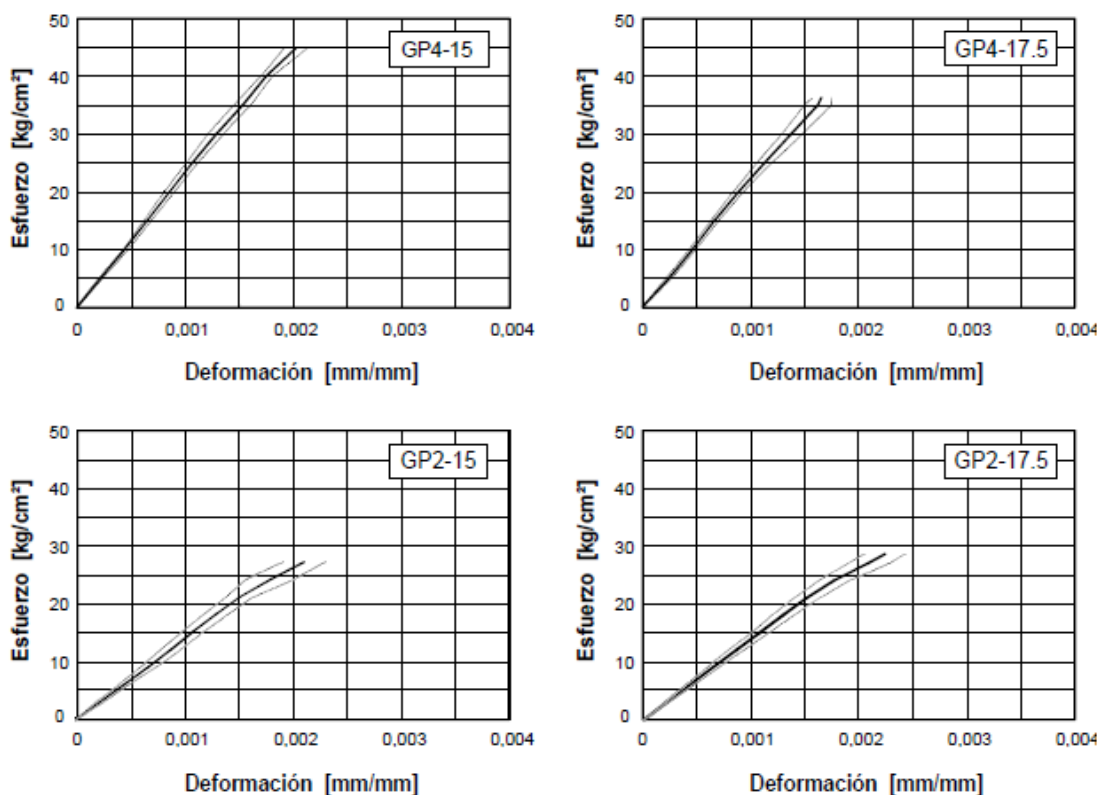


Figura 3.18 Curvas promedio esfuerzo-deformación con desviación estándar (CENAPRED).

3.2.3. Pruebas de resistencia a muretes

El comportamiento del conjunto pieza - mortero sujeto a tensión diagonal y cortante se estudió del ensaye de muretes cuadrados de acuerdo con el anteproyecto de norma mexicana referente a este tipo de ensaye ONNCCE. La base de los muretes fue de una pieza y media: el número de hiladas se determinó de modo de tener un espécimen cuadrado. Para ello el CENAPRED colocó cinco hiladas.

Se construyeron de 9 a 12 muretes por cada uno de los tipos de bloque. Se empleó el mismo tipo de mortero que para pilas. Para cada tipo de bloque, se tomaron seis cubos de 5 centímetros de arista que se ensayaron a compresión. Los especímenes fueron contruidos por un mismo albañil, cuidando la verticalidad de las caras. El espesor de las juntas fue de 0.5 milímetros.

Los muretes se ensayaron a compresión diagonal en un marco de carga. Para distribuir la carga en las esquinas de los muretes. Se colocaron ángulos de acero con longitudes de ala iguales a la altura de los bloques.

Para registrar la curva esfuerzo cortante – deformación angular se colocaron dos pares de transductores de desplazamientos dispuestos simétricamente sobre las diagonales, y que median la deformación total a lo largo de las diagonales. Los puntos de referencia de los transductores fueron tornillos sujetos al murete. La longitud de medición sobre cada diagonal fue del orden de 1130 milímetros.

Las señales de carga y de desplazamiento se almacenaron en una computadora personal conectada a un equipo automático de captura de datos.

Los muretes fueron ensayados monótonamente hasta la falla. Los resultados de todos los ensayos y la descripción de los modos de falla se incluyen en el apéndice. En la Tabla 3.9 se presentan los resultados promedio de los ensayos de muretes.

Prueba		GP2/0.5		GP4/0.7	
		150 mm	175 mm	150 mm	175 mm
Resistencia del mortero, f_b [kg/cm ²]	Media	185	184	194	185
	C.V.	0.06	0.11	0.08	0.06
Tensión Diagonal, V_m [kg/cm ²]	Media	4.8	5.8	8.4	8.6
	C.V.	0.25	0.09	0.11	0.14
Módulo de Rigidez al Corte, G_m [kg/cm ²]	Media	4720	4670	7210	7230
	C.V.	0.11	0.07	0.08	0.07
G_m/E_m		0.33	0.31	0.35	0.34

Tabla 3.9 Ensayo de muretes (CENAPRED).

Los muretes se ensayaron, en promedio, a los 40 días. Las resistencias están referidas al área de la diagonal a compresión del espécimen. Al igual que

E_m el módulo de rigidez al corte G_m se calculó como la pendiente de la secante al 40% de la resistencia.

Los bloques GP2 tuvieron una resistencia del orden de la mitad de la de los bloques GP4. Se observa que la dispersión de las resistencias para muretes GP2-150 es alta; se obtuvo un coeficiente de variación de 25%.

Independientemente del tamaño de las piezas, la rigidez promedio de muretes de la misma densidad fue muy similar. La rigidez de los bloques GP2 fue en promedio, 30% la de los bloques GP4. En la Figura 3.19 se presentan las curvas promedio esfuerzo cortante - deformación angular para los cuatro tipos de piezas. La forma de las curvas para especímenes de la misma densidad es muy similar.

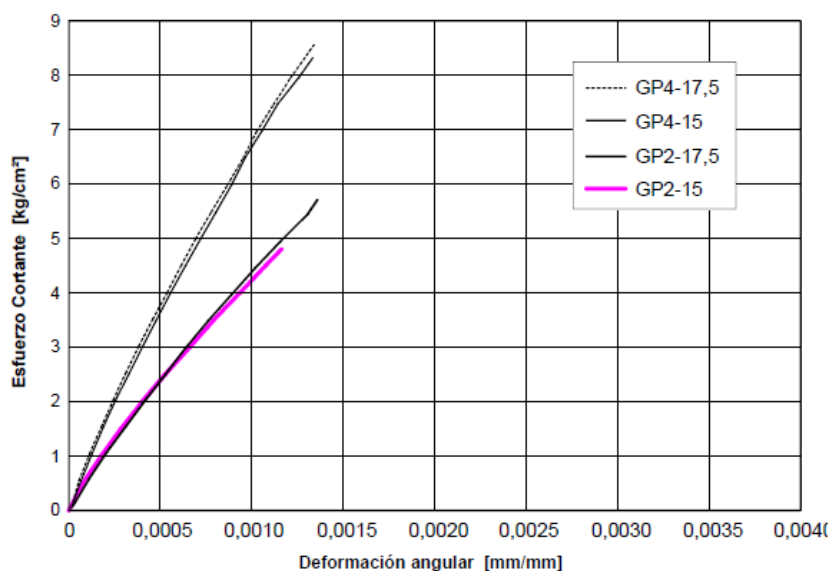


Figura 3.19 Curvas promedio esfuerzo-deformación de muretes (CENAPRED).

En la Figura 3.20 se muestran las curvas promedio más y menos la desviación estándar para los cuatro tipos de bloque. La deformación angular a la resistencia fue 0,13%, en promedio.

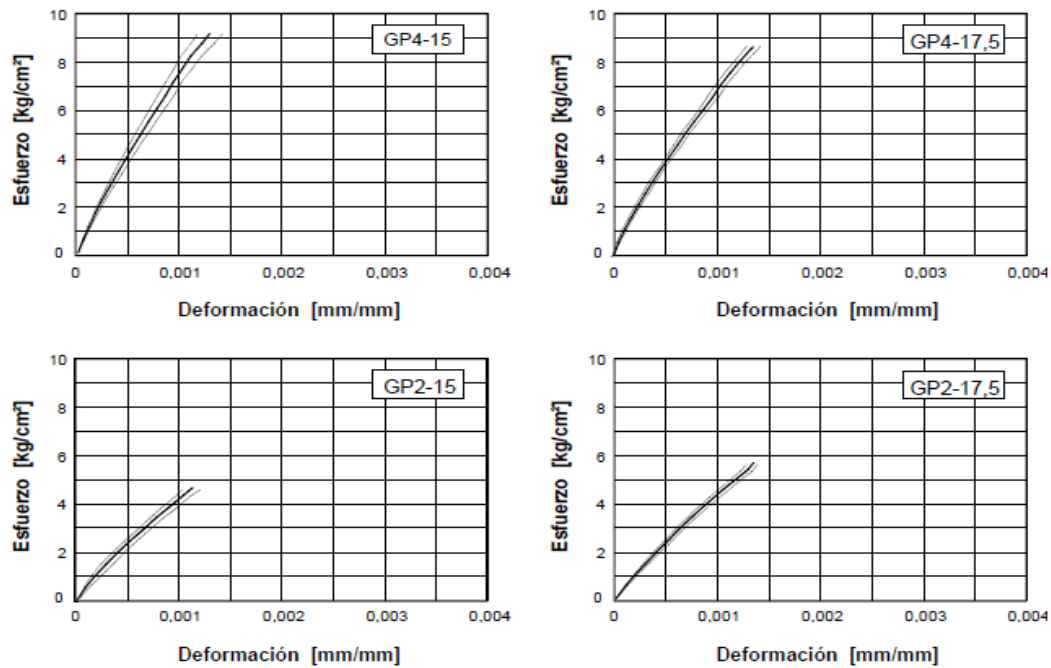


Figura 3.20 Curvas promedio esfuerzo-deformación más y menos la desviación estándar de muretes de bloques de CCCA (CENAPRED).

En general, los muretes fallaron súbitamente después de la formación de una grieta principal en la diagonal a compresión y de alguna grieta en la entre cara bloque–mortero Figura 3.21.

Al final de la mayoría de los ensayos resultó visible la separación de algún bloque por pérdida de adherencia; en algunos casos el mortero endurecido mostraba los surcos dejados por la cuchara durante la construcción y en algunos otros una superficie perfectamente lisa sin rastros de CCCA adherido al mortero.

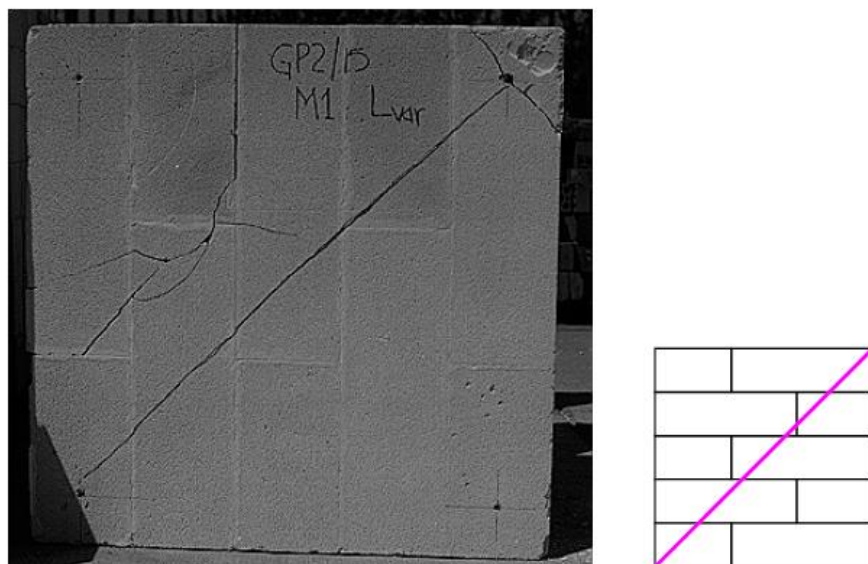


Figura 3.21 Aspecto final de uno de los muretes después de la falla (CENAPRED).

3.2.4. Propiedades de diseño

Para la presente tesis es necesario además de conocer los índices de resistencia por las pruebas de laboratorio, hacer una comparación mediante el análisis de las propiedades de diseño en el cual se compararán con valores obtenidos por el IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto) y los recomendados por Contec.

En la Tabla 3.10 se presentan las resistencias de diseño según las NTC. Estos valores corresponden a probabilidades de ser excedidos en un 98%. El número entre paréntesis indica el número de especímenes de la muestra.

Propiedad	GP2/0.5		GP4/0.7	
	150 mm	175 mm	150 mm	175 mm
Compresión de pieza, f_p^* [kg/cm ²]	16 (9)	18 (9)	27 (9)	28 (9)
Compresión de mampostería, f_m^* [kg/cm ²]	21 (12)	20 (9)	33 (7)	25 (9)

Cortante de mampostería, v_m^* [kg/cm²]	3,0 (12)	3.9 (9)	5.6 (12)	5.7 (9)
E_m/f_m^*	659	707	713	879

Tabla 3.10 Resistencias de diseño en bloques y mampostería según RCDF.

El valor de v_m^* para bloques GP2-150 mm es menor al valor de $v_m^* = 3,5$ kg/cm² indicado las NTC para diseño de mampostería de bloque de concreto tipo A con mortero tipo I. En la Tabla 3.11 se presentan valores de diseño obtenidos por el IMCYC del ensaye de bloques, prismas y muretes similares a los de los valores que se presentaron en este apartado.

El número entre paréntesis indica el número de especímenes de la muestra. En todos los casos se utilizó el coeficiente de variación mínimo especificado en las NTC. Para la construcción de prismas y muretes se utilizó mortero adhesivo Contec con resistencia a la compresión de 160 kg/cm² (28 días). No existió diferencia significativa entre los valores de resistencia obtenidos a 14 y a 28 días del ensaye de pilas y muretes IMCYC.

Propiedad	GP2/0.5		GP4/0.7	
	150 mm	175 mm	150 mm	175 mm
Compresión de pieza, f_p^* [kg/cm²]	-	25.4 (5)	-	36.9 (5)
Compresión de mampostería, f_m^* [kg/cm²]	15 (5)	14.8 (3)	25 (5)	22.2 (5)
	15 (8)		24 (10)	
Cortante de mampostería, v_m^* [kg/cm²]	2.9 (5)	2.7 (4)	4.2 (5)	3.8 (5)
	2.8 (9)		4.0 (10)	

Tabla 3.11 Resistencias de diseño IMCYC.

En la Tabla 3.12 se presentan las propiedades mecánicas y de diseño según Contec. No se establecen valores de resistencia a la compresión del bloque o pieza. Los valores de diseño para mampostería son los obtenidos por el IMCYC de acuerdo con las NTC.

Características	GP2/0,5	GP4/0,7
Densidad mínima	450 kg/m ³	600 kg/m ³
Peso de diseño	600 kg/m ³	700 kg/m ³
Resistencia mínima a la compresión	25 kg/m ³	50 kg/m ³
Compresión de mampostería f^*_m	15 kg/cm ²	24 kg/cm ²
Cortante de mampostería v^*_m	3 kg/cm ²	4 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	13 000 kg/cm ²	18 000 kg/cm ²

Tabla 3.12 Propiedades mecánicas y de diseño Contec.

Según Contec las resistencias mínimas a la compresión de GP2/0,5 y GP4/0,7 son 25 y 50 kg/cm², respectivamente.

Estos valores se determinaron de acuerdo a normas DIN en cubos de 100x100x100 milímetros. En este estudio se obtuvieron valores de 37 y 56 kg/cm² para GP2/0,5 y GP4/0,7, respectivamente. Los valores medios de módulo de elasticidad determinados del ensaye de prismas de 150x150x300 milímetros, que se pudieron observar en este capítulo, fueron 13,155 y 18,730 kg/cm² para GP2/0,5 y GP4/0,7, respectivamente.

3.2.5. Resumen de resultados

En este apartado se podrán apreciar los resultados finales entre las diferentes pruebas de esfuerzo, realizadas al CCCA, por parte del CENAPRED.

- Las resistencias promedio de bloques, obtenidas en el laboratorio para las piezas tipo GP2/0,5 y GP4/0,7, fueron iguales a 25 y 41 kg/cm² (2,5 y 4,1 MPa), respectivamente. Las resistencias de diseño a la compresión para

las piezas tipo GP2/0,5 y GP4/0,7 son iguales a 16 y 27 kg/cm² (1,6 y 2,6 MPa), respectivamente.

- Los valores medios de módulo de ruptura fueron 8,4 y 11,5 kg/cm² (0,82 y 1,13 MPa) para CCCA, con un contenido de agua de 30%, tipo GP2/0,5 y GP4/0,7, respectivamente.
- La resistencia de diseño a la compresión de mampostería f_m^* , es igual a 20 y 25 kg/cm² (2,0 y 2,6 MPa) para los bloques GP2/0,5 y GP4/0,7, respectivamente. Estos últimos valores resultan muy parecidos al valor indicativo de diseño para bloque de concreto tipo A de las NTC-M.
- El módulo de elasticidad E_m se puede calcular como $E_m = 660 f_m^*$ para bloques GP2/0,5, y $E_m = 710 f_m^*$ para bloques GP4/0,7. Se reconoce que para bloques con espesor de 175 milímetros las rigideces son superiores.
- La resistencia de diseño al cortante para mampostería, v_m^* , es igual a 3,0 y 5,5 kg/cm² (0,34 y 0,55 MPa) para los bloques GP2/0,5 y GP4/0,7, respectivamente. El valor de $v^* = 3,0$ kg/cm² es igual al indicado en Contec.

Gracias a estos resultados y al proceso de experimentación por parte del CENAPRED, este trabajo puede llevar a cabo la revisión de los muros de mampostería utilizando el block de concreto celular curado en autoclave, para la revisión de la vivienda de interés social y poder obtener sus valores de resistencia empleando las NTC, en sus apartados de mampostería y sismo. De igual forma tal como se verá en el capítulo 4, obtener otro punto de vista además de la revisión lineal que marcan las normas antes mencionadas.

Capítulo 4. Diseño, modelado y revisión de la Vivienda de Interés Social mediante programas externos.

Una vez que se cumplieron las revisiones por NTC-M y NTC-S, respectivamente, y que la vivienda cumple en su estructura, elementos que la conforman y que los refuerzos de acero son lo suficientemente apropiados para resistir la fuerza lateral, como se vio en el capítulo 2, de este trabajo por el sistema constructivo convencional aplicado en el estado de Tabasco, y como se podrá verificar en el sistema constructivo con concreto celular, en el apartado de anexos en las tablas T-18 a T-34 y T-1 a T-17 para la mampostería convencional aplicando el block hueco de concreto. Se puede elaborar las siguientes conclusiones de ambos sistemas constructivos:

- La mampostería convencional (muro elaborado con block hueco de concreto, confinado por trabes y castillos, losa de concreto), su refuerzo actúa con elementos ajenos a la estructura propia del muro por ende es un sistema confinado.
- La mampostería con CCCA (block ligero de concreto celular curado en autoclave y panel losa de concreto celular con refuerzo interior de acero, donde los propios blocks de concreto celular actúan mediante un refuerzo interior de acero como elementos estructurales que confinará al mismo muro), su sistema es de refuerzo interior.

Con estos puntos se puede deducir que una estructura confinada y que rigidiza todos sus elementos es una estructura fiable, sin embargo la idea que tenemos sobre crear estructuras con elementos rígidos, en donde los castillos de los muros son los que cumplen esta función ante las cargas laterales, se cree que también aumentan la capacidad del muro para resistir dicha fuerza. Pero esta no es la función propia del castillo, sino es la de incrementar la capacidad de deformación del muro y postergar o disminuir la degradación de resistencia, que ocurre después de la fuerza lateral.

En éste capítulo se analizará la comparativa realizada para la revisión por cargas gravitacionales y por un esfuerzo cortante, mediante NTC-M y NTC-S, con los resultados obtenidos del método simplificado, se podrá calcular de igual forma el desplazamiento de cada elemento muro que conforma a la estructura, este punto apoyado por el programa ANEMgcW y un modelo de la vivienda de interés social en el programa de análisis estructural SAP 2000. Una vez conociendo los desplazamientos se elaborará un cuadro comparativo con los valores obtenidos por el ANEMgcW y los desplazamientos calculados para elaborar la curva capacidad de cada elemento en ambos sistemas constructivos, este punto apoyado por la ecuación de rigidez y distorsión o desplazamiento lateral, calculados a partir del esfuerzo resistente de diseño V_{mR} , aplicado como el esfuerzo de agrietamiento V_{agr} .

4.1 Requerimientos para el método estático y análisis sísmico simplificado para ambos procesos constructivos

Las NTC-Mampostería y las NTC-Sismo, brindan una explicación breve sobre el método de Análisis Sísmico Simplificado, sin embargo para emplear este método se deben cumplir ciertos requisitos en la estructura a analizar. En el apartado 3.2.3.3., de las NTC-Mampostería menciona estos requisitos y a continuación se analizarán con respecto a las dimensiones y necesidades de la vivienda

- Los muros tendrán una distribución simétrica con respecto a sus ejes ortogonales, donde la excentricidad torsional calculada estáticamente (e_s), no excederá del diez por ciento en planta del entrepiso medida paralelamente a dicha excentricidad.

$$X_c = \frac{\Sigma W_{TotalX}}{\Sigma W_{Total}} = 0.41 \text{ m}$$

$$Y_c = \frac{\Sigma W_{TotalY}}{\Sigma W_{Total}} = 0.59 \text{ m}$$

$$e_x = |X_R - X_c| = 3.228 \text{ m}$$

$$B_x = 0.700 \text{ m}$$

$$e_y = |Y_R - Y_c| = 5.435 \text{ m}$$

$$B_y = 1.200 \text{ m}$$

Donde e_x es la excentricidad del eje X y e_y es la excentricidad del eje Y.

Entonces:

$$3.238 > 0.70$$

$$5.435 > 1.20$$

Cumpliendo así el primer punto, para ambos sistemas constructivos.

- La relación entre longitud y ancho de la planta no excederá de 2.

$$12/7 = 1.71$$

$$1.71 < 2.00$$

- Se empleará en estructuras con una altura menor a 13 metros.

Cumpliendo estos puntos anteriores se procederá la revisión por el método simplificado de análisis sísmico, como mencionan las NTC-S, en el capítulo 7, donde se hace énfasis de lo siguiente; “Se hará caso omiso de los desplazamientos horizontales, torsiones y momentos de volteo. Se verificará únicamente que en cada entrepiso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga, proyectados en la dirección en que se considera la aceleración, sea cuando menos igual a la fuerza cortante total que obre en dicho entrepiso”.

Con esto se procede a que se cumpla esta condición, agregando la revisión de la vivienda mediante un análisis sísmico. En las siguientes tablas, se hace un breve resumen de los esfuerzos obtenidos por la revisión estática de los esfuerzos a compresión y por el esfuerzo cortante de cada uno de los muros, en ambos sistemas constructivos.

No.	L (m)	H (m)	Pr (Ton)	Pu (Ton)	VmR (Ton)	Vu (Ton)	Fsi (Ton)	Di agr
1	3.15	2.7	15.44	5.005	4.814	2.700	2.455	0.000238801
2	3.00	2.7	14.88	4.688	4.569	2.332	2.120	0.000237945
3	1.71	2.7	19.30	3.536	2.786	0.432	0.393	0.000254524
4	0.60	2.7	11.38	2.002	1.137	0.019	0.017	0.000296125
5	3.15	2.7	29.57	6.580	5.145	2.700	2.455	0.000255207
6	3.00	2.7	35.60	4.654	4.561	2.332	2.120	0.000237566
7	3.15	2.7	33.12	7.493	5.337	2.700	2.455	0.000264723
8	1.50	2.7	9.29	1.908	2.193	0.292	0.265	0.000228414
9	1.65	2.7	18.87	4.473	2.911	0.388	0.353	0.00027562
10	3.00	2.7	18.58	5.549	4.749	2.332	2.120	0.000247362
11	3.15	2.7	16.70	6.443	5.116	2.700	2.455	0.000253786
A	4.15	2.7	22.87	7.088	6.529	2.811	2.555	0.00024582
B	1.65	2.7	9.85	2.027	3.093	0.133	0.121	0.000292914
C	4.15	2.7	21.01	6.505	6.324	2.811	2.555	0.000238097
D	2.50	2.7	13.02	3.826	3.790	0.615	0.559	0.000236879
E	0.81	2.7	12.87	1.469	1.276	0.021	0.019	0.000246186
F	3.05	2.7	35.95	8.305	5.388	1.116	1.014	0.000276014
G	1.65	2.7	18.87	2.414	2.478	0.177	0.161	0.00023468
H	2.00	2.7	24.91	7.011	3.862	0.315	0.286	0.000301683
I	1.01	2.7	17.85	1.356	1.491	0.041	0.037	0.000230718
J	2.05	2.7	25.27	4.612	3.418	0.339	0.308	0.000260489
K	3.05	2.7	32.41	7.405	5.199	1.116	1.014	0.000266337
L	0.83	2.7	9.47	1.429	1.292	0.022	0.020	0.00024315
M	3.15	2.7	17.29	5.005	4.814	1.229	1.118	0.000238801
N	4.15	2.7	22.87	7.144	6.458	2.811	2.555	0.00024315
O	5.15	2.7	26.59	9.856	8.222	5.372	4.884	0.000249462

Tabla 4.1 Valores de los esfuerzos de compresión, cortante, fuerza sísmica y distorsión de cada muro, con el proceso constructivo de muros elaborados con block de concreto hueco en un sistema confinado.

No.	L (m)	H (m)	Pr (Ton)	Pu (Ton)	VmR (Ton)	Vu (Ton)	Fsi (Ton)	Di agr
1	3.15	2.7	24.62	1.866	5.280	1.027	0.933	0.000209541
2	3.00	2.7	21.84	1.744	5.022	0.887	0.806	0.000209256
3	1.71	2.7	17.26	1.354	2.938	0.164	0.149	0.000214773
4	0.60	2.7	7.56	0.791	1.097	0.007	0.006	0.000228618
5	3.15	2.7	29.84	2.521	5.418	1.027	0.933	0.000215001
6	3.00	2.7	30.84	1.730	5.019	0.887	0.806	0.000209129
7	3.15	2.7	30.99	2.901	5.498	1.027	0.933	0.000218167
8	1.50	2.7	11.81	0.691	2.473	0.111	0.101	0.000206084
9	1.65	2.7	16.73	1.747	2.928	0.148	0.134	0.000221794
10	3.00	2.7	23.62	2.103	5.097	0.887	0.806	0.00021239
11	3.15	2.7	24.62	2.464	5.406	1.027	0.933	0.000214527
A	4.15	2.7	31.31	2.664	7.034	1.069	0.972	0.000211877
B	1.65	2.7	12.81	0.740	3.005	0.050	0.046	0.000227666
C	4.15	2.7	30.42	2.421	6.949	1.069	0.972	0.000209306
D	2.50	2.7	19.39	1.420	4.178	0.234	0.212	0.000208901
E	0.81	2.7	9.39	0.556	1.374	0.008	0.007	0.000211998
F	3.05	2.7	30.12	3.245	5.415	0.424	0.386	0.000221925
G	1.65	2.7	16.73	0.891	2.748	0.067	0.061	0.000208169
H	2.00	2.7	19.79	2.779	3.687	0.120	0.109	0.000230468
I	1.01	2.7	11.14	0.495	1.671	0.015	0.014	0.000206851
J	2.05	2.7	20.23	1.778	3.555	0.129	0.117	0.000216758
K	3.05	2.7	28.96	2.871	5.336	0.424	0.386	0.000218704
L	0.83	2.7	8.41	0.537	1.401	0.009	0.008	0.000210988
M	3.15	2.7	23.73	1.866	5.280	0.467	0.425	0.000209541
N	4.15	2.7	31.31	2.687	7.005	1.069	0.972	0.000210988
O	5.15	2.7	38.89	3.746	8.779	2.043	1.857	0.000213089

Tabla 4.2 Valores de los esfuerzos de compresión, cortante, fuerza sísmica y distorsión de cada muro, con el proceso constructivo de muros elaborados con block de concreto celular curado en autoclave en un sistema de refuerzo interior.

Los valores de las tablas anteriores, fueron obtenidos mediante el análisis de cada elemento estructural considerando al muro como un sistema homogéneo, tal como lo marcan las NTC-M y NTC-S, para aplicar el método de análisis sísmico simplificado. No se consideran los momentos de volteo al ser un sistema que confina todos los muros en donde todos están ligados a la losa y tienen un refuerzo longitudinal en el sentido vertical, de la misma manera como marca la NTC-S, en la sección 7, se descartarán los momentos a flexión y torsión, enfocándose únicamente a las deformaciones laterales o por cortante.

Al ser una vivienda de interés social y con un solo nivel, la falla que puede ser considerada de gran importancia sería por un desplazamiento de la estructura

ante cargas laterales y a la degradación de la resistencia de los muros por esta última. Con esto se pretende revisar la vivienda por los esfuerzos a cargas gravitacionales y accidentales o cortante, pero agregando la revisión por agrietamiento de cada elemento. En el capítulo 4.2, se analizará el muro crítico de la vivienda, el cual tiene un claro particularmente prolongado y una abertura por ventana, con lo dispuesto por las NTC-M y NTC-S, para ambos sistemas constructivos, haciendo una comparación final de los esfuerzos resistentes de diseño por compresión, cortante y la fuerza sísmica actuante en este elemento. Así como también la curva capacidad del muro, donde se asocia el componente de deformación por cortante y la degradación estructural del muro de mampostería.

4.2 Revisión de ambos sistemas constructivos por los métodos de análisis sísmico simplificado y estático.

Para poder realizar la revisión y que se cumpla que el diseño de la estructura cumple con la resistencias a los esfuerzos de diseño, se elaboró un análisis estático previo para obtener las dimensiones de la losa, cargas gravitacionales y accidentales, área de acero para cada muro, cuantía del acero de refuerzo para losa y castillos, así como las dimensiones de la zapata de cimentación que resistirá las cargas gravitacionales de la estructura. Todo esto con base al reglamento de construcción del municipio del Centro, estado de Tabasco en su versión 2013.

Estos valores previamente calculados resumidos en la siguiente tabla 4.3 y que serán de utilidad para la obtención de los esfuerzos de diseño, fuerza sísmica y degradación de la resistencia del muro:

TIPO DE MAMPOSTERÍA	CM+CV (Ton/m2)	CM+CVI (ton/m2)
Block Hueco de C.	0.5	0.7
Block CCA	0.208	0.2912

Tabla 4.3 Valores obtenidos para diseño de la vivienda de interés social, conforme a las dimensiones de la vivienda

Para la obtención de los valores de la tabla 4.3, se consideró la losa en ambos sentidos, para el muro “O”, el cual está en la dirección Y, y tiene una longitud de 5.15 metros, homogenizando los castillos al muro. Su área tributaria es de 6.069 m², la altura del nivel de piso a losa de azotea es de 2.70 m., altura de pretil de 0.35 m., para ambos materiales. En la tabla 4.4 se describen las propiedades mecánicas de diseño de cada material, aplicándose a las mismas dimensiones de la vivienda, modificando únicamente el proceso constructivo. En la imagen 4.1 se observa el elemento muro denominado: muro “O”, a fin de explicar el proceso que se realizó con cada elemento, en la figura 4.2, se mostrará su área tributaria y su centro de eje.

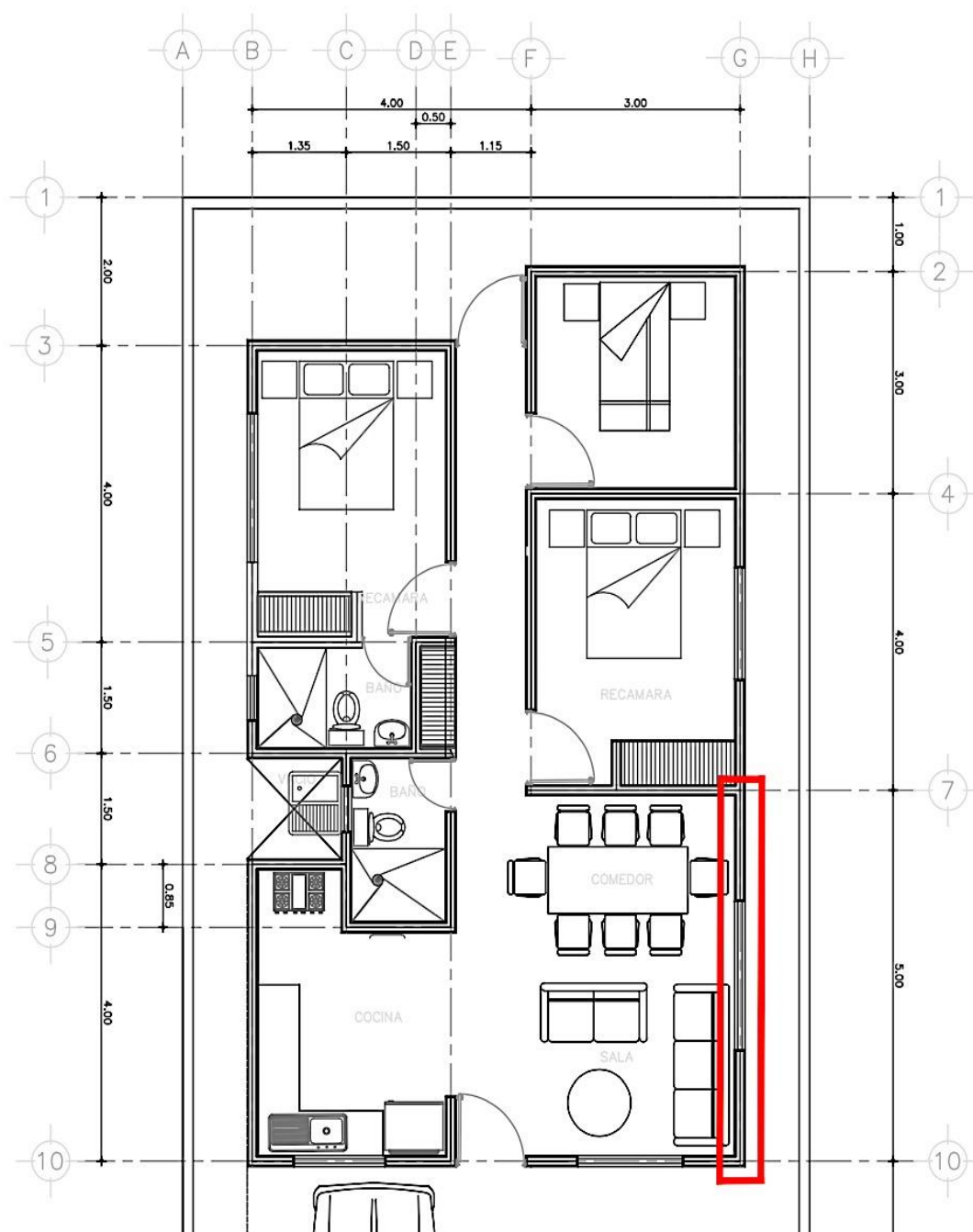


Figura 4.1 Planta de la vivienda de interés social, señalando el muro a revisión.

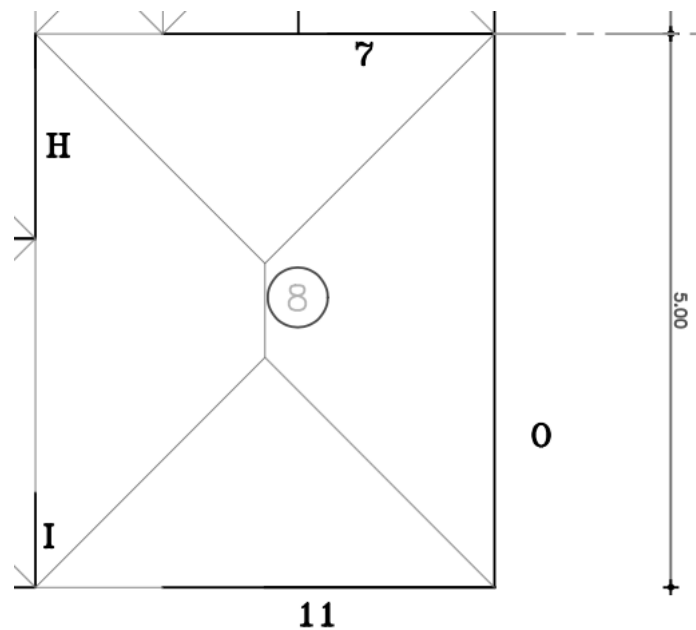


Figura 4.2 Área tributaria que actúa sobre el muro “O”, la longitud del muro se empleó del centro de ambos ejes.

TIPO DE MAMPOSTERÍA	Dimensiones (cm)	Em	fm* (kg/cm)	vm* (kg/cm)	γ_{muro} (Ton/m3)	γ_{losa} (Ton/m3)
Block Hueco de C.	12x20x40	800*fm*	20	3	1.7	2.4
Block CCCA	15x20x61	800*fm*	15	3	0.6	0.72

Tabla 4.4 Propiedades mecánicas de ambos sistemas constructivos.

El primer paso es la obtención de la carga vertical actuante en el elemento muro, calculada con ambas combinaciones de carga, para posteriormente calcular los esfuerzos por cargas gravitacionales (CM+CVM) y por cortante (CM+CVI).

$$P_{grav} = [A_{Trib}CM + CV] + W_{muro} + W_{pretil} \quad (4.1)$$

$$P_{sis} = [A_{Trib}CM + CVI] + W_{muro} + W_{pretil} \quad (4.2)$$

Donde:

$$W_{muro} = \gamma_{muro} * h_{muro} * l * t \quad (4.3)$$

$$W_{pretil} = \gamma_{muro} * h_{pretil} * l * t \quad (4.4)$$

Para el caso del muro “O”, empleando block hueco de concreto:

$$W_{muro} = 1.70 \frac{Ton}{m^3} * 2.70 m * 5.15 m * 0.12 m = 2.83 Ton.$$

$$W_{pretil} = 1.70 \frac{Ton}{m^3} * 0.35 m * 5.15 m * 0.12 m = 0.367 Ton.$$

Para el caso del muro “O”, empleando block de concreto celular:

$$W_{muro} = 0.60 \frac{Ton}{m^3} * 2.70 m * 5.15 m * 0.15 m = 1.25 Ton.$$

$$W_{pretil} = 0.60 \frac{Ton}{m^3} * 0.35 m * 5.15 m * 0.15 m = 0.162 Ton.$$

Con los pesos del muro con ambos materiales se procede a calcular la carga vertical gravitacional y accidental actuante en el muro “O”.

Block hueco de concreto:

$$P_{grav} = \left[6.069 m^2 * 0.5 \frac{Ton}{m^2} \right] + 2.83 Ton + 0.367 Ton = 6.231 Ton$$

$$P_{sis} = \left[6.069 m^2 * 0.7 \frac{Ton}{m^2} \right] + 2.83 Ton + 0.367 Ton = 7.445 Ton$$

Block de concreto celular:

$$P_{grav} = \left[6.069 m^2 * 0.208 \frac{Ton}{m^2} \right] + 1.25 Ton + 0.162 Ton = 2.67 Ton$$

$$P_{sis} = \left[6.069 \, m^2 * 0.291 \frac{Ton}{m^2} \right] + 1.25 \, Ton + 0.162 \, Ton = 3.179 \, Ton$$

Para elaborar el análisis sísmico simplificado, tal como lo marca el capítulo 4.1, de este trabajo, y revisando que la vivienda cumple las condiciones que marca la metodología para realizar este tipo de análisis, se procede a la obtención de la fuerza lateral actuante en cada nivel, para esto se emplearan los valores que marca el artículo 211, del Reglamento de construcciones de municipio de Centro, Tabasco, apegándose al tipo de terreno que marca el artículo 210 de este mismo reglamento. En la tabla 4.5, los valores del terreno tipo III, son los empleados para el cálculo de Fs.

Zona Sísmica	Tipo de suelo	Ao	C	Ta (seg)	Tb (seg)	R
B	I	0.04	0.14	0.2	0.6	1/2
	II	0.08	0.30	0.3	1.5	2.73
	III	0.10	0.36	0.6	2.9	1

Tabla 4.5 Coeficientes sísmicos para estructuras tipo B, que marca el Reglamento de construcción del municipio de Centro, Tabasco.

Es importante hacer mención que la revisión de la vivienda de interés social es empleando lo que marca la NTC-M y NTC-S, ya que el reglamento del estado de Tabasco en el artículo 214, de los desplazamientos laterales hace caso omiso de estos y no hay una ecuación o formula propia para su obtención. En la figura 4.3, se hace la interpretación del espectro de diseño obtenido con los valores de la tabla 4.5.

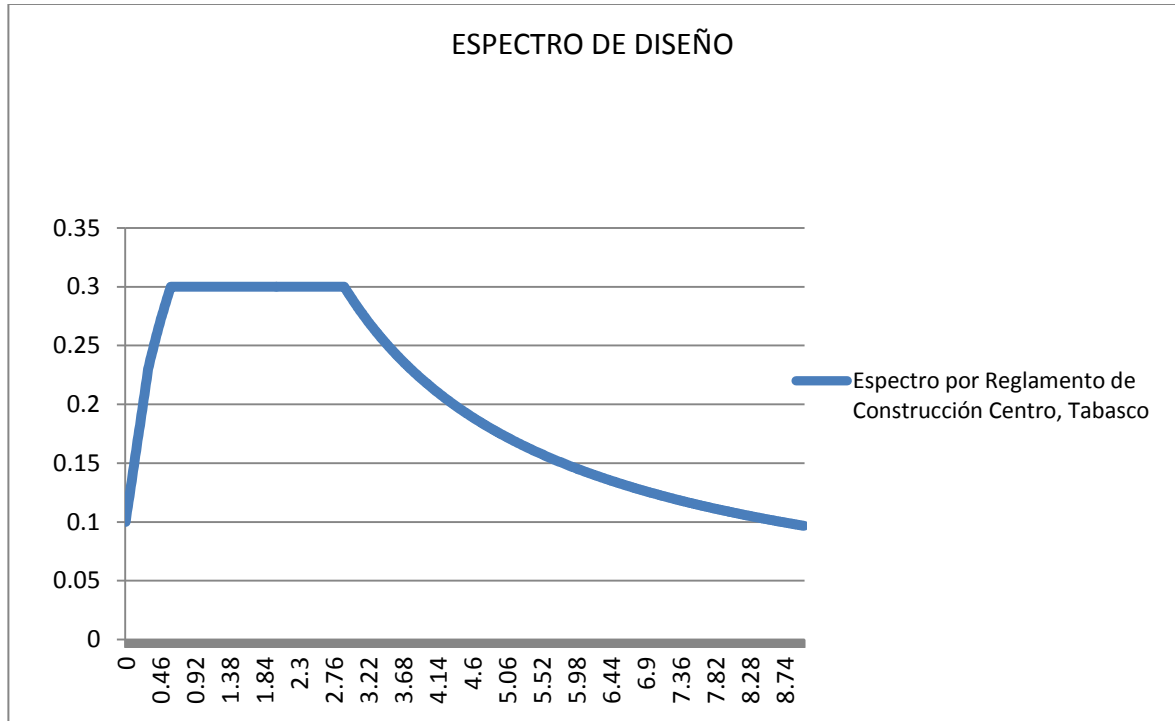


Figura 4.3 Espectro de diseño; Reglamento de construcción del municipio de Centro, Tabasco.

Una vez que se tiene los valores del coeficiente sísmico “c”, se obtendrá el factor de comportamiento sísmico “Q”. Donde las NTC-S, en su capítulo 5, menciona las condiciones que debe cumplir la estructura a revisión, para este caso de la vivienda de interés social, el valor de comportamiento sísmico será de 1.5 para la mampostería convencional y de igual modo para la mampostería con refuerzo interior. La ecuación 4.5, considera la fuerza lateral actuante en cada nivel.

$$F_i = \frac{c}{Q} \frac{\sum W_n}{\sum W_n h_n} W_n h_n \quad (4.5)$$

Para la ecuación 4.5, el W_n es el peso de los elementos que componen a la estructura, $\sum W_n$, es la sumatoria de todos los pesos de la misma, h_n , es la altura total de la estructura. Para el cálculo de la fuerza lateral que actúa sobre cada muro la ecuación a emplear es la 4.6.

$$F_{si} = \frac{F_s * L^3}{\Sigma L^3} \quad (4.6)$$

Donde F_s , es la fuerza lateral actuante en ambos lados de la estructura, L^3 es la longitud del muro a analizar y ΣL^3 , la sumatoria de todos los muros.

Entonces la fuerza lateral actuante en el muro “O” es:

Block hueco de concreto:

$$h_n = 3.05 \text{ m}$$

$$\Sigma W_n = 71.694 \text{ Ton}$$

$$F_i = \frac{0.36}{1.5} \frac{71.694 \text{ Ton}}{218.66 \text{ Ton} * m} 218.66 \text{ Ton} * m = 17.20 \text{ Ton}.$$

Y la fuerza actuante en el muro “O”:

$$F_{si} = \frac{17.206 \text{ Ton} * (5.15 \text{ m})^3}{481.25 \text{ m}^3} = 4.88 \text{ Ton}.$$

Block de concreto celular:

$$h_n = 3.05 \text{ m}$$

$$\Sigma W_n = 27.26 \text{ Ton}$$

$$F_i = \frac{0.36}{1.5} \frac{27.26 \text{ Ton}}{83.14 \text{ Ton} * m} 83.14 \text{ Ton} * m = 6.542 \text{ Ton}.$$

Y la fuerza actuante en el muro “O”:

$$F_{si} = \frac{6.542 \text{ Ton} * (5.15 \text{ m})^3}{481.25 \text{ m}^3} = 1.856 \text{ Ton}.$$

La revisión por el método simplificado como lo marcan las NTC-S y como hace mención este trabajo en su capítulo 4.1, menciona que: “Se hará caso omiso de los desplazamientos horizontales, torsiones y momentos de volteo. Se

verificará únicamente que en cada entrepiso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga, proyectados en la dirección en que se considera la aceleración, sea cuando menos igual a la fuerza cortante total que obre en dicho entrepiso”. Por lo que en las ecuaciones anteriores se hizo la revisión de las cargas laterales o cortantes de cada elemento, haciendo la sumatoria del entrepiso, en el caso de la vivienda de interés social es de un solo nivel, por lo que en resumen las tablas 4.6, 4.7 y 4.8, verificarán que se cumpla esta condición, en la mampostería convencional con block hueco de concreto y las tablas 4.9, 4.10 y 4.11 empleando concreto celular. Las primeras dos tablas de cada sistema, son las fuerzas aplicadas en ambos sentidos de la vivienda, la tercer tabla es donde se hace la sumatoria de fuerzas obteniendo la F_s total, que actúa en la estructura.

Block hueco de concreto:

No. Muro	L (m)	t (cm)	H _{muro} (cm)	L ³ (m3)	E _{muro} (Kg/cm ²)	Fsi (Ton)
1	3.15	12.00	305.00	31.256	16000	2.455
2	3.00	12.00	305.00	27.000	16000	2.120
3	1.71	12.00	305.00	5.000	16000	0.393
4	0.60	12.00	305.00	0.216	16000	0.017
5	3.15	12.00	305.00	31.256	16000	2.455
6	3.00	12.00	305.00	27.000	16000	2.120
7	3.15	12.00	305.00	31.256	16000	2.455
8	1.50	12.00	305.00	3.375	16000	0.265
9	1.65	12.00	305.00	4.492	16000	0.353
10	3.00	12.00	305.00	27.000	16000	2.120
11	3.15	12.00	305.00	31.256	16000	2.455
$\Sigma =$				219.11	$\Sigma =$	17.206

Tabla 4.6 Fuerzas laterales actuantes en cada muro en la dirección X.

No. Muro	L (m)	t (cm)	H _{muro} (cm)	L ³ (m3)	E _{muro} (Kg/cm ²)	Fsi (Ton)
A	4.15	12.00	305.00	71.47	16000	2.555

B	1.50	12.00	305.00	3.38	16000	0.121
C	4.15	12.00	305.00	71.47	16000	2.555
D	2.50	12.00	305.00	15.63	16000	0.559
E	0.81	12.00	305.00	0.53	16000	0.019
F	3.05	12.00	305.00	28.37	16000	1.014
G	1.65	12.00	305.00	4.49	16000	0.161
H	2.00	12.00	305.00	8.00	16000	0.286
I	1.01	12.00	305.00	1.03	16000	0.037
J	2.05	12.00	305.00	8.62	16000	0.308
K	3.05	12.00	305.00	28.37	16000	1.014
L	0.83	12.00	305.00	0.57	16000	0.020
M	3.15	12.00	305.00	31.26	16000	1.118
N	4.15	12.00	305.00	71.47	16000	2.555
O	5.15	12.00	305.00	136.59	16000	4.884
$\Sigma =$				481.25	$\Sigma =$	17.206

Tabla 4.7 Fuerzas laterales actuantes en cada muro en la dirección Y.

Número de Masa	W_i (Ton)	h_i (m)	$(W_i)(h_i)$ (Ton-m)	F_{ix} (Ton)	F_{iz} (Ton)	$F_{ix} \cdot h_i$ (Ton-m)	$F_{iz} \cdot h_i$ (Ton-m)
1	71.694	3.050	218.666	17.206	17.206	52.480	52.480
$\Sigma(W_i) =$	71.694	$\Sigma(W_i)(h_i) =$	218.666			52.480	52.480

Tabla 4.8 Sumatoria total de las fuerzas laterales de cada nivel.

Block de concreto celular:

No. Muro	L (m)	t (cm)	H_{muro} (cm)	L^3 (m ³)	E_{muro} (Kg/cm ²)	Fsi (Ton)
1	3.15	15.00	305.00	31.256	12000	0.933
2	3.00	15.00	305.00	27.000	12000	0.806
3	1.71	15.00	305.00	5.000	12000	0.149
4	0.60	15.00	305.00	0.216	12000	0.006
5	3.15	15.00	305.00	31.256	12000	0.933
6	3.00	15.00	305.00	27.000	12000	0.806
7	3.15	15.00	305.00	31.256	12000	0.933
8	1.50	15.00	305.00	3.375	12000	0.101

9	1.65	15.00	305.00	4.492	12000	0.134
10	3.00	15.00	305.00	27.000	12000	0.806
11	3.15	15.00	305.00	31.256	12000	0.933
$\Sigma =$				219.11	$\Sigma =$	6.542

Tabla 4.9 Fuerzas laterales actuantes en cada muro en la dirección X.

No. Muro	L (m)	t (cm)	H _{muro} (cm)	L ³ (m ³)	E _{muro} (Kg/cm ²)	Fsi (Ton)
A	4.15	15.00	305.00	71.47	12000	0.972
B	1.50	15.00	305.00	3.38	12000	0.046
C	4.15	15.00	305.00	71.47	12000	0.972
D	2.50	15.00	305.00	15.63	12000	0.212
E	0.81	15.00	305.00	0.53	12000	0.007
F	3.05	15.00	305.00	28.37	12000	0.386
G	1.65	15.00	305.00	4.49	12000	0.061
H	2.00	15.00	305.00	8.00	12000	0.109
I	1.01	15.00	305.00	1.03	12000	0.014
J	2.05	15.00	305.00	8.62	12000	0.117
K	3.05	15.00	305.00	28.37	12000	0.386
L	0.83	15.00	305.00	0.57	12000	0.008
M	3.15	15.00	305.00	31.26	12000	0.425
N	4.15	15.00	305.00	71.47	12000	0.972
O	5.15	15.00	305.00	136.59	12000	1.857
$\Sigma =$				481.25	$\Sigma =$	6.542

Tabla 4.10 Fuerzas laterales actuantes en cada muro en la dirección Y.

Número de Masa	W _i (Ton)	h _i (m)	(W _i)(h _i) (Ton-m)	F _{ix} (Ton)	F _{iz} (Ton)	F _{ix} · h _i (Ton-m)	F _{iz} · h _i (Ton-m)
1	27.260	3.050	83.144	6.542	6.542	19.955	19.955
$\Sigma(W_i) =$	27.260	$\Sigma(W_i)(h_i) =$	83.144			19.955	19.955

Tabla 4.11 Sumatoria total de las fuerzas laterales de cada nivel.

La revisión por el método simplificado como lo marcan las NTC-S y como hace mención

Con los valores de F_{si} del muro “O”, en ambos sistemas constructivos, se procede a la revisión por cargas gravitacionales o resistencia de diseño del muro a cargas verticales (P_R).

$$P_R = F_R F_E (f_m^* A_T + \Sigma A_s f_y) \quad (4.7)$$

Donde:

El valor del factor de resistencia F_R se tomará igual a 0.6, NTC-M, capítulo 5.3. El factor de reducción por efectos de excentricidad y esbeltez se determinará con la ecuación 4.8.

$$F_E = \left(1 - \frac{2e'}{t}\right) \left(1 - \frac{kh}{30t}\right)^2 \quad (4.8)$$

Los valores de f_m^* , serán los que están señalados en la tabla 4.4, A_T (área transversal), que es el área del espesor t , por la longitud l , de la sección transversal del muro “O”, la longitud se tomará incluyendo los castillos y no solo la sección del muro. En el caso de e' , se tomará el espesor entre 24 y el valor de k , será de 1.00 ó 0.80, en el caso que sea muro exterior o interior respectivamente.

