



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS**

**TESIS
METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE MUROS
INSULATED CONCRETE FORMS (ICF) ANTE CARGAS
LATERALES**

**PRESENTA
Ing. Civil Francisco Javier Sandoval Ramírez**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA
CIVIL
ÁREA ESTRUCTURAS**

**TUTOR
M. en Ing. Daniel Enrique Reyna Valdivia**

Aguascalientes, Ags. 27 de mayo del 2016



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Centro de Ciencias del Diseño
y de la Construcción

OFICIO No. CCDC-D-125-2016
ASUNTO: Conclusión de Tesis

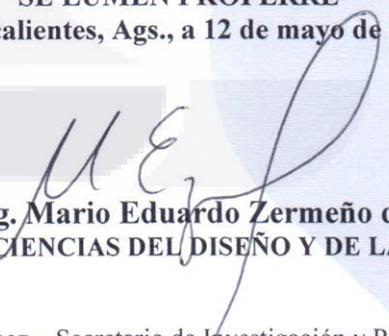
DRA. GUADALUPE RUIZ CUELLAR
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
PRESENTE.

Por medio de este conducto informo que el documento final de tesis titulado: **“Metodología para el diseño estructural de muros Insulated Concrete Forms (ICF) ante cargas laterales”**. Presentado por el sustentante: **ING. FRANCISCO JAVIER SANDOVAL RAMÍREZ** con ID **119644** egresado de la **MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**, cumple las normas y lineamientos establecidos institucionalmente. Cabe mencionar que el autor cuenta con el **voto aprobatorio** correspondiente.

Para efecto de los trámites que al interesado convengan se extiende el presente, reiterándole las consideraciones que el caso amerite.

A T E N T A M E N T E
“SE LUMEN PROFERRE”

Aguascalientes, Ags., a 12 de mayo de 2016


Dr. en Ing. Mario Eduardo Zermeño de León
DECANO DEL C. DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

c.c.p.- M. en Ing. José Luis López López – Secretario de Investigación y Posgrado del CCDC.
c.c.p.- Dr. Jesús Pacheco Martínez – Secretario Técnico de la Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p.- M. en Ing. Daniel Enrique Reyna Valdivia – Tutor de Tesis.
c.c.p.- Ing. Francisco Javier Sandoval Ramírez – Egresado de la Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p.- Lic. Delia Guadalupe López Muñoz – Jefe Sección de Certificados y Títulos.
c.c.p.- Archivo

MEZL/rbv



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Centro de Ciencias del Diseño
y de la Construcción

DR. EN ING. MARIO EDUARDO ZERMEÑO DE LEÓN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E

Por medio del presente, como Tutor designado del estudiante **ING. FRANCISCO JAVIER SANDOVAL RAMÍREZ** con ID 119644, quien realizó la tesis titulada: **“Metodología para el diseño estructural de muros Insulated Concrete Forms (ICF) ante cargas laterales”** y con fundamento en el Art. 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO** para que él pueda proceder a imprimirla y así continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su amable consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“SE LUMEN PROFERRE”
Aguascalientes, Ags., a 20 de abril de 2016

M. EN ING. DANIEL ENRIQUE REYNA VALDIVIA
TUTOR DE TESIS

c.c.p.- M. en Ing. José Luis López López – Secretario de Investigación y Posgrado del CCDC
c.c.p.- Dr. Jesús Pacheco Martínez – Secretario Técnico de la Maestría en Ingeniería Civil
c.c.p.- Ing. Francisco Javier Sandoval Ramírez – Alumno
c.c.p.- Archivo

V.B.
MEV

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Ma. Guadalupe y José Javier, mis hermanos María Guadalupe y Daniel, por su apoyo incondicional para lograr mis objetivos y por ser un gran ejemplo de vida que siempre me ha motivado a superarme profesionalmente y también como persona.

Al personal del laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, por su trabajo y tiempo invertidos en la parte experimental y de procesamiento de datos necesarios para la realización de éste trabajo.

Al Ingeniero Civil Ricardo Martínez Valtierra encargado del laboratorio, por su aporte en la construcción y ensaye de los muros.

A la empresa RST MEX por su apoyo como patrocinador del proyecto de Investigación.

A mi tutor, el Maestro en Ingeniería Civil Daniel Enrique Reyna Valdivia, por compartir sus conocimientos y servir como guía de este trabajo.

Al Doctor Gerardo Araiza Garaygordóbil, por su ayuda en la revisión del artículo referente a las pruebas de los muros.

Al Posgrado de la maestría en Ingeniería Civil de la UAA.

A CONACYT, por su apoyo económico durante el transcurso de la maestría y poder solventar los gastos de la campaña experimental.



ÍNDICE GENERAL.....	.1
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE GRÁFICAS Y FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Planteamiento del problema.....	17
1.2 Muro Insulated Concrete Forms (ICF).....	17
1.3 ¿Por qué realizar estudios al sistema SGICF?.....	19
1.4 Reglamentos sobre muros SGICF y muros de concreto.....	21
1.4.1 Reporte de muros SGICF Apex por la ICC.....	21
1.4.2 Método prescriptivo para muros ICF.....	22
1.4.3 Resistencia de muros por el ACI.....	22
1.4.4 Resistencia de muros por las NTCDF-2004.....	23
1.4.5 Comentarios a reglamentos.....	23
1.5 Objetivos.....	24
1.5.1 Objetivo General.....	24
1.5.2 Objetivos secundarios.....	25
1.6 Metodología.....	26
1.7 Organización del documento.....	27
2. ANTECEDENTES.....	29
2.1 Investigación realizada en la University of California Irvine.....	30
2.2 Investigación realizada por Portland Cement Association.....	31
2.3 Investigación realizada por National Association of Home Builders (NAHB).....	32



2.4	Investigación realizada por Portland State University (PSU).....	33
2.5	Síntesis de los resultados obtenidos.....	34
2.6	Hipótesis.....	35
3	ARTÍCULO “COMPORTAMIENTO DE MUROS SGICF ANTE CARGAS CICLICAS APLICADAS LATERALMENTE	37
3.1	Resumen.....	38
3.2	Introducción.....	39
3.3	Disposición de muestras.....	41
3.4	Configuración de la prueba e Instrumentación.....	46
3.5	Modos de falla del sistema SGICF.....	52
3.6	Cálculo del Módulo de Elasticidad (E).....	56
3.7	Comportamiento histéretico.....	58
3.8	Agrietamiento en la Zona Central.....	62
3.9	Deslizamiento de muro SGICF.....	63
3.10	Calculo de la Rigidez Elástica (k) de los muros.....	63
3.11	Cálculo del Módulo de Cortante (G).....	65
3.12	La capacidad a deformación del muro SGICF.....	67
3.13	Contribución del block RST.....	68
3.14	Conclusiones.....	69
4	ARTICLE “BEHAVIOR OF SGICF WALLS AGAINST CYCLICLY APPLIED LATERAL LOADS”	71
4.1	Abstract.....	72
4.2	Introduction.....	73
4.3	Sample disposition.....	75



4.4	Test Configuration and Instrumentation.....	80
4.5	Modes of fault of the SGICF system.....	86
4.6	Calculation of the Elasticity Modulus (E).....	90
4.7	Hysteretic behavior.....	92
4.8	Central Zone Cracking.....	95
4.9	SGICF wall displacement.....	96
4.10	Calculation of the elastic rigidity (K) of walls.	95
4.11	Calculation of Shear Modulus (G).....	98
4.12	The capacity of SGICF Wall Deformation.....	100
4.13	Block RST® contribution.....	101
4.14	Conclusions.....	103
5	METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MUROS SGICF.....	105
5.1	Procedimiento de diseño de muros SGICF.....	106
5.2	Selección de sección de muro SGICF.....	107
5.3	Muros SGICF estructurales de concreto armado.....	108
5.4	Contribución del concreto en la resistencia a cortante de muros SGICF.....	108
5.5	Refuerzo mínimo.....	109
5.6	Contribución del acero de refuerzo en la resistencia a cortante de muros SGICF.....	109
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	110
6.1	Conclusiones.....	111
6.2	Resultados de la prueba experimental muros SGICF RST®.....	111
6.3	Resultados de los modelos analíticos.....	111
6.4	Sugerencias para investigaciones posteriores.....	112



REFERENCIAS.....115

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

ANEXO D

ANEXO E





ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Armado de los muros SGICF

Tabla 2. Cargas y distorsiones por cada fase.

Tabla 3. Cálculo del Módulo de Elasticidad de muros SGICF.

Tabla 4. Cálculo de Rigidez (K) de Muros.

Tabla 5. Cálculo del Módulo de Cortante de los Muros.

Table 1. Detailed SGICF walls

Table 2. Loads and distortions for each phase

Table 3. Calculation of Modulus of Elasticity SGICF walls

Table 4. Calculation of Stiffness (K) of Walls

Table 5. Calculation Module Shear Walls



ÍNDICE DE GRÁFICAS Y FIGURAS.

Figura 1. Bloques de la ICF (de izquierda a derecha): block wall ICF ECO BUILDING®, block RST® screen grid y waffle grid ICF.

Figura 1. Tres tipos de muros ICF. Las imágenes de la PCA (2003).

Figura 3. Prueba de muestras de muros tomada (NAHB, 2001).

Figura. 4: Tipos de muros ICF. De izquierda a derecha: screen grid (con bloques eliminados), waffle grid (con bloques eliminados), y muro wall. Las imágenes de la PCA (2003).

Figura 5. Modulación de muros y armado de refuerzo.

Figura 6. Retiro de EPS del muro.

Figura 7. Historia de cargas, ensaye cíclico, (tomada NTCDF-2004).

Figura 8. Actuadores hidráulicos.

Figura 9. Ubicación de micrómetros en los diferentes muros.

Figura 10. Fallas en muros ensayados.

Figura 11. Carga Vertical vs. Desplazamiento de muros SGICF.

Gráfica 1. Carga Vertical vs. Desplazamiento de muros M1.

Gráfica 2. Carga Vertical vs. Desplazamiento de muros M2.

Gráfica 3. Carga Vertical vs. Desplazamiento de muros M3.

Gráfica 4. Carga Vertical vs. Desplazamiento de muros M4.

Figuras 12: Comparación de respuesta cíclica de muro M-1 y muro M-2

Gráfica 5. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M1.

Gráfica 6. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M2.

Gráfica 7. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M3.

Gráfica 8. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M4.

Gráfica 9. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M5.

Gráfica 10. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M6.

Gráfica 11. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M7.

Gráfica 12. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M8.

Figuras 13: Comparación de respuesta cíclica de muro M-3 y muro M-4

Gráfica 13. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M1.



Gráfica 14. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M2.

Gráfica 15. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M3.

Gráfica 16. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M4.

Gráfica 17. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M5.

Gráfica 18. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M6.

Gráfica 19. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M7.

Gráfica 20. Carga vs. Desplazamiento micrómetro M8.

Figura 14. Lazos histereticos de los muros SGICF.

Gráfica 37. Lazo Histeretico fase 5, muro M-1.

Gráfica 38. Lazo Histeretico fase 5, muro M-2.

Gráfica 39. Lazo Histeretico fase 7, muro M-3.

Gráfica 40. Lazo Histeretico fase 7, muro M-4.

Figura 15. Carga Lateral vs. Desplazamiento de los muros SGICF

Gráfica 25. Carga Lateral vs. Desplazamiento M3 fase 5, muro M-1

Gráfica 26. Carga Lateral vs. Desplazamiento M4 fase 5, muro M-1

Gráfica 27. Carga Lateral vs. Desplazamiento M3 fase 5, muro M-2

Gráfica 28. Carga Lateral vs. Desplazamiento M4 fase 5, muro M-2

Gráfica 29. Carga Lateral vs. Desplazamiento M3 fase 7, muro M-3

Gráfica 30. Carga Lateral vs. Desplazamiento M4 fase 7, muro M-3

Gráfica 31. Carga Lateral vs. Desplazamiento M3 fase 7, muro M-4

Gráfica 32. Carga Lateral vs. Desplazamiento M4 fase 7, muro M-4

Figura 16. Muro SGICF al término de la prueba.

Figure. 1: Types of ICF walls. Left to right: screen grid (with deleted blocks), waffle grid (with deleted blocks), and wall "wall". Images out of (PCA, 2003).

Figure 2. Modulation of walls and reinforcement grid.

Figure 3. EPS removal from the wall.

Figure 4. Loads History, cyclic test, (taken NTC-C, 2004)

Figure 5. Hydraulic actuators.

Figure 6. Location of various micrometers in the different walls..

Figure 7. Faults in tested walls.



Figure 8. Vertical Load vs. SGICF Wall's Displacement.

Graph 1. Vertical Load vs. Displacement wall M-1

Graph 2. Vertical Load vs. Displacement wall M-2

Graph 3. Vertical Load vs. Displacement wall M-3

Graph 4. Vertical Load vs. Displacement wall M-4

Figures 9: Cyclical response of wall M-1 and wall M-2 comparative

Graph 5. Lateral Load vs. Micrometer displacement M1

Graph 6. Lateral Load vs. Micrometer displacement M2

Graph 7. Lateral Load vs. Micrometer displacement M3

Graph 8. Lateral Load vs. Micrometer displacement M4

Graph 9. Lateral Load vs. Micrometer displacement M5

Graph 10. Lateral Load vs. Micrometer displacement M6

Graph 11. Lateral Load vs. Micrometer displacement M7

Graph 12. Lateral Load vs. Micrometer displacement M8

Figures 10: Cyclical response of wall M-3 and wall M-4 comparative

Graph 13. Lateral Load vs. Micrometer displacement M1

Graph 14. Lateral Load vs. Micrometer displacement M2

Graph 15. Lateral Load vs. Micrometer displacement M3

Graph 16. Lateral Load vs. Micrometer displacement M4

Graph 17. Lateral Load vs. Micrometer displacement M5

Graph 18. Lateral Load vs. Micrometer displacement M6

Graph 19. Lateral Load vs. Micrometer displacement M7

Graph 20. Lateral Load vs. Micrometer displacement M8

Figure 11. Hysteretic loops in the SGICF walls

Graph 21. Phase 5 hysteretic curve, wall M-1

Graph 22. Phase 5 hysteretic curve, M2 wall

Graph 23. Phase 7 hysteretic curve wall M-3

Graph 24. Phase 7 hysteretic curve wall M-4

Figure 12. Lateral Load vs. Displacement of SGICF walls

Graph 25. Lateral Load vs. Phase 5 displacement M3, wall M-1



Graph 26. Lateral Load vs. Phase 5 displacement M4, wall M-1

Graph 27. Lateral Load vs. Phase 5 displacement M3, wall M-2

Graph 28. Lateral Load vs. Phase 5 displacement M4, wall M-2

Graph 29. Lateral Load vs. Phase 7, displacement M3 wall M-3

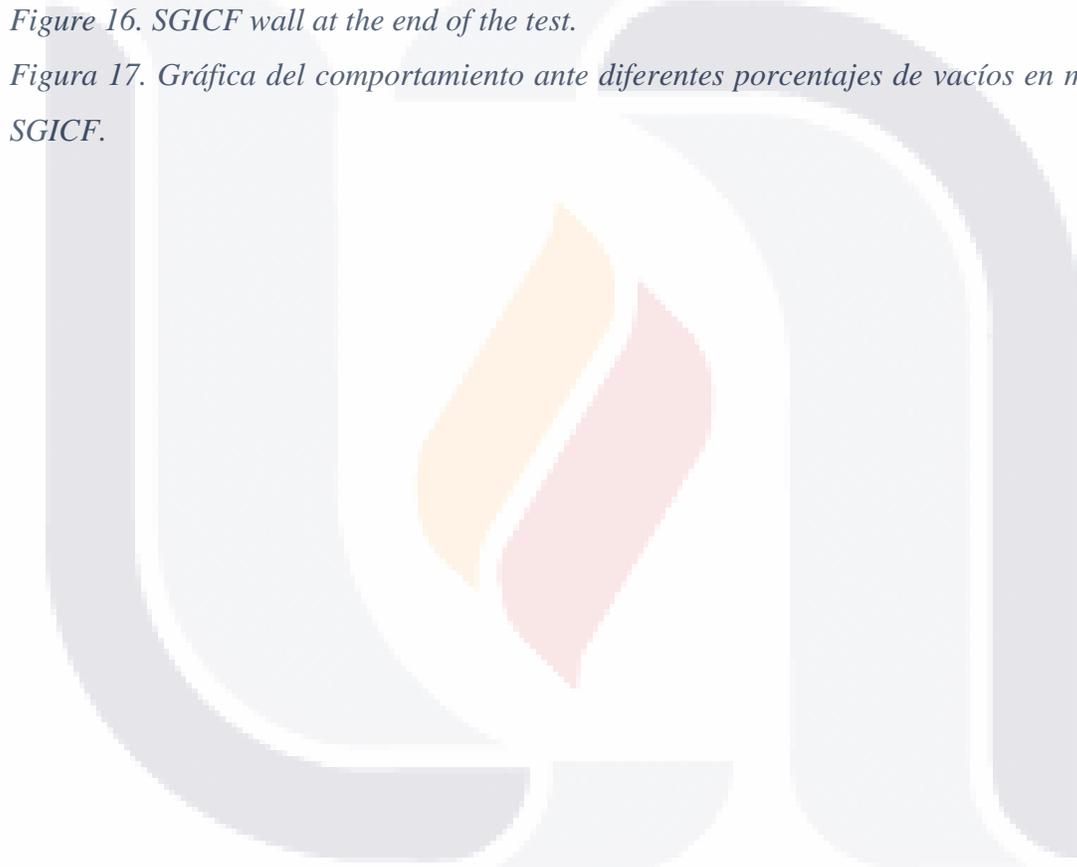
Graph 30. Lateral Load vs. Phase 7, displacement M4 wall M-3

Graph 31. Lateral Load vs. M3 phase displacement 7 wall M-4

Graph 32. Lateral Load vs. Phase 7 displacement M4 wall M-4

Figure 16. SGICF wall at the end of the test.

Figura 17. Gráfica del comportamiento ante diferentes porcentajes de vacíos en muros SGICF.





RESUMEN

El principio de la sustentabilidad en el entorno de la construcción se ha vuelto mucho más significativo en las últimas décadas, lo que resulta en un impulso para el desarrollo de sistemas de construcción que sean más eficientes en el uso de energía y en durabilidad, así como en la utilización de menos recursos naturales y mano de obra; y que optimicen el tiempo de construcción.

La vivienda es una de las necesidades primordiales del ser humano, en torno a ella se llevan una infinidad de actividades cotidianas. Por eso, para garantizar la calidad de vida, es importante considerar los materiales con los que está constituida, la ubicación de los diferentes espacios, sus dimensiones, así como la disponibilidad de infraestructura básica y servicios. En años recientes se ha registrado un importante crecimiento de la industria de vivienda en el país como resultado de los millones de casas que se han construido, así como por el financiamiento que existe en el mercado para adquirirlas. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, en México todavía existe un importante rezago habitacional. Alrededor del 33% de las familias mexicanas (8.9 millones) no gozan del derecho de habitar una vivienda adecuada, ya sea porque viven en situación de hacinamiento, al compartir su vivienda con uno o más hogares, o habitan en viviendas construidas con materiales deteriorados o de poca calidad y duración. Es por esto que, para la construcción de habitación unifamiliar y plurifamiliar, los sistemas constructivos a base de block de poliestireno de alta densidad (EPS) en sus diferentes modalidades Insulated Concrete Forms (ICF) han ganado de una creciente popularidad por su capacidad para responder ante estas exigencias.

El muro ICF está configurado en base a unidades de Poliestireno Expandido (EPS) de alta densidad y concreto reforzado, el cual provee un muro rígido, teniendo además las propiedades de aislación térmica y acústica incorporada.



En este documento se aborda el estudio de un subconjunto de ICF, que tiene las características de utilizar una menor cantidad de concreto que los muros ICF convencionales. Este sistema tiene por nombre screen grid (SG).

El hecho de que el muro lleve implícita una disminución en la cantidad de concreto, hace que el sistema SGICF sea atractivo para los constructores, aunque desafortunadamente el sistema tiene como limitación el escaso conocimiento acerca de su funcionamiento ya que, para su diseño no se cuenta con normativa en México que regule los parámetros mínimos que deberán cumplir.

En esta investigación se desarrolla un análisis comparativo del sistema SGICF considerando muros de diferente relación de esbeltez, la contribución del EPS del muro y una reducción del 25% en el volumen de concreto, que es sustituida por los blocks de EPS. Todo esto con el fin de obtener la resistencia para tomar cargas verticales y laterales, así como su capacidad a distorsionarse bajo la aplicación de acciones cíclicas.

Debido a que no se cuenta con ayudas de diseño para este tipo de sistemas constructivos, se realizó un modelo analítico en el software de elementos finitos Abaqus, donde se consideró el muro modelando los bloques de EPS, el concreto y el acero de refuerzo, tomando como base para su revisión lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto (NTC-C 2004).

Con los resultados de los modelos numéricos, se realizó el ensaye de cuatro muros SGICF ante cargas cíclicas, partiendo de variables como lo son la relación de esbeltez, el tipo de concreto y la ausencia del material EPS. Todo con el fin de saber la capacidad a la resistencia, rigidez y ductilidad.

De los resultados arrojados por el programa Abaqus, se puede concluir que con un porcentaje de vacíos inferior al 25% del volumen total de concreto, el muro sigue comportándose como si no tuviera vacíos.



De los resultados de las pruebas se observa que el block EPS adherido al muro SGICF aumentó la resistencia lateral hasta de un 26 % a un 31% y la rigidez del muro de un 25 % a un 77 % comparado con muestras idénticas probados con el EPS eliminado.





ABSTRACT

The principle of sustainability in the environment of construction has become much more significant in the last decades, which results in a rush for the development of more efficient construction systems in energy use and durability, as well as the reduction in the use of natural resources and workforce, also they may optimize the building time.

As we all know, a place to live is a priority need in human life, around it an infinite number of activities take place. Because of this, in order to ensure life quality, it is important to consider some points such as the materials that were used to build it, the location of several spaces or rooms, dimensions, as well as a clear disposition of basic infrastructure and services. In recent years an important increase in living industry has been registered in the country as an obvious result of the millions of houses that have been built, as well as the actual financing that exists in the market in order to acquire them. However, in spite of these efforts, in Mexico there is still a lag in the housing topic. Up to 33% of Mexican families (8.9 million) do not have the right to live in a real living place, whether because of overcrowding, or they live in a shared house, also they could live in housing built with wrong material, or a lack of quality and lifetime. For that reason, for the house construction that may be used for one or more families, the building systems with high density polystyrene block (EPS) as a basis, in its different modalities Insulated Concrete Forms (ICF) have won a notable popularity for the response to these requirements.

The ICF wall is configured with expanded polystyrene (EPS) of high quality and reinforced concrete, which provides a solid wall, including, besides, the incorporation of thermic and acoustic isolation.

In this document the study of a subset of ICF is addressed, with the characteristics of using a minor quantity of concrete compared with the traditional ICF walls. This system has the name “screen grid” (SG).



The fact that the wall takes an implicit decrease in the quantity of concrete, makes the SGICF system attractive to building companies, although the system has as a limitation the scarce knowledge about its functioning, because for the design there is no normative in Mexico that may regulate the minimum parameters that it's supposed to check.

In this research, a comparative analysis of the SGICF system is developed considering walls with a different relation of slenderness, the EPS contribution to the wall and a visible reduction of 25% in the concrete's volume, being replaced by EPS blocks. All of this with the goal of obtaining the resistance for lateral and vertical loads, also the capacity of distortion under the application of cyclic actions.

As long as there is no immediate help with the design of this constructive system, an analytic model was created in the finite elements software Abaqus, in this project the wall was considered modeling the EPS blocks, concrete and reinforcement steel, and as a base for the supervision was taken the established in the Complementary Technics Norms for design and building of concrete structures (NTC-2004) for its acronym in Spanish.

With the results of the numeric methods, an essay was made of four walls SGICF against cyclic loads, starting from variables such as the relation in slenderness, the concrete type and the EPS material absence. All this in order to know the capacity for resistance, stiffness and ductility.

From the results expelled by the Abaqus program, it is possible to conclude that with an emptiness percentage below 25% of the total concrete volume, the wall still acts like it has no empty spaces.



Also from these results, it is noted that the EPS block adherent to the SGICF wall increased the lateral resistance, initially at 26%, up to 31% as well as the wall stiffness, from a 25% to a 77%, compared to exact samples tested with deleted EPS.





CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN



1.1 Planteamiento del problema.

Debido la creciente demanda de vivienda en México, la construcción de vivienda de concreto reforzado se ha vuelto una alternativa bastante atractiva para las constructoras. Impulsada por un ambicioso programa de infraestructura gubernamental y de inversión privada. La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC, 2015) estima que el sector de la construcción crezca un 2.8% en el 2016.

Por todo esto el uso de nuevos sistemas constructivos como el Insulated Concrete Forms (ICF) resulta en una mejora en los procesos constructivos y en una reducción en los costos de mano de obra y tiempo. En este tipo construcción los muros son los elementos estructurales encargados de resistir las solicitaciones ante cargas gravitacionales y laterales que demanda la estructura.

Ante la creciente utilización de este tipo de sistemas, surge la necesidad de conocer a detalle el comportamiento de muros de concreto embebido (ICF) de diferentes tipos con todas las variables que se podrían plantear para su construcción, cuya respuesta estructural está dominada por la falla a corte en el plano del muro.

Además, existe muy poco conocimiento y reglamentación para la regulación de este tipo de sistemas, además de muy poca experiencia en obra, y en estudios experimentales acerca del comportamiento de muros esbeltos de espesor delgado, sobre todo en México donde se carece de pruebas realizadas a este sistema.

1.2 Muros Insulated Concrete Forms (ICF)

El ingeniero estructural también debe estar preparado para utilizar nuevos materiales de construcción o los métodos que pueden aumentar la eficiencia de las estructuras. Uno de estos nuevos sistemas que utiliza simultáneamente varios materiales comunes y combina el aislante con el concreto son el (ICF). ICF es un término amplio que envuelve a



cualquier sistema que utiliza bloques apilables entrelazados hechos de cualquier material, reciclados o de poliestireno expandido de alta densidad (EPS) como bloques que sirven además de cimbra y en los vacíos del block se colocará el acero y concreto para crear de forma rápida y fácil el muro estructural. Varios tipos de ICF se muestran en la Figura 1.

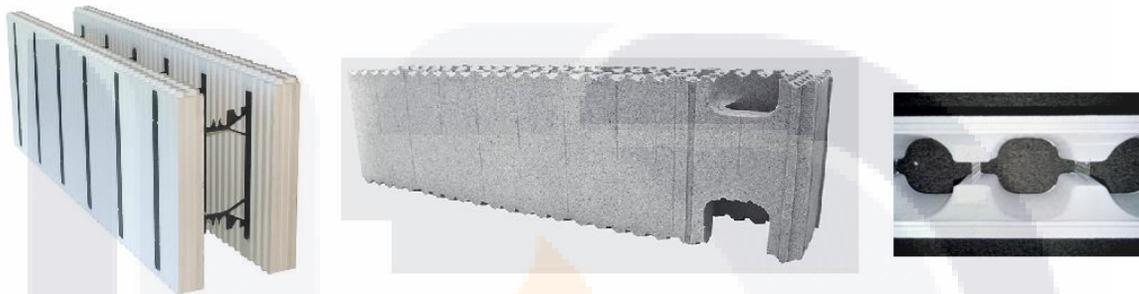


Figura 1. Bloques de la ICF (de izquierda a derecha): block wall ICF ECO BUILDING®, block RST® screen grid y waffle grid ICF.

Los tres tipos principales de bloques ICF son, walls, screen grid y waffle grid. El muro screen grid y waffle grid se crea un muro en forma de rejilla dentro de los bloques de aislamiento. Como se muestra en la Figura 2, el concreto dentro de muro Wall ICF tiene un espesor uniforme, mientras que el waffle grid contiene un muro continuo de concreto con espesor variable. El muro SGICF tiene elementos de concreto horizontales y verticales, los espacios entre estos elementos se llenan con el material aislante EPS.

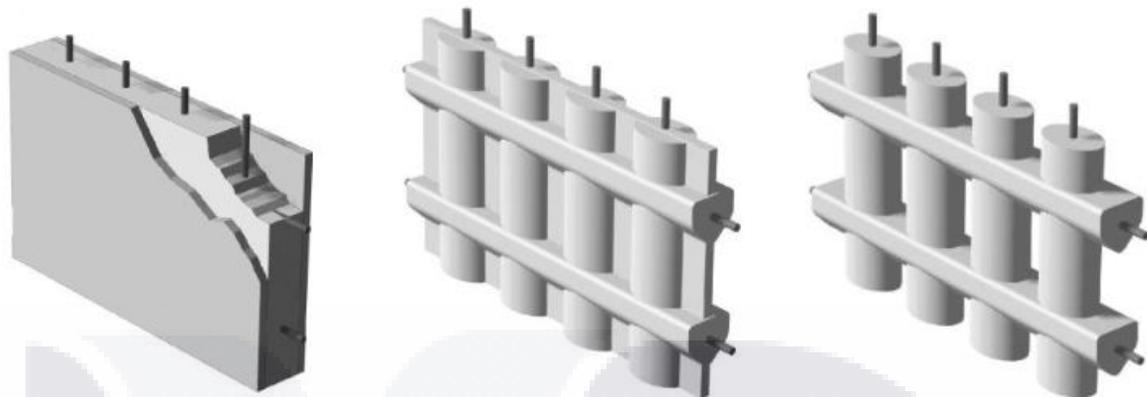


Figura 2 Tres tipos de muros ICF. Las imágenes de la (PCA 2003).

El diseño estructural de un muro que utiliza wall ICF es relativamente simple ya que el núcleo de concreto es idéntico a un muro continuo de concreto tradicional. En contraste, los núcleos horizontales y verticales de concreto que forman una intersección en forma de rejilla screen grid ICF (SGICF) es diferente a un muro tradicional, lo que representa más de cerca un marco con muchos elementos estrechamente espaciados y relativamente rígidos. La escasez de estudios de investigación en el SGICF hace que el diseño sea difícil para los diseñadores, ya que se sólo existe una orientación limitada sobre el cálculo de capacidad de corte, e incluso menos orientación sobre la resistencia a la flexión, axial, o capacidades de desplazamiento para el sistema. También se sabe muy poco acerca de cómo el EPS interactúa con el concreto para contribuir a la resistencia del sistema.

1.3 ¿Por qué realizar estudios al sistema SGICF?

Para el sistema SGICF es importante que se tenga normatividad de diseño en México para cumplir con los estados límite de falla y de servicio que marcan los reglamentos.

Los SGICF de la marca RST Mex, fueron el foco de esta investigación, ya que logran hasta un 30% de ahorro en el concreto, contra un muro de concreto tradicional.



Dado que el concreto es un material que requiere de una elevada cantidad de energía y que la producción de cemento, principal materia prima para la elaboración del concreto, aporta aproximadamente el 5% de las emisiones de CO₂ atmosférico antropogénicas globales cada año (Worrell, Price, Martin, Hendriks, & Meida, 2001), Entonces la reducción del volumen de concreto para un muro dado es preferible por razones ambientales como económicas.

Un beneficio adicional para la sustentabilidad usando este sistema es que algunos utilizan materiales reciclados; algunos se moldean usando 100% reciclados de poliestireno expandido (EPS), mientras que hay bloques usando madera reciclada con concreto.

Otros beneficios incluyen un valor muy alto reclamado R-52 aislante térmico (por lo tanto, menores costos de energía durante la vida de la estructura), resistencia al fuego por casi 4 horas, una alta atenuación acústica, el moho y la resistencia a los insectos.

Los beneficios de la construcción con ICF son convincentes hasta este punto, pero uno de los principales obstáculos que se tiene es el diseño estructural. En primer lugar, los muros ICF consisten en la intersección de elementos horizontales y verticales, rodeados por el material EPS. El ingeniero civil rara vez se ocupa de este tipo de estructuras de rejilla con poco espacio entre los elementos horizontales relativamente robustos y los elementos verticales, despreciando la interacción del EPS con el concreto. En segundo lugar, el acero de refuerzo G-42 ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$), 10mm (3/8") requerido se coloca al azar en los núcleos horizontales y verticales, siguiendo las recomendaciones de las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal NTCDF-2004 para el diseño de muros de concreto reforzado.



Debido a estos factores, las idealizaciones del sistema deben incluir la incertidumbre inherente a fin de tratar de calcular la capacidad de fuerza cortante y flexión en el plano del muro SGICF.

1.4 Reglamentos sobre muros SGICF y muros de concreto.

Para el diseño de un muro SGICF se cuenta con poca información para la revisión y diseño de muros a corte y a flexión. En los siguientes incisos se relata la revisión a corte de muros SGICF partiendo de reglamentos ya establecidos, los que consideran la revisión a corte para un muro de concreto tradicional.

1.4.1 Reporte de muros SGICF Apex por la ICC.

El sistema Apex es un sistema SGICF que ha sido evaluado por el Servicio de Evaluación International Code Council, INC. (ICC-ES), que pone a prueba los sistemas de construcción y desarrolla metodologías de diseño para el cumplimiento del International Building Code (IBC) y el Uniform Building Code (UBC). El servicio de evaluación produce un método de diseño que supone que un muro de bloque de Apex puede ser idealizado como un muro de concreto armado de longitud y alturas idénticas, con un espesor efectivo de 4,5 pulgadas (ICC Evaluation Service, 2012).

El informe de la ICC sugiere una resistencia al corte nominal del muro de concreto con la siguiente formula:

$$V_c = 2 * \phi * \Psi * b_{eq} * d * \sqrt{f'_c} \quad (psi)$$

Donde:

- b_{eq} = anchura de una sección rectangular de muro equivalente a 4,5 pulgadas (si el muro es de 6 pulgadas).
- d = distancia desde la fibra extrema en compresión al centro de la armadura en tensión (plg).



- f_c = resistencia a la compresión del concreto (psi).
- ϕ = factor de reducción de la fuerza de conformidad con la Sección 1901.2 del IBC o la Sección 1909.3 de la UBC.
- Ψ = Rejilla-factor igual a 0,85.

1.4.2 Método prescriptivo para muros ICF

- El método prescriptivo de muros ICF en la construcción residencial se ha desarrollado como una guía para la construcción de viviendas de uno y dos niveles que utilizan EPS. Proporciona un método prescriptivo para el diseño, construcción y la inspección de las viviendas que aprovechan el sistema ICF. En este documento se estandarizaron los requisitos mínimos para los sistemas ICF y proporcionaron un sistema de identificación de los diferentes tipos de ICF. Incluye específicamente tablas mínimas de espesor de pared, acero de refuerzo (National of Home Builders (Nahb), 2002).

