

**EVALUACION SISMO RESISTENTE DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO
3D-PANEL APLICADO A VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL**

RAFAEL AUGUSTO JARAMILLO BLANCO

JORGE ELIECER VILLAMIZAR VELEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

**EVALUACION SISMO RESISTENTE DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO
3D-PANEL APLICADO A VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL**

**RAFAEL AUGUSTO JARAMILLO BLANCO
JORGE ELIECER VILLAMIZAR VELEZ**

**Trabajo de grado presentado como
requisito para optar al título de:
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR DE PROYECTO:
Ing. ALVARO REY SOTO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

ALVARO REY SOTO, Ingeniero civil, por su colaboración y asesoría en la realización de los análisis técnicos y económicos en cuanto a la viabilidad del sistema constructivo en proyectos de vivienda de interés social.

RICARDO CRUZ, Ingeniero civil, por su asesoría y orientación durante todo el proceso de desarrollo del trabajo.

LEOCADIO RICO, Ingeniero civil, por su orientación y constante colaboración en el desarrollo del trabajo.

ORCAR BEGAMBRE, Ingeniero civil, por su asesoría y orientación durante todo el proceso de desarrollo del trabajo.

IVAN DARIO GOMEZ, Ingeniero civil, por su asesoría y orientación durante todo el proceso de desarrollo del trabajo.

CAROLINA QUINTERO, Ingeniera civil, por su amabilidad y disponibilidad durante el proceso de elaboración de los ensayos y manejo computacional.

JAIME Y JAIRO, personas encargadas del laboratorio de estructuras, por su colaboración y disposición en el manejo de los dispositivos y máquinas necesarias para la realización de los ensayos necesarios en esta investigación.

A nuestros padres, hermanos y

Amigos, por su cariño, apoyo

Y confianza en nosotros.

JORGE Y RAFAEL

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	22
OBJETIVOS	26
OBJETIVO GENERAL	26
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
I. VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL (VIS)	28
1.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA VIS EN COLOMBIA	28
1.1.1. Calidad	29
1.1.2. Habitabilidad	32
1.1.3. Tierra para la VIS	35
1.1.4. Sostenibilidad	37
1.1.5. Inventario de sistemas constructivos para VIS	39
1.2. SISTEMA 3D PANEL	39
1.2.1. Clasificación del sistema	39
1.2.2. Introducción al sistema	40
1.2.3. Elementos del sistema	41
1.2.4. Consideraciones estructurales	43
1.2.5. Consideraciones arquitectónicas	43
1.3. SISTEMA DE VIS PROPUESTO POR 3D PANEL	44
1.3.1. Proceso constructivo casa tipo	47
1.4. FUERZA SISMICA ACTUANTE EN LA ESTRUCTURA	70
1.4.1. Método de la fuerza horizontal equivalente	70
2. MODELAMIENTO PRÁCTICO DE LA EDIFICACIÓN	75
2.1. ANÁLISIS DIMENSIONAL	75
2.1.1. Factores de escala	76
2.1.2. Espesor de los muros y de la placa de entrepiso	78
2.1.3. Acero de refuerzo (Malla electrosoldada)	78
2.1.4. Cimentación con placa flotante	83
2.1.5. Refuerzo de arranque	84

2.2. CONSTRUCCION DEL MODELO A ESCALA	89
2.2.1. Cimentación y anclajes.	90
2.2.2. Ensamblado de muros con 3D PANEL	93
2.2.3. Colocación de la malla unión o traslape	95
2.2.4. Habilitado de aberturas (puertas o ventanas)	97
2.2.5. Aplicación del mortero o concreto	101
2.2.6. Colocación de paneles en cubierta o entrepiso	102
2.2.7. Acabados y curado del modelo	103
2.3. DISPOSITIVO DE ENSAYO	105
2.3.1. Especificaciones técnicas	105
2.3.2. Descripción	106
Foto 41: Actuador anclado al marco.	106
2.3.3. Laboratorio de estructuras	107
2.3.4. Ubicación Actuador – Modelo a escala	109
III. NORMAS Y ENSAYOS	110
3.1. NORMAS	110
3.2. ENSAYOS	111
3.2.1 Descripción y resultados de los ensayos	111
3.2.2. Caracterización del material 3d-panel	111
IV. MODELO ANALITICO COMPUTACIONAL	127
4.1 MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	128
4.1.1. Geometría de la estructura	135
4.2 PUSHOVER	140
4.2.2. Segundo caso	143
4.3. PROTOCOLO DE CARGA	144
4.4. RESULTADOS	148
V. ENSAYO DEL MODELO A ESCALA	156
5.1 DISPOSITIVO DE FALLA	156
5.1.1. Marco	157
5.1.2. Platina Actuador	157

5.1.3. Sistema de medida	158
5.2 PROTOCOLO DE CARGA	160
5.3 ENSAYO DEL MODELO	162
5.4 RESULTADOS	164
VI. INTERPRETACION Y COMPARACION	172
VII. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	188
BIBLIOGRAFIA	192

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Esquema del 3D PANEL	40
Figura 2: Planta primer piso VIS	45
Figura 3: Planta Segundo piso VIS	45
Figura 4: Diagrama de flujo	49
Figura 5: Construcción de la cimentación y colocación refuerzo de arranque.	50
Figura 6: Colocación de los paneles verticales de pared.	50
Figura 7: Colocación de instalaciones y refuerzo de unión entre paneles	51
Figura 8: Montaje de paneles con vanos para ventanería.	51
Figura 9: Montaje de paneles de placa, cerramiento de la estructura, lanzado del concreto y acabados de la superficie.	51
Figura 10: Espectro elastico de aceleraciones de diseño	70
Figura 11: Espesor Muros	78
Figura12: Malla electrosoldada Real - Escala	81
Figura 13: Malla de refuerzo real de esquinas – puertas y ventanas	81
Figura 15: Refuerzo placa flotante	83
Figura 16: Refuerzo arranque de muros	84
Figura 17: Perfil refuerzo	84
Figura 18: Planta distribucion de arranques de muro.	85
Figura 19: Refuerzo arranque de muros	87
Figura 20: Perfil refuerzo arranque de muros	87
Figura 21: Planta distribucion de arranques de muro modelo escala.	88
Figura 22: Planta del modelo a escala rotado.	100
Figura 23: Planta de configuración Lab. Estructuras UIS	108
Figura 24: Platina con orificios tipo.	108
Figura 25: Plano anclaje muro – actuador.	109
Figura 26: Dimensiones probeta	113

Figura 27: Grafica de resultado Fuerza / Desplazamiento suministrada por el equipo para la primera probeta	114
Figura 28: Grafica Fuerza/desplazamiento Probeta # 1	115
Figura 29: Grafica Esfuerzo / Deformación Probeta # 1	116
Figura 30: Grafica de resultado Fuerza / Desplazamiento suministrada por el equipo para la segunda probeta	117
Figura 31: Grafica Fuerza/desplazamiento Probeta # 2	118
Figura 32: Grafica Esfuerzo/deformación Probeta # 2	120
Figura 33: Grafica de resultado Fuerza / Desplazamiento suministrada por el equipo para la tercera probeta	121
Figura 34: Grafica Fuerza/desplazamiento Probeta # 3	122
Figura 35: Grafica Esfuerzo/deformación Probeta # 3	124
Figura 36: Montaje de grillas.	128
Figura 37: Montaje de grillas.	129
Figura 38: Definición material.	130
Figura 39: Propiedades del material.	131
Figura 40: Curva esfuerzo/deformación (cortante y compresión).	132
Figura 41: "Shell Layered /Nonlinear",	133
Figura 42: Definición refuerzo del muro de 3D-Panel.	134
Figura 43: Definición de la fuente de masa	134
Figura 44: Muro en X=0	135
Figura 45: Muro en X=48cm (escala) X=2.4m (real)	135
Figura 46: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)	136
Figura 47: Muro en Y=0	136
Figura 48: Muro en Y=72cm (escala) Y=3.6m (real)	137
Figura 49: Muro en Y=120cm (escala) Y=6m (real)	137
Figura 50: Planta Z=48cm (escala) Z=2.4m	138
Figura 51: Modelo tridimensional estructura modelo a escala sistema constructivo 3D PANEL	139
Figura 52: Carga impuesta al modelo constructivo.	140
Figura 53: Primer caso para análisis Pushover Ecase1.	141

Figura 54: Ecase2	142
Figura 55: Grafica de curva de PUSHOVER	143
Figura 56: Grafica de función Tiempo-Historia (Fuerza/Tiempo).	144
Figura 57: Función Tiempo Historia(fuerza/Tiempo)	146
Figura 58: Definición del caso de carga del análisis Dinámico No Lineal, Sap2000	147
Figura 59: SM _{máx} [MPa]	148
Figura 60: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)	149
Figura 61: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)	149
Figura 62: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)	150
Figura 63: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)	152
Figura 64: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)	153
Figura 65: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)	154
Figura 66: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)	155
Figura 67: Función Desplazamiento / Historia	160
Figura 68: Tasa de incremento Desplazamiento.	161
Figura 69: Función Fuerza / historia ensayo.	164
Figura 70: Curva Histéresis ensayo modelo.	165
Figura 71: Grafica de curva de pushover.	172
Figura 72: Grafica de la curva de Histéresis Fuerza/Desplazamiento suministrada por el software del actuador, modelo a escala.	173
Figura 73: Esquema de sistema de apoyos de platinas soldadas a los ángulos L2"x1/4"	175
Figura 74: Sistema de platina 3D.	175
Figura 75: Corte sistema platina.	176
Figura 76: Grafica de Histéresis la curva Fuerza/Desplazamiento arrojada por el software del actuador, modelo a escala.	180
Figura 77: Curva de histéresis	181
Figura 78: Grafica de histéresis de un muro estructural en sección T o en L	182
Figura 79: Esquema de distribución de muros de sección en T y en L, en la estructura en estudio	183

Figura 80: Los esfuerzos principales presentes debido a la carga sísmica, son soportados por la estructura en esta dirección de estudio. 185

Figura 81: Posibles zonas en donde se presentaran las primeras grietas. 186

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1: Modelo de vivienda VIS	46
Foto 2: Modulacion de la obra con tridipanel	53
Foto 3: Excavacion de cimentacion	54
Foto 4: Placa de cimentacion	55
Foto 5: Ensamble de los paneles a la cimentacion	56
Foto 6: Ensamble de las mallas de unión o solape	58
Foto 7: Colocación de marcos en puertas y ventanas	60
Foto 8: Instalaciones	61
Foto 9: Panel de entrepiso o cubierta	62
Foto 10: Proceso de lanzado húmedo mortero	64
Foto 11: Vivienda terminada - Tridipanel	65
Foto 12: Cimentacion y anclajes	90
Foto 13: Refuerzo Anclajes	90
Foto 14: Amarre de anclajes	91
Foto 15: Ubicación placa de cimentación - piso	91
Foto 16: Preparación concreto para losa	92
Foto 17: Curado losa de cimentación	92
Foto 18: Malla de refuerzo – Muros	93
Foto 19: Poliestireno y malla de refuerzo	93
Foto 20: Fabricación del 3D Panel	94
Foto 21: Ensamble de los paneles a la cimentación	94
Foto 22: Malla de unión entre paneles	95
Foto 23: Unión entre paneles	95
Foto 24: Colocación de muros internos	96
Foto 25: Paneles ensamblados completamente	96
Foto 26: Ubicación puertas y ventanas	97

Foto 27: Refuerzo en marcos de ventanas y puertas	97
Foto 28: Traslado del modelo a escala al punto de anclaje al piso	98
Foto 29: Ajustes pasadores verticales entre cimentación y piso	98
Foto 30: Posición final del modelo a escala.	99
Foto 31: Inicio en la aplicación del mortero a los paneles.	101
Foto 32: Avance en el acabado de los paneles verticales	101
Foto 33: Armado y ensamble de cubierta.	102
Foto 34: Amarre y aplicación del mortero a la cubierta.	102
Foto 35: Acabado de aplicación del mortero.	103
Foto 36: Curado por 28 días del modelo a escala terminado.	103
Foto 37: Panorámica del modelo a escala en proceso de curado.	104
Foto 38: Modelos a escala después de 28 días de curado.	104
Foto 39: Especificaciones técnicas actuador MTS.	105
Foto 40: Actuador MTS.	105
Foto 41: Actuador anclado al marco.	106
Foto 42: Laboratorio de estructuras Salón 109. Universidad Industrial de Santander	107
Foto 43: Probeta 3D PANEL.	112
Foto 44: Sección Trasversal probeta 3D PANEL	112
Foto 45: Maquina de ensayos para compresión axial	113
Foto 46: Marco	157
Foto 47: Platina Actuador	157
Foto 48: Deformímetros	158
Foto 49: Dispositivo completo de falla.	159
Foto 50: Inicio de ensayo modelo.	162
Foto 51: Verificación de Fallas.	163
Foto 52: Falla en la cimentación.	166
Foto 53: Falla diagonal losa de cimentación.	167
Foto 54: Falla marco puerta lado derecho.	167
Foto 55 Falla marco puerta lado izquierdo.	168

Foto 56: Falla Muro divisorio interno.	168
Foto 57: Falla marco esquina inferior derecho.	169
Foto 58: Falla Cubierta / muro frontal.	170
Foto 59: Pandeo muro frontal.	170
Foto 60: Grietas en muros laterales.	171
Foto 61: Grieta muros posteriores.	171
Foto 62: Agrietamiento del modelo a escala.	186

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Área mínima de la vivienda	33
Tabla 2: Áreas y dimensiones netas mínimas de los espacios de vivienda.	34
Tabla 3: Elementos del sistema	42
Tabla 4: Aspectos del Sistema	44
Tabla 5: Mampostería confinada	67
Tabla 6: Mampostería estructural	68
Tabla 7: Periodo fundamental	71
Tabla 8: Cargas de la estructura.	73
Tabla 9: Carga sísmica actuante	74
Tabla 11: Escalas utilizadas	77
Tabla 12: Tabla de Fuerza/Desplazamiento Probeta # 1.	114
Tabla 13: Tabla de dimensiones de la probeta	115
Tabla 14: Tabla de Esfuerzo/Deformación Probeta # 1	116
Tabla 15: Tabla de Fuerza/Desplazamiento Probeta # 2	118
Tabla 16: Tabla de dimensiones de la probeta # 2	119
Tabla 17: Tabla de Esfuerzo/Deformación Probeta # 2	119
Tabla 18: Tabla de Fuerza/Desplazamiento Probeta # 3	122
Tabla 19: Tabla de dimensiones de la probeta # 3	123
Tabla 20: Tabla de Esfuerzo/Deformación Probeta # 3	123
Tabla 21: Promedios de los módulos de elasticidad	125
Tabla 22: Promedios de las resistencias máximas a la compresión.	126
Tabla 23: Función protocolo de carga.	145
Tabla 24: Resultado carga/desplazamiento.	174
Tabla 25: Tabla comparativa protocolo platina.	177
Tabla 26: Fuerza aplicada platina - protocolo UIS.	179
Tabla 27: Resultado platina – protocolo UIS.	179
Tabla 28: Resistencia compresión promedio.	184
Tabla 29: Resistencia tensión promedio.	184

Tabla 30: Esfuerzo máximo a compresión y tracción.	185
Tabla 31: Esfuerzo máximo a compresión y tracción.	187
Tabla 32: Esfuerzo máximo a compresión y tracción.	187

RESUMEN

TITULO: “EVALUACION SISMO RESISTENTE DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO 3D-PANEL APLICADO A VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL”*

**AUTORES: JORGE ELIECER VILLAMIZAR VELEZ
RAFAEL AUGUSTO JARAMILLO BLANCO**

PALABRAS CLAVES: Evaluación, Sistema Panel, Vivienda **

Los sistemas modernos de construcción son asociados a tecnologías innovadoras ya los nuevos materiales, sistemas livianos que ofrecen la posibilidad de una mayor rapidez de ejecución por montaje. Estas características influyen en gran medida en el aprovechamiento de los materiales y de la mano de obra, ya que la planificación se hace más sencilla, pudiendo cumplir las metas fijadas en cuanto a los recursos económicos y de tiempo. La demanda de mayor cantidad de viviendas y para nuestro caso las viviendas de interés social hace necesaria la inversión en investigación para considerar nuevas opciones y encontrar soluciones técnicas apropiadas, esto ha provocado un alto grado de especialización, principalmente en el campo de la ingeniería.

Los sistemas constructivos son sin duda un medio de construcción que debe ir evolucionando con criterios para su análisis, procesos constructivos y detalles. Aumentando de esta manera su aplicabilidad, ofreciendo una resistencia y capacidad de carga que le permita un desempeño igual o superior a los sistemas constructivos que actualmente se encuentran en aplicación. Además de ello, estos sistemas también imponen características físicas apropiadas en los materiales como son propiedades térmicas, antisísmicas, resistencia al fuego y una resistencia acústica aceptable.

Este trabajo de investigación plantea el estudio del sistema constructivo con paneles aligerados 3D PANEL, el cual está basado en paneles conformados por un alma de poliestireno expandido con una malla electrosoldada, éstos son terminados en obra dependiendo de su aplicación con mortero u hormigón proyectado. Actualmente este sistema constructivo se encuentra fuera de las normativas colombianas, *Norma Sismo Resistente 2010 NSR 10*, ya que posee materiales no usados convencionalmente de manera estructural.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas - Escuela de Ingeniería Civil – Director Ingeniero Álvaro Rey Soto.

ABSTRACT

TITLE: "EARTHQUAKE - RESISTANT EVALUATION OF 3D PANEL CONSTRUCTION SYSTEM APPLIED TO INCOME HOUSING"

**AUTHORS: JORGE ELIECER VILLAMIZAR VELEZ
RAFAEL AUGUSTO JARAMILLO BLANCO****

KEY WORDS: Evaluation, System Panel, Housing

Modern building systems are related to innovative technologies and new materials, lighter systems that offer the possibility of a faster installation performance. These features greatly influence the use of materials and labor, because the planning is made easier and can meet the targets set in terms of financial resources and time. The demand for more housing and for our case the social housing investment is necessary in research to consider new options and appropriate technical solutions; this has led to a high degree of specialization, particularly in the field of engineering.

Building systems are certainly a means of construction that should evolve with criteria for their analysis, construction processes and details. There by increasing its applicability, providing a strength and capacity that allows a performance equal or superior to currently building systems were found on application. Moreover, these systems also impose appropriate physical characteristics of materials such as thermal, seismic, fire resistance and acoustic resistance acceptable.

This research raises the study of lightweight construction system with 3D PANEL, which is based on panels made up of a core of expanded polystyrene with a welded mesh; they are finished on site depending on your application with mortar or shot concrete. Currently this building system is outside the rules Colombian Seismic Resistant Standard 2010 NSR10, which has conventionally used materials structurally.