Block hueco de concreto:

$$e' = \frac{12 \text{ cm}}{24} = 0.5 \text{ cm}$$

$$A_T = 12 \text{ cm} \times 515 \text{ cm} = 6,180 \text{ cm}$$

Block de concreto celular:

$$e' = \frac{15 \text{ cm}}{24} = 0.625 \text{ cm}$$

$$A_T = 15 \text{ cm} \times 515 \text{ cm} = 7,725 \text{ cm}$$

Para determinar el área de acero (A_s) se elaboró una revisión previa del acero necesario para soportar una losa de azotea de 10 cms. de espesor, para el caso de la mampostería con block hueco de concreto, donde se aplicó la fórmula de Momento, en ambos claros, $M = w s^2 k.$, la losa es un elemento que distribuye su peso propio en el muro, junto con las trabes, por ende es necesario determinar que el acero a emplear sea suficiente para resistir estas cargas, como es de un solo nivel, los castillos, podrán ser varillas del #3, con un A_s de 0.71 cm^2 y una fluencia en el acero f_y de $4,200 \text{ kg/cm.}$, para esta revisión se plantea el armado para castillos con varillas del #3 con estribos del #2 @ 15 cms., sin embargo el sistema constructivo en el estado para las viviendas de interés social es el emplear materiales de bajo costo y fáciles de manipular, de igual forma, para poder realizar una comparación en las resistencias más exacta con la del concreto celular, se optó por utilizar, el refuerzo de acero tal como lo marca las NTC-M en su sección 5.4.3.1, ya que aunque en el estado se acostumbra a construir los castillos con aceros prefabricados, no es recomendable para resistir una carga lateral. Sin embargo en estructuras mayores de dos o más plantas se recomienda la fluencia del acero de $4,200 \text{ kg/cm}$ y armados que no cedan ante las solicitudes de las cargas muertas actuantes en la estructura, por lo que es ideal el realizar armados con barras longitudinales completas, y evitando cortes y traslapes en el acero estructural empleando en las viviendas, con separaciones de los estribos no menores a 10 cms. o lo que resulte del cálculo empleado.

A fin de realizar una explicación más detallada se dibujo el armado de la vivienda de interés social, aplicado en el muro "O", en la figura 4.4, se puede apreciar el corte del muro, en isométrico.

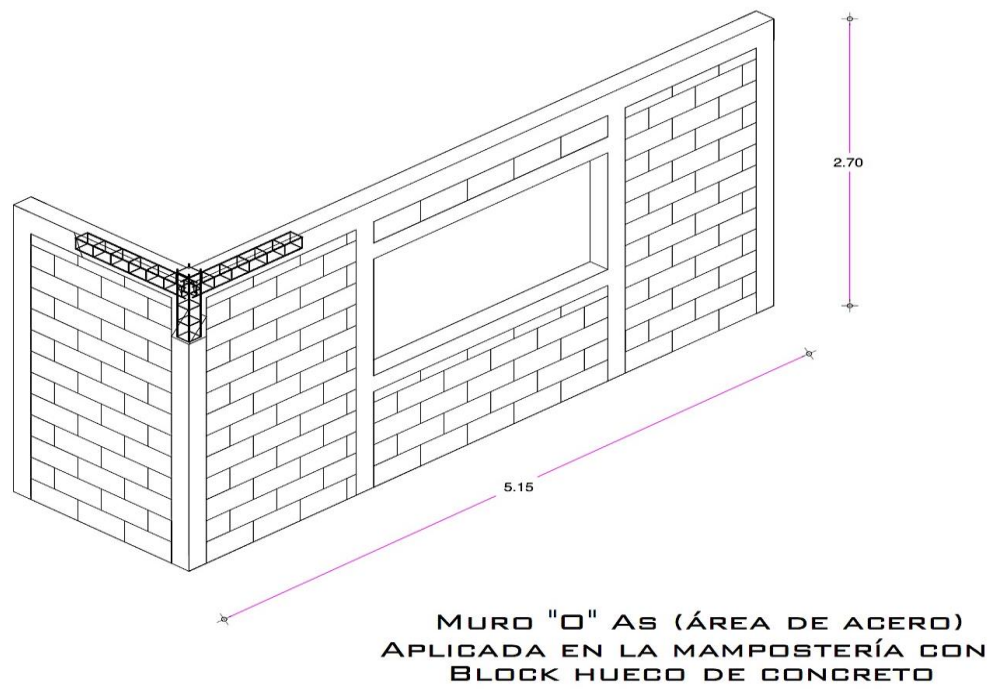


Figura 4.4 Corte en isométrico del muro "O".

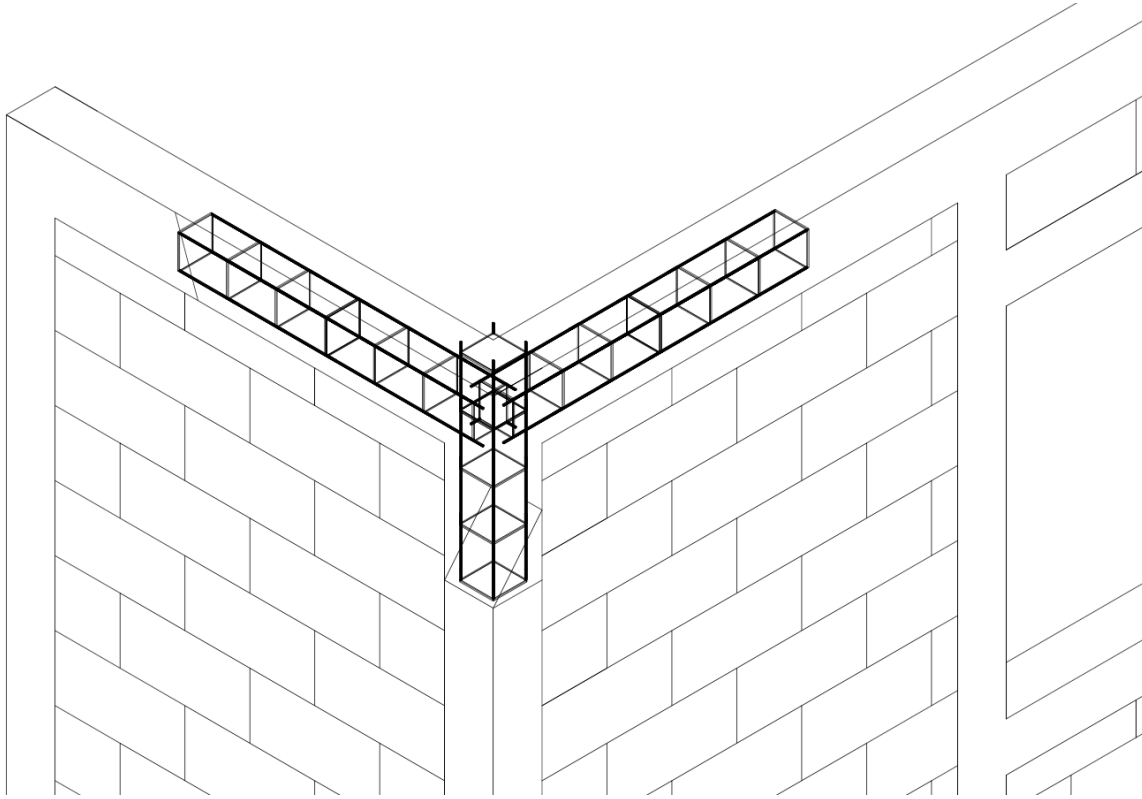


Figura 4.5 Detalle del armado en columnas y trabes.

El armado entonces para los castillos y así proceder a calcular la resistencia de diseño del muro “O” por carga vertical, queda de la siguiente manera: $\Sigma A_s f_y = 4 (4 \times 0.71 \text{ cm}^2 \times 4,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$.

En la figura 4.6, se puede distinguir los refuerzos verticales, en los castillos de 15 x 15 cms.

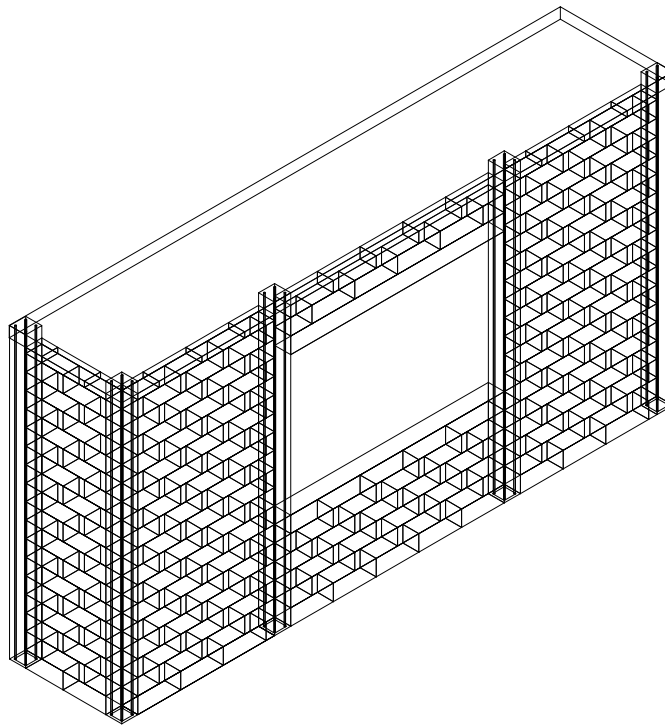


Figura 4.6 Refuerzos verticales (castillos), en el muro “O”, 4 varillas # 3 con estribos @ 15 cms.

Se hace énfasis del refuerzo vertical, ya que como se mencionó en el capítulo 4.1, el método simplificado solo se enfoca en las deformaciones por cargas laterales y las NTC-M y NTC-S, solo consideran para el cálculo de los esfuerzos resistentes al cortante, los refuerzos verticales. Sin embargo la vivienda se revisó para que en su armado de igual forma llevará el refuerzo de acero horizontal para prevenir posibles fallas por flexión, tal como se ve en la figura 4.5.

Empleando ahora el sistema de mampostería con refuerzo interior, con blocks de concreto celular, se puede optar por seguir las especificaciones del fabricante y de las NTC-M, sin hacer un cálculo previo de la cuantía del acero necesario, en este caso de igual forma se revisó que los momentos actuantes de la losa y el peso propio de la misma no sobrepasaran la resistencia del acero propuesta. Aquí el peso de la losa tiene gran relevancia debido a su composición

solo tiene un peso de 720 kg/m^3 tres veces más ligera que la losa de concreto propuesta para la mampostería convencional. Haciendo que con la distribución de cargas en los muros, la carga vertical en el muro "O", empleando el concreto celular, fuera considerablemente más baja que el mismo muro pero empleando una losa de concreto. En la figura 4.7, se detalla el refuerzo vertical y horizontal en el sistema constructivo de concreto celular, en el capítulo 2, se explican los tipos de piezas empleados para la mampostería con refuerzo interior, para el caso del concreto celular, los blocks tipo "O", son los que servirán como castillos, esquineros y como separadores entre juntas de control, los blocks tipo "U" en cambio tendrán la función de llevar el refuerzo horizontal, empleados como trabes para confinar y como refuerzo en aberturas del muro, ambos se detallarán en la figura 4.8 y 4.9, respectivamente.

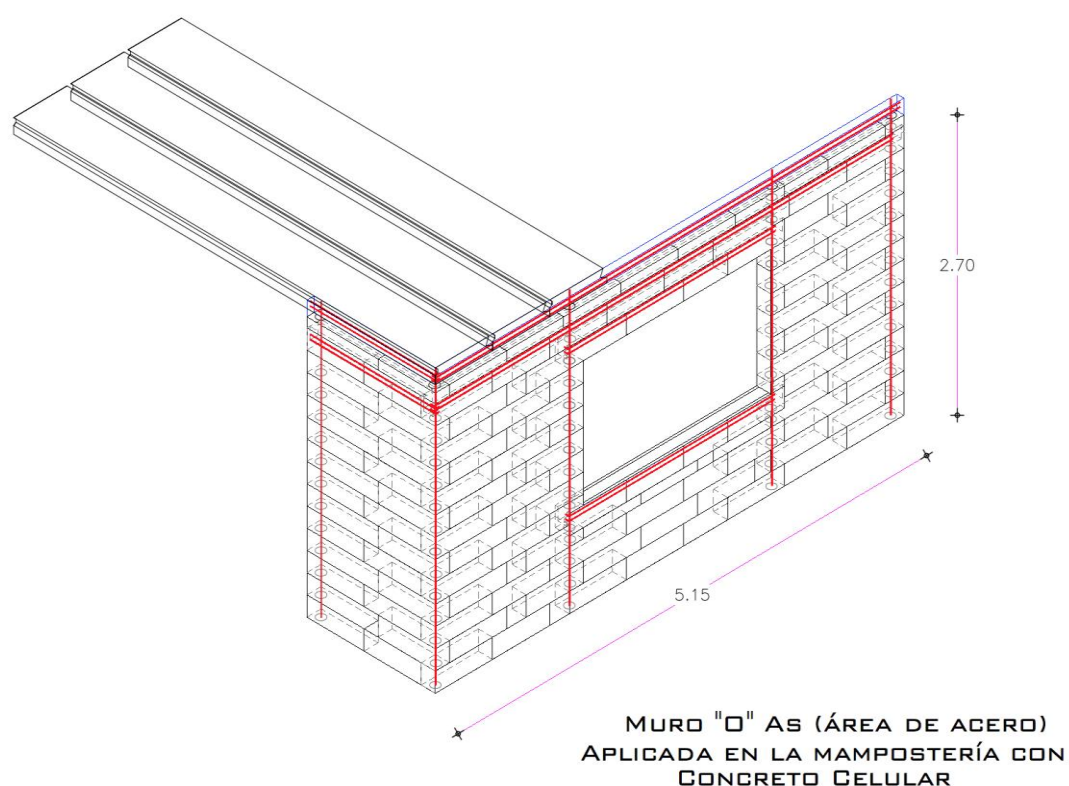
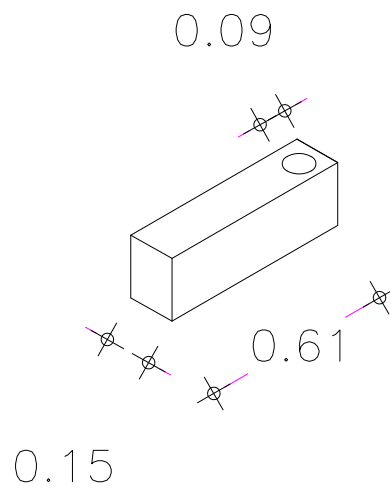
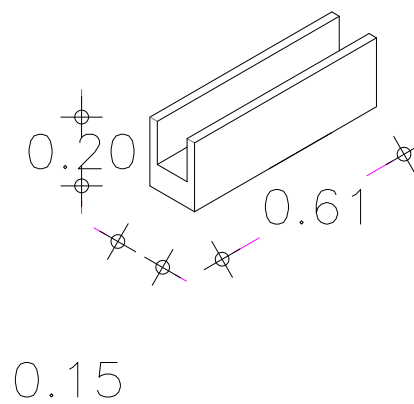


Figura 4.7 Detalle de los refuerzos verticales y horizontales en el muro "O", aplicando elementos de concreto celular.



4.8 Detalle y dimensiones del block tipo “O”.



4.9 Detalle y dimensiones del block tipo “U”.

En las figuras 4.10 y 4.11, se detalla la función del block “O”, para refuerzos verticales y del block “U” para refuerzos horizontales.

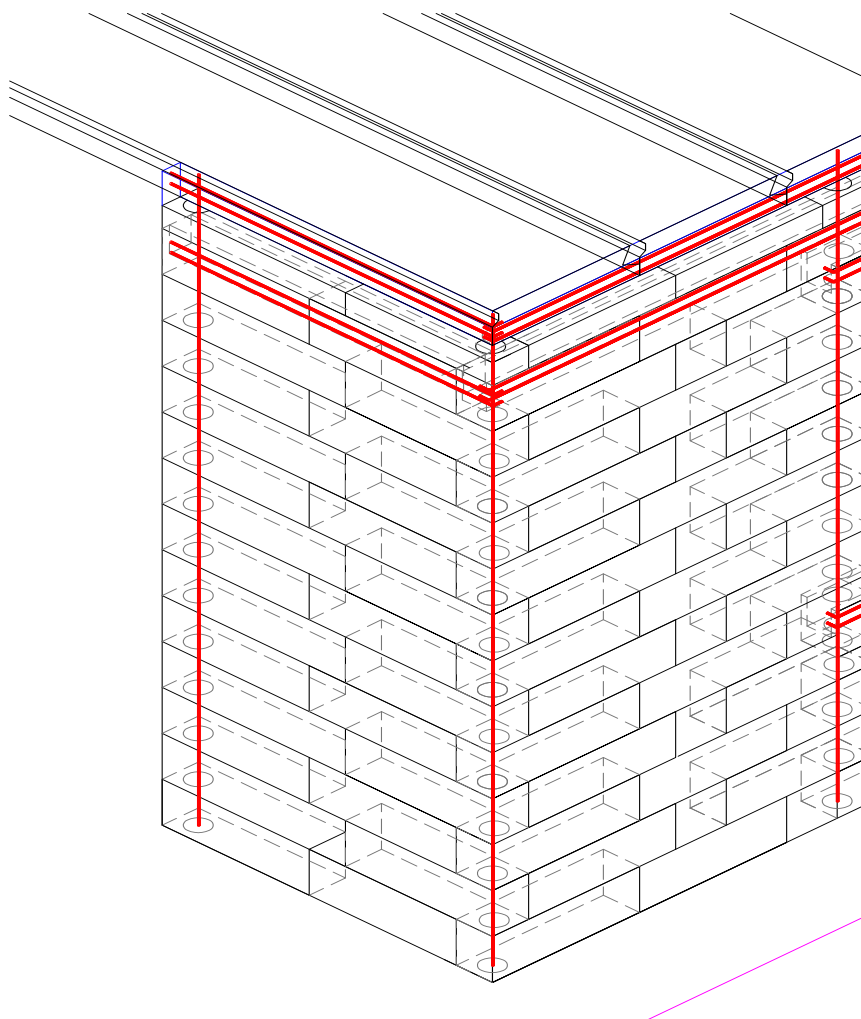


Figura 4.10 Detalle del block tipo “O”, como refuerzo vertical, para cargas laterales.

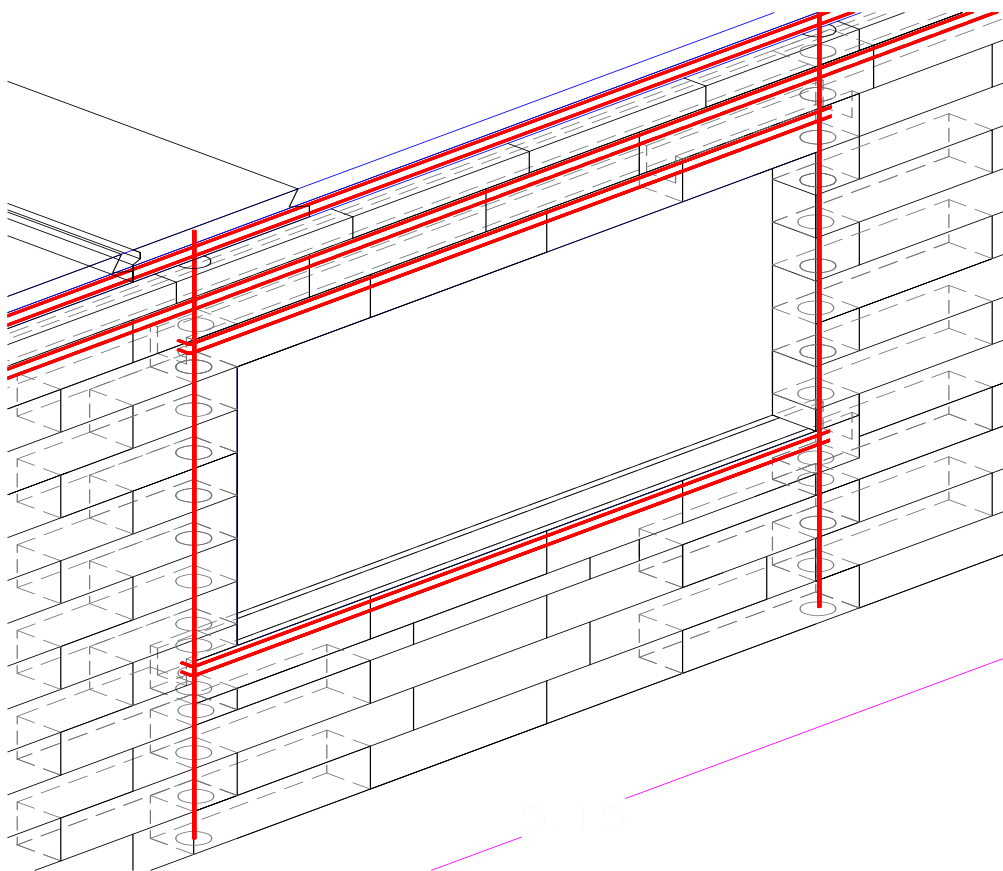


Figura 4.11 Detalle del block tipo “U”, como refuerzo horizontal, para cargas por flexión y por gravedad.

Para el refuerzo vertical se empleó el A_s de 0.71 cm^2 , que corresponde a la varilla de #3, tanto las NTC-M y el fabricante mencionan que es necesario un refuerzo interior cada dos blocks o que no sea mayor la separación entre refuerzos verticales a 6 veces el espesor de la pieza. En la figura 4.12 se puede apreciar, la separación entre varillas, el uso del block “U”, como cerramiento inferior para ventana y el block “O”, como castillo.



Figura 4.12 Detalle constructivo donde se observa la distancia entre varillas y la colocación de blocks tipo “O” y “U”. Fuente: Xella Mexicana.

El armado o refuerzo vertical para los castillos empleando el block de concreto celular y el block tipo “O” como castillo quedaría de la siguiente manera:

$$\Sigma A_s f_y = 4(1 \times 0.71 \text{ cm}^2 \times 4,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}).$$

Ya teniendo los valores de las áreas de acero y la fluencia del acero de los refuerzos verticales para cada sistema constructivo se puede calcular la resistencia del muro a carga vertical P_R .

Entonces la resistencia de diseño para cargas verticales en el muro “O” es:

Block hueco de concreto:

$$F_E = \left(1 - \frac{2(0.5)}{12}\right) \left(1 - \left(\frac{1(305)}{30(12)}\right)^2\right) = 0.258$$

Resistencia de diseño del muro “O” a carga vertical:

$$P_R = (0.6(0.258)) \left(\left(20 \frac{kg}{cm} \right) (6,180 \text{ cm}) + 47,712 \text{ kg} \right) = 26,519.09 \text{ kg}.$$

Block de concreto celular:

$$F_E = \left(1 - \frac{2(0.625)}{15} \right) \left(1 - \left(\frac{1(305)}{30(15)} \right)^2 \right) = 0.495$$

Resistencia de diseño del muro “O” a carga vertical:

$$P_R = (0.6(0.495)) \left(\left(15 \frac{kg}{cm} \right) (7,725 \text{ cm}) + 11,928 \text{ kg} \right) = 37,957.49 \text{ kg}.$$

Aún con una resistencia de diseño a compresión de la mampostería menor a la del block hueco de concreto, el block de concreto celular tiene una resistencia mayor a cargas verticales, pero esto no se debe a la contribución del acero de refuerzo, que de igual modo queda por debajo de la mampostería convencional, sino este aumento en la resistencia de diseño se logra a partir de los siguientes puntos:

- La geometría del block de concreto celular, tiene un espesor mayor que el bloque de concreto, combinado con una longitud igual considerable (21 cms), más que el block convencional, esto hace que la pieza de concreto celular tenga un mayor momento de inercia en su propia estructura.
- Como se menciona en el primer punto el A_T , área bruta de la sección transversal del muro da un valor muy alto con el concreto celular siendo de 1,545 cm de diferencia, una cuarta parte del área bruta si se emplea el block hueco de concreto.
- El factor de reducción por efectos de excentricidad y esbeltez, es menor en el block hueco de concreto, por las dimensiones y geometría de la pieza, lo que contribuye a que la resistencia sea menor que empleando el block de concreto celular.

Un beneficio extra a las características con las que ya cuenta el block de concreto celular, ya que al generar poco peso por gravedad a la vivienda y además de aportar con su misma ligereza, resistencias considerables a las cargas verticales, hace que sea un sistema seguro. Para continuar, se revisará que el esfuerzo actuante sea menor al de diseño, aplicando la siguiente ecuación.

$$P_U = 1.4 P_{grav} \quad (4.9)$$

Block hueco de concreto:

$$P_U = 1.4 (6.231 \text{ Ton}) = 8.723 \text{ Ton}$$

Block de concreto celular:

$$P_U = 1.4 (2.67 \text{ Ton}) = 3.738 \text{ Ton}$$

Finalmente tenemos que el mismo muro empleando diferentes materiales, en la misma distribución de la vivienda, cumple con la resistencia de diseño mayor a la actuante.

Block hueco de concreto:

$$P_R > P_U$$

$$P_R = 26.519 \text{ Ton} > P_U = 8.723 \text{ Ton}$$

Block de concreto celular:

$$P_R > P_U$$

$$P_R = 37.95 \text{ Ton} > P_U = 3.738 \text{ Ton}$$

A continuación se efectuará la revisión por fuerza cortante de diseño. En esta revisión lo que contribuye a la resistencia son la calidad de las piezas y la eficiencia estructural, donde ambas aumentan o disminuyen la resistencia a cargas laterales del muro. La ecuación para calcular la resistencia a cortante es la siguiente:

$$V_{mR} = F_R(0.5 v_m^* A_T + 0.3 P_{sis}) \leq 1.5 F_R v_m^* A_T \quad (4.10)$$

En la ecuación 4.10, la resistencia de diseño a compresión diagonal, será la misma para ambos materiales, empleada como el cortante de mampostería por el CENAPRED, evaluando las propiedades mecánicas del sistema Hebel, y por NTC-M, para el block hueco de concreto: $v_m^* = 3.00 \frac{kg}{cm}$. El valor del factor de resistencia F_R , será el que marca las NTC-M, en su sección 3.1.4.3, donde $F_R = 0.7$, para ambos casos.

Entonces la revisión por fuerza cortante de diseño es la siguiente para cada sistema:

Block hueco de concreto:

$$\begin{aligned} V_{mR} &= \left(0.7 \left(0.5 * 3.00 \frac{kg}{cm} * 6,180 \text{ cm} + (0.3 * 7,445 \text{ kg}) \right) \right) \\ &\leq 1.5 * 0.7 * 3.00 \frac{kg}{cm} * 6,180 \text{ cm} \\ V_{mR} &= 8,052.45 \text{ kg} \leq 19,467 \text{ kg} \end{aligned}$$

Block de concreto celular:

$$\begin{aligned} V_{mR} &= \left(0.7 \left(0.5 * 3.00 \frac{kg}{cm} * 7,725 \text{ cm} + (0.3 * 3,179 \text{ kg}) \right) \right) \\ &\leq 1.5 * 0.7 * 3.00 \frac{kg}{cm} * 3,179 \text{ cm} \\ V_{mR} &= 8,778.84 \text{ kg} \leq 10,013.85 \text{ kg} \end{aligned}$$

Finalmente para terminar la revisión por cortante de diseño, se verificará que sea mayor al esfuerzo cortante actuante en la vivienda, mediante la siguiente ecuación:

$$V_u = 1.1 f_{si} \quad (4.11)$$

Entonces, los valores finales de diseño serán los siguientes para cada material y proceso constructivo.

Block hueco de concreto:

$$V_{mR} = 8.05 \text{ Ton} > V_u = 1.1 (4.88 \text{ Ton}) = 5.368 \text{ Ton}$$

Block de concreto celular:

$$V_{mR} = 8.77 \text{ Ton} > V_u = 1.1 (1.856 \text{ Ton}) = 2.041 \text{ Ton}$$

Con los resultados por cortante de ambos sistemas constructivos, se puede resumir que en donde se empleó la mampostería de concreto celular, además de cumplir por NTC, los valores de resistencia, mayores a los actuantes. Así como la geometría, propiedades físicas y mecánicas que lo hace un sistema ligero y con dimensiones mayores a la del block de concreto convencional, lo hacen un sistema constructivo con las capacidades de resistir una fuerza externa. Como se ve en sus propiedades físicas que incrementan los parámetros de resistencia desde el valor obtenido por F_E , ante el sistema donde se emplea block hueco de concreto, aun teniendo la misma resistencia a compresión diagonal, en donde su eficiencia estructural es la parte más importante de este elemento, como sus bajos valores de carga vertical que aporta a la estructura desde una losa “aligerada”, hasta el propio block de concreto celular.

El objetivo de este análisis es explicar de una forma detallada, los beneficios en aplicar el concreto celular, en la vivienda de interés social empleando cada norma que marca el reglamento para hacer cumplir desde las características que debe tener el material, hasta la forma de construcción para cada tipo de mampostería. En resumen el muro “O”, cumple con lo estipulado en las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, para diseño por Mampostería y para diseño por Sismo, así como también los muros restantes que conforman a la vivienda de interés social (Anexos T-1 a T-34), donde se emplearon valores, factores y condiciones por ambos reglamentos, todo en un sentido lineal, es decir

que los muros de mampostería para ambos sistemas constructivos fueron calculados en el rango elástico.

Revisión del análisis sísmico simplificado aplicado a la vivienda de interés social.

Las normas de diseño sísmico están orientadas a lograr estructuras que satisfagan los requisitos del estado límite de servicio durante sismos de intensidad moderada y que impidan su colapso durante sismos severos, permitiendo que éstas incursionen en el intervalo de deformaciones inelásticas. Es por ello que al aplicar el método simplificado, solo se obtuvo la respuesta del comportamiento de la estructura ante una suma total de esfuerzos repartidos en los elementos, en un sentido geométrico y de masas, para que la suma de fuerzas repartidas en el nivel equilibraran la fuerza actuante. Es decir el método simplificado considera que la fuerza cortante que toma cada muro, es proporcional a su área transversal. Posteriormente se revisó que cada f_{si} , fuera menor al cortante de diseño en cada muro. Para obtener la fuerza sísmica se emplearon las consideraciones del terreno y el coeficiente sísmico de la región.

Sin embargo por efecto de la NTC-S que ignora los efectos de torsión y de momento de volteo, como igual no toma en cuenta la flexibilidad del diafragma, los dos primeros no representan un grado de daño o riesgo alto ya que para aplicar el método simplificado se revisó que la vivienda cumpliera con lo que marca el capítulo 7 de las NTC-S. Donde sí la estructura es simétrica con respecto a un eje paralelo a la dirección del análisis, la carga es uniformemente distribuida y los muros están unidos por una losa rígida y sin aberturas, entonces el riesgo por torsión será mínimo, con esto igual se cumplirá que el desplazamiento de todos los puntos de la losa del nivel analizado ante una carga en la dirección del análisis será el mismo.

Cumplíéndose el método en la vivienda de interés social con ambos sistemas constructivos, ya que la fuerza cortante que actúa en cada uno de los muros es proporcional a la rigidez lateral. Esta rigidez lateral el método

simplificado la toma proporcional al área de los muros en lugar de una rigidez elástica teórica, por lo que es el equivalente a despreciar las deformaciones por flexión. Para un caso en particular del apartado 4.2, en muros largos es adecuado y resulta con valores óptimos para el diseño pero cuando los muros son más esbeltos, la rigidez de estos se sobreestima aplicándose un área efectiva que será el área total de la sección y multiplicada por un factor (F_{AE}). Por parte de riesgo por volteo, el método simplificado igual descarta esta posibilidad al corroborar que la estructura no sea esbelta y pueda sufrir un efecto importante del momento de volteo.

La resistencia tomada como la suma de la resistencia a la mampostería más la resistencia proporcionada por el refuerzo, es simple, pero no toma en cuenta el posible deterioro de la mampostería y por ende de la resistencia debida a la mampostería.

4.3 Estados de daños y distorsiones

El emplear blocks de concreto celular brinda no solo seguridad sino que con su geometría y la capacidad de resistir los esfuerzos de compresión hace que la posibilidad de fallas por flexión sean mínimas en estructuras de un solo nivel, sus propiedades físicas y químicas proveen a la vivienda de una regulación de la temperatura interior, superior a la mampostería convencional, es un material que no se degrada por factores de humedad, su ligereza lo hace un material fácil de instalar que en obra significa un mayor rendimiento de trabajo al día y lo más importante con los valores de diseño obtenidos por el CENAPRED, mediante pruebas de resistencia a fin de conocer el comportamiento en elementos estructurales con blocks de concreto celular a cargas laterales, aplicando las NTC-M y NTC-S, cumple con las condiciones de resistencia a fallas por compresión y cortante, además de que la geometría de la vivienda combinada con el concreto celular hace que se cumpla lo que marca el capítulo 7 de las NTC – S, para la aplicación del método simplificado de análisis sísmico. Pero con todo esto al final, se sigue comportando como un elemento de mampostería, por lo que de igual forma falla y cede ante una determinada carga lateral, es por ello que para

ampliar detalladamente el comportamiento final de la mampostería con block de concreto celular y el de la mampostería con block hueco de concreto, se elaborarán las curvas de capacidad de cada elemento muro, en ambos sistemas constructivos.

Sin embargo como se mencionó anteriormente para conocer los valores de resistencia para cada esfuerzo aplicando las NTC y el método simplificado hacen que la vivienda de interés social quedara en una revisión lineal, es decir en un rango elástico. Entonces para poder realizar las curvas de capacidad (desplazamiento lateral contra fuerza lateral), se empleará el modelo cuasi-estático de Flores y Alcocer, que con base en evidencia experimental, propusieron un modelo tri-lineal para caracterizar la curva de capacidad de muros de mampostería confinada, este modelo se define a partir de tres parámetros, los cuales se pueden estimar de la siguiente manera:

- Las expresiones establecidas por las NTC-M
- La mecánica de materiales
- La geometría de los muros

Para emplear estos parámetros y realizar una revisión de la distorsión del muro de mampostería, se ha establecido que los muros de mampostería confinada deben de tener requerimientos de diseño y construcción similares a aquellos especificados en las NTCM-2004. (Terán 2010).

Por tanto ambos sistemas constructivos cumplen con la condición anterior, ya que ambos tipos de mampostería (confinada y confinada interiormente), cumplen con los requerimientos de diseño y construcción que marca la NTC-M.

A fin de interpretar cada estado de daño que presentaran los muros de mampostería en la vivienda de interés social, se supondrá que dicho elemento tendrá un comportamiento inelástico, es decir revisando los muros cuando alcanzan una determinada capacidad de carga, en donde su comportamiento estará asociado a su estado de daño (agrietamiento), revisando la pérdida de

rigidez al emplear los parámetros en bases experimentales de Flores y Alcocer y que la sección falla cuando se alcanza en la mampostería, la deformación unitaria máxima a compresión que se tomará igual a 0.003.

Para obtener el primer desplazamiento, se aplicará el modelo de Flores y Alcocer, que toma el valor de la resistencia por fuerza cortante de diseño que toma la mampostería, como el primer estado de daño, donde se reflejará la fuerza necesaria para producir el primer desplazamiento, entonces la envolvente de la curva de capacidad propuesta por (L. Flores 1995) y al ser tri-lineal, aporta la degradación de la resistencia en un tercer tramo, es decir después de alcanzada la resistencia. Explicando entonces su modelo las dos primeras ramas de las rigideces ascendentes son en función de la distorsión máxima alcanzada en el ciclo inmediato interior. Esta variación se basa en observaciones efectuadas en ensayos previos en los cuales la rigidez secante de los ciclos histeréticos disminuyó de acuerdo con una curva parabólica. Según esta ley, la mayor degradación de rigidez se presenta en los ciclos a bajas distorsiones, incluso menores a las asociadas con el primer agrietamiento inclinado en la mampostería. Esto último nos dice que aun cuando el daño no es observable, la estructura pierde rigidez ante sismos de intensidad baja y moderada.

El modelo matemático fue calibrado con resultados de ensayos de muros de uno y dos pisos, aislados o formando un arreglo ligado por losas y dadas, de mampostería confinada con y sin refuerzo horizontal. En la figura 4.13, se observa la envolvente del comportamiento histerético la cual permite caracterizar el comportamiento de los elementos de mampostería, resultado a partir de un proceso de experimentación donde el muro es sometido a cargas cíclicas, simulando su comportamiento ante un evento sísmico.

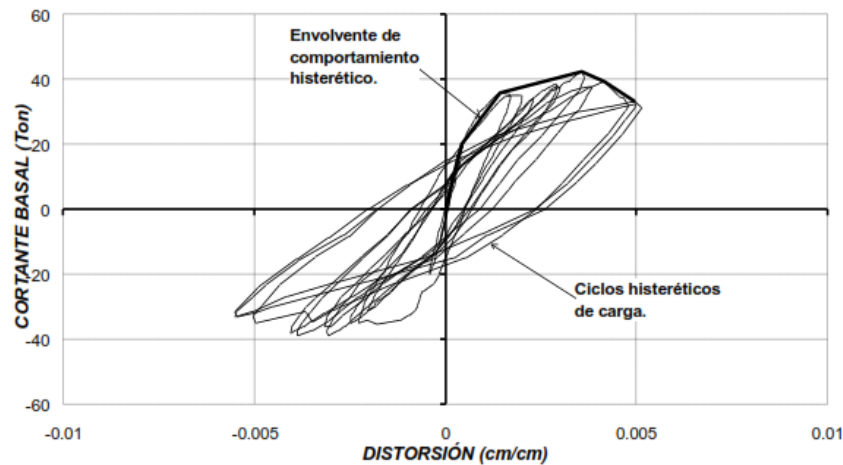


Figura 4.13 Envolvente de comportamiento histerético, de un muro de mampostería.

Debido a que para obtener el comportamiento histerético de cada muro es necesario elaborar las pruebas de compresión diagonal y simular una carga lateral en los muros a evaluar, en el presente trabajo se descarta el modelo experimental y se toma el modelo cuasi-estático propuesto por Flores y Alcocer, el cual se puede apreciar en la figura 4.14.

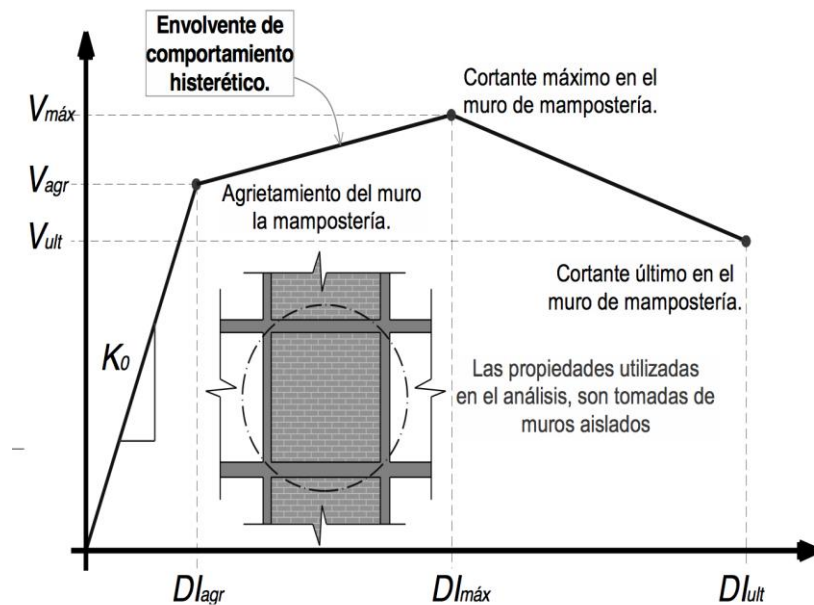


Figura 4.14 Modelo cuasi-estático aplicado a la curva capacidad de muros de mampostería.

Flores y Alcocer (1995)

Se procede a la obtención de los desplazamientos en el muro, debido a una fuerza lateral. Para esto se considera que $V_{mR} = V_{agr}$.

Block hueco de concreto:

$$V_{agr} = 8.05 \text{ Ton}$$

Block de concreto celular:

$$V_{agr} = 8.77 \text{ Ton}$$

Para poder calcular el desplazamiento, la rigidez del muro actuante toma la contribución del módulo de cortante de la mampostería, en donde la elasticidad del material que compone al muro, contribuirá a la rigidez máxima de este. Tanto las dimensiones como las propiedades del block ya sea hueco de concreto o celular, beneficiarán a que la rigidez al ser más grande oponga mayor resistencia al desplazamiento pero presentando agrietamientos a cortas distorsiones o desplazamientos. Para poder estimar el daño producido por los agrietamientos es posible relacionar la distorsión a corte de entrepiso con niveles específicos de degradación estructural.

Con las siguientes ecuaciones es posible determinar las distorsiones de los muros que conforman la vivienda de interés social:

$$V_{agr} = V_{mR} \quad (4.12)$$

$$V_{máx} = 1.25 V_{mR} \quad (4.13)$$

$$V_{ult} = 0.8 V_{mR} \quad (4.14)$$

Donde $V_{máx}$, es el esfuerzo máximo a cortante en el muro, y se genera en el desplazamiento $D_{Imáx}$, el valor de este desplazamiento se obtiene cumpliendo la hipótesis para obtención de resistencias de diseño a flexión en donde la sección falla cuando se alcanza, en la mampostería, la deformación unitaria máxima a compresión que se tomará igual a 0.003. Este valor puede ser empleado para determinar las resistencias de cualquier forma sujetas a flexión, carga axial o una

combinación de ambas. Para el caso del método estático se puede tomar como esfuerzos permisibles donde la estructura está sujeta a compresión simple o bien bajo cargas de diseño a compresión. Una vez que se tengan estos valores se puede determinar el desplazamiento último D_{ult} , que tendrá un valor de 0.005, y actuará bajo V_{ult} , o cortante último en el muro de mampostería.

Entonces para definir el desplazamiento debido a la fuerza cortante o en este caso V_{agr} , se determinará con la siguiente ecuación:

$$D_{Iagr} = \left(\frac{V_{agr}}{k_o H} \right) \quad (4.15)$$

Donde:

$$k_o = \left(\frac{G A_v}{H} \right) \quad (4.16)$$

$$A_v = \left(\frac{t L}{1.2} \right) \quad (4.17)$$

$$G = 0.4 E_m \quad (4.18)$$

La ecuación 4.16, es la rigidez presente en el muro de mampostería, basada en el modelo cuasi-estático, la 4.17, es el área aplicada del muro y la 4.18 es el módulo de cortante de la mampostería, donde se ve presente la contribución de la pieza empleada en su módulo de elasticidad.

Conforme a las NTC-M y NTC-S, la vivienda de interés social cumple con el diseño propuesto ante las cargas actuantes en la estructura, compresión y cortante, de igual forma con el apartado de análisis sísmico simplificado. Sin embargo como se mencionó se revisará cada elemento muro que conforma la estructura para determinar un estado de degradación de la rigidez, y la determinación de cada estado de daño que sufre el muro ante una carga lateral.

Se procede a determinar los desplazamientos de ambos sistemas constructivos:

Block hueco de concreto:

$$A_v = \left(\frac{12 \text{ cm} \times 515 \text{ cm}}{1.2} \right) = 5,150 \text{ cm}^2$$

$$G = 0.4 \times 16,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} = 6,400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$k_o = \left(\frac{6,400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times 5,150 \text{ cm}^2}{270 \text{ cm}} \right) = 122,074.07 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$D_{Iagr} = \frac{8,052.42 \text{ kg}}{122,074.07 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times 270 \text{ cm}} = 0.000244$$

Block de concreto celular:

$$A_v = \left(\frac{15 \text{ cm} \times 515 \text{ cm}}{1.2} \right) = 6,437.50 \text{ cm}^2$$

$$G = 0.4 \times 12,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} = 4,800 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$k_o = \left(\frac{4,800 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times 6,437.50 \text{ cm}^2}{270 \text{ cm}} \right) = 114,444.44 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$D_{Iagr} = \frac{8,778.84 \text{ kg}}{114,444.44 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times 270 \text{ cm}} = 0.0002841$$

Revisamos los valores máximos y últimos del cortante para cada sistema:

Block hueco de concreto:

$$V_{m\acute{a}x} = 1.25 \times 8,052.42 \text{ kg} = 10,065.52 \text{ kg}$$

$$V_{ult} = 0.8 \times 8,052.42 \text{ kg} = 6,441.93 \text{ kg}$$

Block de concreto celular:

$$V_{m\acute{a}x} = 1.25 \times 8,778.84 \text{ kg} = 10,973.55 \text{ kg}$$

$$V_{ult} = 0.8 \times 8,778.84 \text{ kg} = 7,023.07 \text{ kg}$$

Finalmente para poder realizar las curvas capacidad y poder ver la degradación de la rigidez del muro “O”, se hace un resumen de los valores obtenidos en éste apartado, en la tabla 4.12.

TIPO DE MAMPOSTERÍA	Vagr (Ton)	Vmáx (Ton)	Vult (Ton)	Di agr
Block Hueco de C.	8.05	10.06	6.44	0.000244
Block CCCA	8.77	10.97	7.02	0.00028

Tabla 4.12 Valores finales para gráfica curva-capacidad del muro “O”

Con los valores de la tabla 4.12 se pueden relacionar los valores obtenidos y realizar un estimado “promedio” de los daños en los muros, relacionando la distorsión obtenida con la degradación del muro.

El objetivo de esta sección es detallar el proceso realizado desde un punto de vista normalizado por las NTC, y adaptando el método de análisis sísmico simplificado para la revisión de los estados de daño en la vivienda de interés social, desde el cálculo de valores no lineales los cuales son los estados de daño y las distorsiones que se generan a través de una fuerza. Como se menciona desde el cálculo estático por normas, el muro que ejemplifica todas estas acciones, y que se seguirá empleando es el muro “O”, se procederá a estimar los

valores de Vagr, Vmax, Vult, y Diagr, del resto de muros que componen a la vivienda de interés social y como se podrá ver en la sección de anexos, el resumen los valores finales para cada elemento muro en ambos sistemas (Anexos T-17 y T-34), así como sus curvas de capacidad (Anexos G1-G14).

A continuación se presentan las tablas con el estado de daño observado teóricamente, el grado de daño teórico y la diferencia entre el cortante de agrietamiento y el cortante de agrietamiento máximo, la degradación por parte de la rigidez, es importante hacer mención que para determinar los valores que incrementan al cortante máximo en este caso un 25 por ciento, fue aplicado por la contribución del acero de refuerzo en la parte longitudinal del sistema, dando como resultado parámetros más cercanos a una prueba dinámica.

Muro	ESTADO DE DAÑO OBSERVADO	DI %	K/Ko	V/VMAX	GRADO DE DAÑO
1	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.80	0.56	LIGERO (I)
2	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.79	0.56	LIGERO (I)
3	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.55	0.56	LIGERO (I)
4	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo. Concentración de grietas diagonales en los extremos de los castillos. Desconchamiento del recubrimiento del concreto	0.03	0.13	0.56	LIGERO (I) , GRAVE (V)
5	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.80	0.56	LIGERO (I)
6	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.79	0.56	LIGERO (I)
7	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.80	0.56	LIGERO (I)
8	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.48	0.56	LIGERO (I)
9	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.53	0.56	LIGERO (I)
10	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.79	0.56	LIGERO (I)

11	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.80	0.56	LIGERO (I)
A	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.88	0.56	LIGERO (I)
B	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.53	0.56	LIGERO (I)
C	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.88	0.56	LIGERO (I)
D	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.72	0.56	LIGERO (I)
E	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo. Aplastamiento del concreto, agrietamiento horizontal distribuido en la altura de los castillos.	0.02	0.21	0.56	LIGERO (I), FUERTE(V)
F	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.79	0.56	LIGERO (I)
G	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.53	0.56	LIGERO (I)
H	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.62	0.56	LIGERO (I)
I	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo. Inicio de la penetración del fisuramiento inclinado en los extremos de los castillos.	0.02	0.30	0.56	LIGERO (I), FUERTE (IV)
J	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.63	0.56	LIGERO (I)
K	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.79	0.56	LIGERO (I)
L	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo. Aplastamiento del concreto, agrietamiento horizontal distribuido en la altura de los castillos.	0.02	0.22	0.56	LIGERO (I), FUERTE(V)
M	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.80	0.56	LIGERO (I)
N	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.88	0.56	LIGERO (I)
O	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.02	0.92	0.56	LIGERO (I)

Tabla 4.13 Estados de daños observados empleando el modelo cuasi-estático de Flores y Alcocer, en la mampostería con block hueco de concreto.

Muro	ESTADO DE DAÑO OBSERVADO	DI %	K/Ko	V/VMAX	GRADO DE DAÑO
1	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.80	0.56	LIGERO (I)
2	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.79	0.56	LIGERO (I)
3	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.55	0.56	LIGERO (I)
4	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo. Concentración de grietas diagonales en los extremos de los castillos. Desconchamiento del recubrimiento del concreto	0.03	0.13	0.56	LIGERO (I) , GRAVE (V)
5	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.80	0.56	LIGERO (I)
6	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.79	0.56	LIGERO (I)
7	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.80	0.56	LIGERO (I)
8	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.48	0.56	LIGERO (I)
9	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.53	0.56	LIGERO (I)
10	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.79	0.56	LIGERO (I)
11	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.80	0.56	LIGERO (I)
A	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.88	0.56	LIGERO (I)
B	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.53	0.56	LIGERO (I)
C	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.88	0.56	LIGERO (I)
D	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.72	0.56	LIGERO (I)

E	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.21	0.56	LIGERO (I), FUERTE(V)
F	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.79	0.56	LIGERO (I)
G	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.53	0.56	LIGERO (I)
H	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.62	0.56	LIGERO (I)
I	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo. Inicio de la penetración del fisuramiento inclinado en los extremos de los castillos.	0.03	0.30	0.56	LIGERO (I), FUERTE (IV)
J	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.63	0.56	LIGERO (I)
K	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.79	0.56	LIGERO (I)
L	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo. Aplastamiento del concreto, agrietamiento horizontal distribuido en la altura de los castillos.	0.03	0.22	0.56	LIGERO (I), FUERTE(V)
M	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.80	0.56	LIGERO (I)
N	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.88	0.56	LIGERO (I)
O	Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo	0.03	0.92	0.56	LIGERO (I)

Tabla 4.14 Estados de daños observados empleando el modelo cuasi-estático de Flores y Alcocer, en la mampostería con block de concreto celular.

Los estados de daño en los muros de mampostería se originan por diversos factores ya sea por fuerzas accidentales o por un mal proceso constructivo donde se pueden considerar algunos ejemplos:

- Por una inadecuada resistencia al cortante en los entrepisos y a la escasez de los elementos que confinen al muro.
- Fallas por la adherencia de los bloques debido al cortante.
- Construcciones con un porcentaje menor del requerido en el acero de refuerzo vertical (columnas - castillos).

En la figura 4.15, podremos identificar el estado y grado de daño que se observa en las tablas 4.13 y 4.14 en los muros de mampostería y los esfuerzos y distorsiones que la ocasionan.

Estado de daño observado	DI (%)	K/K_o	V/V_{max}	Grado de daño.
Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño de los castillos.	0.04	0.8	0.5	Ligero (I)
Primer agrietamiento por tensión diagonal de la mampostería.	0.13	0.35	0.85	Moderado (II y III)
Inicio de la penetración del fisuramiento inclinado en los extremos de los castillos.	0.20	0.27	0.90	Fuerte (IV)
Agrietamiento en forma de "X" en todos los paneles de mampostería.	0.23	0.24	0.98	Fuerte (IV)
Aplastamiento del concreto, agrietamiento horizontal distribuido en la altura de los castillos.	0.32	0.18	1.0	Fuerte (V)
Concentración de grietas diagonales en los extremos de los castillos. Desconchamiento del recubrimiento del concreto.	0.42	0.13	0.99	Grave (V)
Concentración del daño en los extremos inferiores de los castillos. Plegamiento del refuerzo longitudinal (Deformación en "S").	0.50	0.10	0.80	Grave (no se clasifica)

Figura 4.15 Estados y grados de daño en estructuras de mampostería. (Ruíz et. Al, 1998)

Con la figura 4.15, se puede determinar el estado de daño y la gravedad del mismo con los valores de la distorsión obtenida o D_{Iagr} , y la diferencia entre el cortante máximo y el cortante al agrietamiento.

A continuación con los valores obtenidos en el apartado 4.2, de este trabajo se elaborará a modo de gráfica, la curva capacidad del muro "O", para ambos

sistemas constructivos (figuras 4.16 y 4.17), recordando que todo valor fue obtenido por las NTC-M, en un sentido estático y con base al modelo de Flores y Alcocer (figura 4.14). A fin de seguir con la revisión por las NTC-M y NTC-S, la curva capacidad, se elaboró en el programa de dibujo AutoCAD, con los valores de la tabla 4.12.

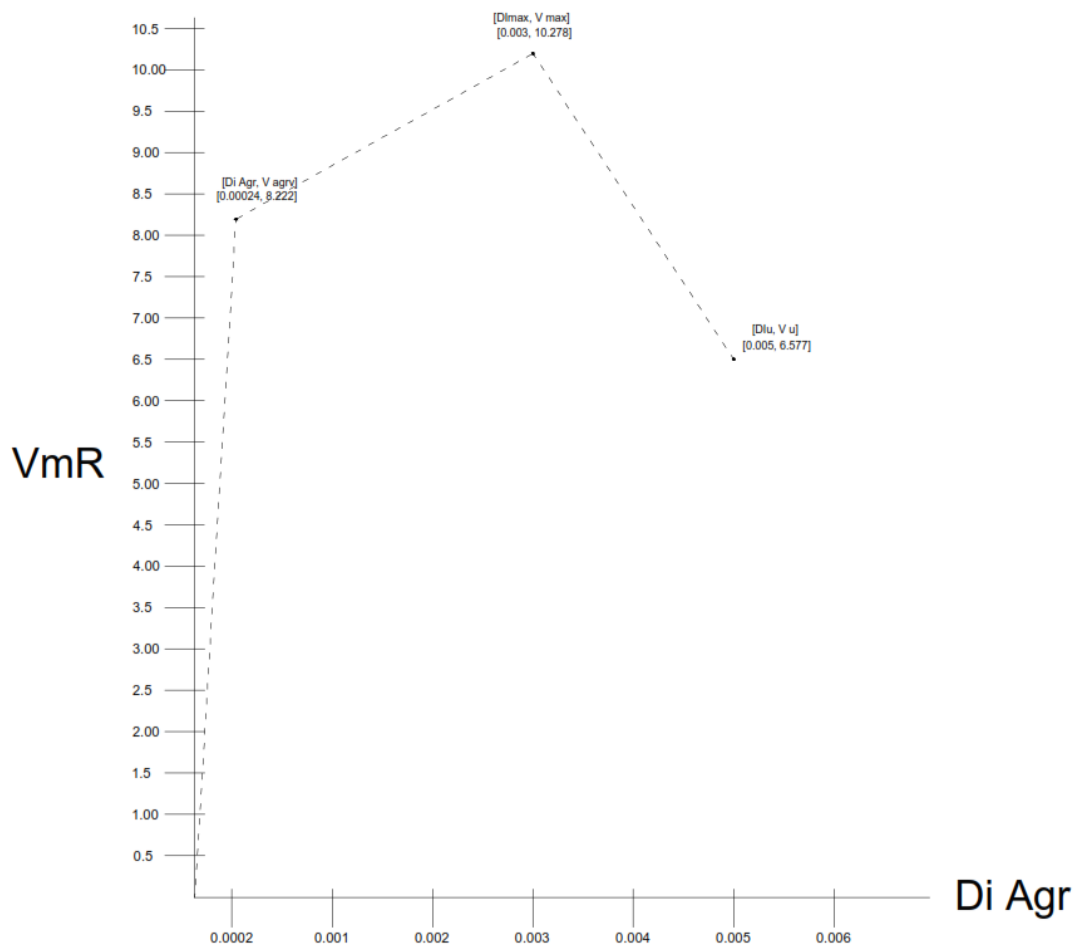


Figura 4.16 Curva capacidad del muro "O", mampostería convencional empleando block hueco de concreto.