1.4.3 Resistencia de muros por el ACI.

La resistencia al corte de un muro común de concreto calculado por el código de construcción, (ACI Committee, American Concrete Institute, & International Organization for Standardization, 2010), es:

$$V_c = 2 * \lambda * \sqrt{f_c} * b_w * d \quad (psi)$$

Donde:

- $\lambda = 1.0$ para concreto de peso normal,
- b_w = Espesor de muro (pulgadas),
- d = distancia desde la fibra extrema en compresión al centro de la armadura en tensión (plg.)



1.4.4 Resistencia de muros por las NTCDF-2004.

La resistencia al corte formulado por las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal (NTC-M, 2004) es:

La fuerza cortante, V_{CR} , que toma el concreto en muros se determinará con el criterio siguiente:

1. Si la relación de altura total a longitud, Hm/L del muro o H/L del segmento no excede de 1.5, se aplicará la ecuación

$$V_{CR} = 0.27 * F_R \sqrt{f'_c} * t * L$$

$$V_{CR} = 0.85 * F_R \sqrt{f'_c} * t * L$$

2. Si Hm/L es igual a 2.0 o mayor, se aplicarán se sustituirá b por el espesor del muro, t ; y el peralte efectivo del muro se tomará igual a $0.8L$. Cuando Hm/L esté comprendido entre 1.5 y 2.0 puede interpolarse linealmente.
3. En muros con aberturas, para evaluar la fuerza cortante que toma el concreto en los segmentos verticales entre aberturas o entre una abertura y un borde, se tomará la mayor relación altura a longitud entre la del muro completo y la del segmento considerado.

1.4.5 Comentarios a reglamentos.

El informe ICC-ES anterior ofrece orientación para calcular sólo la capacidad nominal al corte del muro; es decir, no menciona ninguna ecuación para determinar la capacidad de flexión del muro SGICF.



En cambio, el método prescriptivo restringe la altura permitida de estructuras de Apex ICF a no más de dos pisos o una altura no mayor a los 3 metros. El informe también proporciona una tabla para la cuantía de refuerzo en el plano, dependiendo de la longitud del muro, la zona sísmica, la velocidad del viento y la altura.

A diferencia de los métodos para muros SGICF, los reglamentos como el ACI y las NTCDF-2004, proporcionan información para la revisión a compresión, corte y flexión, así como el diseño del muro.

Al proporcionar poca orientación sobre la flexión, ductilidad, o características de rigidez, o modo de falla del muro SGICF, las guías de diseño disponibles dejan al diseñador motivos para reflexionar minuciosamente sobre las verdaderas capacidades del sistema y el potencial de los muros SGICF para el uso seguro y económico en estructuras que son más altas a los dos niveles que se manejan en los manuales. Los muros SGICF pueden usar significativamente menos cantidad de concreto que las demás versiones de ICF junto con el muro tradicional de concreto, faltando solamente más investigación sobre la capacidad de rendimiento del sistema.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

El objetivo de esta investigación es establecer una metodología para el diseño del muro SGICF, partiendo de variables como son, la cantidad de vacíos ocupados por el material aislante EPS y que le restaran volumen de concreto al muro, manteniendo las cuantías de acero mínimas, vertical y horizontal que marcan las normas y determinar si el comportamiento del muro con una disminución del volumen del concreto sigue teniendo modos de falla y capacidad resistente a esfuerzos a cortante similar a la de un muro de concreto sólido.



1.5.2 Objetivos secundarios

El objetivo secundario de esta investigación es emitir una evaluación de los muros SGICF, realizando pruebas de laboratorio a muros con y sin el block EPS presente en el ensaye. Partiendo de que la capacidad que recibe el sistema referente a ductilidad con la colaboración del block SGICF es desconocida. Además de la capacidad de deformación, y modos de falla de los muros SGICF.

Se pretende evaluar un sistema SGICF con dimensiones ya establecidas, que es producido en Aguascalientes, con nombre comercial block RST® para emitir una evaluación de este sistema y hacer una comparación con muros ya evaluados en otras regiones donde se cuenta con dimensiones superiores en espesor de muro, pero con un porcentaje mayor de vacíos ocupado por EPS.

También se busca realizar un análisis de modelos numéricos basados en muros SGICF, partiendo de variables como los son la relación de esbeltez, el porcentaje de vacíos ocupado por el EPS y la resistencia del concreto a compresión. Todo para darnos una noción de hasta qué porcentaje de vacíos el muro SGICF tiene un comportamiento similar al de un muro de concreto tradicional.

Los objetivos más específicos son los siguientes:

- Comprender y cuantificar el efecto de la cuantía de refuerzo horizontal y vertical dentro de los núcleos de concreto.
- Entender y cuantificar la contribución del material EPS ante la capacidad de fuerza lateral y a la deformación del sistema.



- Comparar los resultados de los experimentos de laboratorio con los modelos numéricos, el tipo de concreto, relación de esbeltez y el aporte del EPS al muro que forman el conjunto SGICF.

1.6 Metodología

El carácter experimental y de investigación de la tesis determina claramente los rasgos de la metodología propuesta. Se sigue el proceso que a continuación se describe:

- Se realiza una minuciosa revisión del estado actual del conocimiento que se tiene sobre el tema en cuestión, consultando artículos, reglamentos oficiales y congresos, además de estudios ya realizados, identificando aspectos más importantes ligados al tema, los alcances de los trabajos teóricos y experimentales realizados por diversos investigadores, iniciando en una breve revisión y profundizando en las aportaciones más recientes.
- A partir de la revisión del estado actual del conocimiento se establecen los pasos principales para delimitar los objetivos y diseñar el programa de trabajo teórico-experimental.
- En base a la revisión del estado del arte que se consiguió recolectar, y a la definición de los objetivos y lineamientos de la investigación, se diseñan los procesos para el estudio numérico de muros ICF, para poder delimitar si el comportamiento del muro SGICF sigue teniendo un patrón de comportamiento similar a un muro de concreto tradicional.
- Al término del estudio numérico se plantean los especímenes que se ensayaron y que fueron los idóneos, resultado de todas las variables que se definieron:
- En primer paso se definen los objetivos y alcances que debieron cumplir las pruebas experimentales hacia el ensaye de muros SGICF.



- Se realiza una revisión del material con el que se cuenta para la fabricación de los muros SGICF, así como también del equipo y disponibilidad para llevar a cabo las pruebas ya definidas, en el laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Se establece el proyecto de experimentación, en el rango de junio-noviembre de 2015.

1.7 Organización del documento

Capítulo 1

En el capítulo 1 se presenta la introducción general de la tesis. Se define información acerca de los muros SGICF y se sitúa en el contexto general de investigación en que se ve planteado. Enseguida se propone cuál es el objetivo principal de estudio y se definen los objetivos particulares del mismo. Por último, se describe la metodología de trabajo y la estructura que conlleva el documento.

Capítulo 2

En el capítulo 2 se muestra un panorama general del estado actual del conocimiento sobre muros SGICF, situando así al lector en el contexto de estudios realizados, referentes a los muros SICF en cuanto a sus características mecánicas y las técnicas de ensayo y experimentación para su determinación en el comportamiento que tienen ante diferentes sollicitaciones de carga. Por último, se ve reflejada una síntesis de todos los trabajos ya realizados.

Capítulo 3

En el capítulo 3 se describe el diseño y programa de las pruebas de laboratorio que conforman la tesis. Se describen las características de los materiales y la fabricación de los especímenes de ensayo, la cantidad de especímenes, los materiales y refuerzo



aplicados, así como la infraestructura, equipos o elementos auxiliares, y los programas y procesos de ejecución de las pruebas realizadas.

Se relatan los procesos de ejecución de todas las pruebas experimentales. Se muestran las curvas de comportamiento registradas en los ensayos y se identifican los resultados principales de los ensayos individuales. Se muestran imágenes captadas durante las ejecuciones, curvas de deformación de los ensayos cíclicos y algunos esquemas descriptivos.

Capítulo 4

En el capítulo 4 se realiza una metodología de diseño de muros SGICF, partiendo de los resultados arrojados por los modelos numéricos., así como también de información obtenida de las pruebas del laboratorio.

Capítulo 5

En el capítulo 5 se presentan las conclusiones de la tesis y se plantean posibles líneas de investigación futura, determinadas durante la realización de ésta investigación.



CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES



Las siguientes investigaciones representan la mayor parte del conocimiento pertinente sobre el estudio de muros SGICF, que se ha llevado a cabo a nivel global durante las últimas dos décadas, para establecer la rigidez y la resistencia de los muros SGICF en su propio plano, así como su ductilidad. Gran parte de estos ensayos se han realizados con una muestra, descartando una realización de más ensayos con el mismo tipo de espécimen. Sus alcances ilustran la necesidad de estudios adicionales, especialmente para condiciones accidentales de carga horizontal (sismo, viento).

2.1 Investigación realizada en la University of California Irvine

Se realizó una investigación en el año 2000 por el candidato de doctorado de la UC (Yland, 2000). Yland investigó la respuesta de los muros SGICF, ante una carga cíclica en el plano del muro.

Sus muros para ensaye incluyeron tres de cada uno, con una proporcionalidad en su altura y longitud de 1: 1, 2: 1 y 3: 1. Yland utiliza un sistema ICF ligeramente diferente al de Apex. Los muros se reforzaron con una varilla del 12 mm (4/8") grado 60 de acero en cada núcleo.

Los muros de prueba de Yland se cargaron cíclicamente con el aumento en los desplazamientos, y se presentaron los resultados de los picos de carga, desplazamientos, la historia de distorsiones y modos de fallo.

Independientemente de las relaciones entre altura y longitud, el fallo de las paredes ICF se produjo en las relaciones de distorsiones de aproximadamente 1%. Una de las variables que pudieron afectar al sistema pudo haber sido la calidad del concreto.

El modo de fallo típicamente observado fue agrietamiento en diagonal de corte en los miembros verticales, que se encuentra a lo largo de un solo plano horizontal. El plano de falla se encuentra por encima del 30% de la base de la cimentación.



Yland realizó ensayos de compresión a seis muestras que fueron vertidas en moldes creados a partir de material EPS. A los 28 días se probaron todas las muestras, despojando el material EPS a tres de ellas para su ensaye.

Los resultados de las pruebas arrojaron que los tres ejemplares que fueron curadas en el molde EPS, pero fueron probados sin el EPS exhibieron un aumento del 31% en la resistencia a la compresión promedio de 2410 psi. Las muestras analizadas con el material EPS todavía en el lugar mostraron un aumento de la resistencia a la compresión de 102%, en su defecto a 3710 psi. El aumento de la fuerza no se puede atribuir a la muy pequeña resistencia a la compresión de las EPS, por lo que Yland concluyó que algún mecanismo desconocido del material de EPS debe haber proporcionado confinamiento significativo al concreto.

2.2 Investigación realizada por Portland Cement Association.

Los muros SGICF que se estudiaron por Mehrabi en 2000 para la PCA (Mehrabi, 2000), incluyeron una comparación entre una estructura de madera propuesta, una estructura de acero, el sistema Wall ICF y waffle grid ICF. Se realizaron los modelos experimentales de 8 pies de altura 4 pies de ancho, se pusieron a prueba para la resistencia al agrietamiento con la intención de comparar su adecuación en zonas sísmicas y para una velocidad de viento predeterminada.

La PCA realizó un muro solamente para cada prueba, y cada muro fue participe de una carga creciente monótona estática en el plano, mediante la aplicación de presión por medio de un gato hidráulico.

De los resultados que se recabaron de las pruebas hechas, se observó que el muro SGIF exhibió un patrón de agrietamiento diagonal, que se extendía desde las 29 pulgadas por encima de la zapata en el lado cargado. Se observó el desplazamiento máximo de 1,7



pulgadas, lo que equivale a una proporción en su distorsión del 1.77%, y una fuerza de pico de 27,9 kip durante la prueba. Comparativamente, el muro SGICF fue de hasta 6.5-8 veces más fuerte y más rígida que la estructura de madera y que los muros de paneles de estructura de acero con dimensiones idénticas.

2.3 Investigación realizada por National Association of Home Builders (NAHB)

El siguiente estudio de los sistemas de ICF que incluyó los muros SGICF fue realizada por la Asociación Nacional de Constructores de Viviendas (NAHB) Centro de Investigación, Inc., para el Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano (NAHB Research Center, Inc., 2001) de los Estados Unidos. El estudio investigó muros SGICF con una relación de altura y longitud de 4: 1 y 2: 1 respectivamente, ya sea solos o unidos a través para simular ventanas o aberturas de puertas típicas de una casa habitación, Figura 3.

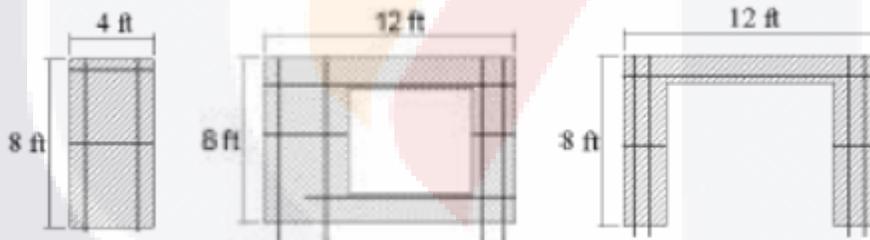


Figura 3. Prueba de muestras de muros tomada (NAHB, 2001).

Al igual que en la prueba de PCA, se realizó un muro único por parte de la NAHB para cada prueba, y cada muro fue participe de una carga creciente monótona estática en el plano, mediante la aplicación de presión de un gato hidráulico. La intención de los investigadores fue determinar un espesor de muro continuo equivalente a relacionarse con el sistema SGICF.

Debido a la falta de pruebas con una gran diversidad de muestras idénticas, y que la muestra con la abertura de la ventana puede haber fallado prematuramente, el estudio



concluyó en última instancia que los muros SGICF, requieren de más especímenes para validar sus observaciones iniciales y ecuaciones en el plano para capacidad de cortante.

Basándose en los resultados del muro 8-ft x 4 ft, la resistencia al agrietamiento observada de la pared SGICF es equivalente a la de un muro de 4.39 plg de concreto sólido, que es casi el mismo que el determinado por el reporte del ICC-ES con un espesor equivalente a las 4.5 plg.

El patrón de agrietamiento en la relación de aspecto 2:1 del muro SGICF, bajo una carga monótona fue diagonal, que se extiende desde la esquina superior más cercana del gato hidráulico, hasta el medio de la pared en el lado opuesto, a través de las articulaciones y los miembros por igual. Esto contrasta con las paredes cargadas cíclicamente en los estudios de la PSU, donde se produjo agrietamiento a lo largo del plano horizontal del muro, en 30 pulgadas por encima de la base, a través de los elementos verticales.

Para los muros con relación de aspecto mayor a 4: 1, los modelos teóricos empleados fueron no conservadores, exagerar la carga real de un muro hasta en un 66%.

Para los muros con relaciones de aspecto de 2: 1 o menos, los modelos teóricos empleados eran conservadores, subestimando la carga real del muro en un 73%.

2.4 Investigación realizada por Portland State University (PSU)

Un informe de Thomas Kay y Peter Dušička, de (PSU) Infraestructura de Pruebas de la Universidad Estatal de Portland y la Investigación (iSTAR) laboratorio en Portland, Oregón, investigó varias muros SGICF a gran escala construidas con el sistema de Apex (Dusicka & Kay, 2011).

Como en él estudió de la CU, PSU investigó la respuesta de la de los muros SGICF, ante una carga cíclica estática en el plano. Las relaciones entre la altura y longitud de los



muros que se estudiaron fueron 0.9: 1 y 2.7: 1 (128 plg. de alto y 144 o 48 plg. de longitud, respectivamente). Los muros se probaron con y sin cargas de gravedad, y en uno de los casos de prueba, el material EPS fue retirado del muro de concreto de la prueba, con el fin de investigar sólo la estructura en forma de retícula de concreto. También se construyeron y probaron muros de concreto sólido, con el mismo armado que el muro ICF con un espesor de 4.5 plg, con el fin de probar la afirmación de que tales muros son equivalentes a un muro SGICF con respecto a la resistencia al agrietamiento en el plano del muro.

Al comparar las paredes ensayadas con el EPS en su lugar a uno con el material retirado, la resistencia del muro solo fue de un 16% inferior al muro probado con EPS en su lugar. Además, la rigidez fue 47% menor y la ductilidad 31% menor en muro sin EPS.

Este resultado mostró que el material EPS tiene un efecto positivo en resistencia, rigidez, y ductilidad. El fallo de los muros de las pruebas fue consistentemente debido al esfuerzo cortante en diagonal a través de grietas de los núcleos verticales a lo largo de un solo plano horizontal.

El fallo de los muros ICF típicamente se produjo en un intervalo de 1,75% - 3% de la distorsión. Para los muros sin cargas de gravedad aplicada, los muros de baja relación de esbeltez fallaron consistentemente en distorsiones de aproximadamente el 1,75%, mientras que los muros de alta relación de esbeltez fallaron en distorsiones de aproximadamente 3,0%.

2.5 Síntesis de los resultados obtenidos

Los autores ofrecen una serie de conclusiones que serán relevantes para los resultados que se presentan en este informe:



Al comparar los muros ensayados que tenían a los blocks de EPS ahogados en el concreto, a uno con el block eliminado, la resistencia del muro a corte sólo fue un 16% menor que el muro probado con block EPS. Además, la rigidez era 47% menor y la ductilidad 31% menor en los núcleos de concreto solamente. Este resultado tiene que el block de EPS tiene un efecto positivo sobre la resistencia, rigidez y ductilidad.

La deficiencia de los muros de prueba fue consistentemente debido al corte en diagonal de agrietamiento a través de los núcleos verticales a lo largo de un solo plano horizontal. Entre los muros de prueba similares ICF, los valores de fuerza máxima se desviaron no más de 7% de la media, mientras que la rigidez y el rendimiento de la deformación fueron más ampliamente variables, que cae en un rango de 28% de la media.

El fallo de los muros SGICF típicamente se produjo en un intervalo de distorsiones de 1,75% a 3%. El punto de fallo de un muro se define como la relación de la desviación en la que la fuerza máxima de un ciclo se había reducido hasta en un 80% de la fuerza observada más grande de cualquier ciclo anterior en el transcurso de la prueba.

Para los muros sin cargas de gravedad aplicadas, los muros de baja relación de aspecto fallaron consistentemente a una relación en la distorsión de aproximadamente 1,75%, mientras que los muros de alta relación de aspecto fallaron a relaciones de distorsiones más altos de aproximadamente 3,0%.

2.6 Hipótesis

Esta sección del capítulo se da la lista de hipótesis de trabajo en este estudio. Las hipótesis se pondrán a prueba analítica y experimentalmente.

Hipótesis 1: Los resultados de los modelos numéricos realizados a los muros con diferentes relaciones altura-longitud, darán por resultado un comportamiento adecuado cuando el muro carezca de un 25 % menos de concreto, parecido al de un muro de concreto tradicional.



Hipótesis 2: Los resultados de las pruebas del laboratorio realizadas a muros SGICF, darán por resultado la falla del muro en el primer tercio de altura, así como la falla a predominar será a corte con agrietamiento diagonal, principalmente en los núcleos verticales de concreto.

Hipótesis 3. Se espera que la capacidad a distorsionarse del SGICF exceda aproximadamente 2.5% mismo que se tomó de base de los estudios realizados con el sistema Apex.

Hipótesis 4. Se espera también que el acero utilizado para los muros SGICF, en base a las cuantías mínimas de refuerzo que adoptan los reglamentos sea el necesario para que cumpla con los estados límite de servicio. Además, que las varillas situadas en el centro de cada núcleo o cerca de los bordes exteriores de cada núcleo, deben proporcionar una capacidad de flexión adicional en cada núcleo de concreto, y por lo tanto proporcionar una capacidad mayor a la resistencia de fuerzas laterales en el plano del sistema SGICF.

Hipótesis 5. Los estudios anteriores de los muros SGICF han mostrado un aumento en la resistencia de aproximadamente un 25% cuando un muro SGICF se prueba con el EPS en su lugar, en comparación a los muros que tiene el EPS eliminado, por lo que para este estudio los resultados sean similares.



CAPÍTULO

**3 ARTÍCULO “COMPORTAMIENTO
DE MUROS SGICF ANTE CARGAS
CICLICAS APLICADAS
LATERALMENTE”**



F.J. Sandoval-Ramírez (*), D. E. Reyna-Valdivia (*), G. Araiza-Garaygordóbil (*)

3.1 Resumen

Se analiza el comportamiento ante cargas laterales en el plano de muros de concreto, con la adecuación de blocks prefabricados de poliestireno expandido de alta densidad (EPS) para formar una rejilla de concreto de núcleos de concreto verticales y horizontales llamado muro screen grid (SGICF). Los espaciamientos ocupados por el concreto tanto horizontal y vertical fueron reforzados de acuerdo a las cuantías mínimas de refuerzo que marca los reglamentos.

Se realiza la construcción de cuatro muros de SGICF, variando su relación de esbeltez y con él retiro del block SGICF a dos muros, con el fin de evaluar los modos de falla del muro, la toma de rigidez, la resistencia lateral y la ductilidad.

Los muros fueron sujetos a ciclos de cargas con la aplicación de deformaciones, aumentando la distorsión en cada fase de ensaye de manera cíclica. Los resultados de los cuatro experimentos indicaron que en los muros carentes de EPS, tuvieron altas tensiones en el concreto y grietas a 45 grados producto de falla a cortante del muro. En los muros donde no se retiró el EPS, la falla presente fue en la esquina inferior del muro, más exacto en la unión de cadena muro, sin grietas visibles en todo el plano del muro.

Se encontró que la carga vertical aumenta la fuerza y la rigidez de los muros, pero el efecto sobre la capacidad a deformarse depende de la relación de esbeltez del muro. Los bloques SG estando en su lugar tuvieron una influencia positiva en el comportamiento, sirviendo de disipadores de energía y de poder disminuir el agrietamiento del muro.

De los resultados de las pruebas se observa que el block EPS adherido al muro SGICF aumentó la resistencia lateral hasta de un 26 % a un 31% y la rigidez del muro de un 25 % a un 77 % comparado con muestras idénticas probados con el EPS eliminado.



Palabras clave Autor: muro SGICF; comportamiento cíclico; micrómetros, experimentos a escala real.

(*) Departamento de construcción y estructuras, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Avenida Universidad 940, Edificio 108, C.P. 20131 Aguascalientes, AGS, México

3.2 Introducción

El sistema de muros de concreto con aislamiento de bloques RST (SGICF) es un sistema de muro estructural utilizado para la construcción de viviendas que constan de bloques rellenos de concreto. Los bloques se convierten en una parte esencial para el aislamiento térmico y acústico que proporcionan al sistema estructural, para la vida útil de la construcción.

El block SG forma una rejilla de concreto, de núcleos de concreto intersectadas en espacios muy reducidos (SGICF) los muros son un subconjunto de los ICF, que son sistemas de construcción de muros y que además se pueden encontrar en otras dos modalidades diferentes, incluyen muros wall y muros waffle grid como lo muestra la Figura 4, (National of Home Builders (Nahb), 2002). Los muros SGICF están construidas por un acomodo modular, son bloques con aberturas que están diseñados para crear un entramado de núcleos internos de concreto.

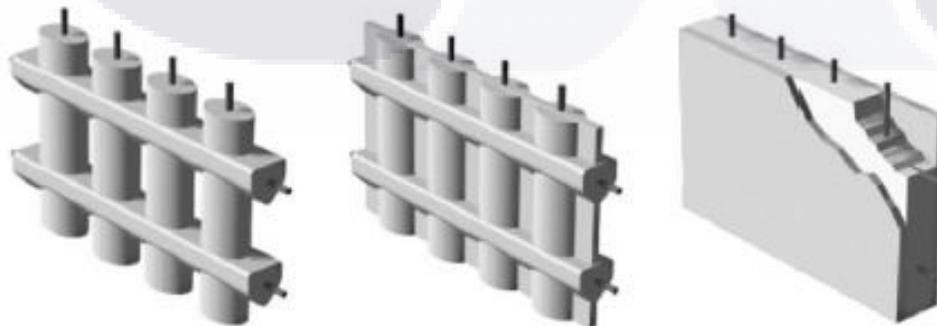


Figura. 4: Tipos de muros ICF. De izquierda a derecha: screen grid (con bloques eliminados), waffle grid (con bloques eliminados), y muro wall. Las imágenes de la (PCA, 2003).



El acero de refuerzo se coloca en los núcleos tanto vertical y horizontal de manera que cumpla con las cuantías mínimas que considera las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Los muros SGICF son especialmente atractivos para la edificación sustentable, ya que reducen potencialmente costos en la construcción de obra, al reducir significativamente en tiempo de construcción, además de reducir la demanda de energía durante la vida útil del edificio debido a las favorables características de aislamiento del sistema SGICF (VanderWerf, 1997).

Los bloques prefabricados también pueden construirse de materiales reciclados, tales como poliestireno no virgen o productos de madera reciclada, dándole un plus al reciclado de materiales y por ende a la construcción.

La implementación de los muros SGICF crea un desafío alto, sobre todo cuando se trabaja en zonas de alto riesgo sísmico, debido a la falta de información que sirva de aporte para saber cómo el sistema se comporta ante de tales eventos. Dado que este método de construcción es relativamente nuevo carece de resultados experimentales disponibles y por ende de algún tipo de reglamento.

Algunas de las investigaciones que se han realizado al sistema SGICF sobre la resistencia de carga lateral, consta de experimentos con bloques de diferentes medidas tanto externas como internas a los que aquí se estudiaron. Algunas campañas experimentales dieron como resultado una mayor rigidez y mayor resistencia en muros con diferentes relaciones de aspecto, que si se compara con muros de madera u otros sistemas con características similares, destacando el potencial para la construcción residencial (Mehrabi, 2000). A diferencia donde se considera la relación de esbeltez que fue un parámetro en otro estudio, la evaluación de los efectos de aberturas en los muros SGICF, da lugar a la comprensión de diferentes modos de falla (NAHB Research Center, Inc., 2001). Sin embargo, la mencionada campaña experimental se ha realizado



utilizando carga monotonica creciente, limitando la aplicación de cargas cíclicas y por ende la simulación de cargas de viento y sismo. Un comportamiento dúctil se ha observado en muros SGICF, sometido a una carga cíclica y mostraron que las cargas verticales o de gravedad sirvieron para aumentar la capacidad a fuerza cortante del muro (Yland, 2000).

De las investigaciones realizadas se obtuvo que los muros ensayados que tenían los blocks de EPS ahogados en el concreto a uno con el block eliminado, la resistencia del muro a corte sólo fue un 16% menor que el muro probado con block EPS. Además, la rigidez fue 47% menor y la ductilidad 31% menor en los núcleos de concreto. Este resultado tiene que el block de EPS tiene un efecto positivo sobre la resistencia, rigidez y ductilidad.

Los estudios antes mencionados relatan experimentos con muros de un espesor mayor, diferentes en dimensiones a los que aquí se estudiaron.

El presente documento esboza la realización de las pruebas y los resultados de muros SGICF a escala real, experimentando en ensayos cíclicos para observar la respuesta de carga lateral en el plano de especímenes, así como distintas relaciones de esbeltez y los efectos por la ausencia del material EPS.

3.3 Disposición de muestras

El tamaño de los blocks EPS, la forma, y la separación de los núcleos de concreto de los muros SGICF varían en función del fabricante, al igual de la densidad de que están hechos los bloques.

El sistema para muros SGICF RST® consiste en bloques individuales que forman un sistema adherido al muro de concreto. Los blocks de RST® son de poliestireno de alta



densidad (EPS), con una densidad de 20 kg/m³.

Los blocks RST® tienen medidas estándar de 20 centímetros de espesor (200 mm), 20 centímetros de alto (200 mm) y 100 centímetros de largo (1000 mm). Cada bloque estándar es de una sola pieza sólida de material moldeado con núcleos verticales de 10 por 10 centímetros (100x100 mm) y núcleos horizontales de 10 por 15 centímetros (100x150 mm).

Cuando se agrupan para la construcción, los bloques forman huecos verticales y horizontales, donde se coloca el acero de refuerzo y el concreto. Los blocks son unidos a través de dinteles para formar el muro.

Para la realización de las pruebas a los muros SGICF se construyó una cadena de desplante que unió al muro SGICF con el marco de carga. La unión de la cadena con el marco se dio con un canal de acero anclado mediante varillas. Para la unión del canal en forma de “C” con la cadena se usaron anclas verticales equidistantes que fueron embebidas por el concreto para evitar el deslizamiento del muro.

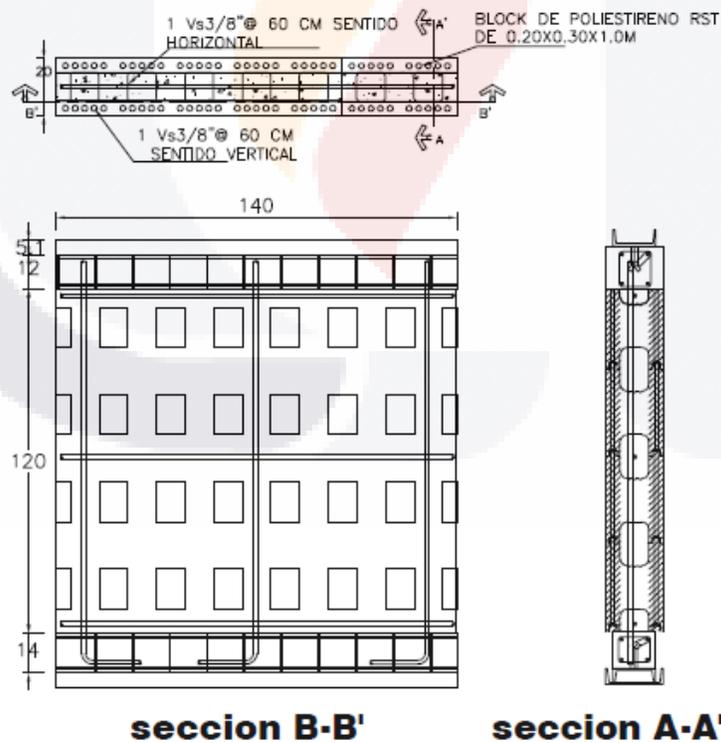
El concreto utilizado para la construcción de las cadenas fue de una resistencia a la compresión simple de $f'c=300\text{kg/cm}^2$, reforzado con varillas del no. 3 y estribos del no. 2 a cada 20 cms. Las dimensiones de las cadenas fueron de 20x15x140 cm.

Los muros desplantados en la cadena de desplante fueron de 140 cm de largo ya que nos rigió la longitud de los canales en forma de “C”. Se consideraron dos relaciones de esbeltez, como se muestra en Figura 5, en la que la altura de muro se basó en la unión de varios blocks RST®. Una altura de 120 cm (6 blocks RST®) se utilizó para una relación de esbeltez cercana a 0.85, se espera que su modo principal de fallo sea a corte. La otra altura de 180 cm (9 blocks RST®) se utilizó para la relación de 1.28, con objeto de provocar fallas a tensión y por corte en el muro, Figura. 5. Las alturas fueron adoptadas a las dimensiones que tiene el marco de carga.



El acero de refuerzo usado en los muros SGICF se obtuvo con la cuantía mínima que estipulan las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto dando un refuerzo vertical de varillas del 3/8" de pulgada, espaciadas a cada 60 cms. El acero de refuerzo fue anclado a las cadenas de desplante, se realizó un dobléz en la varilla con un ángulo de 90 grados y con una longitud efectiva adherida a la cadena para evitar el fallo por desprendimiento del muro de la cadena de desplante.

Las barras de refuerzo horizontales también se obtuvieron por la cuantía mínima estipulada de reglamento, se colocaron varillas del 10mm (3/8"), espaciadas a cada 60 cms, en la parte media del orificio del block RST®. La barra de refuerzo fue doblada para dar continuidad con el armado. Este método de construcción refleja la práctica de construcción de campo actual y el acero necesario para la construcción de los muros.



DETALLES DE MUROS DE BLOCK RST

COTAS: cm

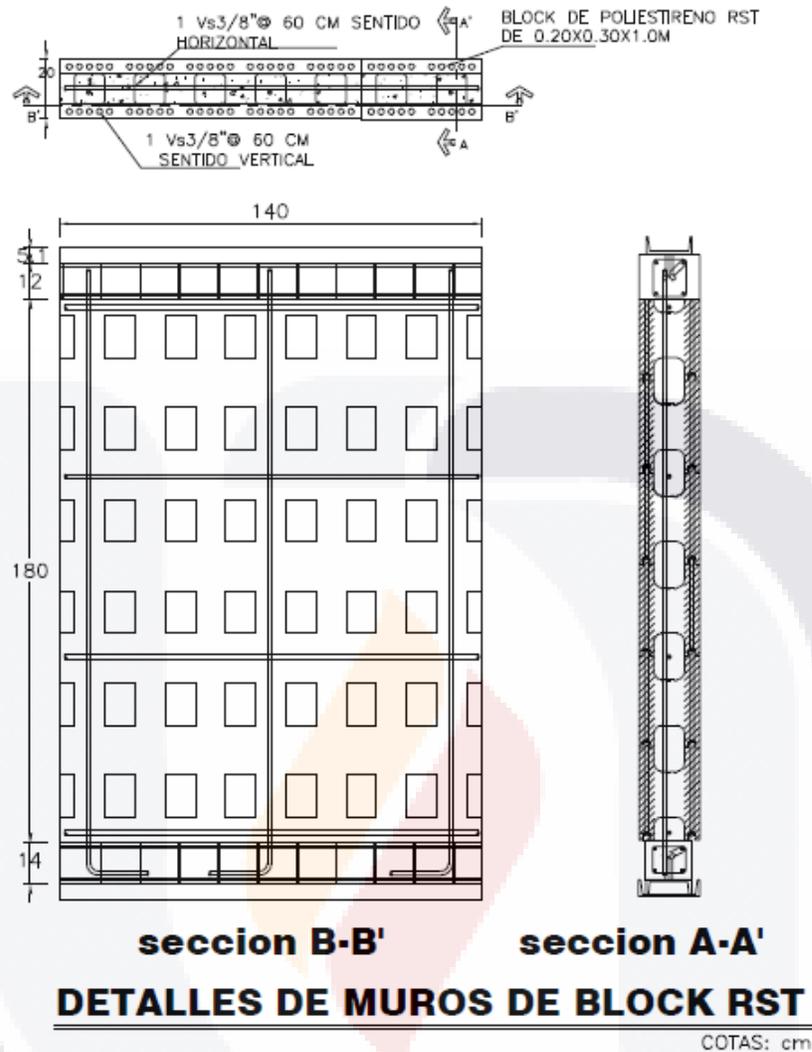


Figura 5. Modulación de muros y armado de refuerzo.