* Project of grade

** Faculty of Engineerings Physical Mechanics - School of Civil Engineering - The Director Engineer Álvaro Rey Soto.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El trauma causado por el colapso parcial o total de las estructuras hechas por el hombre es la causa más común de muerte y lesión en la mayoría de los terremotos. Cerca del 75% de las muertes atribuidas a terremotos en el siglo XX fueron causadas por el colapso de edificaciones que no tuvieron un adecuado diseño sismo resistente, construidas con materiales inapropiados o simplemente arrasados por la capacidad destructiva de un sismo de grandes proporciones. Las estructuras de adobe, frecuentes en las zonas altamente sísmicas del mundo (entre ellas Colombia) no sólo tienen paredes propensas al colapso sino cubiertas muy altas y pesadas. Cuando colapsan, estas paredes y cubiertas pueden afectar significativamente las personas dentro de las casas. Por su parte las edificaciones de mampostería no reforzada aunque no tienen un comportamiento tan malo como las edificaciones de adobe, tienen un comportamiento frágil que no las hace adecuadas ante cargas sísmicas. Las casas con estructura en concreto reforzado son generalmente seguras, pero también son vulnerables principalmente por los deficientes procesos constructivos y los errores conceptuales de diseño. Cuando las estructuras de concreto reforzado colapsan son letales, ya que hieren o matan a sus ocupantes en un porcentaje mayor que las de mampostería. En la segunda mitad del siglo XX, la mayoría de los terremotos que sacudieron centros urbanos ocasionaron colapsos de edificios de concreto reforzado y las muertes debidas al colapso de estos edificios fueron significativas.

En el caso colombiano, diversos sismos han afectado el país como el del eje cafetero del 25 de enero de 1999, el cual causó graves daños en las ciudades de Armenia, Pereira y en un amplio número de pequeños poblados cercanos. Las estadísticas indican que aproximadamente 1250 personas perdieron la vida y que 5300 heridos se atendieron en los hospitales. El número de afectados se calculó en 200.000, que perdieron su vivienda y sus espacios de trabajo. El terremoto causó daños a cerca de 50.000 edificaciones en la zona cafetera concentrándose

los daños en edificaciones antiguas, edificios de mampostería no reforzada ni confinada y casas diseñadas y construidas sin especificaciones de diseño sismo resistente. En la mayoría de los casos fueron las personas de bajos recursos (estratos 1, 2 y 3) las más afectadas por el colapso de sus viviendas.

Por las razones expuestas anteriormente es necesario investigar e implementar nuevos métodos y sistemas constructivos y optimizar los existentes, en los que se utilicen materiales de bajo peso, fácil manejo y bajo precio que cumplan con los estándares sismo resistentes internacionales. Estos nuevos sistemas estructurales deben ser resistentes, durables, livianos y con costos no muy elevados. La investigación necesita un estudio experimental a fondo de manera que se puedan sustentar satisfactoriamente desde el punto de vista técnico y científico las fortalezas y debilidades de los sistemas estructurales ante diferentes solicitaciones de carga dependiendo del riesgo sísmico de cada región del país.

Por otro lado, de acuerdo con la norma NTC 2246, todo elemento destinado a formar parte de una edificación, ya sea que estén formados por un solo material o por diversos materiales, debe clasificarse y someterse a un estudio de sus propiedades físicas y mecánicas con el fin de aceptarlos o no como elementos de la construcción. Además, con base en estas propiedades medidas en el laboratorio, deben establecerse los esfuerzos admisibles o resistentes con el fin de adelantar los diseños respectivos que se ajusten a las condiciones particulares de cada proyecto tales como configuración general y disposición de cargas actuantes.

En la última década con la aparición en el mercado colombiano de muchas empresas de construcciones prefabricadas, se convertiría en una alternativa importante en cuanto a la innovación en sistemas constructivos prefabricados para la producción en serie de unidades de vivienda de bajo peso y costo. La idea para la fabricación de paneles en línea y aislamiento termo acústico surgió en los años 60 (1967 exactamente), concebido por la firma italiana Emmedue S.p.A, como resultado de una investigación para el desarrollo de sistemas modulares con el fin

de agilizar la construcción; desde entonces el sistema ha sido perfeccionado para garantizar al cliente un sistema cómodo, seguro y con un precio adecuado. La empresa se ha encargado de difundir su idea a nivel mundial suministrando plantas y asesoría técnica para la fabricación de estos paneles.

Desde su introducción en el mercado colombiano, Emmedue a través de Durapanel ha estado adelantando estudios para certificar estructuralmente el sistema y hacer las adecuaciones para un adecuado desempeño, con base en las especificaciones de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo resistente (NSR-10). Inicialmente se hicieron unos ensayos por parte de la empresa para caracterizar los paneles, los cuales han sido el fundamento para el diseño estructural hasta ahora; sin embargo, es necesario revisar estos estudios cuatro años después de estar en el mercado y ya con las plantas de producción trabajando normalmente..

Adicionalmente debe mencionarse que para que un sistema constructivo cuyos materiales no estén contemplados en la Norma Sismo resistente pueda ser utilizado en la República de Colombia, debe ser sometida a la aprobación por parte de la “Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes”. A esta institución se le deben entregar documentos en donde se presente una descripción del sistema con sus características y bondades, toda la información experimental y analítica que permita constatar que el sistema es apropiado para zonas de amenaza sísmica intermedia y/o alta, y finalmente una propuesta de régimen de excepción del sistema por medio del cual se regiría la obtención de licencias de construcción para el sistema presentado. En estos documentos debe indicarse taxativamente las secciones del Reglamento NSR-10 que el sistema propuesto no cumple; y las prescripciones alternas que deben utilizarse en el diseño y construcción de las edificaciones.

De acuerdo con lo anterior, con el fin de utilizar un nuevo sistema estructural, se debe llevar a cabo una caracterización basada en ensayos mecánicos de

resistencia (evaluación de tipo experimental) así como una serie de modelaciones analíticas en computador que permita conocer el comportamiento del sistema estructural ante diferentes solicitaciones de carga y condiciones de apoyo. La evaluación experimental debe incluir ensayos de laboratorio sobre probetas pequeñas y sobre paneles funcionando como muros y placas.

Dado que el sistema constructivo que se pretende estudiar es prefabricado, la caracterización mecánica se debe efectuar mediante el uso de las normas ICONTEC NTC 2446 - Paneles Prefabricados clasificación y Requisitos y la ASTM E72-98 – Standard Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construcción. Dentro de la modelación analítica del comportamiento estructural del sistema en estudio se busca evaluar, aspectos como eventuales deslizamientos, volamientos o inestabilidades de la edificación, esfuerzos resistentes y actuantes ante diferentes solicitaciones de carga, conexiones entre elementos estructurales, detalles específicos de cimentaciones, etc. Entre las cargas que se deben evaluar desde el punto de vista analítico están las fuerzas horizontales (cargas sísmicas, cargas de viento), cargas vivas, muertas, granizo, entre otros, tal como se estipula en la Norma de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR 10. Para el sistema estructural que se plantea estudiar, se cuenta en algunos casos con estudios preliminares en los cuales no se tuvieron en cuenta consideraciones desde el punto de vista sísmico.

Dentro del presente trabajo de grado titulado **“EVALUACION SISMO RESISTENTE DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO 3D-PANEL APLICADO A VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL”** que se explica y desarrolla en este documento, se buscará analizar el comportamiento sísmico obtenido mediante la modelación por elementos finitos del sistema constructivo de vivienda planteado y elaborado por la empresa EMMEDUE (DURAPANEL en Colombia).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el comportamiento sismo resistente del sistema constructivo **3D-PANEL** a través de un modelo a escala de una vivienda de interés social de un nivel, que será simulado sísmicamente en el actuador MTS de la Universidad Industrial de Santander, para obtener resultados y poder ser comparados con los resultados de un modelo digital construido minuciosamente en el software **SAP2000 CSI**. Para así poder determinar si el sistema constructivo es viable en términos sismo resistentes.
- Evaluar un sistema estructural alternativo prefabricado de bajo peso para la construcción de viviendas sismo resistente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un modelo a escala de una vivienda de interés social de un nivel conveniente con las dimensiones del actuador MTS de la Universidad Industrial de Santander, diseñada arquitectónicamente con normas colombianas por un Arquitecto titulado. Teniendo en cuenta que la estructura se cargará con pesos repartidos aleatoriamente simulando la carga viva, calculados anteriormente y respetando la proporción y la escala, así mismo se construirá el modelo teniendo en cuenta factores de conversión.
- Identificar algunas de las principales propiedades mecánicas de los elementos y caracterizar los tipos de falla predominantes ante diferentes sollicitaciones impuestas.
- Hallar los desplazamientos relativos "*derivas*" de cada nivel de la estructura del modelo a escala mediante equipos de laboratorio.
- Construir un modelo a escala igual a la de la vivienda de interés social de una sección de placa de **3D-PANEL**, y ponerlo a prueba en el laboratorio de

la Escuela de Ingeniería Civil, para en ellos encontrar las propiedades mecánicas del material.

- Modelar la estructura a escala en el software **SAP2000 CSI** con los resultados obtenidos en el punto anterior y observar resultados.
- Concluir con resultados favorables acerca del comportamiento sísmico del sistema constructivo **3D-PANEL**, es decir que las derivas no sobrepasen las derivas máximas reglamentarias.

I. VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL (VIS)

1.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA VIS EN COLOMBIA

La VIS es un tema de amplia discusión en los países subdesarrollados por la importancia que tiene dentro de las políticas de desarrollo de los gobiernos, por la esperanza que genera en los más pobres y porque es una oportunidad de negocio atractiva dentro del sector global de la construcción.

Alrededor de ella se han creado muchas instituciones con el paso del tiempo y los diferentes gobiernos, encargadas única y exclusivamente de gestionar y controlar su construcción y posibilidad de acceso a la población, tales como el banco hipotecario, luego el instituto descentralizado constructor, hasta llegar hoy en día a contar con cajas de compensación privadas y un ministerio propio en el gobierno central.

A continuación se reúnen algunos conceptos de muchos protagonistas del fenómeno VIS quienes han producido conocimientos y experiencias alrededor del tema.

1.1.1. Calidad

El Instituto Javeriano de Vivienda y Urbanismo (INJAVIU) aportó en el año 1993 un estudio alrededor de los problemas actuales de calidad de la vivienda en Bogotá y en Colombia titulado La calidad de la vivienda social: un reto posible.

Con la expedición en el año 1991 de la Ley 3ª el Estado le dio un giro al proceso en cuanto al manejo de la política habitacional en Colombia. En ella se buscó que el Estado pasara de promotor a facilitador, dejando en manos de los promotores privados la responsabilidad de la producción de la vivienda para los sectores de bajos ingresos. Sin embargo, la reglamentación que se ha desarrollado para las normas mínimas de la calidad de la VIS no se ha podido mantener como un marco de obligatorio cumplimiento.

El Reglamento técnico dirigido a las soluciones de VIS en las cuales se aplique el subsidio familiar de vivienda, desarrollado por INJAVIU en 1995; la Cartilla para usuarios.

Modelos replicables para asistencia técnica, elaborado por el Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana –Inurbe-, en 1995; la Metodología de diseño y evaluación de proyectos de VIS y la Coordinación modular y estandarización de elementos de construcción y su aplicación a la VIS, del Ministerios de Desarrollo Económico y el Vice ministerio de Desarrollo Urbano, Dirección de Vivienda, Suelo y Construcción, de 1998, entre otros, son algunas de las reglamentaciones que se han estipulado para dar unas normas mínimas de calidad de la VIS, pero que como se dijo anteriormente, no se han logrado mantener como de obligatorio cumplimiento desde su creación.¹

Las investigaciones desarrolladas por el INJAVIU alrededor del problema de la calidad de la vivienda dirigida a los sectores de bajos ingresos, muestran como la falta de factores cualitativos alrededor de la VIS, ha permitido que el mercado

ofrezca una calidad deficiente sin que el usuario tenga opción de satisfacer de manera adecuada sus necesidades básicas.

Particularmente en la capital colombiana, se ha llegado a comprobar que las viviendas que han sido objeto de subsidio estatal por encontrarse en barrios desarrollados con el cumplimiento de las disposiciones normativas, se encuentran en niveles similares de calidad deficitaria a los barrios que son de origen clandestino.

En cuanto a las condiciones de habitabilidad, los aspectos de higiene, privacidad y comodidad no alcanzan a garantizar una calidad de vida apropiada tanto a nivel de salud física como de salud mental, debido a que todavía se pueden percibir índices altos de hacinamiento y un bajo nivel en las especificaciones constructivas con las que son entregadas las viviendas nuevas. En referencia al hacinamiento se tiene que la relación entre el número de habitantes de la familia y el número de cuartos, lleva a que por lo general se supere el promedio ideal de dos personas por cada uno, llegando a un promedio de personas por unidad de vivienda de 4,5 en los barrios de origen normal (por lo general con una distribución de mínimo 3 adultos y 1 niño, con una pareja conyugal) y de 7,7 en los barrios de origen clandestino (de los cuales 4 son adultos, 1 joven y 2 niños, además de un inquilino, y 1,12 parejas conyugales).

En cuanto a la localización en la ciudad de los desarrollos de VIS, los resultados son preocupantes. Las condiciones de la población para acceder con facilidad a los bienes y servicios que ofrece la ciudad no son suficientes. Las dificultades de conexión y movilidad, asociadas a la baja provisión de equipamientos colectivos, y las altas densidades de vivienda por hectárea, apartan a los residentes de estos barrios de alcanzar una buena calidad de vida urbana. Adicionalmente, se registra como un problema la tendencia a ubicar estos desarrollos de vivienda en terrenos con alto riesgo sísmico, de remoción en masa o inundación.

En cuanto a la espaciabilidad se resalta que hay una fuerte tendencia a la reducción del espacio privado, alcanzando unas densidades muy altas (en los barrios desarrollados en las décadas de los años 80 y 90 se encuentra en el origen normal una densidad promedio de 146 viv/ha, y en el clandestino 95 viv/ha). En los barrios de origen normal esta tendencia se inicia en la década de los años 80, en la que se utiliza la figura de la vivienda bifamiliar para reducir el frente del lote, de forma artificial. Si bien cumple con el mínimo permitido por la normativa urbana con lotes de 6 m. de frente, en la práctica se entregan unidades con frentes de 3 m., por cuanto el lote es dividido por la mitad a nivel de terreno, dando acceso independiente a dos unidades de vivienda. De esta manera, se dio inicio a una mutación tipológica de la vivienda unifamiliar en hilera hasta llegar a lo que coloquialmente se ha denominado “multifamiliar acostado”. Es decir, viviendas unifamiliares con áreas muy pequeñas que desarrollan el programa en altura, en el sistema de agrupación, con acceso desde espacios colectivos a nivel de la calle.

En lo referido a la casa, en los barrios de origen normal los promotores privados han encontrado una vía alterna para acceder al mercado de la vivienda social. La estrategia seguida es la entrega de programas incompletos para su complementación en el tiempo a cargo de sus usuarios, con serias implicaciones técnicas que van en detrimento de su calidad de vida. Es así como las viviendas pierden cualidades tales como la ventilación e iluminación naturales, tienen un muy alto porcentaje de áreas de circulación respecto al de las útiles y presentan relaciones de servidumbre entre cuartos. De otra parte, al desarrollarse con sistemas estructurales compartidos con otras unidades, conduce a que los procesos de “ampliación” de cada una, que suceden en diferentes momentos y con características diversas, se pierda la continuidad de los elementos portantes. En los barrios de origen clandestino, la situación no es muy diferente, pues aunque las unidades de vivienda cuentan con lotes de mayores dimensiones y estructuras portantes individuales, la precariedad de conocimiento técnico de los

auto constructores de igual forma conduce a errores que derivan en situaciones de riesgo.

El impacto negativo en la calidad de vida es evidente, pues la reducción del programa de la vivienda, sus áreas y dotación ha llevado a que sus usuarios realicen intervenciones inadecuadas en términos de seguridad técnica y social. Además, si se tiene en cuenta los altos costos del suelo, que influyen en el costo final de la vivienda haciéndola inasequible para los sectores de bajos ingresos, y el esquema actual de financiación (con el cual muchas personas se sienten inseguras de invertir en su vivienda propia por no garantizar una atención efectiva del problema debido a los altos intereses llevándolos a perder su propiedad por incapacidad de mantener el pago de las cuotas del crédito hipotecario), tienen como consecuencia que se esté violando el mandato constitucional de garantizar a los ciudadanos colombianos su derecho a una vivienda digna por no permitirse un acceso adecuado y con garantías a ella.

1.1.2. Habitabilidad

El Centro Nacional de Estudios de la Construcción – CENAC- elaboró en 1985 un estudio con recomendaciones urbanísticas, arquitectónicas y constructivas las cuales quedaron consignadas en el documento CEN 156-85, del cual se extraerán dos indicadores importantes que hoy en día todavía tienen vigencia porque definen unos patrones mínimos de habitabilidad: el área mínima recomendada por persona y las áreas y dimensiones mínimas de los espacios de una vivienda.

Tabla 1: Área mínima de la vivienda

Alcobas	Personas	Área por persona (m ²)		Área total (m ²)	
		Un piso	Dos pisos	Un piso	Dos pisos
1	2	18.0	23.0	36.0	46.0
2	4	12.0	14.5	48.0	58.0
3	6	10.0	11.0	60.0	66.0
4	8	9.0	9.8	72.0	78.4

Fuente: Centro Nacional de Estudios de la Construcción – CENAC

Área construida cubierta privativa de la vivienda (incluyendo muros y circulaciones), medida a ejes de medianeras y a planos exteriores de fachada. En los apartamentos, esta área es mayor de la que figura en el reglamento de copropiedad para el mismo inmueble. En las viviendas de dos pisos se incluye el área de escaleras.

Áreas y dimensiones netas mínimas de los espacios de la vivienda

Las medidas están en obra negra, excluyendo pañetes.

Tabla 2: Áreas y dimensiones netas mínimas de los espacios de vivienda.

Espacio	Area minima (m²)	Lado menor mínimo (m)
Salón comedor ¹	13.50	2.70
Alcoba padres	7.29	2.70
Closet padres	0.70	0.60
Alcobas niños	7.29	2.70
Closet niños	0.50	0.60
Alcobas niñas	7.29	2.70
Closet niñas	0.50	0.60
Estudio ²	4.86	1.80
Baño completo ³	2.20	1.10
Cocina y ropas ⁴	4.05	1.50
Circulaciones ⁵	-	0.90
Escaleras privadas	-	0.90
Escaleras públicas	-	1.10
Muros ⁶	-	0.10
Muros medianeros	-	0.20

Fuente: Centro Nacional de Estudios de la Construcción – CENAC

1.1.3. Tierra para la VIS

Metrovivienda, una empresa industrial y comercial del Distrito Capital que revolucionó la forma de urbanizar en Bogotá, publicó en el año 2002 el libro Ciudadela El Recreo – Memoria del modelo de gestión de Metrovivienda en el cual se describen los fundamentos y decisiones que llevaron a su creación, con el fin de instaurar un sistema eficiente para facilitar la adquisición masiva de vivienda a las familias de bajos ingresos.

Se resalta a continuación un capítulo importante de este libro con respecto a los principales problemas de la oferta de tierra para VIS: restricciones a la oferta de VIS. En este capítulo se explican los principales factores que han impedido la expansión de la oferta de VIS relacionados de diferentes maneras con la presencia simultánea de bajos márgenes de ganancia y altos riesgos de gestión. Los factores se describen a continuación:

- Trámites previos a la construcción: estos trámites para un terreno rústico pueden tomar cuatro años hasta el momento de iniciar edificación y ventas; esto se origina principalmente porque para cada predio son diferentes las posibilidades de respuesta que tienen las empresas de servicios públicos para atender los requerimientos de empate de redes de un urbanizador debido a que la producción de VIS en escala se localiza en zonas periféricas.
- División predial de la tierra rústica: esta es otra causa de encarecimiento de los desarrollos de vivienda social. La mayoría de los terrenos periféricos son pequeños y además tienen formas caprichosas, apropiadas para la explotación agropecuaria pero no para darle forma a las ciudades. Debido a esto, el desarrollo de las urbanizaciones en la periferia implica costos más altos a los que se generan en predios grandes y con libertad de diseño en trazados de vías y redes.