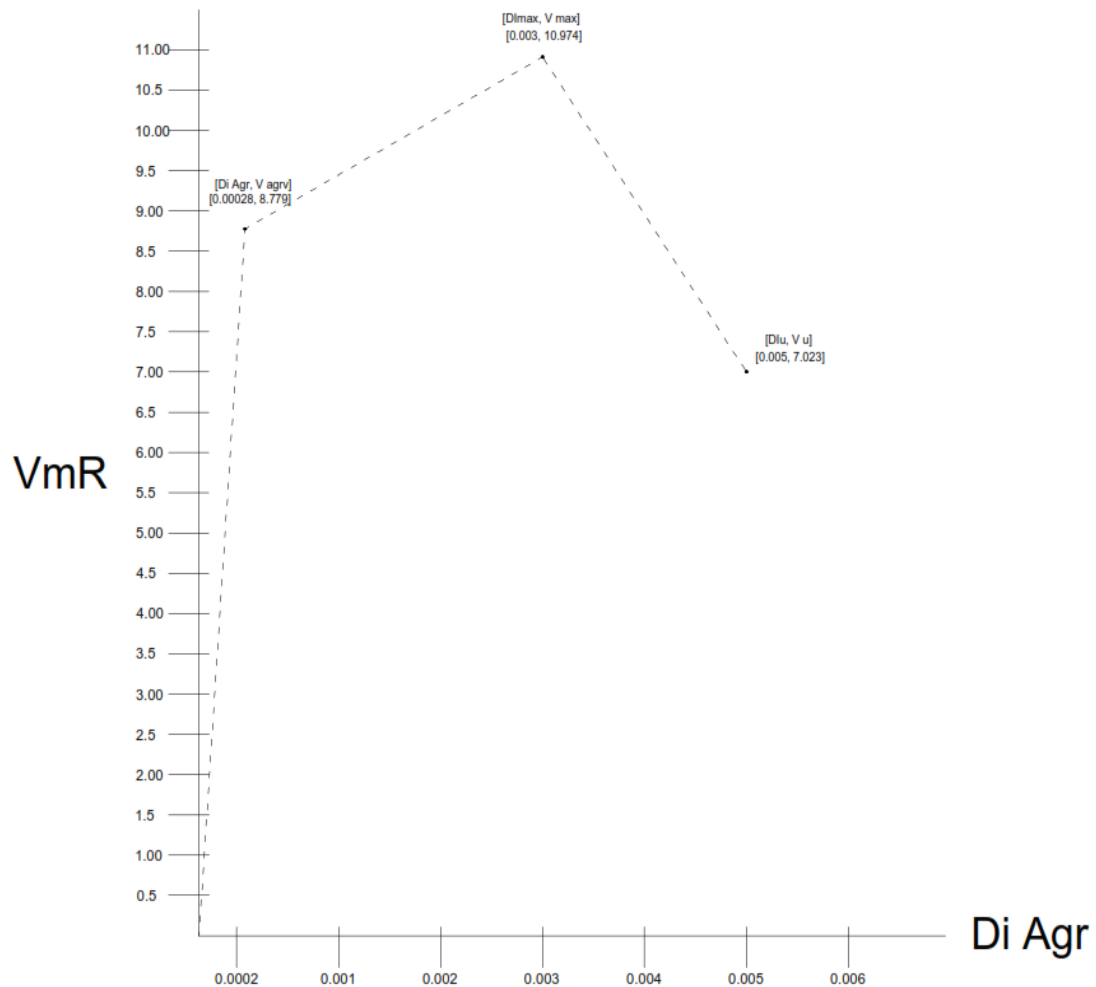


Figura 4.17 Curva capacidad del muro "O", mampostería con refuerzo interior empleando block de concreto celular.

Con las curvas capacidad obtenidas en las figuras 4.16 y 4.17, se mostrará el estado y grado de daño alcanzado por el muro con los desplazamientos y las resistencias al cortante actuante en el muro. Tal como lo muestra la figura 4.14.

En el muro "O", en ambos sistemas constructivos, no presenta un estado de daño considerable, sin embargo como podemos apreciar en las tablas 4.13 y 4.14, hay cuatro elementos que pierden rigidez considerablemente ante la acción de la carga por cortante, el muro 4 en la dirección X y los muros E, I y L en la dirección Y. Esto ocurre por la esbeltez que presentan en relación a los otros muros, dando importancia a la contribución de la relación de aspecto en base al

cortante de agrietamiento.

Recordando el método de análisis sísmico simplificado se tomó en cuenta la relación de aspecto H/L , en el caso del cortante de agrietamiento en muros menores de 1.00, no se modificaba dicha relación, sin embargo para muros con relación de aspecto mayor, la carga es menor. Las NTC-M, no considera una posible reducción en la carga de agrietamiento, es decir la carga de agrietamiento de diseño es solo en función del área transversal A_T , la carga axial P y la resistencia en compresión diagonal v_m^* .

Al aplicar el método simplificado de análisis sísmico, por norma la contribución de la resistencia a fuerza cortante de los muros que excede la relación de aspecto dada, se reducen. Si comparamos los muros “O” y “L” en la figura 4.18, podremos observar como contribuye la relación de aspecto a la resistencia de la fuerza cortante.

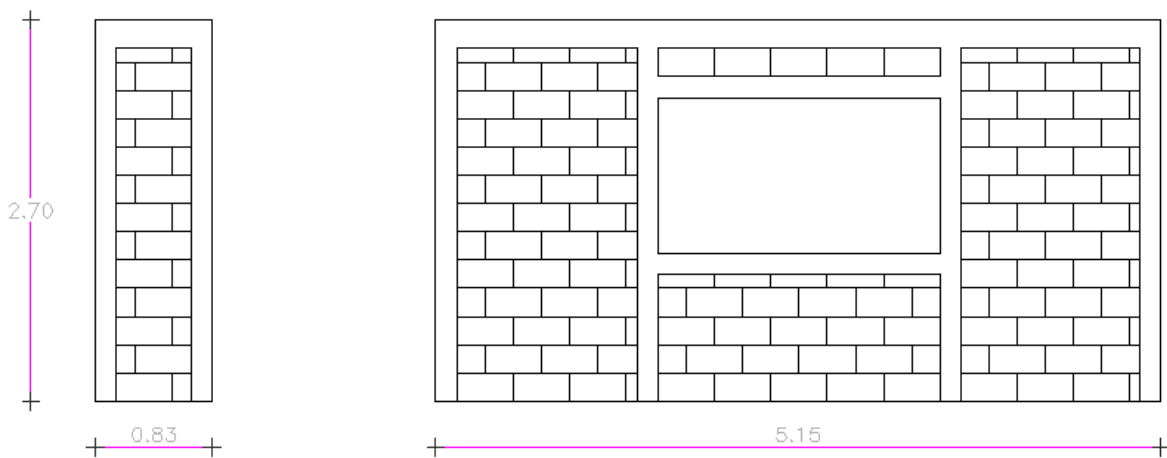


Figura 4.18 Relación de aspecto de los muros “O” y “L”.

La relación de aspecto del muro “L”, es $2.70/0.83 = 3.25$ y la relación de aspecto del muro “O”, es $2.70/5.15 = 0.52$.

- La resistencia al corte aumenta al disminuir la relación de aspecto.

Es decir mientras más elevado sea el valor de la relación de aspecto, la

resistencia al corte será mucho menor y por ende la contribución del muro que se tratará como un muro esbelto, a la rigidez será menor. Con esto las NTC-S, se basan para reducir la participación en la resistencia de muros con altas relaciones de aspecto debido a su menor rigidez lateral. Recordando que el principio del método simplificado es: las acciones laterales F_{si} , se distribuyen en los muros según su rigidez lateral, entonces es claro que mientras mayor sea la relación de aspecto, menor será su contribución. “La relación de aspecto debe tener un impacto en la resistencia debido a cambios en la distribución de esfuerzos”.

Proceso de degradación del muro

El muro de mampostería sufre degradación en su rigidez al estar bajo cargas axiales y cargas laterales, entrando a un estado de daño, como previamente se calculó en las tablas 4.14 y 4.15. Además con los valores obtenidos de las ecuaciones 4.12 a 4.18, se obtuvieron la distorsión y los esfuerzos cortantes del agrietamiento, máximo y último, valores con los que se graficaron las curvas de capacidad del muro “O”, en ambos sistemas constructivos (figuras 4.16 y 4.17). Con las curvas de capacidad se puede observar que a mayor distorsión y por tanto a mayor desplazamiento lateral en la estructura, mayor el nivel de daño en los elementos estructurales y no estructurales. El FEMA-273, (Federal Emergency Management Agency), define los siguientes estados límite, de acuerdo a las necesidades de operación de la estructura y de la seguridad de los ocupantes.

- **Operación:** Establece que la estructura permanece con su resistencia y rigidez originales, no obstante puede presentarse algún agrietamiento en muros divisorios, fachadas o plafones.
- **Ocupación inmediata:** La resistencia e integridad del ciclo histerético de la estructura sufre deterioro mínimo, sin embargo se presenta pérdida de rigidez debido al agrietamiento de los elementos estructurales, también se acepta un mayor daño a comparación del estado límite anterior, en fachadas, plafones, muros divisorios y fallas menores de equipo.

- **Seguridad de Vida:** Debe garantizarse la seguridad de vida de los usuarios del inmueble. Desde el punto de vista de daño, implica que las estructuras exhiban comportamiento inelástico, y pierdan un considerable porcentaje de rigidez, resistencia y capacidad de disipación de energía. En la parte de daño las fachadas y plafones pueden sufrir daño de consideración y tengan que ser repuestos en su totalidad.
- **Colapso Incipiente:** Este se cumple si se mantiene la estabilidad global de la estructura, aun cuando el daño estructural y no estructural sea muy grave, de tal manera que no se garantice la seguridad e integridad de los ocupantes.

En la figura 4.19, se observan los niveles de daño estructural y no estructural que se presentan en una edificación después de una excitación sísmica, en donde los parámetros de respuesta (desplazamiento, velocidad y aceleración), se incrementan mayor es el daño o degradación esperado en la estructura.

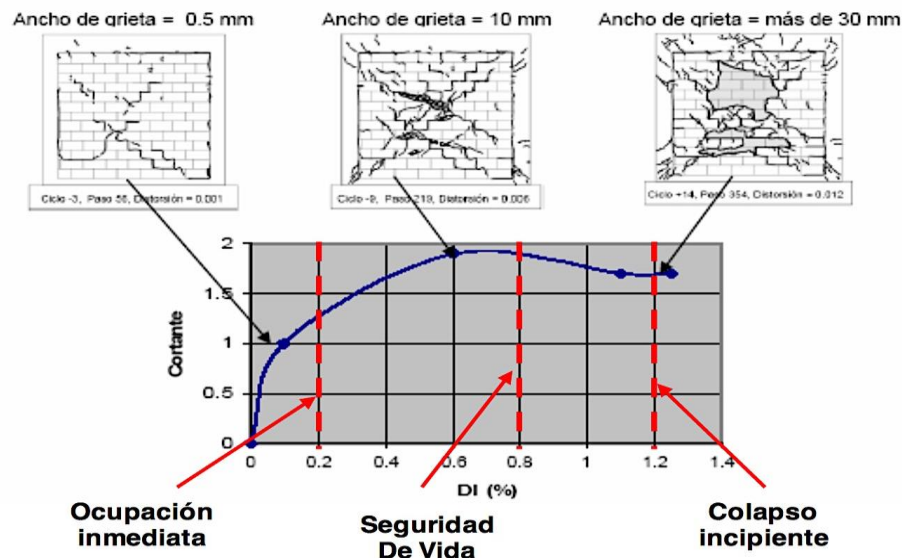


Figura 4.19 Evolución de daño estructural en muro de mampostería, y los estados límite de falla. (Torres 2007)

Siguiendo con la revisión del daño estructural en el muro “O”, la figura 4.20, en base a la experimentación de Ruíz (1998) y el modelo cuasi- estático de Flores y Alcocer, se identifican las zonas que se asocian con la envolvente del comportamiento histerético en los muros de mampostería confinada.

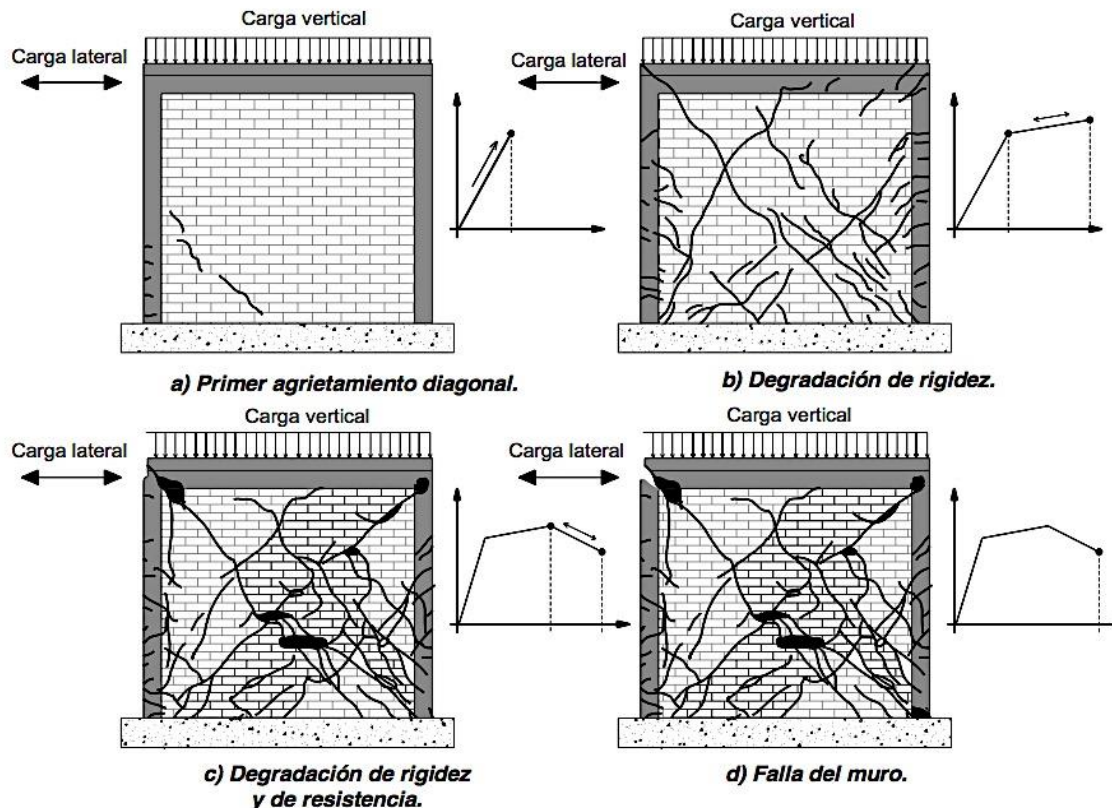


Figura 4.20 Evolución de daño estructural en muro de mampostería, siguiendo el comportamiento de la envolvente del comportamiento histerético. Ruíz et al. (1998)

De la imagen 4.20, tenemos que cada zona se puede interpretar de la siguiente manera:

- a) Comportamiento elástico: A niveles pequeños de desplazamiento y esfuerzo, caracterizados por la presencia de agrietamiento horizontal en los castillos que confinan al muro y de un agrietamiento mínimo en el panel de mampostería, los muros exhiben un comportamiento prácticamente elástico.
- b) Degradación de rigidez: Después de que se presenta el

agrietamiento diagonal, los muros de mampostería exhiben una pendiente post-elástica positiva que es sustancialmente menor a la rigidez elástica inicial, lo que les permite alcanzar una resistencia máxima mayor que la que corresponde al primer agrietamiento.

- c) Degradación de rigidez y resistencia: Una vez que alcanza su resistencia máxima, la mampostería exhibe una pendiente negativa asociada a pérdidas de resistencia y rigidez que evolucionan hasta la falla del muro.
- d) Falla del muro: Límite de resistencia y degradación final del muro.

Revisión del estado de daño del muro “O”, en ambos sistemas constructivos.

En base a las recomendaciones que marcan las NTC-M y NTC-S, y con lo observado aplicando el modelo de Flores y Alcocer para determinar el estado de daño de los muros de mampostería en un parámetro cuasi-estático, se obtuvieron las posibles grietas y deformaciones que ocurrirán ante la excitación sísmica.

Como breve resumen de este apartado se continuará con la revisión del muro “O”, empleando ambos sistemas constructivos y detallando el proceso de degradación del muro.

Evolución del daño en el muro de mampostería confinado, empleando block hueco de concreto:

- El muro posee un confinamiento tipo empotrado, con ambos laterales restringidos y una abertura tipo ventana en el centro, dicha abertura esta reforzada con acero horizontal y dos castillos de 15 x 15 cms. a sus laterales. En sus extremos el muro posee dos castillos de 15 x 15 cms. El tipo de block, es hueco de concreto con juntas no mayores a 10 mm.
- La carga lateral que actúa en el muro es una fuerza cortante de 8.222 Ton.

- Su distorsión es de 0.000249 y su valor de fuerza cortante al agrietamiento se supondrá igual al que marcan las NTC-M.
- En base a la experimentación realizada por Flores y Alcocer con ensayos de muros de mampostería siguiendo las recomendaciones de las NTC, y empleando la tabla 4.15, para la identificación de los estados y grados de daño de la mampostería, propuesta por Ruíz (1998). Tenemos que el muro "O", presenta: **Grado de daño ligero (I)** y se observa: **Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo.** En la figura 4.21 se hace una interpretación teórica del proceso de degradación del muro de mampostería confinada.

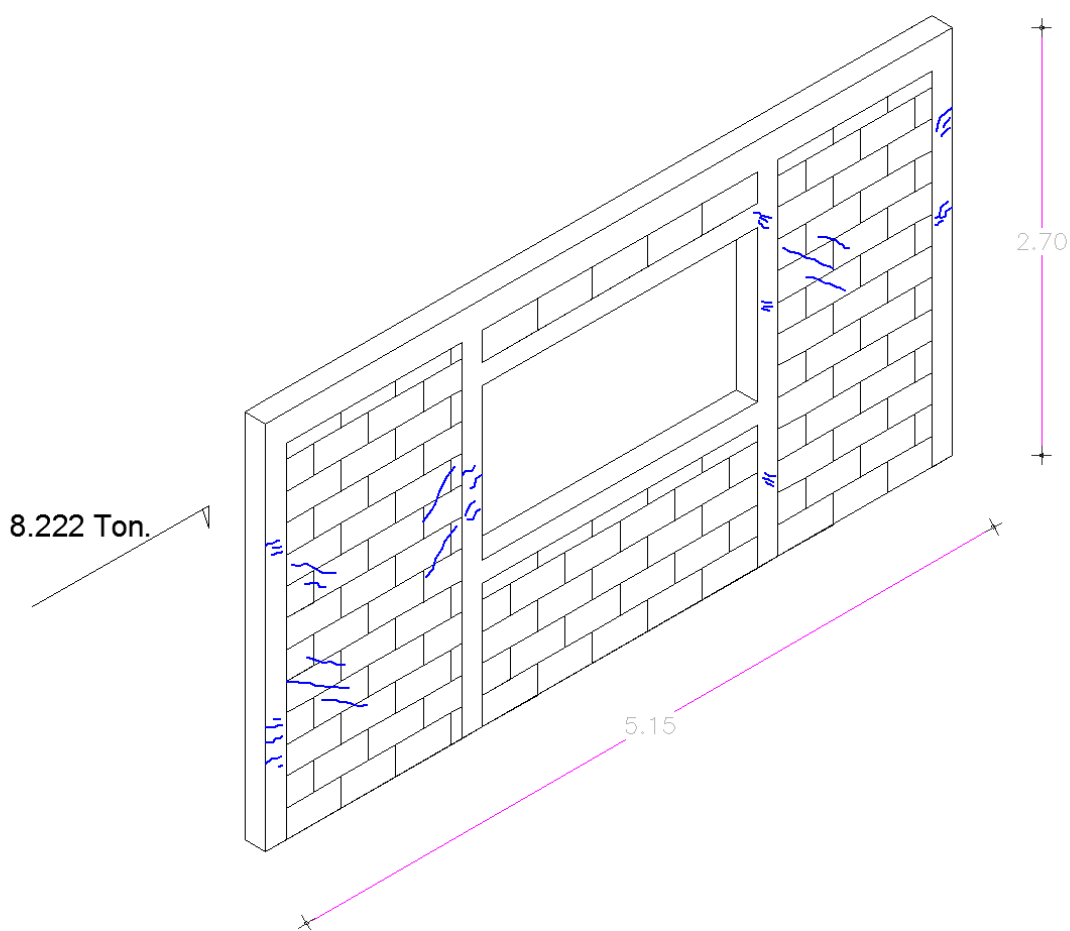


Figura 4.21 Carga Lateral y posible Estado de Daño del muro "O" Mampostería Confinada empleando Block hueco de concreto.

El comportamiento de las grietas en el muro de mampostería con block hueco de concreto es de forma en diagonal pero no muy pronunciada, tal como lo marca la figura 4.20, el muro tiene un comportamiento elástico al tener un menor desplazamiento, sin embargo como menciona (Terán 2010), la respuesta tiende a estar caracterizada, aún para deformaciones relativamente pequeñas, por un importante deterioro de sus propiedades estructurales.

Es así que aún con un desplazamiento con un valor demasiado pequeño, y resistiendo la fuerza a corte, el muro de mampostería confinada pasará por un proceso de degradación aunque a veces sea mínimo o no sea visible.

Evolución del daño en el muro de mampostería confinado interiormente, empleando block de concreto celular:

- El muro de mampostería confinada interiormente aplicando block de concreto celular, tiene un proceso constructivo muy distinto al de la mampostería convencional o tipo diafragma, ya que los elementos que lo confinan no son externos a la misma, sino que son los mismo elementos los que cumplen esta función, el block celular a diferencia del block multiperforado, se caracteriza por consistir en tres elementos para la mampostería: el block tipo “O”, que será el que conformará el refuerzo longitudinal en el sentido vertical, resistiendo las cargas axiales y laterales, el block tipo “U”, que se empleará como el elemento con refuerzo horizontal, en función de trabes en ventanas y a todo el perímetro del muro, y finalmente el block solido que como si se tratará de un block macizo convencional, cumplirá la función del elemento muro.
- La carga lateral que obra en el muro “O”, es de 8.779 Ton.
- Su distorsión es de 0.000284 y su valor de fuerza cortante al agrietamiento se supondrá igual al que indican las NTC-M, tal como en la sección de mampostería reforzada interiormente.
- En base a la experimentación realizada por Flores y Alcocer con

ensayos de muros de mampostería siguiendo las recomendaciones de las NTC, y empleando la tabla 4.15, para la identificación de los estados y grados de daño de la mampostería, propuesta por Ruíz (1998). Tenemos que el muro "O", en la mampostería con block de concreto celular y de tipo reforzada interiormente, presenta: **Grado de daño ligero (I)** y se observa: **Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño del castillo.** En la figura 4.22 se hace una interpretación teórica del proceso de degradación del muro de mampostería confinada interiormente.

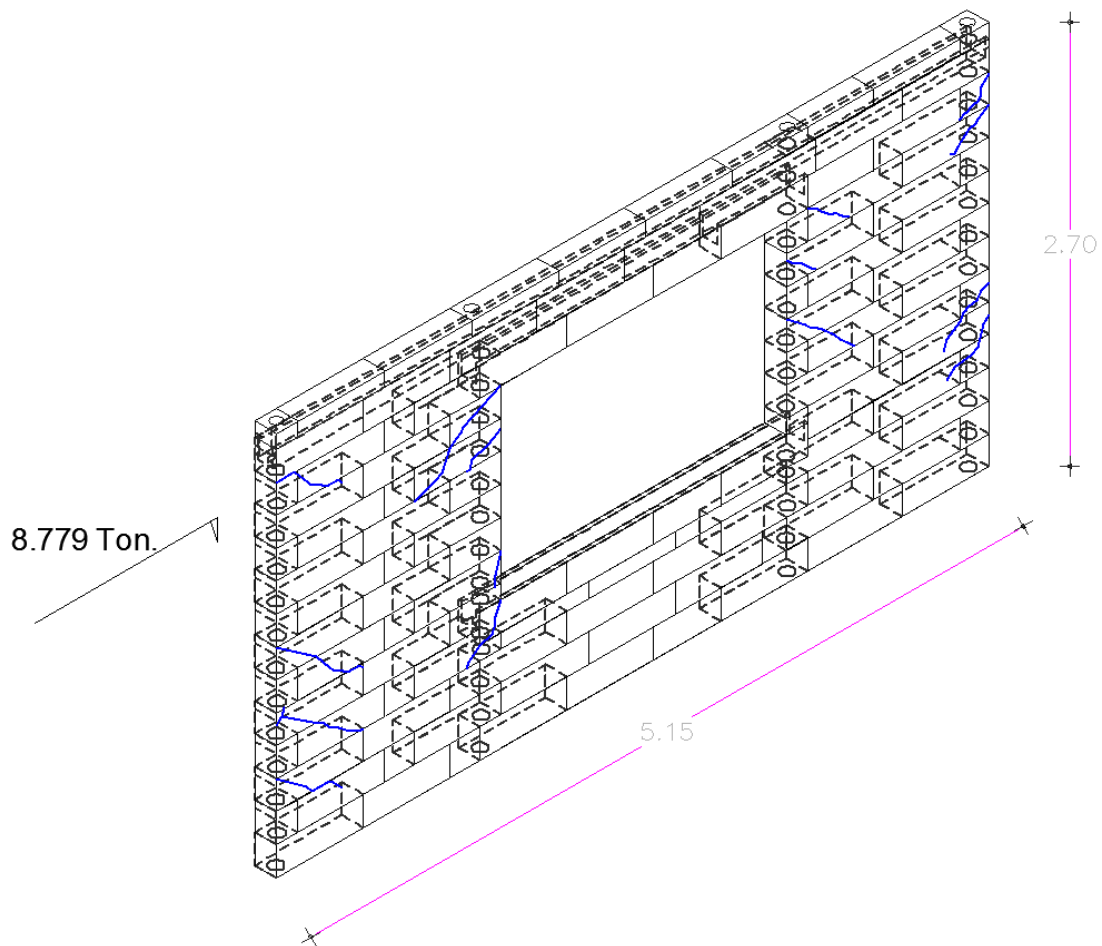


Figura 4.22 Carga Lateral y posible Estado de Daño del muro "O" Mampostería Confinada Interiormente empleando Block de concreto celular

En este caso el comportamiento de las grietas es distinto al de la mampostería convencional, para esta revisión el presente trabajo se basa en las pruebas realizadas por el CENAPRED a muretes sometidos a tensión diagonal y cortante, en donde se ensayaron hasta el punto de falla. El comportamiento de las grietas es en diagonal recto desde el origen de la fibra del muro, en los ensayos la mampostería falla después de la aparición de una grieta principal generalmente en la diagonal a compresión. Sin embargo al ser una distorsión mínima no entra en el rango de falla.

Se concluye lo siguiente:

- La mampostería con block de concreto celular, brinda mayor inercia por su geometría de origen, dando una mayor rigidez ante las sollicitaciones de una carga sísmica.
- Como se vio en el apartado 4.2, la resistencia de diseño a carga vertical, es el resultado de la contribución de la calidad de la pieza f_m^* , y la eficiencia estructural A_T , donde la longitud del muro y el espesor de la pieza contribuyen a la resistencia de las cargas por gravedad. Analizando esta ecuación tenemos que lo que hace que la resistencia sea mucho mayor a la del block hueco de concreto, no es la contribución del acero vertical, sino la geometría del elemento que conforma al muro, como se ve en el factor de reducción por efectos de excentricidad y esbeltez, en el block de concreto celular es dos veces mayor que en el caso del block hueco de concreto, es decir el muro con concreto celular no sufre de reducciones apreciables.
- La resistencia por fuerza cortante contempla las mismas contribuciones del material ante cargas por gravedad, pero contemplando un 30 por ciento del total de la carga axial que obra en el muro, esta carga es mucho menor que la que actúa en el muro de mampostería convencional, debido a la ligereza del block de concreto celular y que la losa es de igual forma aligerada, aun con la misma área tributaria que trabaja en el muro.

- Aunque la degradación del muro ante la carga lateral es mínima, haciendo referencia a los estados de daño propuestos por Ruíz (1998). y las deformaciones que se presentan son un estimado de los desplazamientos, la curva de capacidad elaborada en base de los trabajos experimentales por Flores y Alcocer, nos brinda que: el muro confinado interiormente, presenta una degradación o pérdida de rigidez, después de la que presenta el muro de mampostería convencional, aun suponiendo que en el momento que se presenta un estado de daño, el elemento deja de comportarse en parámetros lineales.
- La distorsión del muro no excede lo estipulado en las NTC-M, en revisión de cada elemento muro, en este caso no rebasan los 0.002, por norma.
- Tiene un comportamiento elástico, (Ruíz, 1998), un grado de daño ligero y fisuras verticales cercanas al paño del muro, (Flores y Alcocer).
- Al no presentarse por normas una carga lateral actuante mayor a la de diseño, el grado de daño no es grave y su proceso de degradación no llega al de colapso, además no es muro esbelto, como se revisó en la contribución de la relación de aspecto en la rigidez del muro.

Tenemos que el diseño cumple por Normas Técnicas Complementarias y por la revisión no lineal que se empleó por el método tri-lineal propuesto por Flores y Alcocer.

4.4 Obtención de las distorsiones de la mampostería con el software ANEMgcW.

El programa de diseño para estructuras de mampostería ANEMgcW mediante los valores del espectro de diseño empleado en el apartado 4.2, con las cargas actuantes por gravedad, la calidad y tipo de mampostería, las áreas tributarias y la geometría de cada muro, puede obtener los valores de las distorsiones en cada elemento, su esfuerzo cortante, la resistencia por cargas gravitacionales y la fuerza sísmica que actúa en la vivienda de interés social.

Con esto el ANEMgcW, solo requiere de una planta de los muros realizada en el software de dibujo. Para el caso del presente trabajo se empleó el software Autodesk AutoCAD, el cual lleva la misma distribución empleada para el análisis estático. En la figura 4.23 se muestra la planta empleada en el software para análisis y revisión de la mampostería.

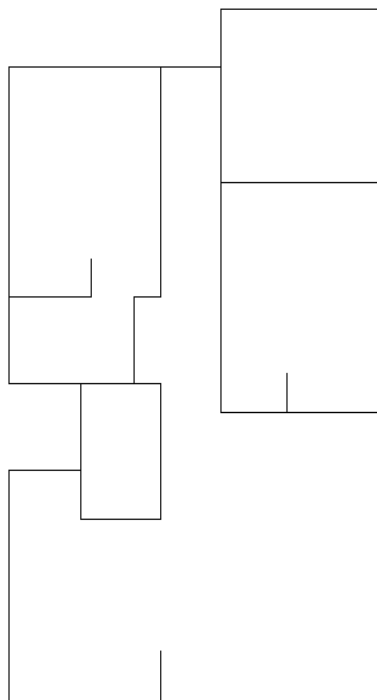


Figura 4.23 Planta de la vivienda de interés social, con la distribución de los muros.

El ANEMgcW, como el método simplificado trabaja con los valores del espectro de diseño es decir; el coeficiente sísmico, los períodos que conforman a la meseta y el exponente que define la curva. La tabla 4.5, nos da los valores del espectro empleado para la revisión de la vivienda. En la figura 4.24, se muestra la distribución de los muros de mampostería con block hueco de concreto la cual será la misma para la mampostería con block de concreto celular.

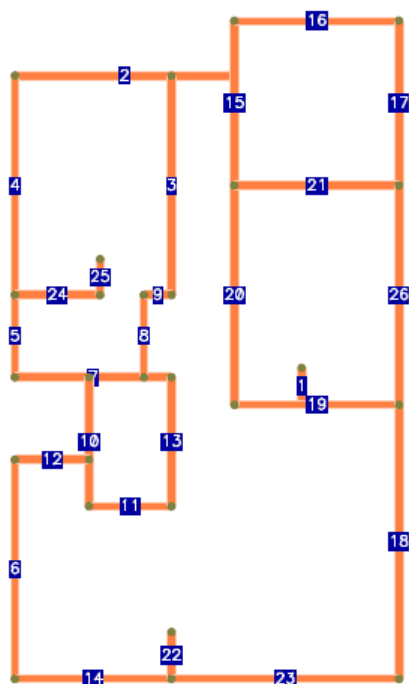


Figura 4.24 Distribución de los muros empleando el programa de análisis y revisión de estructuras de mampostería ANEMgcW.

La revisión que realiza el programa es empleando el análisis sísmico estático por la normativa de la CFE, en la figura 4.25 y 4.26, se muestran los resultados obtenidos de la excentricidad y de la distorsión media de la vivienda.

Block hueco de concreto:

ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO [CFE1993]

				F.Sísmica	Centro de masa	
Nivel	W (T)	Z (m)	W*Z	(T)	x (m)	y (m)
1	59.83	2.800	167.53	15.96	3.600	5.995
Suma	59.83		167.53	15.96		

Cortante		Pos.Cortante		Centro de torsión		Excent.Calculada (m)		Dimensiones planta		
Nivel	x (T)	y (T)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	SismoX	SismoY	x (m)	y (m)
1	15.96	15.96	3.600	5.995	3.776	5.897	0.098	-0.176	7.000	12.000

		Excentricidades [1.5e+0.1b ; e-0.1b]				Momentos Torsionantes [V*e]				
Excent. de diseño (m)		sismo dirección X		sismo dirección Y		sismo dirección X		sismo dirección Y		
Nivel	SismoX	SismoY	e1 (m)	e2 (m)	e1 (m)	e2 (m)	m1 (T*m)	m2 (T*m)	m1 (T*m)	m2 (T*m)
1	0.098	-0.176	1.347	-1.102	-0.964	0.524	21.49	-17.58	-15.38	8.36

Momento de volteo		Rigidez total		Cortante		Distorsión*Q en C.Masa		Desplaz. en C.Masa		
Ent.	x (T*m)	y (T*m)	x (T/m)	y (T/m)	x (T)	y (T)	Qx:1.5	Qy:1.5	x (cm)	y (cm)
1	44.675	44.675	59174	99151	15.955	15.955	0.00014	0.00009	0.03	0.02

Figura 4.25 Resultados de análisis sísmico estático para muros con mampostería de block hueco de concreto.

Block de concreto celular:

ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO [CFE1993]

F.Sísmica										
Centro de masa										
Nivel	W (T)	Z (m)	W*Z		x (m)		y (m)			
1	56.09	2.800	157.05	14.96	3.611	5.985				
Suma	56.09		157.05	14.96						
Centro de torsión										
Excent.Calculada (m)										
Dimensiones planta										
Nivel	Cortante		Pos.Cortante		x (m)		y (m)			
1	x (T)	y (T)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	SismoX	SismoY	x (m)	y (m)
	14.96	14.96	3.611	5.985	3.776	5.897	0.088	-0.166	7.000	12.000
Excentricidades [1.5e+0.1b ; e-0.1b]										
Momentos Torsionantes [V*e]										
Excent. de diseño (m)										
sismo dirección X										
sismo dirección Y										
Nivel	SismoX	SismoY	e1 (m)	e2 (m)	e1 (m)	e2 (m)	m1 (T*m)	m2 (T*m)	m1 (T*m)	m2 (T*m)
1	0.088	-0.166	1.333	-1.112	-0.949	0.534	19.93	-16.63	-14.19	7.99
Momento de volteo										
Rigidez total										
Cortante										
Distorsión*Q en C.Masa										
Desplaz. en C.Masa										
Ent.	x (T*m)	y (T*m)	x (T/m)	y (T/m)	x (T)	y (T)	Qx:1.5	Qy:1.5	x (cm)	y (cm)
1	41.880	41.880	31327	52492	14.957	14.957	0.00026	0.00015	0.05	0.03

Figura 4.26 Resultados de análisis sísmico estático para muros con mampostería de block de concreto celular.

El software se empleó para poder obtener un punto de comparación entre el análisis realizado estáticamente, por las NTC-M y NTC-S, y ver las distorsiones de los muros ante el efecto de la acción sísmica. En las figuras 4.27 y 4.28, tendremos las distorsiones de cada elemento muro para la mampostería con block de concreto hueco y en las figuras 4.29 y 4.30, los valores obtenidos para la mampostería con block de concreto celular. En ambas revisiones el muro 18 es el equivalente al muro “O”, el cual representa el muro crítico de la vivienda de interés social, y fue el objeto de estudio en la sección 4.2, para determinar su distorsión al sentido de la carga.

Block hueco de concreto:

REVISION POR CARGA LATERAL

MURO	ENT	Fr	P (T)	K (T/m)	Vd (T)	Vt (T)	Vt' (T)	Vu (T)	distor*Q	Vr (T)
1	1	0.700	0.67	128	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00010	2.35
2	1	0.700	2.49	11,653	3.14	0.63	0.45	4.30	0.00020	13.61
3	1	0.700	5.64	11,653	1.88	0.08	0.11	2.19	0.00010	14.28
4	1	0.700	3.51	11,653	1.88	0.33	0.47	2.58	0.00012	13.83
5	1	0.700	0.81	1,222	0.20	0.03	0.05	0.27	0.00012	5.08
6	1	0.700	2.99	11,653	1.88	0.33	0.47	2.58	0.00012	13.72
7	1	0.700	2.11	5,893	1.59	0.02	0.02	1.78	0.00016	9.77
8	1	0.700	1.01	1,222	0.20	0.01	0.02	0.24	0.00010	5.12
9	1	0.700	1.35	53	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00017	1.92

ANEMgcW V3.07

Casa Habitación Villa Hermosa, Tabasco -Muro 2-

Figura 4.27 Resultados de la distorsión por el factor de comportamiento sísmico, para los muros de block hueco de concreto.

REVISION POR CARGA LATERAL

MURO	ENT	Fr	P (T)	K (T/m)	Vd (T)	Vt (T)	Vt' (T)	Vu (T)	distor*Q	Vr (T)
10	1	0.700	1.70	3,804	0.61	0.07	0.10	0.78	0.00011	8.05
11	1	0.700	2.83	1,222	0.33	0.03	0.03	0.40	0.00018	5.50
12	1	0.700	0.66	919	0.25	0.02	0.01	0.29	0.00017	4.56
13	1	0.700	5.00	3,804	0.61	0.03	0.04	0.71	0.00010	8.74
14	1	0.700	2.90	5,893	1.59	0.30	0.26	2.17	0.00020	9.94
15	1	0.700	3.03	6,581	1.06	0.01	0.02	1.18	0.00010	10.45
16	1	0.700	2.32	6,581	1.77	0.43	0.30	2.52	0.00021	10.30
17	1	0.700	2.32	6,581	1.06	0.09	0.22	1.34	0.00011	10.30
18	1	0.700	5.30	17,173	2.76	0.23	0.59	3.48	0.00011	17.48
19	1	0.700	4.52	6,581	1.77	0.05	0.04	2.02	0.00016	10.77
20	1	0.700	4.85	11,653	1.88	0.01	0.03	2.08	0.00010	14.11
21	1	0.700	3.71	6,581	1.77	0.22	0.15	2.24	0.00018	10.60
22	1	0.700	0.49	254	0.04	0.00	0.00	0.05	0.00010	2.90
23	1	0.700	3.95	12,463	3.36	0.64	0.56	4.58	0.00020	14.41
24	1	0.700	1.96	1,333	0.36	0.02	0.01	0.42	0.00017	5.48
25	1	0.700	0.72	117	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01427	2.30
26	1	0.700	3.56	11,653	1.88	0.15	0.40	2.36	0.00011	13.84

Figura 4.28 Resultados de la distorsión por el factor de comportamiento sísmico, para los muros de block hueco de concreto, donde el muro 18 es el equivalente al muro "O".

Block de concreto celular:

REVISION POR CARGA LATERAL

MURO	ENT	Fr	P (T)	K (T/m)	Vd (T)	Vt (T)	Vt' (T)	Vu (T)	distor*Q	Vr (T)
1	1	0.700	0.60	68	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00018	1.19
2	1	0.700	2.05	6,169	2.95	0.58	0.42	4.02	0.00035	6.73
3	1	0.700	5.21	6,169	1.76	0.08	0.11	2.05	0.00018	7.39
4	1	0.700	3.07	6,169	1.76	0.31	0.43	2.41	0.00021	6.94
5	1	0.700	0.65	647	0.18	0.03	0.05	0.25	0.00021	2.50
6	1	0.700	2.55	6,169	1.76	0.31	0.43	2.41	0.00021	6.84
7	1	0.700	1.79	3,120	1.49	0.02	0.02	1.67	0.00029	4.87
8	1	0.700	0.85	647	0.18	0.01	0.02	0.22	0.00018	2.54
9	1	0.700	1.29	28	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00030	1.06

ANEMgcW V3.07

Casa Habitación Villa Hermosa, Tabasco -Muro 1-

Figura 4.29 Resultados de la distorsión por el factor de comportamiento sísmico, para los muros de block de concreto celular.

REVISION POR CARGA LATERAL

MURO	ENT	Fr	P (T)	K (T/m)	Vd (T)	Vt (T)	Vt' (T)	Vu (T)	distor*Q	Vr (T)
10	1	0.700	1.44	2,014	0.57	0.06	0.09	0.73	0.00019	4.00
11	1	0.700	2.67	647	0.31	0.03	0.02	0.38	0.00031	2.92
12	1	0.700	0.51	486	0.23	0.01	0.01	0.28	0.00030	2.23
13	1	0.700	4.75	2,014	0.57	0.02	0.03	0.67	0.00018	4.70
14	1	0.700	2.59	3,120	1.49	0.28	0.24	2.03	0.00035	5.03
15	1	0.700	2.70	3,484	0.99	0.01	0.01	1.10	0.00017	5.29
16	1	0.700	1.99	3,484	1.66	0.39	0.28	2.36	0.00036	5.14
17	1	0.700	1.99	3,484	0.99	0.08	0.21	1.25	0.00019	5.14
18	1	0.700	4.76	9,092	2.59	0.22	0.54	3.27	0.00019	8.87
19	1	0.700	4.19	3,484	1.66	0.05	0.04	1.90	0.00029	5.61
20	1	0.700	4.41	6,169	1.76	0.01	0.03	1.95	0.00017	7.23
21	1	0.700	3.39	3,484	1.66	0.20	0.14	2.10	0.00032	5.44
22	1	0.700	0.40	134	0.04	0.00	0.00	0.04	0.00018	1.43
23	1	0.700	3.49	6,598	3.15	0.60	0.51	4.30	0.00035	7.27
24	1	0.700	1.79	706	0.34	0.01	0.01	0.39	0.00030	2.82
25	1	0.700	0.65	62	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02522	1.17
26	1	0.700	3.12	6,169	1.76	0.15	0.37	2.22	0.00019	6.95

Figura 4.30 Resultados de la distorsión por el factor de comportamiento sísmico, para los muros de block de concreto celular, donde el muro 18 es el equivalente al muro “O”.

Finalmente obtenemos los valores de la distorsión para cada muro y poder hacer la comparativa con los obtenidos en la sección 4.2. En la tabla 4.15, se muestran los valores del muro 18, para la distorsión y el valor del cortante.

TIPO DE MAMPOSTERÍA	Vr	Distor*Q
Block Hueco de C.	17.48	0.00011
Block CCA	8.87	0.00019

Tabla 4.15 Valores del desplazamiento y cortante, actuantes en el muro 18, para ambos tipos de mampostería.

El valor del cortante de la mampostería con block hueco de concreto da un valor considerablemente mayor al obtenido en la revisión de la sección 4.2, debido a que el ANEMgcW, emplea los valores de CFE y toma una calidad de la pieza mayor al de las NTC-M, donde $v_m^* = 5.5 \frac{kg}{cm}$.

En ambos casos por las NTC-M, en la sección 3.2.3.2, nos dice que la distorsión lateral no excederá el valor de 0.0025 en el caso de la mampostería con block hueco de concreto y 0.002 con la mampostería con block de concreto celular. Cumpliendo para ambas revisiones el máximo permisible de distorsión por normas. Con los valores de la tabla 4.15, tenemos que la distorsión que obra en el muro de mampostería aplicando los valores de ambos sistemas constructivos, es menor a los parámetros de distorsión bajo la revisión de las NTC-M y aplicando el modelo Tri-lineal, como se puede observar en la tabla 4.12. Se analizará la vivienda de interés social en un modelo 3D, de la estructura, sometida a la fuerza sísmica de la figura 4.26 y las cargas que actúan por gravedad y así observar la deformación del muro, es por ello que para tener un estimado de los daños en el elemento se revisó por el método estático y por un software externo como el ANEMgcW, y así poder detallar su comportamiento final.

4.5 Modelo de la vivienda de interés social con concreto celular

En este capítulo se modelará la vivienda con la distribución propia del proyecto, donde en el capítulo 2, en el apartado 2.3.2, se analizaron los muros de la vivienda bajo las Normas Técnicas Complementarias, y el sistema constructivo empleado en el municipio de Centro, Tabasco, en donde lo que difiere a las NTC-M y NTC-S, es el acero de refuerzo, ya que los contratistas emplean acero prefabricado o cadenas y castillos Armex, por la factibilidad de este material y el ahorro en la economía del mismo, debido a que la vivienda de interés social no es revisada por cargas y acciones sísmicas. Sin embargo y mediante una hoja de cálculo en Excel, se revisó que cumpliera por cargas gravitacionales y por cortante. En el capítulo 4, en el apartado 4.2 se revisaron no solo el sistema constructivo de mampostería convencional, sino que además se propuso el acero de refuerzo por norma y la comparativa con la mampostería con refuerzo interior empleando block de concreto celular curado en autoclave. La revisión se hizo paso a paso por el método estático, revisando su resistencia a compresión y a la fuerza cortante que resiste la mampostería, en donde se calcularon los centros de rigidez en ambas direcciones, el centro de cortante, la excentricidad y un análisis sísmico simplificado, conforme a la metodología que marca el apartado 4.1 de este trabajo. Todo con el fin de obtener los valores de distorsión del muro por la carga lateral del cortante obtenido por NTC-M.

El modelo de la vivienda de interés social empleando el programa de estructuras SAP2000, pretende que al aplicar una fuerza lateral igual a la resultante del análisis sísmico realizado en el ANEMgcW, logre deformar lo mínimo el elemento muro, con el área crítica, es decir el muro de mayor longitud y que carece de refuerzos como trabes intermedias en columnas. Resistiendo la intensidad de la carga lateral, obtenida gracias al programa ANEMgcW, con el fin de poder comparar los resultados con los obtenidos por el método estático simplificado bajo las NTC-M y NTC-S, los valores del ANEMgcW y finalmente los valores de la distorsión por el SAP2000.

Proceso:

El modelo de la vivienda se realizó mediante el programa SAP2000 en su versión 15, el cual con las dimensiones del plano de diseño se comenzó el trazado en planta de la vivienda. (Figura 4.31)

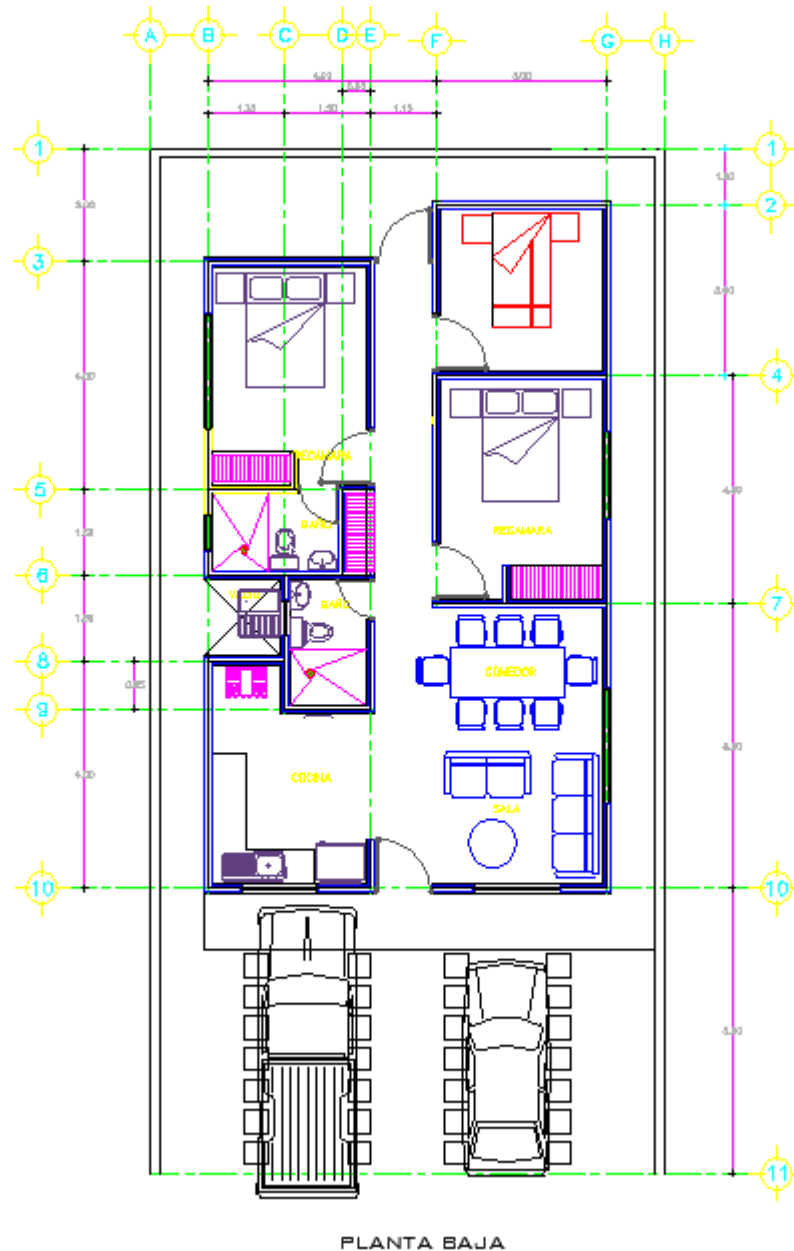


Figura 4.31 Planta de la vivienda de interés social.

Como se vio en el capítulo 4 en la sección 4.2, el cálculo de la vivienda mediante mampostería convencional y conforme a NTC-S, se obtuvieron los valores de diseño de la fuerza sísmica actuante o F_i en la tabla 4.8 y para la mampostería con block de concreto celular en la tabla 4.11 y de igual forma así conocer su capacidad de resistencia a cortante por sismo y por cargas gravitacionales NTC-M. En este caso la hoja de cálculo fue útil ya que el material estaba confinado por medio de castillos o refuerzos interiores respetando la distancia mínima entre refuerzos longitudinales, dando así resultados óptimos para ambos casos. Sin embargo en la aplicación de las fuerzas sísmicas será en base a la figura 4.26.

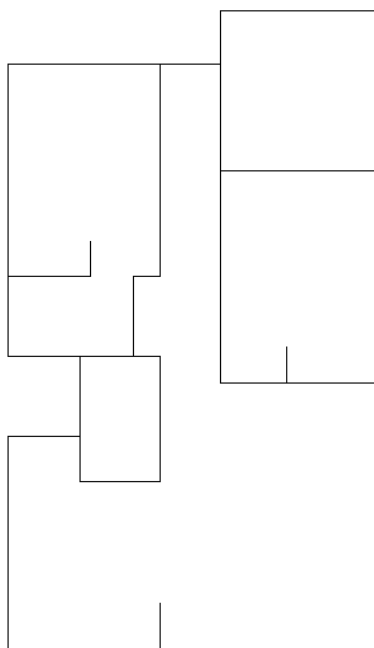


Figura 4.32 Planta de preparación de la vivienda para modelar en SAP2000.

En la figura 4.32, que es parecida a la planta empleada para revisar la vivienda de interés social por el ANEMgcW, con la diferencia que en la figura se aprecia que no están definidas las puertas y ventanas de la estructura, debido a que en el modelado se discretizara el elemento en secciones de 25 x 25

centímetros los cuales mediante elementos tipo shell se podrán descontar y definir los espacios correspondientes.

Una vez discreteado el elemento se podrá dar forma a las áreas de la vivienda, figura 4.33, y así definir el área de estudio crítico de la misma. El cual se definió como el muro con mayor área tributaria libre, es decir aquel que tiene un claro desfavorable, agregando que tendrá ciertas aberturas.

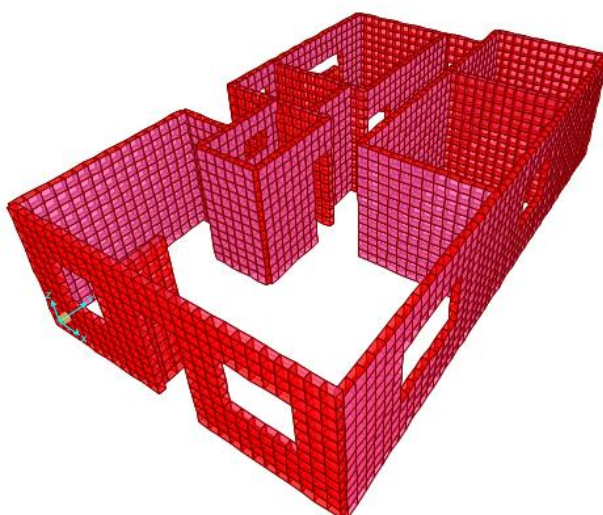


Figura 4.33 Modelo discreteado (muros) de la vivienda de interés social.

Al igual que se modelaron los 26 muros en el modelo final, para poder tener un cálculo con mayor exactitud y así poder representar el peso actuante de la losa en los mismos, se modelo la losa de igual forma discreteada en un mallado de 25 x 25 centímetros.

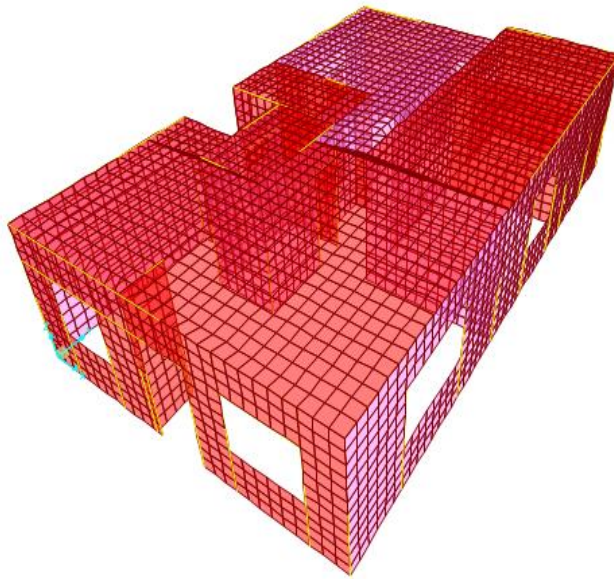


Figura 4.34 Modelo discreteado (losa y muros) de la vivienda de interés social.