Los muros fueron construidos usando una resistencia de concreto a la compresión idéntica. El concreto adoptado fue de 150 kg/cm^2 mismo que es usado para viviendas de interés social (NTC-C, 2004). Para corroborar la calidad del concreto se realizaron pruebas a compresión de cilindros con el procedimiento de ensayo estándar (ASTM International, 2010). El refuerzo de acero utilizado para todos los muros fue de $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2 \text{ MPa}$ (412).

Las propiedades del material se resumen en la Tabla 1. Todos los muros se ensayaron después de los 28 días.



No.	Muro	H/L	Refuerzo vertical	Refuerzo horizontal	Concreto $f'c$ (kg/cm ²)
1	M1	1.28	#3 @ 600 mm	#3 @ 600 mm	150
2	M2	1.28	#3 @ 600 mm	#3 @ 600 mm	150
3	M3	0.85	#3 @ 600 mm	#3 @ 600 mm	150
4	M4	0.85	#3 @ 600 mm	#3 @ 600 mm	150

Tabla 1. Armado de los muros SGICF

Con respecto a las alturas empleadas en este muro, no se pudo hacer una representación al 100% de la altura real de un muro de casa habitación ya que nos limitó las dimensiones del marco de carga y la capacidad de carga que dan los actuadores hidráulicos del laboratorio.

Los muros dan como resultado una relación de esbeltez altura (H) entre la longitud del muro (L), de muros M-1 Y M-2 1.28 y en los muros M-3 Y M-4 de 0.85.

Para la unión de los muros SGICF con los actuadores hidráulicos que dispusieron de la carga vertical y lateral se construyó una cadena de cerramiento. A la vez se colocó un canal en forma de “C” que estuvo adherido a la cadena y que a su vez sirvió para embonar los actuadores con el muro.

El concreto utilizado para la construcción de las cadenas de cerramiento fue de una resistencia a la compresión de $f'c=250\text{kg/cm}^2$, reforzado con varillas del 10mm (3/8”) y estribos del 6mm (2/8”) a cada 20 cms. Las dimensiones de las cadenas fueron de 20x15x20 cm.

Antes de realizar el ensaye de los muros, al muro M-1 y M-3 que tuvieron la característica de tener diferentes alturas, se les retiro el material EPS manualmente después de que el concreto diera la resistencia de diseño a los 28 días, Figura 6. Todo esto para dejar sólo los núcleos de concreto armado y así observar el desarrollo de los patrones de grieta que se formaron en el muro SGICF.



Figura 6. Retiro de EPS del muro.

3.4 Configuración de la prueba e Instrumentación

Con objeto de entender el comportamiento de los muros SGICF, se realizaron mediciones con instrumentación externa. Se utilizaron solo micrómetros para medir desplazamiento y deformaciones. Para la instrumentación externa se emplearon los micrómetros de desplazamiento colocados en puntos estratégicos. Con los datos recabados, se lograron determinar deformaciones en los muros y rotaciones.

El ensayo fue realizado en dos etapas, la primera consistió en la aplicación de la carga vertical y la segunda en la aplicación de la carga lateral cíclica.

Aplicación de la Carga Vertical

La carga vertical aplicada simuló la sollicitación de gravedad que soportaría un muro central existente en una casa habitación, con la presencia de carga muerta (CM) y carga viva (CV).

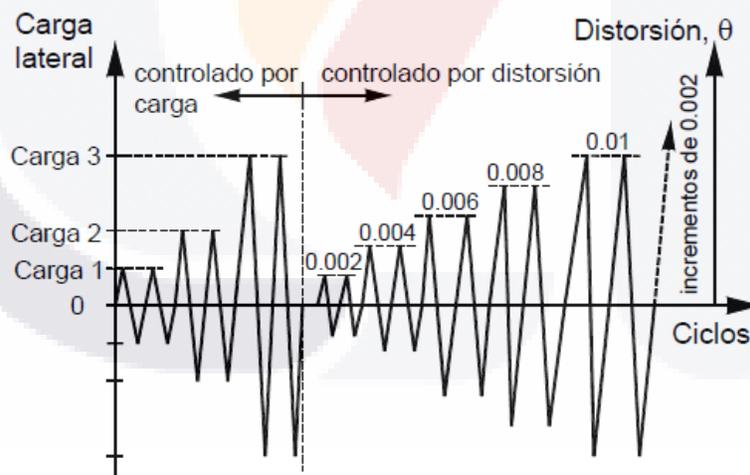
$$CM+CV = 1785 \text{ kg/ml}$$

Por lo tanto, la carga aplicada para un muro de 1.4 m fue de 2500kg.

En primera instancia se investigaron las deformaciones que tuvo el muro al aplicarle carga vertical en varias fases de carga incremental, con el propósito de conocer el módulo de elasticidad del muro. Los ciclos de carga fueron de 500 kg en cada fase, hasta tener una carga vertical de 2500 kg. El objetivo fue capturar el rendimiento del muro con y sin el aporte de las propiedades que pueda tener el material EPS.

Aplicación de la Carga Lateral.

La configuración de la prueba se muestra en la Figura 7 (NTC-M, 2004). Cada muro fue asegurado al marco de carga del laboratorio utilizando una serie de barras de acero. La transferencia de carga lateral se realizó uniendo un actuador hidráulico capaz de entregar una carga de 12 000 kg con el canal “C” unida a la cadena mediante un perno de acero de 1 ½” de diámetro para poder tener un empuje dinámico sobre el muro.



Carga 1 = 0.25 veces la carga calculada de agrietamiento o fluencia
Carga 2 = 0.5 veces la carga calculada de agrietamiento o fluencia
Carga 3 = carga de agrietamiento o primera fluencia (experimental)

Figura 7. Historia de cargas, ensaye cíclico, (tomada NTC-C, 2004)



Los muros no fueron restringidos lateralmente fuera del plano, el único aporte fue el que le daba el actuador hidráulico. Para esta prueba que requirió carga axial vertical, se simuló distribuida a través de una viga IPR, la cual recibiría al otro actuador hidráulico, a través de una carga de gravedad, como lo muestra la Figura 8.



Figura 8. Actuadores hidráulicos.

Se utilizaron barras de acero que estaban interactuando con la viga C adherida al muro y al IPR, con la función de que el muro pudiera moverse en dirección de la aplicación de la carga y evitar que se vean afectados los resultados.

Para el estudio del comportamiento de los muros ante las cargas aplicadas, se utilizaron ocho micrómetros en los cuatro muros, que sirvieron para medir las deformaciones provocadas por la aplicación de carga, su ubicación se muestra en la Figura 9. Debido a que no se cuenta con equipo necesario como transductores de desplazamiento (LVDT), especializados para este tipo de pruebas, se utilizaron los micrómetros.

Función e importancia de cada micrómetro:

MICROMETRO M1: Registra los desplazamientos a la altura de la cadena de remate. Es importante porque en esta cadena se encuentra el actuador dinámico que aplica la carga lateral. Con la información de este micrómetro se pudo calcular la rigidez del muro. Asimismo, permitió controlar los desplazamientos realizados en cada fase del ensayo.



MICROMETRO M2 y M5: Ubicados en los extremos de los muros, permitieron obtener los desplazamientos verticales que se produce por la aplicación de la carga vertical. Con ellos, se calculó el módulo de elasticidad del muro (E).

MICROMETRO M3 y M4: Ubicados en las diagonales del muro, permiten conocer los desplazamientos diagonales. También permiten estudiar el grado de agrietamiento por corte. Finalmente, con la información registrada se pudo calcular el módulo de corte del muro (G).

MICROMETRO M6: Detectan los desplazamientos entre la cadena de desplante y el muro, lo que permite poder estudiar su interacción.

MICROMETRO M8: Están ubicado en las esquinas del muro y miden los desplazamientos verticales que se producen en estos. Son importantes porque las esquinas son las que presentan una elevada tensión y, por tanto, estos pueden llegar agrietarse.



Figura 9. Ubicación de micrómetros en los diferentes muros.

Las deformaciones cíclicas inversas se impusieron en el muro, basado en las distorsiones de cada fase entre la altura del muro, lo que daría el desplazamiento que tendría el muro a cada fase de ensaye; dónde Δ = desplazamiento medido por M1; y H = altura de cada muro SGICF.



La historia de las deformaciones cíclicas fue la distorsión adoptada de recomendaciones sobre ensayos cíclicos de muro [NTCDF-2004]. A pesar de que no se han desarrollado específicamente para los muros SGICF, las recomendaciones de ensaye para este caso siguieron patrones similares como si fuera un muro de concreto tradicional, para someterse a diferentes mecanismos de fuerza y exhibir la diferencia en la rigidez y la resistencia lateral ante la ausencia del EPS.

La historia de cargas y de distorsiones asociados a cada fase de carga se presenta en la Tabla 2, las primeras tres fases del ensaye fueron controlados a base de aplicación de carga y las otras fases fueron controladas a base de distorsiones incrementales a cada fase.

MURO ALTURA 180 cm				MURO ALTURA 120 cm			
FASES	# DE CICLOS	CARGA APLICADA		FASES	# DE CICLOS	CARGA APLICADA	
CONTROLADO POR CARGA							
1	2	302.5		1	2	400	
2	2	605		2	2	800	
3	2	1210		3	2	1600	
CONTROLADO POR DISTORSIÓN							
FASES	# DE CICLOS	DISTORSIÓN	desplazamiento maximo (cm)	FASES	# DE CICLOS	DISTORSIÓN	desplazamiento maximo (cm)
4	2	0.002	0.36	4	2	0.002	0.24
5	2	0.004	0.72	5	2	0.004	0.48
6	2	0.006	1.08	6	2	0.006	0.72
7	2	0.008	1.44	7	2	0.008	0.96
8	2	0.01	1.8	8	2	0.01	1.2
9	2	0.012	2.16	9	2	0.012	1.44
10	2	0.014	2.52	10	2	0.014	1.68
11	2	0.016	2.88	11	2	0.016	1.92
12	2	0.018	3.24	12	2	0.018	2.16
13	2	0.02	3.6	13	2	0.02	2.4
14	2	0.022	3.96	14	2	0.022	2.64

Tabla 2. Cargas y distorsiones por cada fase.

En la tabla se muestra la historia de cargas que comprende aplicar a cada fase se aplica dos ciclos de carga y descarga en ambas direcciones. Además de distorsiones de carga incrementales con un rango de 0.002, para cada fase con dos ciclos de carga y descarga para cada dirección.

El primer conjunto de ciclos se realizó aplicando ciclos de carga, que se esperaba que estaría dentro del rango elástico principalmente para todos los muros ensayados, obtenidos de una modelación con un programa de elemento finito llamado Abaqus. Después cada conjunto de ciclos fue aumento la distorsión hasta llegar al fallo del muro.



3.5 Modos de falla del sistema SGICF

Las observaciones de la iniciación de grietas y el despliegado de agrietamiento estuvieron limitadas para los muros con el material EPS, debido a que los núcleos de concreto estaban ocultos detrás del material EPS. La aplicación de distorsiones se controló hasta el fallo del muro, donde el fallo predominante se ubicó en la parte inferior del muro, en la unión de la cadena de desplante con el muro. Después de terminar las dos pruebas para cada muro conteniendo el material ICF, se desconectó el actuador hidráulico y se aseguró el muro, para poder retirar el material EPS.

Cuando se retiró y se limpió por completo el material EPS, toda la zona de concreto embebida, carecía de algún patrón de agrietamiento, visible a simple vista. Lo que nos deja a pensar que el material sirvió como una especie de disipador de energía, mismo que amortigua las deformaciones que sostuvo el muro. Otra de las razones que se planteo es que las aberturas que se tienen con el sistema RST, no ocupan más que el 25% de vacíos dentro del muro SGICF. Todo esto hace pensar que al ocupar el 75% del volumen del muro por el concreto se esté comportado todavía como un muro sin aberturas.

Los daños que predominaron para el caso del muro M-2 y M-4, fue el agrietamiento de la cadena en la parte inferior, para ser exactos en las esquinas de cada muro. Al fallar en esta parte el muro, la parte confinada por el block SGICF, estaba menos expuesta a tensiones producto de la aplicación de cargas, como lo muestra la Figura 10. La carga máxima alcanzada para el muro M-2 fue de 8600 kg, en la fase 14 y una deformación lateral de 39.6 mm. Mientras que para el muro M-4 la carga máxima fue de 10500 kg, también en la fase 14 y con una deformación de 26.4 mm.

En general, la ubicación de la barra de refuerzo vertical dentro del núcleo vertical, no presentaba alteraciones de haber tenido tensiones en el material a simple vista.



El muro M-1 con la ausencia de material EPS, presento fallas de tensión en el muro. El patrón de agrietamiento para los primeros ciclos fue perpendicular a los elementos de concreto vertical. En ciclos posteriores se vio un aumento en el patrón por este tipo de falla, hasta que en una fase se presentaron las primeras grietas diagonales, producto de una falla a cortante.

La ubicación de los patrones de agrietamiento no superó más del tercio de la altura del muro SGICF, concentrando en esta parte altas tensiones y deformaciones grandes en el muro, mismos resultados se observaron en los estudios antes realizados a muros SGICF.

Para una revisión más detallada del muro se observó la primera grieta horizontal después de la fase 6 con un desplazamiento de 10.8 mm, por encima de la primera línea de refuerzo horizontal del muro, lo que significaba que la ubicación general de la zona de fallo correspondió en la ubicación de refuerzo vertical, mismo que presento deformaciones altas y que a su vez produjo el agrietamiento. Después de la fase 6, las grietas horizontales, se habían ampliado significativamente. Posteriormente en la fase 8, con un desplazamiento de 18 mm, se observaron las primeras grietas diagonales en la esquina inferior del muro. En las fases siguientes de ensaye se fueron incrementando el tamaño de grieta.

El examen de la zona de fallo reveló que el mayor daño se produjo en los núcleos verticales exteriores. Los núcleos horizontales exhibieron daño mínimo en las primeras fases de la prueba, ya que en relación con los núcleos verticales tienen una sección mayor de concreto. Las grietas horizontales durante la prueba fueron probablemente causadas después de un daño en el acero de refuerzo, permitiendo que las barras de acero empezaran a trabajar.

Debido a la carga vertical o de gravedad aplicada externamente, el ancho de grieta se vio reducido, así como el tamaño de grieta ya que el muro se encontraba a una compresión



uniforme en todo el tiempo que duro la prueba, hasta que la carga vertical cedió ante la carga lateral que estaba aplicándose.

En el ciclo 10 se registró el pico de carga mayor con una capacidad de 6800 kg, una deformación de 25.2 mm, para después descender en carga y llegar a la falla total y llegar a un repentino colapso del núcleo de concreto. El fracaso del muro fue el resultado de la formación de grietas de dimensiones considerables en los núcleos verticales, lo que lleva a la pérdida de capacidad de carga lateral del muro, como lo muestra en la Figura 10 (ver muro M-1).



Figura 10. Fallas en muros ensayados.

El muro M-3 de baja relación de aspecto no mostró ninguna visualización de daños en grietas en las primeras fases de ensaye del muro. Los signos de sufrimiento de fatiga del muro ocurrieron hasta la fase 8, con una carga de 6100 kg y desplazamiento de 12 mm, fue el momento en el que las grietas diagonales en ambos sentidos de la aplicación de la carga vertical fueron presentes.

La propagación de grietas fue aumentando considerablemente en ciclos posteriores, ubicándose en toda el área de muro como lo muestra la Figura 10 (ver muro M-3), el

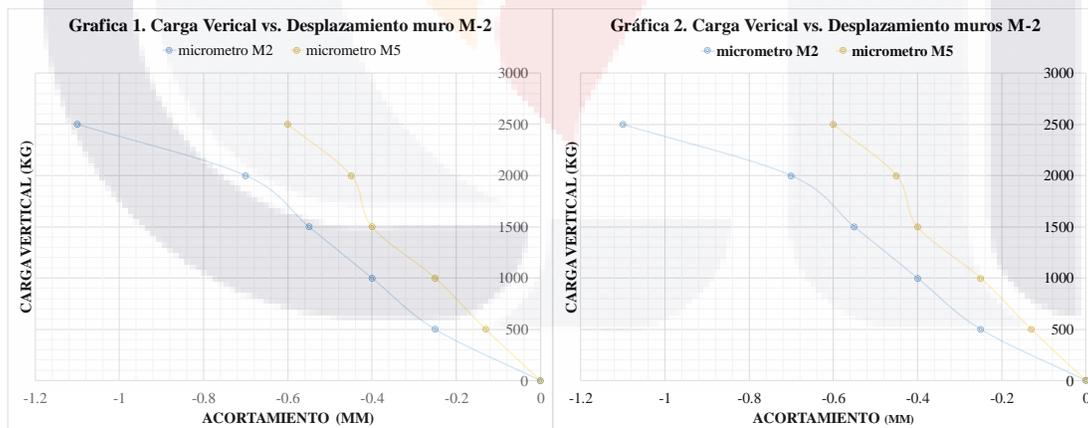


daño del muro fue total en toda la zona del muro, dando lugar que la falla predominar fue a cortante y no intervinieron otros factores como la relación de esbeltez.

En el ciclo 14, con una carga de 9900 kg y una deformación de 26.4 mm, ocurrió la carga máxima que soporto el muro para después descender en la capacidad de soportar cargas mayores y aumentar la deformación y el agrietamiento del muro. El examen de la zona de fallo puso de manifiesto que los núcleos exteriores tenían la mayor parte de los daños y que todos los núcleos verticales restantes habían exhibido agrietamiento diagonal severo, también daño considerable se observó en los núcleos horizontales. Resultó en un modo de fallo que se caracteriza por fallo en los núcleos verticales y que conduce a la pérdida de la fuerza lateral.

3.6 Cálculo del Módulo de Elasticidad (E)

De la información obtenida de los micrómetros M2 Y M5, que son los instrumentos que registraron en los desplazamientos verticales, se calculó el módulo de elasticidad usando la relación carga vertical versus desplazamiento Figura 11.



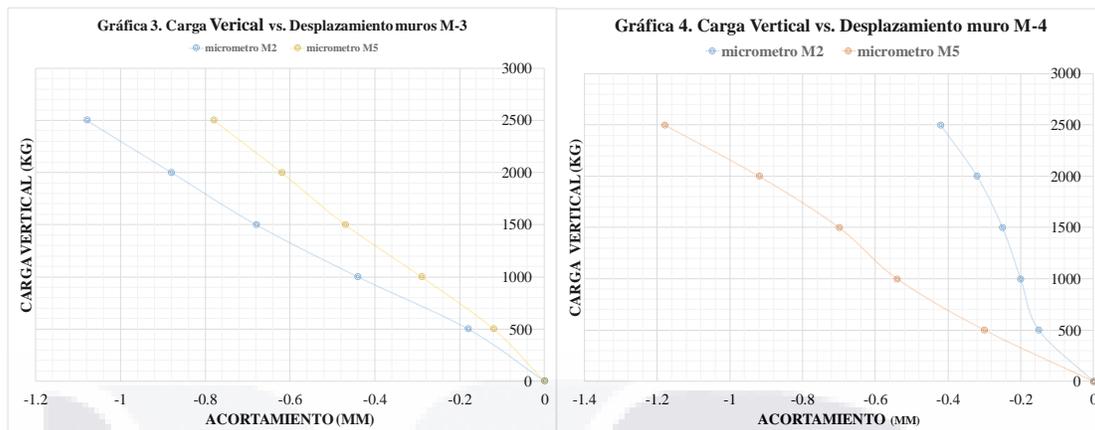


Figura 11. Carga Vertical vs. Desplazamiento de muros SGICF.

En los gráficos se observa que el M2 registró mayor desplazamiento vertical que el M5, esto puede atribuirse a que en la base donde se aplicó la carga, estaba desfasada del extremo del muro. De esta manera, para el cálculo de “E”, solo se utilizó el desplazamiento de M2, Tabla 3.

Usando las gráficas de Desplazamiento versus Carga de cada muro, se buscó un tramo lineal de la gráfica cuya pendiente es el módulo de elasticidad (E). Por tanto, “E” pudo ser calculado como el cociente del incremento de esfuerzo axial ($\Delta\sigma$) y las deformaciones unitarias ($\Delta\epsilon$) correspondientes al tramo lineal usado. Las deformaciones unitarias se calculan como la diferencia del desplazamiento registrados por micrómetro entre la longitud entre sus bases (L).

MURO	MICROMETRO	L (mm)	Punto 1		Punto 2		$\Delta\epsilon$	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
			D1 (mm)	P1 (kg)	D2 (mm)	P2 (kg)			
M-1	M2	1800	-0.4	500	-0.7	2000	0.00	1.07	6428.57
M-2	M2	1800	-0.4	500	-0.55	1500	0.00	0.71	8571.43
M-3	M2	1200	-0.18	500	-1.08	2500	0.00	1.43	1904.76
M-4	M5	1200	-0.3	500	-1.18	2500	0.00	1.43	1948.05

Tabla 3. Cálculo del Módulo de Elasticidad de muros SGICF

En la tabla 3 se observan los resultados de módulo de elasticidad de los cuatro muros. De los muros M-1 Y M-2 se tiene que con la presencia del EPS el muro tuvo un 33%

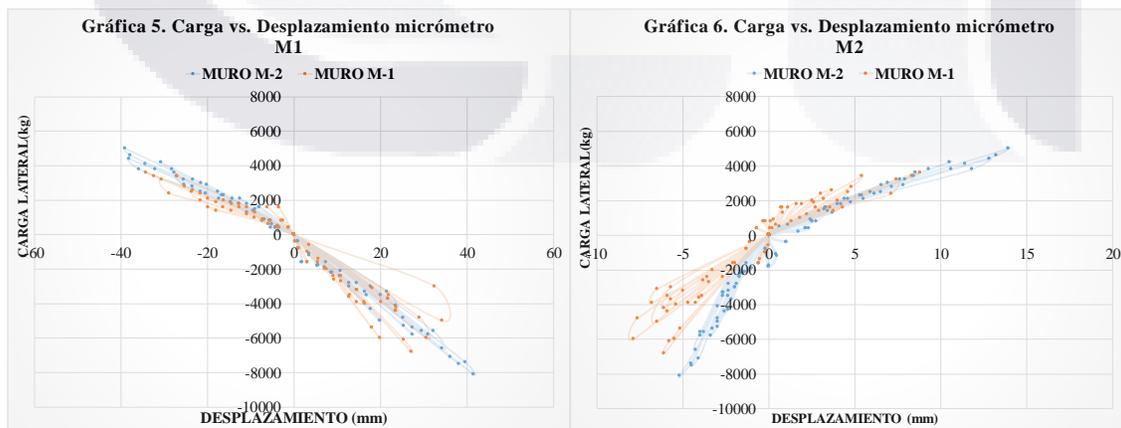


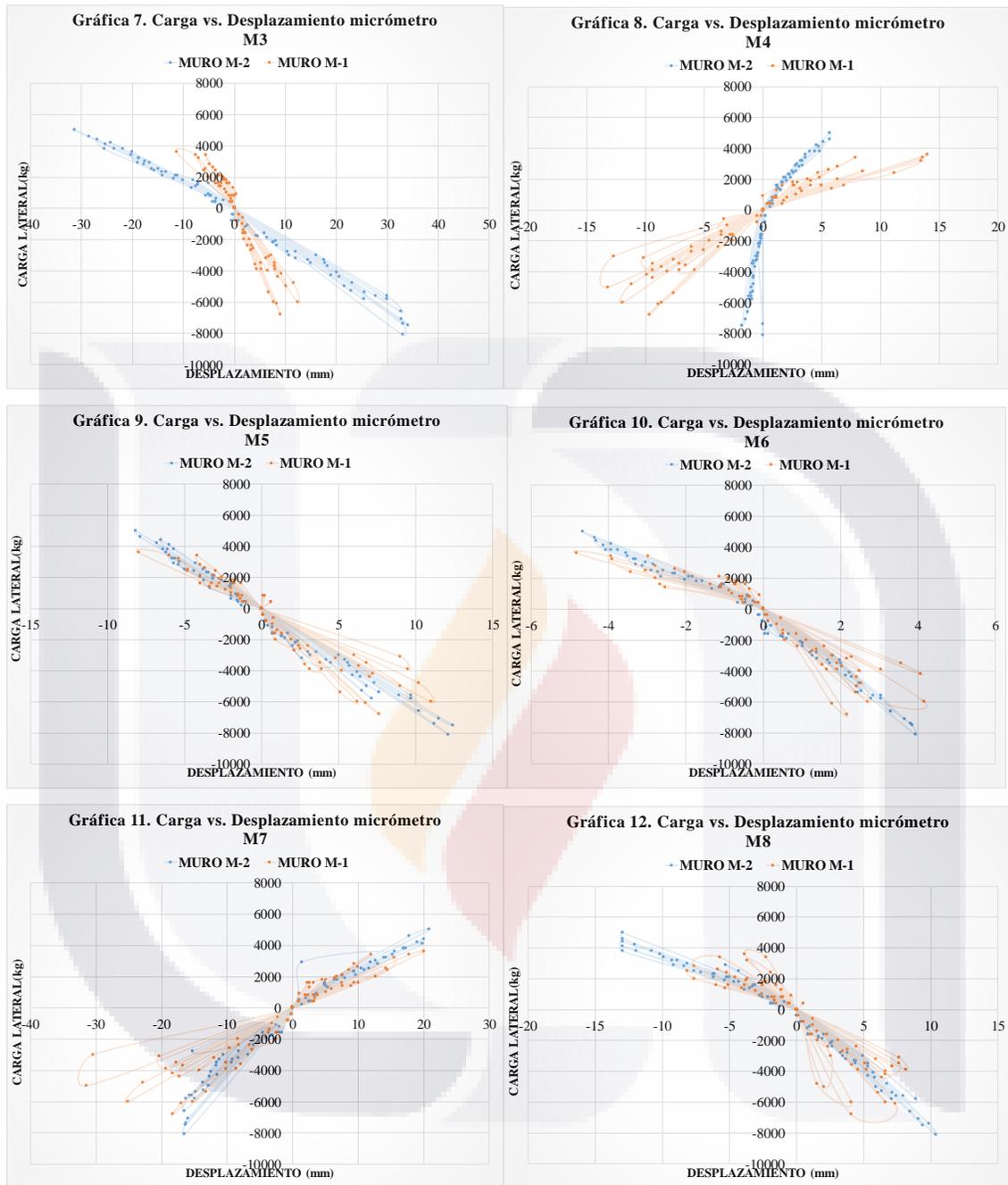
más que el que carecía del material EPS. En cambio, del muro M-3 y M-4 se obtuvo un resultado a favor del 2 % con el EPS en su lugar. Esto hace pensar que en relaciones altas de esbeltez se tiene más ganancia que cuando son bajas.

3.7 Comportamiento histéretico

El ensayo de desplazamiento lateral cíclico permitió observar la influencia del movimiento cíclico en la degradación de la estructura, por tanto, la degradación de la rigidez lateral se manifiesta por el cambio de pendiente en los lazos. La pérdida de resistencia lateral se puede analizar comparando el lazo asociado con la carga máxima del lazo posterior.

La respuesta cíclica de la carga registrada para cada micrómetro ubicado en diferente posición de los muros se muestra en (Figuras 12, 13). El comportamiento de histéresis exhibió mayores deformaciones para los muros de alta relación de esbeltez en comparación con los muros de baja relación, lo que se atribuye a la flexión más dominada como respuesta. La degradación de la resistencia se ilustra sobre cíclicos de cada fase, que conectan la fuerza máxima alcanzada en cada fase y por ciclo para toda la prueba.



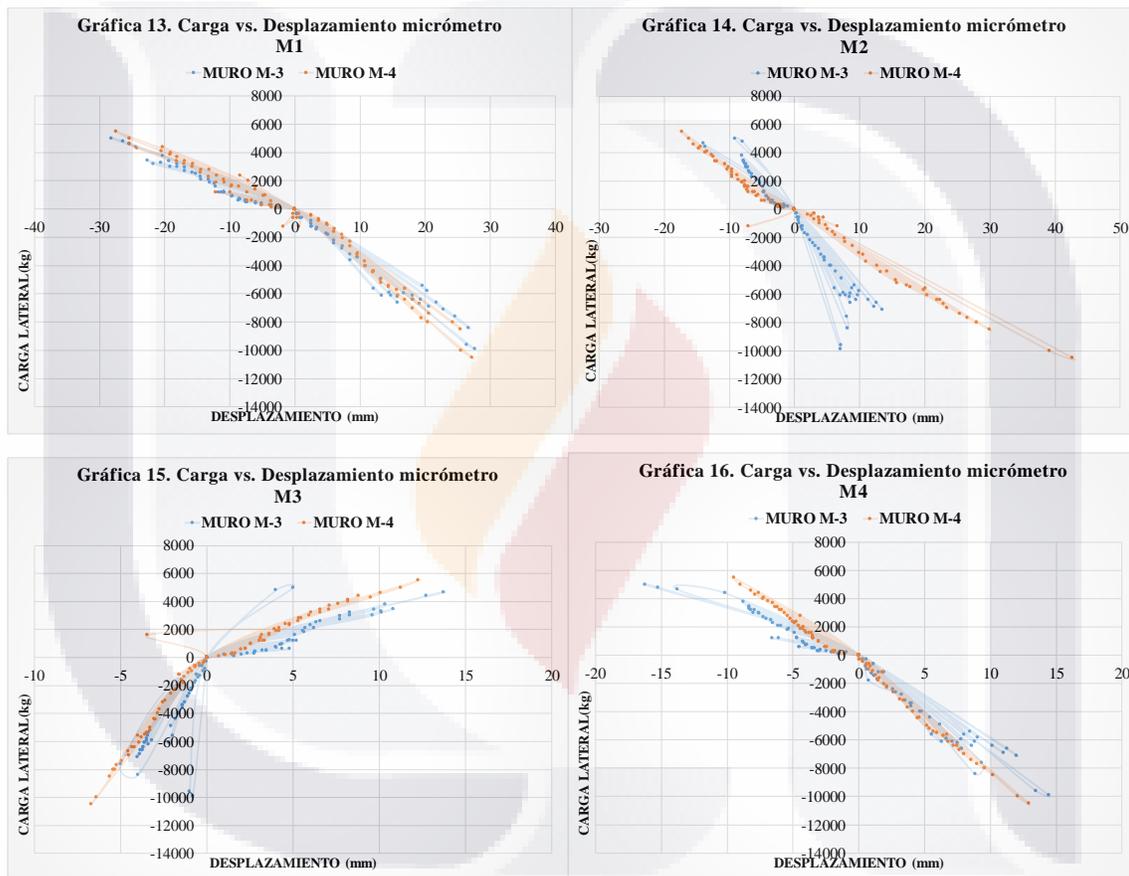


Figuras 12: Comparación de respuesta cíclica de muro M-1 y muro M-2

En la figura 12 se hace una comparación de la respuesta cíclica de los muros M-1 y M-2 para cada micrómetro. Como muestran las gráficas el muro M2 exhibe una mayor resistencia a carga laterales en las diferentes posiciones de los micrómetros, a su vez los



lazos de las curvas del muro M-1 son más espaciados, lo que resulta de un muro que sufrió de deformaciones internas considerables y a la presencia de grietas visibles. En cambio, el muro M-2 los lazos de las curvas de desplazamiento son más cerradas, dando por resultado menos deformaciones internas en el muro y por ende un nulo agrietamiento en comparación del muro M-1. Por lo que la presencia del EPS es un factor en beneficio de la resistencia del muro SGICF.



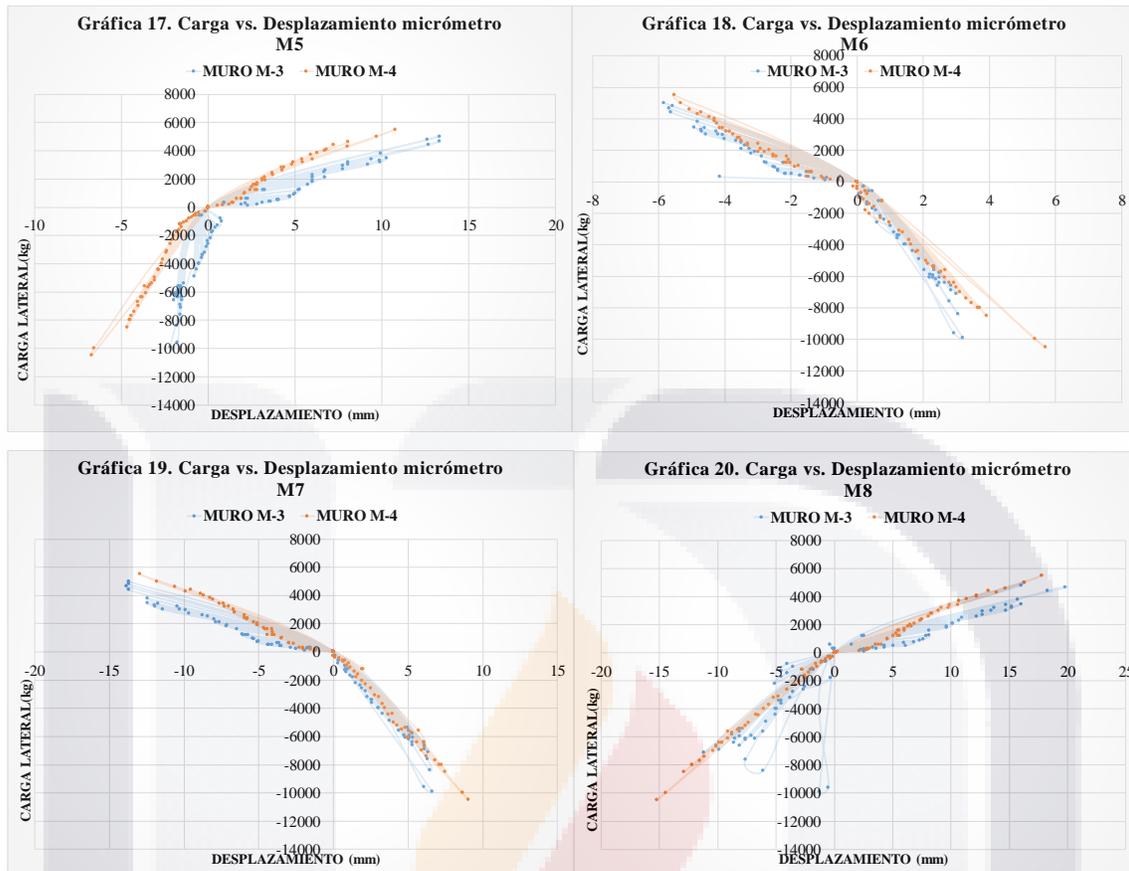


Figura 13. Comparación de respuesta cíclica de muro M-3 y muro M-4

En la figura 13 se hace una comparación similar de la respuesta cíclica pero ahora de los muros M-3 y M-4 para cada micrómetro. Como muestran las gráficas el muro M4 exhibe una mayor resistencia a carga laterales en las diferentes posiciones de los micrómetros, a su vez los lazos de las curvas del muro M-3 son más espaciados, lo que resulta de un muro que sufrió de deformaciones considerables y a la presencia de grietas visibles. En cambio, el muro M-4 los lazos de las curvas de desplazamiento son más cerradas, dando por resultado menos deformaciones en el muro y que por ende un nulo agrietamiento en comparación del muro M-1. Por lo que la presencia del EPS es un factor en beneficio de la resistencia del muro SGICF



3.8 Agrietamiento en la Zona Central

Para medir el nivel de deformación en la zona central de los muros se utilizaron los micrómetros diagonales M3 y M4. En las gráficas 7, 8, 15 y 16 se presentan los lazos histeréticos de los cuatro muros, los desplazamientos negativos indican compresión y los desplazamientos positivos, tensión.