- Normas urbanísticas: afectaciones, cesiones, densidades restringidas, alturas controladas y otras normativas buscan elevar la calidad de los desarrollos urbanos, pero presionan el alza de los precios en las urbanizaciones que las asumen generando, sin pretenderlo, la exclusión de franjas de población con pocos ingresos.
- Desarrollo predio a predio: este desarrollo encarece la ejecución de obras debido a que la gestión individual de predios involucra mayores inversiones en infraestructura por cada hectárea.
- Las plusvalías: Este fenómeno se refiere a que tan pronto como un terreno alcanza sus autorizaciones y asegura servicios, comercialmente su precio se eleva más allá de toda proporción, en relación con los costos de la infraestructura. Este fenómeno se da en todas las ciudades.
- El suelo: el suelo por sí mismo es un problema porque su mercado es altamente imperfecto y excluyente. Los terrenos urbanos siempre tienen precios superiores al costo de volverlos urbanos; este aumento del precio de la tierra que se urbaniza guarda entonces relación con el grado de escasez: entre menos tierra con estas características haya en oferta, bien porque no se produce o porque se retiene la existente, mayor es el precio que adquieren los predios urbanos. Estas son entre otras, las razones por las que la oferta de vivienda no evoluciona hacia las franjas poblacionales de menores ingresos, dejándole el espacio a los urbanizadores clandestinos.

1.1.4. Sostenibilidad

Un número importante de familias no tienen acceso a vivienda digna, conformando un déficit de vivienda superior al millón y medio de unidades en todo el país (UniAndes 2000). Esta situación de déficit debe ser mejorada para hacer sostenibles las ciudades pero el reto no es fácil porque la oferta de vivienda legal, que garantiza el cumplimiento de todas las normas, es demasiado costosa para el poder adquisitivo de las familias más necesitadas (actualmente la oferta legal más económica se encuentra alrededor de los 50 SMMLV).

A pesar de que el gobierno nacional otorga subsidios para la adquisición de vivienda propia, el monto de cada uno escasamente alcanza para cubrir la mitad del costo total de la vivienda (teniendo en cuenta que solo se alcanzan a suplir hasta 100.000 subsidios al año), lo cual implica que el usuario tiene que buscar la forma de cubrir el resto de la deuda.

Ante este panorama, es necesario buscar la manera de lograr la adecuada satisfacción de las necesidades de vivienda de la población, con condiciones realmente sostenibles. A continuación se presentan y describen algunas de las actividades de diferentes actores que se están llevando a cabo en este aspecto en el país.

Metrovivienda y FOREC

Estos dos esfuerzos han sido pioneros en el país en desarrollar en forma masiva proyectos de VIS. Uno de ellos vinculado al Distrito capital, y el otro gestado como respuesta al sismo del Eje Cafetero de enero de 1999. En ambos casos ha habido logros muy importantes, así como un aprendizaje muy valioso de aspectos a repetir y mejorar en el desarrollo de VIS. Se han generado a través de estos esfuerzos soluciones de vivienda que han llegado a muchas familias en Bogotá y el Eje Cafetero.

Vivienda progresiva

Una manera de ofrecer vivienda más accesible económicamente a las familias más necesitadas es la de aprovechar la progresividad de la vivienda. En una actividad liderada por Metrovivienda y desarrollada por la Universidad de los Andes se propusieron prototipos de vivienda progresiva, consistentes en una unidad básica o embrión de un área mínimamente habitable, la cual se entrega a la familia para un desarrollo progresivo, que se espera pueda ser acompañado técnicamente para no afectar las propiedades de sismo resistencia y otras relacionadas con el entorno.

El anterior Ministerio de Desarrollo, hoy en día fusionado con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, llevó a cabo un liderazgo importante para concertar un acuerdo de colaboración de los principales participantes en la cadena de producción de vivienda (constructores, proveedores, agremiaciones, entidades financieras, etc.) para buscar soluciones a los retos que se oponen al desarrollo de vivienda.

1.1.5. Inventario de sistemas constructivos para VIS

En el año 2000 Metrovivienda contrató con la Universidad de los Andes de Bogotá la elaboración de un inventario sobre los principales sistemas de construcción de VIS disponibles en Bogotá, y como resultado publicó el libro Vivienda de Interés Social: Inventario de Sistemas Constructivos.

El estudio analizó los sistemas encontrados desde una óptica estándar, utilizando únicamente información existente obtenida de proveedores, constructores y fabricantes de esos sistemas.

1.2. SISTEMA 3D PANEL

1.2.1. Clasificación del sistema

El sistema constructivo 3D Panel es un sistema de construcción basado en la utilización de paneles. Los paneles son prefabricados a escala industrial con los equipos y la asistencia técnica de Austria. Por medio de esta línea, totalmente industrializada, es posible producir paneles en serie para proyectos de construcción de cualquier tamaño.

Los paneles de 3D son fabricados en una línea de soldadura totalmente automática que ensambla los tres componentes: malla electrosoldada, aceros espaciadores y el núcleo aislante (poliestireno), conformando un elemento tridimensional. Una vez son colocados en posición los paneles en la obra se les aplica concreto por las dos caras.

Este es un sistema constructivo que comprende la construcción de la estructura vertical, la estructura horizontal, las fachadas, las cubiertas y la tabiquería. Se debe incorporar en obra la cimentación de acuerdo con el tipo de suelo, las puertas, las ventanas, los acabados en pisos, paredes, techos y exteriores, y las instalaciones hidráulicas, sanitarias, eléctricas y de gas natural.

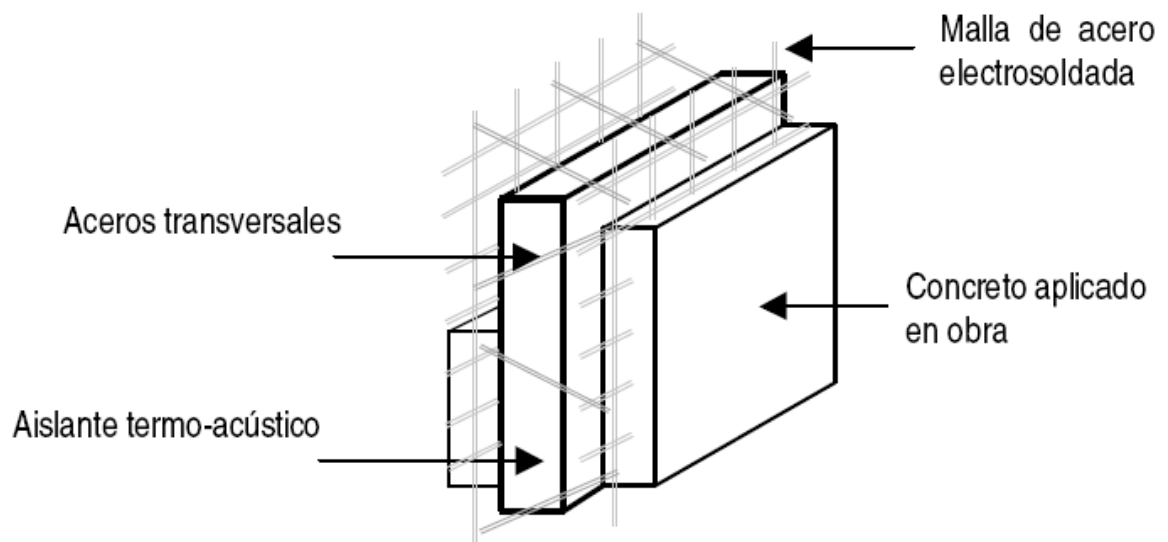
Una de las características del sistema es que se puede combinar con otros sistemas constructivos como por ejemplo la mampostería. Esta característica favorece un gran número de posibilidades tanto desde el punto de vista estructural, como desde el punto de vista de acabados.

1.2.2. Introducción al sistema

Aunque la idea de utilizar paneles para la construcción surgió en los Estados Unidos a principios de los 60, en ese momento eran fabricados con materiales costosos y no existía la tecnología para producirlos en serie, de una forma económica y eficiente.

El 3D PANEL consiste en una armadura tridimensional de acero electrosoldado con un núcleo aislante de poliestireno. El panel se coloca en posición y se le aplica concreto por ambos lados. El siguiente dibujo muestra un esquema conceptual del producto.

Figura 1: Esquema del 3D PANEL



Fuente: Sistema 3D estructural Bogotá DC.

3D PANEL se caracteriza por la introducción de los aceros espaciadores que atraviesan diagonalmente el núcleo poliestireno y que están electrosoldados a las dos caras de malla. Estos refuerzos mantienen el núcleo de poliestireno firme en su lugar, y forman la estructura tridimensional (3D).

Otras características de los paneles son:

- Producción automática de 3D PANEL con líneas de soldadura de alta velocidad.
- Los espaciadores diagonales mantienen el núcleo de poliestireno en su lugar firmemente. No permiten el desplazamiento del núcleo durante la aplicación del concreto lo que garantiza el recubrimiento del refuerzo, cumpliendo así normas estructurales.
- El espesor uniforme de cada cara del concreto y el posicionamiento adecuado de la malla de refuerzo, aseguran estructuras estéticamente seguras, con dimensiones precisas de módulos; tolerancia en longitud de ± 5 mm y tolerancia en ancho de ± 3 mm.
- No hay refuerzos espaciadores salientes. Los refuerzos se cortan en la superficie de la para evitar el óxido y las heridas al manejar los paneles.
- La estructura de acero tridimensional provee gran rigidez. Esta rigidez asegura: facilidad de instalación, de manejo y precisión.

1.2.3. Elementos del sistema

Los paneles están compuestos por mallas de acero electrosoldado de 5 x 5 cm de cuadrícula. Estas mallas tienen diámetros de 2, 2.5 y 3 mm según las especificaciones del diseño estructural.

El núcleo del panel está formado por un aislante de poliestireno expandido de alta densidad que no contiene clorofluoro carbonatos que destruyen la capa de ozono. Esta condición permite que el material pueda ser seguramente incinerado sin que se emita algún componente tóxico. El núcleo del panel cumple varias funciones

importantes: sirve como formaleta durante la aplicación de las capas de concreto, reduce la cantidad de concreto requerido a un mínimo garantizable, aloja las instalaciones hidráulicas, sanitarias y eléctricas, y proporciona excelentes propiedades termo acústicas a las construcciones, con los espesores del aislamiento que van de 40 a 100 mm.

Los espaciadores diagonales son de acero galvanizado y se encuentran soldados a las dos caras de malla con el objeto de mantener el núcleo de poliestireno firme en su lugar y formar una estructura rígida tridimensional. El número de espaciadores diagonales por metro cuadrado se determina con base en la resistencia al corte requerido. El diámetro de cada refuerzo diagonal es de 4.0 mm. El número de espaciadores diagonales puede ir desde 50 a 200 por m², de acuerdo con el espesor de los muros.

El concreto que se utiliza debe tener una resistencia mínima de 175 kg/cm² y se caracteriza por tener agregados de hasta 8 mm, razón por la cual en muchos casos es también llamado mortero. La fluidez del concreto puede variar según las costumbres que tengan los trabajadores para su manejo en la zona en la que se esté desarrollando el proyecto, siempre teniendo en cuenta que no se puede variar la resistencia del concreto. El espesor de la capa de concreto puede variar entre 25 a 60 mm según el diseño estructural del muro.

Tabla 3: Elementos del sistema

PANEL 3D	MALLA ELECTROSOLDADA	Se encuentran a los dos lados del panel y sus diámetros pueden variar entre 2 y 3 mm.
	NUCLEO DE POLIESTIRENO	Actúa como elemento aislante en el centro del panel y su espesor varía entre 40 y 100 mm según el tipo de muro.
	ESPACIADORES DIAGONALES	Son de acero galvanizado y su objetivo es mantener el núcleo en su posición. Su número puede variar entre 50 y 200 und/ m según el muro
CONCRETO		Tiene una resistencia de 175 kg/cm y se caracteriza por tener agregados de hasta 8 mm

Fuente: Fuente: Durapanel de Colombia S.A

1.2.4. Consideraciones estructurales

Aunque los paneles 3D PANEL se utilizaron originalmente para muros de carga y divisorios, también han resultado ser los más adecuados para diferentes sistemas de losas de entrepiso. La malla que cubre el panel 3D PANEL también sirve como refuerzo inferior o superior a las placas de piso. Este refuerzo es suficiente para luces de hasta aproximadamente 3 metros. Refuerzo adicional se puede agregar para luces de hasta aproximadamente 6 m.

Placas con luces mayores de 6 m deben ser provistas con refuerzos o vigas adicionales. Este sistema permite luces de hasta aproximadamente 8 m. Todos los muros en 3D PANEL se consideran como muros de carga y muros de corte y por lo tanto se pueden usar para trasladar cargas horizontales, como de viento y terremoto. Debido a los refuerzos adicionales, todas las uniones entre muros y entre muros y pisos son resistentes al esfuerzo cortante y aseguran una rigidez a flexión generando un efecto de capacidad de carga “modular” en toda la edificación. Para efectos de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10, el sistema constructivo se considera como muro y losa en concreto con aligeramiento.

1.2.5. Consideraciones arquitectónicas

El ancho estándar de los elementos 3D PANEL es de 1.20 m y sus longitudes son variables hasta los 12 m. Como regla general la altura estándar es de 2.40 m, medida que está de acuerdo con la altura normal de pisos. En obra los paneles pueden ser cortados y ajustados a diferentes formas y tamaños. Su flexibilidad permite responder fácilmente a las exigencias de cualquier diseño como voladizo, arcos, bodegas, curvas, etc...

Este sistema constructivo no provee acabados de ninguna naturaleza. Los acabados en pisos, paredes, techos y exteriores son aspectos que no se

encuentran considerados dentro del sistema como tal, pero el sistema brinda la posibilidad de aplicar sin ninguna restricción cualquier tipo de acabado.

Tabla 4: Aspectos del Sistema

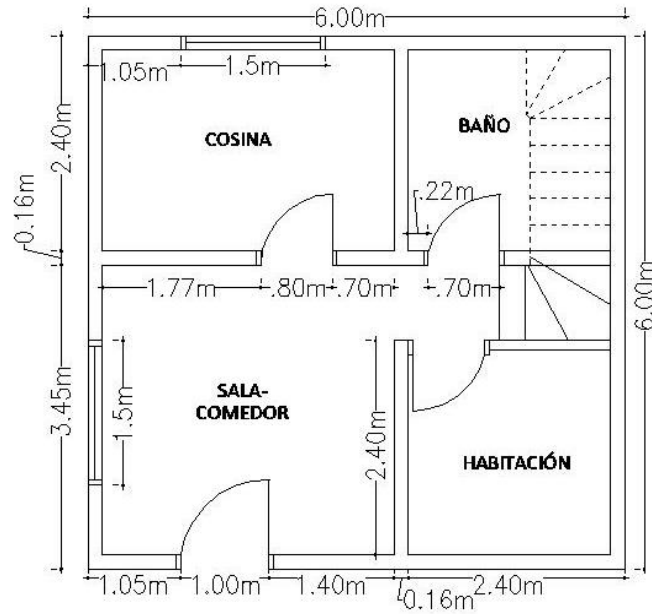
ASPECTOS	DESCRIPCION
Dimensiones	Altura = 2.40 m Longitud = 1.20 m – 12 m
Luces	Solo panel 3D = 3 m Panel 3D con refuerzo adicional = 6 m Panel 3D con vigas adicionales < 9 m
Acabados	Ninguno

Fuente: Fuente: Durapanel de Colombia S.A

1.3. SISTEMA DE VIS PROPUESTO POR 3D PANEL

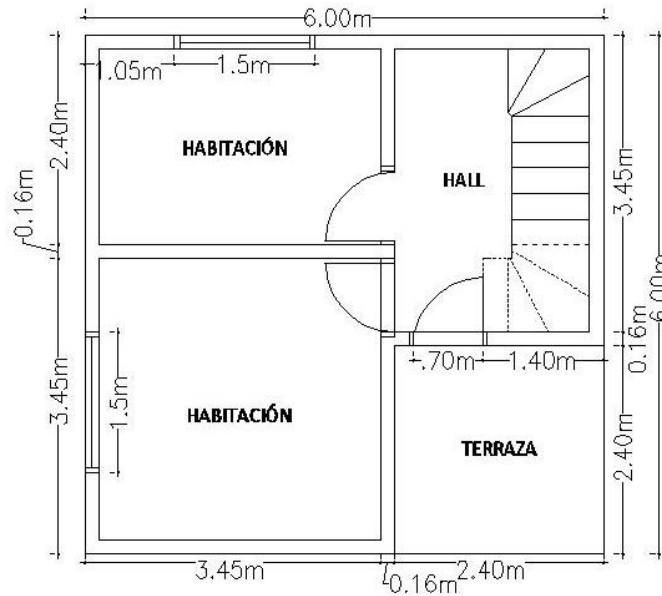
Uno de los principales objetivos de este trabajo de grado es buscar la viabilidad de la aplicación de los paneles en la construcción de viviendas de interés social, que posean óptima calidad y buenos rendimientos en cuanto a tiempo de vida, resistencia a condiciones climáticas rigurosas y bajo costo de mantenimiento. Para este proyecto se realizará el análisis sobre una vivienda de interés social de 36m².

Figura 2: Planta primer piso VIS



Fuente: Arquitecto Fabián Lizarazo

Figura 3: Planta Segundo piso VIS



Fuente: Arquitecto Fabián Lizarazo

Foto 1: Modelo de vivienda VIS



Fuente: Durapanel de Colombia S.A

Este modelo de vivienda fue tomado del manual de construcción colombiano para vivienda de interés social; ha sido usado en diferentes proyectos de construcción y será tomado como referencia para la investigación. Esta construida con base en paneles, remates y fijaciones. Algunas de sus principales características son:

- Es auto portante.
- Estructura de bajo peso, pocos requerimientos de cimentación.
- Construcción termo acústica.
- Sistema prefabricado de rápida instalación.
- Paneles instalados con acabados finales

1.3.1. Proceso constructivo casa tipo

Mano de Obra

La mano de obra no es muy numerosa ni especializada. Por lo general son personas de la zona a las que se les ha dado un entrenamiento de 2 a 3 días. Con una cuadrilla de un oficial y dos ayudantes se pueden alcanzar rendimientos de por lo menos 60 m/día. Con herramientas especializadas para el lanzado del concreto el rendimiento estimado es de 100 m/día.

Equipos

El peso liviano de los paneles evita la utilización de equipos costosos como grúas e implementos de izaje. Un panel con dimensiones de 1.20 por 2.40 metros tiene un peso aproximado de 18 kg; por lo tanto puede ser cargado y manejado por una sola persona.