Posteriormente y teniendo el modelo tanto de la losa y los muros, figura 4.34, se definieron las propiedades del material (figura 4.35), así como los elementos estructurales que vendrían a representar las cadenas de cerramiento en puertas y ventanas así como las trabes para el reposo de la losa. Como se mencionó con anterioridad en el primer capítulo, El concreto celular no necesita un refuerzo significativo al cortante por acero debido a su ligereza y alta resistencia por su proceso de curado, sin embargo siguiendo el proceso constructivo que indica las NTC-M, en su apartado 6, sección 6.1.2.2., inciso a y b, hace mención de que en cada una de dos celdas, deberá colocarse una barra del número 3 y dicha separación no será mayor a 6 veces el espesor del block. En la figura 4.36, se definieron las propiedades estructurales del elemento trabe (refuerzo horizontal) y en la figura 4.37 del elemento castillo (refuerzo vertical).

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color:

Material Type:

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume:

Mass per Unit Volume:

Units

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E:

Poisson's Ratio, U:

Coefficient of Thermal Expansion, A:

Shear Modulus, G:

Figura 4.35 Propiedades mecánicas del concreto celular curado en autoclave, definidas en el SAP2000.

Rectangular Section

Section Name:

Section Notes:

Properties:

Property Modifiers:

Material:

Dimensions

Depth (t3):

Width (t2):

☐

Figura 4.36 Propiedades estructurales del elemento trabe empleando concreto celular curado en autoclave, definidas en el SAP2000.

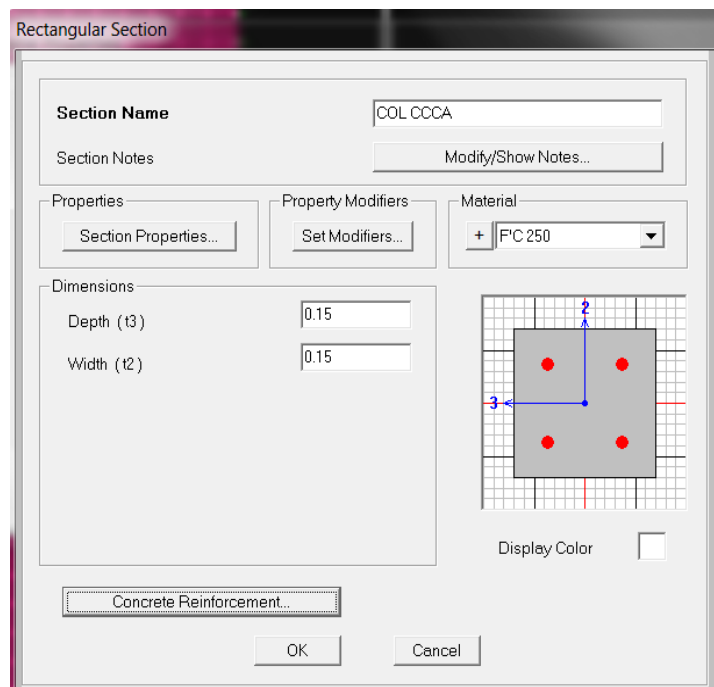


Figura 4.37 Propiedades estructurales del elemento castillo o tipo columna, empleando concreto celular curado en autoclave, definidas en el SAP2000.

Una vez que se definieron las propiedades estructurales de las trabes y castillos, se definirá el elemento “LOSA CCCA” y el elemento “MURO CCCA”, estos elementos estarán constituidos por elementos tipo Shell, y serán asignados a los elementos previamente discreteados, como se observa en la figura 4.34.

El espesor de los muros de mampostería con block de concreto celular, es de 15 centímetros, de igual modo la losa tiene un espesor de 15 centímetros. En la figura 4.38 se observan las propiedades del elemento losa y en la figura 4.39 del elemento muro.

Shell Section Data

Section Name LOSA CCA

Section Notes Modify/Show...

Display Color ■

Type

☐ Shell - Thin
☒ Shell - Thick
☐ Plate - Thin
☐ Plate Thick
☐ Membrane
☐ Shell - Layered/Nonlinear

Modify/Show Layer Definition...

Material

Material Name + cca

Material Angle 0.

Thickness

Membrane 0.15

Bending 0.15

Concrete Shell Section Design Parameters

Modify/Show Shell Design Parameters...

Stiffness Modifiers Set Modifiers...

Temp Dependent Properties Thermal Properties...

OK Cancel

Figura 4.38 Propiedades estructurales del elemento losa.

Shell Section Data

Section Name MURO CCA

Section Notes Modify/Show...

Display Color ■

Type

☒ Shell - Thin
☐ Shell - Thick
☐ Plate - Thin
☐ Plate Thick
☐ Membrane
☐ Shell - Layered/Nonlinear

Modify/Show Layer Definition...

Material

Material Name + cca

Material Angle 0.

Thickness

Membrane 0.15

Bending 0.15

Concrete Shell Section Design Parameters

Modify/Show Shell Design Parameters...

Stiffness Modifiers Set Modifiers...

Temp Dependent Properties Thermal Properties...

OK Cancel

Figura 4.39 Propiedades estructurales del elemento muro.

En la figura 4.39 se definieron esas propiedades para poder simular el comportamiento del bloque tipo “O”, del CCCA, ya que este se emplea como el elemento estructural con el refuerzo vertical y resistirá las fuerzas axiales y las solicitudes de una carga lateral, y así simular el comportamiento de un muro tipo diafragma en este tipo de construcción. Debido al enfoque que tiene la presente tesis, se revisó el muro crítico para valores posteriores al diseño de la vivienda.

4.5.1. Diseño elástico de la vivienda de interés social con concreto celular empleando el SAP2000 v15.

El diseño elástico por una carga lateral, (Fuerza sísmica concentrada o F_i), obtenida por el método simplificado, nos ayuda a comprender el comportamiento de la estructura de mampostería al ser sometida a dicha fuerza y así poder observar los diferentes valores de deformación de la misma. Aun con los valores obtenidos en el caso de la mampostería convencional el valor de la tabla 4.8 y para la mampostería con block de concreto celular el de la tabla 4.11. Sin embargo para este análisis de la fuerza sísmica se empleó el programa de diseño estructural ANEMgcW en su versión 3.07, y así obtener un segundo punto de comparación aparte del método simplificado previamente mencionado. Una vez obtenida la fuerza sísmica actuante en la estructura y ya con el modelo de la vivienda con dimensiones, área de acero, densidades y módulos de elasticidad del concreto celular, se procederá a ingresar la fuerza lateral o de sismo, obtenida a partir del peso de la estructura y del coeficiente sísmico.

Mediante este análisis se podrá sustentar la resistencia de los miembros estructurales de una edificación real, aplicando una carga lateral para así poder observar la formación secuencial de las rotulas plásticas. Ya contando con las dimensiones de las secciones de los miembros y el acero de refuerzo longitudinal y transversal, las acciones de las cargas gravitacionales y las cargas laterales aplicadas al primer modo de vibración. Es decir los valores que se obtengan en el

SAP 2000, serán interpretados en cada pequeña sección de la estructura discreteada como la distorsión actuante en dicha sección.

Ya con estos datos el análisis, consiste en que primero actúan en el diseño las cargas gravitacionales que se definieron en el capítulo 4 apartado 4.2 para la mampostería con block de concreto celular, donde primero se verán reflejadas las primeras deformaciones, después pasan a actuar las cargas laterales que van incrementándose paso a paso, hasta que llegan a formarse las articulaciones plásticas.

De igual manera sucede con las cargas laterales en la otra dirección. Es decir, el análisis con una carga lateral consiste a la vez en tres análisis, uno por carga gravitacional y dos por cargas laterales en ambas direcciones.

Ya teniendo el objetivo y las bases se describe el proceso inicial que se llevó en el modelo para la obtención de los desplazamientos máximos aplicados a la estructura mediante una carga lateral en la dirección Y (lado crítico de la estructura), y la dirección X.

En la figura 4.40 se observan los valores del análisis sísmico estático para obtener la fuerza que se aplicara en la dirección Y.

Con el peso de la estructura (w), el coeficiente sísmico (c) y el factor sísmico (Q), de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, se calculará la carga sísmica por nodo, tal como lo muestra la ecuación 4.19, seleccionando únicamente los nodos de la losa, en el caso del modelo de la vivienda de interés social, la losa está compuesta por 1,560 nodos. Entonces:

$$\frac{w*c}{Q} = \text{Fuerza Sísmica Actuante en la losa} \quad (4.19)$$

Donde:

$$\frac{27.26 \text{ ton} * 0.36}{1.5} = 6.54 \text{ ton.}$$

Este valor lo podemos corroborar con el método simplificado de análisis sísmico como se vio en el apartado 4.2, en la tabla 4.11.

La fuerza actuante en cada nodo es:

$$\frac{6.54 \text{ ton}}{1,560} = 0.004193 \text{ ton.}$$

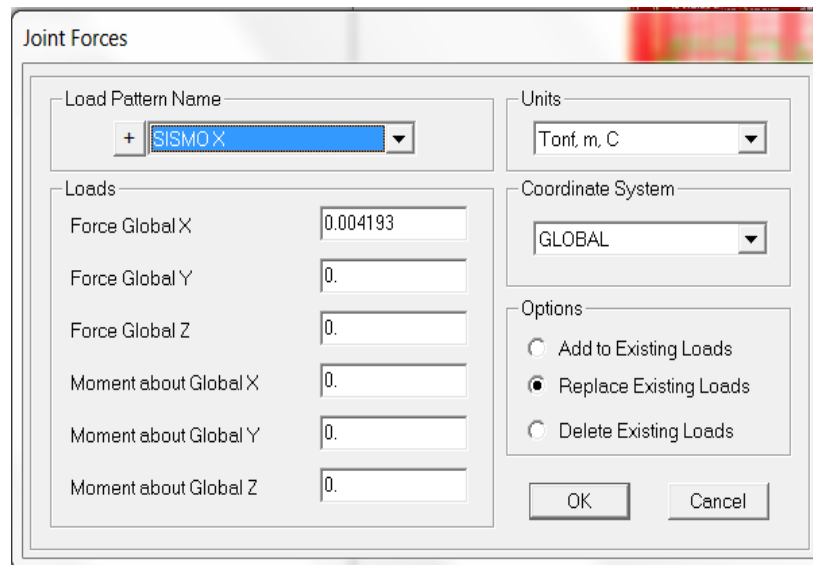


Figura 4.40 Aplicación de la fuerza sísmica por nodo, en la dirección X.

El valor de la carga obtenida por nodo, se aplicará en la dirección del análisis, en este caso, la dirección X, (figura 4.40), de la misma forma será aplicada en la dirección Y, como lo muestra la figura 4.41.

Joint Forces

Load Pattern Name: + SISMO Y ▼

Units: Tonf, m, C ▼

Coordinate System: GLOBAL ▼

Options:

- ☐ Add to Existing Loads
- ☒ Replace Existing Loads
- ☐ Delete Existing Loads

OK Cancel

Figura 4.41 Aplicación de la fuerza sísmica por nodo, en la dirección Y.

El modelo de la vivienda de interés social, trabajará bajo tres casos de carga, como ya se mencionó, el sismo en X, el sismo en Y, y las cargas de gravedad, en la figura 4.42 se observan los casos de carga aplicados al modelo y en la figura 4.43, las combinaciones de carga.

Define Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
DEAD	Linear Static
CM	Linear Static
CV	Linear Static
SISMO X	Linear Static
SISMO Y	Linear Static

Click to:

Add New Load Case...

Add Copy of Load Case...

Modify/Show Load Case...

Delete Load Case

Display Load Cases:

Show Load Case Tree...

OK Cancel

Figura 4.42 Casos de carga actuantes en la vivienda de interés social.

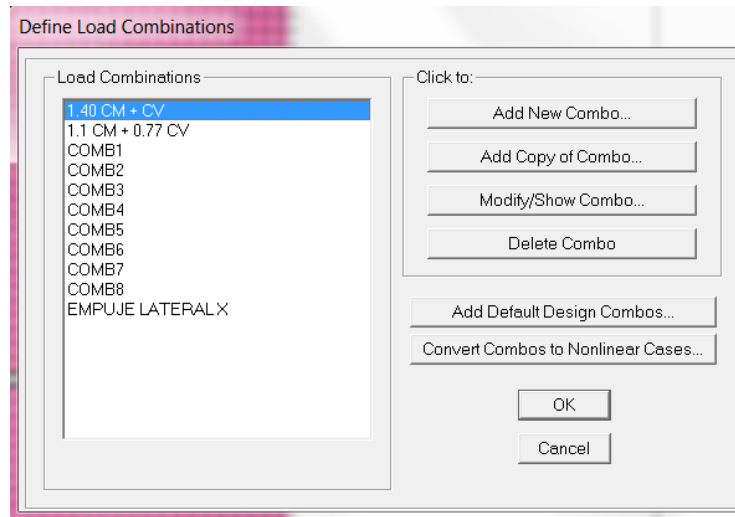


Figura 4.43 Combinaciones de carga aplicados para observar el comportamiento de la estructura.

En este caso solo se tomará en cuenta el análisis sísmico que actúa en la vivienda de interés social, es decir no se realizará un incremento de la carga hasta observar el punto de falla de la estructura o PUSHOVER, sino el comportamiento de la estructura ante la carga sísmica obtenida.

En la figura 4.44, se puede observar el panel de opciones para iniciar el análisis de los desplazamientos y deformaciones de la estructura.

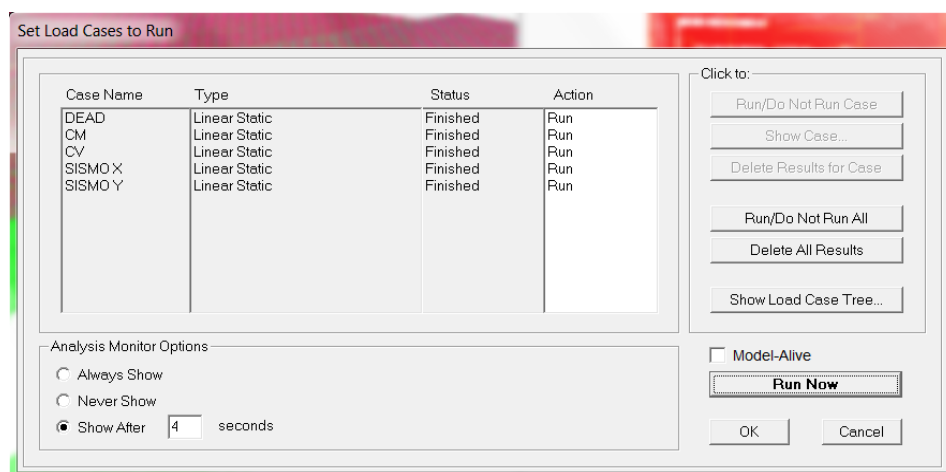


Figura 4.44 Panel de opciones para iniciar la corrida del modelo.

Ya que se obtiene la corrida del programa, en el panel de opciones para observar las deformaciones del elemento, se verifica que estén las combinaciones de carga aplicadas al modelo. (Figura 4.45).

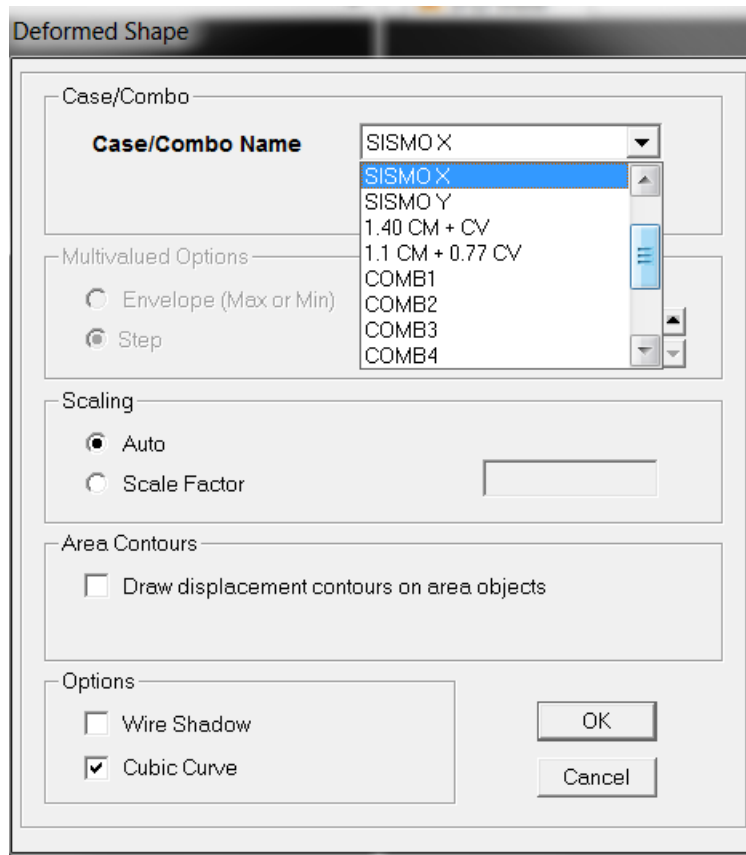


Figura 4.45 Combinaciones de carga actuantes en la deformación del elemento.

En la figura 4.46, se puede apreciar la estructura deformada ante una fuerza sísmica, en donde los desplazamientos son considerablemente pequeños, si se compara con los obtenidos en el ANEMgcW.

La estructura que presenta el SAP2000, es en base al desplazamiento de los nodos, sin hacer mención de una falla, ya que los valores son mínimos.

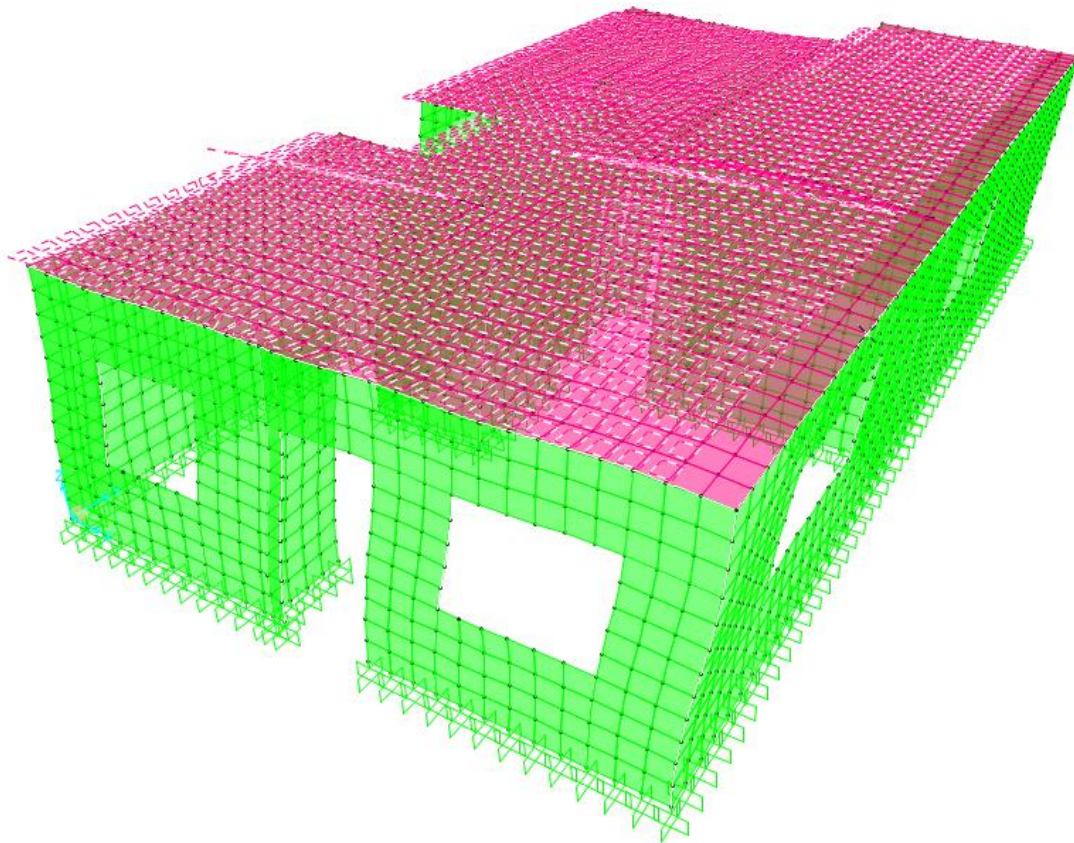


Figura 4.46 Estructura deformada por la fuerza sísmica en la dirección X.

En el caso de la figura 4.47, se puede observar la cara plana de la fachada de interés social, en donde los desplazamientos en la dirección X, originan pequeños desplazamientos en la parte de la losa, ventanas y castillos.

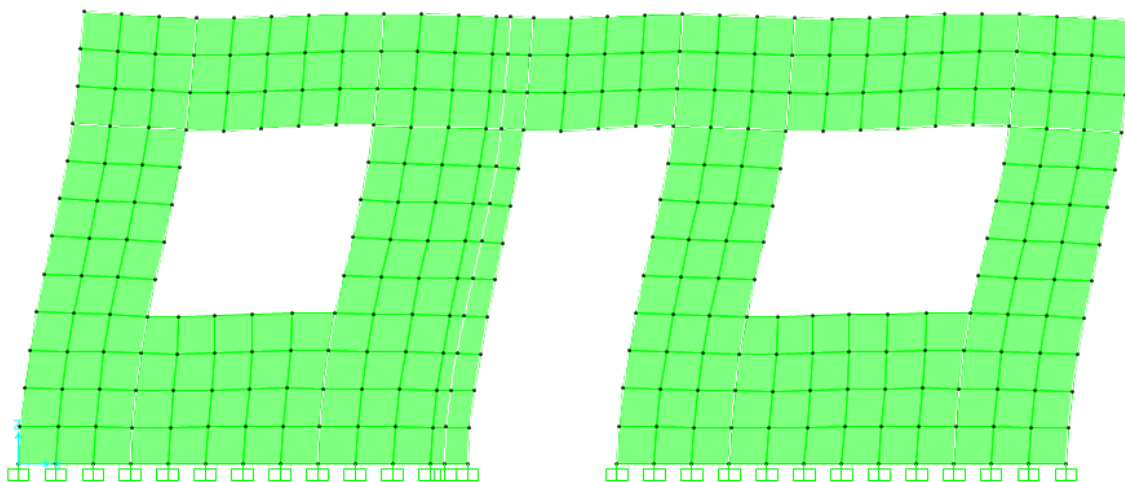


Figura 4.47 Fachada de la vivienda de interés social, deformada por la fuerza sísmica en la dirección X.

En la figura 4.48, podemos observar el valor del desplazamiento del nodo 2,636, donde U1, es igual a la dirección en X, el cual tiene un valor de 0.0133 centímetros.

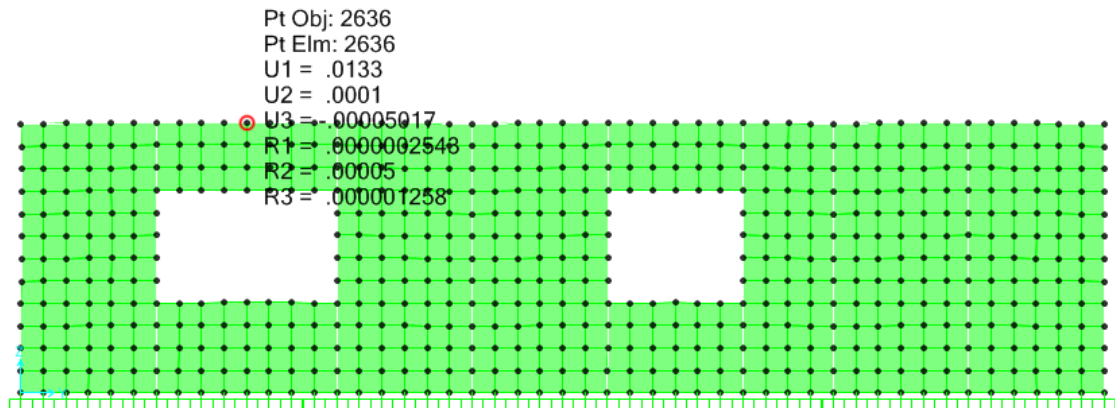


Figura 4.48 Valores de desplazamiento del nodo en la dirección X.

La fuerza sísmica en el sentido de la dirección Y, se comparará directamente con los valores de los desplazamientos obtenidos, por la revisión de la estructura con los métodos del análisis sísmico simplificado en conjunto de la revisión estática que ofrecen las normas y con la curva de capacidad obtenida por un modelo tri-lineal que nos ofrece la distorsión del muro. A su vez con los desplazamientos obtenidos por el ANEMgcW. Para poder tener tres puntos de comparación, de la capacidad del muro de mampostería ante una excitación sísmica. En la figura 4.49, podremos observar la deformación de la estructura en la dirección Y, en donde están funcionando la mayoría de los muros de carga.

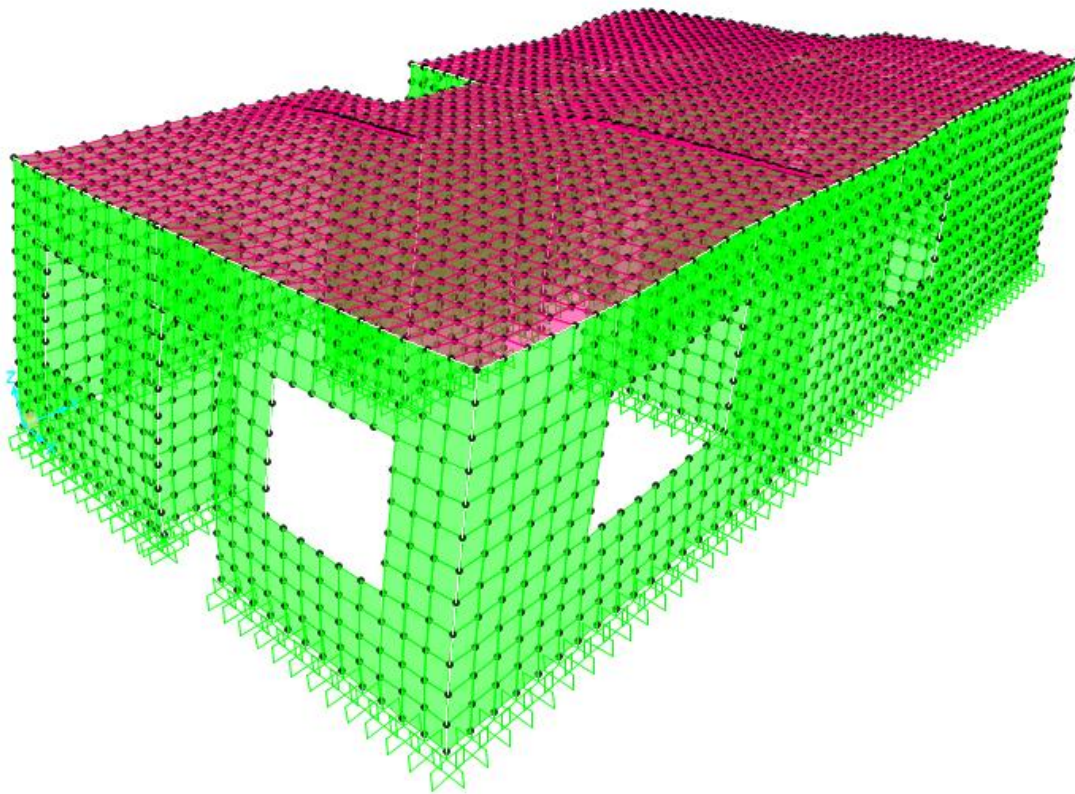


Figura 4.49 Estructura deformada por la fuerza sísmica en la dirección Y.

Aunque en la figura 4.50, no sea notable los desplazamientos como en la figura 4.47, los nodos se están comportando en el sentido de la estructura misma, donde la capacidad de daño se puede intensificar si fallara un elemento confinante, sin embargo para efectos de los desplazamientos obtenidos en este modelo ese no es el caso al ser valores pequeños.

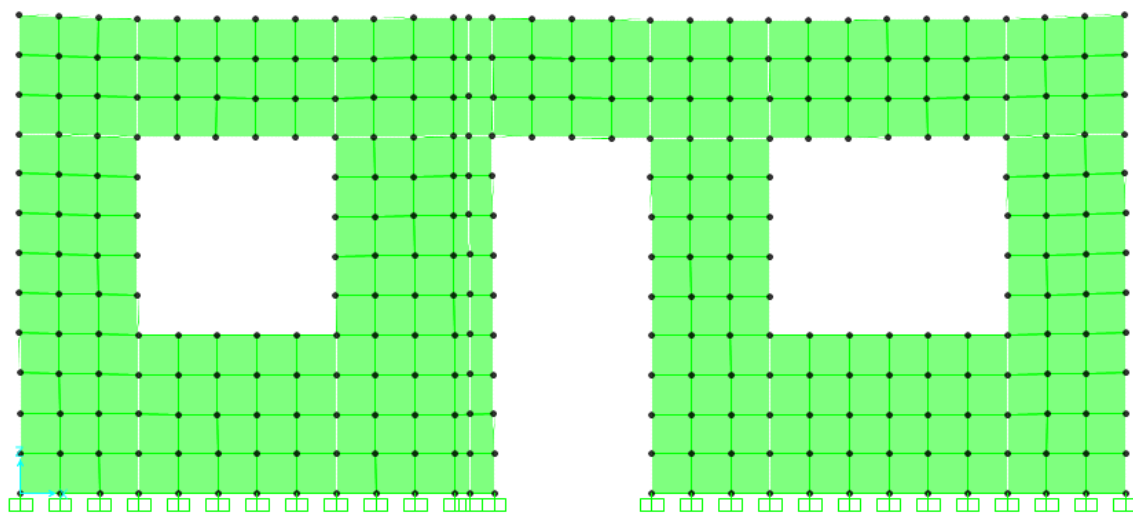
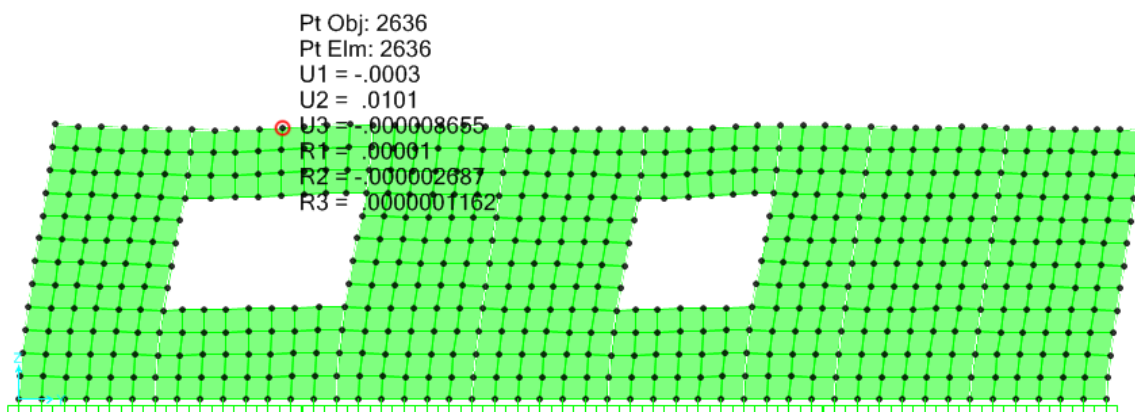


Figura 4.50 Fachada de la vivienda de interés social, deformada por la fuerza sísmica en la dirección Y.

Finalmente, en la figura 4.51, tenemos el valor del desplazamiento en el nodo 2,636, donde U_2 es la dirección Y y su valor es de 0.0101 centímetros. Si comparamos la diferencia de desplazamientos entre el sismo en la dirección en X y el sismo en la dirección en Y, tenemos que el mismo nodo tiene un desplazamiento “mayor” en la dirección del sismo en X, aunque la diferencia sean milésimas.



4.51 Valores del desplazamiento del nodo en la dirección Y.

En conclusión este apartado del modelo de la vivienda de interés social con concreto celular curado en autoclave, servirá solo como punto de comparación para la obtención de los desplazamientos del elemento estructural crítico, previamente obtenidos con el ANEMgcW, ya que la revisión ante una solicitud sísmica se realizó ante el método de análisis simplificado obteniendo únicamente los valores resistentes para diseño por cargas a compresión y por cortante (sismo). Sin incursionar en la no linealidad del elemento y tomando que la mampostería se comporta como un material homogéneo. Como dato final en la figura 4.52, se muestran los desplazamientos y giros del nodo ante cada combinación de carga.

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 cm	U2 cm	U3 cm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
2636	.1 CM + 0.77 C\	Combination	-0.001364	-0.00001	-0.004908	-0.000002711	-0.00111	0.0000002041
2636	COMB1	Combination	0.013193	0.003462	-0.004966	0.000002243	-0.001056	0.000001626
2636	COMB2	Combination	0.013372	-0.003211	-0.004961	-0.000007106	-0.001055	0.000001549
2636	COMB3	Combination	-0.0161	0.00319	-0.004856	0.000001684	-0.001165	-0.000001141
2636	COMB4	Combination	-0.015921	-0.003483	-0.00485	-0.000007666	-0.001163	-0.000001218
2636	COMB5	Combination	0.002732	0.011152	-0.004934	0.000013	-0.001096	0.000000747
2636	COMB6	Combination	0.003328	-0.011091	-0.004915	-0.000018	-0.00109	0.0000004913
2636	COMB7	Combination	-0.006056	0.011071	-0.004901	0.000013	-0.001129	-0.00000008316
2636	COMB8	Combination	-0.00546	-0.011173	-0.004882	-0.000018	-0.001123	-0.0000003389
2636	PUJE LATERA	Combination	0.013315	0.000124	-0.00005	0.0000002543	0.000049	0.000001258

4.52 Resultados Globales del desplazamiento del nodo ante cada combinación de carga.

4.5.2. Comparación de la construcción de la mampostería confinada apegada a la NTC, con los valores de diseño para CCCA.

A lo largo del presente trabajo se ha realizado una serie de comparaciones entre ambos sistemas constructivos, desde su aplicación y su capacidad de resistir los esfuerzos que obran en la estructura. Así como también se han aplicado las NTC-M y NTC-S, como una guía que fundamente dichas resistencias.

Para tener un poco más claro cómo se comporta el concreto celular, tenemos que entender como es su proceso de fabricación y haber realizado las pruebas de resistencia para observar su comportamiento ante las fuerzas a compresión o una fuerza externa a la estructura que se planea diseñar. Para esto en el primer capítulo se explican los tipos de concreto celular y su fabricación, en el segundo tenemos el proceso constructivo y un diseño de la vivienda de interés social el cual se revisó con el sistema constructivo de la zona de estudio, y en el tercer capítulo se puede revisar el estudio de evaluación de las propiedades mecánicas del sistema HEBEL, realizado por el CENAPRED, en donde se somete a compresión, tensión diagonal y cortante los blocks de concreto celular curado en autoclave.

La calidad de la pieza es fundamental ya que mientras más altos sean los valores de sus resistencias a compresión y cortante, mayor será su valor de la resistencia a la mampostería, estos valores incrementan la resistencia de diseño del muro a cargas verticales y por fuerzas cortantes o cargas laterales. Sin embargo aun cuando el concreto celular tiene un proceso de fabricación con estándares de calidad mayores a los del block hueco de concreto, su ligereza hace que los valores de resistencia sean similares a los del block convencional. Esto último debido a su composición química ya que los agregados que lo conforman tienen densidades menores a los que componen al tabicón, esto no quiere decir que tenga una rigidez menor al block hueco de concreto, al contrario, permite que el concreto celular pueda tener dimensiones de mayor tamaño sin

incrementar el peso de la estructura y por ende las dimensiones de la cimentación.

Gracias a las pruebas mecánicas realizadas a los blocks de concreto celular por parte del CENAPRED, y a la aplicación de las NTC-M y NTC-S, en un proyecto de vivienda de interés social, podemos determinar lo siguiente:

- El block de concreto celular empleado en el diseño de la vivienda de interés social tiene un peso volumétrico tres veces más ligero que el block hueco de concreto.
- La losa de concreto celular es prefabricada con refuerzo interior de acero y curada en autoclave además puede adaptarse a las dimensiones del diseño. Su peso volumétrico es de 720 kg/m^3 , en comparación a la losa de concreto de $2,400 \text{ kg/m}^3$.
- La carga vertical que trabaja en cada uno de los muros que conforman el diseño de la vivienda de interés social, es de menor magnitud aplicando el concreto celular a un sistema de losa de concreto y muros de mampostería convencional.
- La eficiencia estructural con el block de concreto celular, se puede apreciar en los valores de la resistencia a cargas verticales y por esfuerzo cortante, donde el área transversal es mayor por la geometría del block, la calidad del bloque al obtener un factor de reducción por esbeltez mayor al del block convencional, aun cuando la contribución del acero de refuerzo vertical es menor en este sistema.

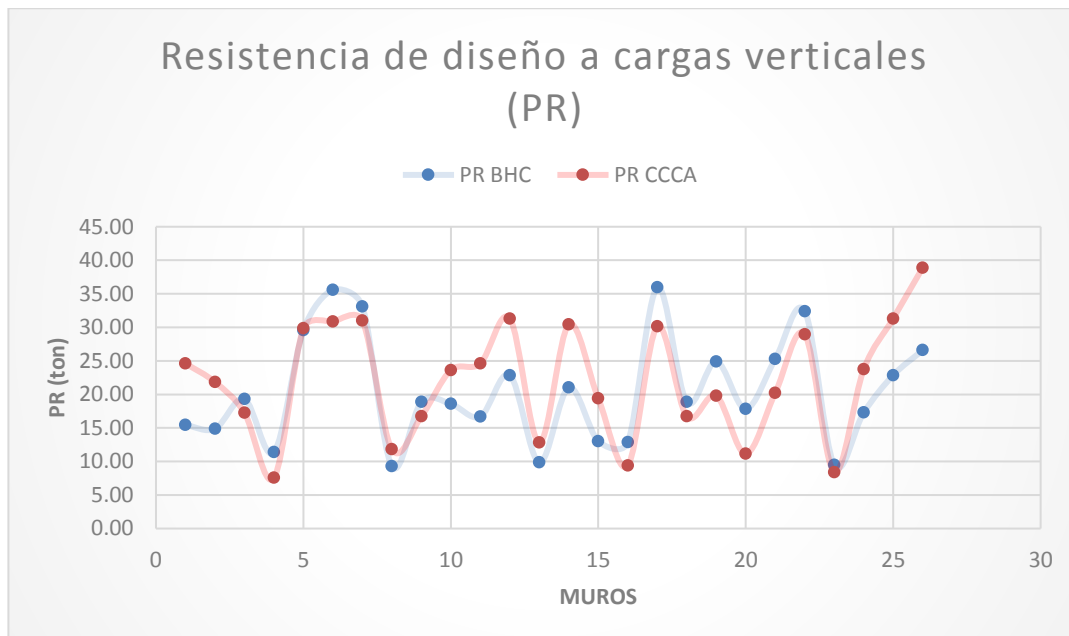
En el caso de una construcción de mampostería con block hueco de concreto, necesita para poder confinarse el muro y poder soportar las cargas a cortante, un refuerzo lateral el cual consiste en columnas o castillos con refuerzo de acero, esto hace que la construcción sea más pesada y por ende necesite una cimentación más grande y reforzada, al igual que las trabes y las contra trabes, que actuarán como los elementos confinantes.

En comparación con el block de concreto celular, su aplicación como elemento estructural será: mampostería con refuerzo interior, no es el primero en su tipo ya que existe el block multiperforado, pero las propiedades mecánicas de este último son menores al del concreto celular y su forma de aplicación es muy diferente, donde la misma pieza es la que conforma cada uno de los elementos estructurales y no existe una que se emplee como refuerzo longitudinal.

La diferencia llega a ser notable cuando se calcula la cimentación en base a los esfuerzos del terreno y la bajada de cargas de la estructura, donde la altura y espesor de la zapata, requieren una mayor dimensión en el diseño con block hueco de concreto que si se aplica el block de concreto celular, esto debido a las bajas densidades que conforman a los elementos estructurales (losa y muro), beneficiando en la parte económica, ya que esto se refleja como menor empleo de acero de refuerzo, menor volumen de concreto y reducción de los tiempos de obra.

A continuación se muestra la diferencia entre los esfuerzos resistentes de diseño de ambos sistemas constructivos, en donde la contribución del acero de refuerzo es notable en la mampostería con block hueco de concreto. En la figura 4.53, se puede apreciar que la resistencia es mayor en muros con longitudes de menor tamaño, en donde el block de concreto celular tiene una menor área transversal. Ya que la resistencia de este último mejora con la geometría del muro, llegando a una eficiencia estructural, en donde los centros de inercia, actúan en favor del elemento, como podemos observar en el caso del muro que fue objeto de estudio en este apartado, el cual tiene una longitud de 5.15 metros, y una resistencia de diseño a cargas verticales de 38.89 toneladas, a diferencia de la mampostería con block hueco de concreto que tiene una resistencia de 26.59 toneladas. Recordemos que los valores de la resistencia de diseño a compresión de la mampostería o f_m^* es menor en el block de concreto celular, por las bajas densidades y las celdas de aire que lo hacen un elemento ligero, haciendo importante considerar en un diseño la geometría de la pieza y que no contribuya en el incremento del peso de la estructura, la excentricidad calculada y

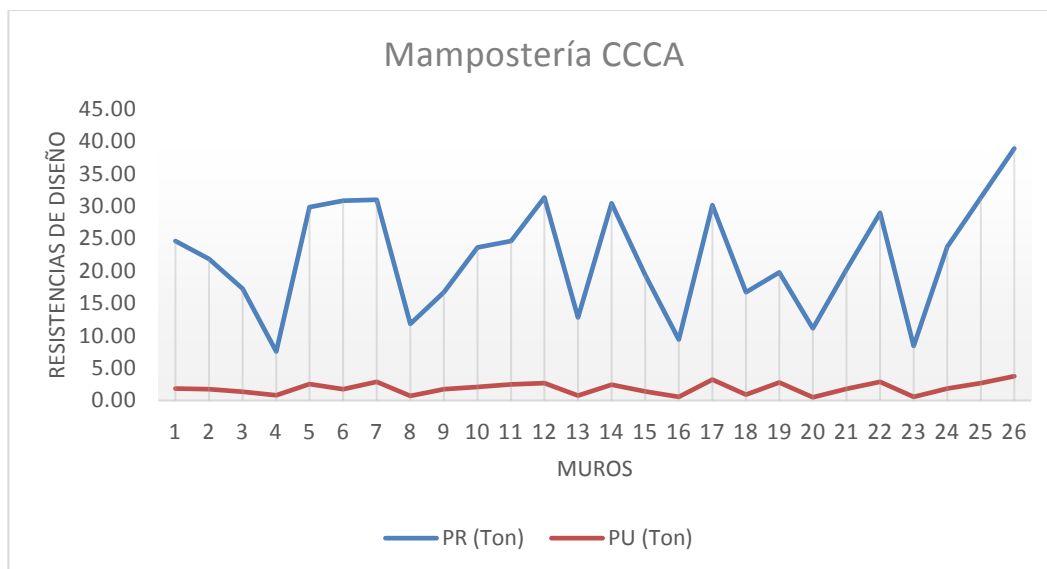
que fue utilizada para obtener el valor del factor de reducción de excentricidad y esbeltez, no disminuyo la integridad del elemento debido a que al tener un mayor espesor, es poco probable que falle por torsión debido a la excentricidad.



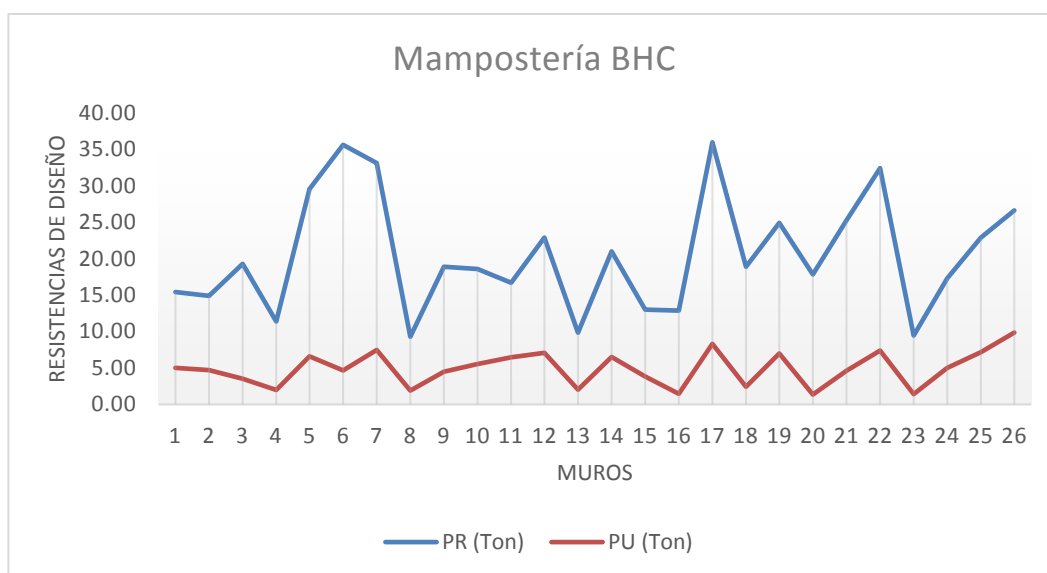
4.53 Resistencia de diseño a cargas verticales de ambos sistemas constructivos.

Podemos tener una idea más clara en las figuras 4.54 y 4.55, en donde se muestra la diferencia entre la resistencia de diseño y la resistencia actuante de cada muro en ambos sistemas constructivos.

En el diseño de la mampostería con block de concreto celular, aunque su resistencia de diseño no fue mayor en los muros cortos, debido a que la contribución del acero vertical, beneficia a las construcciones con castillos, y aun cuando la mampostería con refuerzo interior no puede tener separaciones longitudinales entre cada refuerzo vertical mayores a 6 veces el espesor de la pieza. La carga axial de diseño en este sistema quedo en un rango mínimo.



4.54 Resistencia y carga axial de diseño de la mampostería empleando block de concreto celular.



4.55 Resistencia y carga axial de diseño de la mampostería empleando block hueco de concreto.

Aunque las resistencias de diseño de los muros a cargas verticales, es similar en ambos sistemas constructivos, la carga axial de diseño que es la resultante de la bajada de cargas, el peso total del muro, y multiplicada por un área tributaria actuante en el elemento. Se aprecia claramente que es menor en la

figura 4.54, que corresponde al emplear el block de concreto celular, en donde la estructura es más ligera que al aplicar una losa y blocks de concreto.

- Como nota final la estructura no es menos rígida al emplear el concreto celular, en diferencia a la mampostería convencional, sino que además en varios muros tiene una mayor resistencia a las cargas por gravedad, que con una estructura más “solida”.

Y podemos hacer la comprobación aplicando la ecuación de rigidez lateral de la mampostería:

$$Ke = \left[\frac{H^3}{\beta E_m I} + \frac{\alpha H}{A G_m} \right]^{-1} \quad (4.19)$$

Donde:

β = Condiciones de frontera (3 voladizo, 12 muro doblemente empotrado)

I = Inercia de la sección del muro

α = Factor geométrico del área total del cortante (1.2)

Entonces:

Block hueco de concreto:

$$Ke = \left[\frac{(2.70)^3}{(12)(1,600,000)(1.3659)} + \frac{1.2 (2.70)}{(0.12)(5.15) (640,000)} \right]^{-1}$$

$$Ke = 111,829.30 \frac{kg}{m}$$

Block de concreto celular:

$$Ke = \left[\frac{(2.70)^3}{(12)(1,200,000)(1.7073)} + \frac{1.2 (2.70)}{(0.15)(5.15) (480,000)} \right]^{-1}$$

$$Ke = 104,839.38 \frac{kg}{m}$$

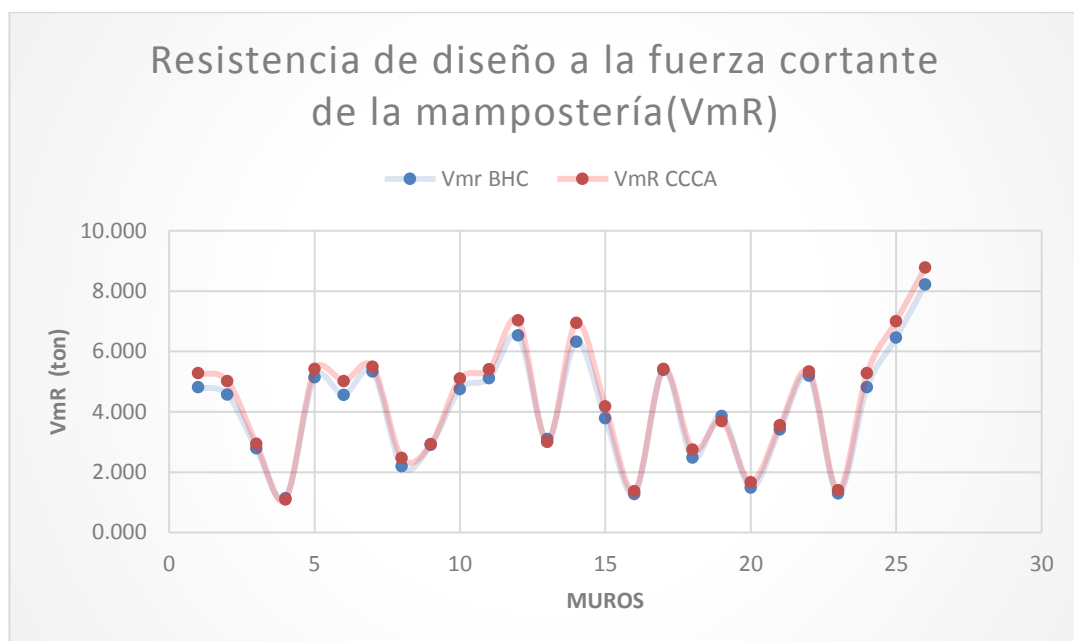
La rigidez del muro crítico en la vivienda de interés social, nos da una diferencia mínima entre ambos sistemas constructivos, únicamente por la variación de los módulos de elasticidad y cortante de la mampostería. Las NTC-M, solo toman en cuenta las rigideces por cortante tal como se menciona en las NTC-S, donde la rigidez a flexión se descarta, lo que equivale a solo tener desplazamientos por cortante, como vimos en el apartado 4.2, el método simplificado toma la rigidez lateral proporcional al área de los muros en lugar de la rigidez elástica teórica, por lo que hace a un lado las deformaciones por flexión.

Esto último toma relevancia tal como se explicó en la contribución de la rigidez en los muros largos y esbeltos, donde la rigidez optima se da en muros largos, pero los esbeltos toman valores alejados a los reales. Sin embargo el método simplificado, al emplear la hipótesis plástica, supone que todos los muros tienen una rigidez proporcional al área, por lo que considera que el desplazamiento al llegar a ser suficientemente grande para que el muro alcance su resistencia, el cortante actuante en cada muro es igual al resistente. Es decir cuando empleamos la ecuación de la resistencia al cortante de la mampostería tenemos que $V_m R$, tiene una aportación de la carga axial que actúa en el muro, pero si este valor se retira de la ecuación se puede obtener que: la resistencia al cortante es proporcional al área del muro.

Por lo que el método simplificado nos da resultados conservadores, en las comparaciones de ambos sistemas constructivos en cuestión de la rigidez. Para efecto de revisión en este trabajo aplicamos la rigidez total del elemento únicamente para poder conocer la contribución en el estado de daño de la estructura ya que solo se tomaron los valores de la rigidez por cortante, en el cálculo de los desplazamientos.

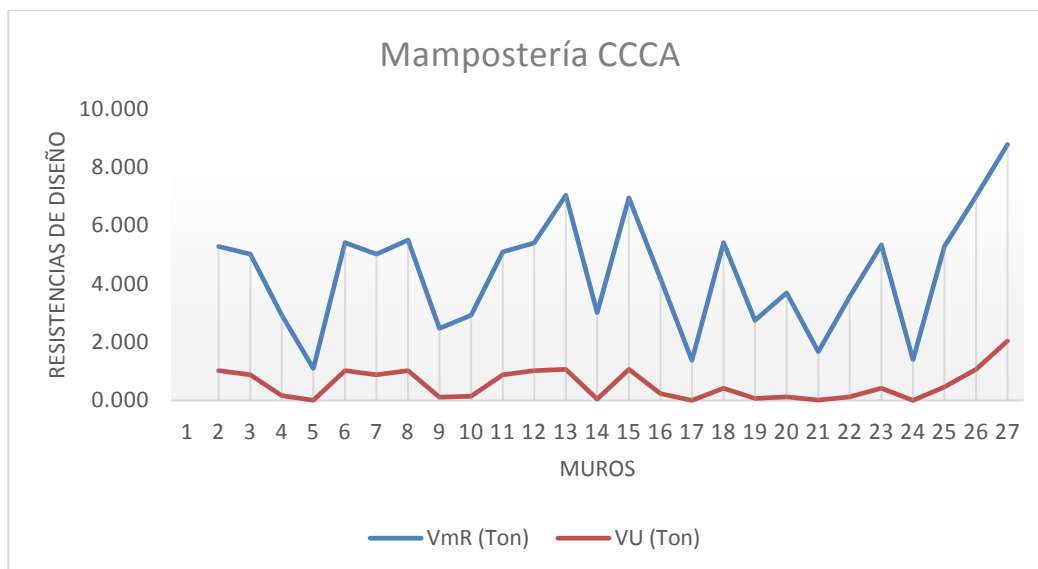
Continuando con la revisión de la vivienda de interés social, con las NTC, tal como lo muestran las figuras 4.54 y 4.55, la resistencia de diseño por cargas gravitacionales son mayores en todos los muros que componen a la estructura, a los valores de las cargas axiales de diseño, entonces se continuará con la revisión

de la fuerza cortante de diseño de la mampostería, y que esta sea mayor a la carga lateral que actúa en el elemento donde esta última la obtenemos del análisis sísmico simplificado y que es en base a la contribución del peso de la estructura y el área de los muros. En la figura 4.56, podemos observar la diferencia entre ambos sistemas constructivos y del aporte del área de los muros a la resistencia al cortante, en donde la geometría de la pieza es fundamental y brinda una resistencia teóricamente mayor en el block de concreto celular, a la pieza de block hueco de concreto.