En los gráficos anteriores se puede apreciar en los muros sin EPS, una degradación en la rigidez debido a la amplitud de las cuevas en comparando con los muros que tenían la presencia del EPS.

Los muros de relación de esbeltez alta presentaron mayores desplazamientos que rondaron de los 10 mm a los 30mm con cargas aplicadas de hasta 8000kg, en cambio en los muros con baja relación de esbeltez presentaron desplazamientos de 5mm a los 16mm con cargas que rondaron hasta los 10,000 kg.

Los resultados de la gráfica 8, no se tomaron en cuenta ya que no fueron coherentes con la prueba ni con el resultado de los demás micrómetros.

La presencia de carga vertical retrasó el inicio de la degradación de la resistencia del muro, en los ciclos iniciales. La fuerza lateral máxima V_{max} , que se resumen para todas las pruebas, fue influenciada por la presencia de la carga vertical, aportando una mayor capacidad a recibir carga lateral que si no la tuviera.

La dependencia de carga vertical fue consistente con las observaciones en el funcionamiento de los modos de falla, retrasando la falla del muro.



3.9 Deslizamiento de muro SGICF

Para analizar si se produjo falla por deslizamiento en la cadena de desplante y el muro SGICF, se colocó el micrómetro M6. En las gráficas 10 y 18 se presenta los lazos histeréticos registrados por este micrómetro. Se puede apreciar que el muro M-1 sufrió un deslizamiento de 6mm y el muro M-2 de 4mm. Mientras que el muro M-3 tuvo un desplazamiento de 5mm, y el M-4 de 4mm. Es importante mencionar que en ambos muros el deslizamiento fue controlado con el anclaje del acero vertical a la cadena de desplante.

El deslizamiento obtenido, se vio reflejado en una holgura en el movimiento del canal “C”, lo cual marco ese desplazamiento, que es parecido en los cuatro muros en cuanto a su dimensión.

3.10 Cálculo de la Rigidez Elástica (K) de los Muros

Para el cálculo de la rigidez lateral fue necesario el uso de la gráfica Carga Lateral versus Desplazamiento registrado por el micrómetro M1 en una etapa completamente elástica, es por ello que se utilizó la información obtenida en la Fase 5 y 7, en la cual no se presentó ninguna grieta en los muros. En la figura 14, se usó un tramo de la curva cuya pendiente constituyo el comportamiento elástico de los muros M-1, M-2, M-3 y M-4, respectivamente. Los resultados se muestran en las Tabla 4.

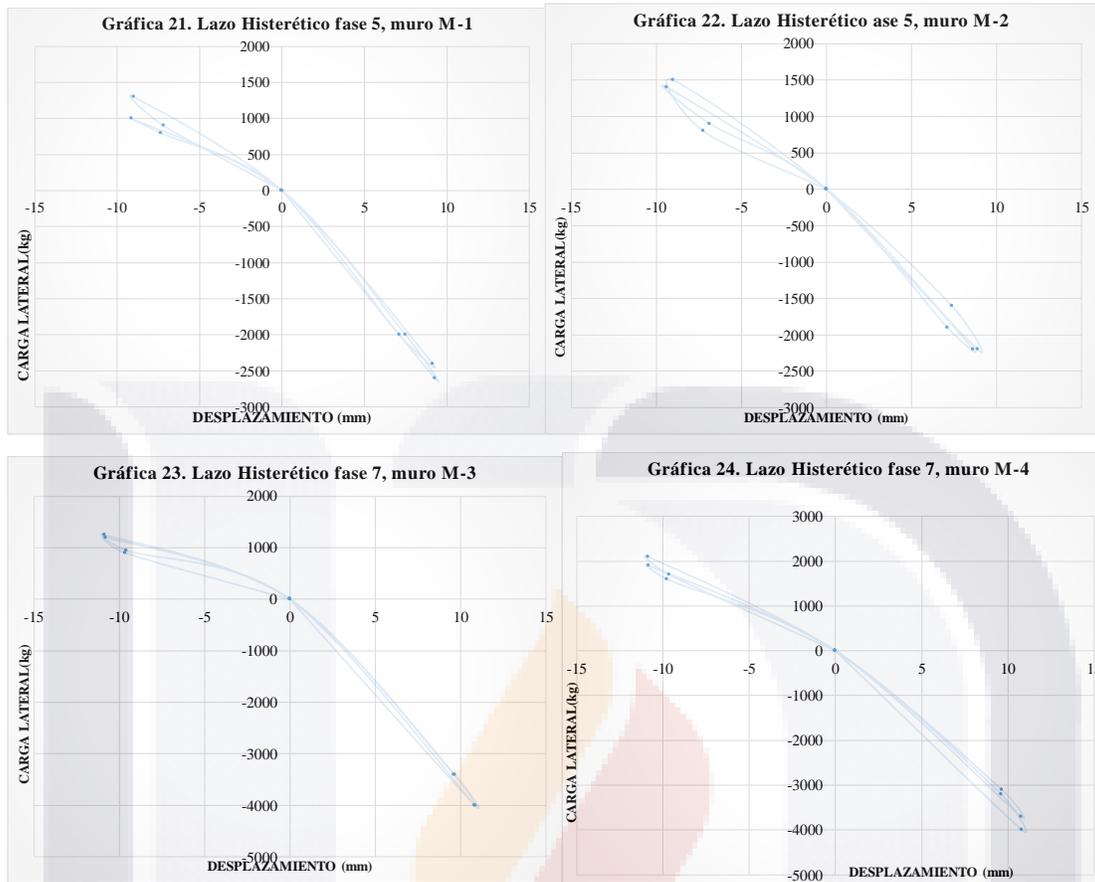


Figura 14. Lazos histereticos de los muros SGICF

MURO	Punto 1		Punto 2		ΔV (ton)	ΔD (mm)	K(ton/m)
	D1 (mm)	V1 (kg)	D2 (mm)	V2 (kg)			
M-1	-7.1882	900	-8.9916	1300	0.4	1.8034	221.80
M-2	-7.239	800	-9.017	1500	0.7	1.778	393.70
M-3	-9.652	900	-10.795	1200	0.3	1.143	262.47
M-4	-9.652	1700	-10.8712	2100	0.4	1.2192	328.08

Tabla 4. Cálculo de Rigidez (K) de Muros

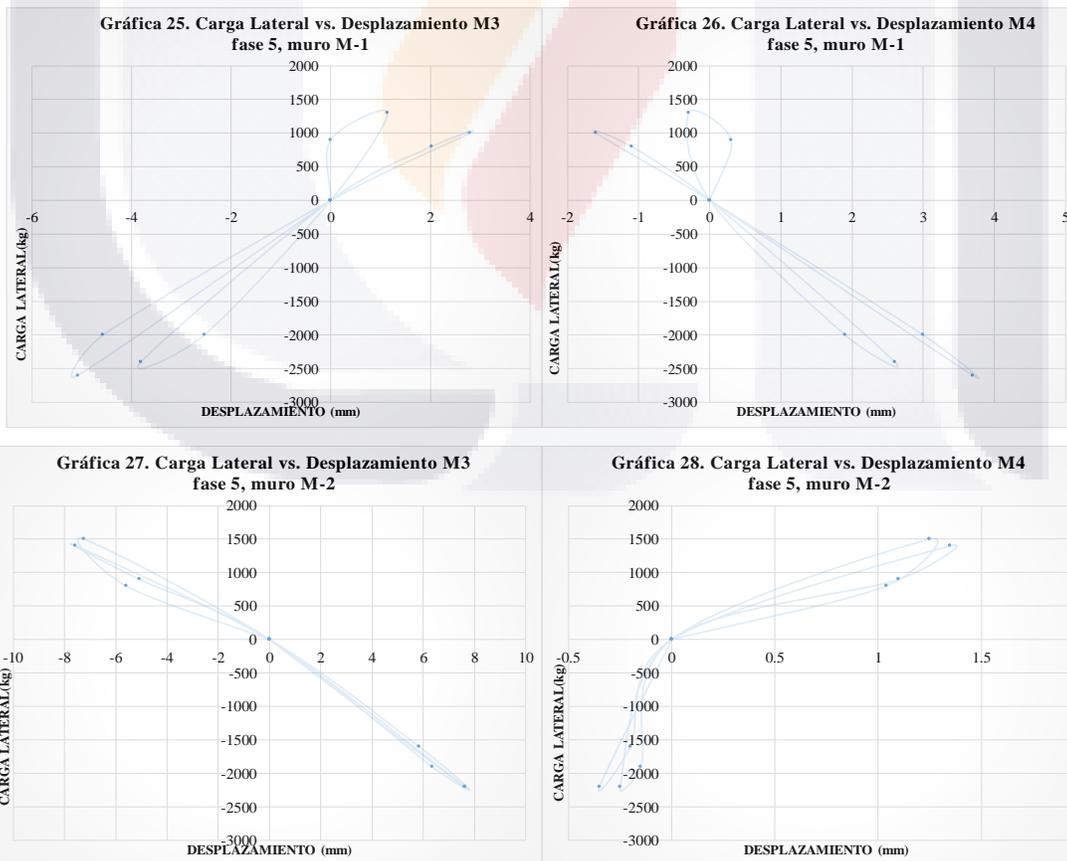
De la Tabla 4, con relación a los muros M-2 existe un 77% de rigidez que para el muro M-1, para el muro M-4 existe un 25% mayor que para el muro M-3. Estos resultados evidenciaron un aporte del EPS para la rigidez del muro.



3.11 Cálculo del Módulo de Cortante (G)

El módulo de cortante se determinó como la pendiente de la gráfica Esfuerzo Cortante versus la Distorsión Angular en una etapa elástica del muro. El esfuerzo de corte (t) se calculó como el cociente de la diferencia de la carga lateral y el área de corte, en este caso como el muro tiene vacíos, solo se sumaron las áreas perpendiculares de los siete núcleos verticales ($7 \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} = 700 \text{ cm}^2$).

La distorsión angular se determinó como la suma de los desplazamientos unitarios diagonales ($g = |\epsilon_1| + |\epsilon_2|$), los cuales son registrados por los micrómetros M3 y M4. Los desplazamientos versus la carga lateral de los micrómetros se presentan para los cuatro muros para el muro Figura 15. Cabe indicar que estas gráficas corresponden a la fase 5 y fase 7, fase en la que todavía no aparecía ninguna grieta diagonal.



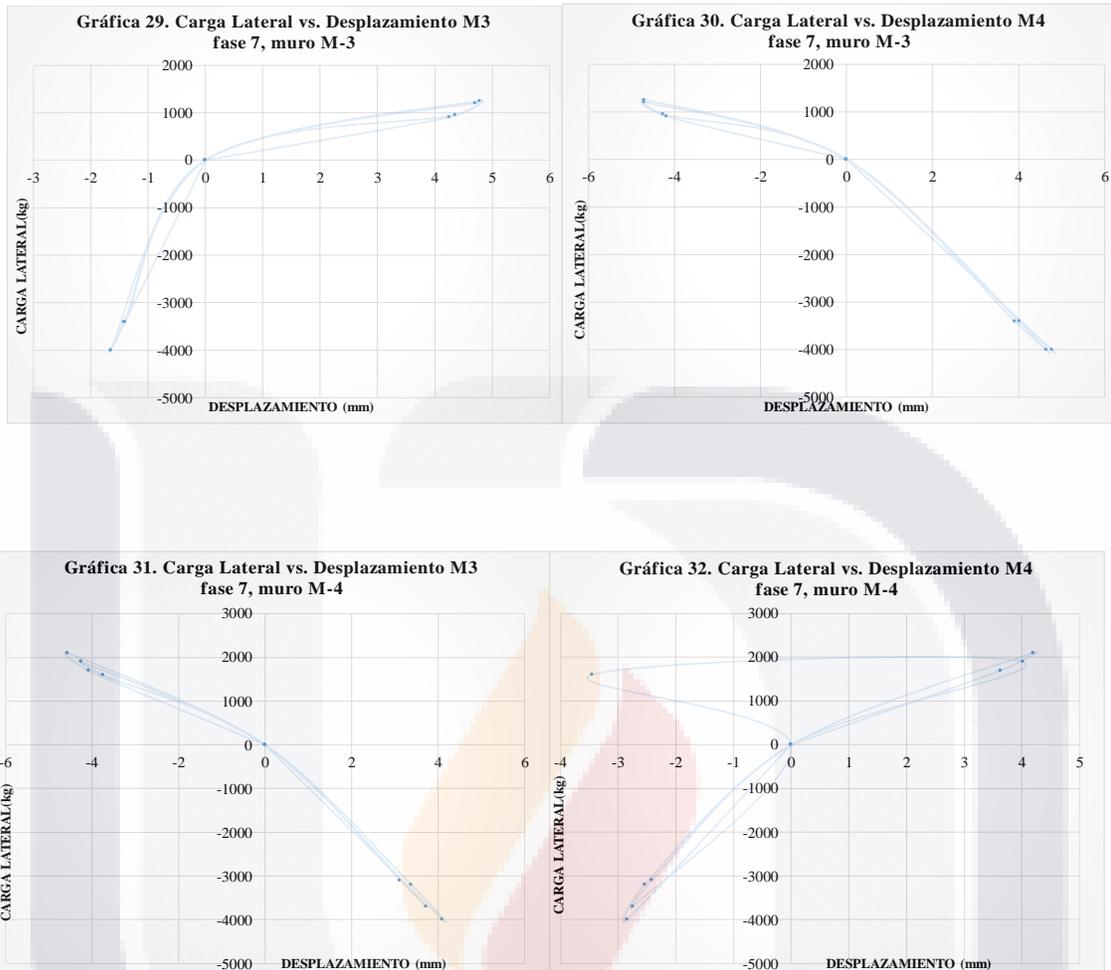


Figura 15. Carga Lateral vs. Desplazamiento de los muros SGICF

MURO	MICROMETRO	L(mm)	Punto 1		Punto 2		$\epsilon_1=(D2-D1)/L$	$\Delta g= \epsilon_1 + \epsilon_2 $	t1	t2	Δt	$G=\Delta t/\Delta g$
			V1 (kg)	D1 (mm)	V2 (kg)	D2 (mm)						
M-1	M3	700.00	1000.00	2.90	-2800.00	-5.00	-0.01	-0.02	14.29	-40.00	-25.71	1333.33
	M4	700.00		-1.80		3.80	0.01					
M-2	M3	700.00	0.00	0.00	1500.00	-8.00	-0.01	0.01	0.00	21.43	21.43	1612.90
	M4	700.00		0.00		1.30	0.00					
M-3	M3	700.00	0.00	0.00	1200.00	4.80	0.01	0.01	0.00	17.14	17.14	1304.35
	M4	700.00		0.00		-4.40	-0.01					
M-4	M3	700.00	0.00	0.00	2000.00	-4.60	-0.01	0.01	0.00	28.57	28.57	2272.73
	M4	700.00		0.00		4.20	0.01					

Tabla 5. Cálculo del Módulo de Cortante de los Muros

De los resultados anteriores en cuanto al módulo de cortante, con respecto al muro M-1 y M-2 se tiene una ganancia del 20% cuando el material EPS se encuentra presente en el muro. Para el muro M-3 y M-4 se tiene una ganancia del 57 % con respecto al módulo de cortante del muro M-3. Por lo tanto la presencia de EPS es favorable en el muro SGICF.



3.12 La capacidad a deformación del muro SGICF

La capacidad máxima de la deformación se obtuvo como la distorsión máxima alcanzada, o para los casos en que se produjo degradación de la resistencia, donde se vio la disminución a resistir de carga lateral.

Con el micrómetro M1 la capacidad a deformarse de los muros ensayados se resume en los gráficos 5 y 13. Los muros con relaciones altas de esbeltez exhiben mayor capacidad a distorsiones, que los muros de baja relación.

En consecuencia, la presencia de carga vertical resulta en la estimación conservadora de la capacidad a tomar más distorsión en el muro. Debido a que el diseño sísmico depende en gran parte de la capacidad de deformación, la ductilidad de los muros constituye una medida de la capacidad de deformación adicional.

La deformación de los núcleos verticales contribuyó al fracaso por medio de la inclusión a la flexión del núcleo, produciendo agrietamiento y llegar al deterioro del muro cuando tiene relación de esbeltez mayor a la unidad.

Aunque los muros de relación de esbeltez mayor fueron más consistentes en la capacidad de deformación registrada dentro de un 20 % mayor en comparación de los muros de bajos de relación, se tiene caso contrario en relaciones bajas de esbeltez aumentando la capacidad de resistir fuerza lateral en comparación a la de los muros más esbeltos. Aunque no hay tendencias consistentes en la distorsión y la rigidez era evidente que, para los distintos muros de relación de esbeltez, la dispersión de datos podría ser atribuido a la dependencia de valores de deformaciones potencialmente variables como resultado del daño producto del agrietamiento de los núcleos verticales de concreto.

Dada la variabilidad de acciones y resultados dependiendo de acciones ajenas a la muestra en la toma de datos, se requiere de una gran cantidad de información para dar la



evaluación de la rigidez y ductilidad en todos los casos. Por lo tanto, la prueba de un solo muro no daría una muestra representativa, solo sirve para tener una noción cercana al funcionamiento del muro sin llegar a una certeza eficiente.

3.13 Contribución del block RST®

Con el ensaye de los muros M-1 y M-3 con el material EPS retirado se destina principalmente para la observación del desarrollo de grietas y la progresión de la insuficiencia a través de la exposición de los núcleos de concreto expuestos. Las pruebas de los muros M-2 y M-4 proporcionó valiosa datos sobre la contribución del material EPS adherido al muro en el comportamiento y a sus formas de falla. El rendimiento fue significativamente mayor cuando el material no era retirado de los núcleos de concreto teniendo una mayor capacidad para resistir fuerza lateral y a la toma de deformaciones mayores.

La ausencia del material EPS influyo negativamente a la respuesta del muro, desafiando la noción de ignorar la contribución que pueda aportar el block RST® cuando se considera el comportamiento cíclico del muro SGICF. El efecto beneficioso del material EPS es probable que sea indirecto. Aunque los datos experimentales sean coherentes, serían necesario más ensayos contemplando las variables de tipo de concreto, esbeltez del muro y tamaños de huecos en los muros.



Figura 16. Muro SGICF al término de la prueba.



Una posibilidad podría ser que con un concreto de baja resistencia como el que se usó para los muros resulte beneficioso para que el aporte del EPS funcione en la toma de deformaciones y sirva de amortiguador, ofreciendo además un nivel de confinamiento en los núcleos de concreto como lo muestra la Figura. 16. Los rendimientos que se espera de este tipo de muros no debe pasar por alto la contribución del ICF, especialmente para los casos en los que puede haber un deseo de eliminar o físicamente excluir el material EPS como parte de la construcción de edificaciones.

Un aporte que se vio reflejado por la presencia del EPS es que cuando se empezó a descubrir el muro SGICF, se encontraba la presencia de humedad mínima adherida, misma ayudo a que el muro tuviera condiciones de hidratación y por lo tanto evitar un posible micro agrietamiento por cambios volumétricos.

Las guías de diseño de los muros SGICF que se tienen contemplada para su diseño, tanto para la separación del acero, el tipo y la calidad, así como para la altura máxima que sostendrá el muro ante cargas accidentales como viento y sismo; resumen armados y alturas para cada intensidad de cargas accidentales, sin tener un enfoque de cómo se llevó a cabo, el diseño estructural. Las guías de diseño disponibles son principalmente descriptivas, (National of Home Builders (Nahb), 2002), destacando la necesidad de normas. Los cálculos recomendados para la fuerza lateral tienden a basarse a la resistencia a cortante de un muro de concreto de sección rectangular equivalente a la de los núcleos verticales (VanderWerf, 1997).

3.14 Conclusiones

Las conclusiones obtenidas fueron tomadas producto el ensaye de cuatro muros a escala real. Los núcleos de todos los muros tuvieron barras de refuerzo de 10 mm (3/8”), que fueron espaciados a 60 cms horizontal y verticalmente. Otra variable que estuvo presente fue la relación de aspecto que van de 1.28 a 0.85 y por último la influencia del material RST como disipador de deformaciones:



- Los modos de falla de los muros SGICF, dependen del comportamiento de los núcleos individuales y a su esbeltez. La falla en los muros está constituida por agrietamiento en los núcleos ya que ocurre consistentemente a lo largo del plano horizontal del muro, independientemente de la relación de esbeltez o de la presencia de la carga vertical.
- Las cargas verticales adicionales en los muros aumentan la fuerza lateral en el muro y retrasa la aparición de degradación de la resistencia, especialmente en los muros de alta relación de esbeltez.
- La introducción de la carga vertical adicional tiene diferentes resultados en las capacidades de distorsión para las diferentes relaciones de esbeltez que se manejaron.
- La rigidez efectiva es mayor en presencia del material EPS que cuando no se tiene, manejándose en un rango de 25 a un 77%.
- El módulo de cortante es mayor en presencia del material EPS, manejándose en un rango de 20 % a un 57% dependiendo de la relación de esbeltez.
- La prueba de un solo muro dio lugar a tener una idea del comportamiento que tiene el sistema SGICF ante la presencia de cargas laterales, sin embargo, se tendría que realizar una campaña experimental con varios muros para llegar a un resultado más característico.
- Los blocks RST® tienen aportes beneficiosos para la respuesta que tienen los muros ante la presencia de carga lateral, dependiendo de la relación de esbeltez que se tiene, incluso cuando el material EPS tiene una resistencia a la compresión baja en comparación con la del concreto.



CAPÍTULO

4 ARTICLE “BEHAVIOR OF SGICF WALLS AGAINST CYCLICLY APPLIED LATERAL LOADS”



F.J. Sandoval-Ramírez (*), D. E. Reyna-Valdivia (*), G. Araiza-Garaygordóbil (*)

4.1 Abstract

The behavior against lateral loads in the concrete walls plane is analyzed, with the adequacy of prefabricated blocks of high density expanded polystyrene (EPS) in order to make a concrete grid with horizontal and vertical concrete cores named screen grid wall (SGICF). The spreading occupied by the horizontal and vertical concrete were reinforced according to the minimum amounts of effort that the regulation indicates.

The construction of four walls of SGICF is done, changing the slenderness proportion with the retirement of SGICF block to two walls, with the objective of evaluating the possible faults in the wall, the rigidity test, lateral resistance and ductility.

These walls were subject to load cycles with the deformation application, increasing the distortion in each trial phase in a cyclic way. The results taken from the four experiments indicate that the walls with a lack of EPS had high tensions in the concrete and cracks at 45 degrees, all of this a result of the wall shear failure. In the walls where the EPS was not taken away, the actual failure was visible in the lower corner, more precisely in the union of wall chain, without remarkable cracks within the whole wall's plane.

It was found that the vertical load increases the strength and stiffness of the walls, nevertheless the effect caused over the deformation capacity is tied to the wall's slenderness. The SG blocks being in their spot had a positive influence over the conduct, serving as an energy dissipater and helping to decrease the wall's cracking.

Out of the test results it is able to see that the EPS block adherent to the SGICF wall increased the lateral resistance from a 26% to a 31% and for the stiffness of the wall it



shows that it goes up from only 25% to 77% comparing the exact same samples without any EPS blocks.

Author key words: SGICF wall; cyclic behavior; micrometers, real scale experiments.

(*) Departamento de construcción y estructuras, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Avenida Universidad 940, Edificio 108, C.P. 20131 Aguascalientes, AGS, México

4.2 Introduction

The system of walls made of concrete with insulated RST (SGICF) blocks is a system of structural wall used for housing building, it consists of blocks filled with concrete. These blocks become an essential part for the thermic and acoustic isolation provided to the structural system, for the useful life of the construction.

The SG block creates a concrete grid, of concrete cores intersected in tight spaces (SGICF) the walls are a subset of the ICF, which are systems of wall building, and besides they may be found in other two modalities, including walls “wall” and walls “waffle grid” as is shown in figure 1, (National of Home Builders (Nahb), 2002). The SGICF walls are built in a modular arrangement, these are blocks with openings that are designed to create a framework of internal concrete cores.

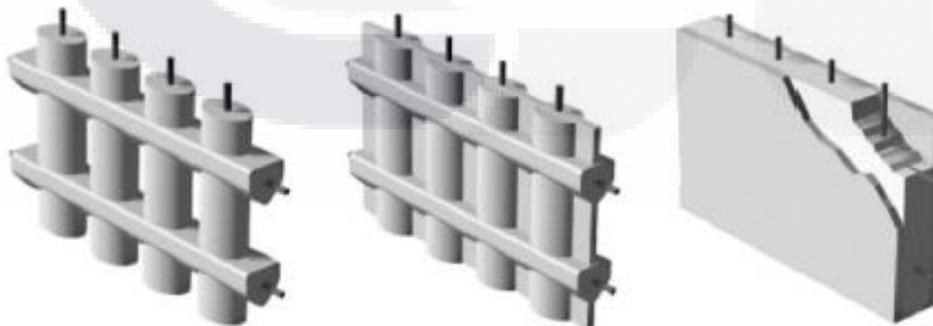


Figure. 1: Types of ICF walls. Left to right: screen grid (with deleted blocks), waffle grid (with deleted blocks), and wall “wall”. Images out of (PCA, 2003).



The reinforced steel is disposed both in vertical and horizontal cores in a way that complies with the minimum amount that the Complementary Techniques Rules for Design and Building of Concrete Structures considers. The SGICF walls are especially attractive for sustainable edification, because they potentially decrease the expenses of construction work, bringing down the building time significantly, also they reduce the energy demand among the lifetime of a building as a result of the good characteristics of an isolation system SGICF (VanderWerf, 1997).

The prefabricated blocks may also be made of recycled materials, such as not-virgin polystyrene or recycled wood products, giving a plus to the material recycling and so to the construction.

The implementation of SGICF walls creates a high challenge, especially when it refers to high seismic risk areas, consequence of the lack of information about the behavior of the system in these events. As long as this constructive method is relatively recent there are no experimental results available and because of this no regulations at all.

Some of the research that has been made of the SGICF system is about the lateral load resistance, this includes experiments with blocks of different measures, such as external and internal blocks such as the ones that were studied in this investigation. Some experimental campaigns gave as a result a larger rigidity and more resistance in walls with different aspect proportions, that if it's compared with wood walls or other systems with similar characteristics, highlighting the potential for the housing construction (Mehrabi, 2000). Unlike the studies where the slenderness proportion is considered a parameter, the evaluation of the opening effects in the SGICF walls, allows the comprehension of different kinds of failures (NAHB Research Center, Inc., 2001). However, the previous mentioned experimental campaign has been done using monotonically increasing load, limiting the application of cyclic loads and so the simulation of wind and earthquake loads. A ductile behavior has been observed in



SGICF walls, submitted to a cyclic load and it showed that the vertical or gravitational loads served to increase the capacity of the wall's shearing force (Yland, 2000).

Out of the investigations conducted, the tested walls with EPS blocks drowned in concrete to one with the blocks deleted, the wall's resistance of shearing was found to be just 16% less than the tested EPS blocks wall. Moreover, the stiffness was 47% less and ductility 31% less in the concrete cores. This result shows that the EPS block has a positive effect over the resistance, stiffness and ductility.

The research previously mentioned recounts experiments with walls of a bigger thickness, also different dimensions to the ones that were studied.

This document draws the performance of tests and results of SGICF walls on a real scale, experimenting in cyclic tests in order to observe the response to lateral loads in the plane of specimens, in addition to different proportions in slenderness and the effects of the lack of EPS material.

4.3 Sample disposition

The size of EPS blocks, the shape and separation of the concrete cores in the SGICF walls vary depending on the fabricator, as well as the density with which the blocks are made.

The SGICF RST® system for walls consists of individual blocks that form a system which is adherent to the concrete wall. The RST® blocks are of high density polystyrene (EPS), with a density of 20 kg/m³.

The RST® blocks have standard measurements of 20 centimeters thick (200 mm), 20 centimeters high (200 mm) and 100 centimeters long (1000mm). Each standard block is one solid piece of material molded in vertical cores of 10 by 10 centimeters (100x100 mm) and horizontal cores of 10 by 15 centimeters (100x150 mm).



When they're grouped together for construction, the blocks form vertical and horizontal spaces, where the reinforced steel and concrete are placed. The blocks are joined through lintels to make the wall.

In order to perform the tests on the SGICF walls, a support was built, then joined with the SGICF wall with the load frame. The joining of the support with the frame was made possible by a steel canal anchored by means of rods. In order to join the "C" shaped canal with the support, equidistant vertical anchors were imbedded in the concrete to prevent the wall from sliding.

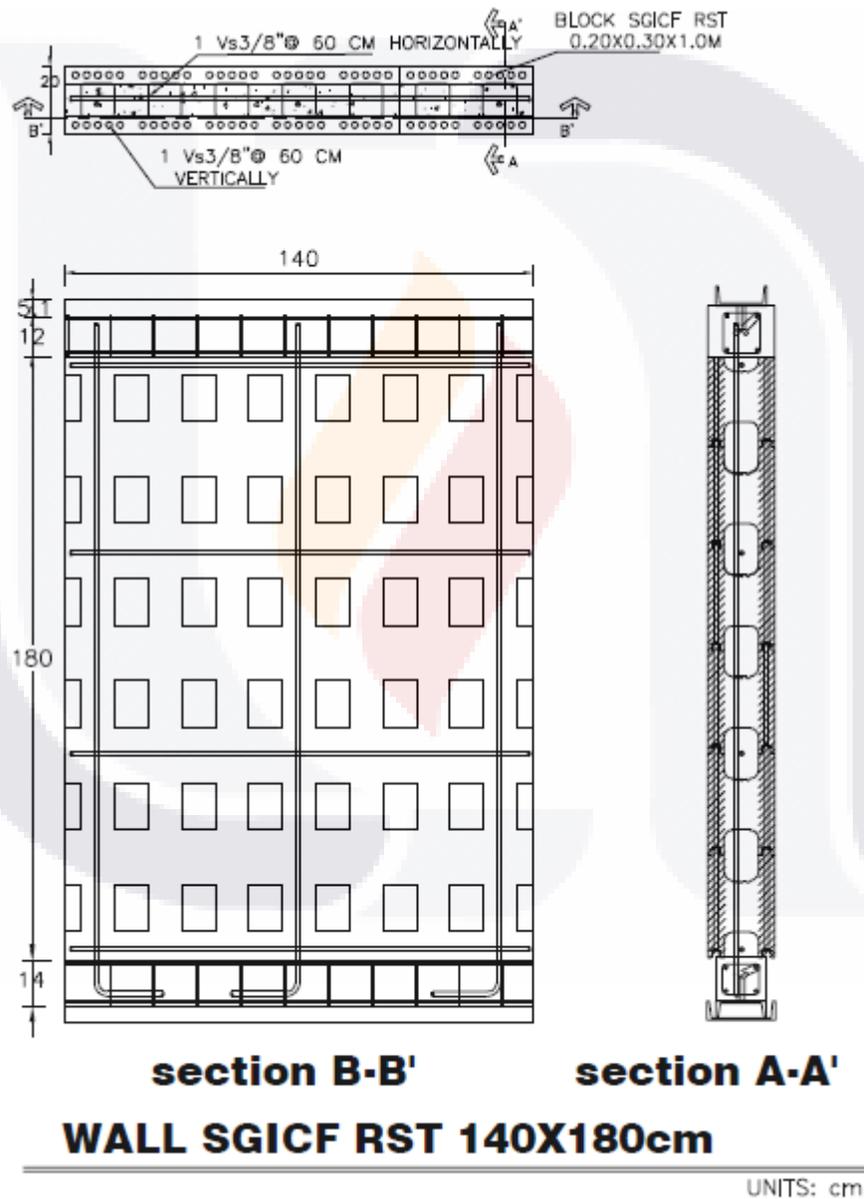
The concrete used in the construction of the support had a resistance to simple compression of $f'_c=300\text{kg/cm}^2$, reinforced with No. 3 rods and No. 2 braces at every 20 cm. The support's dimensions were 20x15x140 cm.

The anchored walls on the support were 140 cm long as was regulated by the length of the "C" shaped canals. Two slenderness proportions were considered, as shown in Figure 5, in which the height of the wall was based on the union of various blocks RST®. A height of 120 cm (6 blocks RST®) was used in a slenderness proportion close to 0.85, it is hoped that its principal mode of fault be due to shear force. The other height of 180 cm (9 blocks RST®) was used in a proportion of 1.28, with the objective of provoking faults due to tension and shear force in the wall, Figure 2. The heights were adopted with the dimensions that the load frame has.

The reinforced steel used in the SGICF walls were obtained with the minimum proportion that the Complementary Technical Norms for the Design and Construction of Concrete Structures stipulates, giving a vertical reinforcement of rods of 3/8", spaced at every 60 cm. The reinforced steel was anchored to the support, a fold was made in the rod at a 90-degree angle and with an effective length adhered to the support in order to avoid faults due to the release of the wall from the support.