- Máquina de lanzado de mortero: Para proyección de mortero con máximo rendimiento y eficiencia, especialmente recomendado para obras de gran volumen.
- Hopper gun: Para proyección de morteros en pequeñas obras.
- Compresor: Como complemento de Hopper gun. Los compresores trabajan con 3HP aproximadamente y con una presión de no más de 100 lbs.
- Amoladora: Para los cortes de los paneles según necesidades de diseño.
- Cizalla: Para los cortes de malla en zonas puntuales, como cajetines, pases de ventilación, etc. Pueden ser reemplazadas por sierras eléctricas recíprocas con navajas de no menos de 20 cm de longitud.
- Pistola de aire caliente o soplete: Para generar los espacios entre poliestireno expandido y malla, por donde se tienden todas las instalaciones.
- Gancho o amarrador común (“Bichiroque”): Para alambre recocido, utilizado en el amarre de las mallas de traslape.

- Escaleras plegables y andamios o tablonos: Si la altura de los muros lo requiere.

Almacenamiento

La estructura tridimensional del panel puede ser almacenada al aire libre o bien en galpones, pero es conveniente esto último, para evitar la alteración de la malla. Además, cuando se almacena a la intemperie, los paneles deber asegurados ya que por su peso liviano pueden ser removidos por vientos de intensidad.

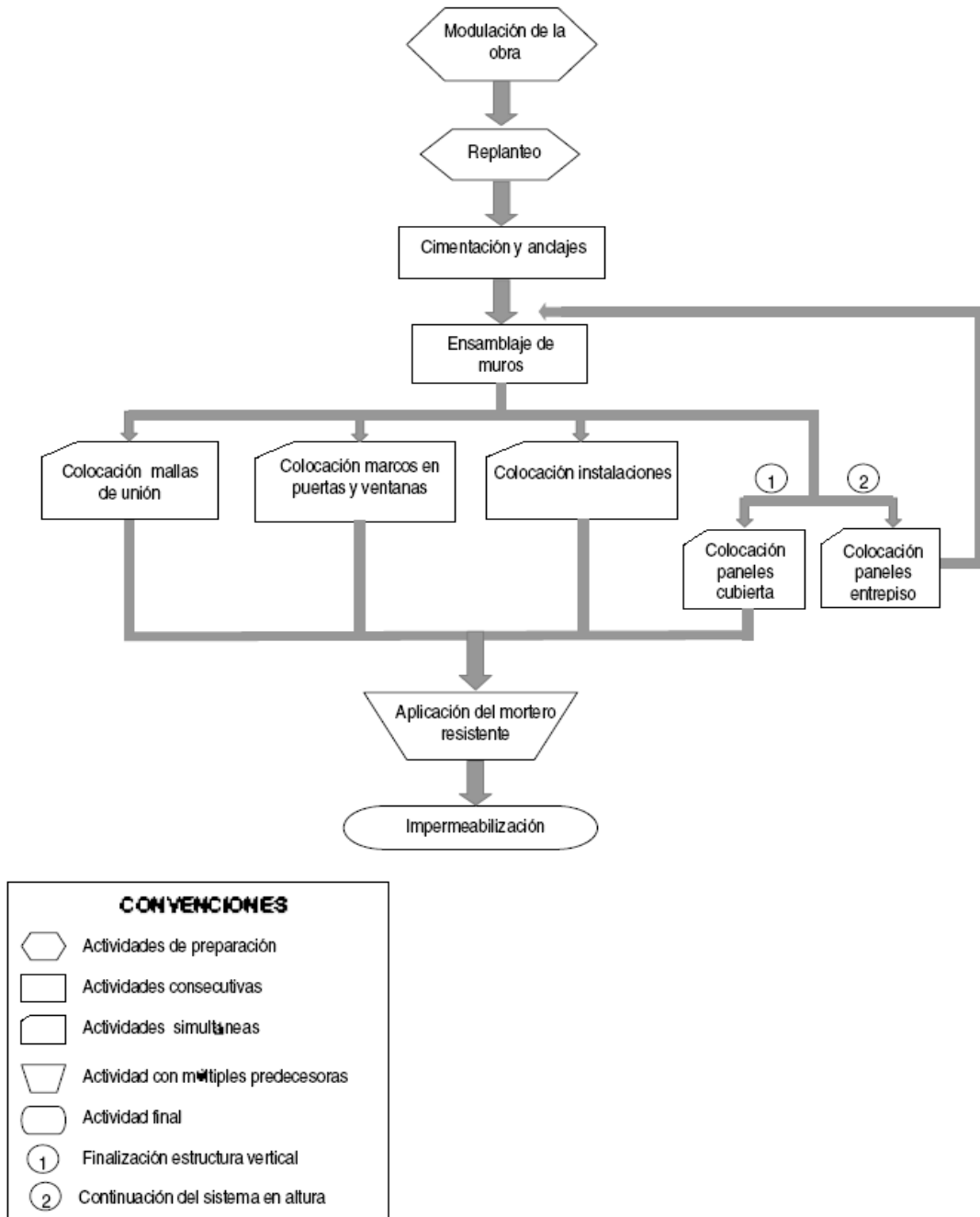
Cabe señalar que la facilidad del manejo que brindan las estructuras tridimensionales y su bajo peso, permite su descarga de los camiones rápidamente sin necesidad de equipo especial, aunque se recomienda el uso de guantes para proteger las manos de los operarios.

Rendimiento

Con una cuadrilla de un oficial y dos ayudantes se pueden alcanzar rendimientos de por lo menos 60 m/día. Con herramientas especializadas para lanzamiento de mortero el rendimiento estimado es de 100m/día. En ambos casos el rendimiento solo incluye la construcción de la estructura, sin tener en cuenta los acabados.

Descripción del proceso

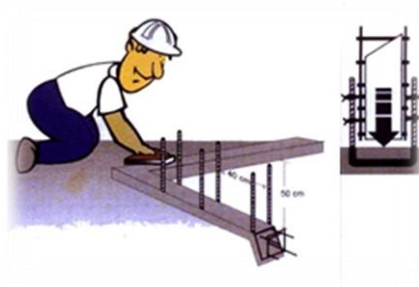
Figura 4: Diagrama de flujo



Fuente: Sistema 3D estructural Bogotá DC.

Esquema del proceso

Figura 5: Construcción de la cimentación y colocación refuerzo de arranque.



Fuente: Shanghai Zhongji Foamplastics Machinery Co., Ltd.

Figura 6: Colocación de los paneles verticales de pared.



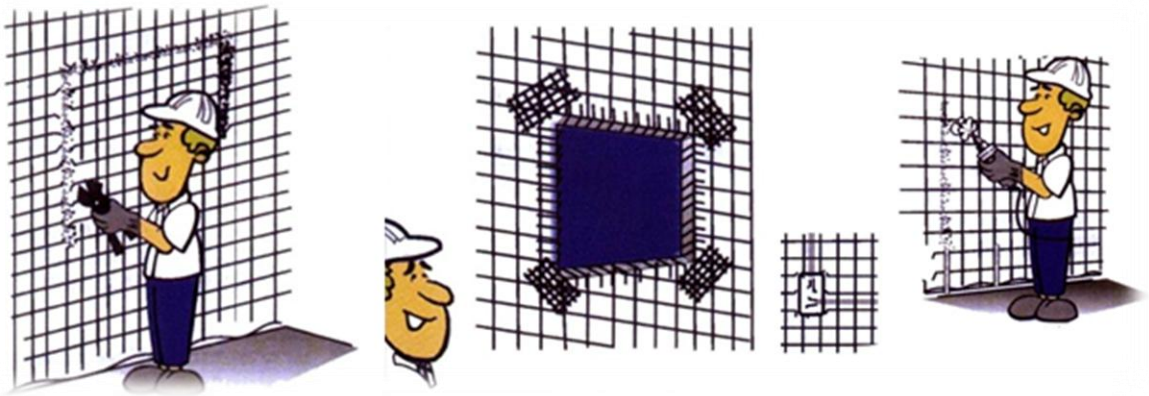
Fuente: Shanghai Zhongji Foamplastics Machinery Co., Ltd.

Figura 7: Colocación de instalaciones y refuerzo de unión entre paneles



Fuente: Shanghai Zhongji Foamplastics Machinery Co., Ltd.

Figura 8: Montaje de paneles con vanos para ventanería.



Fuente: Shanghai Zhongji Foamplastics Machinery Co., Ltd.

Figura 9: Montaje de paneles de placa, cerramiento de la estructura, lanzamiento del concreto y acabados de la superficie.



Fuente: Shanghai Zhongji Foamlastics Machinery Co., Ltd.

Modulación de la Obra

Lo más conveniente para el despiece, es hacerlo primero en planos. Esto significa que se puede cortar el panel en la posición que se desee, evitando seccionar los alambres espaciadores.

Foto 2: Modulación de la obra con tridipanel



Fuente: Tridipanel – Manual de ensamble para el proceso constructivo

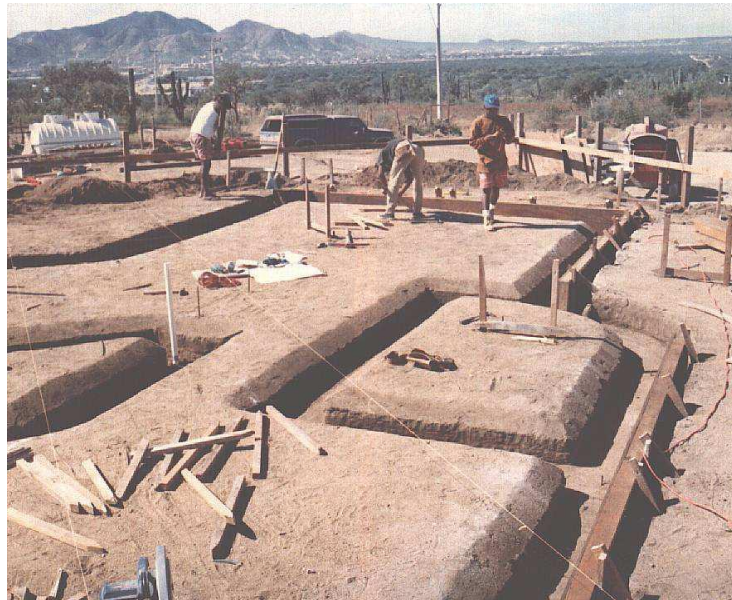
Replanteo

Sobre la fundación se deber replantear el contorno de todos los muros y tabiques, con el espesor del núcleo de Poliestireno Expandido correspondiente (50/64/100 mm). Además, para un rápido ensamblaje de los paneles y muros, es recomendable marcar sobre la fundación, las aberturas de los muros. Con esto se puede referenciar más fácilmente el diseño, hecho previamente en planos, así como de revisión del alineamiento de las barras.

Fundación y Anclajes

Entre los diferentes métodos de anclaje para este tipo de sistema constructivo existen varias opciones, dentro de las cuales se encuentran los métodos de fundación tradicional. Es de considerar que para el mejor replanteo y fijación, el método más conveniente es el de una losa de fundación. La fijación del sistema a la fundación se realiza mediante el uso de barras de anclaje, que si no son incorporadas en el momento del vaciado de concreto, se realizan perforaciones en la fundación sobre las líneas que se han replanteado mediante mechas con taladro rotopercutor. La disposición de las perforaciones se realiza sobre los bordes replanteados que corresponden al espesor del poliestireno expandido del muro a fijar, realizándose cada 60 cm en ambas caras de la pared, en forma alternada, o bien en ambas caras a la misma altura enfrentadas. En el caso de muros con empujes laterales de importancia las barras pueden ser ancladas a la armadura de la losa de fundación, o bien fijadas con epóxico que se coloca en las perforaciones, previo a la inserción de la barra.

Foto 3: Excavacion de cimentacion



Fuente: Tridipanel – Manual de ensamble para el proceso constructivo

La correcta ubicación de las barras debe darse entre la placa de poliestireno expandido y la malla, para lo cual es aconsejable realizar una pequeña canaleta con soplete para que se forme un espacio que asegure el recubrimiento total de la barra. Es muy importante que el poliestireno expandido detrás de la varilla, sea derretido por lo menos 3 cm de profundidad, para garantizar adherencia. Se requiere un estudio de las necesidades de anclaje para determinar el tipo y la cantidad de las barras, siguiendo la línea general expresada anteriormente (según lo indique el cálculo o verificación correspondiente).

Foto 4: Placa de cimentacion



Fuente: Tridipanel – Manual de ensamble para el proceso constructivo

Las estructuras con sistema 3D PANEL son alrededor del 40% más livianas que las construcciones en concreto o mampostería tradicional, lo que puede permitir un ahorro en la construcción de los cimientos. Este ahorro se puede apreciar en construcciones de dos pisos en adelante o en suelos con características especiales, ya que para construcciones de un solo piso la cimentación debe

cumplir con los cálculos de dice o mínimo que exige la norma NSR-10 (losas de cimentación con alturas mínimas de 10-12 cm y vigas de amarre corridas bajo muro de 30 cm de ancho y 20 cm de altura).

Ensamblaje de muros

Se recomienda revisar que las barras no hayan perdido la alineación en el momento del vaciado de la losa de fundación. Si por alguna razón están desalineadas, es importante situarlas en su posición correcta sin doblarlas demasiado y por ninguna razón calentarlas con soplete.

Para facilitar el ensamble entre paneles se deber comenzar con el montaje de las esquinas. Con ello y por la rigidez del panel se podrá asegurar la alineación de la pared y su perpendicularidad. Una vez realizada esta operación, se colocan las estructuras tridimensionales levantándolas y deslizándolas en las barras o anclas que se dejaron preparadas en la fundación, o bien las que se colocaron posteriormente. Por otra parte siempre se debe constatar que los anclajes queden situados entre la malla y la placa de poliestireno del panel.

Foto 5: Ensamble de los paneles a la cimentacion



Fuente: Tridipanel – Manual de ensamble para el proceso constructivo

Al colocar el panel, se llega a alguna parte del muro donde se instalarán conductos (sanitarios o eléctricos). Se recomienda que la estructura sea preinstalada y que se marque y determine la altura de dicha instalación, de esta manera se tendrá la posibilidad de hacer una cavidad en la placa de poliestireno expandido antes de colocar el panel en su posición definitiva. En el caso de las instalaciones que corren horizontales, se procede simplemente a realizar la abertura en la placa de poliestireno expandido con la ayuda de un soplete para luego deslizar la tubería por la canaleta así formada entre la malla y la placa. Cuando se trata de tuberías flexibles su colocación es mucho más fácil que cuando se trata de tuberías rígidas.

Colocación de las mallas de unión o solape

Al colocar las estructuras de panel en su posición, estas se pueden asegurar con sus respectivas mallas de unión en las cuales deberán ser del mismo calibre de la malla de la estructura. Se deberán fijar con alambre o grapadoras neumáticas. Si la fijación se realiza con grapas, se recomienda utilizar alrededor de 18 grapas por cada malla de 30 x 120 cm, repartidas en ambos lados y al centro de la misma, asegurándose que esta quede completamente adherida al panel. En las esquinas deberán emplearse malla con forma de L de 30 cm (ancho) interior, y de 60 cm exterior. Esto proporciona suficiente acero de refuerzo para evitar, en algunos casos, el refuerzo o columnas en las aristas.

Foto 6: Ensamble de las mallas de unión o solape



Fuente: Tridipanel – Manual de ensamble para el proceso constructivo

De la misma manera que mencionamos para las esquinas, deberá realizarse para la unión de la cubierta con el muro y también en las cumbreras. En los marcos de puertas y ventanas las mallas a utilizar deberán ser con forma de U. Estas mallas no deberán omitirse en ninguna unión realizada entre estructuras panel.

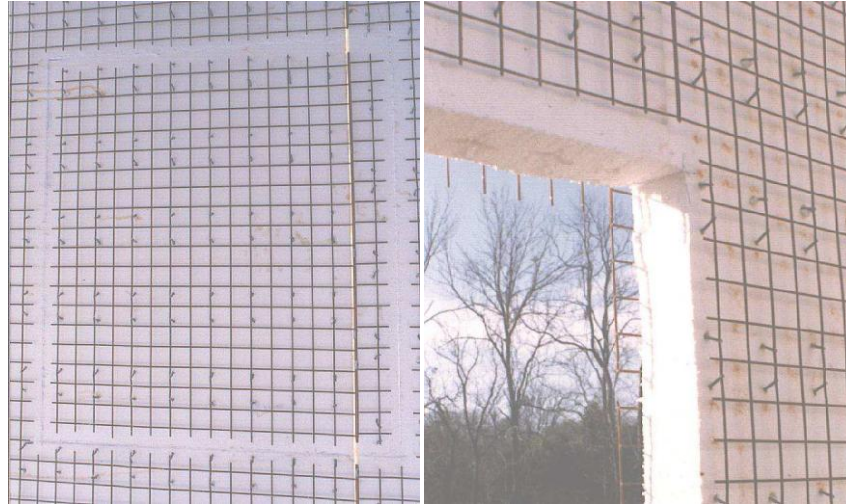
Colocación de marcos en puertas y ventanas

Se recomienda marcar primero en los paneles ya ensamblados, la ubicación de las ventanas, puertas o aberturas en general. Esto puede hacerse de diferentes formas, como por ejemplo: marcadores de color, aerosoles, tiza, etc. Es de suma importancia no hacer recortes hasta después de asegurada totalmente la cubierta o entepiso (siguiente paso), para no restar resistencia al panel innecesariamente. En el caso de que por alguna razón se tenga que realizar antes de colocar los paneles de la losa, se deberán hacer de la siguiente forma:

- Chequear que la ubicación, dimensión y altura de dichas aberturas están de acuerdo al proyecto. Posteriormente, se cortara la malla de un lado de la estructura panel, siguiendo el contorno de la marca hecha con anterioridad.
- Terminada esta operación, se deberá colocar la malla U en todo el contorno de la abertura. Finalmente deberá colocarse la malla de refuerzo en diagonal en las esquinas interiores y exteriores de las aberturas. Es importante colocar barra de refuerzo en los dinteles de las ventanas ó aberturas en general.
- Se ubican en posición los marcos y en los puntos donde se desplieguen las pestañas de fijación se ahueca el Poliestireno Expandido. De esta manera al proyectarse el concreto, la carpintería queda fija al muro.
- Los marcos de las puertas y ventanas se pueden colocar antes del proyectado, sin embargo, se debe tener especial cuidado protegiéndolos. Si el mortero ha sido colocado, se han hecho los retoques en las aberturas y se ha producido el fraguado correctamente, las grapas de fijación o tacos utilizados, podrán quedar fijados de manera que los marcos no agrieten el muro. El proceso de instalación ser el mismo que en muros de bloques o ladrillos.
- Se recomienda la utilización de algún protector de humedad alrededor de los marcos de las ventanas para evitar filtraciones (por ejemplo producto

con base en siliconas), como el colado de mortero resistente en pre marcos para rigidizar y proteger contra la corrosión del mismo.

Foto 7: Colocación de marcos en puertas y ventanas



Fuente: Tridipanel – Manual de ensamble para el proceso constructivo

Instalaciones

Una vez que las estructuras de panel están ensambladas adecuadamente en su lugar o inclusive mientras se van ensamblando, se podrá iniciar la instalación de los servicios. Este proceso se hace de la siguiente manera:

Aprovechando el espacio que existe entre la malla y la placa de Poliestireno Expandido, se podrán colocar las diferentes tuberías (ya sean eléctricas, de gas o sanitarias, sin importar el tipo de material ni que sean rígidas o flexibles). Para realizar esta tarea simplemente se marcar la ubicación de las cajas o registros eléctricos, así como la trayectoria de la tubería. Posteriormente se deslizaran las tuberías por las cavidades y se sujetaran a las cajas eléctricas, para después cablear de acuerdo con el proyecto. Los cajetines o llaves deberán proyectarse hacia afuera de la malla, lo suficiente para que queden posicionadas respecto de la superficie terminada del mortero proyectado.