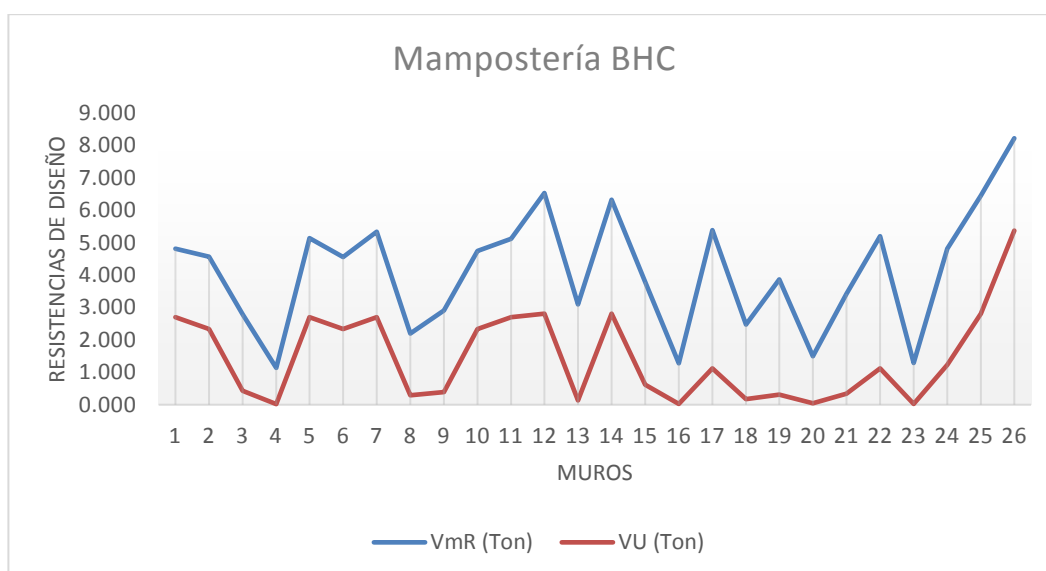


4.56 Resistencia de diseño a fuerza cortante de la mampostería en ambos sistemas constructivos.

En las siguientes figuras podremos apreciar una diferencia aún mayor en los esfuerzos cortantes, debido a la contribución mínima del peso de la estructura que ejerce en los desplazamientos de los muros el concreto celular, ante los muros con un sistema constructivo convencional.



4.57 Resistencia al cortante y fuerza lateral de la mampostería empleando block de concreto celular.



4.58 Resistencia al cortante y fuerza lateral de la mampostería empleando block hueco de concreto.

Con los resultados por cortante de ambos sistemas constructivos se puede resumir que el elaborado con concreto celular, además de cumplir por NTC, los valores de resistencia mayores a los actuantes, incrementa los parámetros de resistencia por su geometría, propiedades físicas y mecánicas que lo hacen

ligero, tanto en losa como en muros, aun comparándose con la misma resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería (v_m^*), la parte mas importante se encuentra en su eficiencia estructural y en los bajos valores de carga vertical que aporta a la estructura.

Se puede llegar a la conclusión que con la revisión del análisis estático y el método simplificado de análisis sísmico, el concreto celular cumple con las demandas a los esfuerzos a los que está sujeta la vivienda de interés social. Complementando con los beneficios que se le atribuyen desde su fabricación, sin embargo al variar el proceso constructivo y que a su vez este análisis considera al muro como un sistema homogéneo en donde los elementos que lo confinan se toman como parte del propio elemento, este necesita de un mayor refuerzo longitudinal, para la resistencia vertical del muro (por ser mampostería con refuerzo interior), según las NTC-M, sin embargo este refuerzo no puede llegar a compararse con lo que necesita cada castillo en la mampostería convencional, ya que aunque parezca que son mayores los refuerzos longitudinales aplicando el concreto celular, el acero total es menor que con una vivienda típica, lo mismo con el concreto y los elementos confinantes.

El propósito de este trabajo fue la revisión de la vivienda de interés social mediante la aplicación de la normativa vigente en el Distrito Federal, con los valores del tipo de terreno y coeficientes sísmicos de la zona de estudio, en este caso de la ciudad de Villahermosa en el estado de Tabasco, como se trata de resumir en este apartado, todos los valores obtenidos a las hipótesis y métodos que marcan las NTC, en los que obtuvimos resultados teóricos favorables en el caso de emplear la mampostería con concreto celular. Pero al solo obtener valores numéricos y comprobando que por norma fueran seguros, surge la necesidad de conocer el comportamiento del material, ante la carga obtenida de la hipótesis plástica y del método simplificado, por lo que se empleó el modelo tri-lineal mencionado en el apartado 4.3, y elaborar una curva de capacidad para cada muro que conforma la vivienda de interés social y conocer su estado de

daño con los parámetros obtenidos por Ruíz, Flores y Alcocer, en base a pruebas experimentales en muros de mampostería.

Al descartar la contribución de los esfuerzos por flexión en la aplicación del método simplificado, la rigidez del muro ante este esfuerzo no se contempla, entonces el poder calcular un desplazamiento por la carga lateral obtenida por el análisis sísmico y la hipótesis plástica, solo se considera la rigidez al cortante. Es por ello que aunque u , que es el desplazamiento total del muro, y se obtiene por la contribución de k_f y k_v , no se empleará para conocer el proceso de degradación del muro, sino en los términos de las propiedades a corte, solo se empleo k_v . Siguiendo la hipótesis plástica por NTC y mediante el modelo propuesto por Flores y Alcocer, se obtuvieron las distorsiones, los estados de daño y la degradación de la resistencia de los muros.

Para concluir este apartado tenemos que ambos procesos constructivos, son aplicables teóricamente para la construcción de la vivienda de interés social, bajo el reglamento de construcción del Distrito Federal.

- Las resistencias de diseño en ambos procesos constructivos son mayores a los valores actuantes.
- El material propuesto (concreto celular), en su presentación de block curado en autoclave, y elaborado por HEBEL, cumple en la vivienda de un solo nivel, ante una acción sísmica, según lo que marca la NTC-S en su capítulo 7, donde se contempla la contribución del peso de la estructura y la geometría del muro, comparando los resultados de cada F_{si} , con la hipótesis plástica de las NTC, dando valores menores a los de la norma.
- El material cumple con las especificaciones que marcan las NTC, en calidad, resistencia a compresión diagonal y compresión de la pieza, como un producto de densidad ligero y con una resistencia similar al tabicón.

- Las normas consideran el proceso constructivo de refuerzo interior, aplicable a viviendas de un solo nivel, en esta revisión se cuidó que los refuerzos, colocación de las piezas y materiales que contribuyeron a los valores finales de resistencia, cumplieran con base a las NTC.
- Aunque ambos procesos constructivos son diferentes en el tema de confinamiento, tenemos que la resistencia de los elementos estructurales son similares en valores numéricos y teóricos, en el capítulo 4, apartado 4.5.1., se modeló la vivienda de interés social para visualizar el comportamiento de los elementos estructurales elaborados con concreto celular y con refuerzos interiores de acero. Demostrando un comportamiento similar al de la mampostería confinada.
- La baja densidad de la pieza de concreto celular, contribuye a que las cargas actuantes en la estructura sean 3 veces más pequeñas que con muros de concreto convencional, como se ve en la rigidez de ambos muros “O”, con las mismas dimensiones a excepción del espesor de la pieza, en el concreto celular es menor por muy poco, lo que nos dice que la contribución de la resistencia en el muro, además de los refuerzos de acero longitudinales, la calidad de la pieza, módulo de elasticidad y cortante, es la geometría del mismo, un factor muy importante y que podemos considerar como la “eficiencia estructural”.
- Al ser una pieza con dimensiones mayores a las del block hueco de concreto, y a su vez más ligera, la inercia es mayor en el block de concreto celular, ya que puede oponer una resistencia mayor a los desplazamientos laterales.

El construir con concreto celular viviendas de interés social puede ser un proceso del cual pueden surgir muchas dudas, ya que la ligereza del mismo material podría resultar en ideas de que no resistiría una fuerza aplicada o que su resistencia es mínima, sin embargo el fin de este capítulo es demostrar que el

concreto celular como elemento estructural, es aplicable en una vivienda de un solo nivel, donde los muros con el refuerzo adecuado y con base en lo que marcan las Normas Técnicas Complementarias, son capaces de resistir las cargas laterales o axiales que actúan en la estructura. Y como se demuestra en el apartado 4.2, llegan a tener resistencias a cortante y compresión mayores que al sistema convencional.

4.5.3. Comparación estructural de ambos tipos de construcción

La comparación estructural, de cada tipo de proceso constructivo se basa en la resistencia final que tenga cada edificación, se puede hablar que la mampostería convencional es más confiable porque tiene elementos tipo diafragma al poder confinar el bloque con refuerzos combinados de concreto y acero, dando una construcción segura y robusta. Un ejemplo del diseño de la vivienda que se calculó en la sección 4.2., de este capítulo, es que varios de los muros con distancias relativamente largas, superiores a los 3 metros de largo, necesitan una columna para poder evitar la deformación del muro y así reforzar la carga y peso propio del mismo.

Sin embargo, el confinamiento de los muros con elementos estructurales de concreto reforzado, la hacen una construcción pesada, lo que normalmente se hace en casi todo el país, claro es muy difícil que ante una carga accidental el edificio ceda y colapse en el momento, si llevo un proceso constructivo correcto y su armado de igual forma es el adecuado para soportar cualquier imprevisto. Pero si se ve por el lado de costo - beneficio, tenemos una construcción pesada, cara y con tiempos de obra en un rango de 2 a 3 meses.

La diferencia principal es la composición del material de mampostería, en este caso el block hueco de 12 centímetros de espesor, comparado con el block de 15 centímetros de CCCA. Como de igual forma se vio en la sección de las propiedades físicas y de diseño del segundo, el cual promete diversos beneficios para el usuario final, desde ser un material ligero, térmico, resistente al fuego y acústico. Es entonces la diferencia entre estos dos elementos la que puede cambiar la manera de construir al área de estudio, "viviendas de interés social", el tiempo de construcción de la obra, el ahorro de material en las cimentaciones viendo ambos desde un punto de vista estructural, ya que las dimensiones de la cimentación es mayor cuando se emplea la mampostería convencional a la de la mampostería con block celular, la mano de obra es mucho menor debido a la baja densidad de su estructura lo cual permite un rendimiento al día de 15 m².

Si suponemos que una vivienda normalmente se lleva entre 2 a 3 meses de estar completamente habitable, sin contar los diversos acabados finales que requiera. La vivienda con CCCA, no tarda ni un mes en poder terminar de ensamblar cada muro y losa requerida en el diseño, debido a la ligereza del material y a su casi fácil sistema de autoconstrucción que el mismo usuario final puede hacer.

El objetivo de la tesis no es más que poder garantizar mediante los dos diseños con ambos sistemas de construcción una seguridad apegada a las Normas Técnicas Complementarias por los esfuerzos de compresión y cortante, dando resultados favorables en los valores resistentes y realizando un comparativo final con apoyo de un programa de estructuras para cotejar únicamente la fuerza sísmica actuante en ambos tipos de estructuras. Diferentes, si, en su composición química de los materiales pero similares en su proceso constructivo y forma de revisión. El sistema de block curado en autoclave demostró ser un sistema seguro, resistente al sismo y al cortante, que además permite al usuario tener una mejor calidad de vida, logrando este último punto al poder hacer más con menos, ya que no necesita tanto refuerzo de acero, al ser el bloque el que trabaja entre sí, generando una estructura sólida debido a la alta cohesión entre sus juntas y el adhesivo cementante generando una propia resistencia entre cada elemento muy diferente al del bloque convencional.

Esto lo vemos en las pruebas realizadas por el CENAPRED, en la revisión del sistema HEBEL, en el cual se puede observar el comportamiento del muro ante una fuerza en diagonal y a la deformación que se logra con valores similares a los blocks ligeros de concreto convencional.

Si bien este apartado lleva el nombre de comparación estructural de ambos tipos de construcción, podemos mencionar los siguientes a fin de resumir lo realizado a lo largo de este trabajo:

- El block de concreto celular puede ser aplicado en un sistema de mampostería, siempre que los refuerzos longitudinales en posición

vertical no excedan una separación entre sí de 6 veces el espesor de la pieza empleada.

- Ambos sistemas necesitan de cimentación, refuerzos de acero en posición vertical y horizontal, uno menos que otro pero no por ser más ligero, no quiere decir que no necesita un elemento que lo confine.
- El comportamiento de los muros de concreto celular en el sentido de esfuerzos – desplazamientos, por un método tri-lineal, es similar al de tabicón, con la revisión de la rigidez cortante del muro.
- Estructuralmente, el concreto celular puede ser colado en sitio, pero no se recomienda en losas o muros, debido que a la reacción química que forma las partículas de aire, se comportan de una manera inestable y puede formar pequeñas grietas a tensión debilitando la estructura.
- Su proceso constructivo cambia en la aplicación de los elementos confinantes, es decir las trabes, columnas y dinteles, en la mampostería convencional son elementos externos a los blocks huecos de concreto, mientras que en la mampostería con block de concreto celular, estos elementos son parte del propio muro.
- Si comparamos otro sistema constructivo de mampostería con refuerzo interior, tenemos los blocks multiperforados, estos al tener varias celdas en la pieza, al momento de fallar ya sea por cortante, aplastamiento o deslizamiento, la pieza pierde rigidez y cada celda falla en el interior del block, a comparación con la propiedad geométrica del block de concreto celular que maneja 3 diferentes piezas para desempeñar una función en específico.
- La rigidez total del muro, es casi similar en ambos materiales, con la variación de los módulos de cortante y elasticidad, aun cuando la pieza de concreto celular tiene una mayor inercia.
- Aunque ambos materiales presentan comportamiento no lineal a niveles bajos de deformación se consideran como materiales elásticos.

Ambos métodos o procesos constructivos dieron resultados favorables, con resistencias a compresión y cortante mucho mayores de las cargas axiales y laterales de diseño, diferencia notable con el block de concreto celular, haciendo referencia una vez más a su forma geométrica y a la capacidad que tiene de soportar los esfuerzos aun con una densidad menor que al block hueco de concreto.

Estos resultados fueron realizados para una vivienda de interés social de una sola planta, por lo que al incrementar los pesos por gravedad, al variar el sistema de losas, se requerirá de otro estudio para verificar que se cumpla con lo estipulado en las Normas Técnicas Complementarias.

Conclusiones

El concreto celular a lo largo de este trabajo, fue empleado como elemento estructural en el diseño de los muros de mampostería de una vivienda de interés social, para la ciudad de Villahermosa, en el estado de Tabasco.

El material propuesto tenía que cumplir con las especificaciones mecánicas que marcan las Normas Técnicas Complementarias; normas, en las cuales el concreto celular no aparece, sin embargo con las pruebas realizadas por parte del CENAPRED, se obtuvo un amplio panorama para poder comparar el material, con las propiedades de una pieza ligera de concreto, ya que la resistencia a compresión diagonal es similar al block hueco de concreto o tabicón. De aquí parte la idea para comparar un sistema constructivo aplicando la mampostería convencional y el segundo aplicando el concreto celular en su presentación prefabricada de block autoclaveado, proceso en el cual fue curado en hornos con temperaturas mayores a los 200 °C, con una presión de 13 Bar., durante 12 horas.

Otro motivo por el cual surge la propuesta de revisar una vivienda de interés social con el concreto celular es por las capacidades y ventajas que tiene sobre otros materiales empleados en la industria de la construcción.

- Resistente al fuego y térmico.

De todas las ventajas que tiene el concreto celular primero por la ligereza de su estructura, que se logra por las miles de burbujas de aire micro y macroscópicas, formadas por una reacción química entre un material alcalino, como el polvo de aluminio con la arena sílice, es su resistencia al fuego que al ser un material con una estructura formada por celdas de aire, retrasa el avance del fuego en la estructura, la cual puede soportar hasta 4 horas sin que esta falle, logrando soportar un máximo de 1,000°C, caso muy diferente con el block de concreto convencional ya que la máxima temperatura que alcanza antes de fallar

son 90°C, cuando en un incendio se llegan a tener temperaturas por arriba de los 300°C.

Además, el concreto celular motiva a la realización de este trabajo, por su propiedad térmica; la cual, hace que este material aplicado en un sistema constructivo pueda mantener temperaturas tanto frías como calientes en el interior de la vivienda, debido a que no hay transmisión térmica. Esto puede representar un gran ahorro, desde la construcción de la vivienda, hasta en el consumo de energía eléctrica. Los estados del sur gran parte del año sufren de temperaturas altas, por lo que este material aplicado a viviendas de bajo costo, es una alternativa ideal para la zona sur del país.

A partir del capítulo 4, se revisó el comportamiento del concreto celular, bajo las consideraciones de las NTC, que se cumpliera la resistencia en cortante y compresión, en su aplicación como elemento estructural en un muro de mampostería, logrando resultados conservadores en un aspecto lineal, cumpliendo de igual modo con una revisión del método de análisis sísmico simplificado, en una estructura de un solo nivel. A fin de complementar estos resultados se propuso una revisión del muro de mampostería con concreto celular, bajo 3 métodos, el primero fue aplicando las NTC, en el apartado de mampostería, sismo y acciones, el segundo fue empleando el programa ANEMgcW, y el tercero fue modelando la vivienda de interés social en el programa de análisis estructural SAP2000. Con el fin de obtener una comparación del comportamiento de la estructura ante una acción sísmica.

Al ser una revisión de una vivienda de interés social, con un material propuesto, se buscó una alternativa para observar el comportamiento del material, ante una carga lateral, pero sin incursionar en el estado de daño final del muro, por lo que se empleó el modelo tri-lineal propuesto por Flores y Alcocer, como una herramienta que simulara el proceso de degradación del muro, sin abarcar la parte experimental (curva de histéresis), y con los valores obtenidos por la

hipótesis plástica, con el fin de obtener teóricamente el estado de daño de cada muro que conforma la vivienda de interés social.

Los resultados obtenidos por las curvas de capacidad, aplicando el modelo tri-lineal y por parte del ANEMgcW, fueron distorsiones con valores relativamente pequeños, en donde no llegan a comportarse en un estado no lineal ya que todos los muros de la vivienda de interés social sus distorsiones son menores a 0.001, que es el rango en el que la mampostería comienza su proceso de degradación o pérdida de rigidez.

Gracias a la experimentación y pruebas realizadas a muretes por parte de Ruíz (1998), propuso una tabla en la cual se puede identificar el estado y grado de daño de la mampostería, herramienta que se empleó en este trabajo para poder asignar a cada muro, su estado de daño teórico ante la acción sísmica.

El objetivo no era el obtener los resultados de un software sino que este solo fuera una herramienta que sirviera de comparación a los métodos propuestos por las NTC, aplicarlos a los modelos de estudios realizados en pruebas experimentales y poder emplearlos como un punto de apoyo muy importante para la realización de este trabajo. Finalmente poder llegar al objetivo que no es más que brindar seguridad estructural, empleando las propiedades mecánicas y de diseño del concreto celular en una vivienda de interés social.

Recomendaciones

El concreto celular es un material sumamente ligero, lo que lo hace una opción para emplearlo en viviendas de bajo costo.

Aun con las ventajas que tiene en sus propiedades físicas y en su composición química, se recomienda emplearlo como un elemento estructural en viviendas de un solo nivel, por el tipo de mampostería reforzada interiormente.

Para la elaboración de este trabajo se idealizo emplear este sistema constructivo por las ventajas que posee, sobre el block hueco de concreto, al ser un material térmico, resistente a la humedad, permeable, resistente al fuego y acústico. Ventajas que obtiene por las celdas de aire que conforman al block de concreto celular.

Se recomienda emplearlo por su eficiencia estructural ya que al ser un material con una densidad mucho menor al del block hueco de concreto, la pieza puede tener una geometría aun mayor que los blocks convencionales, lo que beneficia en obra a un mayor rendimiento. De igual modo al abarcar mayor área, significa menos material y al ser ligero, un ahorro considerable en la cimentación.

Entonces el concreto celular es recomendable: por el ahorro en materiales y mano de obra, ya que no se necesita un gran número de personal, al emplear menos cimbra, menos concreto y menos acero. Es un material de fácil instalación, por lo que la pieza puede adaptarse a la medida que sea necesaria, representando menos material de desperdicio.

No se recomienda emplear el concreto celular colado en sitio, como elemento estructural, ya que al no llevar un curado adecuado, las burbujas de aire se dispersan en mayor volumen, por lo que puede ocasionar pequeñas fisuras debido a tensión.

Referencias literarias

- Alcocer, S. (1997). Comportamiento Sísmico de Estructuras de Mampostería: Una revisión. En A. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (Ed.), *Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, (pág. 191). Veracruz.
- Alcocer, S. (1998). Algunas Tendencias del Concreto Estructural . *XI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Monterrey, N.L.
- A. Vance, P. (2007). National Ready Mixed Concrete Association. *Concrete In Focus* .
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). (1993). *Guide for Cellular Concretes Above 50 pcf, and for Aggregate Concretes Above 50 pcf with Compressive Strengths Less Than 2500*.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI 523.1R "Guide for Cast-in-Place Low-Density Concrete"*. ACI.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI 523.2R "Guide for Precast Cellular Concrete Floor, Roof, and Wall Units"*. ACI.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). (1998). *Standard Specification for Precast Autoclaved Aerated Concrete (PAAC) Wall Construction Units*.
- Carrillo, J., Alcocer, S., & Aperador, W. (2013). *Mechanical Properties of concrete for low-cost housing*.
- Cesín Farah, J. (2008). Análisis Estructural de Estructuras de Mampostería.
- Cervantes, A. (2008). Nuevas Tecnologías en Concretos, Concreto Celular-Concreto Reforzado con Fibra-Concreto Ligero Estructural. México.
- CONTEC. (2010). *Manual Técnico CONTEC Mexicana 3era. Edición*.
- Fernández Baqueiro, L., Marín Gómez, F., Varela Rivera, J., & Vargas Marín, G. (2009). *Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto*.
- Flores, L. (2009). Diseño de Estructuras de Mampostería. *Sexto Simposio Nacional sobre Ingeniería Estructural en la Vivienda*. Guanajuato, Gto.
- H. AYUNTAMIENTO CONSTITUCIONAL DEL MUNICIPIO DEL CENTRO. (2013). *REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN DEL MUNICIPIO DEL CENTRO, ESTADO DE TABASCO*.
- HEBEL. (2013). *Mampostería Reforzada Interiormente, Sistema con block solido, block "O" y block "U"*.
- Huerta, R. (2004). Concreto Ligeros. *Revista de la Asociación de Hormigón Preparado* .

Gaceta Oficial del Departamento del D.F. (2004). *NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*.

Gaceta Oficial del Departamento del D.F. (2004). *NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA*.

Gaceta Oficial del Departamento del D.F. (2004). *NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR SISMO*.

INEGI. *Síntesis geográfica, Nomenclator y Anexo cartográfico del estado de Tabasco*. INEGI, Secretaría de Programación y Presupuesto, D.F.

INSTITUTO AMERICANO DEL CONCRETO (ACI). (2000). Seminario sobre Código ACI 318-99.

Larios Romero, J., & Hernandez, J. *Zonificación fisiográfica del estado de Tabasco*. CONACYT, Ciencia y Tecnología, Teapa.

MASONRY STANDARDS JOINT COMMITTEE (MSJC). (1992). *Building Code Requirements for Masonry Structures*.

ONNCCE. (2004). *NMX-C-036-ONNCCE-2004 "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS, TABICONES Y ADOQUINES-RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN-MÉTODO DE PRUEBA"*. ONNCCE, NORMA MEXICANA.

ONNCCE. (2004). *NMX-C-038-ONNCCE-2004 "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LADRILLOS, TABIQUES, BLOQUES Y TABICONES PARA LA CONSTRUCCIÓN"*. ONNCCE, NORMA MEXICANA.

ONNCCE. *NMX-C-128-ONNCCE "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CONCRETO SOMETIDO A COMPRESIÓN-DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y RELACIÓN DE POISSON"*. ONNCCE, NORMA MEXICANA.

Pérez Gavilán, J. (s.f.). Resistencia a corte de Muros de Mampostería Confinada.

Pérez, M. (2006). Un repaso al Concreto Celular. *Construcción y Tecnología*.

Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas. (2009). *Gobierno del Estado de Tabasco, Atlas de Riesgo del Estado de Tabasco*.

THE MASONRY SOCIETY. *TMS 402/602 "Building Code Requirements for Masonry Structures"*.

XELLA Mexicana S.A. de C.V. (2011). *Panel Losa y Entrepiso*.

Zepeda, J. A., Otá, L. A., & Alcocer, S. (1998). *Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Sistema HEBEL*. CENAPRED.

Referencias electrónicas

Tena Colunga, A., Cano Licona, J., López Blancas, A., & Pérez Osornio, M. Á. (s.f.). SciELO. *Revisión y actualización del método simplificado de análisis de estructuras de mampostería de los reglamentos de diseño sísmico de México* . México.

Tena, A., & Miranda, E. (s.f.). Comportamiento Mecánico de la Mampostería.

Terán Gilmore, A. (s.f.). Análisis Sísmico No Lineal.

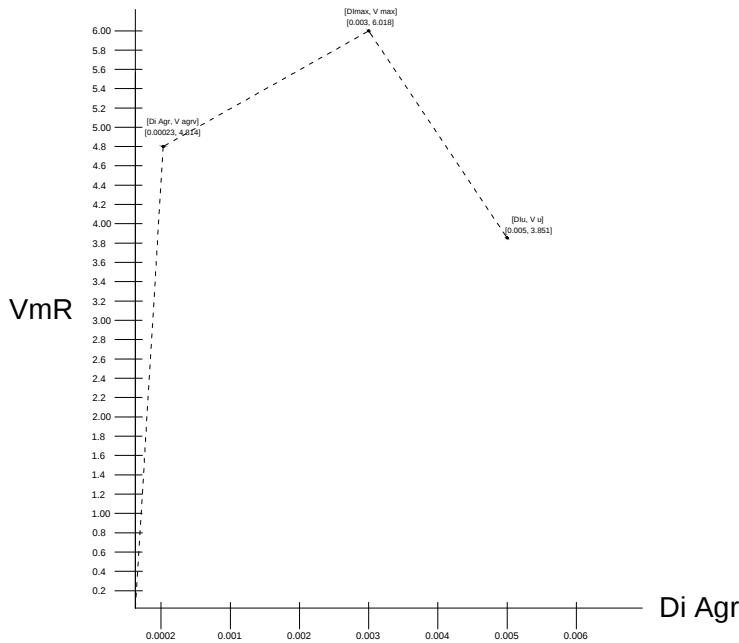
Ruiz García, J. (2009). SciELO. *Evaluación de la fragilidad basada en distorsión lateral para muros de mampostería confinada* . México.

Terán Gilmore, A. (2011). Análisis Inelástico de Estructuras de Mampostería. *Séptimo Simposio Nacional sobre Ingeniería Estructural en la Vivienda*.

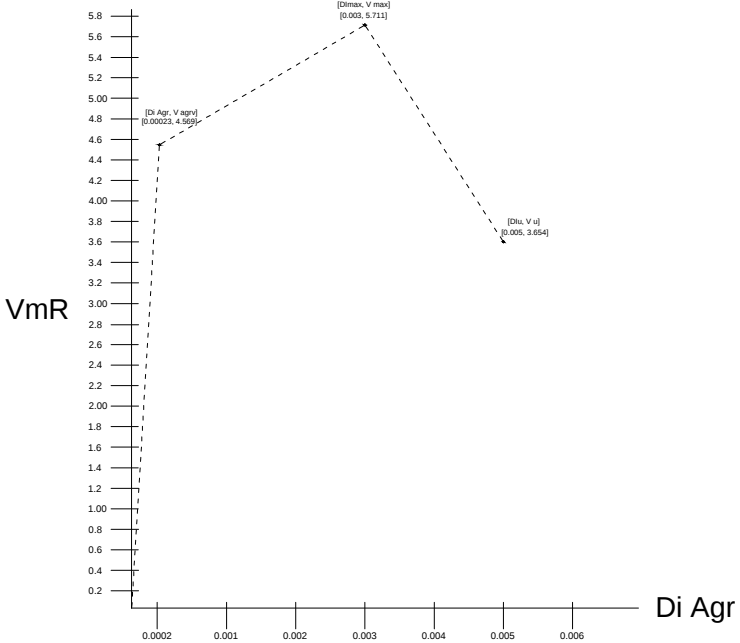
Anexos

GRÁFICAS

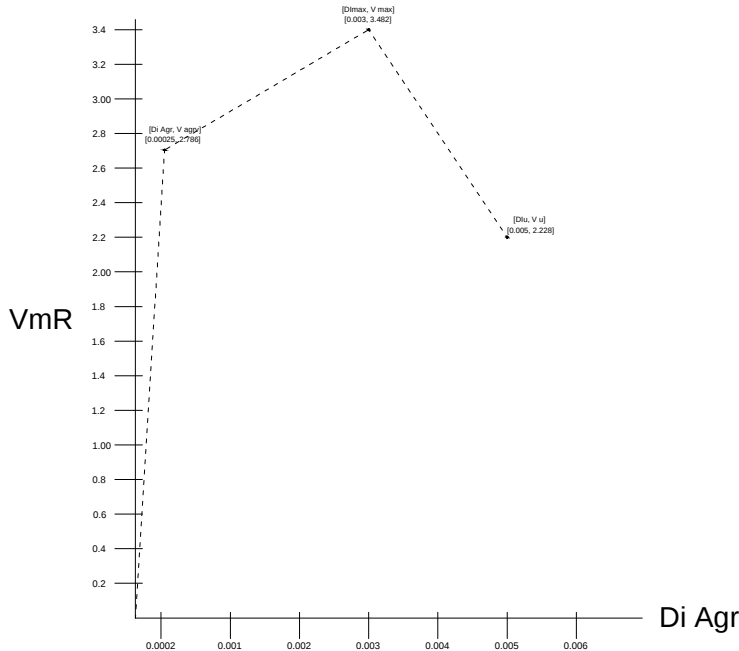
(G-1 a G-14)



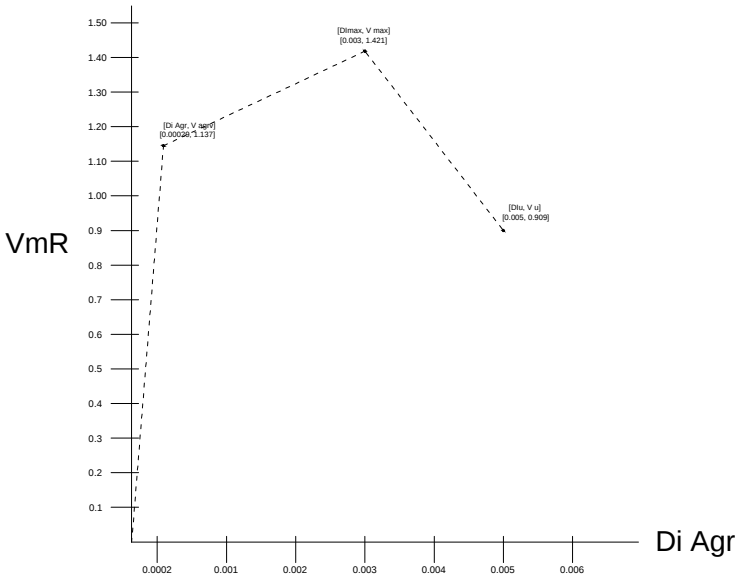
Muro No. 1



Muro No. 2



Muro No. 3



Muro No. 4

MURO 1-4 MAMPOSTERÍA CONVENCIONAL

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

G-1

ESCALA:
Sin escala

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON BLOCK
HUECO CONCRETO

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

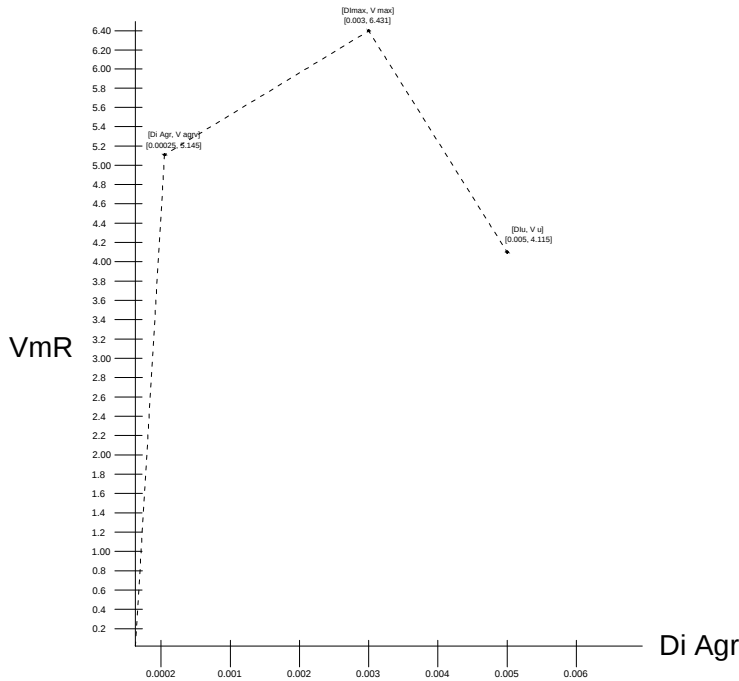
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

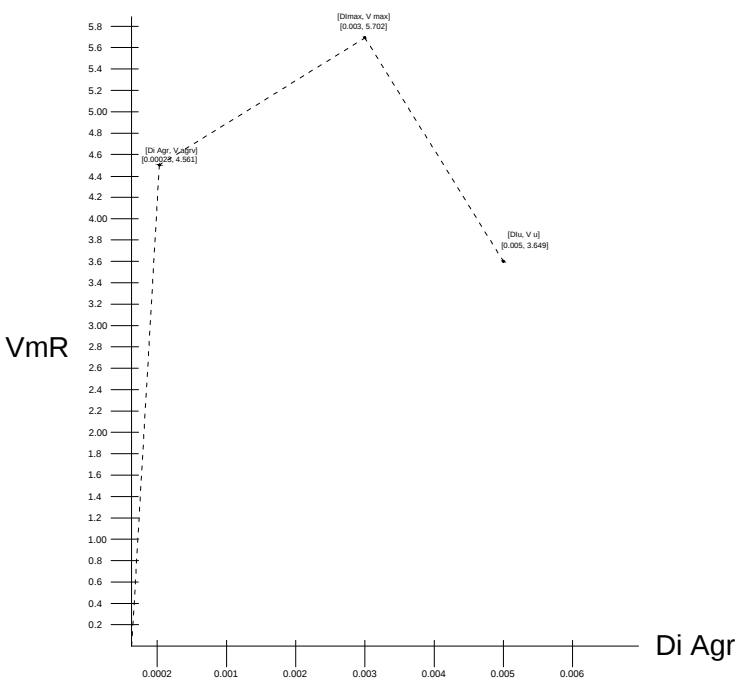
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:

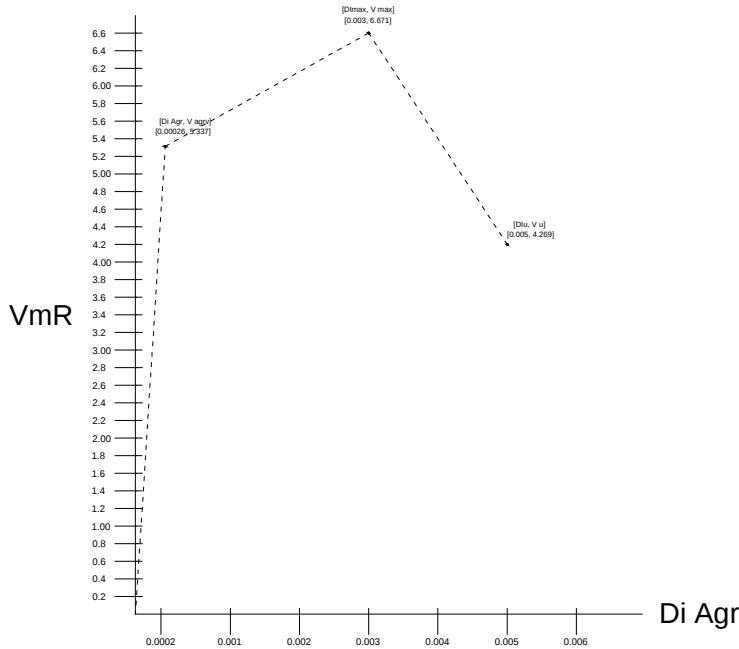
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.



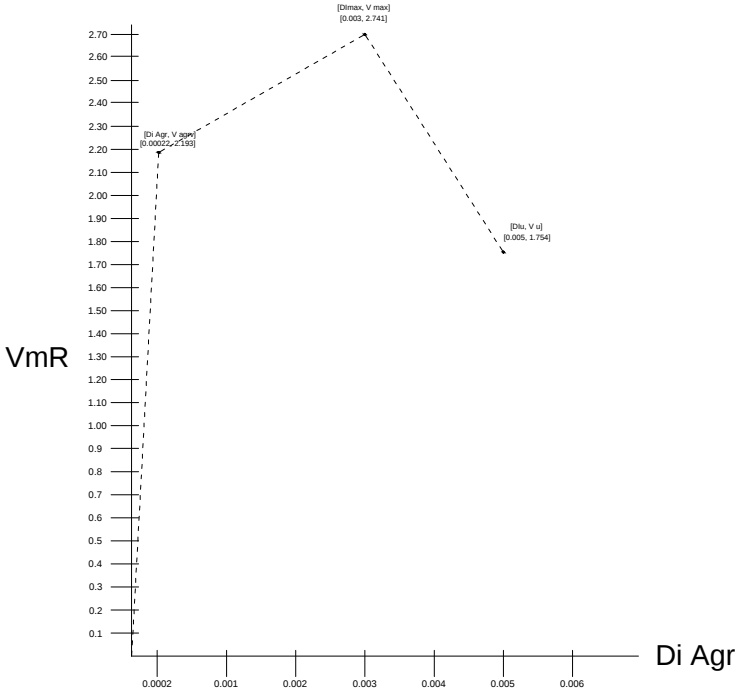
Muro No. 5



Muro No. 6



Muro No. 7



Muro No. 8

MURO 5-8 MAMPOSTERÍA CONVENCIONAL

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON BLOCK
HUECO CONCRETO

G-2

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

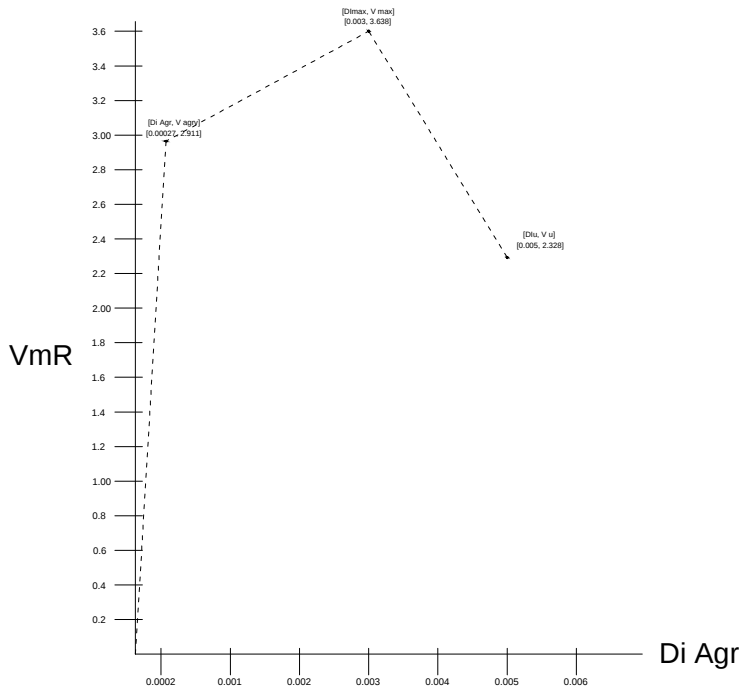
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

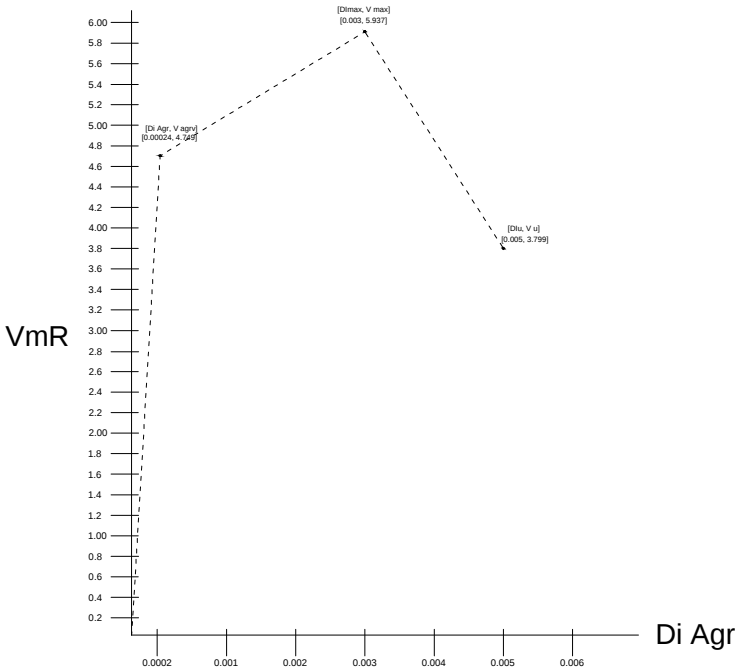
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:

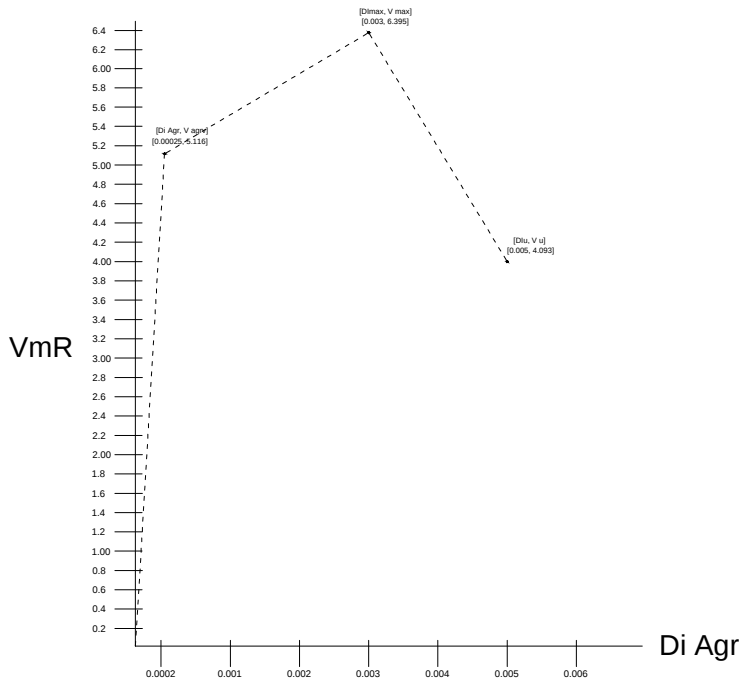
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.



Muro No. 9



Muro No. 10



Muro No. 11

MURO 9-11 MAMPOSTERÍA CONVENCIONAL

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:
CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

G-3

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

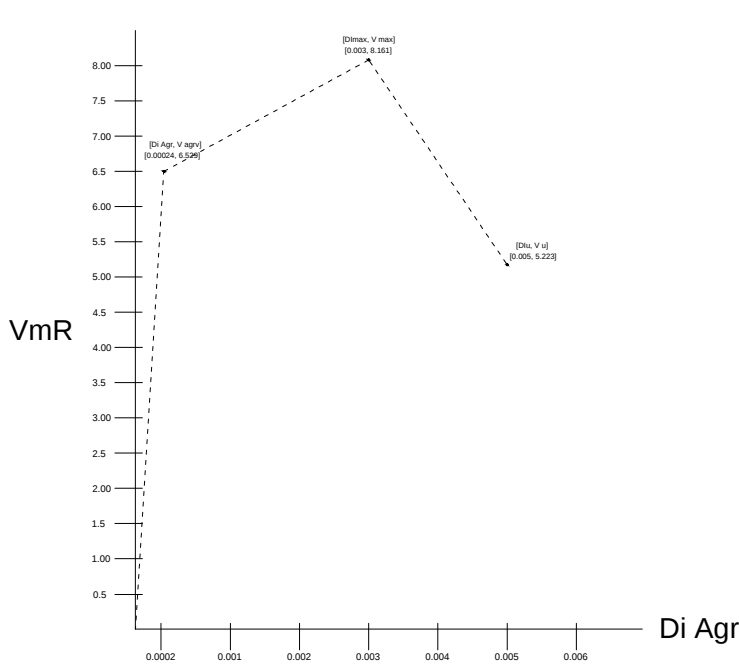
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

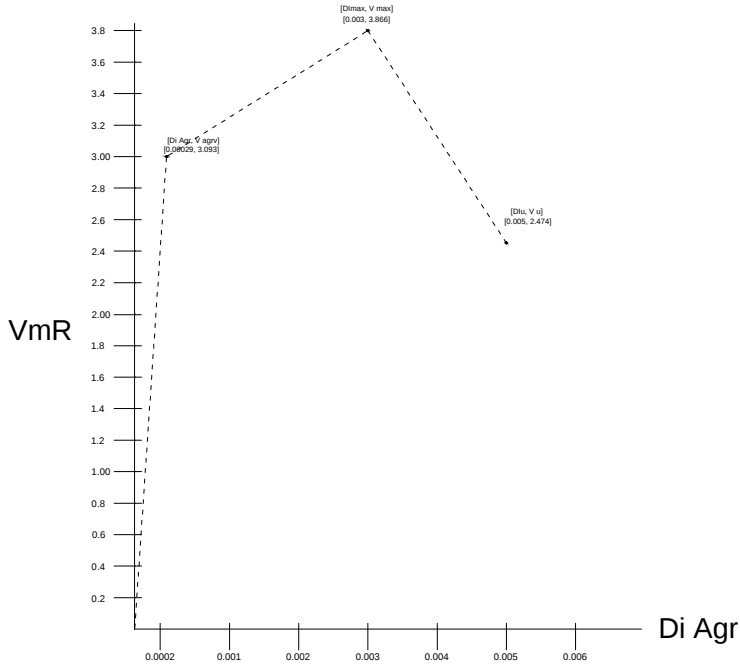
LUGAR Y FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA, TABASCO.

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON BLOCK HUECO CONCRETO

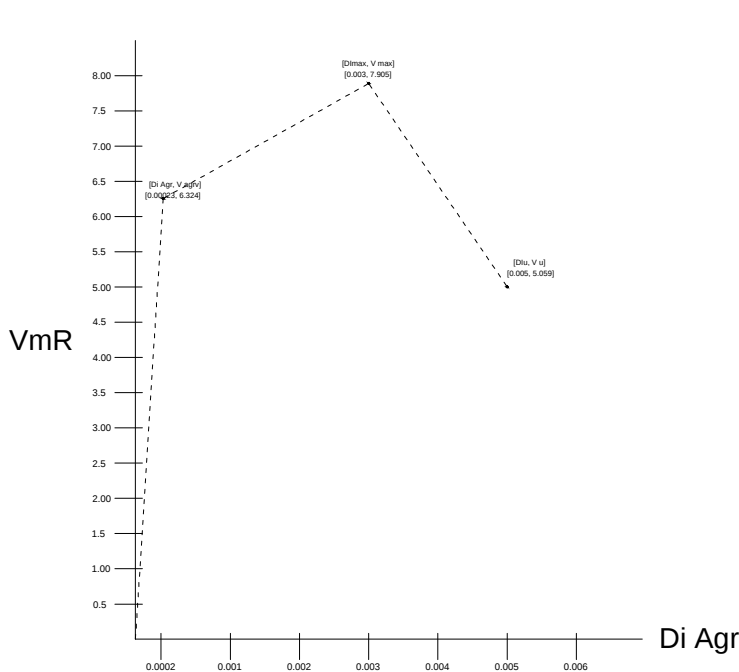
ESCALA:
Sin escala



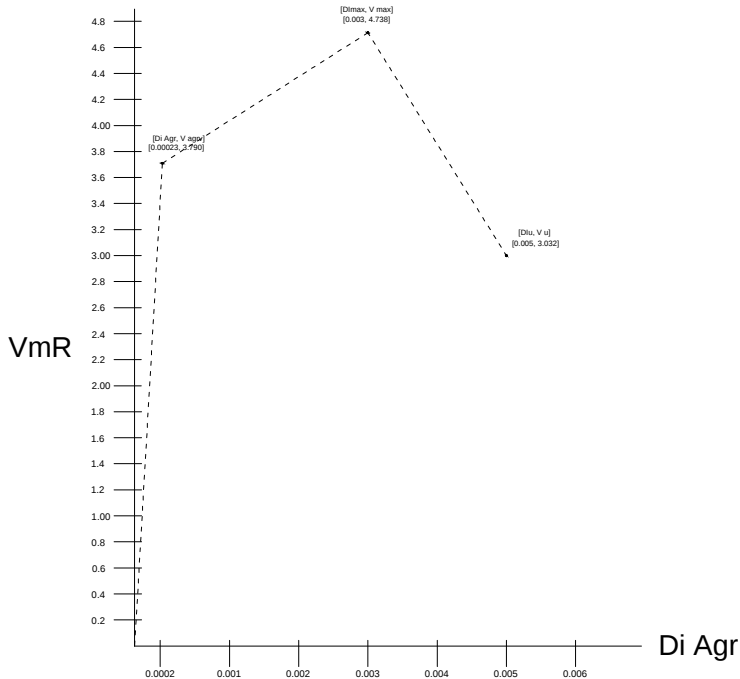
Muro A



Muro B



Muro C



Muro D

MURO A-D MAMPOSTERÍA CONVENCIONAL

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

G-4

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

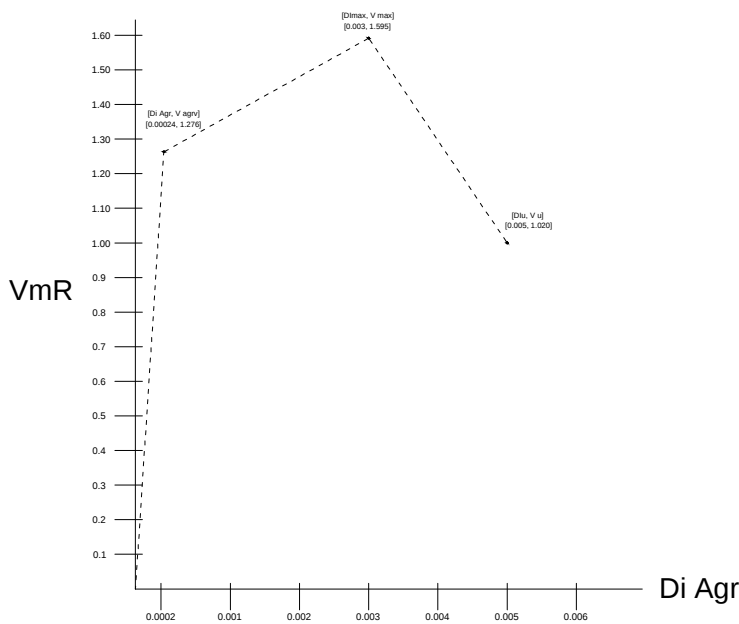
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

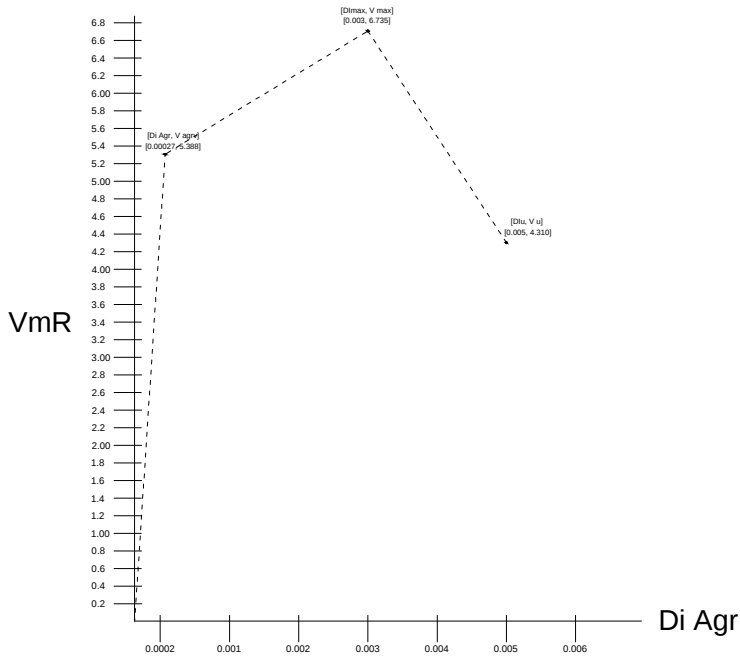
LUGAR Y
FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON BLOCK
HUECO CONCRETO

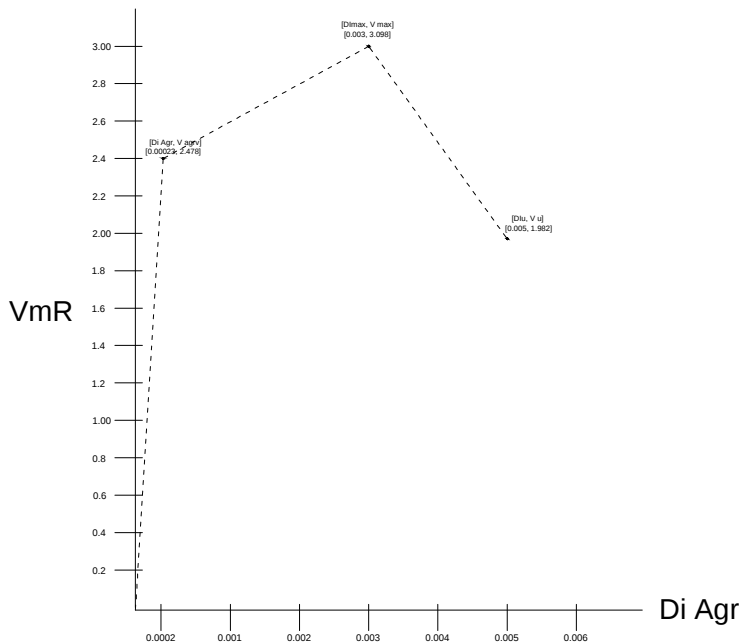
ESCALA:
Sin escala



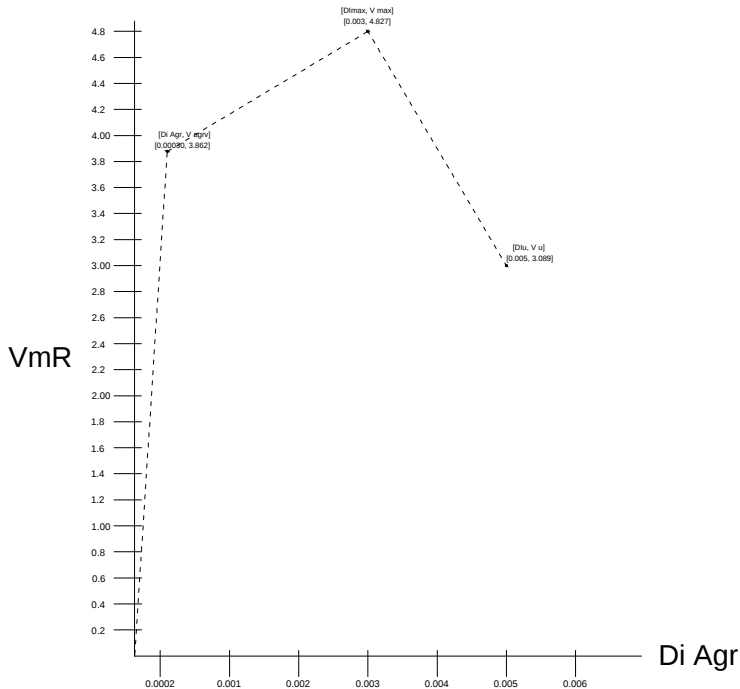
Muro E



Muro F



Muro G



Muro H

MURO E-H MAMPOSTERÍA CONVENCIONAL

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

G-5

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON BLOCK
HUECO CONCRETO

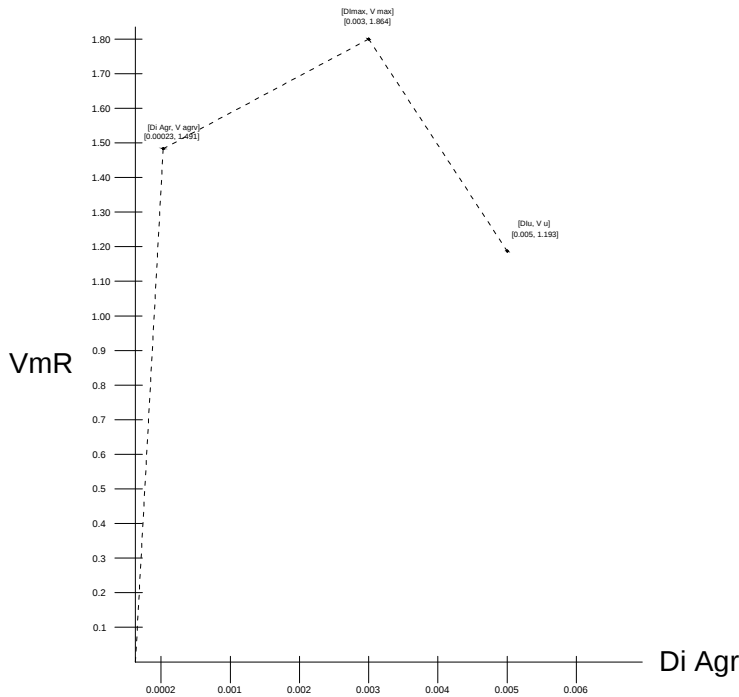
ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

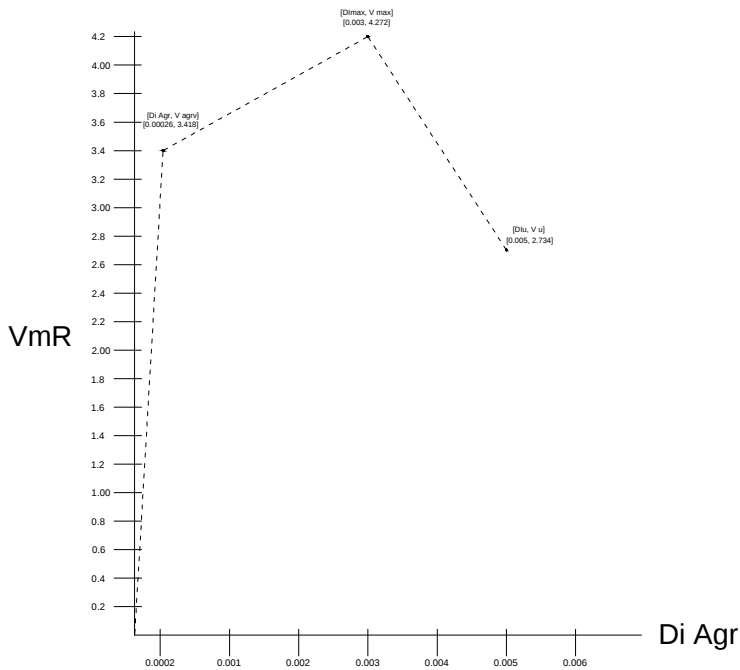
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

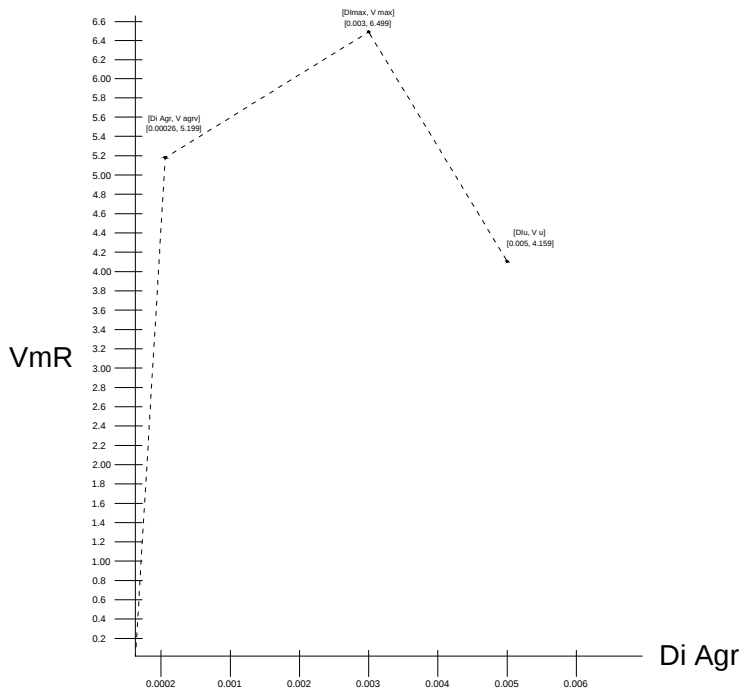
LUGAR Y
FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.