The horizontal reinforced bars were also obtained with the minimum proportion that the regulations stipulate, rods of 10 mm (3/8") were placed, spaced at every 60 cm, in the middle part of the block RST® gap. The reinforced bar was folded to give continuity in the reinforcement grid. This construction method reflects the building practice on site presently and the necessary steel for the walls' construction.



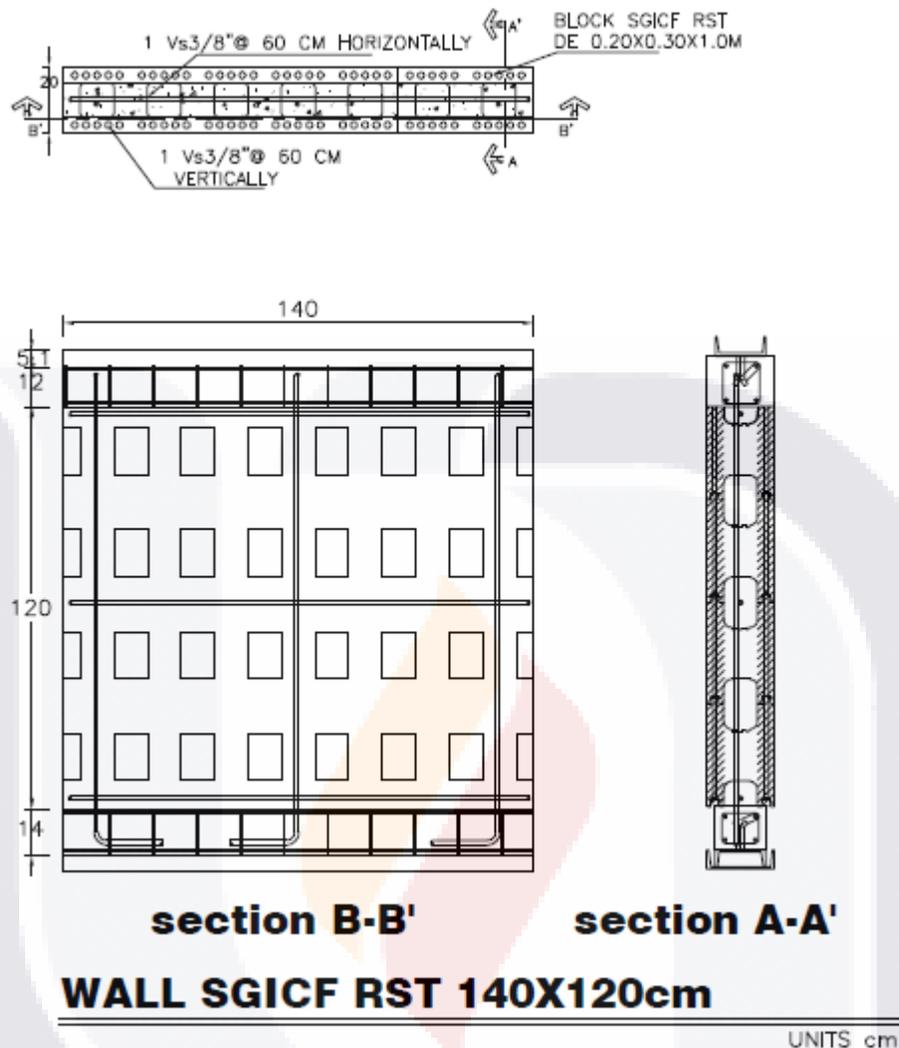


Figure 2. Modulation of walls and reinforcement grid.

The walls were built using a concrete resistant to the identical compression. The adopted concrete had a resistance of 150 kg/cm², the same that is used for social interest housing (NTC-C, 2004). To corroborate the concrete's quality, compression tests were performed on cylinders using the standard trial procedure (ASTM International, 2010). The reinforced steel used in all the walls had a resistance $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ MPa (412).

The material properties are summarized in Table 1. All the walls were tested after 28 days.



#	WALL	H/L	VERTICAL REINFORCEMENT	HORIZONTAL REINFORCEMENT	CONCRETE $f'c$ (kg/cm ²)
1	M1	1.28	#3 @ 600 mm	#3 @ 600 mm	150
2	M2	1.28	#3 @ 600 mm	#3 @ 600 mm	150
3	M3	0.85	#3 @ 600 mm	#3 @ 600 mm	150
4	M4	0.85	#3 @ 600 mm	#3 @ 600 mm	150

Table 1. Detailed SGICF walls

Regarding the heights employed in this wall, a 100% accurate representation of the real height of house wall was not able to be built as the dimensions of the load frame and the load capacity of the hydraulic actuators in the laboratory restricted it.

The walls give as a result a slenderness proportion of height (H) divided by wall length (L) in walls M-1 Y M-2 1.28 and in walls M-3 Y M-4 at 0.85.

In order to join the SGICF walls and hydraulic actuators that had the vertical and lateral loads, a beams was built. At the same time a “C” shaped canal was adhered to the beams and in itself helped fit the actuators to the wall.

The concrete used in the construction of the beams had a resistance to compression of $f'c=250$ kg/cm², reinforced with 10 mm (3/8”) rods and 6 mm (2/8”) braces at every 20 cm. The beams dimensions were 20x15x20 cm.

Before performing the test on the walls, wall M-1 and M-3, having the characterization of being different heights, had EPS material manually removed after the concrete had given the designed resistance after the 28 days, Figure 3. All of this to leave only the reinforced concrete cores, thus observing the development of crack patterns that formed in the SGICF wall.



Figure 3. EPS removal from the wall.

4.4 Test Configuration and Instrumentation

With the purpose of understanding the behaviour of the SGICF walls, measurements were taken with external instrumentation. Only micrometers were used to measure displacement and deformations. For the external instrumentation the micrometers for displacement were used and placed in strategic points. With the gathered data, it was possible to determinate deformations in walls and rotations.

The test was executed in two phases, the first one consisted in the application of vertical load and the second in the cyclic application of lateral load.

Vertical Load Application

The applied vertical load simulated the solicitation of gravity that an existent central wall in a living house would support, with the presence of dead weight (DW) and live weight (AW).

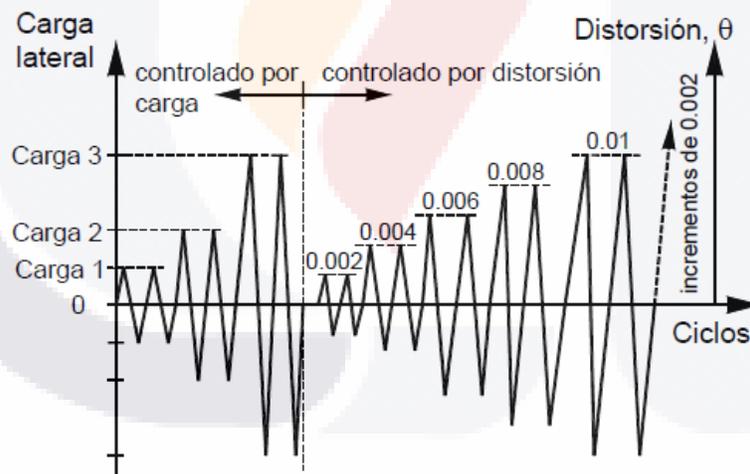
$$DW+AW = 1785\text{kg/ml}$$

Therefore, the applied load for a 1.4 m wall was 2500kg.

In first instance the deformations that the wall had during the application of the vertical load in several phases of incremental load was researched, with the purpose of obtaining the elasticity modulus of the wall. The load cycles were of 500 kg for each phase, until obtaining a vertical load of 2500 kg. The point was to capture the wall's performance with and without the contribution of the properties that the EPS material may have.

Lateral Load Application.

The configuration of the test is shown in the Figure 4 (NTC-M, 2004). Each wall was secured to the laboratory load frame using a sequence of steel bars. The transfer of lateral load was accomplished by linking a hydraulic actuator capable of delivering a load of 12'000 kg with the "C" canal joined to the chain by means of a steel bolt with a diameter of 1 ½" in order to have a dynamic push on the wall.



Carga 1 = 0.25 veces la carga calculada de agrietamiento o fluencia
Carga 2 = 0.5 veces la carga calculada de agrietamiento o fluencia
Carga 3 = carga de agrietamiento o primera fluencia (experimental)

Figure 4. Loads History, cyclic test, (taken NTC-C, 2004)

The walls were not restricted sideways out of the plane; the only contribution was the one made for the hydraulic actuator. For this test a vertical axial load was required,



being simulated distributed through a IPR joist, which would receive another hydraulic actuator, through a gravity load, as is shown in Figure 5.

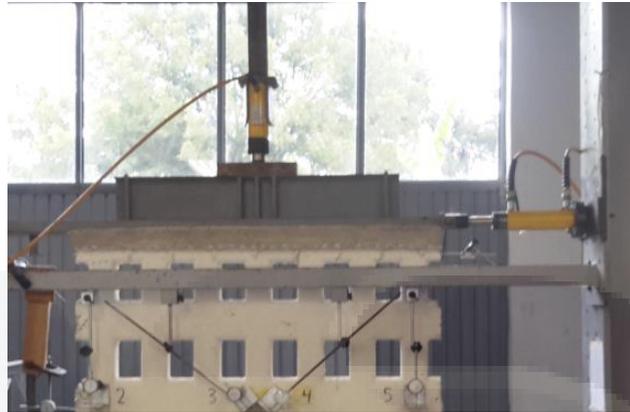


Figure 5. Hydraulic actuators.

Steel bars that interacted with the C joist adhered to the wall and IPR were used, with the function of mobilizing the wall in the direction of the load application, and so avoiding any results being affected.

For the study of the behavior of the walls in the presence of the applied loads, eight micrometers in the four walls were used, that served for measuring deformations caused by the load application, their exact location is shown in Figure 6. Due to the lack of necessary equipment such as displacement transducers (LVDT), specialized for this type of experiments, micrometers were used.

Function and importance of each micrometer:

MICROMETER M1: It records the displacements at the height of the beam. It is important because the dynamic actuator is located in this chain which applies the lateral load. With the information of this micrometer it was possible to calculate the wall's rigidity. In addition, it allowed to control the displacements executed in each phase of the test.



MICROMETER M2 & M5: Located at each end of the wall, they helped obtain the vertical displacements that are produced by the vertical load application. With them, the elasticity modulus of the wall (E) was calculated.

MICROMETER M3 & M4: Located at the diagonals of the wall, they allowed the diagonal displacements to be measured. Also they allow the study of the degree of cracking due to shearing force. Finally, with the information recorded the shear modulus of the wall (G) was able to be calculated.

MICROMETER M6: This detected the displacements between the support and wall, which allows the study of their interaction.

MICROMETER M8: Located at the wall's corners, they measure the vertical displacements that these produce. They are important because the corners are the ones which have a high tension, and so, they could crack.



Figure 6. Location of various micrometers in the different walls.

The reverse cyclic deformations were imposed on the wall, based on the distortions of each phase between the wall's height, which would give the displacement that the walls



may have in each trial phase; where Δ = measured displacement for M1; and H= Height of each SGICF wall.

The history of the cyclic deformations was the distortion adopted from recommendations on cyclic tests of walls [NTCDF-2004]. In spite of these not being developed specifically for SGICF walls, the recommendations of trial for this case followed similar patterns as if it were a regular concrete wall, in order to submit to different force mechanisms and exhibit the difference in rigidity and lateral resistance without EPS.

The history of loads and distortions associated to each phase of load is shown in the Table 2, the three first phases of the test were controlled in basis of load application and the rest of the phases were controlled in basis of incremental distortions in each step.

WALL HEIGHT 180 cm				WALL HEIGHT 120 cm			
PHASES	# CYCLES	APLIED LOAD		PHASES	# CYCLES	APLIED LOAD	
CONTROLLED LOAD							
1	2	302.5		1	2	400	
2	2	605		2	2	800	
3	2	1210		3	2	1600	
CONTROLLRD BY DISTORTION							
PHASES	# CYCLES	DISTORTION	DISPLACEMENT (cm)	PHASES	# CYCLES	DISTORTION	DISPLACEMENT (cm)
4	2	0.002	0.36	4	2	0.002	0.24
5	2	0.004	0.72	5	2	0.004	0.48
6	2	0.006	1.08	6	2	0.006	0.72
7	2	0.008	1.44	7	2	0.008	0.96
8	2	0.01	1.8	8	2	0.01	1.2
9	2	0.012	2.16	9	2	0.012	1.44
10	2	0.014	2.52	10	2	0.014	1.68
11	2	0.016	2.88	11	2	0.016	1.92
12	2	0.018	3.24	12	2	0.018	2.16
13	2	0.02	3.6	13	2	0.02	2.4
14	2	0.022	3.96	14	2	0.022	2.64

Table 2. Loads and distortions for each phase

The table shows the loads history that needs to be applied in each phase two loading and unloading cycles are applied in both directions. Plus, the distortions of incremental loading with a rank of 0.002, for each phase with two loading & unloading cycles in each direction.



The first set of cycles was executed applying load cycles, which was expected to be within the elasticity rank principally for all the tested walls, obtained from a modeling with a finite element program named Abaqus. After each set of cycles the distortion was increased until the fault was reached.

4.5 Modes of fault of the SGICF system

The observations of the beginnings of cracks and the spreading of cracking was limited for walls with EPS material, on account of the concrete cores being hidden behind the EPS material. The application of distortions was controlled until the fault in the wall, where the predominant fault was in the lower section of the wall, where the support and wall were joined. After finishing both tests for each wall containing ICF material, the hydraulic actuator was disconnected and the wall was secured, in order to remove the EPS material.

When the entirety of EPS material was removed and cleaned, the whole zone of embedded concrete lacked any visible cracking pattern in plain sight. Which leads us to believe that the material served as a sort of energy dissipater, the same which buffers the deformities sustained by the wall. Another suggested reason was that the openings the RST system contains don't occupy more than the 25% of the spaces inside the SGICF wall. This leads us to believe that by occupying 75% of the wall's volume with concrete, it still behaves as a wall without openings.

The predominant damages in the case of wall M-2 and M-4 was the cracking in the support in the lower section, to be exact at the corners in each wall. By giving away in this section of the wall, the part confined by the SGICF block was less exposed to tensions resulting from the application of loads, as is shown in Figure 7. The maximum load reached by wall M-2 was 8600 kg, during phase 14 with a lateral deformity of 39.6



mm. While wall M-4 reached a maximum load of 10500 kg, also during phase 14 with a lateral deformity of 26.4 mm.

Generally, the location of the reinforced vertical bar inside the vertical core didn't present any alterations if there had been tensions in the material in plain sight

Wall M-1, with the absence of EPS material, presented faults due to tension in the wall. The cracking pattern during the first cycles was perpendicular to the vertical concrete elements. In posterior cycles, the pattern for this type of fault increased, until in one phase the first diagonal faults appeared, result of a fault due to shear force.

The location of the cracking patterns didn't surpass more than a third of the SGICF wall, concentrating in this section high tensions and big deformities in the wall, the same results observed in previous tests performed on SGICF walls.

As a more detailed revision of the wall, the first horizontal crack was observed after phase 6 with a displacement of de 10.8 mm, over the first line of horizontal reinforcement of the wall, which means that the general location of fault zone corresponded to the location of the vertical reinforcement, the same which presented high deformities and at the same time resulted in cracking. After phase 6, the horizontal cracks had increased significantly. Afterwards, during phase 8, with a displacement of 18 mm, the first diagonal cracks were observed in the lower corner of the wall. During the consequent phases the size of the crack increased.

The examination of the fault zone revealed that the greater damage was caused in the exterior vertical cores. The horizontal cores exhibited minimum damage during the first phases of the test, since compared to the vertical cores they have a greater section of concrete. The horizontal cracks during the test were probably caused after the reinforced steel had been damaged, allowing the steel bars to begin working.



Due to the vertical load o externally applied gravity, the width of the crack was reduced, as well as the size of the crack because the wall was at a uniform compression during the whole time the test lasted, until the vertical load yielded to the lateral load being applied.

During cycle 10, the peak of a greater load with a capacity of 6800 kg was registered, a deformity of 25.2 mm, which afterward descended as a load and resulted in a total fault and a sudden collapse of the concrete core. The failure of the wall was a result of the formation of cracks of considerable dimensions in the vertical cores, which led to the capacity loss of lateral loads in the wall, as shown in Figure 7 (see wall M-1).



Figure 7. Faults in tested walls.

Wall M-3 with low aspect proportion showed no visual damages in cracks during the first trial phases in the wall. The signs of fatigue suffering in the wall occurred until phase 8, with a load of 6100 kg and a displacement of 12 mm, that was the moment the diagonal cracks in both directions of the application of vertical loads presented themselves.

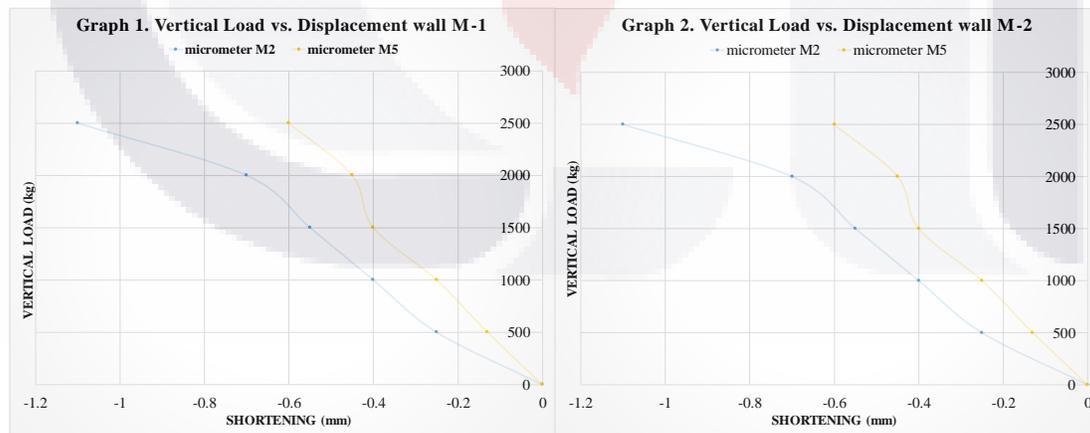


The spreading of the cracks increased considerable in posterior cycles, located in all the area of the wall as shown in Figure 7 (see wall M-3), there was total damage to the wall in all the zone of the wall, giving rise to the fact that the predominant fault was due to shear force and no other factors such as slenderness proportion intervened.

During phase 14, with a load of 9900 kg and a deformity of 26.4 mm, the maximum load supported by the wall occurred, so that afterwards the capacity to support bigger loads diminished and the deformity and cracking of the wall increased. The examination of the fault zone showed that the exterior cores were the most damaged and the rest of the vertical cores exhibited severe diagonal cracking, as well as considerable damage in the horizontal cores. This resulted in a fault mode that was characterized by faults in the vertical cores which led to losses in lateral forces.

4.6 Calculation of the Elasticity Modulus (E)

From the information obtained from the micrometers M2 & M5, which are the instruments that recorded the vertical displacements, the elasticity modulus was calculated using the proportion vertical load vs. displacement Figure 8.



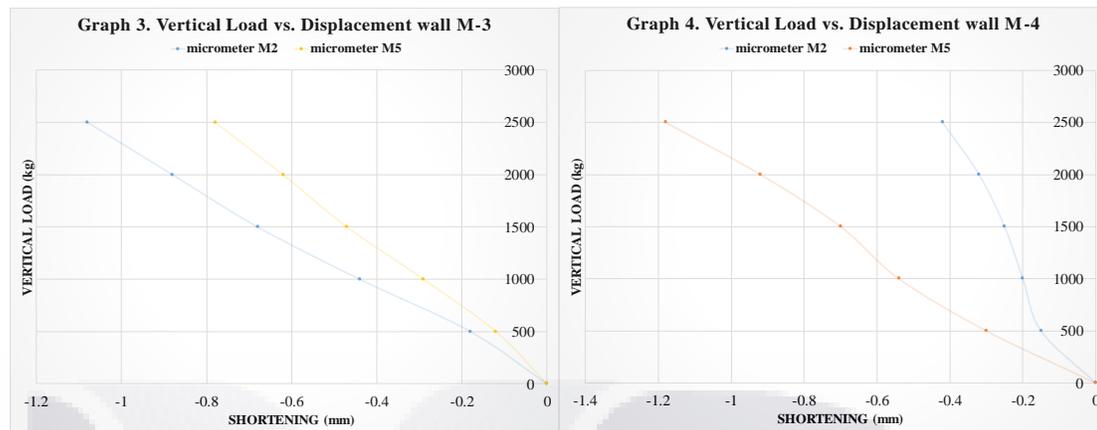


Figure 8. Vertical Load vs. SGICF Wall's Displacement.

In the graphs it may be observed that the M2 recorded more vertical displacement than the M5, this can be attributed to the fact that where the load was applied to on the base, it was offset from the end of the wall. In this way, for the calculation of “E”, only the displacement from M2 was used. Table 3.

Using the graphs of Displacement vs. Load of each wall, a lineal trace of the graph which slope is the elasticity mode (E) was looked for. Therefore, ” E” could have been calculated as the quotient in the increase of axial effort ($\Delta\sigma$) and the corresponding unitary deformations ($\Delta\epsilon$) in the lineal section used. The unitary deformation is calculated as the difference of the displacements recorded per micrometer and the length of its bases (L).

WALL	MICROMETER	L (mm)	POINT 1		POINT 2		$\Delta\epsilon$	$\Delta\sigma$ (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
			D1 (mm)	P1 (kg)	D2 (mm)	P2 (kg)			
M-1	M2	1800	-0.4	500	-0.7	2000	0.00	1.07	6428.57
M-2	M2	1800	-0.4	500	-0.55	1500	0.00	0.71	8571.43
M-3	M2	1200	-0.18	500	-1.08	2500	0.00	1.43	1904.76
M-4	M5	1200	-0.3	500	-1.18	2500	0.00	1.43	1948.05

Table 3. Calculation of Modulus of Elasticity SGICF walls

In table 3 the results from the elasticity modulus of the four walls are observed. From walls M-1 & M-2, we see that with the presence of EPS the wall obtained 33% more than the one with no EPS. On the contrary, from walls M-3 & M-4 the result in favor of

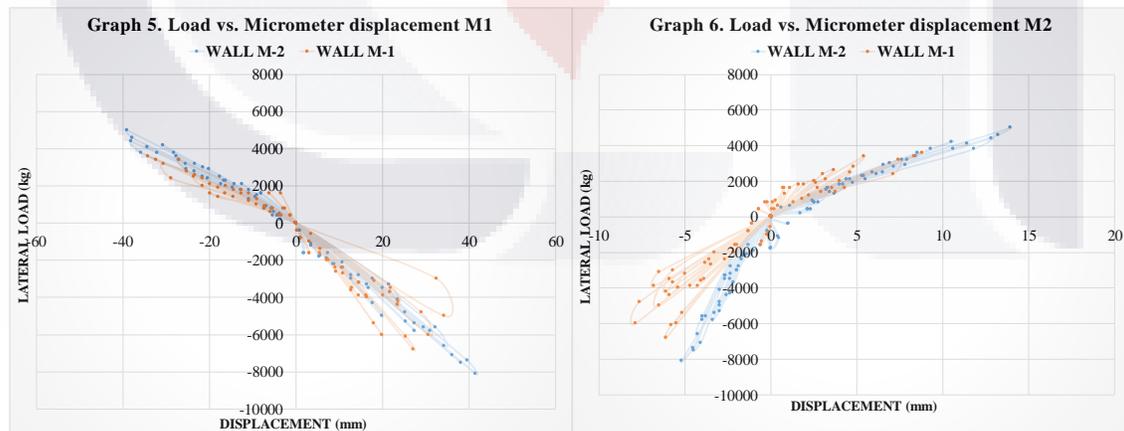


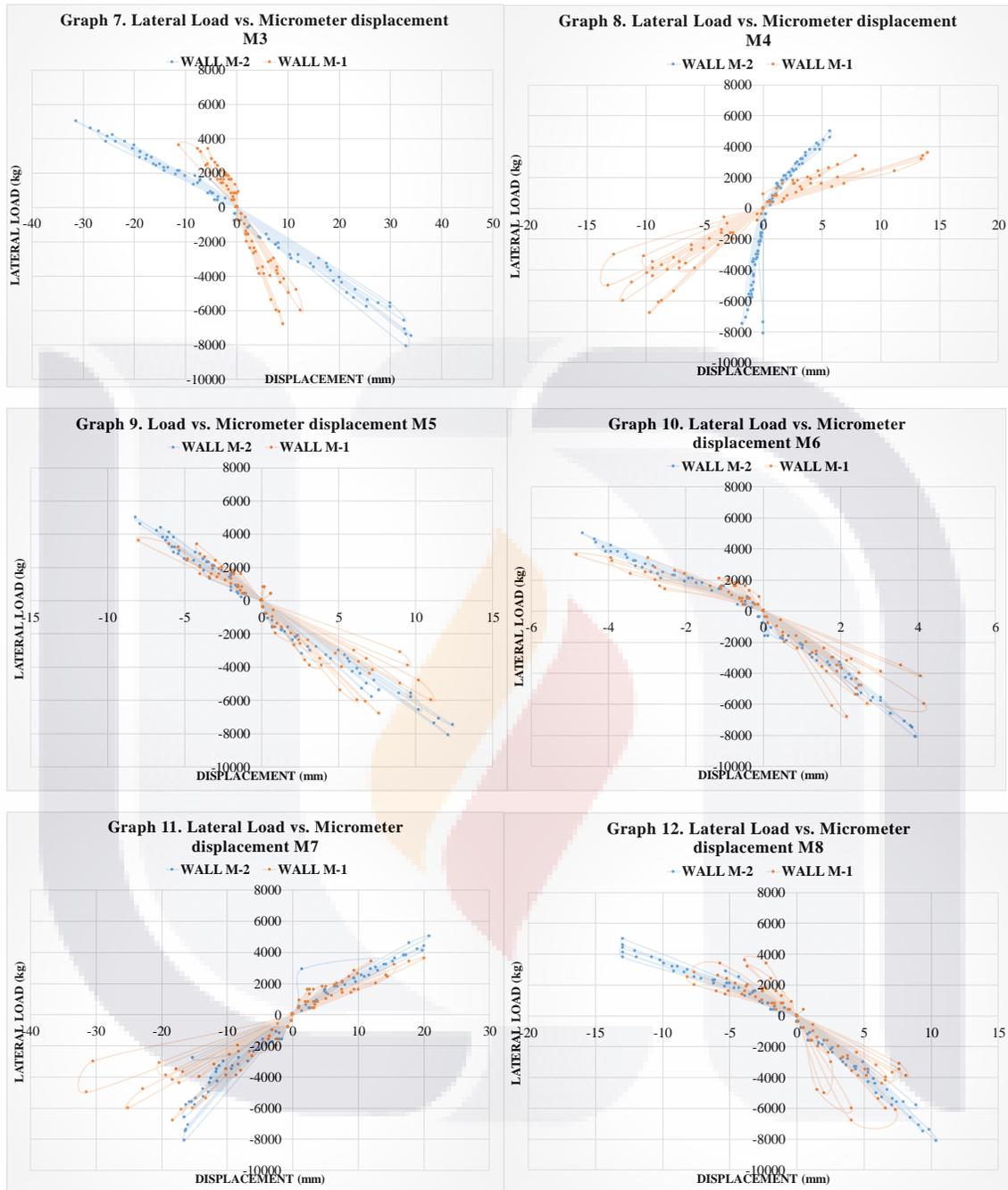
2% with the EPS in its place was obtained. This makes it appear that in high relations of slenderness proportions there is more gain than when they are small.

4.7 Hysteretic behavior

The cyclical lateral displacement test allowed the observation of the influence that cyclical movement has on the structural degradation; therefore, lateral rigidity degradation manifests itself due to the change of slope in the loops. The loss of lateral resistance can be analysed comparing the associated loop with the maximum load of the latter loop.

The cyclical response of the registered load for every micrometer located in a different position in the walls is shown in (Figures 9, 10). The hysteretic behaviour exhibited greater deformations in walls with high slenderness proportion compared to walls with low proportion, which is attributed to a more dominant flexion as a result. The degradation of resistance is illustrated over cycles in each phase, which connects the maximum force reached during each phase and by cycle during the whole test.



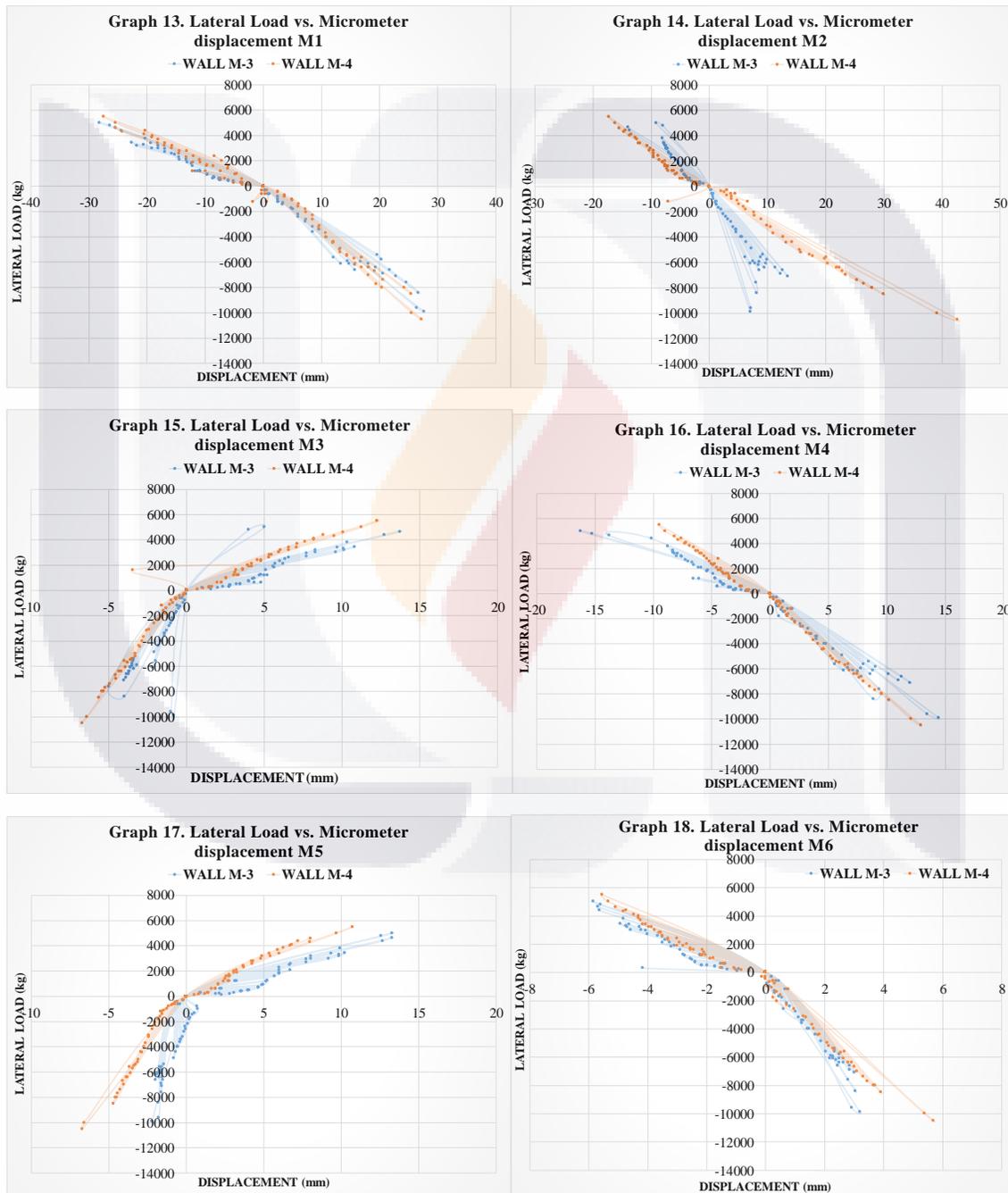


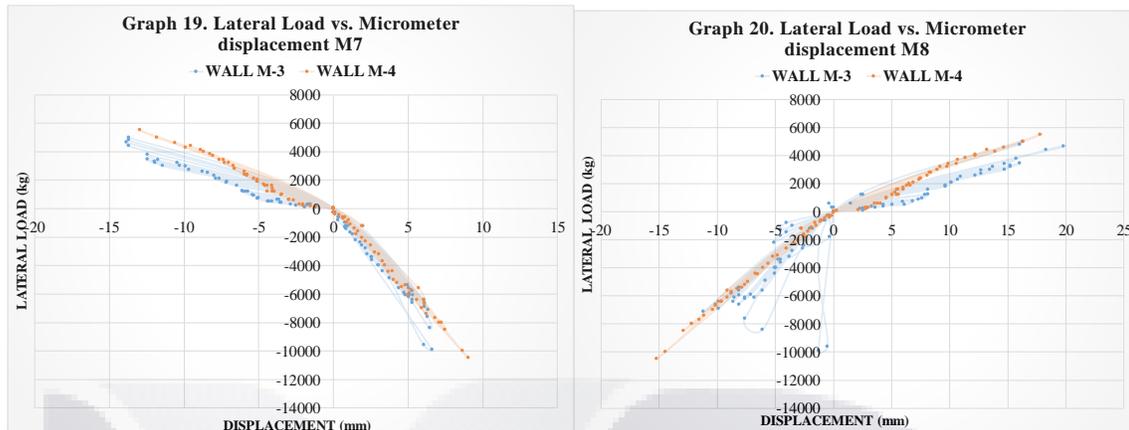
Figures 9: Cyclical response of wall M-1 and wall M-2 comparative

In Figure 9, a comparative of the cyclical responses of wall M-1 and M-2 is made for each micrometer. As shown in the graphs, wall M-2 exhibits a greater resistance to lateral loads in different positions of the micrometers; in turn, the curve loops of wall M-1 are more spaced, which results from a wall that suffered considerable internal



deformities and the presence of visible cracks. On the contrary, wall M-2 the displacement curve loops are closer together, giving as a result fewer internal deformities in the wall and consequently null cracking compared to wall M-1. Therefore, the presence of EPS is beneficial factor in the resistance of the SGICF wall.