Foto 8: Instalaciones



Fuente: Tridipanel – Manual de ensamble para el proceso constructivo

Para las instalaciones sanitarias se recomienda que la tubería metálica evite el contacto con la estructura panel recubriéndola con plástico o protegiéndola al correrla por el centro del elemento. No se debe olvidar tapar los cajetines, interruptores o salidas sanitarias, para evitar cualquier taponamiento por el mortero proyectado sobre los paneles de la estructura panel.

Colocación de paneles en la cubierta o entrepiso

Los paneles se pueden fabricar en longitudes variables para obras de diferentes magnitudes y además es muy fácil de ensamblar dos paneles sucesivos, por lo tanto la colocación en cubierta es muy sencilla y rápida. Para eso se deberán tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Asegurarse que los ángulos entre los muros y los techos con pendientes están correctos para evitar contratiempos.
- La colocación de paneles, se realizara de acuerdo con la modulación de los planos y asegurándose que su ubicación sea en el sentido más corto de la losa a cubrir. Luego se deberá sujetar con una malla unión tanto en la parte inferior como en la superior, sin omitir ninguna unión.
- Luego se colocaran parte de los apuntalamientos, en los que se buscara que los espacios entre los puntales, permitan al personal trabajar con total seguridad y comodidad.
- Es recomendable en lo posible, colocar la totalidad del apuntalamiento una vez fijados los paneles, a distancias de aproximadamente 2 m como máximo. Se recomienda la colocación de una malla unión con los muros el mismo día, para evitar cualquier problema en caso de vientos imprevistos.

Foto 9: Panel de entrepiso o cubierta



Fuente: Tridipanel – Manual de ensamble para el proceso constructivo

Aplicación del mortero/concreto resistente

Se pueden cubrir los paneles con concreto mediante diversos métodos de aplicación. El concreto se puede aplicar manual o mecánicamente utilizando un proceso de lanzado húmedo (bomba de mortero) o uno seco (pistola). El grosor del concreto varía, pero usualmente es dos veces la distancia entre la cara del poliestireno y la malla de refuerzo. En muchos casos las especificaciones piden 35 mm de concreto a cada lado del panel. Para asegurar una resistencia a la corrosión, la malla de acero debe estar recubierta como mínimo de por lo menos 15 mm en un ambiente normal. En un ambiente agresivo, el grosor del recubrimiento de concreto tiene que ser mayor a 20 mm. No es necesario que todos los trabajos que se desarrollan en los paneles del sistema constructivo estén terminados para poder empezar a aplicar el concreto, esta actividad se puede iniciar en el exterior de la edificación mientras las tuberías eléctricas o sanitarias se están colocando en el interior de la misma. Esta es una operación que permitirá acelerar la obra, pero es muy importante la buena programación para que no se entorpezcan entre sí las cuadrillas de trabajo. Para el proceso de proyección del concreto se podrán utilizar varios sistemas de aplicación. Cada sistema tiene su propio método de guías o maestras y de terminado para lograr la superficie deseada. La clase de sistema a ser usado se determina según la estructura que se va a construir.

El tipo de sistema de lanzado que se elija depende de las características finales deseadas. La forma más eficaz es utilizando maquinas para lanzado de concreto. Esto facilita la tarea, brindando mayor rapidez y un costo cada vez más accesible. También se pueden usar baldes de proyectado (Hopper gun) aunque con este método el rendimiento es inferior. La aplicación podrá hacerse también en forma manual, considerando que los rendimientos son muy bajos y vigilando que la primera capa llegue hasta cubrir la malla para que después que haya fraguado se pueda aplicar la segunda capa hasta llegar al espesor deseado.

Foto 10: Proceso de lanzado húmedo mortero



Fuente: Tridipanel – Manual de ensamble para el proceso constructivo

Después del curado, se puede aplicar un afinado normal liso o con texturas; este terminado se puede pintar. Es importante verificar que todas las juntas entre paneles de muros y losa están correctamente unidas antes del vaciado del concreto.

En techos y entrepisos la capa superior deberán ser de concreto con 4 cm de espesor como mínimo, y que asegure por lo menos una resistencia de 210/230 Kg/cm², cuidando que el agregado pétreo tenga un tamaño máximo de 3/8".

Impermeabilización

La impermeabilización que se deberá utilizar en las losas podrá ser cualquier tipo de aplicación tradicionalmente utilizada en losas de concreto.

Ampliaciones

El sistema es fácilmente ampliable, tanto en la misma planta como en vertical, para ello se deberá tomar en cuenta las mismas consideraciones en cuanto a las fijaciones y anclajes (barras y mallas de unión). Los elementos para estos casos

son los mismos y cabe aclarar que las ampliaciones se puedan también realizar a partir de una construcción tradicional de mampostería.

Consideraciones especiales

El concreto que se utiliza debe tener una resistencia de 175 kg/cm con agregados de hasta 8mm. Cuando se utiliza este sistema constructivo para placas de entrepiso, el mortero que va bajo placa debe tener siempre un plastificante para facilitar su manejo. Cuando se utiliza en fachadas se recomienda utilizar morteros con fibras de Nylon hidrosaturadas para incrementar la durabilidad de la superficie.

Foto 11: Vivienda terminada - Tridipanel



Fuente: Tridipanel – Manual de ensamble para el proceso constructivo

1.3.2. Análisis económico comparativo del sistema 3D PANEL

3D PANEL es un sistema competitivo desde el punto de vista de rendimientos en obra y que resulta económico desde el punto de vista del ahorro en los gastos de mano de obra y administración debido precisamente a su eficiencia en la construcción. Este es un sistema que puede resultar bastante viable en casos de soluciones de vivienda bajo situaciones de emergencia ya que es una alternativa que ofrece estabilidad y eficiencia, factores necesarios en el caso de la ocurrencia de fenómenos naturales adversos como terremotos, inundaciones o tsunamis.

Con este análisis se pretende revisar la viabilidad económica de la utilización del 3D PANEL para la construcción de viviendas de interés social. Para este fin se presenta a continuación un análisis de costos en el que se compararan los gastos de construir una vivienda (casa utilizada en el modelo) usando tres sistemas constructivos diferentes; mampostería confinada, mampostería estructural, sistema 3D PANEL.

Para el análisis económico comparativo sólo se tuvieron en cuenta los aspectos que hacían diferencia entre un sistema y el otro, es por esta razón que en el análisis de costos directos no se tienen en cuenta aspectos como carpintería, loza, cimentación, etc. Ya que estos son iguales y generan el mismo costo utilizando cualquiera de estos sistemas.

Estudio construcción utilizando mampostería confinada

Tabla 5: Mampostería confinada

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS				
VIVIENDA DE INTERES SOCIAL 36M2				
ACTIVIDAD	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Valor Total
1. CUBIERTA				
1.1 CANAL LATON D/0.50	ml	20.794	12,76	265.331,44
1.2 TEJA ETERNIT NO.8	m ²	26.757	39,24	1.049.944,68
2. ESTRUCTURAS EN CONCRETO				
2.1 COLUMNAS	m ³	587.248	1,98	1.162.751,04
2.2 VIGAS AEREAS	m ³	582.143	4	2.389.114,87
3. MAMPOSTERIA				
3.2 MURO PRENSADO SANTA FE 0.12	m ²	48.789	69,16	3.374.247,24
4. PAÑETE				
4.1 PAÑETE LISO MUROS 1:5	m ²	7.766	88,19	684,885
4. PINTURA				
4,1 PINTURA DOS MANOS SOBRE PAÑETE	m ²	2.935	88,19	258.837,65
TOTAL COSTOS DIRECTOS				\$8.500.226,92

Fuente: Centro Nacional de Estudios de la Construcción – CENAC

Estudio construcción utilizando mampostería estructural.

Tabla 6: Mampostería estructural

ANALISIS DE COSTOS DIRECTOS				
VIVIENDA DE INTERES SOCIAL 36M2				
ACTIVIDAD	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Valor Total
1. CUBIERTA				
1.1 CANAL LATON D/0.50	ml	20.794	12,76	265.331,44
1.2 TEJA ETERNIT NO.8	m ²	26.757	39,24	1.049.944,68
2. MAMPOSTERIA				
2.1 MURO EN LADRILLO ESTRUCTURAL SANTA FE 0.15	m ²	96.446	69,16	6.670.205,36
3. PAÑETE				
3.1 PAÑETE LISO MUROS 1:5	m ²	7.766	88,19	684,885
4. PINTURA				
4.1 PINTURA DOS MANOS SOBRE PAÑETE	m ²	2.935	88,19	258.837,65
TOTAL COSTOS DIRECTOS				\$8.244.319,13

Fuente: Centro Nacional de Estudios de la Construcción – CENAC

Estudio construcción utilizando paneles 3D PANEL

La siguiente información fue suministrada a febrero del año 2000 por los proveedores del sistema 3D Panel en Colombia, Sistema 3D Estructural S.A.

La mano de obra que se utiliza no es especializada y por lo general son personas de la zona. El rendimiento de mano de obra es de 60m²/día con una cuadrilla de un oficial y dos ayudantes sin herramienta especializada y de 100m²/día con herramienta especializada. El costo estimado de mano de obra para instalación es del orden de \$1.800/m² y para afinado de muro por las dos caras es de alrededor de \$3.900/m².

El costo por metro cuadrado construido es de alrededor de \$117.000/m². Este costo solo incluye la estructura en 3D y no tiene en cuenta los costos de cimentación, puertas, ventanas, cubierta, instalaciones y acabados.

Teniendo el costo construido por m² y el área total de la vivienda, calculamos el costo total de la vivienda.

$$\text{Costo VIS 3D PANEL} = \$ 117.000 * 69 \text{ m}^2$$

$$TOTAL = \$ 8'073.000$$

Como se puede ver en los estudios anteriores el sistema 3D PANEL es viable desde el punto de vista económico ya que tanto sus costos directos e indirectos, como eficiencia y rendimiento son mejores que los de los otros sistemas comúnmente usados para este tipo de construcciones.

1.4. FUERZA SISMICA ACTUANTE EN LA ESTRUCTURA

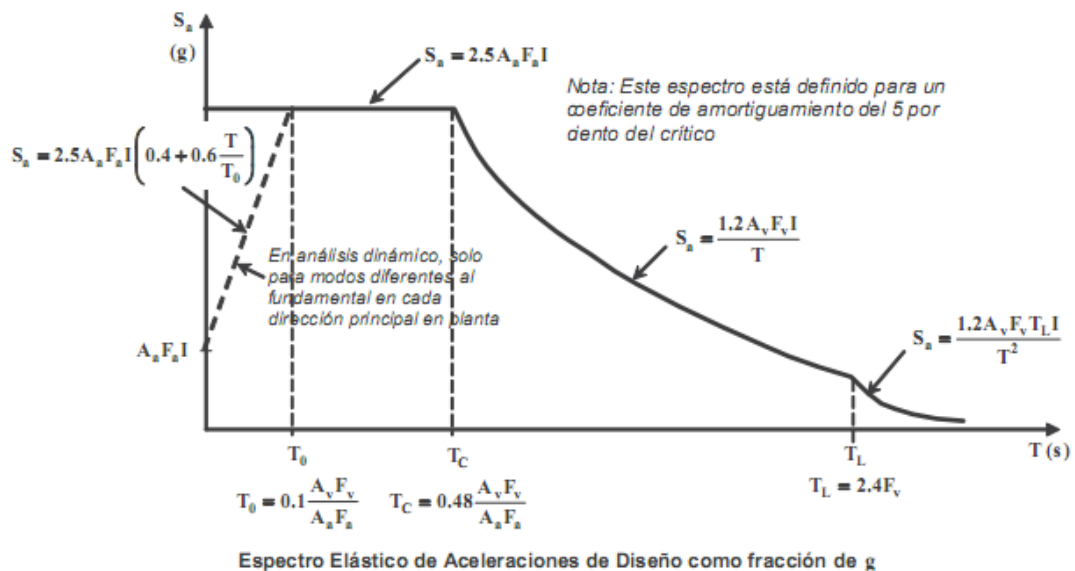
1.4.1. Método de la fuerza horizontal equivalente

El cortante sísmico en la base, V_s , equivalente a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección en estudio, se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_s = S_a * g * M$$

El valor de S_a en la ecuación anterior corresponde al valor de la aceleración, como fracción de la gravedad leída en el espectro definido a continuación, para el periodo de la edificación obtenido:

Figura 10: Espectro elástico de aceleraciones de diseño



Fuente: NSR-10

Periodo fundamental y 6 siguientes periodos (sap2000):

Tabla 7: Periodo fundamental

TABLA DE PERIODOS Y PARTICIPACION DE MASA			
OutputCase	MODO	Period	Part. Masa
Text	Unitless	Sec	Unitless
<i>MODAL</i>	<i>1</i>	<i>0.0394</i>	0.8

Fuente: Autores

La fuerza sísmica horizontal, **F_x**, en cualquier nivel *x*, para la dirección en estudio, debe determinarse usando la siguiente ecuación:

$$F_x = C_{vx} * V_s$$

$$C_{vx} = \frac{m_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^n m_i * h_i^k}$$

Donde **k** es un exponente relacionado con el período fundamental, **T**, de la edificación de la siguiente manera:

- (a) Para T menor o igual a 0.5 segundos, $k = 1.0$,
- (b) Para T entre 0.5 y 2.5 segundos, $k = 0.75 + 0.5T$, y
- (c) Para T mayor que 2.5 segundos, $k = 2.0$

Se calcula el valor de T_c :

$$T_c = 0.48 \frac{A_v * F_v}{A_a * F_a} = 0.6469$$

Aa y **Av** (tabla A.2.3-2 NSR-10):

Ciudad: Bucaramanga

$$A_a = 0.25$$

$$A_v = 0.25$$

Zona Sísmica: Alta

Fa (tabla A.2.4-3 NSR-10) y **Fv**(tabla A.2.4-4 NSR-10)

Se utilizó un perfil de suelo tipo C, el cual está constituido por suelos densos o roca blanda.

$$F_a = 1.15$$

$$F_v = 1.55$$

Coficiente de importancia: I

Estructura de ocupación normal, grupo 1

I (tabla A.2.5-1 NSR-10)

$$I = 1.00$$

$$T = 0.0394$$

El periodo fundamental es menor que el Tc, por tanto:

$$Sa = 2.5 * Aa * Fa * I = 0.7188$$

$$Sa = 2.5 * 0.25 * 1.15 * 1.00$$

$$Sa = 0.7188$$

Análisis de carga muerta

Tabla 8: Cargas de la estructura.

	espesor (m)	altura (m)	area (m2)	Peso (KN/m2)	peso (KN)	Peso (To)
acabados	L=6*6=36m		36	1.6	57.6	5.76
muros		2.4	86.4	1.44	124.416	12.4416
placa			36	1.44	51.84	5.184

total	233.856	23.3856
-------	---------	---------

Fuente: Autores

Carga sísmica actuante F_x ($k = 1.0$)

Tabla 9: Carga sísmica actuante

Entrepiso	m_x [Ton]	h_x [m]	$m_x h_x^k$	C_{vx}	F_x [KN]
1	23.3856	2.55	59.63328	1	164.72

Fuente: Autores

Dado al análisis dimensional esta fuerza sísmica en el modelo a escala debe ser 25 veces menor que la fuerza en el modelo real.

$$\frac{164.72}{25} = 6.59 \text{ KN} = F_{x_{\text{modelo a escala}}}$$

2. MODELAMIENTO PRÁCTICO DE LA EDIFICACIÓN

2.1. ANÁLISIS DIMENSIONAL

Se plantea la construcción de un modelo a escala **1:5**, de la configuración para vivienda de interés social (VIS), de dos pisos, mostrada anteriormente, de sistema constructivo **3DPANEL**.

El uso de modelos a escala permite abordar problemas complejos, reduciendo el tamaño de los equipos experimentales necesarios y en consecuencia los costos. Se pueden obtener resultados de precisión adecuada siempre y cuando se tenga el debido cuidado con los factores de escala utilizados.

Dependiendo de qué variable es la fundamental en el experimento y las capacidades de los equipos de ensayo (fuerzas máximas, desplazamientos, tamaño), es más conveniente utilizar un criterio u otro en la selección óptima de los factores de escala. Así, **Kim et al.** (2004), para el caso de modelos de igual material que el prototipo y considerando un factor de escala $S = \frac{L_p}{L_m}$, para las longitudes.

2.1.1. Factores de escala

Como el factor de escala de las tensiones está definido como 1, pues se trata del mismo material en modelo y prototipo:

Tabla 10: Factores de escalas utilizadas

VARIABLE	FACTOR DE ESCALA
LONGITUD (L)	$SL = Lp/Lm$
AREA (A)	$SA = SL^2$
VOLUMEN (V)	$SV = SL^3$
ESFUERZO (S)	$SS = Sp/Sm$
MODULO DE ELASTICIDAD (E)	$SE = SS$
PESO ESPECIFICO (γ)	$s\gamma = \gamma p/\gamma m$
DESPLAZAMIENTO (U)	$SU = SL$
FUERZA (F)	$SF = (SL^2)*SS$

Fuente: Autores

La predicción de la respuesta en el rango inelástico puede diferir de la respuesta del prototipo pues las leyes de similitud generalmente se derivan en el rango lineal. Este efecto lo estudian **Kim et al.** (2004) al comparar las respuestas de una columna de acero prototipo y un modelo reducido de ésta.

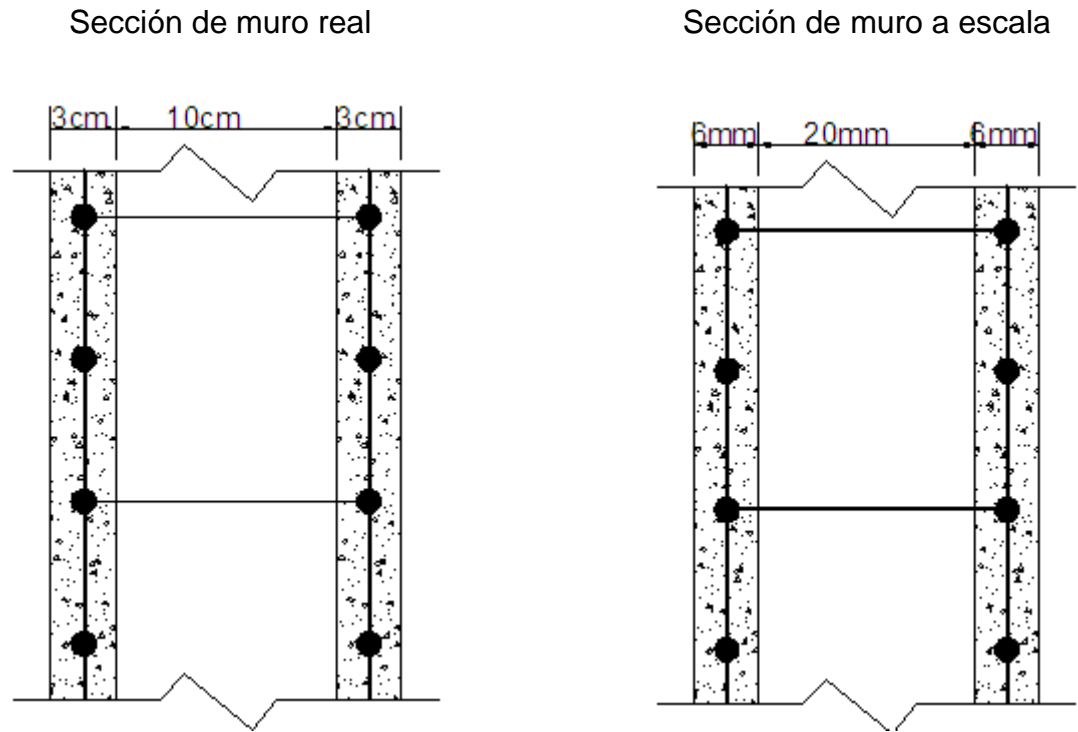
Tabla 11: Escalas utilizadas

VARIABLE	FACTOR DE ESCALA
LONGITUD (L)	SL = 5.00
AREA (A)	SA = 25.00
VOLUMEN (V)	SV = 125.00
ESFUERZO (S)	SS = 1.00
MODULO DE ELASTICIDAD (E)	SE = 1.00
PESO ESPECIFICO (γ)	s γ = 125.00
DESPLAZAMIENTO (U)	SU = 5.00
FUERZA (F)	SF = 25.00

Fuente: Autores

2.1.2. Espesor de los muros y de la placa de entrepiso

Figura 11: Espesor Muros



Fuente: Autores

2.1.3. Acero de refuerzo (Malla electrosoldada)

La malla electrosoldada de refuerzo del mortero del sistema constructivo 3D-Panel está conformada por alambre galvanizado de $F_y=600\text{MPa}$ de diámetro 3mm cada 65mm en ambas direcciones.