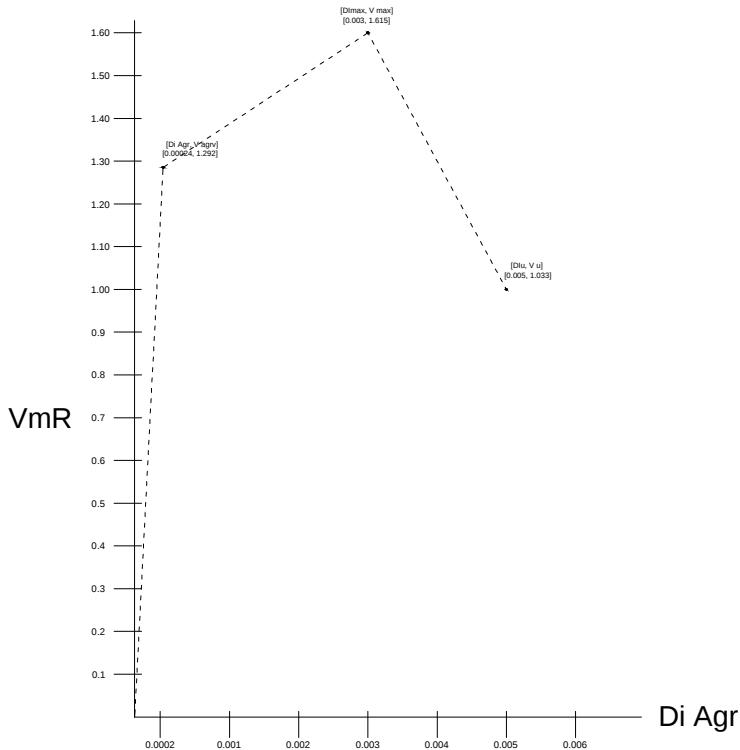
Muro I



Muro J



Muro K



Muro L

MURO I-L MAMPOSTERÍA CONVENCIONAL

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

G-6

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON BLOCK
HUECO CONCRETO

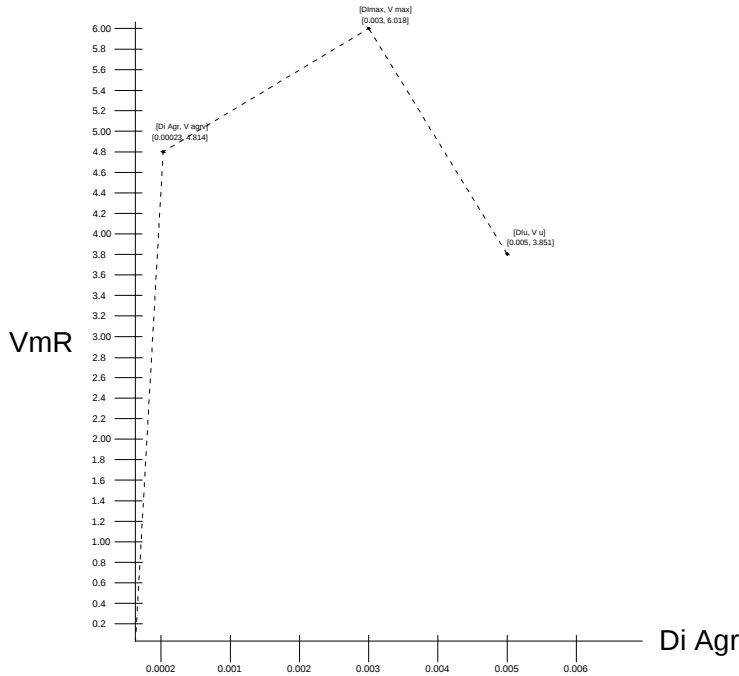
ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

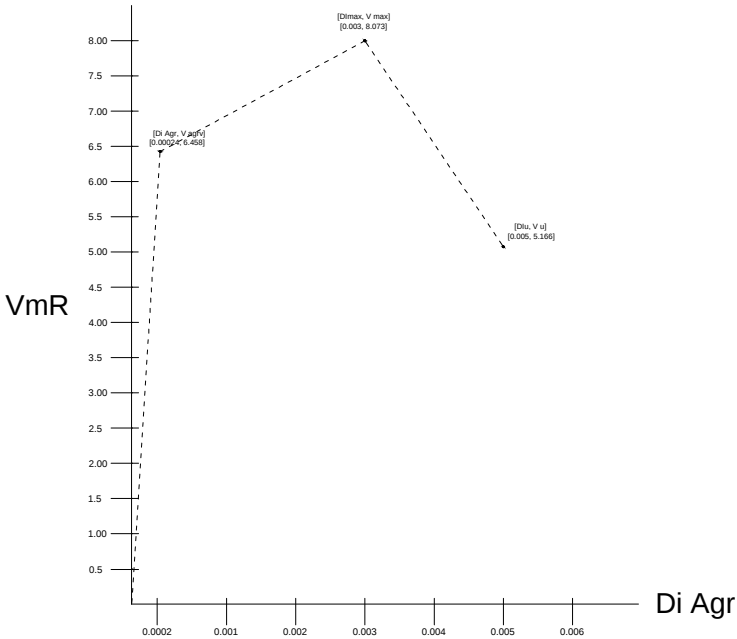
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

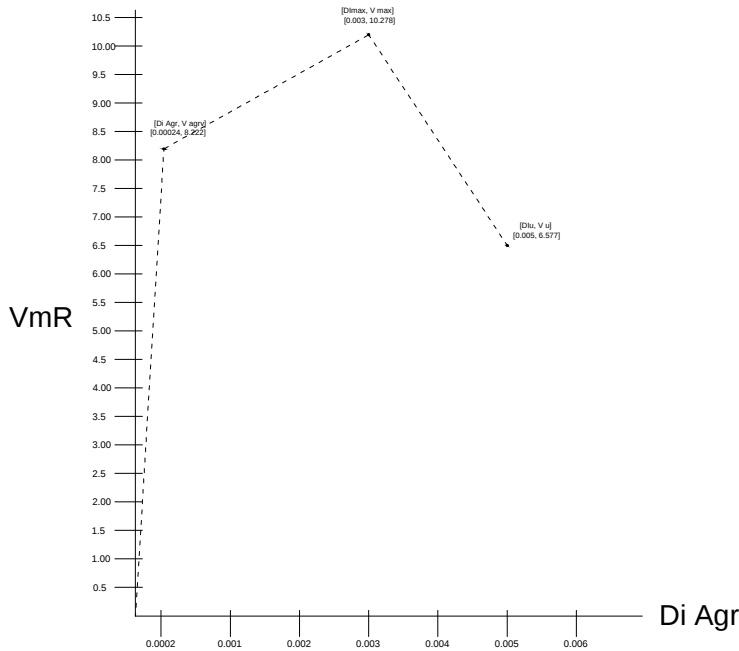
LUGAR Y
FECHA: **NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.**



Muro M



Muro N



Muro O

MURO M-O MAMPOSTERÍA CONVENCIONAL

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

G-7

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

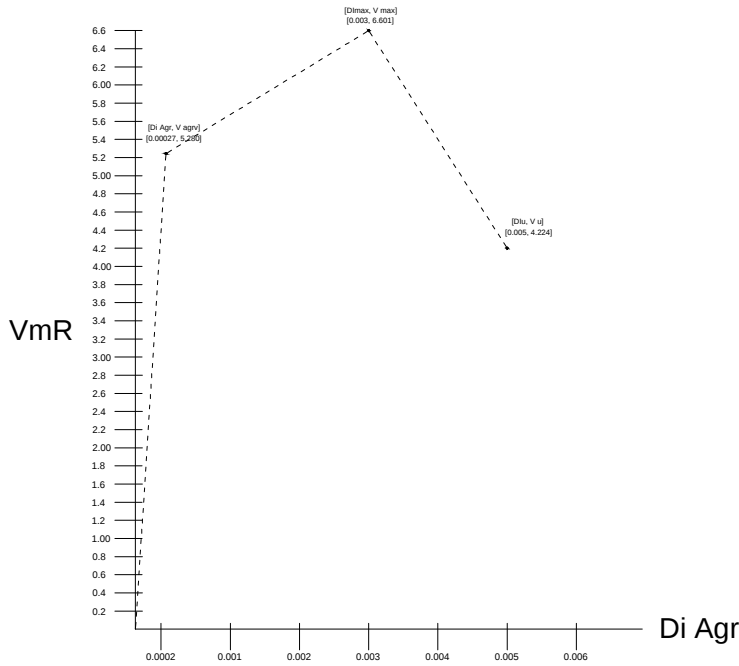
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

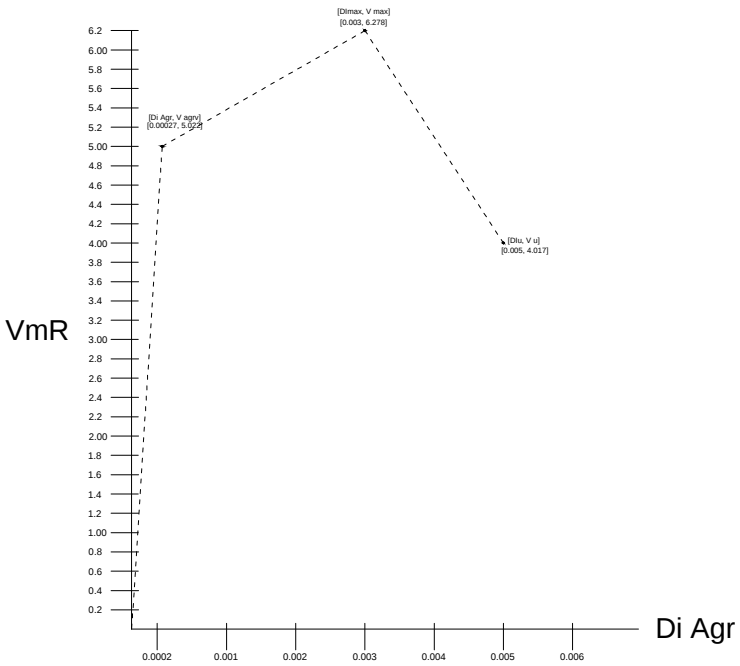
LUGAR Y
FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON BLOCK
HUECO CONCRETO

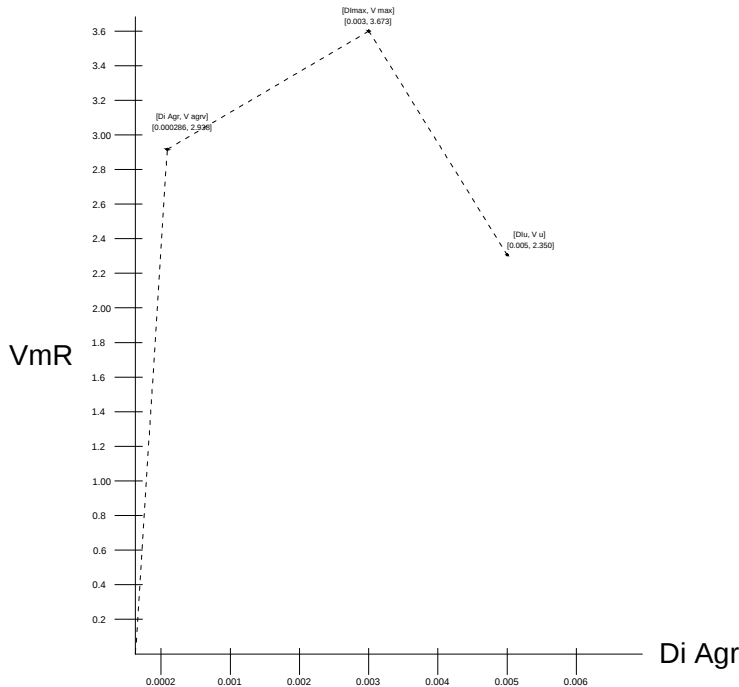
ESCALA:
Sin escala



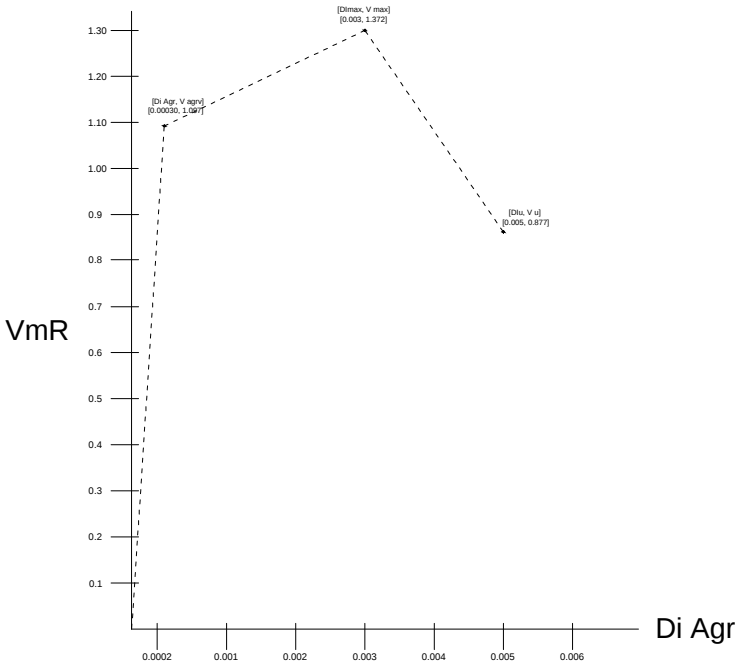
Muro No. 1



Muro No. 2



Muro No. 3



Muro No. 4

MURO 1-4 MAMPOSTERÍA CON BLOCK CELULAR

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

G-8

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

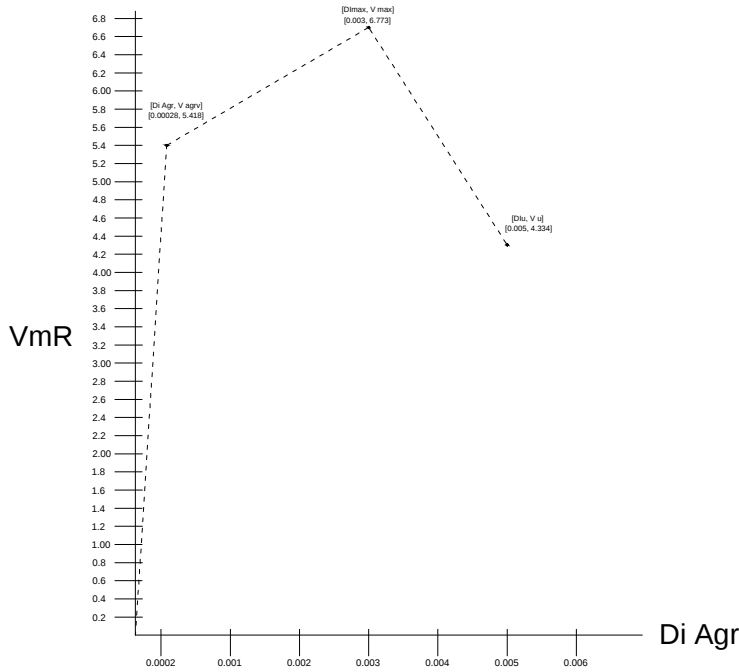
ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

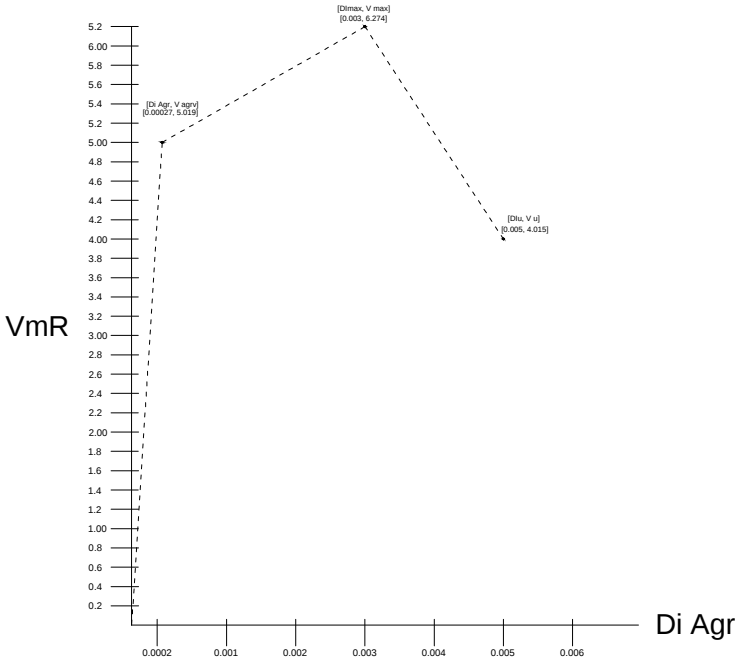
LUGAR Y
FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

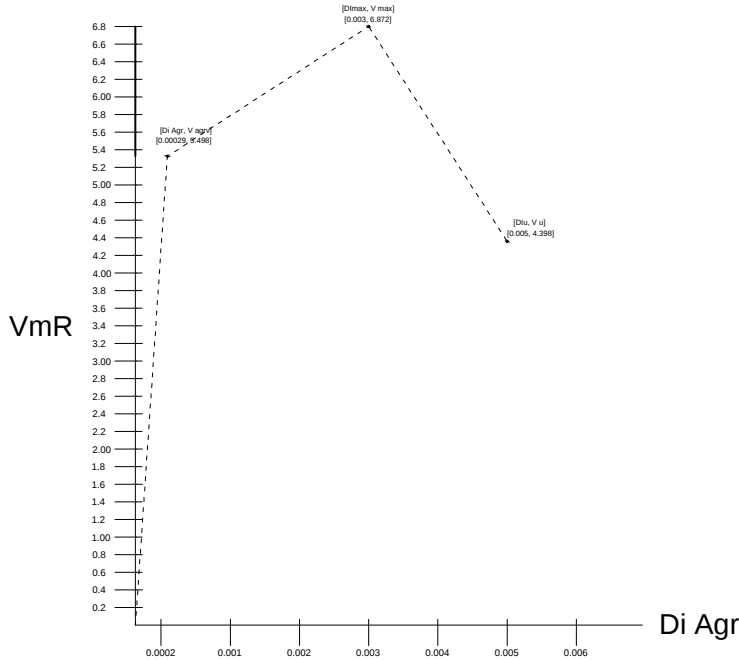
PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON
BLOCK DE CONCRETO CELULAR



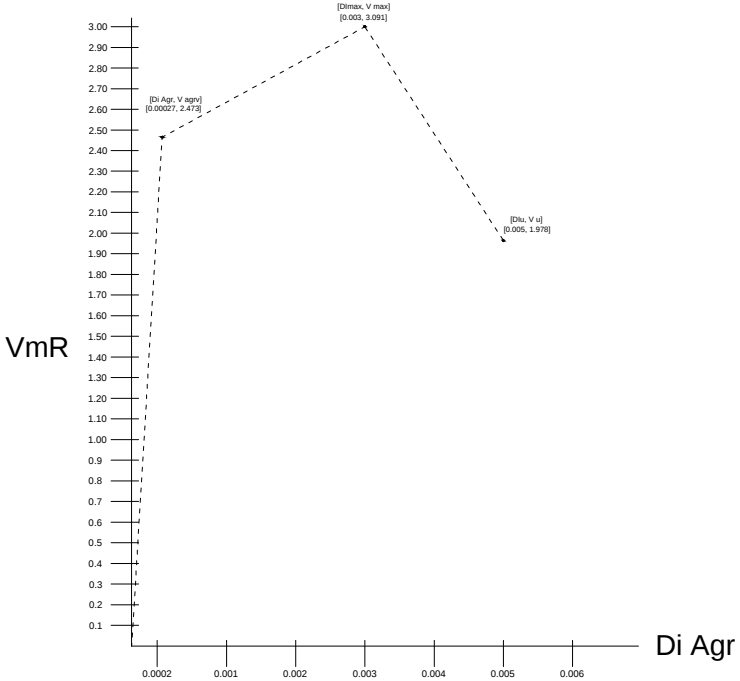
Muro No. 5



Muro No. 6



Muro No. 7



Muro No. 8

MURO 5-8 MAMPOSTERÍA CON BLOCK CELULAR

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

G-9

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

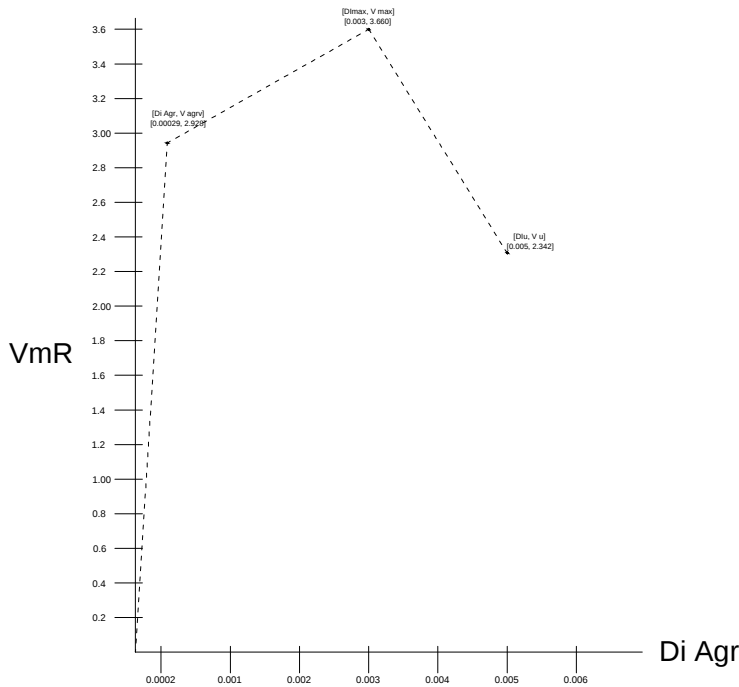
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

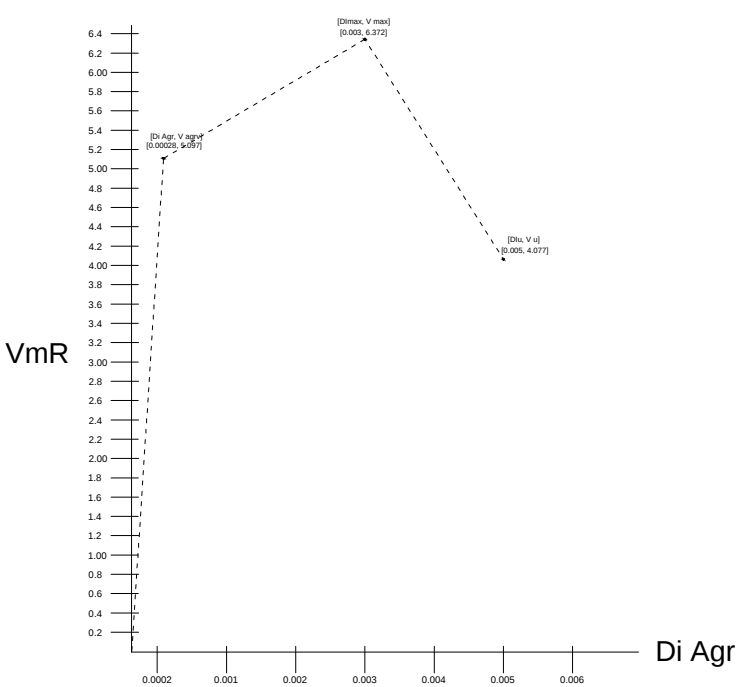
LUGAR Y
FECHA:
**NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.**

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON
BLOCK DE CONCRETO CELULAR

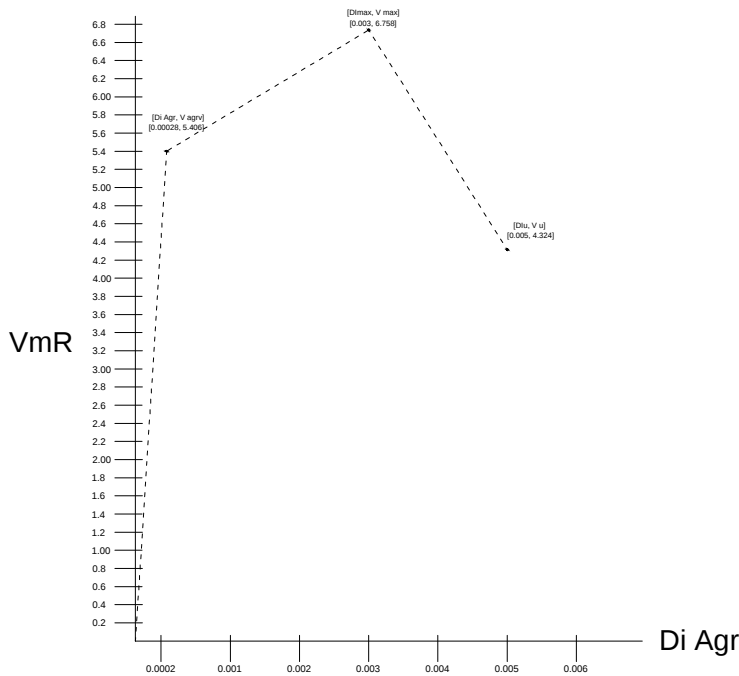
ESCALA:
Sin escala



Muro No. 9



Muro No. 10



Muro No. 11

MURO 9-11 MAMPOSTERÍA CON BLOCK CELULAR

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

G-10

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

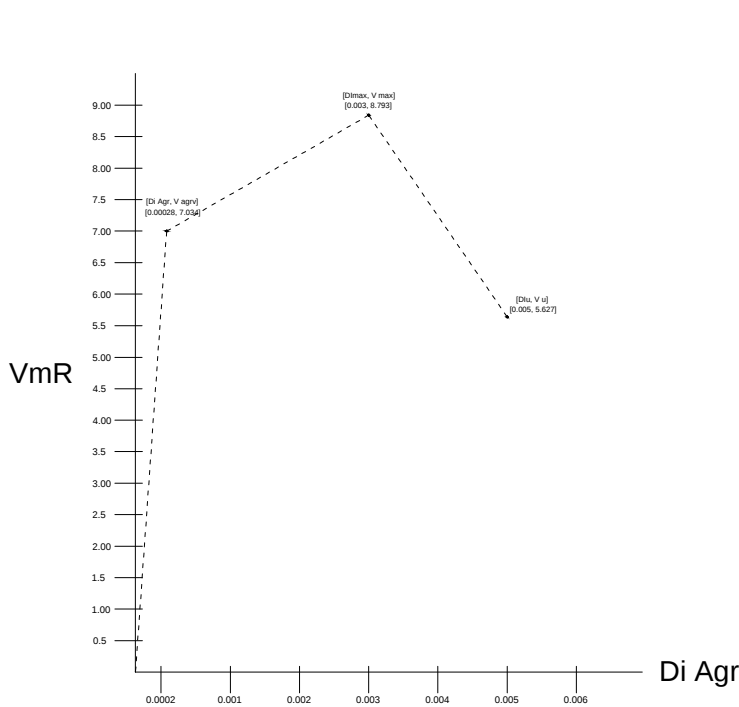
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

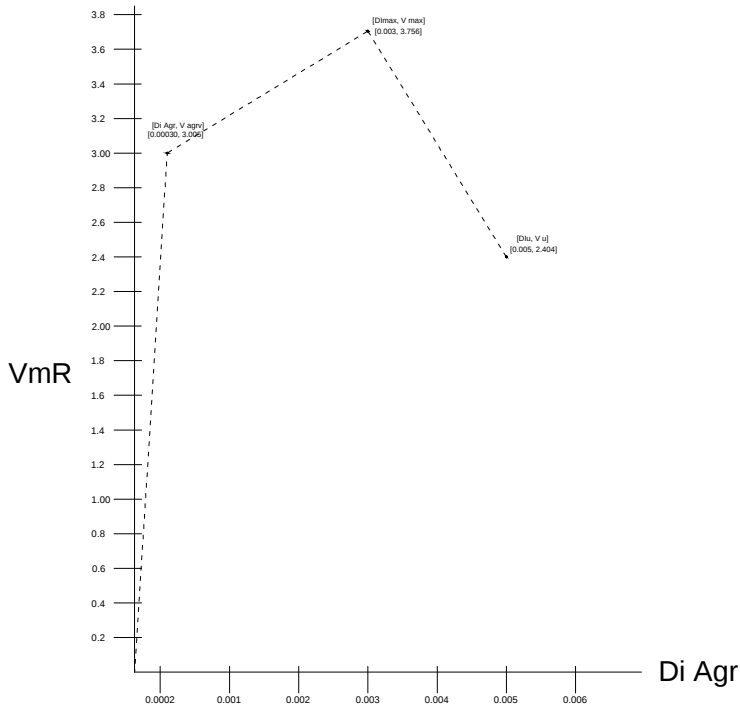
LUGAR Y
FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

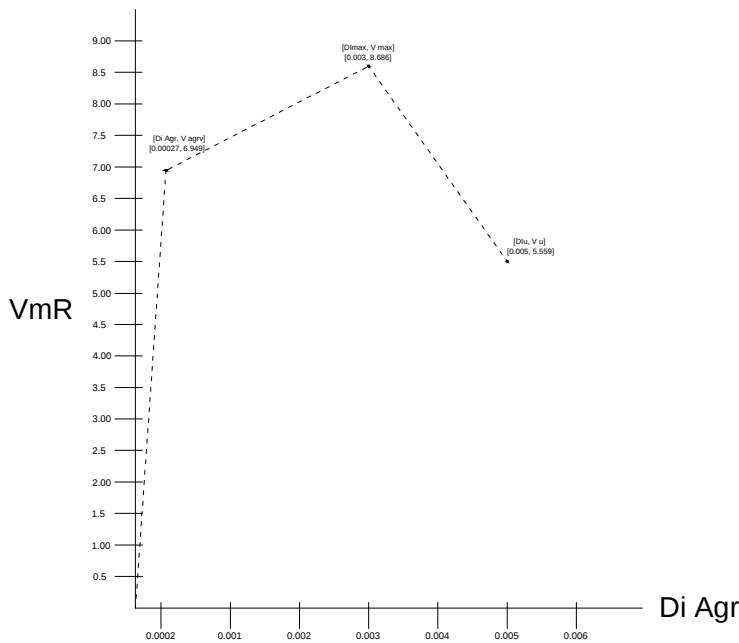
PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON
BLOCK DE CONCRETO CELULAR



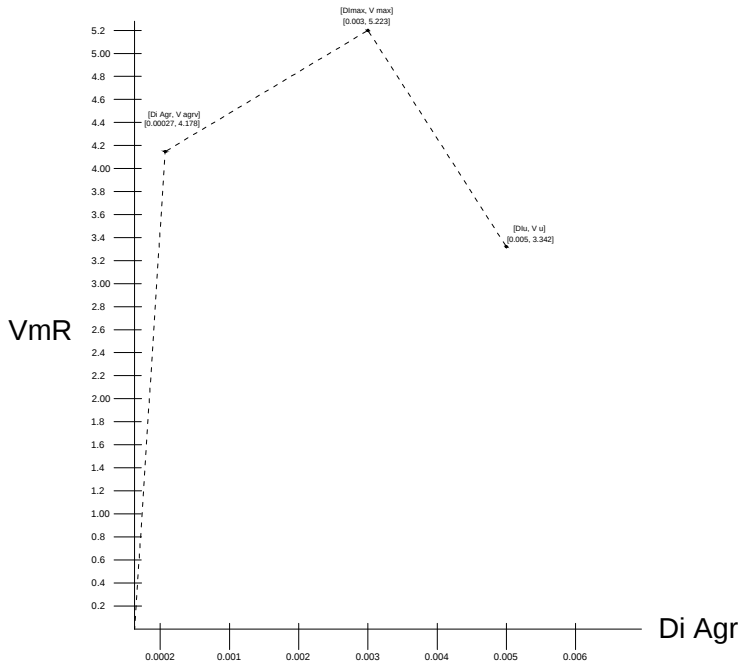
Muro A



Muro B



Muro C



Muro D

MURO A-D MAMPOSTERÍA CON BLOCK CELULAR

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

G-11

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

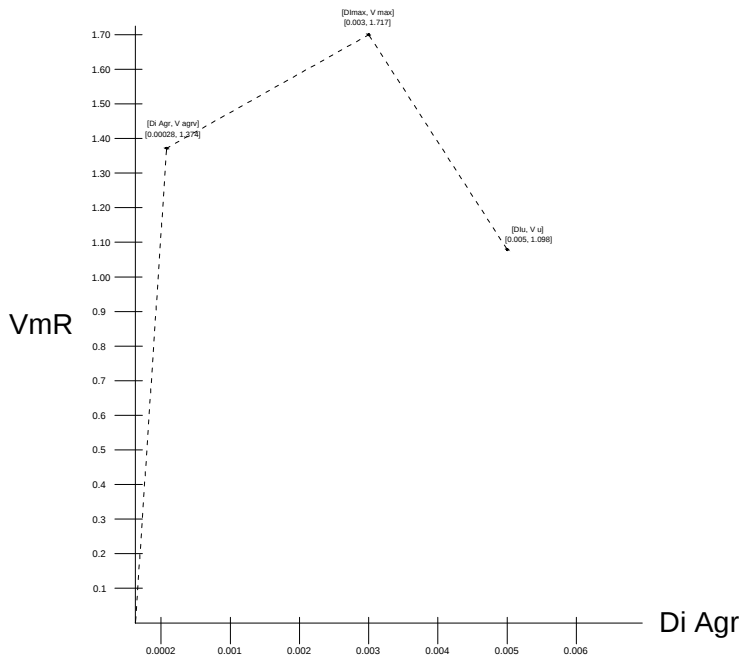
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

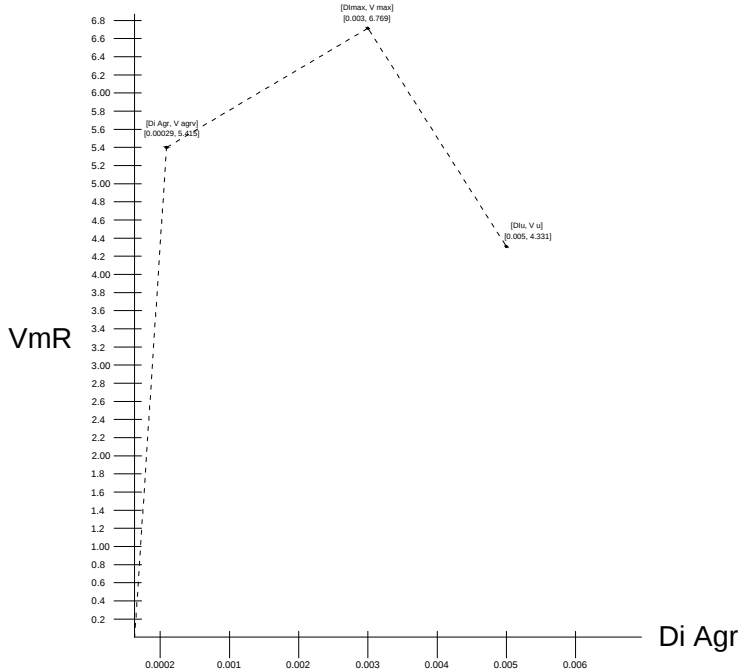
LUGAR Y
FECHA:
**NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.**

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON
BLOCK DE CONCRETO CELULAR

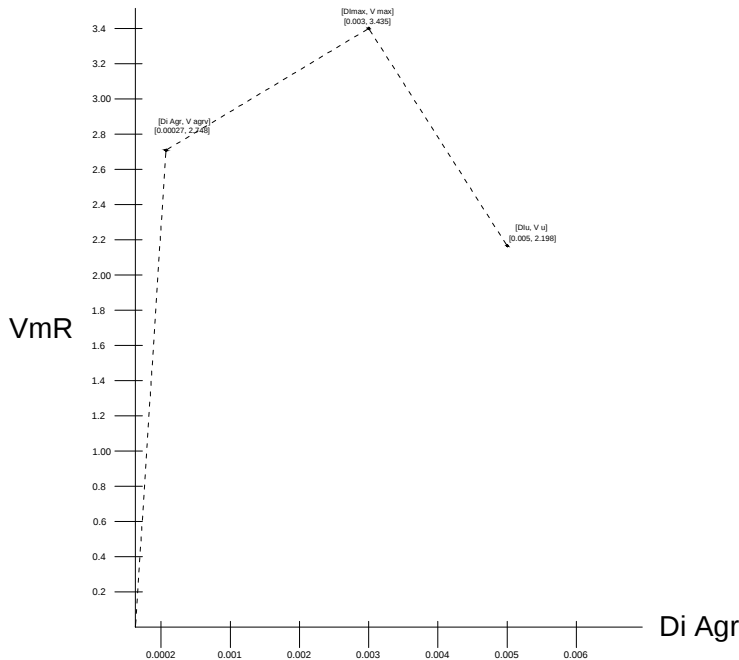
ESCALA:
Sin escala



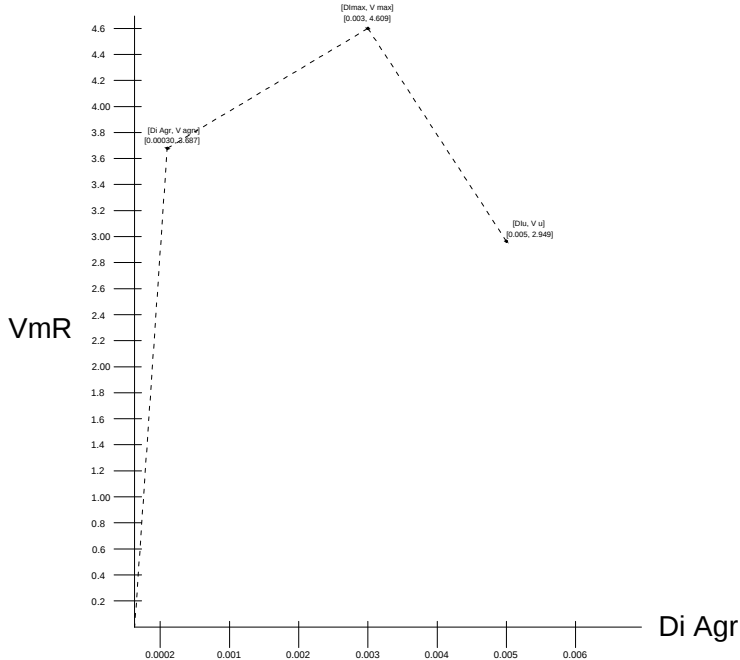
Muro E



Muro F



Muro G



Muro H

MURO E-H MAMPOSTERÍA CON BLOCK CELULAR

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

G-12

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

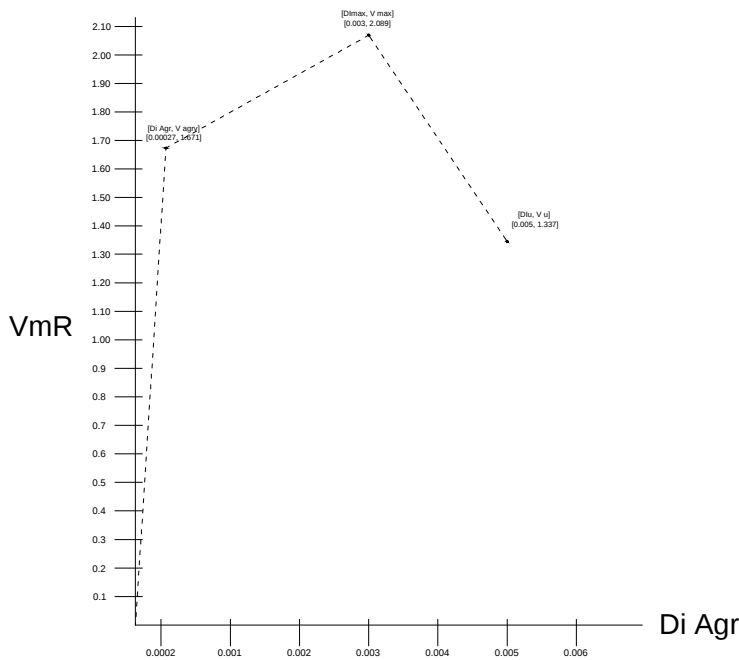
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

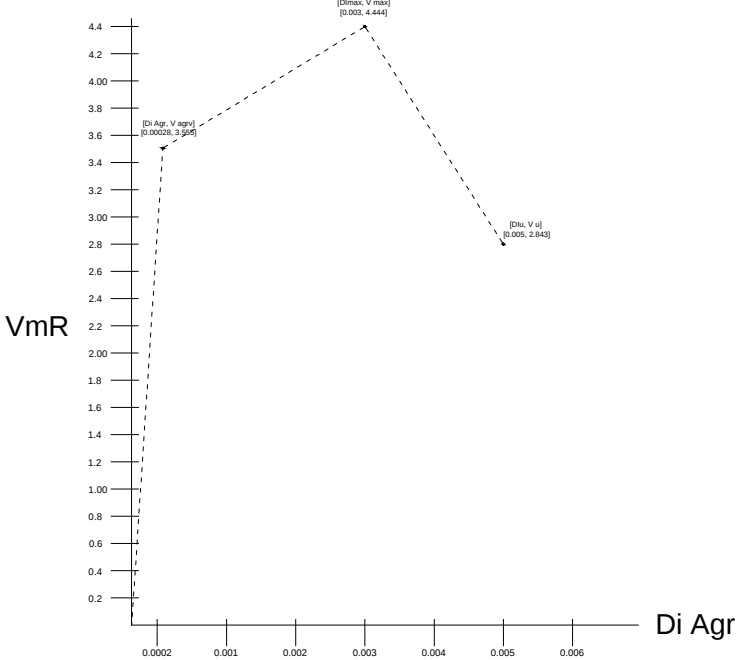
LUGAR Y
FECHA:
**NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.**

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON
BLOCK DE CONCRETO CELULAR

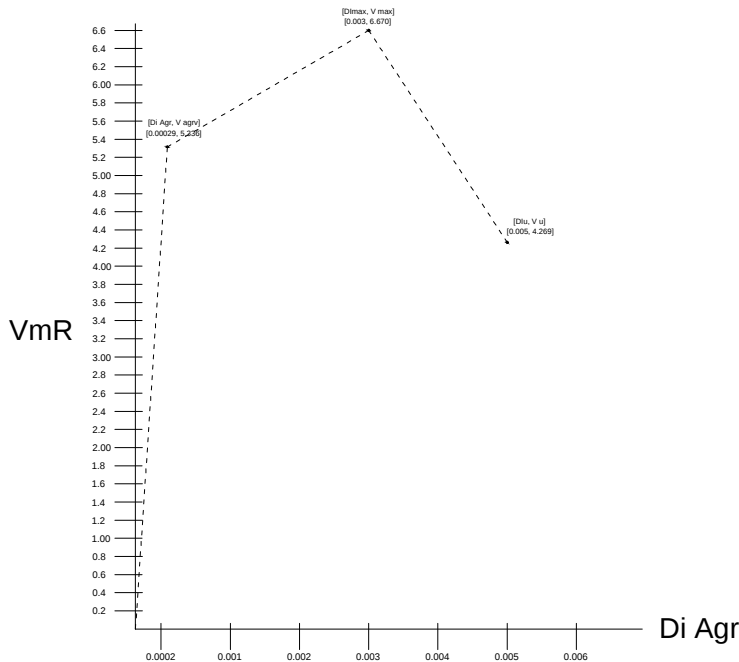
ESCALA:
Sin escala



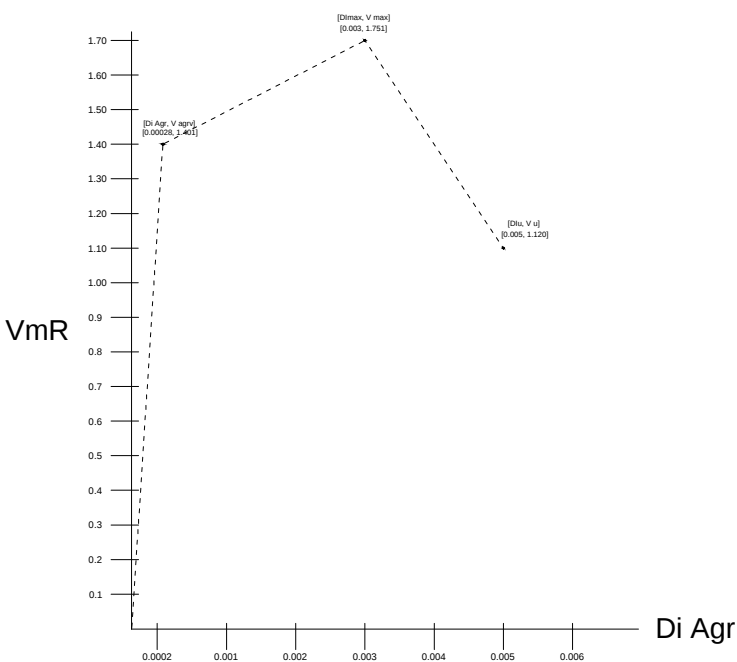
Muro I



Muro J



Muro K



Muro L

MURO I-L MAMPOSTERÍA CON BLOCK CELULAR

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

G-13

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

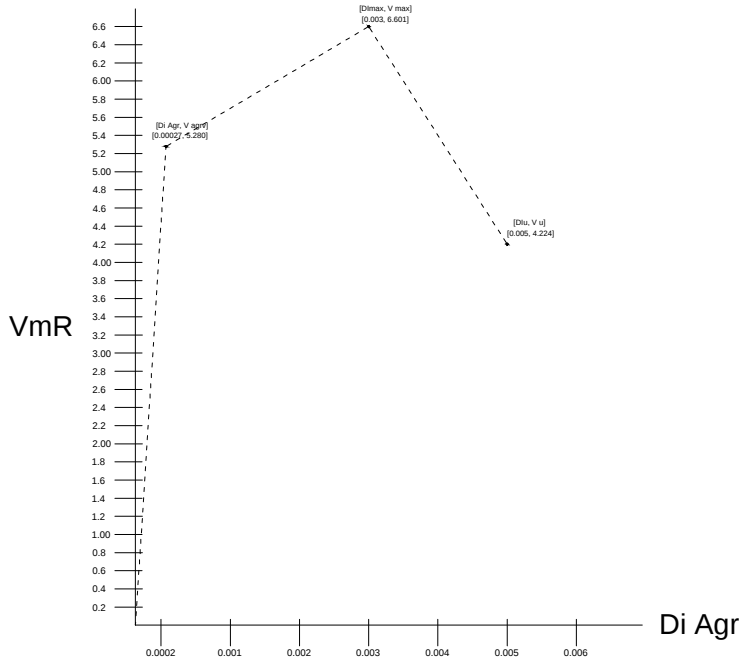
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

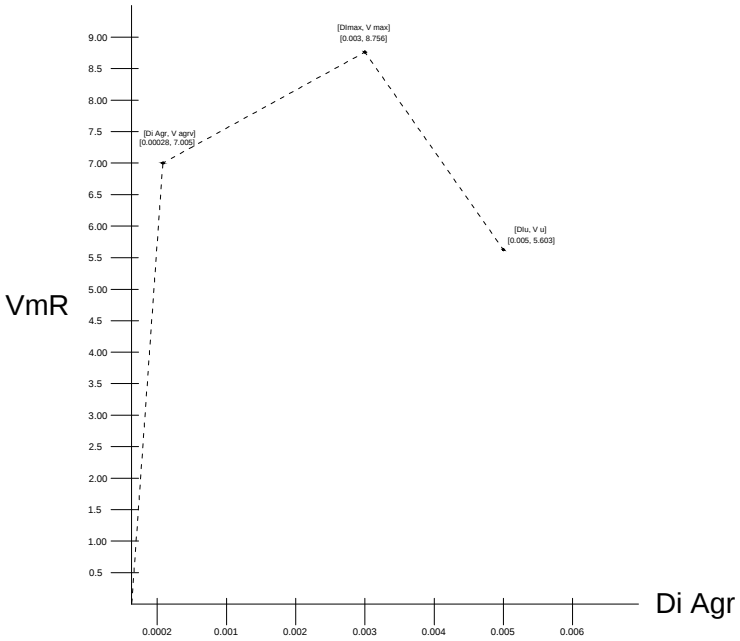
LUGAR Y
FECHA:
**NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.**

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON
BLOCK DE CONCRETO CELULAR