Figures 10: Cyclical response of wall M-3 and wall M-4 comparative

In Figure 10, a similar comparison of cyclical response is made but now of walls M-3 and M-4 for each micrometer. As shown in the graphs, wall M-4 exhibits a greater resistance to lateral loads in different positions of the micrometers; in turn, the curve loops of wall M-3 are more spaced, which results from a wall that suffered considerable deformations and the presence of visible cracks. On the contrary, wall M-4 displacement curve loops are closer together, giving as a result fewer deformities in the wall and consequently null cracking compared to wall M-1. Therefore, the presence of EPS is a beneficial factor in the resistance of the SGICF wall.

4.8 Central Zone Cracking

In order to measure the deformation level in the central zone of the walls the diagonal micrometers M3 & M4 were used. In graphs 7, 8, 15 and 16 the hysteretic loops of the four walls are presented, the negative displacements indicate compression and the positive displacements, tension.

In the past graphs, in the walls without EPS, a degradation in the stiffness due to the amplitude of the caves compared to the walls with presence of EPS is appreciated.



The walls with high slenderness proportion had larger displacements that hovered between 10 to 30 mm with applied loads of up to 8000kg, on the other hand, the walls with small slenderness proportion showed displacements from 5 to 16 mm with loads that hovered up to 10'000kg.

The results from graph 8, were not taken into account since they weren't consistent with neither the test nor the results from the rest of micrometers.

The presence of vertical loads delayed the beginning of degradation of the wall's resistance, in the initial cycles. The maximum lateral force V_{max} that is summarized in all tests was influenced by the presence of the vertical load, adding a larger capacity of receiving lateral load than if it didn't have it.

The dependence of vertical load was consistent with the observations in the functioning of the failure modes, delaying the wall's failure.

4.9 SGICF wall displacement

In order to analyze if there resulted a fault due to the displacement of the support and the SGICF wall, micrometer M6 was placed. In graphs 10 and 18, the hysteresis loops registered by that micrometer are presented. They show that wall M-1 suffered a 6 mm displacement and wall M-2 a 4 mm one. Meanwhile, wall M-3 had a 5 mm displacement, and M-4 a 4 mm one. It's important to mention that in both walls the displacement was controlled by the vertical steel anchor to the support.

The obtained slide was reflected in the space in the movement of the steel trough "C" that marked this displacement, which is similar to the four walls regarding its dimension.

4.10 Calculation of Elastic Stiffness (K) of the Walls



In order to calculate the lateral rigidity, the use of the Lateral Load Vs Displacement graph recorded by micrometer M1 in a completely elastic stage was needed, which is why the information that was used is the one obtained during phase 5 & 7, in which no crack in the walls showed. In figure 11, a section of the curve in which its slope constituted the elastic behavior of the walls M-1, M-2, M-3 & M-4 respectively, was used. The results appear in Table 4.

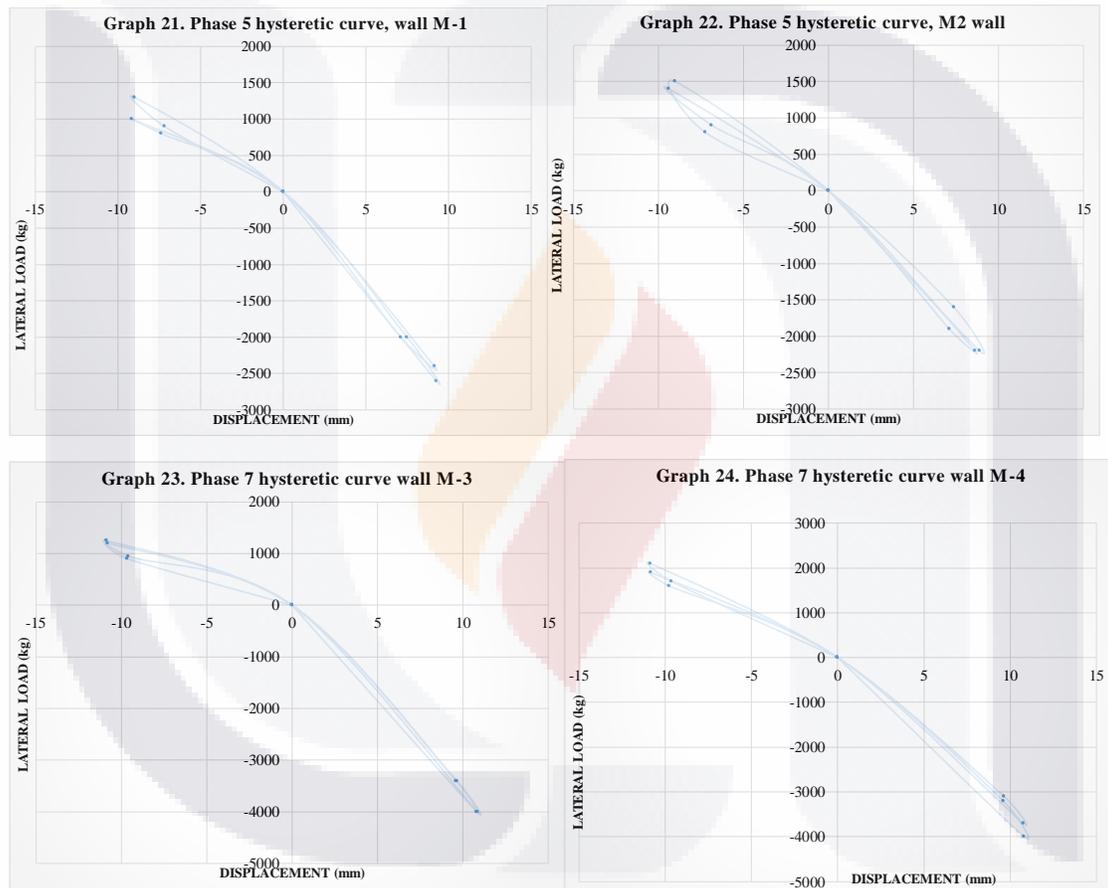


Figure 11. Hysteretic loops in the SGICF walls

WALL	POINT 1		POINT 2		ΔV (ton)	ΔD (mm)	K(ton/m)
	D1 (mm)	V1 (kg)	D2 (mm)	V2 (kg)			
M-1	-7.1882	900	-8.9916	1300	0.4	1.8034	221.80
M-2	-7.239	800	-9.017	1500	0.7	1.778	393.70
M-3	-9.652	900	-10.795	1200	0.3	1.143	262.47
M-4	-9.652	1700	-10.8712	2100	0.4	1.2192	328.08

Table 4. Calculation of Stiffness (K) of Walls

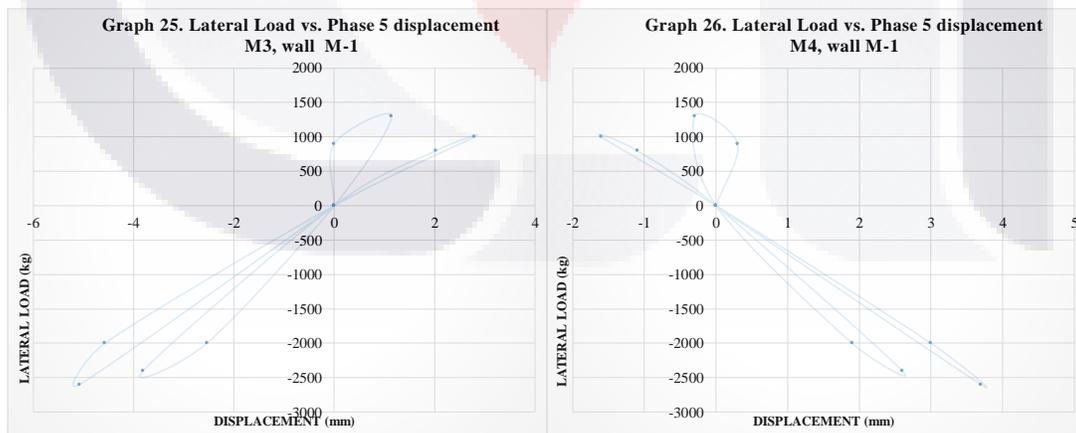


From Table 4, regarding wall M-2 a 77% of rigidity exists, as opposed to wall M-1 and wall M-4 where there is 25% more than wall M-3. These results show the contribution of EPS to the wall's stiffness.

4.11 Calculation of Shear Modulus (G)

The shear modulus was determined as the slope of the graph Shearing Force versus Angular Distortion during the wall's elastic period. The shearing force (t) was calculated as the quotient of the difference between the lateral load and the shear area, in this case, as the wall has empty spaces, only the perpendicular areas of the seven vertical cores were added ($7 \times 10 \text{cm} \times 10 \text{cm} = 700 \text{cm}^2$).

The angular distortion was determined as the sum of the diagonal unitary displacements ($g = |\epsilon_1| + |\epsilon_2|$), which were registered by the M3 and M4 micrometers. The displacements versus the lateral load of the micrometers are presented for the four walls in wall Figure 12. These graphs correspond to phase 5 and phase 7, phases in which there were still no diagonal cracks.



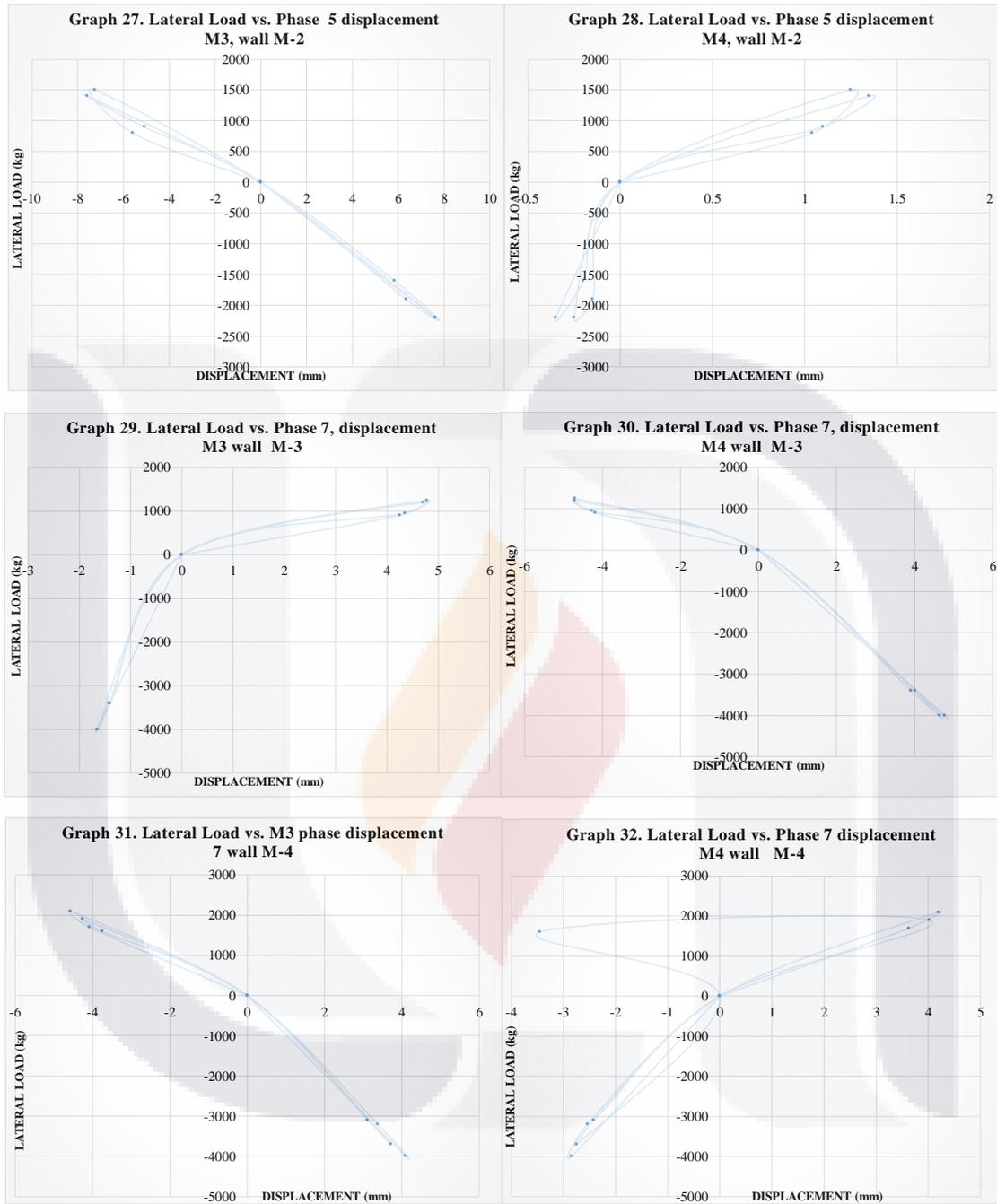


Figure 12. Lateral Load vs. Displacement of SGICF walls



WALL	MICROMETER	L(mm)	POINT 1		POINT 2		$\epsilon_1=(D2-D1)/L$	$\Delta g= \epsilon_1 + \epsilon_2 $	t1	t2	Δt	$G=\Delta t/\Delta g$
			V1 (kg)	D1 (mm)	V2 (kg)	D2 (mm)			(tn/m2)	(tn/m2)	(tn/m2)	(tn/m2)
M-1	M3	700.00	1000.00	2.90	-2800.00	-5.00	-0.01	-0.02	14.29	-40.00	-25.71	1333.33
	M4	700.00		-1.80		3.80	0.01					
M-2	M3	700.00	0.00	0.00	1500.00	-8.00	-0.01	0.01	0.00	21.43	21.43	1612.90
	M4	700.00		0.00		1.30	0.00					
M-3	M3	700.00	0.00	0.00	1200.00	4.80	0.01	0.01	0.00	17.14	17.14	1304.35
	M4	700.00		0.00		-4.40	-0.01					
M-4	M3	700.00	0.00	0.00	2000.00	-4.60	-0.01	0.01	0.00	28.57	28.57	2272.73
	M4	700.00		0.00		4.20	0.01					

Table 5. Calculation Module Shear Walls

From the previous results regarding the shear modulus, according to wall M-1 and m-2 there is a 20% gain regarding EPS material found in the wall. In wall M-3 and M-4 there was a 57% gain regarding the shear modulus in wall M-3. Therefore, the presence of EPS is favourable in the SGICF wall.

4.12 The Capacity of SGICF Wall Deformation

The maximum capacity of deformation was obtained as the maximum distortion reached, or in the cases in which degradation of resistance was produced, where the decrease of resistance for lateral load was visible.

With the micrometer M1, the capacity of deformation of the tested walls is summarized in graphs 5 & 13. The walls with high slenderness proportion exhibit a larger capacity of distortion than those with low proportion.

In consequence, the presence of vertical load results in the conservative estimation of capacity to absorb more distortion in the wall. Due to the seismic design depending mainly in the deformation capacity, the wall's ductility builds a measure of the additional deformation capacity.

The deformation of vertical cores contributed to failure by the inclusion to the core's bending, resulting in cracks and deterioration of the wall when it counts with a slenderness proportion larger than the unit.



Although the walls with high slenderness proportion were more consistent in the deformation ability recorded within a 20% greater compared with low proportion walls, there is the opposite case in low slenderness proportions increasing the capacity of resisting lateral force compared to the one from the slenderer walls. Even when there are not consistent tendencies in distortion and stiffness it is evident that, for the different walls with slenderness proportion, the data dispersion may be attributed to the dependence on potentially variable deformation values as resulted from damage, product of the cracking in the vertical concrete cores.

Due to the variability of actions and results depending on outside actions on the sample in the data gathering, a huge quantity of information is required in order to evaluate the rigidity and ductility in all cases. Therefore, the testing of a single wall would not be contributed as a representative sample, it only works as an approximate notion of wall's functioning without being an efficient certainty.

4.13 Block RST® contribution

The testing of walls M-1 and M-3 with the EPS material removed was destined principally for the observation of the development of cracks and the progression of insufficiency through the exposition of exposed concrete cores. The testing of walls M-2 and M-4 provided valuable data about the contribution of EPS material adhered to the wall to its behaviour and modes of fault. The performance was significantly greater when the material was not removed from the concrete cores as it had a greater capacity to resisting lateral force and greater deformities.

The absence of EPS material negatively influenced the response of the wall, defying the notion of ignoring the contribution that the block RST® can put in when considering the cyclical behaviour of the SGICF wall. The beneficial effect the EPS material has is probably indirect, though the experimental data is coherent, it will be necessary to



perform more tests contemplating variables such as concrete, wall slenderness and the size of space in the walls.

One possibility could be that with a low resistant concrete as the one used for the walls results beneficial so that the contribution of the EPS works when taking in deformities and serving as a buffer, offering as well a level of confinement in the concrete cores as shown in Figure 13. The efficiencies expected from this type of wall must not overlook the ICF contribution, especially in cases in which there is a wish to eliminate or physically exclude EPS material as part of building constructions.



Figure 13. SGICF wall at the end of the test.

A contribution that was reflected in the presence of EPS was that when the SGICF wall was beginning to be discovered, the presence of minimum adhered humidity was found, the same which helped the wall have hydrated conditions and therefore avoid a possible micro cracking due to volumetric changes.

The guides to the designing of SGICF walls being contemplated for its designing, as much for the separation, type and quality of the steel, as the maximum height that the wall can sustain in the presence of accidental load such as wind and earthquakes; summarize reinforcements and heights for each intensity of accidental loads, without focusing on how the structural design will be carried out. The available guides to designing are principally descriptive, (National of Home Builders (Nahb), 2002), underlining the necessity for norms. The recommended calculations for lateral force



tends to be based on the resistance to shearing force of a concrete wall with a rectangular cross-section equivalent to those of the vertical cores (VanderWerf, 1997).

4.14 Conclusions

The conclusions obtained were taken resulting from the testing of four walls on a real scale. The cores of all walls had reinforcement bars of 10mm (3/8”), with a vertical and horizontal spacing of 60 cm. Another variable that was present was the aspect proportion that goes from 1.28 to 0.85 and finally the influence of RTS material as a deformation dissipater:

- The failure modes of the SGICF walls depend on the behavior of the individual cores and its slenderness. The failure in the walls is constituted by cracks in the cores because it occurs consistently through the wall’s horizontal plane, independent of the slenderness proportion or the presence of a vertical load.
- The additional vertical loads on the walls increase the lateral strength and delays the apparition of degradation in the resistance, especially in walls with high slenderness proportion.
- The introduction of vertical additional load has different results on the distortion abilities for the different slenderness proportions that appeared.
- The rigidity is greater in presence of EPS material than in its absence, coming in a range of 25 to 77%
- The shear modulus is greater with EPS material presence, coming up in a range from 20 to 57% depending on the slenderness proportion.



- Testing only one wall helped get an idea of the behavior that the SGICF system has with the presence of lateral loads, however, the creation of an experimental campaign with several walls would be necessary to get a more characteristic result
- The RST® blocks have beneficial contributions in the response of the walls in the presence of lateral loads, depending on the existent slenderness proportion, even when the EPS material has a low resistance to compression compared to concrete's.





CAPÍTULO

5 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MUROS SGICF



Esta metodología ha sido desarrollada como un apoyo para el proyecto de estructuras construidas en base a éste tipo de muros. El objetivo es que dicho sistema sea empleado en forma eficiente por proyectistas asistentes. Se provee de un método paso a paso para proyectar casas usando sistemas de muros RST®.

Debido a la forma resultante del muro, el sistema RST® es del tipo screen grid. El sistema de muro RST® es un muro compuesta por núcleos de concreto estrechamente espaciadas, vertical y horizontalmente. Los núcleos de concretos verticales son más delgados que los horizontales, sumadas a los vacíos entre ellas, crean la apariencia de una rejilla hecha de “núcleos de concreto”.

Gran parte del procedimiento del proyecto aquí descrito está basado en los Requisitos de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

5.1 Procedimiento de diseño de muros SGICF

El procedimiento de metodología presentado, orienta el diseño del sistema de muro SGICF RST® usados específicamente en construcciones residenciales.

Esta metodología asume que el usuario está familiarizado con el análisis de cargas en estructuras residenciales, procediendo en el análisis de cargas muertas, cargas vivas y accidentales asumidas por el código municipal del estado de Aguascalientes. No tiene por objeto sustituir de ningún modo las prácticas de la ingeniería aceptadas en general, las cuales siempre prevalecen a cualquier material presentado aquí, sino más bien por una base de diseño de dicho sistema.



5.2 Selección de sección de muro SGICF

Seleccione un espesor tentativo de sistema de muro SGICF ya sea para el sistema RST® o para otro sistema SGICF partiendo de la gráfica que tiene como datos dar una valoración de si el sistema RST se puede considerar como un muro de concreto sin vacíos, ante diferente porcentaje de vacíos ocupados por el EPS.

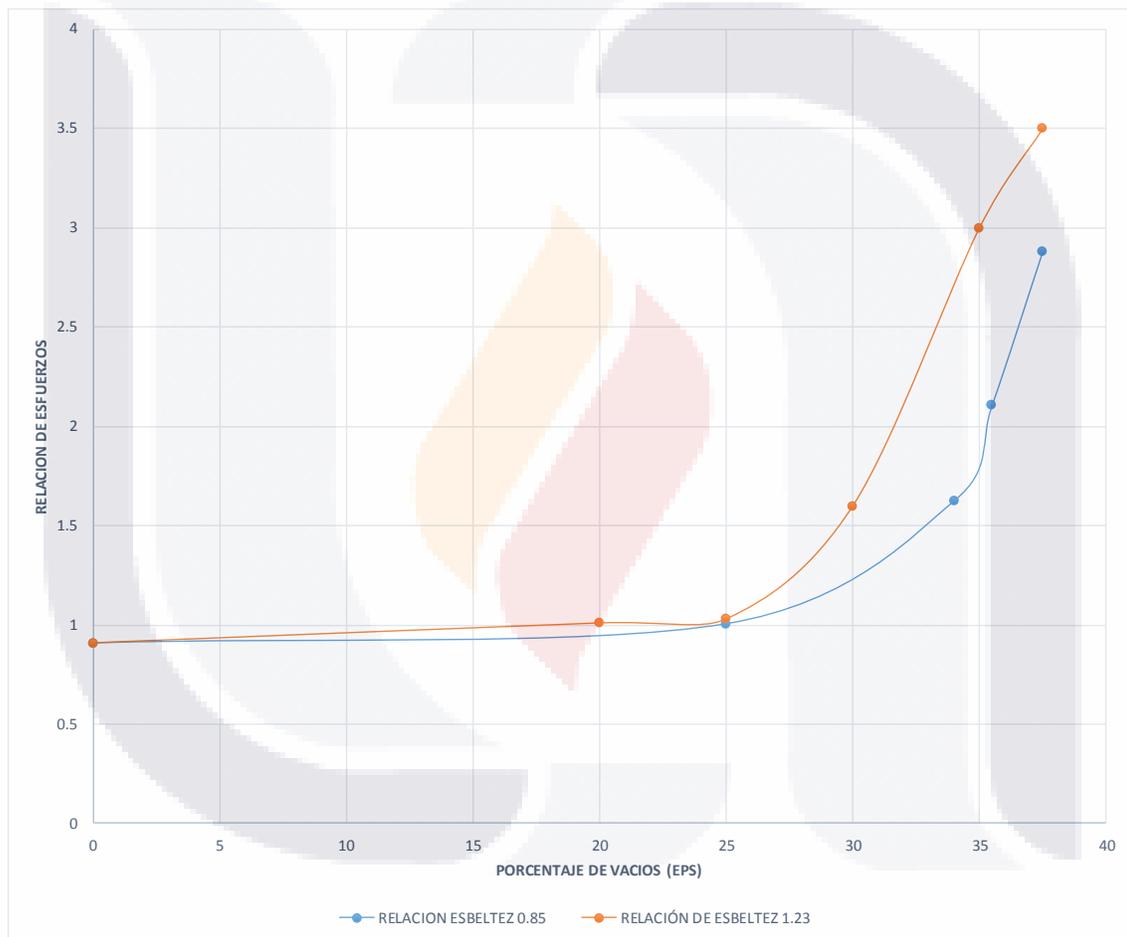


Figura 17. Gráfico del comportamiento ante diferentes porcentajes de vacíos en muros SGICF.

Si el porcentaje de vacíos en el muro de SGICF está por debajo del 28% de vacíos como lo muestra la Figura 17, el muro se puede resolver como un muro de concreto tradicional con las formulas ya establecidas.



5.3 Muros SGICF estructurales de concreto armado.

El diseño de muros estructurales de concreto armado es regulado por las NTCDF-2004, se tomarán las fórmulas de este reglamento como base para el análisis de muros SGICF.

Limitaciones para el diseño de muros SGICF

- La resultante de todas las cargas axiales actúa en el tercio medio del espesor del muro.
- El espesor de los muros es no menor de 100 mm, en construcciones de no más de dos niveles y alturas de entrepiso no mayor a 3m.
- El espesor de la pared es no menor de 1/25 de la altura o la longitud del muro de apoyo, considerando el menor de los dos valores.

5.4 Contribución del concreto en la resistencia a cortante de muros SGICF.

A la expresión que da las NTCDF-2004 para evaluar la contribución del concreto en la resistencia a cortante suponiendo falla por tensión diagonal, se aplicará un factor de forma dependiendo del porcentaje de vacíos en el muro SGICF, para concretos de peso normal queda la siguiente expresión:

Para una relación ≤ 1.5

$$V_{CR} = 0.27 * F_R \sqrt{f'c} * t * L * \Psi \quad (N)$$

$$V_{CR} = 0.85 * F_R \sqrt{f'c} * t * L * \Psi \quad (kgf)$$

Donde $f'c$ es la resistencia nominal del concreto en compresión, t es el espesor del muro y L su longitud, el factor de reducción a corte es dado por F_R . El factor Ψ depende de la forma del SGICF. El valor de este factor se obtiene con la siguiente expresión:



$$\Psi = 1 - \left(\% \text{ de } \frac{\text{vacíos}}{100} \right)$$

El % de vacíos es tomado de la cantidad que toma el material EPS en un muro SGICF.

5.5 Refuerzo mínimo.

Si la resultante de la carga vertical de diseño queda dentro del tercio medio del espesor del muro y, además, su magnitud no excede de $0.3f_c'Ag$. Para el caso de los muros SGICF, el Ag , es la sumatoria de todas las áreas de los núcleos verticales que conforman el muro SGICF.

Por lo que el refuerzo mínimo vertical del muro será el indicado con cuantía igual a 0.002 en elementos estructurales protegidos de la intemperie, y 0.003 en los expuestos a ella, o que estén en contacto con el terreno natural. El refuerzo mínimo horizontal será con las cuantías antes dichas. El área de acero se obtendrá de la cuantía mínima, la distancia del borde del muro a la ubicación del acero de refuerzo y la longitud del muro,

5.6 Contribución del acero de refuerzo en la resistencia a cortante de muros SGICF.

En las NTCDF-2004 se considera que la totalidad del refuerzo horizontal fluye, se le agregará el mismo factor que el de la contribución del concreto a cortante.

$$V_{cR} = \rho_{hor} * f_y * t * L * \Psi \quad (kgf)$$

Donde, 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.



CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



6.1 Conclusiones:

En conclusión general, la realización de pruebas de laboratorio para investigar el comportamiento de muros SGICF, abre el panorama para saber los modos de falla presentes en el sistema SGICF. El comportamiento de los muros con la presencia del EPS es satisfactoria, ya que le ayuda en la rigidez, módulo de cortante, ductilidad y módulo de estabilidad del muro SGICF.

Durante el transcurso de esta investigación sobre los muros SGICF, los objetivos fueron alcanzados, aunque algunos requieren de más investigación. En general, la prueba tuvo contratiempos que se fueron solucionando como fue avanzando la ejecución del ensayo de los muros.

6.2 Resultados de la prueba experimental muros SGICF RST®

Cuando se compara con muestras de ensayo probados con el EPS eliminado, la presencia del material tendió a aumentar V_{max} en un 25%, en los muros M-1 y M-2. En cambio en los muros M-3 y M-4 la respuesta fue de un 25%. Razón por la que hace pensar que hay una variable que afecta a la toma de cortante como la relación de esbeltez y la presencia del EPS.

El cálculo de la fuerza de corte se realizó a partir de las fórmulas de las NTCDF-2004 y del reporte del sistema Apex®. Además se realizó una modelación del muro con todas sus variables y la aplicación de carga hasta que el sistema fallara por tensiones grandes en el muro. Estos datos sirvieron para poder realizar el ensayo de los muros ante cargas previamente establecidas.

6.3 Resultados de los modelos analíticos.

Las representaciones de modelos analíticos de los muros percibieron que la fuerza lateral



no concordó ni puso de manifiesto el fallo de los muros cuando se ensayaron los muros. La mayoría de sobreestimación grave ocurrió en los modelos que fallaron en esquinas del modelo con una capacidad baja a fuerza cortante. En estos casos, la resistencia de la fuerza lateral debido a la flexión era poco realista, ya que las pruebas experimentales mostraron que el concreto fallo en zonas inesperadas y las barras de refuerzo cedieron mucho después al fallo del concreto.

Para todos los modelos la discretización del modelo fue incapaz de predecir cualquier degradación apreciable de fuerza, mientras que la muestra de ensayo experimentales equivalentes resultados mostraron pérdidas significativas, de capacidad de carga.

Debido a que los modelos no mostraron una correlación fiable con los resultados experimentales, los modelos no deben ser usados para predecir las capacidades laterales del sistema ICF sin más desarrollo de resultados experimentales que puedan usarse para calibrar el modelo numérico.

6.4 Sugerencias para investigaciones posteriores

El confinamiento del hormigón por diversos medios.

Mientras que la investigación experimental de esta tesis trató de comprender y buscar una metodología de diseño de muros SGICF, partiendo de modelos analíticos, el comportamiento que pudieran tener los muros SGICF ante una reducción de porcentaje de vacíos tomada por el EPS y que fueran todavía viables el uso de ecuaciones para un muro de concreto, siempre que el comportamiento del muro sea parecido.

La investigación de Yland mostró un aumento grande en la resistencia a la compresión de EPS confinados de concreto que no pudieran atribuirse a la resistencia a la compresión de la EPS solamente, sino a un reacomodo de las partículas de concreto, cuando este estaba fraguando.



La incorporación de los efectos de confinamiento en un modelo analítico puede permitir comparaciones más precisas entre un modelo y los resultados de las paredes probado con el EPS en el muro, haciendo una calibración del modelo con los resultados experimentales.

Realizar más pruebas del muro a escala real con EPS retirado.

Sólo existe un ensayo cíclico de una muro a prueba después de la EPS se había retirado. La realización de más pruebas se sumaría a la profundidad del conocimiento de la propagación de grietas y modos de fallo de muros con diferentes relaciones de aspecto. Estas pruebas incluirían preferiblemente muros SGICF de una variedad de fabricantes para dar cuenta de las diferencias en la geometría.

Adecuación del marco de carga.

Dado que, en ensayos anteriores en otro tipo de muros, se observó que las vigas C que sirven de unión al muro de ensaye no estaban correctamente unidas al marco de carga, se realizó una adecuación del marco para evitar una posible rotación del muro y que se vean afectados las lecturas obtenidas en el ensaye. Más sin embargo existieron todavía variables que pudieron afectar considerablemente al ensaye de estos muros. Una de ellas es la unión del canal “C” de acero con el muro, esto se realizó mediante anclas, mismas que tenían una holgura para poderse introducir y por ende tener un movimiento considerable.

Instrumentación para medir desplazamientos.

En este ensayo realizado se midieron con micrómetros que sirvieron para tomar los desplazamientos que tuvieron los muros cuando se estaban aplicando cargas. Dado que los micrómetros no miden todo el trascurso de las deformaciones y es casi imposible la



toma de lecturas conforme se va aplicando, se recabaron lecturas en el ciclo medio y ciclo completo para cada fase de carga. Por eso para un ensaye y toma más precisa de lecturas se recomienda que en ensayos posteriores se cuente con equipo especializado como transductores de desplazamiento (LVDT).





REFERENCIAS

- ACI Committee, American Concrete Institute, & International Organization for Standardization. (2010). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-10) and commentary. American Concrete Institute.
- ASTM International. (2010). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International. Retrieved from <https://books.google.com.mx/books?id=JovRYgEACAAJ>
- CMIC. (2015). *Evolución de la Economía de los Países Miembros de la FIIC 2014-2015* (p. 135). Santiago, Chile: CMIC.
- Dusicka, P., & Kay, T. (2011). In-Plane Lateral Cyclic Behavior of Insulated Concrete Form Grid Walls. *Journal of Structural Engineering*, 137(10), 1075–1084.
- ICC Evaluation Service. (2012). *Evaluation apex block nterlocking System* (Report) (p. 9). ROSEBURG, OREGON.
- Mehrabi, A. B. (2000). *In-plane lateral load resistance of wall panels in residential buildings*. Portland State University, Skokie, Illinois.
- NAHB Research Center, Inc. (2001). *In-Plane Shear Resistance of Insulating Concrete Form Walls*. Washington, DC: Upper Marlboro.
- National of Home Builders (Nahb). (2002). *Prescriptive Method for Insulating Concrete Forms in Residential Construction* (second). Washington, DC: Upper Marlboro, MD.
- NTC-C. (2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Estructuras de Concreto. *Gaceta Oficial Del Gobierno Del DF*, 1(103–BIS), 88–194.
- NTC-M. (2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Estructuras de Mampostería. *Gaceta Oficial Del Gobierno Del DF*, 2(103–BIS), 4–53.
- VanderWerf, P. A. (1997). *Insulating Concrete Forms for Residential Design and Construction*. McGraw-Hill. Retrieved from <https://books.google.com.mx/books?id=SzJSAAAAMAAJ>
- Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., & Meida, L. O. (2001). Carbon dioxide emissions from the global cement industry 1. *Annual Review of Energy and the Environment*, 26(1), 303–329.
- Yland, C. V. (2000). *Experimental and Analytical Studies of the Structural Performance of Innovative Structural Grid Walls*. University of California, Irvine. Retrieved from <https://books.google.com.mx/books?id=bv1RNwAACAAJ>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

ANEXOS

Ing. Civil Francisco Javier Sandoval Ramírez
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL ÁREA ESTRUCTURAS



ANEXO A

Caracterización de los materiales.

Peso del molde: 1120 gr.

Peso del molde + arena: 2320 gr.