Dado a que el máximo esfuerzo de fluencia que se encontró en el mercado para acero galvanizado de diámetros pequeños fue de $F_y=300\text{MPa}$, fue necesario proporcionar más acero por unidad de longitud de muro para igualar el esfuerzo requerido sin cambiar la escala de esfuerzos ($SS = 1.00$).

Partimos de la ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$600\text{Mpa} = \frac{F}{A = \text{acero proporcionado/m}}$$

$$600\text{Mpa} = \frac{F}{\frac{3\text{mm}^2}{2} * \pi * \left(\frac{1000\text{mm}}{65\text{mm}}\right)}$$

$$600\text{Mpa} = \frac{F}{108.75\text{mm}^2}$$

$$F = 600\text{MPa} * 108.75\text{mm}^2 = 65.25 \text{ KN}$$

65.25 KN = Fuerza necesaria para hacer alcanzar la fluencia del acero presente en un metro de muro real.

$$\frac{65.25 \text{ KN}}{25 = SF} = 2.61 \text{ KN}$$

2.61 KN = Fuerza necesaria para hacer alcanzar la fluencia del acero presente en un metro de muro a escala, conservando las escalas del análisis dimensional.

$$A_s = \frac{2.61 * 1000 \text{ N}}{300\text{Mpa}}$$

$$A_s = 8.699 \text{ mm}^2$$

Si consideramos utilizar malla electrosoldada **calibre 20** ($\phi=0.84\text{mm}$) $F_y=300\text{MPa}$, cada 12.7mm (1/2") en ambas direcciones, se obtiene un área de acero muy parecida a la necesaria por el modelo:

$$As_{1 \text{ alambre } cal20} = \frac{0.84\text{mm}^2}{2} * \pi$$

$$As_{1 \text{ alambre } cal20} = 0.5542 \text{ mm}^2$$

Cantidad de alambres en un metro lineal de muro a escala:

$$\# \text{ Alambres}_{cal20} = \frac{\frac{1000\text{m}}{SL=5}}{12.7\text{mm}}$$

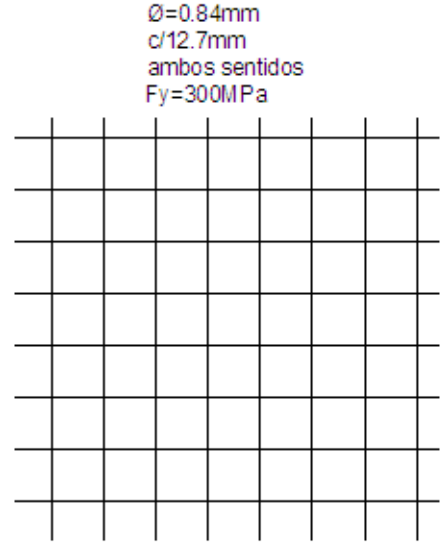
$$\# \text{ Alambres}_{cal20} = 15.75$$

$$As = 8.727 \text{ mm}^2$$

Figura12: Malla electrosoldada Real - Escala

Malla electrosoldada modelo real

Malla electrosoldada modelo a escala

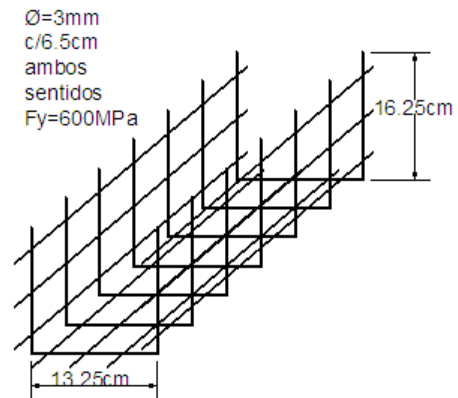
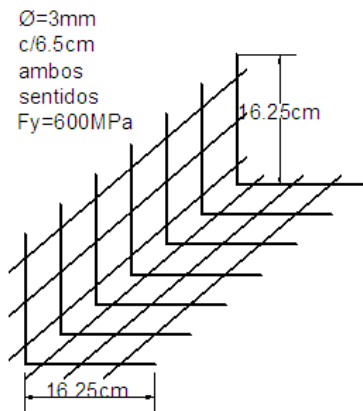


Fuente: Autores

Figura 13: Malla de refuerzo real de esquinas – puertas y ventanas

Malla de refuerzo de esquina,
y ventanas, modelo real

Malla de refuerzo de dinteles de puertas
y ventanas, modelo real

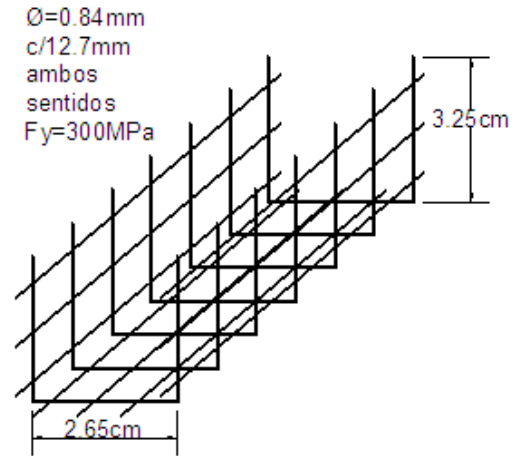
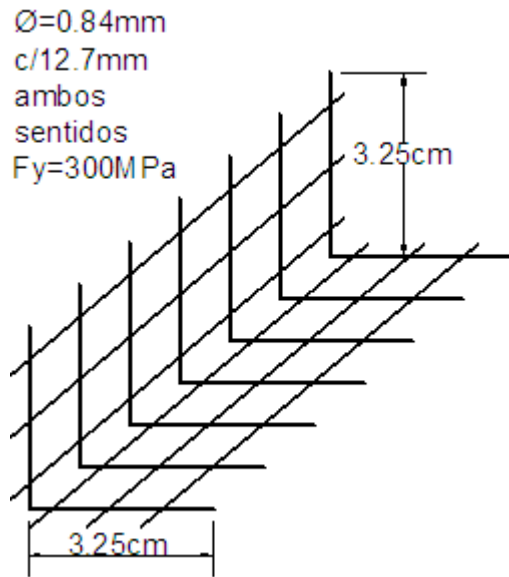


Fuente: Autores

Figura 14: Malla de refuerzo a escala de esquinas – puertas y ventanas

Malla de refuerzo de esquina y
ventanas, modelo a escala

Malla de refuerzo de dinteles de
puertas y ventanas modelo a escala



Fuente: Autores

2.1.4. Cimentación con placa flotante

Se diseñó una placa flotante a escala 1:5, partiendo de la cimentación del modelo real, el cual tiene un espesor de placa de 15cm, y un recubrimiento de 5 cm, con refuerzo:

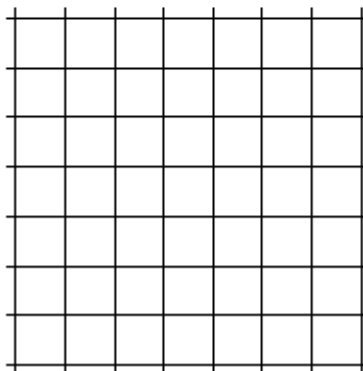
$$As \text{ mm}^2/m = .0018 * 1000 * 100 = 180 \text{ mm}^2/m$$

Si dividimos esta área por el factor de escala $SA=25.0$, obtenemos un refuerzo de 7.20mm^2 , por metro lineal de muro a escala, es decir 7.20mm^2 cada 20cm reales.

Con fines de simplicidad se adquirió una malla electrosoldada de diámetro=4.0mm c/15cm, en ambas direcciones, lo cual es igual a un área de $100\text{mm}^2/m$ (real), y a $20\text{mm}^2/m$ (a escala), es decir se trabajó con una As mayor que el aportado por la cuantía mínima, aumentándose esta a 0.005.

Figura 15: Refuerzo placa flotante

**REFUERZO DE PLACA DE
FLOTANTE DE CIMENTACIÓN
DEL MODELO A ESCALA
8 $\varnothing=4\text{mm}$, C/15cm
L=1.10m en ambas direcciones**

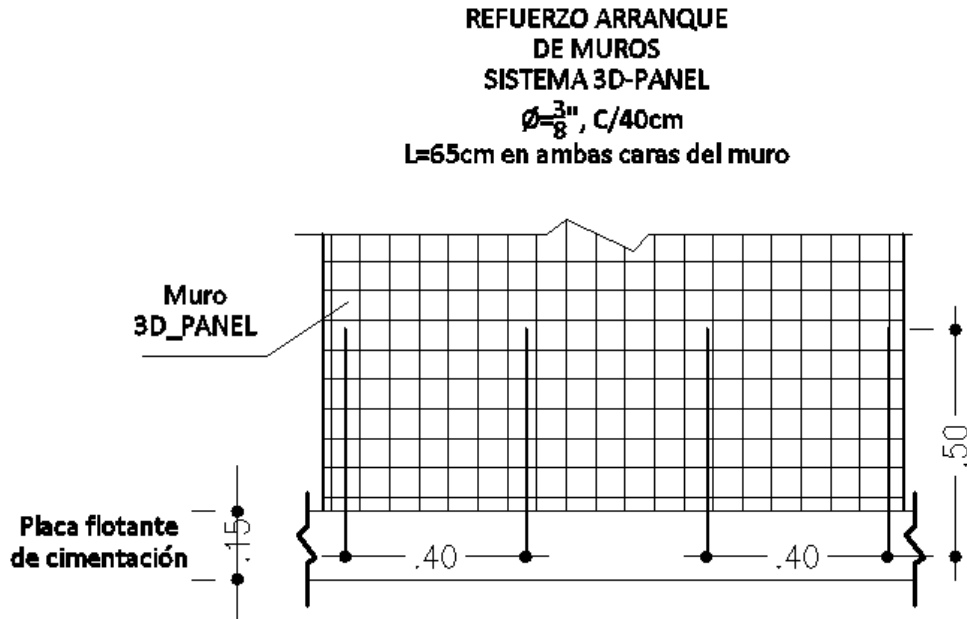


Fuente: Autores

2.1.5. Refuerzo de arranque

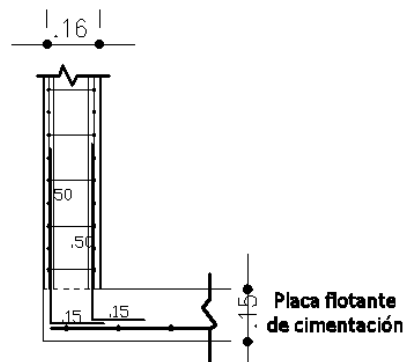
En el sistema constructivo real se disponen varillas de diámetro = 3/8", cada 40cm, en ambos lados del muro, cada una con una dimensión de 65cm.

Figura 16: Refuerzo arranque de muros



Fuente: Autores

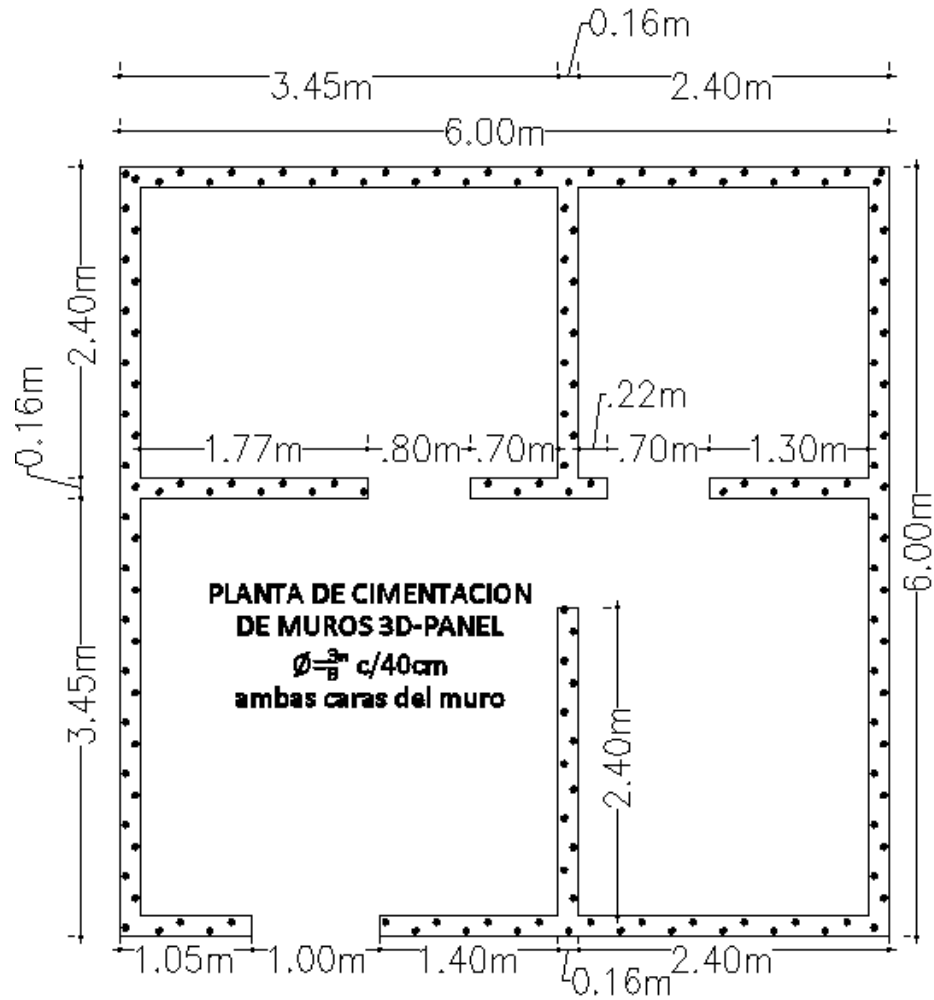
Figura 17: Perfil refuerzo



Fuente: Autores

Distribución de arranques de muro para modelo real del sistema constructivo 3d-panel

Figura 18: Planta distribución de arranques de muro.



Fuente: Autores

Si consideramos las mismas escalas utilizadas para reducir a escala 1:5 el acero necesario, se podría pensar en que el modelo real tendría 15 arranques de diámetro 3/8" por cada 6m de muro y por cada lado del mismo. Es decir 2.5 arranques por metro. El área suministrada de acero en el modelo real, por metro lineal es de 178.14mm².

Se utilizó varilla de diámetro 5mm para los arranques del modelo a escala, por tanto el número de arranques y la separación de los mismos en el modelo a escala, se determina así:

$$\frac{178.14 \text{ mm}^2}{25} = \frac{7.13 \text{ mm}^2}{m} \text{ (a escala)}$$

$$7.13 \text{ mm}^2 \text{ c}/20\text{cm} = 35.65 \text{ mm}^2 /1\text{m}$$

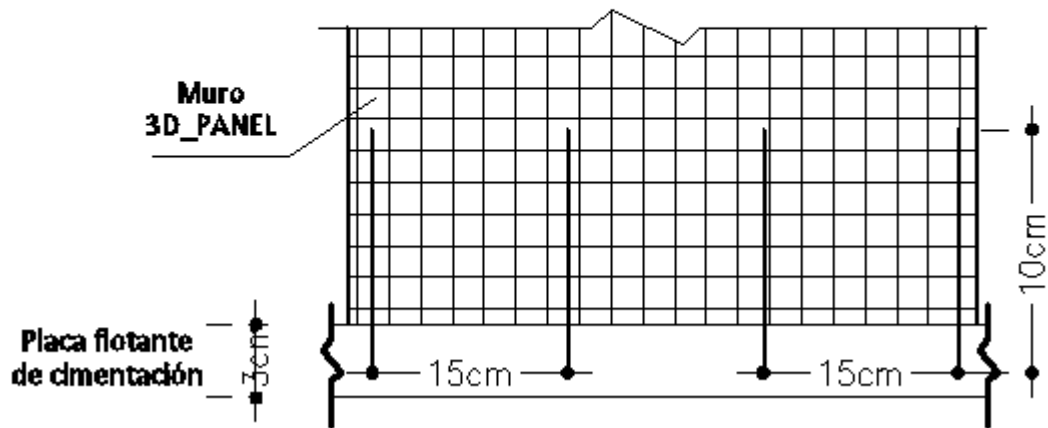
El área de una varilla de 5mm es de 19.63mm², por tanto:

$$\frac{35.65 \text{ mm}^2}{19.63 \text{ mm}^2} = 1.816 \text{ Varillas} / m \text{ (real)}$$

Por cuestiones constructivas se ha decidido poner 8 varillas cada una de longitud $L = 65\text{cm}/5 = 13\text{cm}$, por cada 1.20 m de muro, coincidiendo estas con la malla electrosoldada de la placa de cimentación.