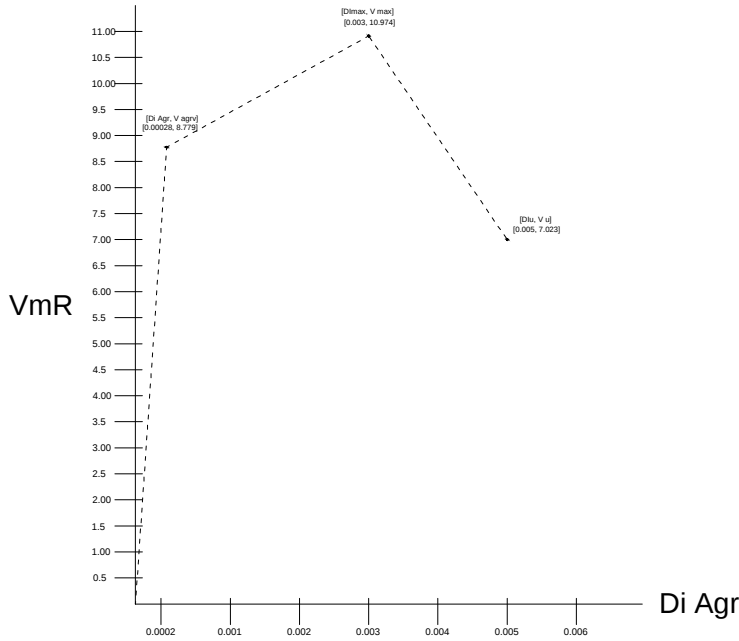
ESCALA:
Sin escala



Muro M



Muro N



Muro O

MURO M-O MAMPOSTERÍA CON BLOCK CELULAR

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

G-14

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

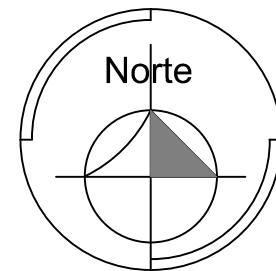
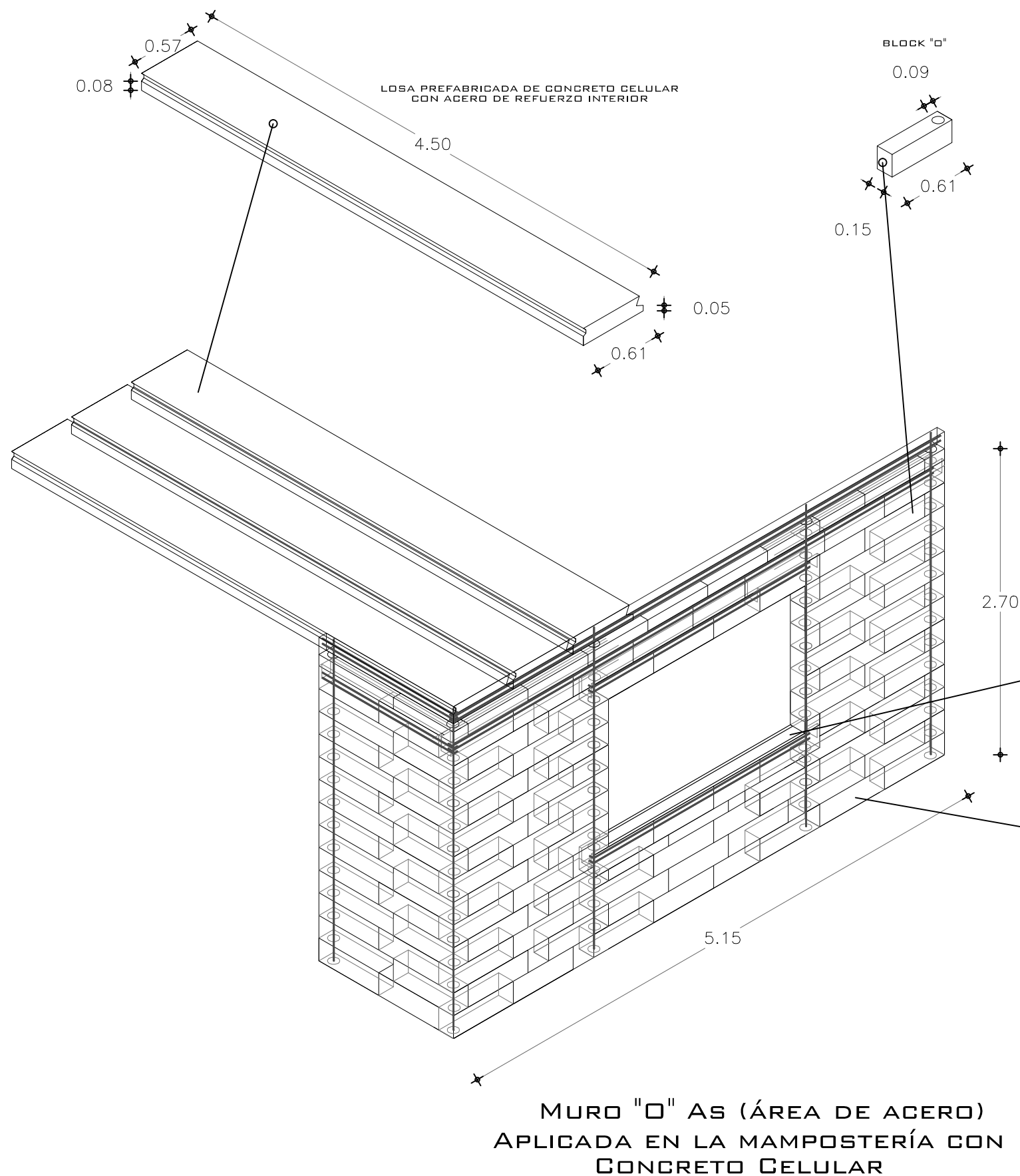
LUGAR Y
FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

PARA CURVA DE CAPACIDAD DE CADA MURO CON
BLOCK DE CONCRETO CELULAR

ISOMÉTRICOS

(I-1 a I-2)



BUAP

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

ISOMÉTRICO DE MURO DE CONCRETO CELULAR

1-1

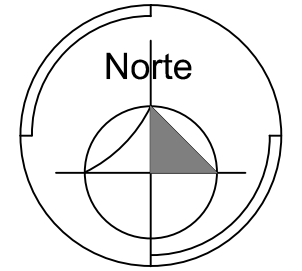
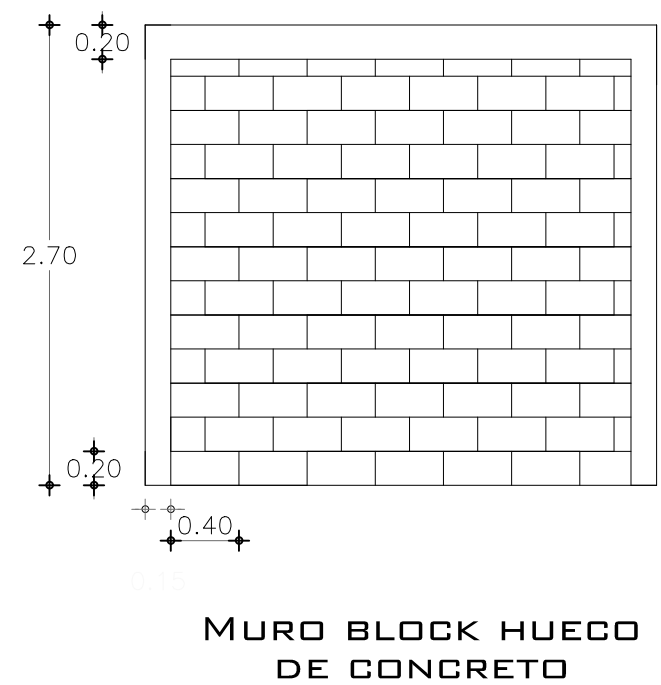
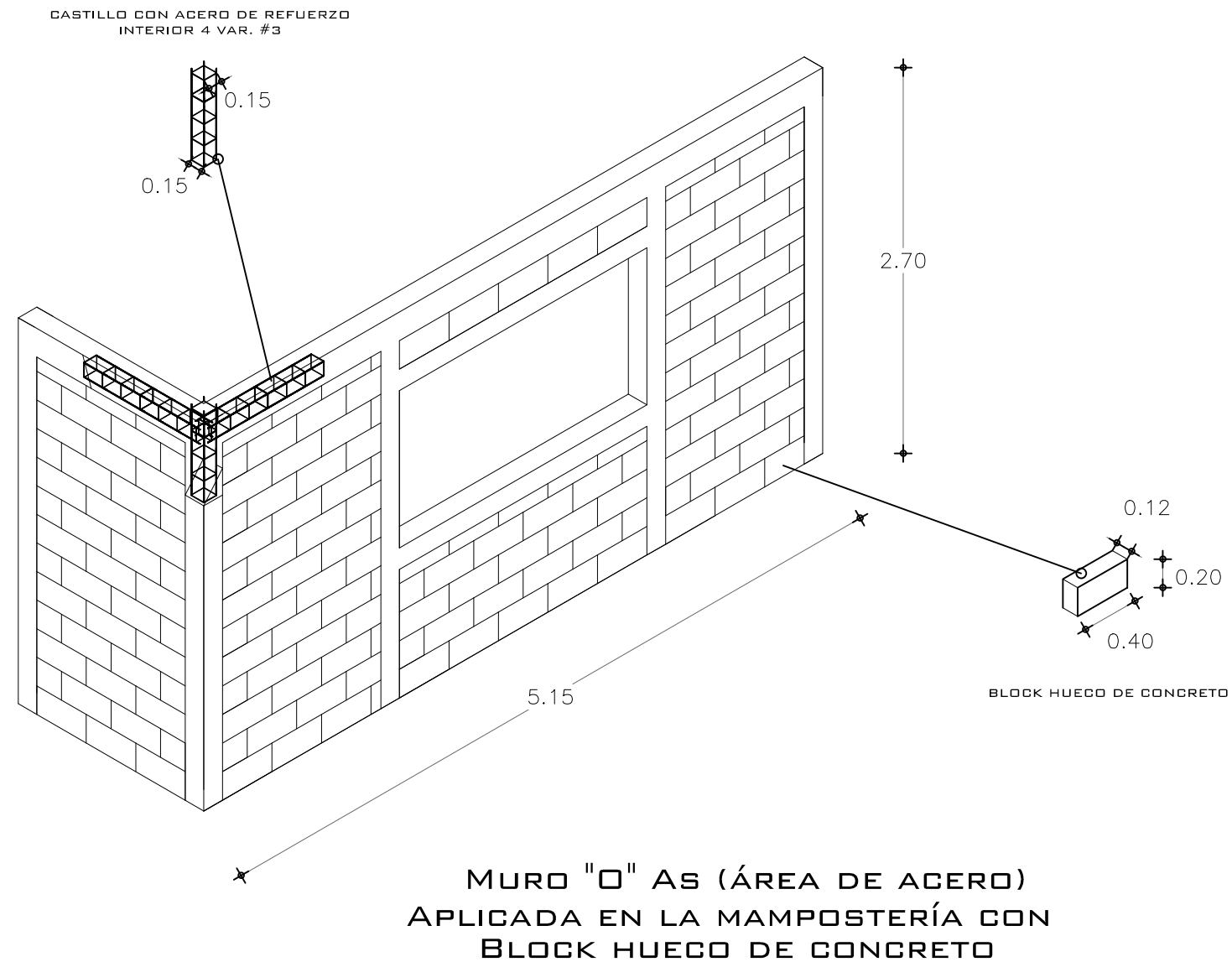
ESCALA:
1:20

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA: **NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.**



BUAP

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

I-2

ISOMÉTRICO DE MURO DE BLOCK HUECO DE CONCRETO

ESCALA:
1:20

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

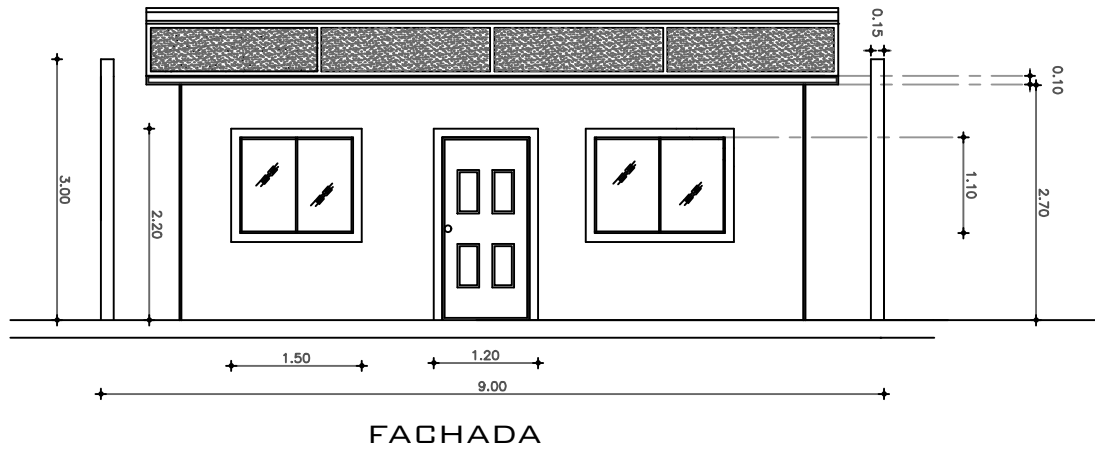
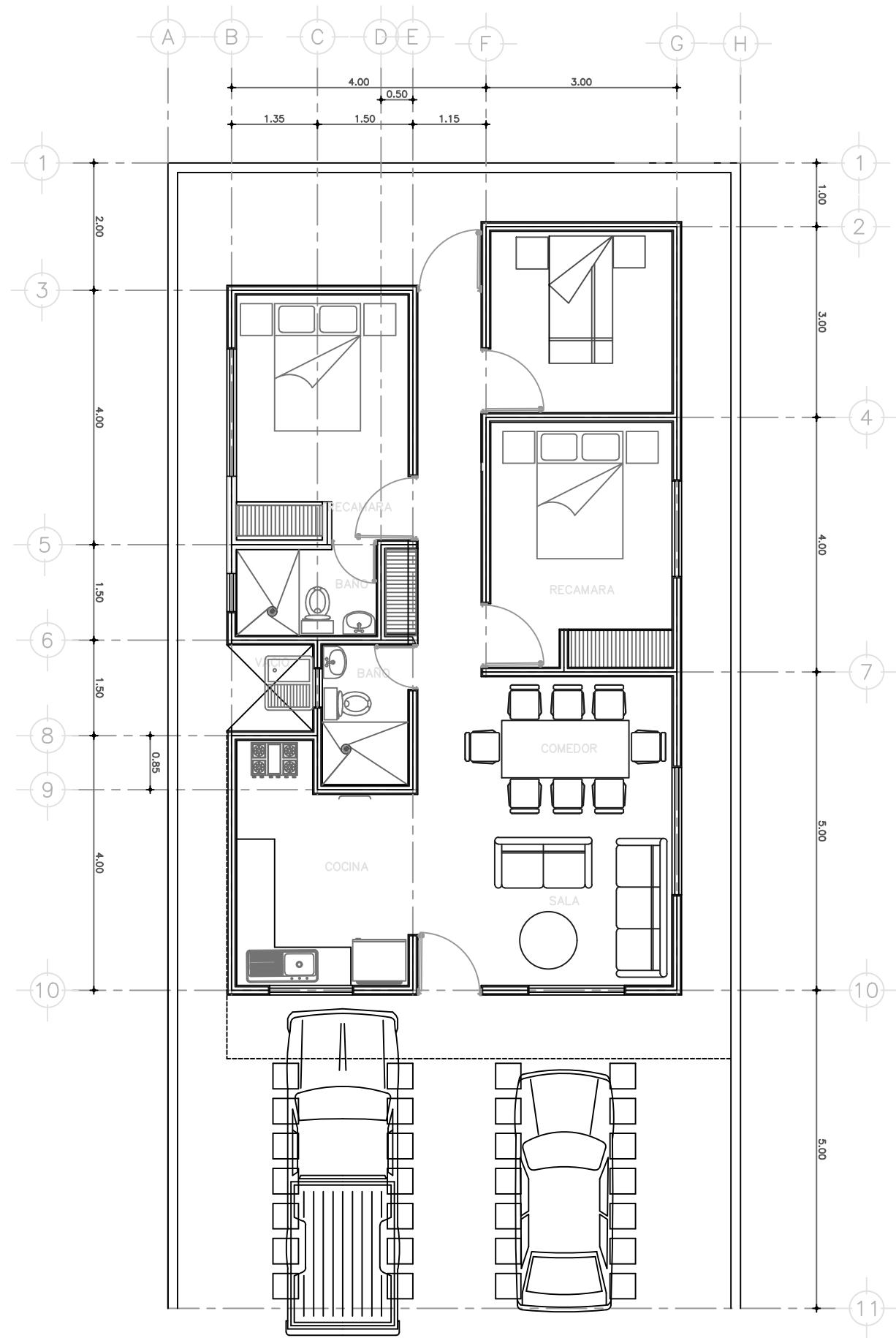
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

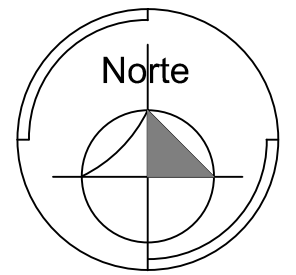
LUGAR Y
FECHA: **NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.**

PLANOS

(P-1 a P-3)



PLANTA BAJA
PROYECTÓ: Ing. Bruno J. Javier López
OCTUBRE 29 DE 2015.



BUAP

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

P-1

PLANO ARQUITECTÓNICO

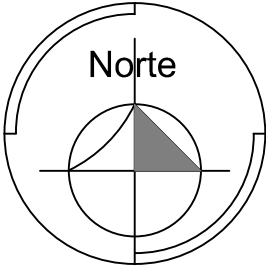
ESCALA:
1:75

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA: NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.



BUAP

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

P-2

ESCALA:
1:75

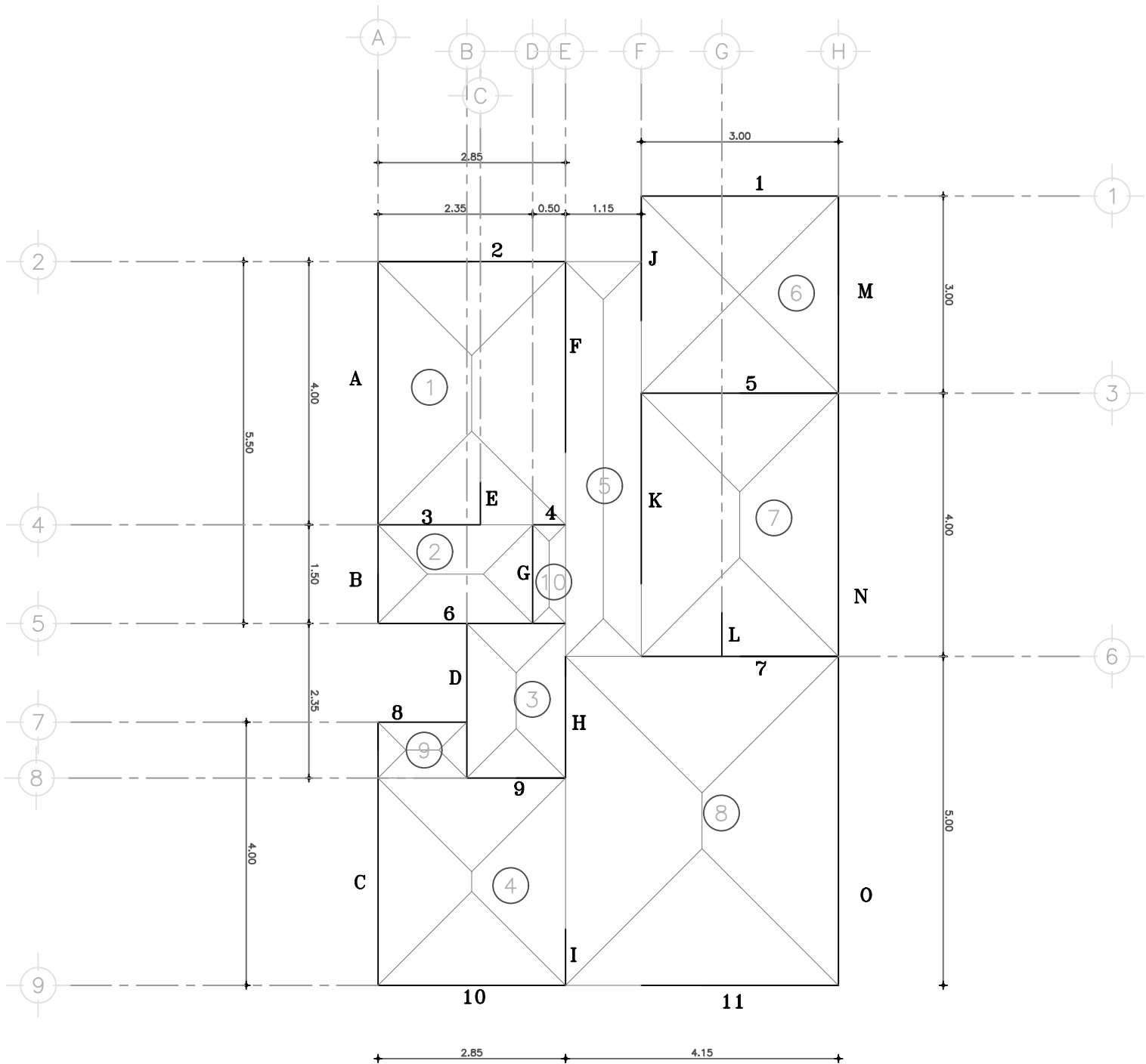
PLANO ÁREAS TRIBUTARIAS

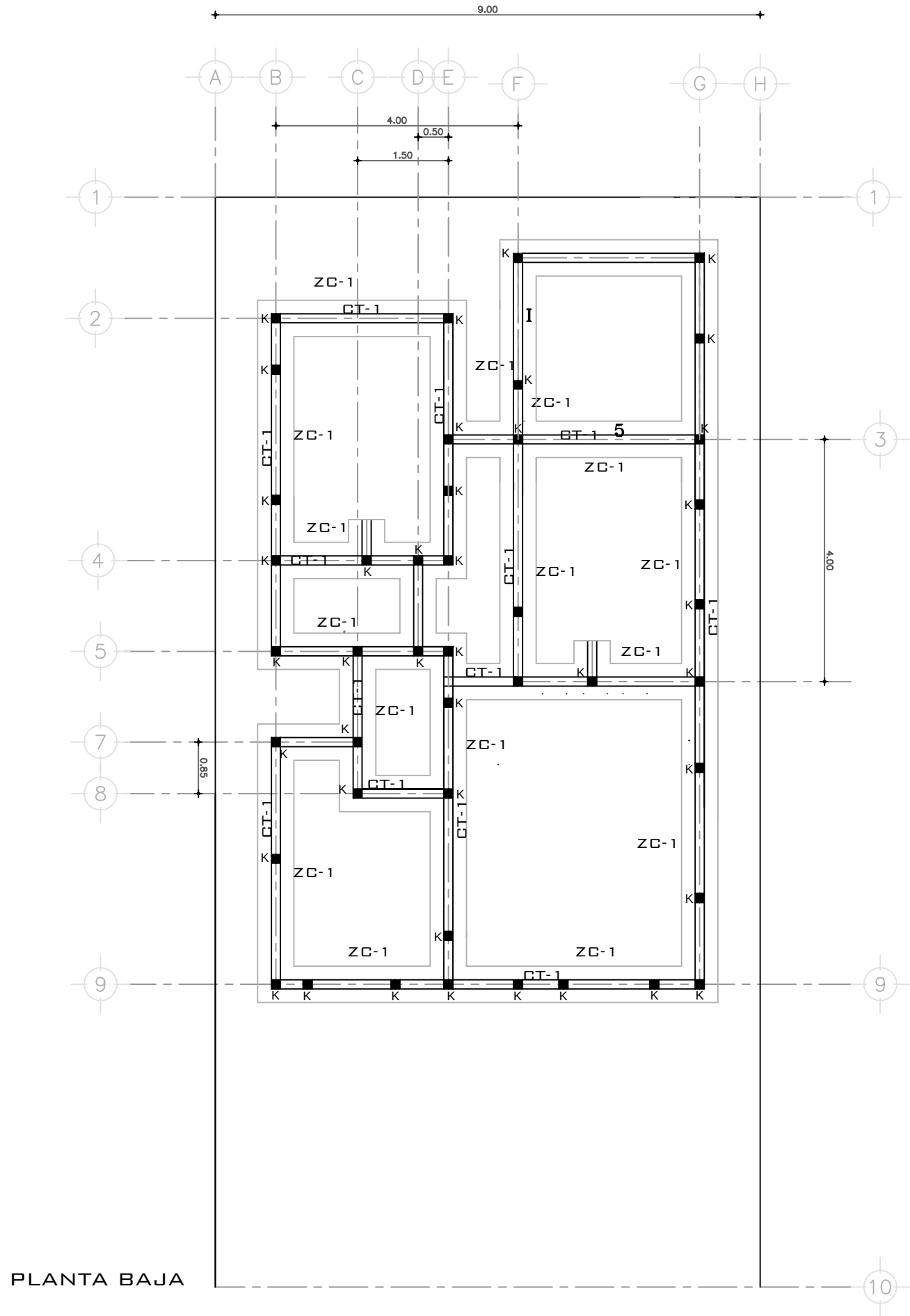
MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

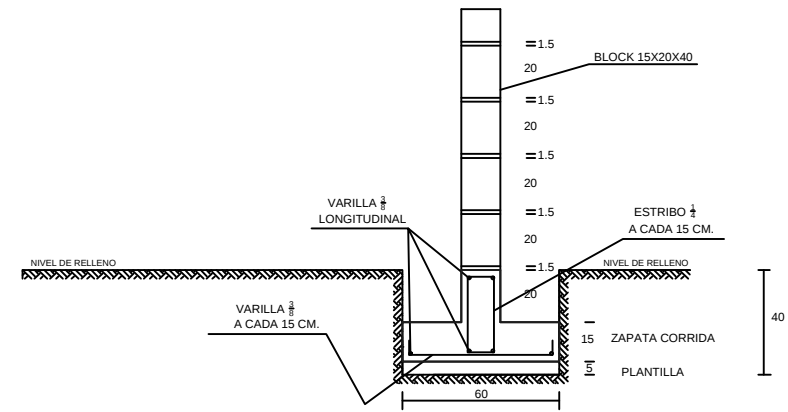
ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA: **NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.**

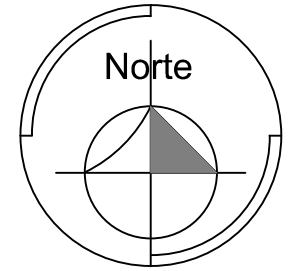
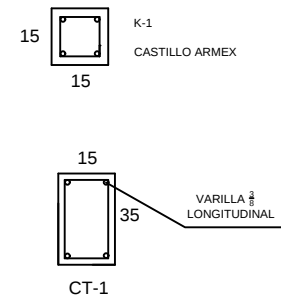




PLANTA BAJA



DETALLE DE CIMENTACION



B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

COLUMNAS Y CASTILLOS

P-3

ESCALA:
1:75

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

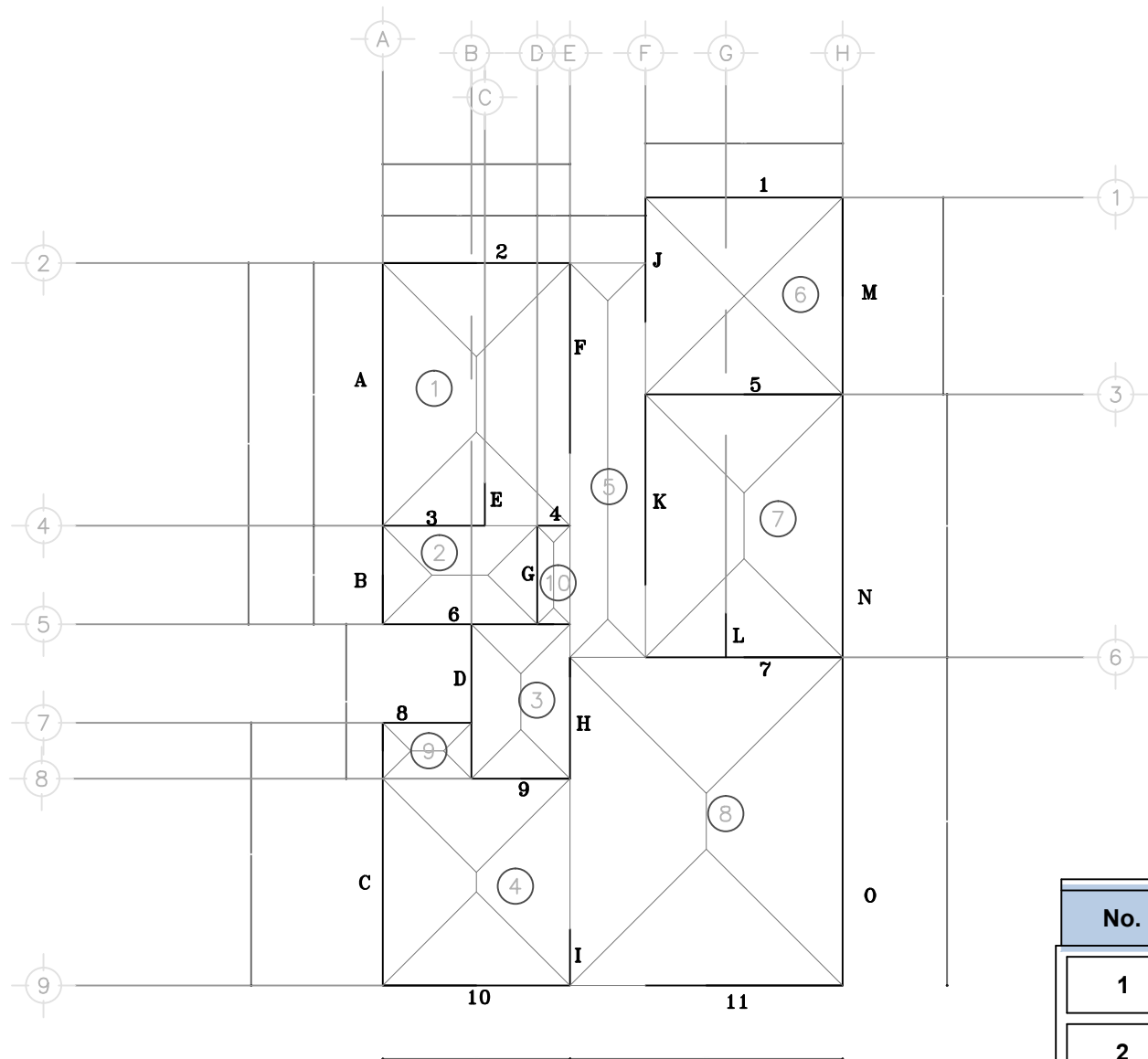
ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA: **NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.**

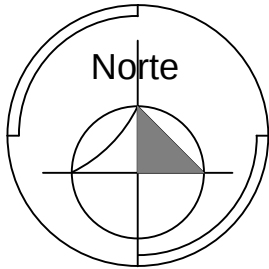
TABLAS

(T-1 a T-34)



ÁREAS TRIBUTARIAS

No.	B	L	P/trap	Area triangulo (m2)	Area trapecio (m2)
1	4.00	2.85	1.15	2.03	3.67
2	2.35	1.50	0.85	0.56	1.20
3	2.35	1.50	0.85	0.56	1.20
4	3.15	2.85	0.30	2.03	2.46
5	6.00	1.15	4.85	0.33	3.12
6	3.00	3.00	0.00	2.25	2.25
7	4.00	3.00	1.00	2.25	3.75
8	5.00	4.15	0.85	4.31	6.07
9	1.35	0.85	0.50	0.18	0.39
10	1.50	0.50	1.00	0.06	0.31



BUAP

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

T-1

ESCALA:
1:500

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

A. Cálculo del centro de rigidez de los muros:

Muros en Dirección "X"

Hmuro = 3.050m

Altura libre de los muros.

No.	L	Hmuro/L	t	AX	FAE	AXE	Y	Z AXE
	(m)		(cm)	(cm2)		(cm2)	(m)	(cm2 m)
1	3.15	0.97	12.00	3780.00	1.00	3780.00	0.00	0.0000
2	3.00	1.02	12.00	3600.00	1.00	3600.00	1.00	3600.0000
3	1.71	1.78	12.00	2052.00	0.65	1334.67	5.00	6673.3614
4	0.60	5.08	12.00	720.00	0.08	57.66	5.00	288.2770
5	3.15	0.97	12.00	3780.00	1.00	3780.00	3.00	11340.0000
6	3.00	1.02	12.00	3600.00	1.00	3600.00	6.50	23400.0000
7	3.15	0.97	12.00	3780.00	1.00	3780.00	7.00	26460.0000
8	1.50	2.03	12.00	1800.00	0.50	900.87	8.00	7206.9262
9	1.65	1.85	12.00	1980.00	0.61	1199.05	8.85	10611.6133
10	3.00	1.02	12.00	3600.00	1.00	3600.00	12.00	43200.0000
11	3.15	0.97	12.00	3780.00	1.00	3780.00	12.00	45360.0000
			S =	32472.00	S =	29412.25	S =	178140.18

YR = ΣY AXE / ΣAXE = 6.057 m

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-2

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

CÁLCULO DEL CENTRO DE RIGIDEZ DE LOS MUROS

ESCALA:
Sin escala

A. Cálculo del centro de rigidez de los muros:

Muros en Dirección "Y"

Hmuro = 3.050m

Altura libre de los muros.

No.	L	Hmuro/L	t	AY	FAE	AZE	X	X AZE
	(m)		(cm)	(cm2)		(cm2)	(m)	(cm2 m)
A	4.15	0.73	12.00	4980.00	1.00	4980.00	0.00	0.000000
B	1.65	1.85	12.00	1980.00	0.61	1199.05	0.00	0.000000
C	4.15	0.73	12.00	4980.00	1.00	4980.00	0.00	0.000000
D	2.50	1.22	12.00	3000.00	1.00	3000.00	1.35	4050.000000
E	0.81	3.77	12.00	972.00	0.15	141.85	1.56	221.292129
F	3.05	1.00	12.00	3660.00	1.00	3660.00	2.85	10431.000000
G	1.65	1.85	12.00	1980.00	0.61	1199.05	2.35	2817.773019
H	2.00	1.53	12.00	2400.00	0.89	2135.39	2.85	6085.848800
I	1.01	3.02	12.00	1212.00	0.23	275.01	2.85	783.782013
J	2.05	1.49	12.00	2460.00	0.93	2299.58	4.00	9198.306692
K	3.05	1.00	12.00	3660.00	1.00	3660.00	4.00	14640.000000
L	0.83	3.67	12.00	996.00	0.15	152.62	5.23	798.219397
M	3.15	0.97	12.00	3780.00	1.00	3780.00	7.00	26460.000000
N	4.15	0.73	12.00	4980.00	1.00	4980.00	7.00	34860.000000
O	5.15	0.59	12.00	6180.00	1.00	6180.00	7.00	43260.000000

XR = SX AYE / SAYE = 3.604 m

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-3

ESCALA: Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017 VILLAHERMOSA, TABASCO.

CÁLCULO DEL CENTRO DE RIGIDEZ DE LOS MUROS

B. Cálculo del centro de cortante de los muros:

gmuro = 1.700 Ton/m3
Hmuro = 2.700 m
Hpretil = 0.350 m
CM + CVM = 0.500 Ton/m2
glosa = 2.400 Ton/m3

Altura libre de los muros.
Altura libre de los pretils.
Carga para diseño por Gravedad.

$XC = \frac{SWTotalX}{SWTotal} = 0.41 \text{ m}$ PASA ES MENOR AL 10% DE LA PLANTA DE LA VIVIENDA

$YC = \frac{SWTotalX}{SWTotal} = 0.59 \text{ m}$ PASA ES MENOR AL 10% DE LA PLANTA DE LA VIVIENDA

No. Muro	Lmuro	Atrib	t	Wmuro	Pact
	(m)	(m2)	(cm)	(Ton)	(Ton)
1	3.15	2.250	12.00	2.17	3.294
2	3.00	2.031	12.00	2.07	3.081
3	1.71	2.392	12.00	1.18	2.373
4	0.60	1.926	12.00	0.41	1.376
5	3.15	4.500	12.00	2.17	4.419
6	3.00	1.982	12.00	2.07	3.056
7	3.15	5.805	12.00	2.17	5.071
8	1.50	0.393	12.00	1.03	1.229
9	1.65	3.824	12.00	1.14	3.048
10	3.00	3.261	12.00	2.07	3.696
11	3.15	4.305	12.00	2.17	4.321
			S X =	18.63	34.96
A	4.15	3.670	12.00	2.86	4.692
B	1.50	0.563	12.00	1.03	1.314
C	4.15	2.837	12.00	2.86	4.276
D	2.50	1.577	12.00	1.72	2.510
E	0.81	0.839	12.00	0.56	0.977
F	3.05	7.120	12.00	2.10	5.660
G	1.65	0.883	12.00	1.14	1.577
H	2.00	6.904	12.00	1.38	4.829
I	1.01	0.366	12.00	0.70	0.878
J	2.05	3.400	12.00	1.41	3.111
K	3.05	5.835	12.00	2.10	5.017
L	0.83	0.750	12.00	0.57	0.946
M	3.15	2.250	12.00	2.17	3.294
N	4.15	3.750	12.00	2.86	4.732
O	5.15	6.069	12.00	3.55	6.580
			S Y =	26.99	50.40
			S T =	45.62	85.360

BUAP

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-4

CÁLCULO DEL CENTRO DE CORTANTE DE LOS MUROS

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA: NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

B. Cálculo del centro de cortante de los muros:

CM + CVI = 0.700 Ton/m2 Carga para diseño por sismo.

XC = SWTotalX / SWTotal = 0.41 m PASA ES MENOR AL 10% DE LA PLANTA DE LA VIVIENDA

YC = SWTotalX / SWTotal = 0.59 m PASA ES MENOR AL 10% DE LA PLANTA DE LA VIVIENDA

No. Muro	Lmuro	Atrib	t	Wmuro	Pact
	(m)	(m2)	(cm)	(Ton)	(Ton)
1	3.15	2.250	12.00	2.17	3.744
2	3.00	2.031	12.00	2.07	3.487
3	1.71	2.392	12.00	1.18	2.852
4	0.60	1.926	12.00	0.41	1.761
5	3.15	4.500	12.00	2.17	5.319
6	3.00	1.982	12.00	2.07	3.453
7	3.15	5.805	12.00	2.17	6.232
8	1.50	0.393	12.00	1.03	1.308
9	1.65	3.824	12.00	1.14	3.812
10	3.00	3.261	12.00	2.07	4.348
11	3.15	4.305	12.00	2.17	5.182
			S X=	18.63	41.50
A	4.15	3.670	12.00	2.86	5.426
B	1.50	0.563	12.00	1.03	1.427
C	4.15	2.837	12.00	2.86	4.843
D	2.50	1.577	12.00	1.72	2.825
E	0.81	0.839	12.00	0.56	1.145
F	3.05	7.120	12.00	2.10	7.084
G	1.65	0.883	12.00	1.14	1.754
H	2.00	6.904	12.00	1.38	6.210
I	1.01	0.366	12.00	0.70	0.952
J	2.05	3.400	12.00	1.41	3.791
K	3.05	5.835	12.00	2.10	6.184
L	0.83	0.750	12.00	0.57	1.096
M	3.15	2.250	12.00	2.17	3.744
N	4.15	3.750	12.00	2.86	5.482
O	5.15	6.069	12.00	3.55	7.794
			S Y =	26.99	59.76
			S T =	45.62	101.256

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-5

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

CÁLCULO DEL CENTRO DE CORTANTE DE LOS MUROS

B. Cálculo de la excentricidad:

Excentricidad permisible

eX = |XR - XC | = 3.195 m Bx = 0.700 m

eY = |YR - YC | = 5.465 m By = 1.200 m

t = 0.12
hmuro efectiva 2.7

Análisis Sísmico Estático con el empleo del método simplificado de análisis:

$$F_{Sn} = \frac{c}{Q} \frac{\sum_{n=1}^N W_n}{\sum_{n=1}^N W_n h_n} W_n h_n$$

En donde:

- Fs Fuerza sísmica concentrada a la altura de la masa "n"
- c Coeficiente sísmico
- Wn Peso de la masa "n"
- hn Altura de la masa "n"

No. Muro	gmuro	L	Hmuro	t	Wmuro
	(Ton/m3)	(m)	(m)	(m)	(Ton)
1	1.70	3.15	2.70	0.12	2.17
2	1.70	3.00	2.70	0.12	2.07
3	1.70	1.71	2.70	0.12	1.18
4	1.70	0.60	2.70	0.12	0.41
5	1.70	3.15	2.70	0.12	2.17
6	1.70	3.00	2.70	0.12	2.07
7	1.70	3.15	2.70	0.12	2.17
8	1.70	1.50	2.70	0.12	1.03
9	1.70	1.65	2.70	0.12	1.14
10	1.70	3.00	2.70	0.12	2.07
11	1.70	3.15	2.70	0.12	2.17
A	1.70	4.15	2.70	0.12	2.86
B	1.70	1.50	2.70	0.12	1.03
C	1.70	4.15	2.70	0.12	2.86
D	1.70	2.50	2.70	0.12	1.72
E	1.70	0.81	2.70	0.12	0.56
F	1.70	3.05	2.70	0.12	2.10
G	1.70	1.65	2.70	0.12	1.14
H	1.70	2.00	2.70	0.12	1.38
I	1.70	1.01	2.70	0.12	0.70
J	1.70	2.05	2.70	0.12	1.41
K	1.70	3.05	2.70	0.12	2.10
L	1.70	0.83	2.70	0.12	0.57
M	1.70	3.15	2.70	0.12	2.17
N	1.70	4.15	2.70	0.12	2.86
O	1.70	5.15	2.70	0.12	3.55
	S =	66.26		S =	45.62

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-6

ESCALA: Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017 VILLAHERMOSA, TABASCO.

CÁLCULO DE LA EXCENTRICIDAD

Datos de cargas:

c = 0.360
Q = 1.500

Número de Masa	Wi (Ton)	hi (m)	(Wi)(hi) (Ton-m)	Fix (Ton)	Fiz (Ton)	Fix · hi (Ton-m)	Fiz · hi (Ton-m)
1	71.694	3.050	218.666	17.206	17.206	52.480	52.480
Σ(Wi) =	71.694	Σ(Wi)(hi) =	218.666			52.480	52.480

Wi (Ton)	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7
71.693715	45.62	20.16	5.914				

BUAP

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:
CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-7

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

DATOS DE CARGAS

ESCALA:
Sin escala

Dirección X

f*m = 20 Resistencia de diseño a compresión para bloques de concreto huecos (NTC-2004)
Fstotal = 17.20649

No. Muro	L	t	Hmuro	L3	Emuro	Fsi
	(m)	(cm)	(cm)	(m3)	(Kg/cm2)	(Ton)
1	3.15	12.00	305.00	31.256	16000	2.455
2	3.00	12.00	305.00	27.000	16000	2.120
3	1.71	12.00	305.00	5.000	16000	0.393
4	0.60	12.00	305.00	0.216	16000	0.017
5	3.15	12.00	305.00	31.256	16000	2.455
6	3.00	12.00	305.00	27.000	16000	2.120
7	3.15	12.00	305.00	31.256	16000	2.455
8	1.50	12.00	305.00	3.375	16000	0.265
9	1.65	12.00	305.00	4.492	16000	0.353
10	3.00	12.00	305.00	27.000	16000	2.120
11	3.15	12.00	305.00	31.256	16000	2.455
			S =	219.11	S =	17.206

BUAP

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:
CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-8

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

DATOS DE CARGAS

ESCALA:
Sin escala

Dirección Y

f*m = 20 Resistencia de diseño a compresión para bloques de concreto macizos (NTC-2004)
Fstotal = 17.206

No. Muro	L	t	Hmuro	L3	Emuro	Fsi
	(m)	(cm)	(cm)	(m3)	(Kg/cm2)	(Ton)
A	4.15	12.00	305.00	71.47	16000	2.555
B	1.50	12.00	305.00	3.38	16000	0.121
C	4.15	12.00	305.00	71.47	16000	2.555
D	2.50	12.00	305.00	15.63	16000	0.559
E	0.81	12.00	305.00	0.53	16000	0.019
F	3.05	12.00	305.00	28.37	16000	1.014
G	1.65	12.00	305.00	4.49	16000	0.161
H	2.00	12.00	305.00	8.00	16000	0.286
I	1.01	12.00	305.00	1.03	16000	0.037
J	2.05	12.00	305.00	8.62	16000	0.308
K	3.05	12.00	305.00	28.37	16000	1.014
L	0.83	12.00	305.00	0.57	16000	0.020
M	3.15	12.00	305.00	31.26	16000	1.118
N	4.15	12.00	305.00	71.47	16000	2.555
O	5.15	12.00	305.00	136.59	16000	4.884
			S =	481.25	S =	17.206

BUAP

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:
CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-9

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

DATOS DE CARGAS

ESCALA:
Sin escala

Carga a compresión actuante sobre los muros (CM + CVM)

No. Muro	Lmuro(m)	Lpretil(m)	Atrib (m2)	t (cm)	Wmuro (Ton)	Wpretil(Ton)	Pact (Ton)
1	3.15	3.15	2.250	12	2.169	0.281	3.575
2	3.00	3.00	2.031	12	2.066	0.268	3.349
3	1.71	1.71	2.392	12	1.177	0.153	2.526
4	0.60	0.60	1.926	12	0.413	0.054	1.430
5	3.15	3.15	4.500	12	2.169	0.281	4.700
6	3.00	3.00	1.982	12	2.066	0.268	3.324
7	3.15	3.15	5.805	12	2.169	0.281	5.352
8	1.50	1.50	0.393	12	1.033	0.134	1.363
9	1.65	1.65	3.824	12	1.136	0.147	3.195
10	3.00	3.00	3.261	12	2.066	0.268	3.964
11	3.15	3.15	4.305	12	2.169	0.281	4.602
A	4.15	4.15	3.670	12	2.857	0.370	5.063
B	1.50	1.50	0.563	12	1.033	0.134	1.448
C	4.15	4.15	2.837	12	2.857	0.370	4.646
D	2.50	2.50	1.577	12	1.721	0.223	2.733
E	0.81	0.81	0.839	12	0.558	0.072	1.049
F	3.05	3.05	7.120	12	2.100	0.272	5.932
G	1.65	1.65	0.883	12	1.136	0.147	1.725
H	2.00	2.00	6.904	12	1.377	0.179	5.008
I	1.01	1.01	0.366	12	0.695	0.090	0.969
J	2.05	2.05	3.400	12	1.411	0.183	3.294
K	3.05	3.05	5.835	12	2.100	0.272	5.290
L	0.83	0.83	0.750	12	0.571	0.074	1.021
M	3.15	3.15	2.250	12	2.169	0.281	3.575
N	4.15	4.15	3.750	12	2.857	0.370	5.103
O	5.15	5.15	6.069	12	3.546	0.460	7.040
				S =	45.620	5.914	91.274

BUAP

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-10

CARGA A COMPRESIÓN ACTUANTE SOBRE LOS MUROS
(CM + CVM)

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

Carga a compresión actuante sobre los muros (CM + CVI)

No. Muro	Lmuro(m)	Lpretil(m)	Atrib (m2)	t (cm)	Wmuro (Ton)	Wpretil(Ton)	Pact (Ton)
1	3.15	3.15	2.250	12	2.169	0.281	4.025
2	3.00	3.00	2.031	12	2.066	0.268	3.755
3	1.71	1.71	2.392	12	1.177	0.153	3.004
4	0.60	0.60	1.926	12	0.413	0.054	1.815
5	3.15	3.15	4.500	12	2.169	0.281	5.600
6	3.00	3.00	1.982	12	2.066	0.268	3.720
7	3.15	3.15	5.805	12	2.169	0.281	6.513
8	1.50	1.50	0.393	12	1.033	0.134	1.442
9	1.65	1.65	3.824	12	1.136	0.147	3.960
10	3.00	3.00	3.261	12	2.066	0.268	4.616
11	3.15	3.15	4.305	12	2.169	0.281	5.463
A	4.15	4.15	4.233	12	2.857	0.370	6.190
B	1.50	1.50	5.233	12	1.033	0.134	4.829
C	4.15	4.15	2.837	12	2.857	0.370	5.214
D	2.50	2.50	1.577	12	1.721	0.223	3.048
E	0.81	0.81	0.839	12	0.558	0.072	1.217
F	3.05	3.05	7.120	12	2.100	0.272	7.356
G	1.65	1.65	0.883	12	1.136	0.147	1.901
H	2.00	2.00	6.904	12	1.377	0.179	6.388
I	1.01	1.01	0.366	12	0.695	0.090	1.042
J	2.05	2.05	3.400	12	1.411	0.183	3.974
K	3.05	3.05	5.835	12	2.100	0.272	6.457
L	0.83	0.83	0.750	12	0.571	0.074	1.171
M	3.15	3.15	2.250	12	2.169	0.281	4.025
N	4.15	4.15	3.750	12	2.857	0.370	5.853
O	5.15	5.15	6.069	12	3.546	0.460	8.254
				S =	45.620	5.914	110.832

B

U

A

P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-11

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

CARGA A COMPRESIÓN ACTUANTE SOBRE OS MUROS
(CM + CVI)

Revisión por cargas gravitacionales

No. Muro	Lmuro	Hmuro	t	e'	k	FE	AT (cm2)	SAS fy (Kg)	PR (Ton)	PU (Ton)	Resultado
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)							
1	315.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3780	23856	15.44	5.005	Sí cumple
2	300.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3600	23856	14.88	4.688	Sí cumple
3	171.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	2052	23856	19.30	3.536	Sí cumple
4	60.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	720	23856	11.38	2.002	Sí cumple
5	315.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	3780	23856	29.57	6.580	Sí cumple
6	300.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	3600	47712	35.60	4.654	Sí cumple
7	315.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	3780	35784	33.12	7.493	Sí cumple
8	150.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	1800	23856	9.29	1.908	Sí cumple
9	165.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	1980	23856	18.87	4.473	Sí cumple
10	300.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3600	47712	18.58	5.549	Sí cumple
11	315.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3780	32000	16.70	6.443	Sí cumple
A	415.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	4980	47712	22.87	7.088	Sí cumple
B	165.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	1980	23856	9.85	2.027	Sí cumple
C	415.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	4980	35784	21.01	6.505	Sí cumple
D	250.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3000	23856	13.02	3.826	Sí cumple
E	81.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	972	23856	12.87	1.469	Sí cumple
F	305.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	3660	47712	35.95	8.305	Sí cumple
G	165.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	1980	23856	18.87	2.414	Sí cumple
H	200.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	2400	35784	24.91	7.011	Sí cumple
I	101.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	1212	35784	17.85	1.356	Sí cumple
J	205.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	2460	35784	25.27	4.612	Sí cumple
K	305.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	3660	35784	32.41	7.405	Sí cumple
L	83.00	305	12.00	0.50	0.80	0.50	996	11928	9.47	1.429	Sí cumple
M	315.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	3780	35784	17.29	5.005	Sí cumple
N	415.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	4980	47712	22.87	7.144	Sí cumple
O	515.00	305	12.00	0.50	1.00	0.26	6180	47712	26.59	9.856	Sí cumple

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-12

ESCALA: Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017 VILLAHERMOSA, TABASCO.