Peso de la arena: 1200 gr

U.A.A.		ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO					PESO TOTAL DE LA MUESTRA (P.T.M.) 1200 gr.
OBRA: MUROS ICF		PRUEBA: GRANULOMETRIA DE LA ARENA					
	Abertura (in)	Abertura (mm)	Peso suelo retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4					
		3	76.00		0.00	100.00	
		2 1/2	63.50		0.00	100.00	
		2	50.80		0.00	100.00	
		1 1/2	37.50		0.00	100.00	
		1	25.40		0.00	100.00	
	GRAVA		3/4	19.10		0.00	100.00
			1/2	12.50		0.00	100.00
			3/8	9.50		0.00	100.00
			1/4	6.30		0.00	100.00
TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR Q.P.T.	ARENA	Nº 4	4.75	60.00	5.00	95.00	
		Nº 8	2.36	433.00	36.08	58.92	
		Nº 10	2.00	78.00	6.50	52.42	
		Nº 16	1.18	230.00	19.17	33.25	
		Nº 20	0.85		0.00	33.25	
		Nº 30	0.60	198.00	16.50	16.75	
		Nº 40	0.43		0.00	16.75	
		Nº 50	0.30	111.00	9.25	7.50	
		Nº 60	0.25		0.00	7.50	
		Nº 80	0.18		0.00	7.50	
	Nº 100	0.15	56.00	4.67	2.83		
	Nº 200	0.13		0.00	2.83		
	P Nº 200	0	34.00	2.83	0.00		

VÍA SECA VÍA HÚMEDA

CARACTERÍSTICAS DE MUESTRA ENSAYADA

Tabla A-1: Resultados de la granulometría de la arena.

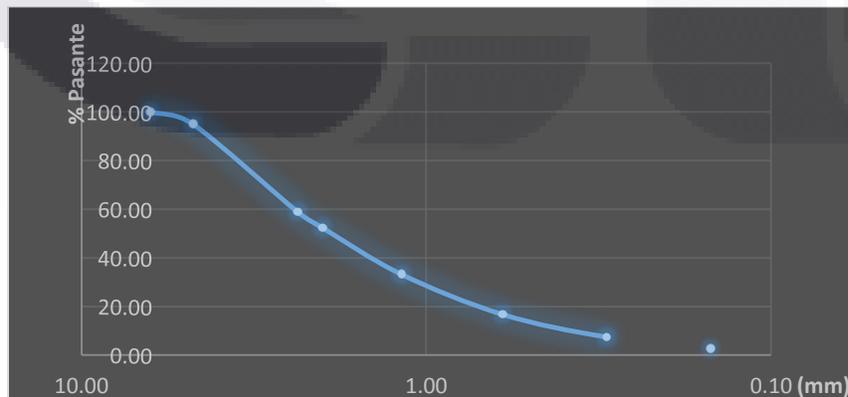


Ilustración 1 GRANULOMETRIA DE LA ARENA



Peso del molde: 690 gr.

Peso del molde + grava: 3690 gr.

Peso de la grava: 3000 gr

U.A.A.		DPTO. DE VÍAS - LAB. MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS					PESO TOTAL DE LA MUESTRA (P.T.M.) 3000 gr.	
ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO								
OBRA: MUROS ICF								
PRUEBA: GRANULOMETRIA DE LA GRAVA								
		Abertura (in)	Abertura (mm)	Peso suelo retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	
TAMIZADO USANDO EL P.T.M.	PIEDRA O CANTOS	4						
		3	76.00		0.00	100.00	0.00	
	GRAVA	GRUESA	2 1/2	63.50		0.00	100.00	0.00
			2	50.80	0.00	0.00	100.00	0.00
		GRUESA	1 1/2	37.50	0.00	0.00	100.00	0.00
			1	25.40	0.00	0.00	100.00	0.00
		FINA	3/4	19.10	123.00	4.10	95.90	4.10
			1/2	12.50	1320.00	44.00	51.90	73.60
			3/8	9.50	765.00	25.50	26.40	73.60
			1/4	6.30				
TAMIZADO CON FRACCIÓN MENOR Q P.T.M.	ARENA	Nº 4	4.75	329.00	10.97	15.43	84.57	
		<4	0.00	463.00	15.43	0.00		
	MEDIA	Nº 10	2.00		0.00	0.00	100.00	
		Nº 16	1.18		0.00	0.00	100.00	
		Nº 20	0.85		0.00	0.00	100.00	
		Nº 30	0.60		0.00	0.00	100.00	
		Nº 40	0.43		0.00	0.00	100.00	
		FINA	Nº 50	0.30		0.00	0.00	100.00
			Nº 60	0.25		0.00	0.00	100.00
			Nº 80	0.18		0.00	0.00	100.00
Nº 100	0.15			0.00	0.00	100.00		
	Nº 200	0.13		0.00	0.00	100.00		
	P Nº 200	0		0.00	0.00	100.00		

VÍA SECA VÍA HÚMEDA

CARACTERÍSTICAS DE MUESTRA ENSAYADA

Tabla A-2: Resultados de la granulometría de la grava.



Ilustración 2 GRANULOMETRIA DE LA GRAVA



	Grava	Arena
Granulometría	Bien graduada	Bien graduada
Módulo de finura	2.62	2.66
Densidad relativa	2.37 ton/m ³	2.603 ton/m ³
Densidad volumétrica	1.305ton/m ³	1.499 ton/m ³
Contenido de humedad	2.0%	4.23%
Absorción	2.95%	3.49%

Tabla A-3: Propiedades físico-químicas de la grava y arena.



ANEXO B

Diseño de mezclas de concreto.

DISEÑO DE MEZCLAS (ACI) F'C=150 KG/CM2										
DATOS DE LOS AGREGADOS*		ARENA	GRAVA	UNIDAD	HUMEDAD AMBIENTAL (% EN PORCENTAJE)					0.1000
MODULO DE FINURA		2.62	-	-	GRAVA	0.02	ARENA	0.0423	M3 DE MEZCLA	
PESO ESPECIFICO		2603	2370	KG/M3						
PESO VOLUMETRICO		1499	1305.00	KG/M3						
ABSORCION		0.0349	0.0295	%						
* DATOS A OBTENER ANTES DEL DISEÑO DE LA MEZCLA										
DATOS DE LA MEZCLA		VALOR	UNIDAD	DISEÑO DE LA MEZCLA (CANTIDADES EN KG)						
REVENIMIENTO (PASO 1)		17.5	CM	COMPONENTE	PRE-DISEÑO	CORRECCION VOLUMEN ABSOLUTO	CORRECCION ABSORCION/HUMEDAD	CORRECCION VOLUMEN	VOLUMEN (m3)	
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO (PASO 2)		19	MM	CEMENTO	273.418	273.418	273.418	27.322	0.008674	
CONTENIDO APROX DE AGUA TOMANDO EN CUENTA REVENIMIENTO Y TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO (PASO 3)		216	LTS	GRAVA	835.2	835.200	827.266	82.666	0.034880	
RELACION AGUA/CEMENTO PARA F'C =150 KG/CM2 (PASO 4)		0.79	-	ARENA	1020.382	845.443	851.699	85.107	0.032696	
				AGUA	216	216	217.678	21.752	0.021752	
				VOLUMENES TOTALES	1.047	1.000	1.001	0.1000		
				2170.061		2170.06025				
PROPORCION		HUMEDAD	ABSORCION	PROPORCION REAL						
CEMENTO	273.418	%	KG	KG	KG					
ARENA	845.443	4.23	35.7624326	3.48	29.5059943					
GRAVA	835.200	2	16.704	2.65	24.6394					
AGUA	216		62.4652626		54.1443843					
				273.4177215						
				851.689382						
				827.2856						
				217.678121						



DISEÑO DE MEZCLAS (ACI) F'C=200 KG/CM2													
DATOS DE LOS AGREGADOS*		ARENA	GRAVA	UNIDAD	HUMEDAD AMBIENTAL (% EN PORCENTAJE)			M3 DE MEZCLA	DISEÑO DE LA MEZCLA (CANTIDADES EN KG)				
MODULO DE FINURA		2.62	-	-	GRAVA	ARENA	0.042	0.1000	PRE-DISEÑO	CORRECCION VOLUMEN ABSOLUTO	CORRECCION HUMEDAD	CORRECCION VOLUMEN	VOLUMEN (m3)
PESO ESPECIFICO		2603	2370	KG/M3	313.043	835.2	835.200	827.266	313.043	827.266	313.043	82.641	0.034870
PESO VOLUMETRICO		1499	1305.00	KG/M3	980.757	812.698	812.698	818.469	812.698	818.469	818.469	81.762	0.031411
ABSORCION		0.0349	0.0295	%	216	216	216	218.164	216	218.164	218.164	21.794	0.021794
*DATOS A OBTENER ANTES DEL DISEÑO DE LA MEZCLA													
DATOS DE LA MEZCLA		VALOR	UNIDAD	DISEÑO DE LA MEZCLA (CANTIDADES EN KG)									
REVENIMIENTO (PASO 1)		17.5	CM	PRE-DISEÑO	CORRECCION VOLUMEN ABSOLUTO	CORRECCION HUMEDAD	CORRECCION VOLUMEN	VOLUMEN (m3)					
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO (PASO 2)		19	MM	313.043	835.200	835.200	835.200	835.200					
CONTENIDO APROX DE AGUA TOMANDO EN CUENTA REVENIMIENTO Y TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO (PASO 3)		216	LTS	980.757	812.698	812.698	812.698	818.469					
RELACION AGUA/CEMENTO PARA F'C =150 KG/CM2 (PASO 4)		0.69	-	216	1.045	1.000	1.000	1.001					
PROPORCION		HUMEDAD		ABSORCION		PROPORCION REAL							
		%	KG	%	KG	PROPORCION REAL							
CEMENTO	313.043					313.043783							
ARENA	812.698	4.2	34.1333324	3.49	28.36317363	818.468549							
GRAVA	835.200	2	16.704	2.95	24.6384	827.2656							
AGUA	216		50.8373324		53.00157383	218.1642414							
		2176.942		2176.942		2176.941869							



DISEÑO DE MEZCLAS (ACI) F'C=300 KG/CM2										
DATOS DE LOS AGREGADOS*		ARENA	GRAVA	UNIDAD	HUMEDAD AMBIENTAL (% EN PORCENTAJE)					M3 DE MEZCLA
MODULO DE FINURA		2.62	-	-	GRAVA	0.02	ARENA	0.042	0.1000	
PESO ESPECIFICO		2603	2370	KG/M3	DISEÑO DE LA MEZCLA (CANTIDADES EN KG)					
PESO VOLUMETRICO		1499	1305.00	KG/M3	COMPONENTE	PRE-DISEÑO	CORRECCION VOLUMEN ABSOLUTO	CORRECCION ABSORCION HUMEDAD	CORRECCION VOLUMEN	VOLUMEN (m3)
ABSORCION		0.0349	0.0295	%	CEMENTO	400.000	400.000	400.000	39.946	0.012681
* DATOS A OBTENER ANTES DEL DISEÑO DE LA MEZCLA										
DATOS DE LA MEZCLA		VALOR	UNIDAD	DISEÑO DE LA MEZCLA (CANTIDADES EN KG)						
REVENIMIENTO (PASO 1)		17.5	CM	GRAVA	835.2	835.200	827.266	827.266	82.615	0.034859
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO (PASO 2)		19	MM	ARENA	893.800	740.842	746.102	746.102	74.510	0.028625
CONTENIDO APROX DE AGUA TOMANDO EN CUENTA REVENIMIENTO Y TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO (PASO 3)		216	LTS	AGUA	216	216	218.674	218.674	21.838	0.021838
RELACION AGUA/CEMENTO PARA F C =150 KG/CM2 (PASO 4)		0.54	-	VOLUMENES TOTALES	1.039	1.000	1.001	1.001	0.1000	
PROPORCION		HUMEDAD	ABSORCION	PROPORCION REAL	2192.042					
		%	KG	KG	2192.042					
CEMENTO		400.000			2192.041808					
ARENA		4.2	31.11536138	3.49	25.85538363	400				
GRAVA		2	16.704	2.95	24.6384	746.1019155				
AGUA					50.48378363	827.2656				
					218.6744222	218.6744222				
					2192.042	2192.041938				



ANEXO C

MODELOS EN ABAQUS.

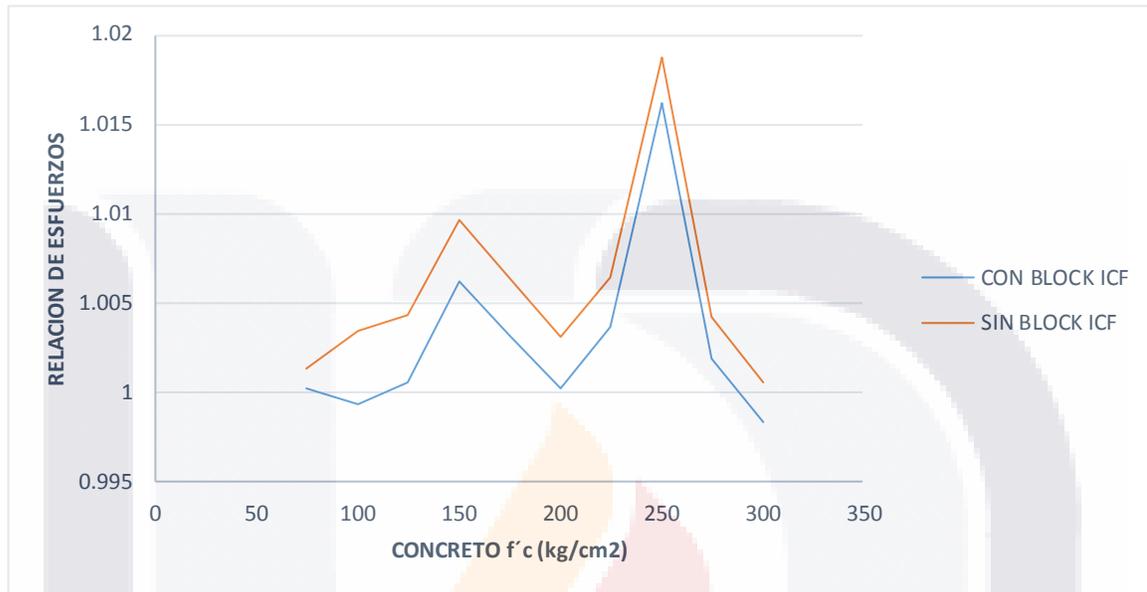


Ilustración 3 Grafica muestra el aporte a la resistencia del block ICF, dando una comparación en diferentes tipos de concreto.



□ MURO M-1 SGICF 130X180 CARGA APLICADA 1210 kg

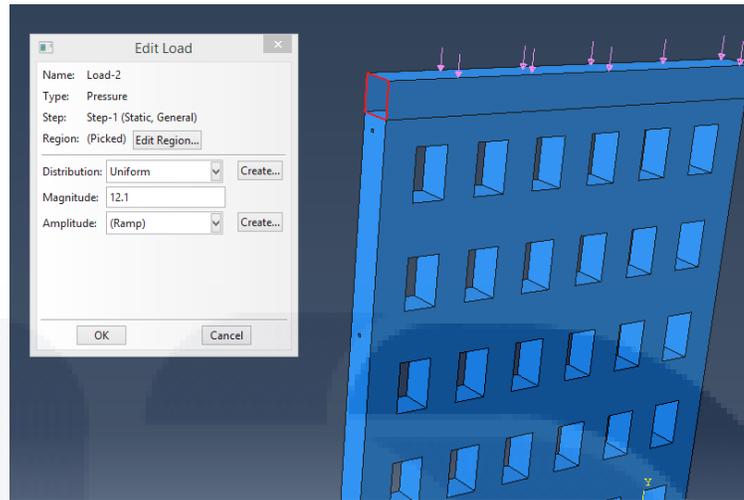


Ilustración 4 Carga aplicada lateral de 12.1 kg/cm²

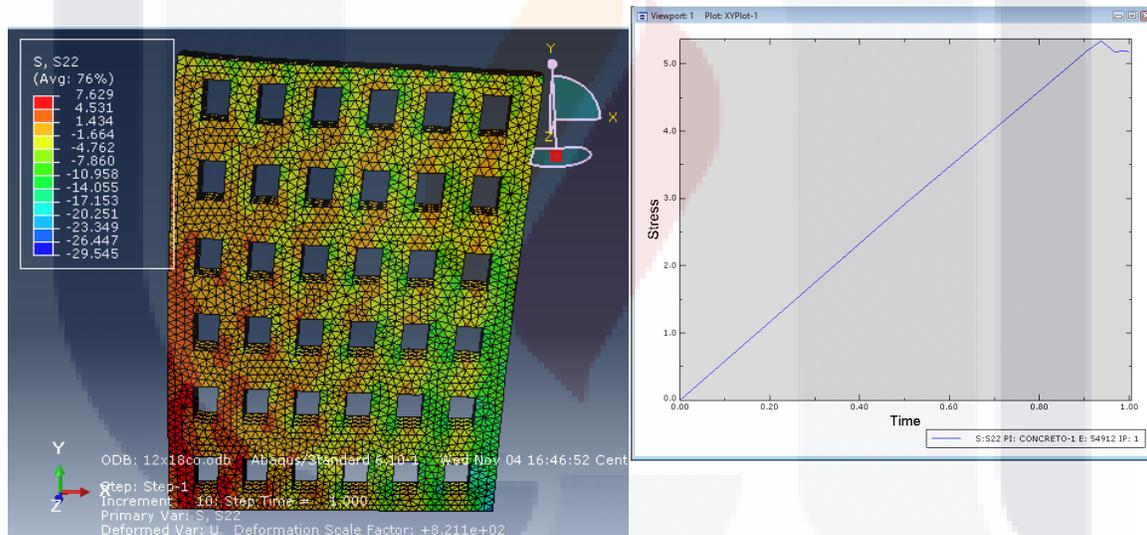


Ilustración 5 Gráfica esfuerzos en el plano del muro S22, con respecto al tiempo (tensiones máximas del concreto 7 kg/cm²)

Ilustración 6 Tensiones máximas alcanzadas en la parte inferior del muro SGICF (muro sin el EPS)



□ MURO M-2 SGICF 130X180 CARGA APLICADA 1320 kg

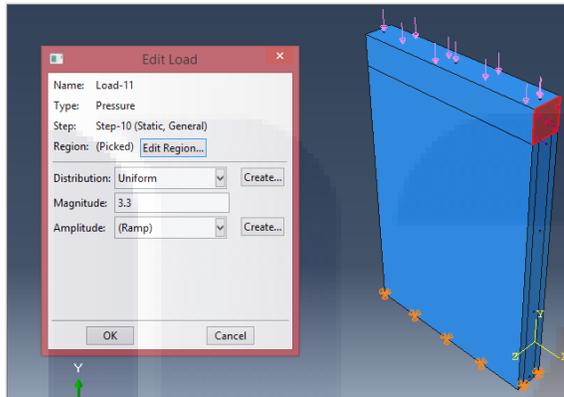


Ilustración 7 Carga aplicada lateral de 3.3 kg/cm²

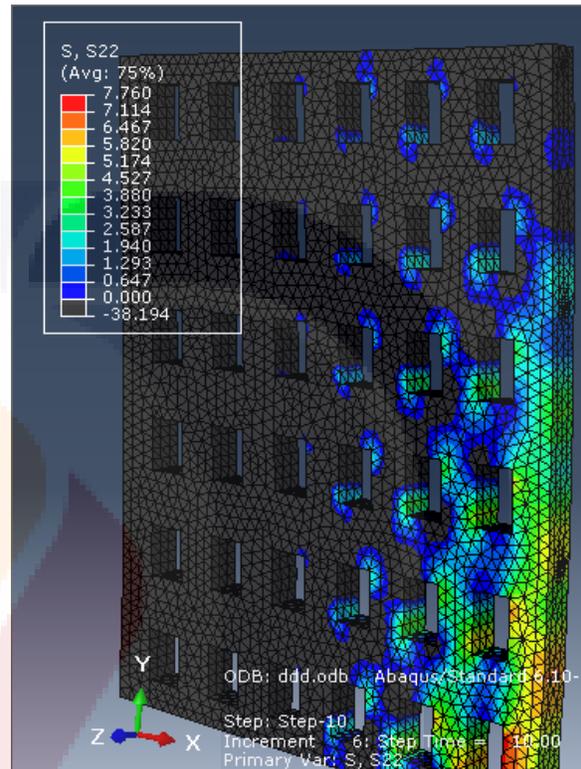


Ilustración 8 Tensiones máximas alcanzadas en la parte inferior del muro SGICF

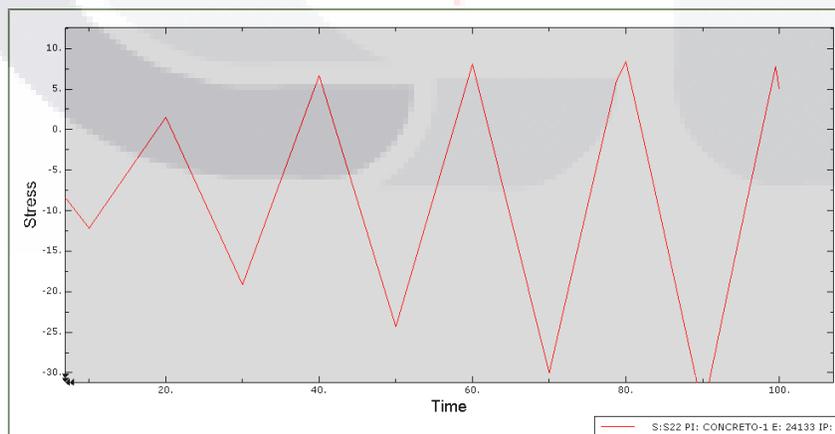


Ilustración 9 Gráfica esfuerzos en el plano del muro S22, con respecto al tiempo



□ MURO M-3 SGICF 130X120 CARGA APLICADA 1500 kg

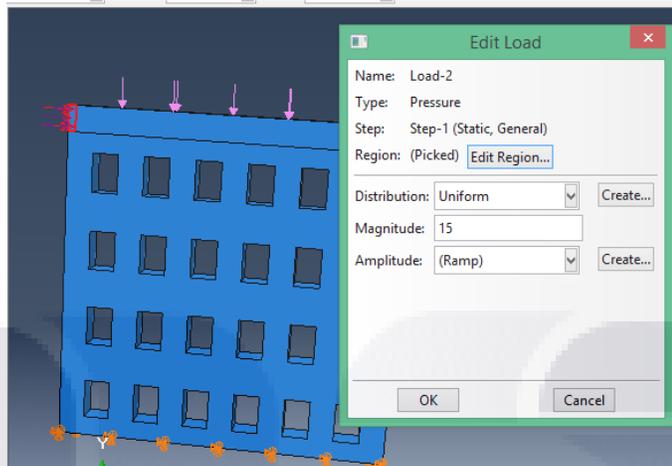


Ilustración 10 Carga aplicada lateral de 15 kg/cm²

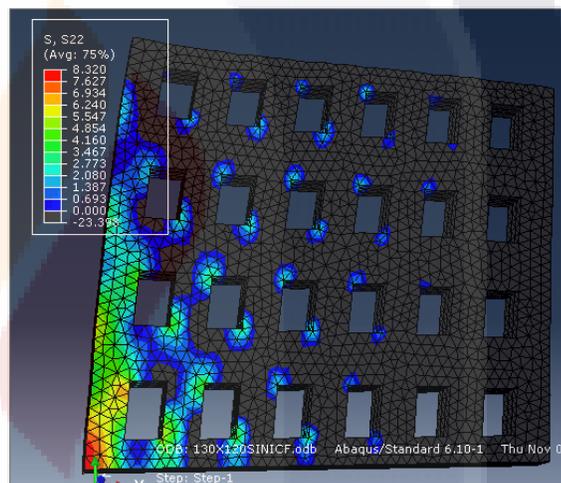


Ilustración 11 Tensiones máximas alcanzadas en la parte inferior del muro SGICF

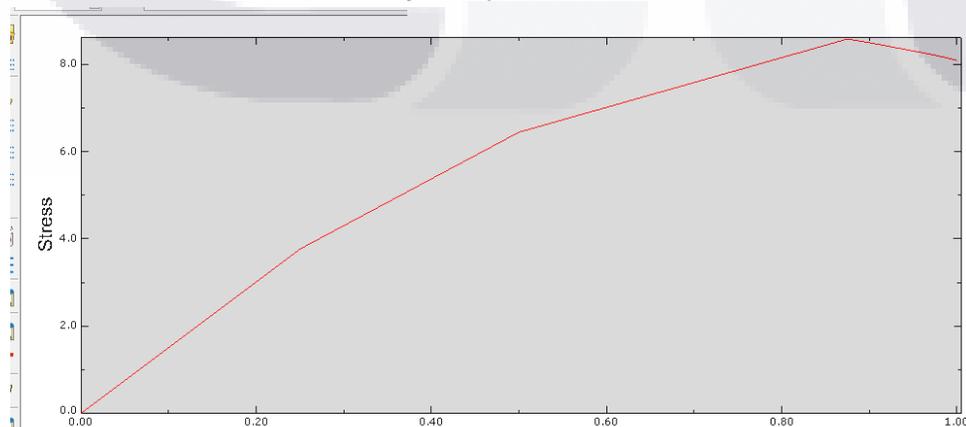


Ilustración 12 Gráfica esfuerzos en el plano del muro S22, con respecto al tiempo (tensiones máximas del concreto 7.8 kg/cm²)



□ MURO M-4 SGICF 130X120 CARGA APLICADA 1600 kg

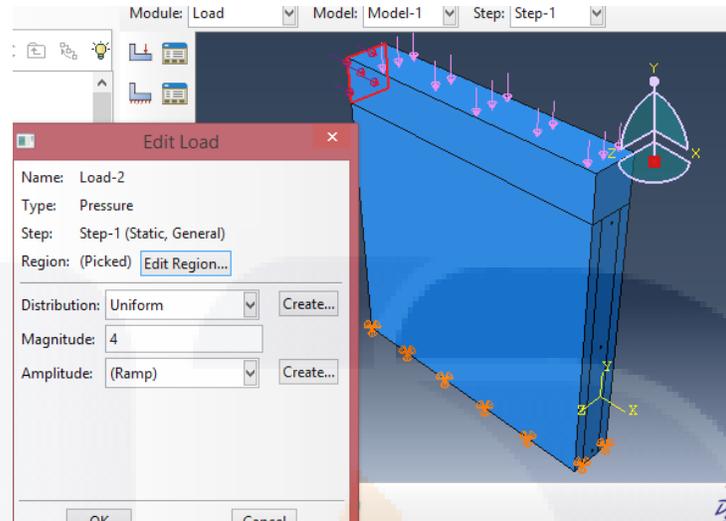


Ilustración 13 Carga aplicada lateral de 4.0 kg/cm²

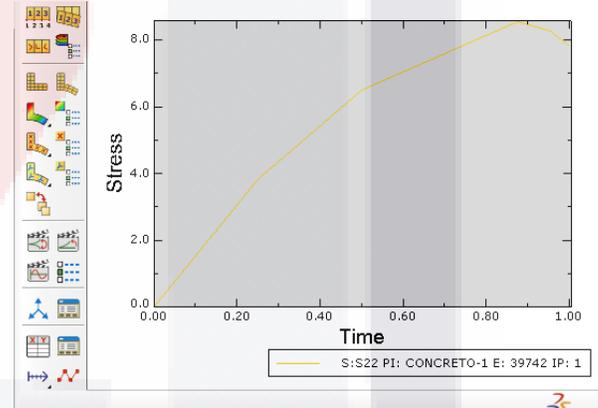
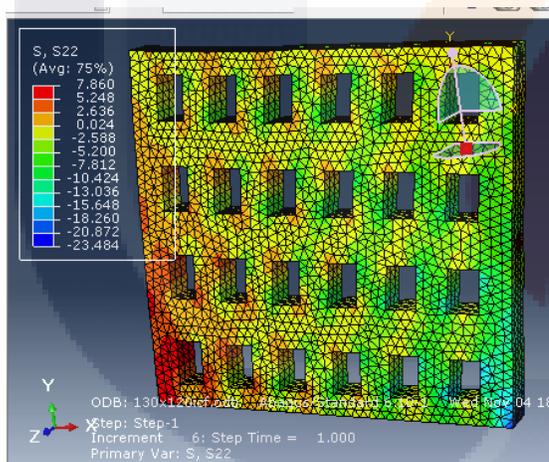


Ilustración 14 Gráfica esfuerzos en el plano del muro S22, con respecto al tiempo (tensiones máximas del concreto 7.5 kg/cm²)

Ilustración 15 Tensiones máximas alcanzadas en la parte inferior del muro SGICF



ANEXO D

TABLAS DE LECTURAS DE LOS CUATRO MUROS SGICF

MURO M-1

FASE	CICLO	DIRECCION DE CARGA	Desplazamientos de cada micrometro (mm)								CARGA KG.
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
1	1	+	-1.2446	0.6	0.381	-0.45	-0.7	0.127	0.9652	0.508	400
		-	0.254	0.05	-0.127	0.9	-1.1	-0.0508	-0.127	-0.127	-400
	2	+	-1.27	0.6	0.4064	-0.47	-0.7	0.127	0.9652	0.508	400
		-	0.254	0.08	-0.508	0.95	-1.12	-0.1016	-0.127	-400	
2	1	+	-2.4892	0.2	1.016	0	-0.35	0.3556	1.9812	1.016	800
		-	1.143	0.3	-0.508	0.3	-1.32	-0.127	-0.762	-0.508	-800
	2	+	-2.9972	0.08	1.143	-0.15	-0.22	0.381	2.3622	1.143	800
		-	1.143	0.28	-0.508	0.2	-1.3	-0.127	-0.6604	-0.508	-800
3	1	+	-3.4544	-1.8	2.667	-1.2	0.7	0.7112	2.54	1600	
		-	3.048	0.8	-2.54	1.8	-2	-0.508	-2.3876	-1.143	-1600
	2	+	-6.096	-1.84	2.5908	-1.5	0.75	0.7366	2.286	2.54	1600
		-	3.048	0.85	-2.794	1.8	-2.1	-0.508	-2.54	-1.0668	-1600
4	1	+	-3.683	-1.24	1.651	-0.55	0.05	0.508	3.048	1.524	400
		-	-5.3848	-1.28	0.889	-0.6	0.1	0.5334	3.2258	1.651	800
		-	3.556	0.78	-3.302	1.7	-0.05	-0.4572	-2.286	-1.2192	-600
	2	+	5.588	1	-3.556	1.8	-0.55	-0.508	-3.556	-1.524	-1400
		-	-3.302	-1	0.635	-0.85	0.2	0.2032	3.302	0.635	400
		-	-5.842	-1.38	1.778	-0.7	0.4	0.5588	3.429	1.651	600
5	1	+	3.048	0.7	-3.048	1.55	-0.25	-0.3556	-3.175	-1.2192	-1000
		-	5.461	1.3	-3.556	2.2	-0.6	-0.8636	-3.683	-2.286	-1600
		-	-7.1882	-1.5	0	0.3	0.25	0.1016	1.016	0.381	900
		-	-8.9916	-2	1.143	-0.3	0.8	0.3556	2.54	1.143	1300
		-	7.112	0.9	-2.54	1.9	-2.2	-0.5588	-2.54	-1.5748	-2000
		-	9.144	2.4	-3.81	2.6	-2.7	-0.889	-6.604	-2.3368	-2400
	2	+	-7.366	-1.52	2.032	-1.1	1.3	0.6096	3.81	1.8288	800
		-	-9.144	-2	2.794	-1.6	1.8	0.8128	5.08	2.5908	1000
		-	7.493	1.9	-4.572	3	-3.3	-1.1176	-8.382	-3.0988	-2000
		-	9.271	2.5	-5.08	3.7	-3.83	-1.3716	-9.652	-3.81	-2600
		-	-10.795	-1.34	1.651	-1	1.1	0.4572	3.175	1.524	1600
		-	-12.5984	-1.8	2.54	-2.1	1.6	0.635	4.572	2.286	1800
6	1	+	10.922	2.1	-6.096	3.3	-3.5	-1.27	-6.223	-3.429	-2700
		-	12.7	2.8	-6.604	4.1	-4.08	-1.524	-7.874	-4.1148	-3600
		-	-10.922	-2.34	3.302	-1.9	2.2	0.889	5.969	3.048	1200
	2	+	-12.6492	-2.75	4.064	-2.55	2.7	1.0668	7.493	3.8608	1600
		-	10.922	3	-6.096	3.4	-3.6	-1.5748	-8.255	-4.445	-2400
		-	12.827	3.8	-7.112	5.15	-3.9	-1.905	-10.16	-5.08	-3500
7	1	+	-14.3764	-2	2.921	-1.6	1.9	0.7112	5.08	2.54	1800
		-	-16.1798	-2.6	3.81	-2.2	2.5	0.9144	6.731	3.683	2000
		-	14.478	3.1	-5.842	4.4	-4.25	-1.651	-8.636	-4.572	-3900
	2	+	16.256	3.88	-7.112	5.3	-4.7	-1.905	-10.16	-5.207	-3900
		-	-14.478	-2.9	3.175	-2.7	2.9	1.0922	7.62	4.064	1400
		-	-16.383	-3.25	4.953	-3.15	3.55	1.3716	9.398	5.08	1600
8	1	+	14.605	4.8	-7.62	6.2	-5	-2.159	-11.9888	-5.8928	-3200
		-	16.4338	5.2	-8.128	6.5	-5.4	-2.4892	-14.224	-6.604	-4000
		-	-17.9832	-2.75	4.064	-2	2.6	0.889	6.4008	3.7592	1900
	2	+	-19.7866	-3.1	4.826	-3	3.18	1.143	7.62	4.572	2100
		-	18.034	5.1	-7.62	6.7	-5.18	-2.3876	-13.208	-6.0452	-5400
		-	19.812	6.2	-8.636	7.7	-5.5	-4.1656	-15.24	-6.604	-6000
9	1	+	-18.034	-3.4	5.842	-3	3.75	2.54	8.89	5.334	1400
		-	-19.812	-4	6.858	-3.7	4.3	2.667	10.033	5.9944	1600
		-	18.161	9	-10.16	6.7	-6.5	-2.286	-20.32	-7.62	-3100
	2	+	20.193	9.5	-9.398	8	-6.8	-3.048	-19.304	-8.128	-3900
		-	-21.59	-3	4.699	-3.7	3	2.032	8.636	5.207	2400
		-	-23.3934	-3.7	5.588	-4.2	3.65	2.286	9.906	5.8928	2600
10	1	+	21.717	6.3	-8.636	7.85	-5.7	-2.032	-16.764	-7.112	-3700
		-	23.495	7	-9.398	8.55	-5.9	-2.413	-17.272	-6.35	-4400
		-	-21.59	-4	6.35	-5.2	4	2.794	12.7	7.62	2000
	2	+	-23.622	-4.8	8.509	-5.7	4.6	3.048	14.2748	8.128	2500
		-	21.844	6.8	-9.398	7.9	-5.9	-3.556	-17.78	-7.62	-3500
		-	23.622	7.2	-9.906	9.2	-6.12	-4.064	-18.288	-6.604	-4200
11	1	+	-25.1968	-4	6.35	-4.9	4.8	2.794	9.398	7.62	2800
		-	-26.9748	-4.2	7.874	-5.6	5.4	2.9718	11.938	5.715	3400
		-	25.4	6.75	-8.89	8.3	-5.8	-1.778	-17.018	-7.366	-6100
12	1	+	27.178	7.6	-9.652	9	-6.1	-2.159	-18.288	-4.064	-6800
		-	-28.7782	-4.85	11.176	-6	7.1	3.429	14.478	1.905	2400
		-	-30.5816	-5.4	13.462	-7	7.4	3.9116	15.494	3.683	3200
	2	+	28.956	10.2	-11.176	11.6	-7.65	-2.54	-22.86	-1.524	-4800
		-	30.607	11	-11.938	12.4	-7.9	-2.6924	-25.146	-4.064	-6000
		-	-32.385	-6	13.589	-7.6	8.3	3.937	17.78	2.286	3400
		+	-34.1884	-8	13.97	-11.3	8.8	4.826	20.066	3600	
		-	32.512	6	-12.7	7.2	-5.7	-1.778	-30.48	-2.54	-3000
		-	34.29	9	-13.208	10.1	-6.5	-2.413	-31.496	-2.032	-5000