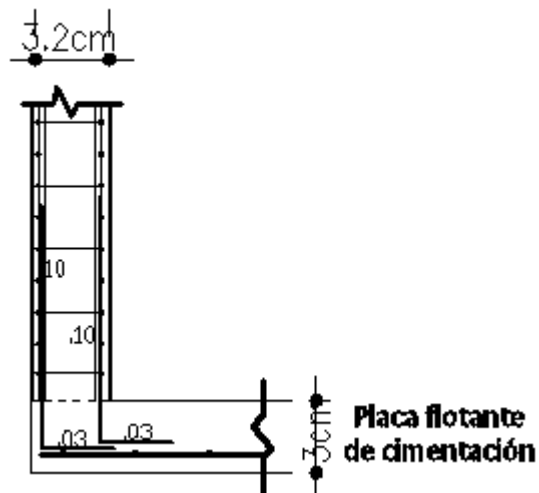
Figura 19: Refuerzo arranque de muros

**REFUERZO ARRANQUE
DE MUROS
SISTEMA 3D-PANEL
 $\phi=5\text{mm}$, C/15cm
L=13cm en ambas caras del muro**



Fuente: Autores

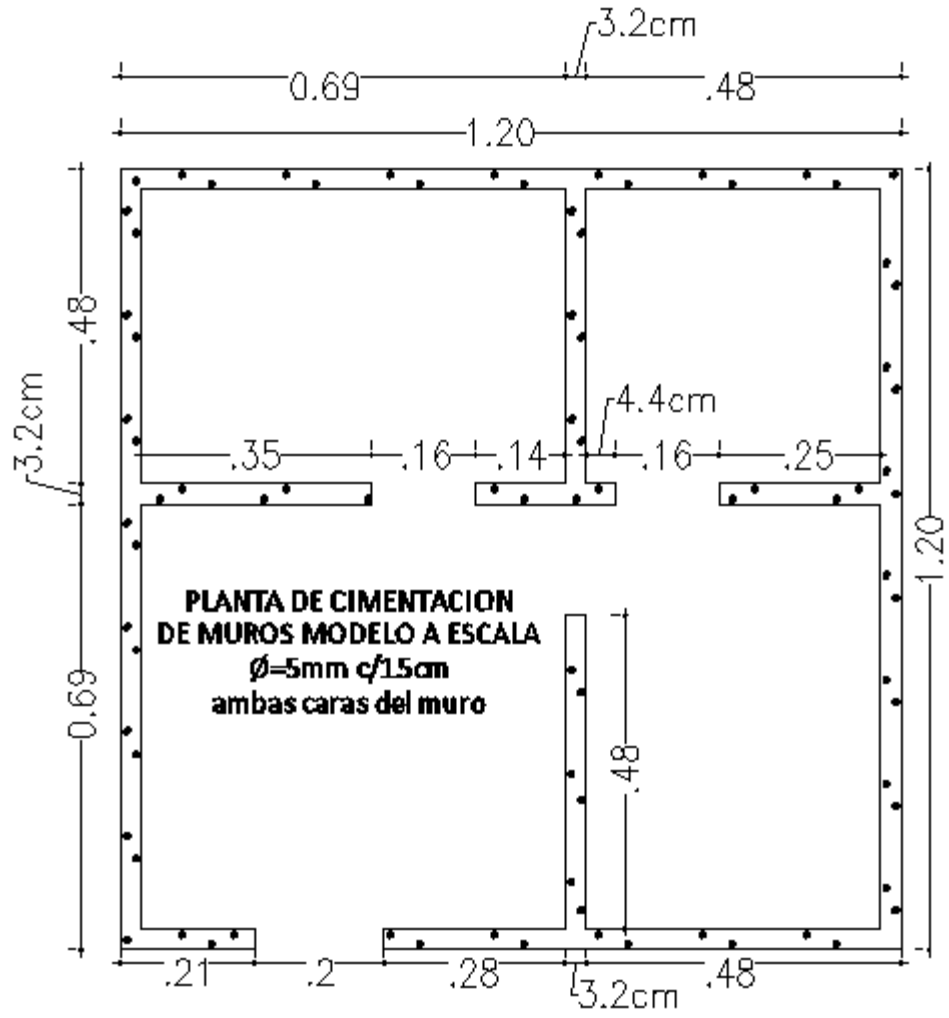
Figura 20: Perfil refuerzo arranque de muros



Fuente: Autores

Distribución de arranques de muro para modelo a escala 1:5

Figura 21: Planta distribución de arranques de muro modelo escala.



Fuente: Autores

2.2. CONSTRUCCION DEL MODELO A ESCALA

El eficiente proceso de construcción de las casas es tal vez uno de los mayores atributos del sistema 3D PANEL, ya que permite la edificación de una vivienda completa, utilizando mano de obra poco calificada.

Dentro de los equipos y herramientas que se deben tener preparadas para la instalación de los paneles se cuentan: sistemas de fijación, taladro, atornillador, sierras, aspiradora, “hombresolo”, alicates, cizallas, mazo, espátula, plomada y nivel. Pese a que los paneles llegan a la obra con las longitudes solicitadas y listos para su instalación, a nosotros nos toco acondicionados en el laboratorio antes de ser montados, por ejemplo, cortes longitudinales y/o transversales, traslapes y vanos para instalaciones especiales (ventanas).

Para llevar a cabo los cortes es necesario determinar una línea aproximada por donde se debe hacer el corte. Luego se debe colocar cinta de enmascarar para proteger de la mejor forma la superficie terminada del panel; una vez colocada la cinta se procede a trazar de nuevo sobre ella la línea definitiva por donde se desea el corte. A continuación se procede a cortar el panel con una sierra. Es necesario previo al corte revisar la longitud de la hoja para penetrar el panel a la profundidad requerida. Inmediatamente después del corte se deben limpiar cuidadosamente las partículas y residuos que puedan quedar en el borde y/o la superficie del panel. Se liman los filos para perfeccionar el acabado, se quita el plástico de recubrimiento y se retira el poliestireno sólo hasta después de que el panel ha sido montado.

A continuación se presenta el proceso constructivo seguido para la elaboración e instalación de cada uno de los paneles, por medio del cual se obtuvieron resultados favorables. De esta manera se establecen pautas y parámetros a seguir para la mejor instalación del panel.

2.2.1. Cimentación y anclajes.

Se diseño una formaleta de 1.20 x 1.20 x 0.05mts. En madera debidamente sujeta a la cual se le incorporo una malla electrosoldado como refuerzo para la cimentación.

Foto 12: Cimentacion y anclajes



Fuente: Autores

Se cortaron y amarraron las barras de anclajes para poder luego sujetar los paneles.

Foto 13: Refuerzo Anclajes



Fuente: Autores

Foto 14: Amarre de anclajes



Fuente: Autores

Se verifico que en la cimentación cuadraran bien los pasadores que posteriormente iban a ser apernados al piso para evitar el deslizamiento horizontal de la estructura y quedara debidamente amarrada al piso.

Foto 15: Ubicación placa de cimentación - piso



Fuente: Autores

Procedimos a realizar la mezcla para la losa de cimentación, teniendo como criterio una dosificación de tres de arena, dos de grava y una de cemento Portland Tipo I, mas agua.

Foto 16: Preparación concreto para losa



Fuente: Autores

Luego se vació la mezcla en la formaleta y se dejó por varios días hasta q tomara una resistencia que nos pudiera ensamblar los paneles a la cimentación.**2.2.2.**

Foto 17: Curado losa de cimentación



Fuente: Autores

2.2.2. Ensamblado de muros con 3D PANEL

Para la instalación de los muros en 3D Panel, primero debimos fabricarlos ya que en el mercado no los encontrábamos con las dimensiones a escala de nuestro modelo (Usando la teoría de dimensionamiento de los elementos estructurales).

Foto 18: Malla de refuerzo – Muros



Fuente: Autores

Foto 19: Poliestireno y malla de refuerzo



Fuente: Autores

Foto 20: Fabricación del 3D Panel



Fuente: Autores

Una vez diseñado todos los paneles para nuestro modelo de vivienda, se llevaron al laboratorio para ser ensamblados uno a uno en la losa de cimentación, asegurandolos a cada una de las barras de anclaje con su respectivo amarre por lado y lado.

Foto 21: Ensamble de los paneles a la cimentación



Fuente: Autores

2.2.3. Colocación de la malla unión o traslape

Para el amarre entre paneles se debió colocar las mallas de unión (Ángulos 90 grados en malla), fijándolos con alambre dulce tanto por el lado interno y externo de las uniones de los paneles.

Foto 22: Malla de unión entre paneles



Fuente: Autores

Foto 23: Unión entre paneles



Fuente: Autores

Foto 24: Colocación de muros internos



Fuente: Autores

Se hizo el mismo proceso para cada uno de los paneles alrededor de toda la estructura, hasta finalmente tener todos los paneles verticales debidamente asegurados y levantados verticalmente.

Foto 25: Paneles ensamblados completamente



Fuente: Autores

2.2.4. Habilitado de aberturas (puertas o ventanas)

Para la colocación de la puerta y ventanas se recortó la ubicación de cada una de ellas, y también debió ser reforzado con las mallas de unión en las zonas donde se había perforado el poliestireno.

Foto 26: Ubicación puertas y ventanas



Fuente: Autores

Foto 27: Refuerzo en marcos de ventanas y puertas



Fuente: Autores

Una vez colocado la mayoría de los paneles de la vivienda, procedimos llevarla a la zona de prueba, para ello fue necesario usar métodos muy antiguos como el usar troncos para poder mover la cimentación de la estructura con sus paneles ya ensamblados y ser anclada la losa a través de pernos debidamente ajustados al piso.

Foto 28: Traslado del modelo a escala al punto de anclaje al piso



Fuente: Autores

Foto 29: Ajustes pasadores verticales entre cimentación y piso



Fuente: Autores

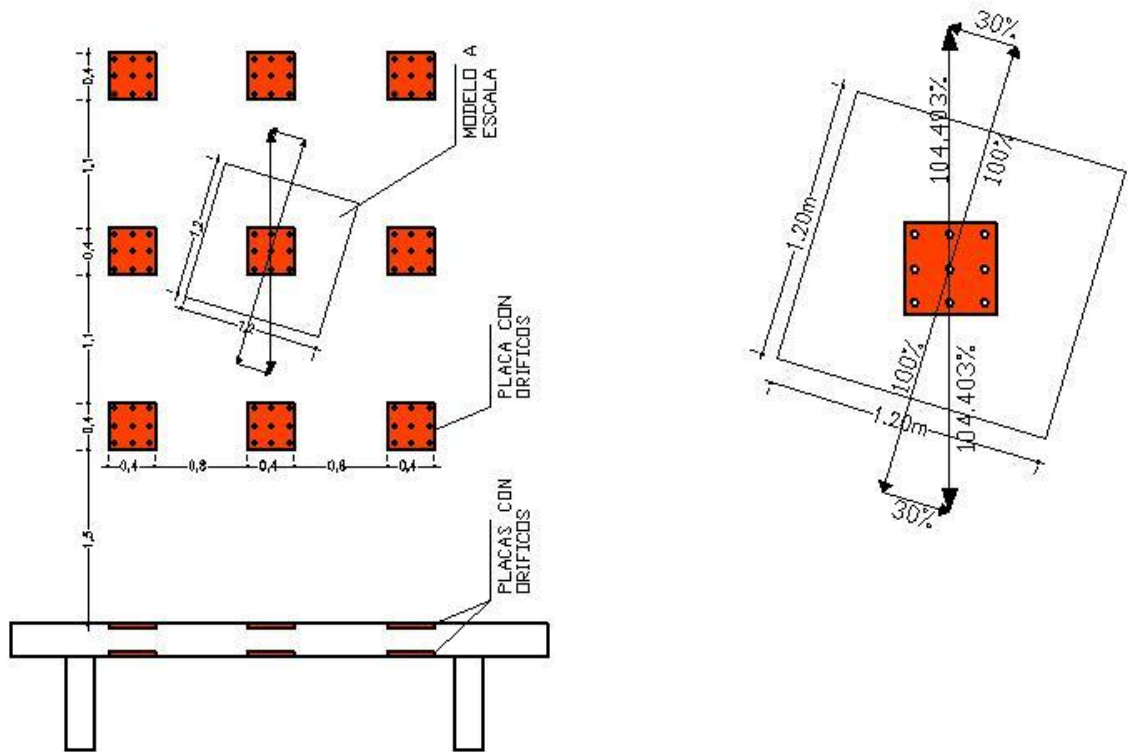
Foto 30: Posición final del modelo a escala.



Fuente: Autores

Dado que el análisis sísmico es en dos direcciones X y Y, decidimos girar nuestro modelo para formar una componente única de fuerza que reemplace estos dos vectores 100% (j) + 30% (i), teniendo como resultado un vector del 104.403% (j,i) de la fuerza.

Figura 22: Planta del modelo a escala rotado.



Fuente: Autores

2.2.5. Aplicación del mortero o concreto

Ya teniendo la estructura en el sitio deseado, procedimos a aplicarle el mortero resistente hasta obtener el espesor de la capa deseada, tanto por dentro y por fuera de los paneles verticales.

Foto 31: Inicio en la aplicación del mortero a los paneles.



Fuente: Autores

Foto 32: Avance en el acabado de los paneles verticales



Fuente: Autores

2.2.6. Colocación de paneles en cubierta o entrepiso

Después de tener todos los paneles en posición vertical con su respectivas capas de mortero/concreto, se procedió a instalar la placa de entrepiso de la vivienda, realizando cada uno de los pasos anteriores mencionados, desde el amarre con las mallas de anclaje hasta la aplicación del concreto resistente por ambas caras.

Foto 33: Armado y ensamble de cubierta.



Fuente: Autores

Foto 34: Amarre y aplicación del mortero a la cubierta.



Fuente: Autores

2.2.7. Acabados y curado del modelo

Se continuo con todo el proceso de aplicación del mortero por toda la estructura hasta tener todos los paneles y la cubierta con su respectiva capa de concreto resistente.

Foto 35: Acabado de aplicación del mortero.



Fuente: Autores

Foto 36: Curado por 28 días del modelo a escala terminado.



Fuente: Autores

Finalmente se dejó el modelo de VIS que continuara con su proceso normal de curado por 28 días, para que el concreto y todos los paneles de la estructura adquirieran su resistencia máxima para ser sometida al análisis de cargas sísmicas.

Foto 37: Panorámica del modelo a escala en proceso de curado.



Fuente: Autores

Foto 38: Modelos a escala después de 28 días de curado.



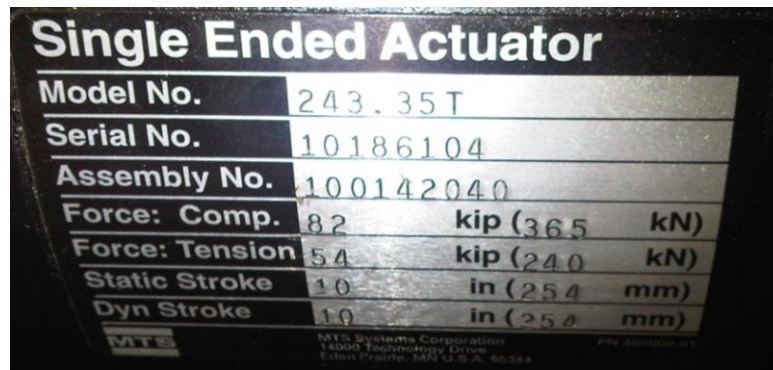
Fuente: Autores

2.3. DISPOSITIVO DE ENSAYO

El actuador hidráulico **ACTUADOR MTS 243.35T** es adecuado para aplicaciones que no requieren una puntuación cilindro fatiga, proporciona una solución económica para moldeamientos estáticos que requieren servo-control, es practico para las pruebas de aerodinámica o de ingeniería civil en estructuras.

2.3.1. Especificaciones técnicas

Foto 39: Especificaciones técnicas actuador MTS.



Single Ended Actuator			
Model No.	243.35T		
Serial No.	10186104		
Assembly No.	100142040		
Force: Comp.	82	kip (365)	kN
Force: Tension	54	kip (240)	kN
Static Stroke	10	in (254)	mm
Dyn Stroke	10	in (254)	mm

MTS Systems Corporation
14001 Technology Drive
Eden Prairie, MN U.S.A. 55344

Fuente: Autores

Foto 40: Actuador MTS.



Fuente: Actuador MTS 243.35t, propiedad de Universidad Industrial de Santander para la Escuela de Ing. Civil.

2.3.2. Descripción

El sistema completo con el que se trabaja el **ACTUADOR MTS 243.35T** está conformado por toda una estructura, un muro de carga con platinas con orificios de diámetro 1", el cual está diseñado para recibir cargas estáticas y dinámicas horizontales, por un sistema de platinas en el piso del laboratorio que están alineadas con las platinas del muro, por un marco en acero para si se necesitase posicionar el muro verticalmente.

Foto 41: Actuador anclado al marco.



Fuente: Los autores

2.3.3. Laboratorio de estructuras

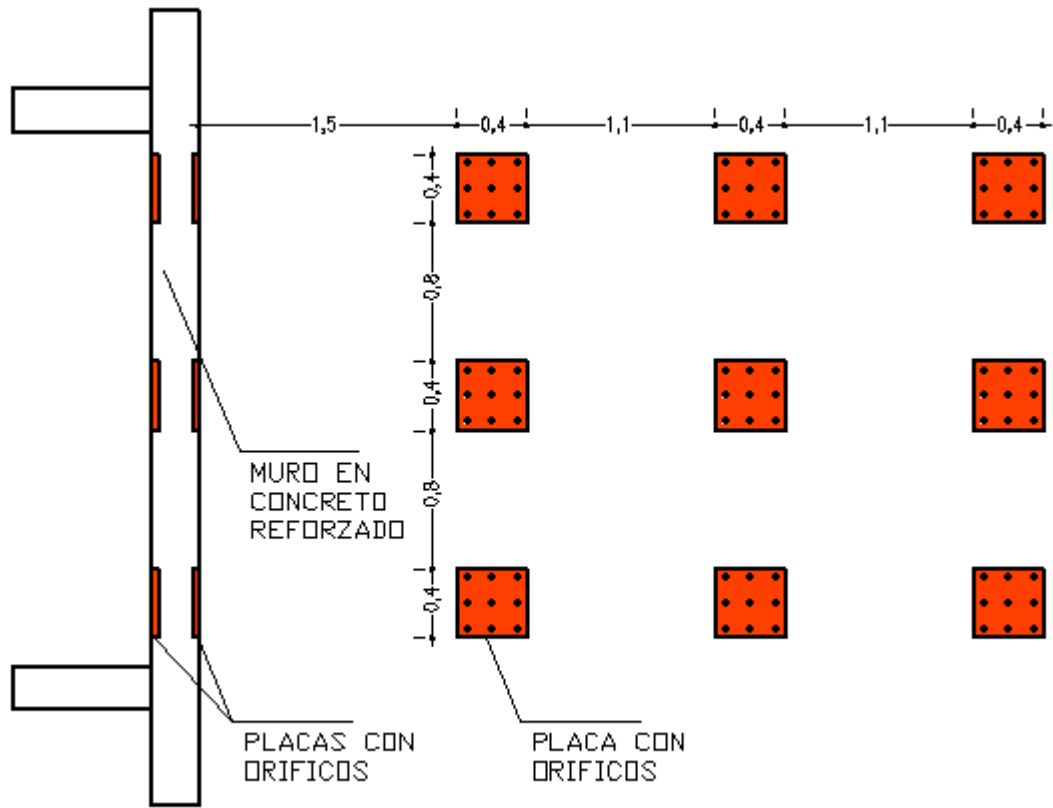
Ubicada en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón dentro del laboratorio de estructuras de Ingeniería Civil de la UIS.