Revisión por cortantes (sismo)

No. Muro	Lmuro	Hmuro	t	vm*	AT (cm2)	P (Ton)	1.5 FR vm* AT	VmR (Ton)	VU (Ton)	Resultado
	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg/cm2)						
1	315.00	305	12.00	3.00	3780	4.025	11.907	4.814	2.700	Sí cumple
2	300.00	305	12.00	3.00	3600	3.755	11.340	4.569	2.332	Sí cumple
3	171.00	305	12.00	3.00	2052	3.004	6.464	2.786	0.432	Sí cumple
4	60.00	305	12.00	3.00	720	1.815	2.268	1.137	0.019	Sí cumple
5	315.00	305	12.00	3.00	3780	5.600	11.907	5.145	2.700	Sí cumple
6	300.00	305	12.00	3.00	3600	3.720	11.340	4.561	2.332	Sí cumple
7	315.00	305	12.00	3.00	3780	6.513	11.907	5.337	2.700	Sí cumple
8	150.00	305	12.00	3.00	1800	1.442	5.670	2.193	0.292	Sí cumple
9	165.00	305	12.00	3.00	1980	3.960	6.237	2.911	0.388	Sí cumple
10	300.00	305	12.00	3.00	3600	4.616	11.340	4.749	2.332	Sí cumple
11	315.00	305	12.00	3.00	3780	5.463	11.907	5.116	2.700	Sí cumple
A	415.00	305	12.00	3.00	4980	6.190	15.687	6.529	2.811	Sí cumple
B	165.00	305	12.00	3.00	1980	4.829	6.237	3.093	0.133	Sí cumple
C	415.00	305	12.00	3.00	4980	5.214	15.687	6.324	2.811	Sí cumple
D	250.00	305	12.00	3.00	3000	3.048	9.450	3.790	0.615	Sí cumple
E	81.00	305	12.00	3.00	972	1.217	3.062	1.276	0.021	Sí cumple
F	305.00	305	12.00	3.00	3660	7.356	11.529	5.388	1.116	Sí cumple
G	165.00	305	12.00	3.00	1980	1.901	6.237	2.478	0.177	Sí cumple
H	200.00	305	12.00	3.00	2400	6.388	7.560	3.862	0.315	Sí cumple
I	101.00	305	12.00	3.00	1212	1.042	3.818	1.491	0.041	Sí cumple
J	205.00	305	12.00	3.00	2460	3.974	7.749	3.418	0.339	Sí cumple
K	305.00	305	12.00	3.00	3660	6.457	11.529	5.199	1.116	Sí cumple
L	83.00	305	12.00	3.00	996	1.171	3.137	1.292	0.022	Sí cumple
M	315.00	305	12.00	3.00	3780	4.025	11.907	4.814	1.229	Sí cumple
N	415.00	305	12.00	3.00	4980	5.853	15.687	6.458	2.811	Sí cumple
O	515.00	305	12.00	3.00	6180	8.254	19.467	8.222	5.372	Sí cumple

BUAP

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-13

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

REVISIÓN POR CORTANTES (SISMO)

Resistencia a flexión

No.	L	Hmuro/L	Distor*Q	As*fy	d'	Mo (Ton-m)	PR/3	FR	MR (Ton-m)	ph	ph*fyh	η	VsR (Ton)
	(m)												
1	3.15	0.97	0.00021	12800	300.00	38.4	5.15	0.8	35.952591	0.000433199	1.8194375	0.6	2.888538975
2	3.00	1.02	0.0002	12800	285.00	36.48	4.96	0.8	34.453154	0.000431646	1.8129125	0.6	2.7411237
3	1.71	1.78	0.00017	12800	156.00	19.968	6.43	0.8	17.708972	0.000461722	1.9392328	0.6	1.671308415
4	0.60	5.08	0.00017	12800	45.00	5.76	3.79	0.8	4.9232378	0.000537188	2.2561875	0.6	0.6822711
5	3.15	0.97	0.00018	12800	300.00	38.4	9.86	0.8	36.789937	0.000462961	1.9444375	0.6	3.086988975
6	3.00	1.02	0.00016	25600	285.00	72.96	11.87	0.8	62.451534	0.000430958	1.810025	0.6	2.7367578
7	3.15	0.97	0.00011	19200	300.00	57.6	11.04	0.8	52.992641	0.000480223	2.0169375	0.6	3.202089975
8	1.50	2.03	0.00017	12800	135.00	17.28	3.10	0.8	14.63986	0.000414357	1.7402992	0.6	1.31566617
9	1.65	1.85	0.00018	12800	150.00	19.2	6.29	0.8	17.473517	0.000499991	2.0999602	0.6	1.746326925
10	3.00	1.02	0.0002	25600	285.00	72.96	6.19	0.8	67.122953	0.000448729	1.8846625	0.6	2.8496097
11	3.15	0.97	0.0002	25600	300.00	76.8	5.57	0.6	47.185223	0.000460382	1.9336042	0.6	3.069789975
A	4.15	0.73	0.00012	25600	400.00	102.4	7.62	0.8	94.434401	0.000445932	1.8729164	0.6	3.917391975
B	1.65	1.85	0.00012	12800	150.00	19.2	3.28	0.8	16.317769	0.000531363	2.2317235	0.6	1.85590125
C	4.15	0.73	0.00012	19200	400.00	76.8	7.00	0.8	72.50156	0.000431922	1.8140742	0.6	3.794317695
D	2.50	1.22	0.00011	19200	235.00	45.12	4.34	0.8	38.879179	0.000429713	1.8047925	0.6	2.27403855
E	0.81	3.77	0.01427	12800	66.00	8.448	4.29	0.8	7.0823737	0.000446596	1.8757029	0.6	0.765736965
F	3.05	1.00	0.0001	19200	290.00	55.68	11.98	0.8	51.956206	0.000500705	2.1029621	0.6	3.232673325
G	1.65	1.85	0.0001	12800	150.00	19.2	6.29	0.8	16.500782	0.000425723	1.788036	0.6	1.486930725
H	2.00	1.53	0.0001	12800	185.00	23.68	8.30	0.8	25.588674	0.000547271	2.2985375	0.6	2.3169258
I	1.01	3.02	0.0001	12800	86.00	11.008	5.95	0.8	9.1867407	0.000418537	1.7578533	0.6	0.894817665
J	2.05	1.49	0.0001	12800	190.00	24.32	8.42	0.8	22.188694	0.000472543	1.9846814	0.6	2.050572825
K	3.05	1.00	0.0001	12800	290.00	37.12	10.80	0.8	36.305402	0.000483151	2.0292326	0.6	3.119336325
L	0.83	3.67	0.0001	6400	68.00	4.352	3.16	0.8	3.8052109	0.000441088	1.85257	0.6	0.774967095
M	3.15	0.97	0.00011	19200	300.00	57.6	5.76	0.8	54.776638	0.000433199	1.8194375	0.6	2.888538975
N	4.15	0.73	0.00011	25600	400.00	102.4	7.62	0.8	94.099224	0.000441088	1.85257	0.6	3.874835475
O	5.15	0.59	0.00011	32000	500.00	160	8.86	0.6	103.3656	0.000452539	1.9006657	0.6	4.933367775

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-14

ESCALA: Sin escala

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA, TABASCO.

Resistencia a flexión

No.	L	Hmuro/L	VmR	VsR	α	Vmax (Ton)	I (m4)	G*E (kg/cm)	Ko (kg/cm)	Di Agr	Vu (Ton)
	(m)										
1	3.15	0.97	4.814	2.888539	0.6000	6.018	0.312559	6400	74666.667	0.000238801	3.8513853
2	3.00	1.02	4.569	2.741124	0.6000	5.711	0.27	6400	71111.111	0.000237945	3.6548316
3	1.71	1.78	2.786	1.671308	0.6000	3.482	0.050002	6400	40533.333	0.000254524	2.2284112
4	0.60	5.08	1.137	0.682271	0.6000	1.421	0.00216	6400	14222.222	0.000296125	0.9096948
5	3.15	0.97	5.145	3.086989	0.6000	6.431	0.312559	6400	74666.667	0.000255207	4.1159853
6	3.00	1.02	4.561	2.736758	0.6000	5.702	0.27	6400	71111.111	0.000237566	3.6490104
7	3.15	0.97	5.337	3.20209	0.6000	6.671	0.312559	6400	74666.667	0.000264723	4.2694533
8	1.50	2.03	2.193	1.315666	0.6000	2.741	0.03375	6400	35555.556	0.000228414	1.7542216
9	1.65	1.85	2.911	1.746327	0.6000	3.638	0.044921	6400	39111.111	0.00027562	2.3284359
10	3.00	1.02	4.749	2.84961	0.6000	5.937	0.27	6400	71111.111	0.000247362	3.7994796
11	3.15	0.97	5.116	3.06979	0.6000	6.395	0.312559	6400	74666.667	0.000253786	4.0930533
A	4.15	0.73	6.529	3.917392	0.6000	8.161	0.714734	6400	98370.37	0.00024582	5.2231893
B	1.65	1.85	3.093	1.855901	0.6000	3.866	0.044921	6400	39111.111	0.000292914	2.474535
C	4.15	0.73	6.324	3.794318	0.6000	7.905	0.714734	6400	98370.37	0.000238097	5.0590903
D	2.50	1.22	3.790	2.274039	0.6000	4.738	0.15625	6400	59259.259	0.000236879	3.0320514
E	0.81	3.77	1.276	0.765737	0.6000	1.595	0.005314	6400	19200	0.000246186	1.0209826
F	3.05	1.00	5.388	3.232673	0.6000	6.735	0.283726	6400	72296.296	0.000276014	4.3102311
G	1.65	1.85	2.478	1.486931	0.6000	3.098	0.044921	6400	39111.111	0.00023468	1.9825743
H	2.00	1.53	3.862	2.316926	0.6000	4.827	0.08	6400	47407.407	0.000301683	3.0892344
I	1.01	3.02	1.491	0.894818	0.6000	1.864	0.010303	6400	23940.741	0.000230718	1.1930902
J	2.05	1.49	3.418	2.050573	0.6000	4.272	0.086151	6400	48592.593	0.000260489	2.7340971
K	3.05	1.00	5.199	3.119336	0.6000	6.499	0.283726	6400	72296.296	0.000266337	4.1591151
L	0.83	3.67	1.292	0.774967	0.6000	1.615	0.005718	6400	19674.074	0.00024315	1.0332895
M	3.15	0.97	4.814	2.888539	0.6000	6.018	0.312559	6400	74666.667	0.000238801	3.8513853
N	4.15	0.73	6.458	3.874835	0.6000	8.073	0.714734	6400	98370.37	0.00024315	5.1664473
O	5.15	0.59	8.222	4.933368	0.6000	10.278	1.365909	6400	122074.07	0.000249462	6.5778237

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-15

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

RESISTENCIA A AGRIETAMIENTOS

Para Curva capacidad de cada muro

No.	L	H	I (m4)	P (Ton)	V agrv(Ton)	DI Agr	V max	V u
	(m)	(m)						
1	3.15	2.7	0.312559	4.025	4.814	0.0002388	6.018	3.8513853
2	3.00	2.7	0.27	3.755	4.569	0.00023794	5.711	3.6548316
3	1.71	2.7	0.050002	3.004	2.786	0.00025452	3.482	2.22841122
4	0.60	2.7	0.00216	1.815	1.137	0.00029612	1.421	0.9096948
5	3.15	2.7	0.312559	5.600	5.145	0.00025521	6.431	4.1159853
6	3.00	2.7	0.27	3.720	4.561	0.00023757	5.702	3.6490104
7	3.15	2.7	0.312559	6.513	5.337	0.00026472	6.671	4.2694533
8	1.50	2.7	0.03375	1.442	2.193	0.00022841	2.741	1.75422156
9	1.65	2.7	0.044921	3.960	2.911	0.00027562	3.638	2.3284359
10	3.00	2.7	0.27	4.616	4.749	0.00024736	5.937	3.7994796
11	3.15	2.7	0.312559	5.463	5.116	0.00025379	6.395	4.0930533
A	4.15	2.7	0.714734	6.190	6.529	0.00024582	8.161	5.2231893
B	1.65	2.7	0.044921	4.829	3.093	0.00029291	3.866	2.474535
C	4.15	2.7	0.714734	5.214	6.324	0.0002381	7.905	5.05909026
D	2.50	2.7	0.15625	3.048	3.790	0.00023688	4.738	3.0320514
E	0.81	2.7	0.005314	1.217	1.276	0.00024619	1.595	1.02098262
F	3.05	2.7	0.283726	7.356	5.388	0.00027601	6.735	4.3102311
G	1.65	2.7	0.044921	1.901	2.478	0.00023468	3.098	1.9825743
H	2.00	2.7	0.08	6.388	3.862	0.00030168	4.827	3.0892344
I	1.01	2.7	0.010303	1.042	1.491	0.00023072	1.864	1.19309022
J	2.05	2.7	0.086151	3.974	3.418	0.00026049	4.272	2.7340971
K	3.05	2.7	0.283726	6.457	5.199	0.00026634	6.499	4.1591151
L	0.83	2.7	0.005718	1.171	1.292	0.00024315	1.615	1.03328946
M	3.15	2.7	0.312559	4.025	4.814	0.0002388	6.018	3.8513853
N	4.15	2.7	0.714734	5.853	6.458	0.00024315	8.073	5.1664473
O	5.15	2.7	1.365909	8.254	8.222	0.00024946	10.278	6.5778237

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-16

CURVA CAPACIDAD DE CADA MURO

ESCALA:
Sin escala

TESIS:

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

Resumen

No.	L	H	Pr (Ton)	Pu (Ton)	VmR (Ton)	Vu (Ton)	Fsi (Ton)	Di agr
	(m)	(m)						
1	3.15	2.7	15.44	5.005	4.814	2.700	2.455	0.000238801
2	3.00	2.7	14.88	4.688	4.569	2.332	2.120	0.000237945
3	1.71	2.7	19.30	3.536	2.786	0.432	0.393	0.000254524
4	0.60	2.7	11.38	2.002	1.137	0.019	0.017	0.000296125
5	3.15	2.7	29.57	6.580	5.145	2.700	2.455	0.000255207
6	3.00	2.7	35.60	4.654	4.561	2.332	2.120	0.000237566
7	3.15	2.7	33.12	7.493	5.337	2.700	2.455	0.000264723
8	1.50	2.7	9.29	1.908	2.193	0.292	0.265	0.000228414
9	1.65	2.7	18.87	4.473	2.911	0.388	0.353	0.00027562
10	3.00	2.7	18.58	5.549	4.749	2.332	2.120	0.000247362
11	3.15	2.7	16.70	6.443	5.116	2.700	2.455	0.000253786
A	4.15	2.7	22.87	7.088	6.529	2.811	2.555	0.00024582
B	1.65	2.7	9.85	2.027	3.093	0.133	0.121	0.000292914
C	4.15	2.7	21.01	6.505	6.324	2.811	2.555	0.000238097
D	2.50	2.7	13.02	3.826	3.790	0.615	0.559	0.000236879
E	0.81	2.7	12.87	1.469	1.276	0.021	0.019	0.000246186
F	3.05	2.7	35.95	8.305	5.388	1.116	1.014	0.000276014
G	1.65	2.7	18.87	2.414	2.478	0.177	0.161	0.00023468
H	2.00	2.7	24.91	7.011	3.862	0.315	0.286	0.000301683
I	1.01	2.7	17.85	1.356	1.491	0.041	0.037	0.000230718
J	2.05	2.7	25.27	4.612	3.418	0.339	0.308	0.000260489
K	3.05	2.7	32.41	7.405	5.199	1.116	1.014	0.000266337
L	0.83	2.7	9.47	1.429	1.292	0.022	0.020	0.00024315
M	3.15	2.7	17.29	5.005	4.814	1.229	1.118	0.000238801
N	4.15	2.7	22.87	7.144	6.458	2.811	2.555	0.00024315
O	5.15	2.7	26.59	9.856	8.222	5.372	4.884	0.000249462

B

U

A

P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-17

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

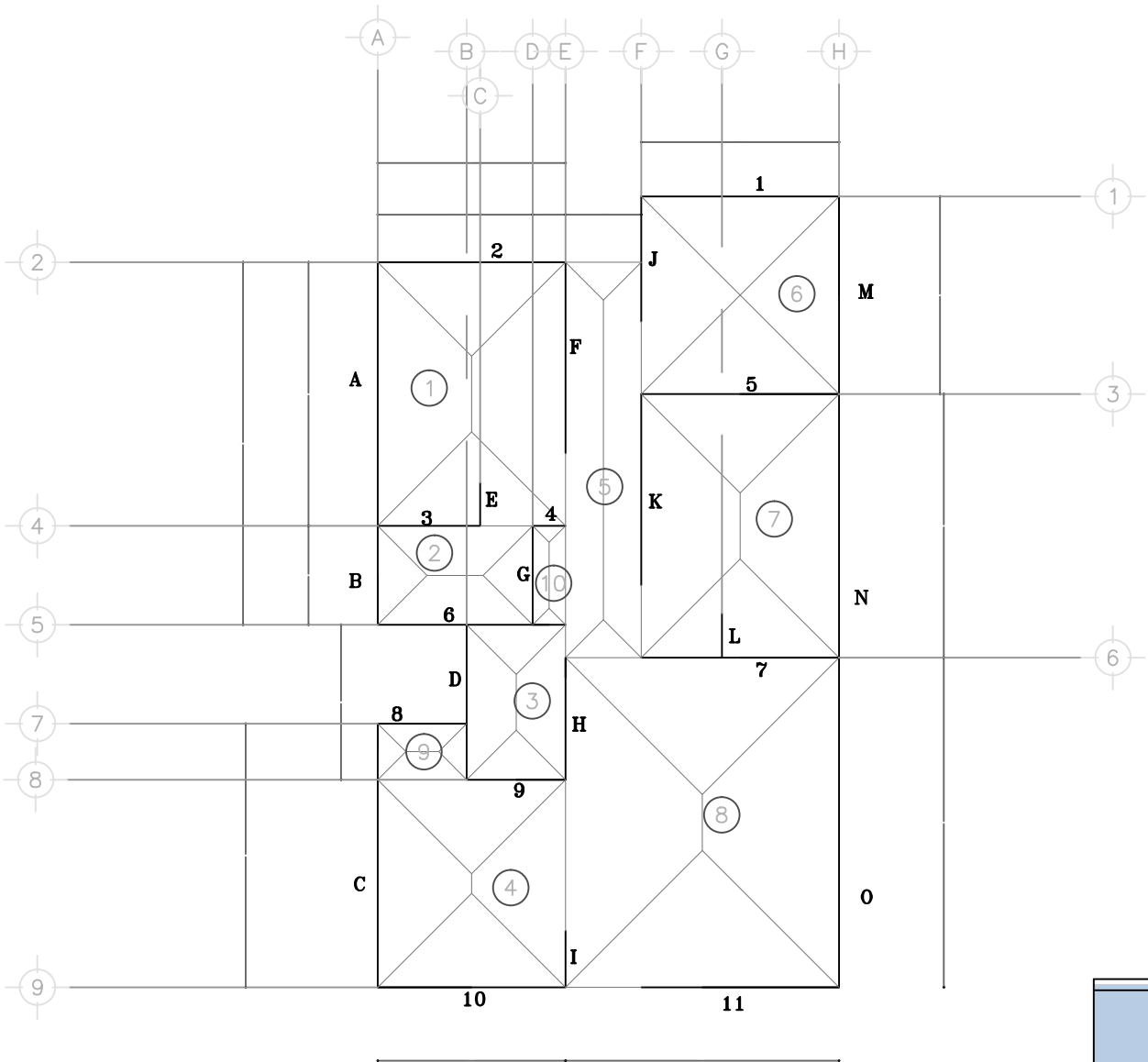
ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:

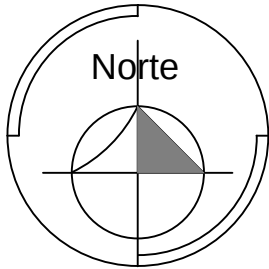
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

RESUMEN



ÁREAS TRIBUTARIAS

No.	B	L	P/trap	Area triangulo (m2)	Area trapecio (m2)
1	4.00	2.85	1.15	2.03	3.67
2	2.35	1.50	0.85	0.56	1.20
3	2.35	1.50	0.85	0.56	1.20
4	3.15	2.85	0.30	2.03	2.46
5	6.00	1.15	4.85	0.33	3.12
6	3.00	3.00	0.00	2.25	2.25
7	4.00	3.00	1.00	2.25	3.75
8	5.00	4.15	0.85	4.31	6.07
9	1.35	0.85	0.50	0.18	0.39
10	1.50	0.50	1.00	0.06	0.31



BUAP

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
**CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

T-18

ÁREAS TRIBUTARIAS

ESCALA:
1:500

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA: NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

A. Cálculo del centro de rigidez de los muros:

Muros en Dirección "X"

Hmuro = 3.050m

Altura libre de los muros.

No.	L	Hmuro/L	t	AX	FAE	AXE	Y	Y AXE
	(m)		(cm)	(cm2)		(cm2)	(m)	(cm2 m)
1	3.15	0.97	15.00	4725.00	1.00	4725.00	0.00	0.0000
2	3.00	1.02	15.00	4500.00	1.00	4500.00	1.00	4500.0000
3	1.71	1.78	15.00	2565.00	0.65	1668.34	5.00	8341.7018
4	0.60	5.08	15.00	900.00	0.08	72.07	5.00	360.3463
5	3.15	0.97	15.00	4725.00	1.00	4725.00	3.00	14175.0000
6	3.00	1.02	15.00	4500.00	1.00	4500.00	6.50	29250.0000
7	3.15	0.97	15.00	4725.00	1.00	4725.00	7.00	33075.0000
8	1.50	2.03	15.00	2250.00	0.50	1126.08	8.00	9008.6578
9	1.65	1.85	15.00	2475.00	0.61	1498.82	8.85	13264.5166
10	3.00	1.02	15.00	4500.00	1.00	4500.00	12.00	54000.0000
11	3.15	0.97	15.00	4725.00	1.00	4725.00	12.00	56700.0000
			S =	40590.00	S =	36765.31	S =	222675.22

YR = ΣY AXE / ΣAXE = 6.057 m

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-19

ESCALA: Sin escala

MAESTRÍA: INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO: ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS: M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017 VILLAHERMOSA, TABASCO.

A. Cálculo del centro de rigidez de los muros:

Muros en Dirección "Y"

Hmuro = 3.050m

Altura libre de los muros.

No.	L	Hmuro/L	t	AY	FAE	AYE	X	X AYE
	(m)		(cm)	(cm2)		(cm2)	(m)	(cm2 m)
A	4.15	0.73	15.00	6225.00	1.00	6225.00	0.00	0.000000
B	1.65	1.85	15.00	2475.00	0.61	1498.82	0.00	0.000000
C	4.15	0.73	15.00	6225.00	1.00	6225.00	0.00	0.000000
D	2.50	1.22	15.00	3750.00	1.00	3750.00	1.35	5062.500000
E	0.81	3.77	15.00	1215.00	0.15	177.32	1.56	276.615161
F	3.05	1.00	15.00	4575.00	1.00	4575.00	2.85	13038.750000
G	1.65	1.85	15.00	2475.00	0.61	1498.82	2.35	3522.216273
H	2.00	1.53	15.00	3000.00	0.89	2669.23	2.85	7607.311000
I	1.01	3.02	15.00	1515.00	0.23	343.76	2.85	979.727516
J	2.05	1.49	15.00	3075.00	0.93	2874.47	4.00	11497.883365
K	3.05	1.00	15.00	4575.00	1.00	4575.00	4.00	18300.000000
L	0.83	3.67	15.00	1245.00	0.15	190.78	5.23	997.774247
M	3.15	0.97	15.00	4725.00	1.00	4725.00	7.00	33075.000000
N	4.15	0.73	15.00	6225.00	1.00	6225.00	7.00	43575.000000
O	5.15	0.59	15.00	7725.00	1.00	7725.00	7.00	54075.000000
			S =	59025.00	S =	53278.19	S =	192007.78

XR = SX AYE / SAYE = 3.604 m

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-20

ESCALA: Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017 VILLAHERMOSA, TABASCO.

B. Cálculo del centro de cortante de los muros:

gmuro = 0.600 Ton/m3
Hmuro = 2.700 m
Hpretil = 0.350 m
CM + CVM = 0.208 Ton/m2
glosa = 0.720 Ton/m3

Altura libre de los muros.
Altura libre de los pretils.
Carga para diseño por Gravedad.

XC = $\frac{SWTotalX}{SWTotal}$ = 0.408 m PASA ES MENOR AL 10% DE LA PLANTA DE LA VIVIENDA

YC = $\frac{SWTotalX}{SWTotal}$ = 0.592 m PASA ES MENOR AL 10% DE LA PLANTA DE LA VIVIENDA

No. Muro	Lmuro	Atrib	t	Wmuro	Pact
	(m)	(m2)	(cm)	(Ton)	(Ton)
1	3.15	2.250	15.00	0.77	1.233
2	3.00	2.031	15.00	0.73	1.151
3	1.71	2.392	15.00	0.42	0.913
4	0.60	1.926	15.00	0.15	0.546
5	3.15	4.500	15.00	0.77	1.701
6	3.00	1.982	15.00	0.73	1.141
7	3.15	5.805	15.00	0.77	1.973
8	1.50	0.393	15.00	0.36	0.446
9	1.65	3.824	15.00	0.40	1.196
10	3.00	3.261	15.00	0.73	1.407
11	3.15	4.305	15.00	0.77	1.661
			S =	6.58	13.371
A	4.15	3.670	15.00	1.01	1.772
B	1.50	0.563	15.00	0.36	0.482
C	4.15	2.837	15.00	1.01	1.599
D	2.50	1.577	15.00	0.61	0.935
E	0.81	0.839	15.00	0.20	0.371
F	3.05	7.120	15.00	0.74	2.222
G	1.65	0.883	15.00	0.40	0.585
H	2.00	6.904	15.00	0.49	1.922
I	1.01	0.366	15.00	0.25	0.322
J	2.05	3.400	15.00	0.50	1.205
K	3.05	5.835	15.00	0.74	1.955
L	0.83	0.750	15.00	0.20	0.358
M	3.15	2.250	15.00	0.77	1.233
N	4.15	3.750	15.00	1.01	1.788
O	5.15	6.069	15.00	1.25	2.514
			S =	9.53	19.262
			S =	16.10	32.633

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-21

ESCALA: Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017 VILLAHERMOSA, TABASCO.

CÁLCULO DEL CENTRO DE CORTANTE DE LOS MUROS

B. Cálculo del centro de cortante de los muros:

CM + CVI = 0.291 Ton/m2 Carga para diseño por sismo.

XC = SWTotalX / SWTotal = 0.407 m PASA ES MENOR AL 10% DE LA PLANTA DE LA VIVIENDA

YC = SWTotalX / SWTotal = 0.593 m PASA ES MENOR AL 10% DE LA PLANTA DE LA VIVIENDA

No. Muro	Lmuro	Atrib	t	Wmuro	Pact
	(m)	(m2)	(cm)	(Ton)	(Ton)
1	3.15	2.250	15.00	0.77	1.421
2	3.00	2.031	15.00	0.73	1.320
3	1.71	2.392	15.00	0.42	1.112
4	0.60	1.926	15.00	0.15	0.707
5	3.15	4.500	15.00	0.77	2.076
6	3.00	1.982	15.00	0.73	1.306
7	3.15	5.805	15.00	0.77	2.456
8	1.50	0.393	15.00	0.36	0.479
9	1.65	3.824	15.00	0.40	1.514
10	3.00	3.261	15.00	0.73	1.679
11	3.15	4.305	15.00	0.77	2.019
			S =	6.58	16.089
A	4.15	3.670	15.00	1.01	2.077
B	1.50	0.563	15.00	0.36	0.528
C	4.15	2.837	15.00	1.01	1.835
D	2.50	1.577	15.00	0.61	1.067
E	0.81	0.839	15.00	0.20	0.441
F	3.05	7.120	15.00	0.74	2.814
G	1.65	0.883	15.00	0.40	0.658
H	2.00	6.904	15.00	0.49	2.496
I	1.01	0.366	15.00	0.25	0.352
J	2.05	3.400	15.00	0.50	1.488
K	3.05	5.835	15.00	0.74	2.440
L	0.83	0.750	15.00	0.20	0.420
M	3.15	2.250	15.00	0.77	1.421
N	4.15	3.750	15.00	1.01	2.100
O	5.15	6.069	15.00	1.25	3.019
			S =	9.53	23.157
			S =	16.10	39.246

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-22

ESCALA: Sin escala

MAESTRÍA: INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO: ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS: M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA: NOVIEMBRE 2017 VILLAHERMOSA, TABASCO.

B. Cálculo de la excentricidad:

Excentricidad permisible

eX = |XR - XC | = 3.195 m Bx = 0.700 m

eY = |YR - YC | = 5.465 m By = 1.200 m

t = 0.15

hmuro efectiva 2.700

Análisis Sísmico Estático con el empleo del método simplificado de análisis:

$$F_{Sn} = \frac{c}{Q} \frac{\sum_{n=1}^N W_n}{\sum_{n=1}^N W_n h_n} W_n h_n$$

En donde:

- Fs Fuerza sísmica concentrada a la altura de la masa "n"
- c Coeficiente sísmico
- Wn Peso de la masa "n"
- hn Altura de la masa "n"

No. Muro	gmuro	L	Hmuro	t	Wmuro
	(Ton/m3)	(m)	(m)	(m)	(Ton)
1	0.60	3.15	2.70	0.15	0.77
2	0.60	3.00	2.70	0.15	0.73
3	0.60	1.71	2.70	0.15	0.42
4	0.60	0.60	2.70	0.15	0.15
5	0.60	3.15	2.70	0.15	0.77
6	0.60	3.00	2.70	0.15	0.73
7	0.60	3.15	2.70	0.15	0.77
8	0.60	1.50	2.70	0.15	0.36
9	0.60	1.65	2.70	0.15	0.40
10	0.60	3.00	2.70	0.15	0.73
11	0.60	3.15	2.70	0.15	0.77
A	0.60	4.15	2.70	0.15	1.01
B	0.60	1.50	2.70	0.15	0.36
C	0.60	4.15	2.70	0.15	1.01
D	0.60	2.50	2.70	0.15	0.61
E	0.60	0.81	2.70	0.15	0.20
F	0.60	3.05	2.70	0.15	0.74
G	0.60	1.65	2.70	0.15	0.40
H	0.60	2.00	2.70	0.15	0.49
I	0.60	1.01	2.70	0.15	0.25
J	0.60	2.05	2.70	0.15	0.50
K	0.60	3.05	2.70	0.15	0.74
L	0.60	0.83	2.70	0.15	0.20
M	0.60	3.15	2.70	0.15	0.77
N	0.60	4.15	2.70	0.15	1.01
O	0.60	5.15	2.70	0.15	1.25
	S =	66.26		S =	16.10

BUAP

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-23

MAESTRÍA: INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO: ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS: M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA: NOVIEMBRE 2017 VILLAHERMOSA, TABASCO.

CÁLCULO DE LA EXCENTRICIDAD

ESCALA: Sin escala

Datos de cargas:

c = 0.360

Q = 1.500

Número de Masa	Wi (Ton)	hi (m)	(Wi)(hi) (Ton-m)	Fix (Ton)	Fiz (Ton)	Fix · hi (Ton-m)	Fiz · hi (Ton-m)
1	27.260	3.050	83.144	6.542	6.542	19.955	19.955
$\sum(Wi) =$	27.260	$\sum(Wi)(hi) =$	83.144			19.955	19.955

Wi (Ton)	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7
27.26037	16.10	9.072	2.087				

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:
CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-24

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA, TABASCO.

DATOS DE CARGAS

ESCALA:
Sin escala

Dirección X

f*m = 15 Resistencia de diseño a compresión para bloques de concreto HEBEL (CENAPRED)
Fstotal = 6.542

No. Muro	L	t	Hmuro	L3	Emuro	Fsi
	(m)	(cm)	(cm)	(m3)	(Kg/cm2)	(Ton)
1	3.15	15.00	305.00	31.256	12000	0.933
2	3.00	15.00	305.00	27.000	12000	0.806
3	1.71	15.00	305.00	5.000	12000	0.149
4	0.60	15.00	305.00	0.216	12000	0.006
5	3.15	15.00	305.00	31.256	12000	0.933
6	3.00	15.00	305.00	27.000	12000	0.806
7	3.15	15.00	305.00	31.256	12000	0.933
8	1.50	15.00	305.00	3.375	12000	0.101
9	1.65	15.00	305.00	4.492	12000	0.134
10	3.00	15.00	305.00	27.000	12000	0.806
11	3.15	15.00	305.00	31.256	12000	0.933
			S =	219.11	S =	6.542

BUAP

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:
CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-25

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

DATOS DE CARGAS

ESCALA:
Sin escala

Dirección Y

f*m = 15 Resistencia de diseño a compresión para bloques de concreto macizos (NTC-2004)
Fstotal = 6.542

No. Muro	L	t	Hmuro	L3	Emuro	Fsi
	(m)	(cm)	(cm)	(m3)	(Kg/cm2)	(Ton)
A	4.15	15.00	305.00	71.47	12000	0.972
B	1.50	15.00	305.00	3.38	12000	0.046
C	4.15	15.00	305.00	71.47	12000	0.972
D	2.50	15.00	305.00	15.63	12000	0.212
E	0.81	15.00	305.00	0.53	12000	0.007
F	3.05	15.00	305.00	28.37	12000	0.386
G	1.65	15.00	305.00	4.49	12000	0.061
H	2.00	15.00	305.00	8.00	12000	0.109
I	1.01	15.00	305.00	1.03	12000	0.014
J	2.05	15.00	305.00	8.62	12000	0.117
K	3.05	15.00	305.00	28.37	12000	0.386
L	0.83	15.00	305.00	0.57	12000	0.008
M	3.15	15.00	305.00	31.26	12000	0.425
N	4.15	15.00	305.00	71.47	12000	0.972
O	5.15	15.00	305.00	136.59	12000	1.857
			S =	481.25	S =	6.542

BUAP

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:
CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-26

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

DATOS DE CARGAS

ESCALA:
Sin escala

Carga a compresión actuante sobre los muros (CM + CVM)

No. Muro	Lmuro(m)	Lpretil(m)	Atrib (m2)	t (cm)	Wmuro (Ton)	Wpretil(Ton)	Pact (Ton)
1	3.15	3.15	2.250	15	0.765	0.099	1.333
2	3.00	3.00	2.031	15	0.729	0.095	1.246
3	1.71	1.71	2.392	15	0.416	0.054	0.967
4	0.60	0.60	1.926	15	0.146	0.019	0.565
5	3.15	3.15	4.500	15	0.765	0.099	1.801
6	3.00	3.00	1.982	15	0.729	0.095	1.236
7	3.15	3.15	5.805	15	0.765	0.099	2.072
8	1.50	1.50	0.393	15	0.365	0.047	0.494
9	1.65	1.65	3.824	15	0.401	0.052	1.248
10	3.00	3.00	3.261	15	0.729	0.095	1.502
11	3.15	3.15	4.305	15	0.765	0.099	1.760
A	4.15	4.15	3.670	15	1.008	0.131	1.903
B	1.50	1.50	0.563	15	0.365	0.047	0.529
C	4.15	4.15	2.837	15	1.008	0.131	1.729
D	2.50	2.50	1.577	15	0.608	0.079	1.014
E	0.81	0.81	0.839	15	0.197	0.026	0.397
F	3.05	3.05	7.120	15	0.741	0.096	2.318
G	1.65	1.65	0.883	15	0.401	0.052	0.636
H	2.00	2.00	6.904	15	0.486	0.063	1.985
I	1.01	1.01	0.366	15	0.245	0.032	0.353
J	2.05	2.05	3.400	15	0.498	0.065	1.270
K	3.05	3.05	5.835	15	0.741	0.096	2.051
L	0.83	0.83	0.750	15	0.202	0.026	0.384
M	3.15	3.15	2.250	15	0.765	0.099	1.333
N	4.15	4.15	3.750	15	1.008	0.131	1.919
O	5.15	5.15	6.069	15	1.251	0.162	2.676
				S =	16.101	2.087	34.720

B

U

A

P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-27

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

CARGA A COMPRESIÓN ACTUANTE SOBRE LOS MUROS
(CM + CVM)

Carga a compresión actuante sobre los muros (CM + CVI)

No. Muro	Lmuro(m)	Lpretil(m)	Atrib (m2)	t (cm)	Wmuro (Ton)	Wpretil(Ton)	Pact (Ton)
1	3.15	3.15	2.250	15	0.765	0.099	1.520
2	3.00	3.00	2.031	15	0.729	0.095	1.415
3	1.71	1.71	2.392	15	0.416	0.054	1.166
4	0.60	0.60	1.926	15	0.146	0.019	0.726
5	3.15	3.15	4.500	15	0.765	0.099	2.175
6	3.00	3.00	1.982	15	0.729	0.095	1.401
7	3.15	3.15	5.805	15	0.765	0.099	2.555
8	1.50	1.50	0.393	15	0.365	0.047	0.526
9	1.65	1.65	3.824	15	0.401	0.052	1.566
10	3.00	3.00	3.261	15	0.729	0.095	1.773
11	3.15	3.15	4.305	15	0.765	0.099	2.118
A	4.15	4.15	4.233	15	1.008	0.131	2.372
B	1.50	1.50	5.233	15	0.365	0.047	1.935
C	4.15	4.15	2.837	15	1.008	0.131	1.965
D	2.50	2.50	1.577	15	0.608	0.079	1.145
E	0.81	0.81	0.839	15	0.197	0.026	0.467
F	3.05	3.05	7.120	15	0.741	0.096	2.911
G	1.65	1.65	0.883	15	0.401	0.052	0.710
H	2.00	2.00	6.904	15	0.486	0.063	2.559
I	1.01	1.01	0.366	15	0.245	0.032	0.384
J	2.05	2.05	3.400	15	0.498	0.065	1.553
K	3.05	3.05	5.835	15	0.741	0.096	2.536
L	0.83	0.83	0.750	15	0.202	0.026	0.446
M	3.15	3.15	2.250	15	0.765	0.099	1.520
N	4.15	4.15	3.750	15	1.008	0.131	2.231
O	5.15	5.15	6.069	15	1.251	0.162	3.181
				S =	16.101	2.087	42.857

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:
CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-28

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA, TABASCO.

CARGA A COMPRESIÓN ACTUANTE SOBRE OS MUROS (CM + CVI)

ESCALA:
Sin escala

Revisión por cargas gravitacionales

No. Muro	Lmuro	Hmuro	t	e'	k	FE	AT (cm2)	SAS fy (Kg)	PR (Ton)	PU (Ton)	Resultado
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)							
1	315.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	4725	11928	24.62	1.866	Sí cumple
2	300.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	4500	5964	21.84	1.744	Sí cumple
3	171.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	2565	5964	17.26	1.354	Sí cumple
4	60.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	900	5964	7.56	0.791	Sí cumple
5	315.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	4725	5964	29.84	2.521	Sí cumple
6	300.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	4500	11928	30.84	1.730	Sí cumple
7	315.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	4725	8946	30.99	2.901	Sí cumple
8	150.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	2250	5964	11.81	0.691	Sí cumple
9	165.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	2475	5964	16.73	1.747	Sí cumple
10	300.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	4500	11928	23.62	2.103	Sí cumple
11	315.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	4725	11928	24.62	2.464	Sí cumple
A	415.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	6225	11928	31.31	2.664	Sí cumple
B	165.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	2475	5964	12.81	0.740	Sí cumple
C	415.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	6225	8946	30.42	2.421	Sí cumple
D	250.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	3750	8946	19.39	1.420	Sí cumple
E	81.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	1215	5964	9.39	0.556	Sí cumple
F	305.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	4575	8946	30.12	3.245	Sí cumple
G	165.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	2475	5964	16.73	0.891	Sí cumple
H	200.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	3000	5964	19.79	2.779	Sí cumple
I	101.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	1515	5964	11.14	0.495	Sí cumple
J	205.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	3075	5964	20.23	1.778	Sí cumple
K	305.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	4575	5964	28.96	2.871	Sí cumple
L	83.00	305	15.00	0.63	0.80	0.65	1245	2982	8.41	0.537	Sí cumple
M	315.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	4725	8946	23.73	1.866	Sí cumple
N	415.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	6225	11928	31.31	2.687	Sí cumple
O	515.00	305	15.00	0.63	1.00	0.50	7725	14910	38.89	3.746	Sí cumple

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-29

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

REVISIÓN POR CARGAS GRAVITACIONALES

ESCALA:
Sin escala

Revisión por cortantes (sismo)

No. Muro	Lmuro	Hmuro	t	vm*	AT (cm2)	P (Ton)	1.5 FR vm* AT	VmR (Ton)	VU (Ton)	Resultado	NTC Cargas Laterales
	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg/cm)							
1	315.00	305	15.00	3.00	4725	1.520	14.884	5.280	1.027	Sí cumple	Sí cumple
2	300.00	305	15.00	3.00	4500	1.415	14.175	5.022	0.887	Sí cumple	Sí cumple
3	171.00	305	15.00	3.00	2565	1.166	8.080	2.938	0.164	Sí cumple	Sí cumple
4	60.00	305	15.00	3.00	900	0.726	2.835	1.097	0.007	Sí cumple	Sí cumple
5	315.00	305	15.00	3.00	4725	2.175	14.884	5.418	1.027	Sí cumple	Sí cumple
6	300.00	305	15.00	3.00	4500	1.401	14.175	5.019	0.887	Sí cumple	Sí cumple
7	315.00	305	15.00	3.00	4725	2.555	14.884	5.498	1.027	Sí cumple	Sí cumple
8	150.00	305	15.00	3.00	2250	0.526	7.088	2.473	0.111	Sí cumple	Sí cumple
9	165.00	305	15.00	3.00	2475	1.566	7.796	2.928	0.148	Sí cumple	Sí cumple
10	300.00	305	15.00	3.00	4500	1.773	14.175	5.097	0.887	Sí cumple	Sí cumple
11	315.00	305	15.00	3.00	4725	2.118	14.884	5.406	1.027	Sí cumple	Sí cumple
A	415.00	305	15.00	3.00	6225	2.372	19.609	7.034	1.069	Sí cumple	Sí cumple
B	165.00	305	15.00	3.00	2475	1.935	7.796	3.005	0.050	Sí cumple	Sí cumple
C	415.00	305	15.00	3.00	6225	1.965	19.609	6.949	1.069	Sí cumple	Sí cumple
D	250.00	305	15.00	3.00	3750	1.145	11.813	4.178	0.234	Sí cumple	Sí cumple
E	81.00	305	15.00	3.00	1215	0.467	3.827	1.374	0.008	Sí cumple	Sí cumple
F	305.00	305	15.00	3.00	4575	2.911	14.411	5.415	0.424	Sí cumple	Sí cumple
G	165.00	305	15.00	3.00	2475	0.710	7.796	2.748	0.067	Sí cumple	Sí cumple
H	200.00	305	15.00	3.00	3000	2.559	9.450	3.687	0.120	Sí cumple	Sí cumple
I	101.00	305	15.00	3.00	1515	0.384	4.772	1.671	0.015	Sí cumple	Sí cumple
J	205.00	305	15.00	3.00	3075	1.553	9.686	3.555	0.129	Sí cumple	Sí cumple
K	305.00	305	15.00	3.00	4575	2.536	14.411	5.336	0.424	Sí cumple	Sí cumple
L	83.00	305	15.00	3.00	1245	0.446	3.922	1.401	0.009	Sí cumple	Sí cumple
M	315.00	305	15.00	3.00	4725	1.520	14.884	5.280	0.467	Sí cumple	Sí cumple
N	415.00	305	15.00	3.00	6225	2.231	19.609	7.005	1.069	Sí cumple	Sí cumple
O	515.00	305	15.00	3.00	7725	3.181	24.334	8.779	2.043	Sí cumple	Sí cumple

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-30

ESCALA: Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:

NOVIEMBRE 2017 VILLAHERMOSA, TABASCO.

REVISIÓN POR CORTANTES (SISMO)

Resistencia al agrietamiento

No.	L	Hmuro/L	Distor*Q (ANEM)	As*fy	d'	Mo (Ton-m)	PR/3	FR	MR (Ton-m)	ph	ph*fyh	η	VsR (Ton)
	(m)												
1	3.15	0.97	0.00036	11928	300.00	35.784	8.21	0.8	50.182432	0.00038	1.5965	0.6	3.16825425
2	3.00	1.02	0.00035	5964	285.00	16.9974	7.28	0.8	27.5867137	0.00038	1.59432848	0.6	3.01328083
3	1.71	1.78	0.0003	5964	156.00	9.30384	5.75	0.8	8.10706352	0.00039	1.63636788	0.6	1.76285912
4	0.60	5.08	0.0003	5964	45.00	2.6838	2.52	0.8	2.27169041	0.000415	1.7418504	0.6	0.65841945
5	3.15	0.97	0.00032	5964	300.00	17.892	9.95	0.8	16.6391718	0.00039	1.6381	0.6	3.25080945
6	3.00	1.02	0.00029	11928	285.00	33.9948	10.28	0.8	28.7138385	0.000379	1.59336752	0.6	3.01146461
7	3.15	0.97	0.00029	8946	300.00	26.838	10.33	0.8	24.1465365	0.000396	1.662228	0.6	3.29869147
8	1.50	2.03	0.0003	5964	135.00	8.0514	3.94	0.8	6.73648861	0.000374	1.57016276	0.6	1.48380381
9	1.65	1.85	0.00031	5964	150.00	8.946	5.58	0.8	7.9824929	0.000402	1.68985796	0.6	1.75660735
10	3.00	1.02	0.00035	11928	285.00	33.9948	7.87	0.8	46.6016301	0.000385	1.61820688	0.6	3.058411
11	3.15	0.97	0.00035	11928	300.00	35.784	8.21	0.8	48.8627151	0.000389	1.63449467	0.6	3.24365467
A	4.15	0.73	0.00021	11928	400.00	47.712	10.44	0.8	69.894467	0.000384	1.61429778	0.6	4.22058155
B	1.65	1.85	0.00021	5964	150.00	8.946	4.27	0.8	7.50656813	0.000413	1.73460048	0.6	1.8031172
C	4.15	0.73	0.00021	8946	400.00	35.784	10.14	0.8	56.6406427	0.00038	1.59471511	0.6	4.16938265
D	2.50	1.22	0.00019	8946	235.00	21.0231	6.46	0.8	17.851404	0.000379	1.59162614	0.6	2.50681118
E	0.81	3.77	0.0002522	5964	66.00	3.93624	3.13	0.8	3.27150176	0.000385	1.61522514	0.6	0.82424939
F	3.05	1.00	0.00018	8946	290.00	25.9434	10.04	0.8	23.6512922	0.000403	1.69085698	0.6	3.24898169
G	1.65	1.85	0.00018	5964	150.00	8.946	5.58	0.8	7.57783483	0.000378	1.58604958	0.6	1.64869853
H	2.00	1.53	0.00018	5964	185.00	11.0334	6.60	0.8	16.2924195	0.000418	1.75594448	0.6	2.21249004
I	1.01	3.02	0.00018	5964	86.00	5.12904	3.71	0.8	4.24200158	0.000375	1.57600479	0.6	1.00281185
J	2.05	1.49	0.00017	5964	190.00	11.3316	6.74	0.8	10.1186828	0.000393	1.65149317	0.6	2.13290343
K	3.05	1.00	0.00017	5964	290.00	17.2956	9.65	0.8	16.3990858	0.000397	1.6663198	0.6	3.2018335
L	0.83	3.67	0.00018	2982	68.00	2.02776	2.80	0.8	1.74392208	0.000383	1.60752651	0.6	0.84057561
M	3.15	0.97	0.00019	8946	300.00	26.838	7.91	0.8	39.7605938	0.00038	1.5965	0.6	3.16825425
N	4.15	0.73	0.00019	11928	400.00	47.712	10.44	0.8	69.8376286	0.000383	1.60752651	0.6	4.20287805
O	5.15	0.59	0.00019	14910	500.00	74.55	12.96	0.8	107.592567	0.000387	1.62353273	0.6	5.26755194



B

U

A

P

FACULTAD

INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA

VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-31

ESCALA:

Sin escala

MAESTRÍA:

INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:

ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:

M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y

FECHA:

NOVIEMBRE 2017

VILLAHERMOSA,

TABASCO.

RESISTENCIA A AGRIETAMIENTOS

Resistencia al agrietamiento

No.	L	Hmuro/L	VmR	VsR	α	Vmax	I (m4)	G*E	Ko	Di Agr	Vu (Ton)
	(m)										
1	3.15	0.97	5.280	3.16825425	0.6000	6.601	0.390698438	4800	70000	0.0002794	4.224339
2	3.00	1.02	5.022	3.013280827	0.6000	6.278	0.3375	4800	66666.66667	0.000279	4.01770777
3	1.71	1.78	2.938	1.76285912	0.6000	3.673	0.062502638	4800	38000	0.0002864	2.350478827
4	0.60	5.08	1.097	0.658419451	0.6000	1.372	0.0027	4800	13333.33333	0.0003048	0.877892602
5	3.15	0.97	5.418	3.25080945	0.6000	6.773	0.390698438	4800	70000	0.0002867	4.3344126
6	3.00	1.02	5.019	3.011464613	0.6000	6.274	0.3375	4800	66666.66667	0.0002788	4.01528615
7	3.15	0.97	5.498	3.298691466	0.6000	6.872	0.390698438	4800	70000	0.0002909	4.398255288
8	1.50	2.03	2.473	1.483803811	0.6000	3.091	0.0421875	4800	33333.33333	0.0002748	1.978405081
9	1.65	1.85	2.928	1.756607353	0.6000	3.660	0.056151563	4800	36666.66667	0.0002957	2.342143138
10	3.00	1.02	5.097	3.058411003	0.6000	6.372	0.3375	4800	66666.66667	0.0002832	4.077881338
11	3.15	0.97	5.406	3.243654666	0.6000	6.758	0.390698438	4800	70000	0.000286	4.324872888
A	4.15	0.73	7.034	4.220581554	0.6000	8.793	0.893417188	4800	92222.22222	0.0002825	5.627442072
B	1.65	1.85	3.005	1.803117204	0.6000	3.756	0.056151563	4800	36666.66667	0.0003036	2.404156272
C	4.15	0.73	6.949	4.169382654	0.6000	8.686	0.893417188	4800	92222.22222	0.0002791	5.559176871
D	2.50	1.22	4.178	2.506811177	0.6000	5.223	0.1953125	4800	55555.55556	0.0002785	3.342414902
E	0.81	3.77	1.374	0.824249387	0.6000	1.717	0.006643013	4800	18000	0.0002827	1.098999182
F	3.05	1.00	5.415	3.248981694	0.6000	6.769	0.354657813	4800	67777.77778	0.0002959	4.331975592
G	1.65	1.85	2.748	1.648698534	0.6000	3.435	0.056151563	4800	36666.66667	0.0002776	2.198264712
H	2.00	1.53	3.687	2.212490045	0.6000	4.609	0.1	4800	44444.44444	0.0003073	2.949986726
I	1.01	3.02	1.671	1.002811849	0.6000	2.089	0.012878763	4800	22444.44444	0.0002758	1.337082466
J	2.05	1.49	3.555	2.13290343	0.6000	4.444	0.107689063	4800	45555.55556	0.000289	2.84387124
K	3.05	1.00	5.336	3.201833502	0.6000	6.670	0.354657813	4800	67777.77778	0.0002916	4.269111336
L	0.83	3.67	1.401	0.84057561	0.6000	1.751	0.007147338	4800	18444.44444	0.0002813	1.12076748
M	3.15	0.97	5.280	3.16825425	0.6000	6.601	0.390698438	4800	70000	0.0002794	4.224339
N	4.15	0.73	7.005	4.20287805	0.6000	8.756	0.893417188	4800	92222.22222	0.0002813	5.6038374
O	5.15	0.59	8.779	5.267551943	0.6000	10.974	1.707385938	4800	114444.4444	0.0002841	7.02340259

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

RESISTENCIA A AGRIETAMIENTOS

T-32

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA:

NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

Para Curva capacidad de cada muro

No.	L	H	I (m4)	P (Ton)	V agrv(Ton)	DI Agr	V max	V u
	(m)	(m)						
1	3.15	2.7	0.39069844	1.520	5.280	0.00027939	6.601	4.224339
2	3.00	2.7	0.3375	1.415	5.022	0.00027901	6.278	4.01770777
3	1.71	2.7	0.06250264	1.166	2.938	0.00028636	3.673	2.350478827
4	0.60	2.7	0.0027	0.726	1.097	0.00030482	1.372	0.877892602
5	3.15	2.7	0.39069844	2.175	5.418	0.00028667	6.773	4.3344126
6	3.00	2.7	0.3375	1.401	5.019	0.00027884	6.274	4.01528615
7	3.15	2.7	0.39069844	2.555	5.498	0.00029089	6.872	4.398255288
8	1.50	2.7	0.0421875	0.526	2.473	0.00027478	3.091	1.978405081
9	1.65	2.7	0.05615156	1.566	2.928	0.00029573	3.660	2.342143138
10	3.00	2.7	0.3375	1.773	5.097	0.00028319	6.372	4.077881338
11	3.15	2.7	0.39069844	2.118	5.406	0.00028604	6.758	4.324872888
A	4.15	2.7	0.89341719	2.372	7.034	0.0002825	8.793	5.627442072
B	1.65	2.7	0.05615156	1.935	3.005	0.00030356	3.756	2.404156272
C	4.15	2.7	0.89341719	1.965	6.949	0.00027908	8.686	5.559176871
D	2.50	2.7	0.1953125	1.145	4.178	0.00027853	5.223	3.342414902
E	0.81	2.7	0.00664301	0.467	1.374	0.00028266	1.717	1.098999182
F	3.05	2.7	0.35465781	2.911	5.415	0.0002959	6.769	4.331975592
G	1.65	2.7	0.05615156	0.710	2.748	0.00027756	3.435	2.198264712
H	2.00	2.7	0.1	2.559	3.687	0.00030729	4.609	2.949986726
I	1.01	2.7	0.01287876	0.384	1.671	0.0002758	2.089	1.337082466
J	2.05	2.7	0.10768906	1.553	3.555	0.00028901	4.444	2.84387124
K	3.05	2.7	0.35465781	2.536	5.336	0.00029161	6.670	4.269111336
L	0.83	2.7	0.00714734	0.446	1.401	0.00028132	1.751	1.12076748
M	3.15	2.7	0.39069844	1.520	5.280	0.00027939	6.601	4.224339
N	4.15	2.7	0.89341719	2.231	7.005	0.00028132	8.756	5.6038374
O	5.15	2.7	1.70738594	3.181	8.779	0.00028412	10.974	7.02340259

B U A P

FACULTAD
INGENIERÍA

TESIS:

CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

CURVA CAPACIDAD DE CADA MURO

T-33

ESCALA:
Sin escala

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y
FECHA: NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA,
TABASCO.

Resumen

No.	L	H	Pr (Ton)	Pu (Ton)	VmR (Ton)	Vu (Ton)	Fsi (Ton)	Di agr
	(m)	(m)						
1	3.15	2.7	24.62	1.866	5.280	1.027	0.933	0.000279388
2	3.00	2.7	21.84	1.744	5.022	0.887	0.806	0.000279007
3	1.71	2.7	17.26	1.354	2.938	0.164	0.149	0.000286364
4	0.60	2.7	7.56	0.791	1.097	0.007	0.006	0.000304824
5	3.15	2.7	29.84	2.521	5.418	1.027	0.933	0.000286668
6	3.00	2.7	30.84	1.730	5.019	0.887	0.806	0.000278839
7	3.15	2.7	30.99	2.901	5.498	1.027	0.933	0.00029089
8	1.50	2.7	11.81	0.691	2.473	0.111	0.101	0.000274778
9	1.65	2.7	16.73	1.747	2.928	0.148	0.134	0.000295725
10	3.00	2.7	23.62	2.103	5.097	0.887	0.806	0.000283186
11	3.15	2.7	24.62	2.464	5.406	1.027	0.933	0.000286037
A	4.15	2.7	31.31	2.664	7.034	1.069	0.972	0.000282502
B	1.65	2.7	12.81	0.740	3.005	0.050	0.046	0.000303555
C	4.15	2.7	30.42	2.421	6.949	1.069	0.972	0.000279075
D	2.50	2.7	19.39	1.420	4.178	0.234	0.212	0.000278535
E	0.81	2.7	9.39	0.556	1.374	0.008	0.007	0.000282664
F	3.05	2.7	30.12	3.245	5.415	0.424	0.386	0.0002959
G	1.65	2.7	16.73	0.891	2.748	0.067	0.061	0.000277559
H	2.00	2.7	19.79	2.779	3.687	0.120	0.109	0.00030729
I	1.01	2.7	11.14	0.495	1.671	0.015	0.014	0.000275801
J	2.05	2.7	20.23	1.778	3.555	0.129	0.117	0.000289011
K	3.05	2.7	28.96	2.871	5.336	0.424	0.386	0.000291606
L	0.83	2.7	8.41	0.537	1.401	0.009	0.008	0.000281317
M	3.15	2.7	23.73	1.866	5.280	0.467	0.425	0.000279388
N	4.15	2.7	31.31	2.687	7.005	1.069	0.972	0.000281317
O	5.15	2.7	38.89	3.746	8.779	2.043	1.857	0.000284118

B U A P

FACULTAD INGENIERÍA

TESIS:
CONCRETO CELULAR PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

T-34

MAESTRÍA:
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS

ALUMNO:
ING. BRUNO JOSÉ JAVIER LÓPEZ

ASESOR DE TESIS:
M.I. SILVIA CONTRERAS BONILLA

LUGAR Y FECHA:
NOVIEMBRE 2017
VILLAHERMOSA, TABASCO.

RESUMEN

ESCALA:
Sin escala