Ing. Civil Francisco Javier Sandoval Ramírez

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL ÁREA ESTRUCTURAS



MURO M-2

FASE	CICLO	DIRECCION DE CARGA	Desplazamientos de cada micrometro (mm)								CARGA KG.
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
1	1	+	-4.318	2.1	-3.81	0.6	-1.1	-0.508	2.6416	-1.9304	400
		-	1.016	1	-0.254	0.2	0.1	-0.127	-0.127	0	-400
	2	+	-4.318	2.15	-3.683	0.65	-1.1	-0.4572	2.4892	-1.7272	400
		-	0.762	1	-0.381	0.2	0.1	-0.1016	-0.254	0	-400
2	1	+	-5.588	2.5	-4.826	0.8	-1.5	-0.6096	3.302	-2.159	800
		-	0.889	-0.2	-0.508	0.15	0.2	-0.0254	-0.7112	0.3048	-800
	2	+	-5.5118	2.5	-4.572	0.85	-2	-0.3556	3.302	-2.1336	800
		-	1.016	-0.22	0.762	0.15	0.25	-0.0254	-0.762	0.3048	-800
3	1	+	-8.001	3.28	-7.112	1.15	-2	-1.016	4.9276	-3.0988	1600
		-	1.905	-0.6	2.159	-0.1	0.7	0.127	-1.651	0.8636	-1600
	2	+	-8.0518	3.3	-5.08	1.2	-2	-1.0668	4.953	-3.2004	1600
		-	1.778	-0.6	2.159	-0.15	0.7	0.0508	-2.032	0.8636	-1600
4	1	+	-3.556	1.7	-2.667	0.62	-1.3	-0.3048	1.397	-1.27	200
		-	-5.334	2.3	-4.318	0.85	-1.5	-0.6604	2.667	-1.905	400
		+	3.556	0.45	2.159	-0.15	0.7	0.0762	-2.032	0.8128	-1200
		-	5.588	0	4.318	-0.2	1.3	0.4572	-3.048	1.6256	-1750
	2	+	-3.81	0.6	-2.159	0.58	-1.6	-0.254	1.016	-0.889	500
		-	-5.08	1.1	-3.556	0.78	-2	-0.4572	2.032	-1.651	600
		+	3.556	0.4	2.54	-0.1	0.4	0.2032	-2.54	0.9652	-1100
		-	5.334	-0.04	4.572	-0.2	1.3	0.508	-3.302	1.6256	-1800
5	1	+	-7.239	2.75	-5.588	1.04	-1.6	-0.4064	3.556	-2.54	800
		-	-9.017	3.2	-7.239	1.25	-2	-1.1176	4.826	-3.302	1500
		+	7.112	-1	6.35	-0.15	1.5	0.6096	-4.1148	1.905	-1900
		-	8.636	-1.5	7.62	-0.25	2.2	1.016	-5.08	2.54	-2200
	2	+	-6.858	2.4	-5.08	1.1	-1.7	-0.4064	3.683	-2.7432	900
		-	-9.398	3.4	-7.5692	1.35	-2.1	-1.143	5.08	-3.5052	1400
		+	7.366	-1.3	5.842	-0.2	1.7	0.6604	-4.572	2.032	-1600
		-	8.89	-1.65	7.62	-0.35	2.2	1.016	-5.08	2.54	-2200
6	1	+	-10.922	4	-8.128	1.6	-2.6	-1.5748	6.4008	-4.318	1800
		-	-12.446	4.4	-11.176	1.8	-3.2	-1.8288	7.62	-5.0292	2100
		+	10.668	-1.7	8.255	-0.3	2	1.016	-5.969	2.667	-2400
		-	12.7	-2	10.668	-0.45	3.15	1.27	-6.8072	3.429	-3000
	2	+	-10.922	3.7	-8.382	1.5	-3.35	-1.3208	5.3848	-3.8608	1300
		-	-12.7	4.2	-10.16	1.7	-3.75	-1.7272	6.8072	-4.6736	1800
		+	10.795	-1.4	8.128	-0.25	2.35	0.9652	-5.969	2.667	-2100
		-	12.7	-1.9	10.414	-0.4	3	1.2192	-15.24	3.302	-2800
7	1	+	-14.224	4.6	-11.557	1.9	-3.1	-1.9304	7.62	-5.207	2100
		-	-16.256	5.3	-13.462	2.2	-3.45	-2.286	9.271	-6.096	2300
		+	14.478	-2.35	12.065	-0.5	2.6	1.397	-8.3312	3.683	-3200
		-	16.764	-2.7	14.986	-0.9	4.5	1.7272	-9.3472	4.3688	-3500
	2	+	-14.6812	4.75	-11.938	2	-3.15	-2.032	8.001	-5.3594	1900
		-	-16.5862	5.4	-14.224	2.25	-3.55	-2.3368	9.398	-6.223	2300
		+	14.478	-2.35	11.9888	-0.45	3.55	1.3716	-8.255	3.81	-2800
		-	16.3576	-2.7	14.478	-0.6	4.2	1.6764	-9.144	4.4196	-3300
8	1	+	-17.526	5.9	-14.986	2.48	-3.8	-2.5908	10.4648	-4.318	2500
		-	-20.066	6.55	-16.637	2.75	-4.3	-2.8448	11.8872	-5.2832	2900
		+	17.78	-2.4	18.923	-0.8	5.9	2.1336	-11.5316	5.334	-4300
		-	19.812	-3	21.59	-1	6.8	2.413	-12.827	5.8928	-5000
	2	+	-17.272	5.5	-14.097	2.35	-4	-2.6416	9.652	-6.1976	2100
		-	-20.32	6.15	-15.748	2.6	-4.4	-2.7178	10.922	-7.112	2400
		+	17.78	-2	16.002	-0.6	5	1.8034	-10.541	4.9276	-3000
		-	20.066	-2.4	17.78	-0.8	5.6	2.0066	-11.557	5.334	-3500
9	1	+	-21.463	6.92	-17.526	2.9	-5.35	-3.048	12.7	-8.128	3000
		-	-23.368	7.6	-18.796	3.2	-5.65	-3.302	13.9192	-8.89	3200
		+	21.717	-2.2	18.288	-0.7	5.7	2.032	-11.684	5.334	-3700
		-	23.495	-2.6	20.574	-0.8	6.4	2.286	-12.7	5.842	-4400
	2	+	-21.59	6.5	-16.256	2.8	-5	-2.8956	11.684	-7.62	2500
		-	-23.495	7.15	-17.78	3.08	-5.4	-3.1242	12.954	-8.382	2800
		+	21.463	-2.65	17.526	-0.8	5.4	1.9812	-11.2268	4.318	-3300
		-	23.495	-3	20.066	-1	6.2	2.2352	-12.446	5.715	-4100
10	1	+	-25.527	7.9	-18.796	3.35	-5.8	-3.3528	14.2748	-9.271	3200
		-	-27.686	8.5	-20.066	3.6	-6.2	-3.556	15.5448	-10.16	3600
		+	25.4	-3	22.86	-0.85	6.5	2.54	-13.6652	6.35	-5300
		-	27.432	-3.4	25.4	-0.95	7.15	2.794	-14.986	7.0612	-5800
	2	+	-25.4	7.8	-18.923	3.35	-5.7	-3.302	1.397	-9.144	2900
		-	-27.051	8.4	-20.32	3.6	-6	-3.5052	15.24	-9.906	3400
		+	25.273	-3	23.114	-0.8	7.3	2.4892	-13.716	6.731	-4800
		-	27.432	-3.3	25.527	-1.05	7.6	2.4384	-14.7828	7.112	-5400
11	1	+	-28.194	9.3	-21.844	3.95	-6.4	-3.7592	16.8656	-10.795	3800
		-	-30.734	10.5	-24.257	4.55	-6.8	-3.937	18.9992	-12.065	4200
		+	29.464	-3.8	27.686	-1	8.9	2.8448	-15.4432	7.4168	-5600
		-	30.988	-4	29.972	-1.1	9.7	3.048	-16.256	8.89	-5800
12	1	+	-32.004	10.6	-23.622	4.42	-5.7	-3.937	17.018	-11.938	3800
		-	-34.29	11.4	-25.273	4.75	-6	-4.1402	19.812	-12.954	4100
		+	32.258	-4	29.972	-1.2	9.7	3.048	-15.748	7.9248	-5600
		-	34.29	-4.25	32.639	-1.3	10.2	3.302	-16.51	8.4582	-6600
13	1	+	-35.814	11.8	-25.527	4.8	-6.1	-4.064	17.272	-12.954	3800
		-	-38.1	12.8	-26.924	5.15	-6.55	-4.318	20.066	-12.954	4400
		+	36.068	-4.1	32.766	-1.5	11.5	3.6576	-16.002	9.0932	-7100
		-	38.1	-4.5	34.036	-1.8	12.4	3.8608	-16.383	9.398	-7500
14	1	+	-37.846	13.2	-28.575	5.65	-7.9	-4.3688	17.78	-12.954	4600
		-	-38.989	13.9	-31.369	5.65	-8.2	-4.6736	20.828	-12.954	5000
		+	39.624	-4.55	33.02	0	11.2	3.81	-16.256	9.8552	-7400
		-	41.529	-5.2	33.02	0	12.1	3.937	-16.51	10.3632	-8100



MURO M-3

FASE	CICLO	DIRECCION DE CARGA	Desplazamientos de cada micrometro (mm)								CARGA KG.
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
1	1	+	-3.556	-1.65	2.75	-2.9972	0.9	4.1656	1.524	0.0254	302
		-	0.3048	0.25	-0.04	0.5588	-0.15	-0.2032	-0.127	-0.3556	-302
	2	+	-3.7592	-1.68	2.75	-3.1496	0.94	0.508	1.651	-0.127	302
		-	0.381	0.28	-0.06	0.3048	-0.18	-0.2032	-0.1016	-0.381	-302
2	1	+	-7.62	-3.32	4.35	-4.5212	2.28	1.3716	3.6576	-0.381	605
		-	1.0668	0.65	-0.42	1.1176	-0.38	-0.3556	-0.3556	-0.762	-605
	2	+	-8.636	-3.4	4.8	-4.5212	2.18	1.524	3.7592	1.4732	605
		-	0.8128	0.38	-0.28	1.0922	-0.52	-0.4572	-0.3556	-0.7112	-605
3	1	+	-11.2776	-4.7	5	-6.096	3.15	2.2352	5.715	2.54	1210
		-	2.54	1.2	-0.58	1.524	-1.6	-0.7366	-0.9652	-1.778	-1210
	2	+	-11.684	-4.75	5.2	-6.604	3.25	2.2098	5.8928	2.413	1210
		-	2.6416	1.1	-0.6	1.905	-1.58	-0.6604	-0.8128	-2.032	-1210
4	1	+	-2.54	-1	1	-0.9652	1.92	0.5588	1.143	2.286	200
		-	3.683	-1.5	1.45	-1.4224	2.15	0.9144	1.778	2.54	250
		+	2.54	0.72	-0.2	0.635	0.75	-0.127	-0.762	-3.556	-1000
		-	3.3528	1.25	-0.5	1.143	0.4	-0.3048	-0.8636	-4.064	-1450
	2	+	-2.413	-1.65	1.58	-1.5748	2.28	0.9652	1.905	2.54	100
		-	-3.683	-2.12	2	-2.0828	2.82	1.2954	2.4892	2.794	200
		+	2.4892	0.6	-0.1	0.508	0.7	-0.0508	-0.3048	-4.064	-800
		-	3.429	1.06	-0.4	0.9906	0.54	-0.3048	-0.762	-4.572	-1300
5	1	+	-5.08	-3	2.8	-2.8956	3.58	1.7272	3.556	3.302	400
		-	-6.0198	-3.43	3.2	-3.3528	4	1.9812	4.1148	4.318	500
		+	4.826	1.6	-0.64	1.4224	0.26	-0.4572	-1.1176	-4.572	-1700
		-	5.969	2.38	-0.9	2.159	0.12	-0.7112	-1.4732	-5.1308	-2200
	2	+	-5.08	-2.5	2.34	-2.4892	3.1	1.4732	2.8448	3.6068	300
		-	-5.969	-3	2.78	-2.8956	3.52	1.7272	3.5052	4.318	400
		+	5.08	2	-0.7	0.762	0.2	-0.5588	-1.27	-0.3048	-1800
		-	6.0452	2.85	-0.92	2.5908	-0.05	-0.8128	-1.778	-2.54	-2400
6	1	+	-7.366	-3.6	3.45	-3.556	4	2.159	4.3688	5.08	500
		-	-8.4328	-4	4.02	-4.0132	4.68	2.3876	5.08	5.9436	700
		+	7.3152	3.2	-1	2.794	-0.02	-0.6096	-1.9304	-2.6416	-2600
		-	8.4836	4.1	-1.28	3.5052	-0.22	-1.1176	-2.286	-3.81	-3200
	2	+	-7.493	-3.56	3.45	-3.5052	4.05	2.1844	4.318	6.096	500
		-	-8.509	-4	4	-3.9624	4.68	2.3876	5.0292	6.8072	750
		+	7.239	3.74	-1.12	3.2512	-0.12	-1.016	-2.1336	-3.556	-2800
		-	8.4836	4.62	-1.42	3.9624	-0.38	-1.2192	-2.5908	-4.572	-3600
7	1	+	-9.652	-4.25	4.25	-4.191	4.92	2.4892	5.334	7.3152	900
		-	-10.795	-4.7	4.7	-4.699	5.18	2.7432	6.0452	7.874	1200
		+	9.652	4.55	-1.4	3.9116	-0.34	-1.2192	-2.54	-4.7752	-3400
		-	10.8712	5.46	-1.65	4.6482	-0.54	-1.4224	-2.9972	-5.08	-4000
	2	+	-9.6012	-4.3	4.35	-4.2672	4.98	2.54	5.3848	7.62	950
		-	-10.8712	-4.72	4.78	-4.699	5.25	2.794	6.096	8.128	1250
		+	9.6012	4.65	-1.42	4.0132	-0.35	-1.27	-2.5908	-4.572	-3400
		-	10.8204	5.58	-1.65	4.7752	-0.55	-1.4732	-2.9972	-4.9784	-4000
8	1	+	-12.319	-5.3	5.62	-5.4356	6	3.2004	7.1628	9.652	1800
		-	-13.208	-5.72	6.2	-5.8928	6.7	3.5052	7.874	10.16	2100
		+	12.065	6.35	-1.82	5.3848	-0.68	-1.6764	-3.302	-5.08	-4400
		-	13.208	7.22	-2.1	6.1468	-0.8	-1.8796	-3.7592	-5.842	-4900
	2	+	-12.192	-4.9	5.1	-4.8768	5.72	2.8956	6.477	8.128	1600
		-	-13.081	-5.28	5.58	-5.334	6	3.0988	7.112	9.652	1900
		+	12.065	6.1	-2	5.5372	-1.72	-2.032	-4.3688	-6.096	-5600
		-	13.3096	7.04	-2.22	6.2992	-1.85	-2.1844	-4.826	-6.8072	-6100
9	1	+	-14.4272	-5.85	5.7	-6.1468	6	3.2512	7.62	10.16	2100
		-	-15.24	-6.58	6.32	-6.6548	6.68	3.5052	8.4328	10.922	2500
		+	14.478	7.52	-3.2	6.6548	-1.72	-2.2098	-4.7244	-7.112	-5900
		-	15.748	8.42	-3.4	7.5184	-1.9	-2.3876	-5.0292	-7.62	-6200
	2	+	-14.478	-6.55	6	-6.5532	6	3.4036	8.001	10.668	2300
		-	-15.748	-6.92	6.58	-7.0104	6.75	3.6576	8.763	12.192	2600
		+	14.732	7.82	-3.58	7.112	-1.9	-2.286	-5.08	-7.62	-6100
		-	15.748	8.58	-3.72	7.8232	-1.98	-2.4384	-5.2832	-8.128	-6600
10	1	+	-16.891	-7.3	7.7	-7.5692	7.75	4.064	9.906	12.7	2950
		-	-18.0848	-7.58	8.28	-7.9248	8.05	4.2672	10.4648	13.716	3200
		+	16.764	8.52	-3.5	7.7724	-1.7	-2.286	-5.08	-8.128	-5950
		-	18.034	9.45	-3.68	8.5852	-1.75	-2.4892	-5.2832	-8.636	-6400
	2	+	-16.891	-7	7.7	-7.239	7.75	4.0132	9.652	12.7	2700
		-	-18.0848	-7.22	8.28	-7.62	8.05	4.2164	10.287	13.462	3000
		+	16.891	8.78	-3.42	7.9756	-1.58	-2.3368	-5.0292	-8.128	-5600
		-	18.0848	9.7	-3.62	8.7884	-1.65	-2.4892	-5.334	-8.509	-6100
11	1	+	-19.304	-7.82	9.7	-8.3312	9.38	4.6228	11.7348	14.732	3400
		-	-20.32	-8.1	10.34	-8.763	9.92	4.826	12.446	15.748	3800
		+	19.558	9.22	-3.4	8.4582	-1.42	-2.3368	-4.9784	-8.128	-5400
		-	20.32	9.9	-3.5	9.017	-1.62	-2.4892	-5.2832	-8.763	-5800
	2	+	-19.177	-7.48	9.6	-8.001	9.2	4.572	11.43	14.732	3000
		-	-20.574	-7.75	10.1	-8.3312	9.86	4.7244	11.9888	15.24	3300
		+	19.304	11.28	-3.7	10.16	-1.54	-2.6416	-6.0452	-9.652	-6400
		-	20.574	12.25	-3.9	10.9728	-1.6	-2.8448	-6.096	-9.906	-6900
12	1	+	-21.717	-7.5	10.12	-8.1788	9.88	4.699	11.938	15.24	3200
		-	-22.606	-7.8	10.78	-8.3312	10.25	4.9276	12.446	16.002	3450
	2	+	21.717	12.58	-3.85	11.2776	-1.5	-2.8448	-6.096	-10.16	-6600
		-	22.86	13.48	-4.02	11.9888	-1.58	-2.9972	-6.35	-11.176	-7100
13	1	+	-24.384	-13.7	12.7	-10.16	12.68	5.6388	13.716	18.288	4400
		-	-25.4	-14	13.7	-13.7668	13.3	5.6896	13.843	19.812	4650
	2	+	24.638	8	-5	9.3472	-1.6	-2.794	-6.2992	-7.62	-7600
		-	26.67	8.1	-4	8.8392	-1.8	-3.048	-6.4516	-6.096	-8400
14	1	+	-26.416	-8	4	-15.24	12.6	5.588	13.716	16.002	4800
		-	-28.194	-9.15	5	-16.256	13.3	5.842	13.716	16.256	5000
	2	+	26.416	7.1	-1	13.462	-1.78	-2.921	-6.0452	-5.08	-9600
		-	27.6098	7	-0.8	14.4272	-2.2	-3.2004	-6.604	-1.27	-9900



MURO M-4

FASE	CICLO	DIRECCION DE CARGA	Desplazamientos de cada micrometro (mm)								CARGA KG.
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
1	1	+	-3.81	1.38	-1.8	1.4732	-2.159	2.794	-1.0668	-2.032	302
		-	0.635	-0.15	0.02	-0.127	2.9972	-0.127	0	0	-302
	2	+	-5.08	1.45	-1.98	1.6256	-2.54	2.9972	-1.524	-2.286	302
		-	-0.254	-0.18	0.05	-0.127	3.048	-0.508	-0.127	0	-302
2	1	+	-6.604	1.92	-2.58	2.2352	-3.6068	4.064	-1.4732	-2.9972	605
		-	0.381	-0.72	0.62	-0.635	4.4704	-1.016	0.254	0.635	-605
	2	+	-7.366	1.9	-2.55	2.2352	-5.08	3.81	-1.4224	-2.9972	605
		-	-0.3048	-0.82	0.78	-0.7112	3.7592	-1.0668	0.254	0.762	-605
3	1	+	-9.906	2.72	-3.48	3.2512	-6.096	5.461	-2.032	-4.064	1210
		-	0.635	-1.6	1.8	-1.5748	-7.112	-2.7432	0.762	1.905	-1210
	2	+	-12.192	2.8	-3.52	3.3528	-6.35	5.588	-2.1336	-4.445	1210
		-	-1.778	-1.64	1.84	-1.6256	6.604	-2.794	0.762	1.9812	-1210
4	1	+	-2.794	0.54	-1.08	0.7112	-2.032	0.254	-0.5588	-1.1684	100
		-	-3.6068	0.82	-1.42	1.0668	-2.54	2.159	-0.8128	-1.524	150
	2	+	2.54	-0.7	0.32	-0.4572	2.54	-0.7112	0	0.381	-450
		-	3.683	-1.12	0.88	-0.9652	3.81	-1.5748	0.3048	1.016	-800
5	1	+	-2.667	1.2	-1.9	1.4732	-2.54	2.794	-1.016	-2.032	200
		-	-3.683	1.65	-2.42	1.9812	-4.572	3.556	-1.397	-2.667	600
	2	+	2.54	-0.55	0.32	-0.2032	2.032	-0.3048	0	0.127	-400
		-	3.683	-0.95	0.58	-0.6604	3.048	-1.143	0.127	0.6604	-700
6	1	+	-4.572	2.1	-3.06	2.54	-5.588	4.572	-1.778	-3.4544	1000
		-	-5.969	2.6	-3.6	3.175	-7.112	5.5372	-2.1336	-4.1148	1600
	2	+	4.953	-1.25	0.74	-0.8636	3.81	-1.4732	0.0508	0.889	-1000
		-	6.096	-1.55	1.28	-1.3208	5.08	-2.1844	0.381	1.4224	-1400
7	1	+	-4.826	2.08	-3.04	2.54	-5.842	4.572	-1.8796	-3.5052	950
		-	-6.0452	2.52	-3.48	3.0988	-7.239	5.2832	-2.0828	-4.064	1400
	2	+	5.0292	-1.42	1.05	-1.0668	4.826	-1.8796	0.2032	1.143	-1100
		-	6.0452	-1.68	1.55	-1.4732	5.842	-2.54	0.508	1.6256	-1600
8	1	+	-7.1628	3.1	-4.22	3.9116	-7.62	6.5024	-2.667	-5.08	2000
		-	-8.4328	3.68	-4.75	4.572	-8.763	7.4676	-2.9972	-5.7404	2400
	2	+	7.239	-1.8	1.48	-1.3716	6.223	-2.4384	0.254	1.524	-1800
		-	8.509	-2.08	2.15	-1.8288	7.747	-3.3528	0.7112	2.159	-2300
9	1	+	-7.366	2.42	-3.45	3.048	-7.112	5.08	-2.1844	-3.937	1200
		-	-8.5852	2.82	-3.98	3.6068	-7.62	5.9944	-2.54	-4.572	1600
	2	+	7.366	-2	1.9	-1.5748	7.62	-3.048	0.381	1.905	-2050
		-	8.5344	-2.18	2.63	-2.0828	8.89	-4.064	0.9652	2.4892	-2600
10	1	+	-9.652	2.8	-4.08	3.6322	-7.62	5.9944	-2.54	-4.6736	1700
		-	-10.8712	3.26	-4.56	4.191	-8.636	6.858	-2.921	-5.334	2100
	2	+	9.652	-2.4	3.12	-2.413	9.8552	-4.826	1.27	2.794	-3100
		-	10.7696	-2.62	3.72	-2.7432	10.922	-5.588	1.5748	3.302	-3700
11	1	+	-9.779	2.72	-3.75	-3.4544	-7.239	5.461	-2.4384	-4.445	1600
		-	-10.8458	3.1	-4.25	4.0132	-8.001	6.2992	-2.794	-5.08	1900
	2	+	9.6012	-2.42	3.38	-2.54	10.541	-5.207	1.3716	3.048	-3200
		-	10.8204	-2.7	4.1	-2.8448	12.7	-6.0452	1.6256	3.4544	-4000
12	1	+	-11.9888	3.68	-5	4.7752	-9.652	7.5184	-3.302	-5.969	2400
		-	-13.1572	4.22	-5.4	5.334	-10.287	8.2804	-3.556	-6.604	2800
	2	+	11.9888	-2.86	4.48	-2.9972	13.208	-6.5024	1.778	3.683	-4450
		-	13.1572	-3.08	5.2	-3.302	15.494	-7.366	2.0828	4.0132	-5000
13	1	+	-12.065	3.28	-4.45	4.191	-8.128	6.604	-2.9972	-5.08	1900
		-	-13.2588	3.72	-4.88	4.7752	-9.652	7.366	-3.302	-5.7912	2300
	2	+	12.065	-2.9	4.62	-3.048	14.224	-6.731	1.8288	3.9624	-4400
		-	13.2588	-3.1	5.35	-3.302	15.748	-7.62	2.1336	4.2672	-5200
14	1	+	-14.4272	4.35	-4.45	5.461	-9.652	8.382	-3.6068	-6.604	2800
		-	-15.621	4.9	-5.85	6.0452	-10.668	9.1948	-3.8608	-7.2644	3200
	2	+	14.4272	-3.35	5.95	-3.6068	17.78	-8.255	2.3368	4.572	-5500
		-	15.7988	-3.58	6.8	-3.937	20.32	-9.144	2.6416	4.9784	-6100
15	1	+	-14.478	4.25	-5.2	5.2832	-9.652	8.0772	-3.5052	-5.9436	2600
		-	-15.748	4.82	-5.65	5.9436	-10.16	8.9408	-3.7592	-6.7056	3000
	2	+	14.4272	-3.25	5.68	-3.5052	17.272	-7.874	2.286	4.826	-5400
		-	15.6464	-3.46	6.44	-3.81	19.812	-8.763	2.54	5.207	-5700
16	1	+	-16.891	5.38	-6.18	6.5532	-11.938	9.906	-4.064	-7.366	3400
		-	-18.0848	5.9	-6.52	7.112	-12.446	10.668	-4.2418	-8.0772	3700
	2	+	16.891	-3.8	7.18	-4.191	21.844	-9.652	2.794	5.588	-6400
		-	18.0848	-4.02	8	-4.5212	23.368	-10.414	3.0988	5.8928	-7000
17	1	+	-17.018	5.44	-6	6.5532	-10.668	9.779	-3.9624	-7.0104	3200
		-	-18.161	6	-6.38	7.0612	-12.192	10.5664	-4.1656	-7.62	3400
	2	+	16.891	-3.65	6.7	-4.0132	20.066	-9.144	2.667	5.715	-5600
		-	18.161	-3.85	7.45	-4.318	22.352	-9.906	2.921	6.0452	-6400
18	1	+	-19.177	6.28	-6.88	7.62	-12.7	11.3284	-4.318	-8.2804	3850
		-	-20.4724	6.8	-7.22	8.1788	-13.462	12.192	-4.4704	-8.89	4100
	2	+	19.177	-4.08	7.65	-4.572	22.86	-10.16	2.9972	6.096	-6700
		-	20.6248	-4.26	8.52	-4.953	25.4	-11.1252	3.302	6.223	-7400
19	1	+	-19.05	6.7	-7.28	8.1788	-13.716	12.192	-4.318	-8.6868	4000
		-	-20.2692	7.22	-7.62	8.7884	-14.478	13.208	-4.7244	-9.5504	4400
	2	+	19.4056	-4.42	9	-5.2324	26.543	-11.557	3.4544	6.8072	-7700
		-	20.3708	-4.5	9.56	-5.334	27.94	-12.192	3.6576	7.0612	-8000
20	1	+	-24.257	8	-7.9	9.4996	-14.732	13.9192	-4.826	-9.906	4300
		-	25.4	8.03	-8.2	10.0584	-15.494	14.6812	-5.08	-10.6172	4600
	2	+	24.257	-4.55	9.56	-5.4356	27.94	-12.192	3.7084	7.239	-8000
		-	25.4	-4.68	10.2	-5.6388	29.972	-12.9032	3.9116	7.4676	-8500
21	1	+	-25.4	9.7	-9	11.2268	-16.256	16.3068	-5.334	-11.811	5000
		-	-27.432	10.75	-9.5	12.2428	-17.272	17.78	-5.5372	-12.954	5500
	2	+	25.527	-6.58	12.06	-6.4008	39.116	-14.478	5.3848	8.636	-10000
		-	27.2288	-6.7	12.92	-6.731	42.672	-15.24	5.6896	9.0424	-10500



ANEXO D

IMÁGENES DE ENSAYE DE MURO M-1.



Ilustración 16. Fase 6, desplazamiento lateral de 10.8mm, inicio de grietas horizontales, parte inferior de muro.



Ilustración 17. Fase 7, desplazamiento lateral de 14.4 mm, propagación de grietas horizontales.



Ilustración 18 Fase 8, desplazamiento lateral de 18mm, inicio de grietas a cortante.



Ilustración 19 Fase 9, desplazamiento lateral de 21.6mm, propagación de grietas a cortante.

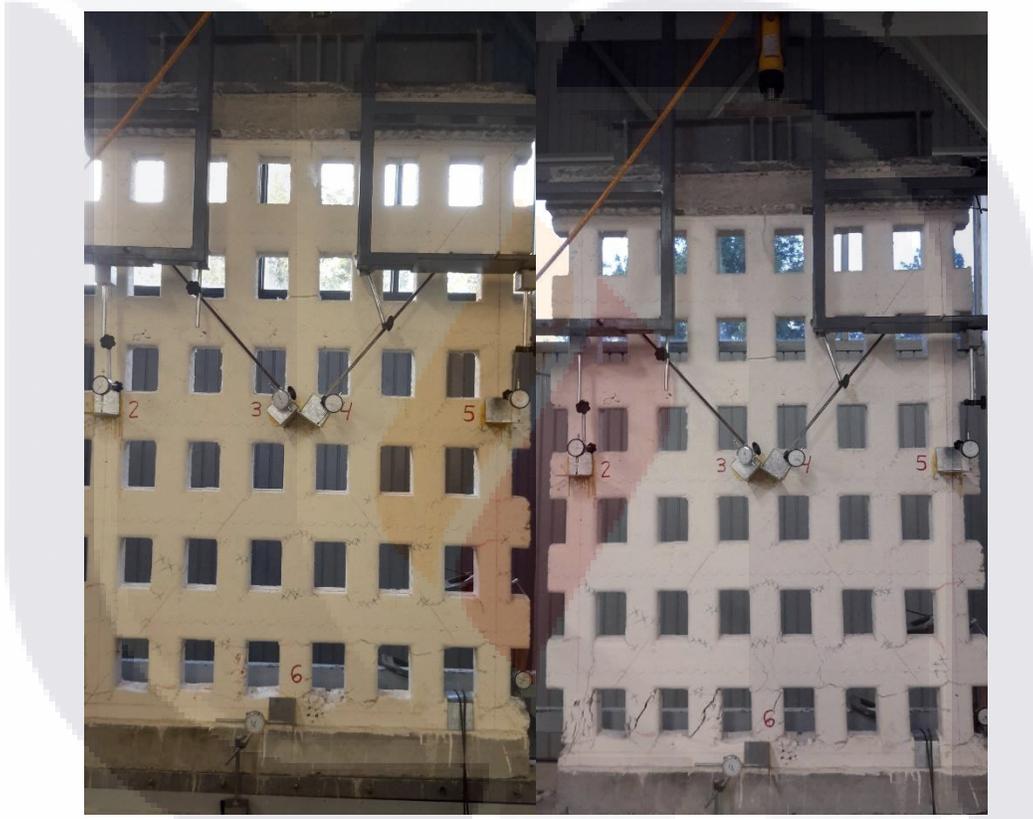


Ilustración 20 Fase 10, desplazamiento lateral de 25.2 mm, carga máxima aplicada de 6800 kg.



Ilustración 21 Fase 11, desplazamiento de 28.8mm, trituración de núcleos verticales de concreto.

Ing. Civil Francisco Javier Sandoval Ramírez

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL ÁREA ESTRUCTURAS



ANEXO E

IMÁGENES DE ENSAYE DE MURO M-3.



Ilustración 22 Fase 8, desplazamiento lateral de 12.0mm, inicio de grietas a cortante.



Ilustración 23 Fase 9, desplazamiento lateral de 14.4mm, agrietamiento diagonal.



Ilustración 24 Fase 10, desplazamiento lateral de 16.8mm, ancho de grietas de 1mm.



Ilustración 25 Fase 11, desplazamiento lateral de 19.2mm, ancho de grietas de 2mm, primeras grietas en parte superior del muro.



Ilustración 26 Fase 12, desplazamiento lateral de 12.16mm, grietas de 4mm en muros y propagación de grietas considerable en parte superior de muro.



Ilustración 27 Fase 13, desplazamiento lateral de 24.0mm, ancho de grietas de 5mm y trituración de la parte inferior del muro.



Ilustración 28 Fase 14, desplazamiento lateral de 24.0mm, trituración de núcleos de concreto verticales y horizontales, ancho de grietas de 10mm.