Foto 42: Laboratorio de estructuras Salón 109. Universidad Industrial de Santander



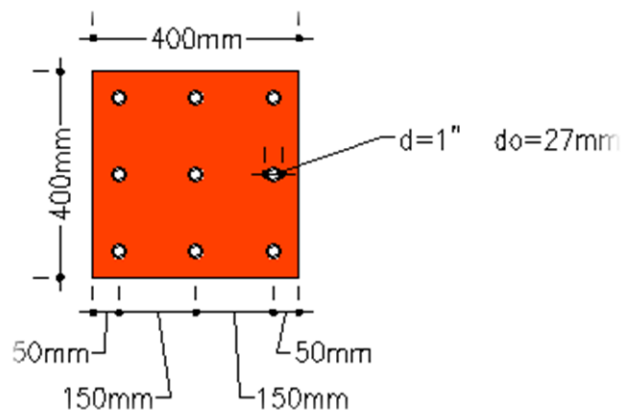
Fuente: Los autores

Figura 23: Planta de configuración Lab. Estructuras UIS



Fuente: Los autores

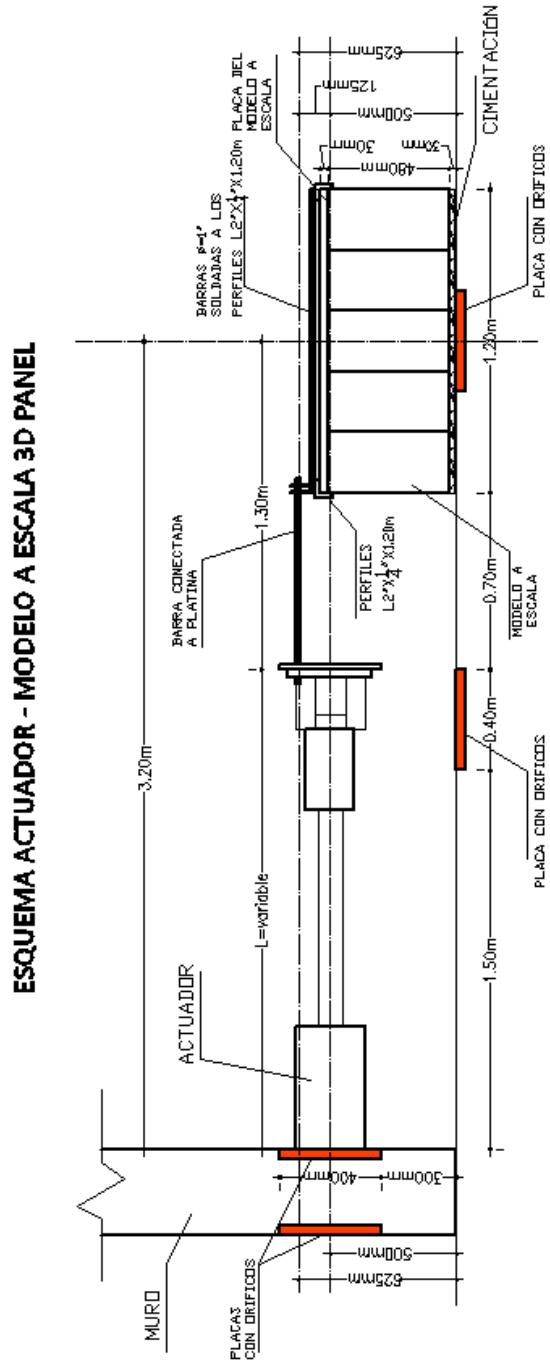
Figura 24: Platina con orificios tipo.



Fuente: Los autores

2.3.4. Ubicación Actuador – Modelo a escala

Figura 25: Plano anclaje muro – actuador.



Fuente: Los autores

III. NORMAS Y ENSAYOS

3.1. NORMAS

Para la realización de esta investigación se tomaron como referencia las siguientes normas:

Norma Técnica Colombiana (NTC) 2246: Requerimientos que deben cumplir los elementos destinados a formar parte de una edificación.

Norma Técnica Colombiana (NTC) 2446; Ingeniería Civil y Arquitectura. Páneles Prefabricados. Clasificación y Requisitos: Clasifica y establece requisitos físicos y mecánicos para Páneles.

Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo resistente (NSR 10): Especificaciones técnicas para el análisis estructural del sistema constructivo.

American Standard Testing Methods (ASTM) E72; Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction: Cubre los procedimientos para determinar las propiedades estructurales de páneles destinados a la construcción de muros, pisos y cubiertas.

American Standard Testing Methods (ASTM) C393; Standard Test Method for Flexural. Properties of Sándwich Constructions: hace referencia a los métodos para determinar las propiedades de elementos planos tipo Sándwich sometidos a flexión en el sentido plano.

American Standard Testing Methods (ASTM) C273; Standard Test Method for Shear Properties of Sándwich Core Materials: se refiere a los métodos para determinar las propiedades de elementos planos tipo Sándwich sometidos a fuerza cortante en el sentido plano.

3.2. ENSAYOS

3.2.1 Descripción y resultados de los ensayos

A continuación se hará una descripción de los ensayos que son necesarios tener en cuenta para esta investigación. En esta parte se hará un breve resumen del método de elaboración y las consideraciones que se tuvieron en cuenta para la correcta realización de los ensayos, así como la explicación de qué hacer con los datos y qué información es necesaria reportar de cada uno.

3.2.2. Caracterización del material 3d-panel

Dado a que el material es una mezcla de varios materiales, tales como, mortero, acero galvanizado y poliestireno, podría pensarse en la posibilidad de considerar el material como uno solo, tal como se hizo en este trabajo, y que posee propiedades mecánicas diferentes a la de cada material por separado.

Se requiere conocer estas dichas propiedades mecánicas del material 3D-PANEL utilizado en este trabajo, para poder conocer el comportamiento del material ante carga impuesta, obteniendo características básicas como el modulo de elasticidad **E** y el esfuerzo de ruptura **f_c**, así mismo obtener la curva Esfuerzo-Deformación y luego poder modelar analíticamente la estructura con el software **SAP2000csi** y así comparar los resultados obtenidos con el modelo a escala.

Para tal fin se fabrico tres probetas con la misma mezcla preparada el día de la fundida (17 de diciembre de 2010) del modelo a escala de la casa en sistema constructivo 3d-Panel y con el mismo poliestireno y malla electrosoldada utilizada, para ser ensayadas en la máquina de ensayos de compresión axial del laboratorio de la escuela de ingeniería civil de la UIS.

Foto 43: Probeta 3D PANEL.



Fuente: Los autores

Foto 44: Sección Trasversal probeta 3D PANEL



Fuente: Los autores

Estas placas fueron falladas el día Lunes 24 de enero de 2011.

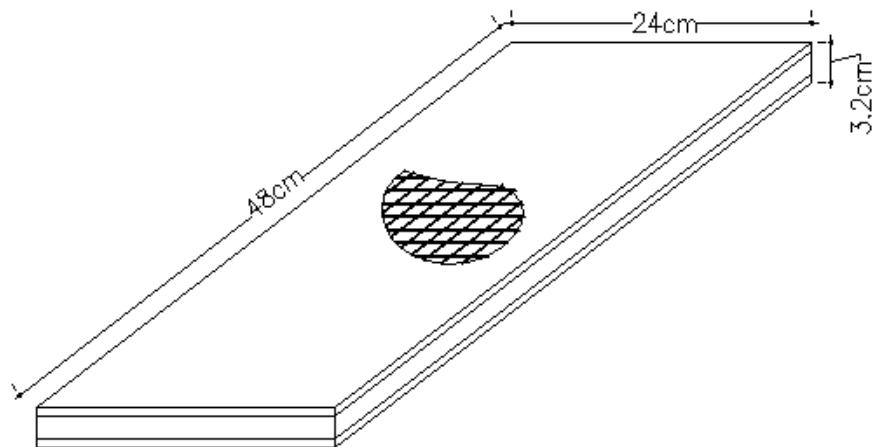
Foto 45: Maquina de ensayos para compresión axial



Fuente: Los autores

Dimensiones de las probetas

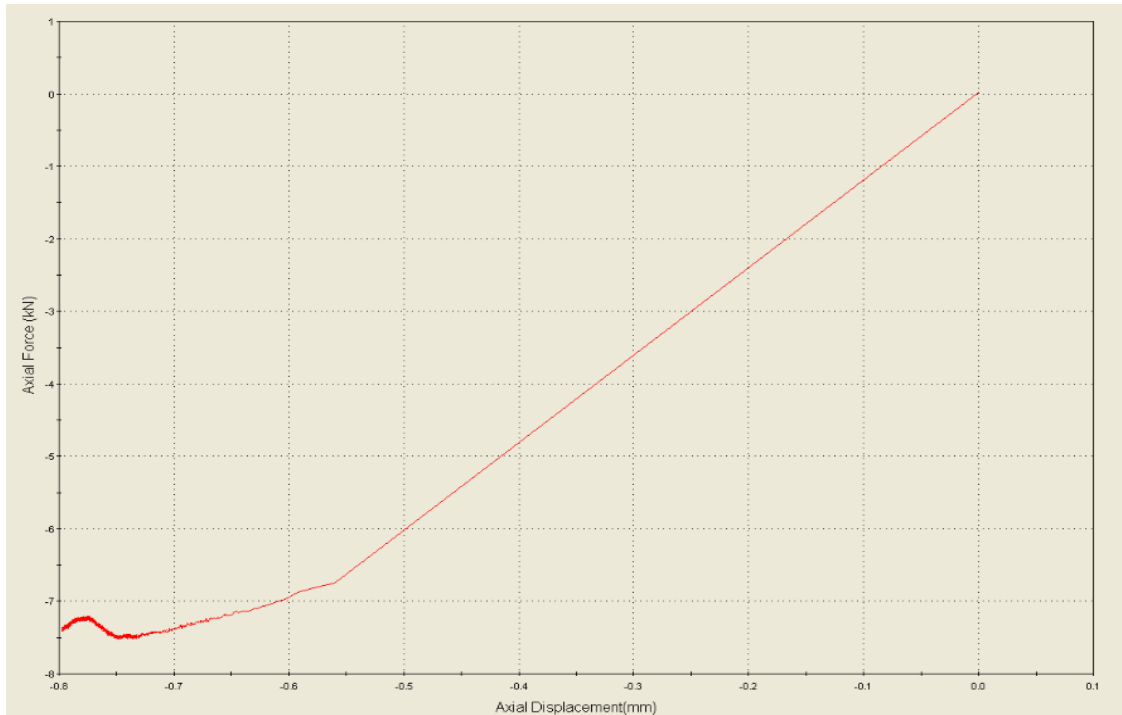
Figura 26: Dimensiones probeta



Fuente: Los autores

De la primera probeta fallada se obtuvo:

Figura 27: Grafica de resultado Fuerza / Desplazamiento suministrada por el equipo para la primera probeta



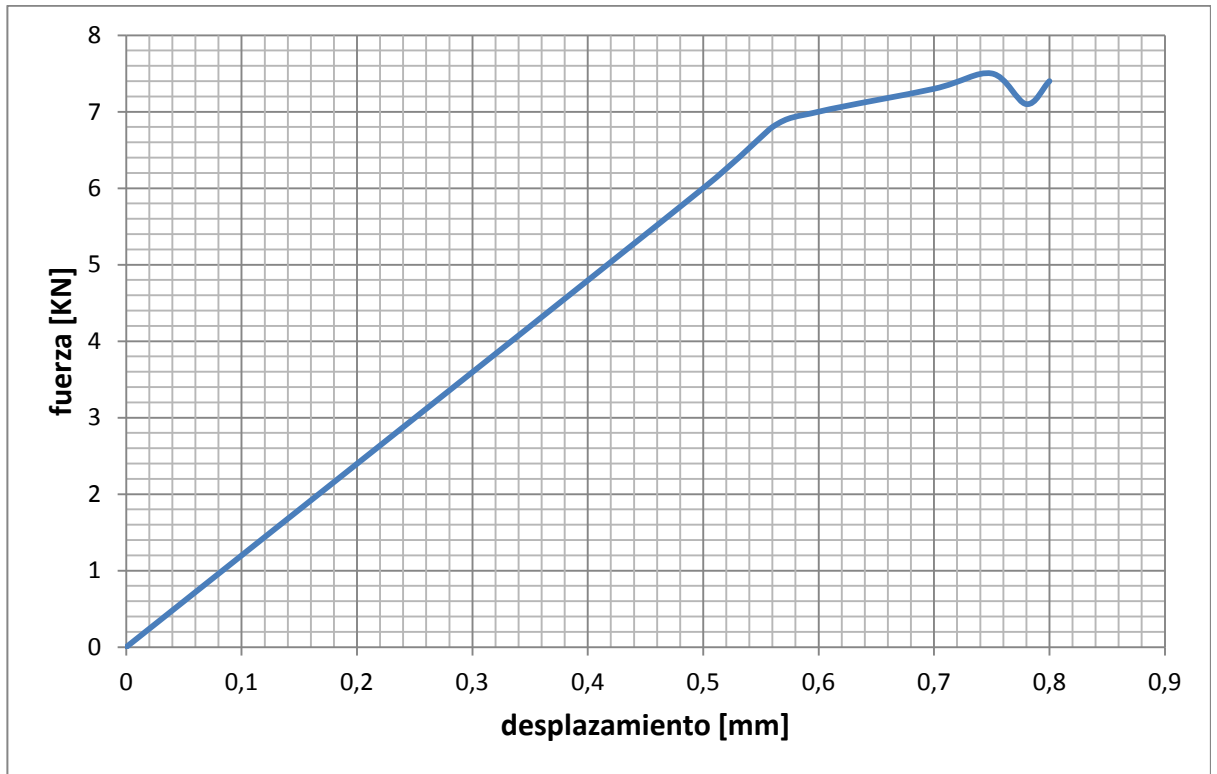
Fuente: Software Actuador MTS.

Tabla 12: Tabla de Fuerza/Desplazamiento Probeta # 1.

[mm]	[KN]
DESPLAZ.	FUERZA
0	0
0.5	6
0.56	6.8
0.6	7
0.7	7.3
0.75	7.5
0.78	7.1
0.8	7.4

Fuente: Autores.

Figura 28: Grafica Fuerza/desplazamiento Probeta # 1



Fuente: Autores.

Tabla 13: Tabla de dimensiones de la probeta

área contribuyente en la resistencia muro [mm²]	
240	ancho [mm]
6	largo [mm]
2880	
Altura del muro [mm]	
480	

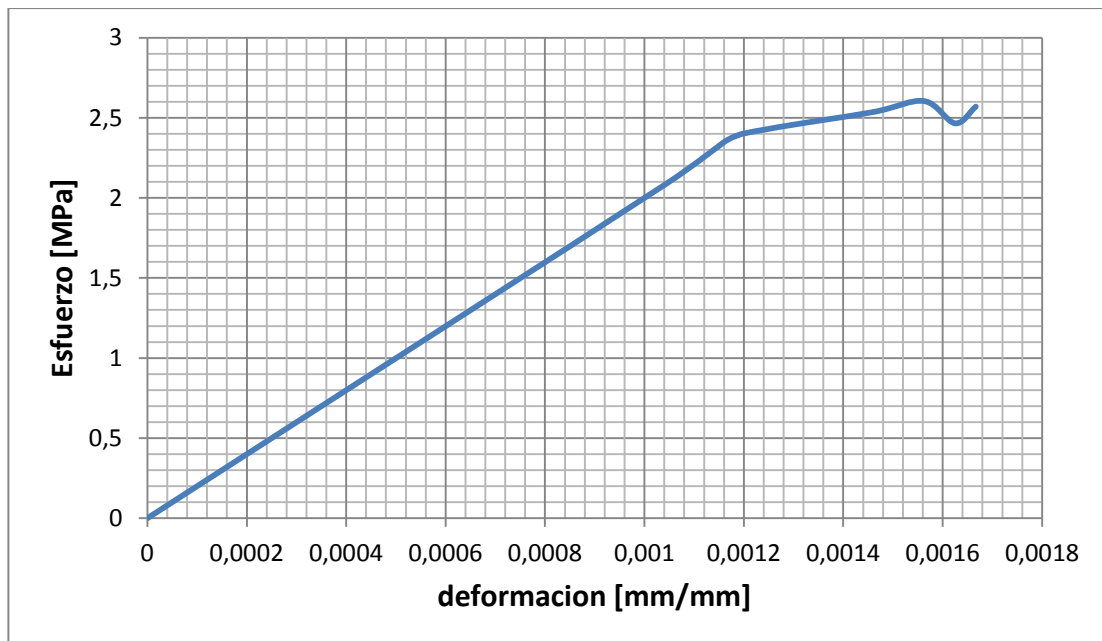
Fuente: Autores.

Tabla 14: Tabla de Esfuerzo/Deformación Probeta # 1

mm/mm	MPa
deformación	esfuerzo
0	0
0.001041667	2.083333333
0.001166667	2.361111111
0.00125	2.430555556
0.001458333	2.534722222
0.0015625	2.604166667
0.001625	2.465277778
0.001666667	2.519444444

Fuente: Autores.

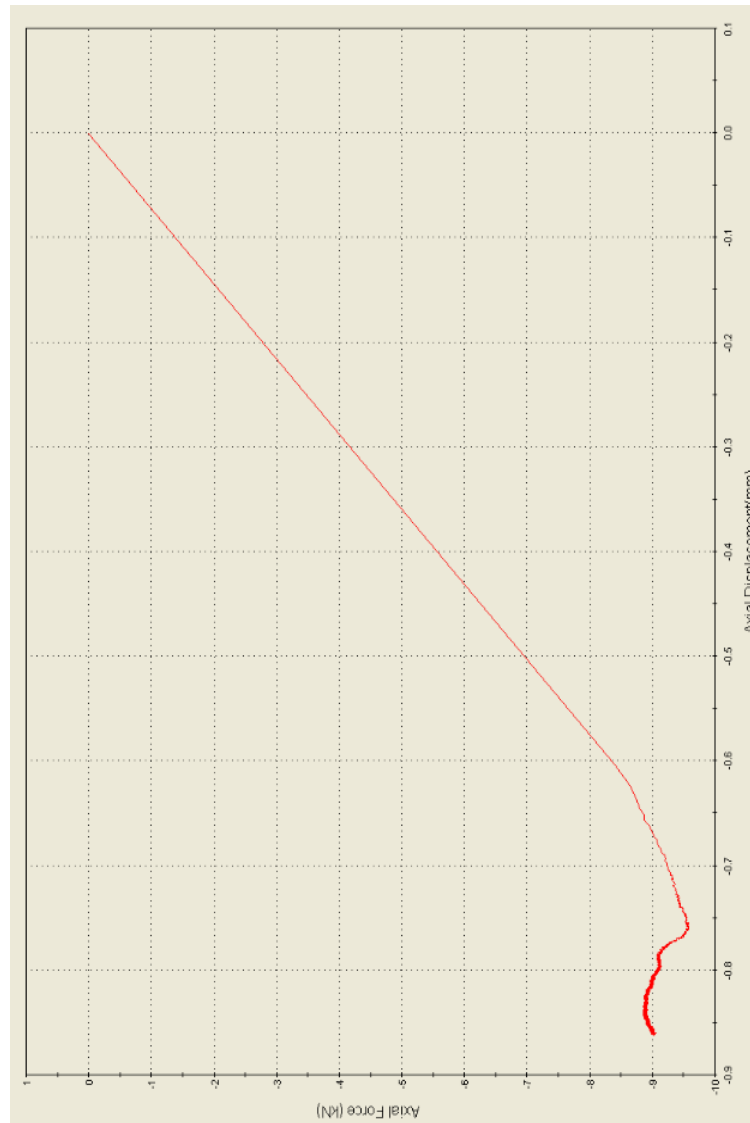
Figura 29: Grafica Esfuerzo / Deformación Probeta # 1



Fuente: Autores.

De la segunda probeta fallada se obtuvo:

Figura 30: Grafica de resultado Fuerza / Desplazamiento suministrada por el equipo para la segunda probeta



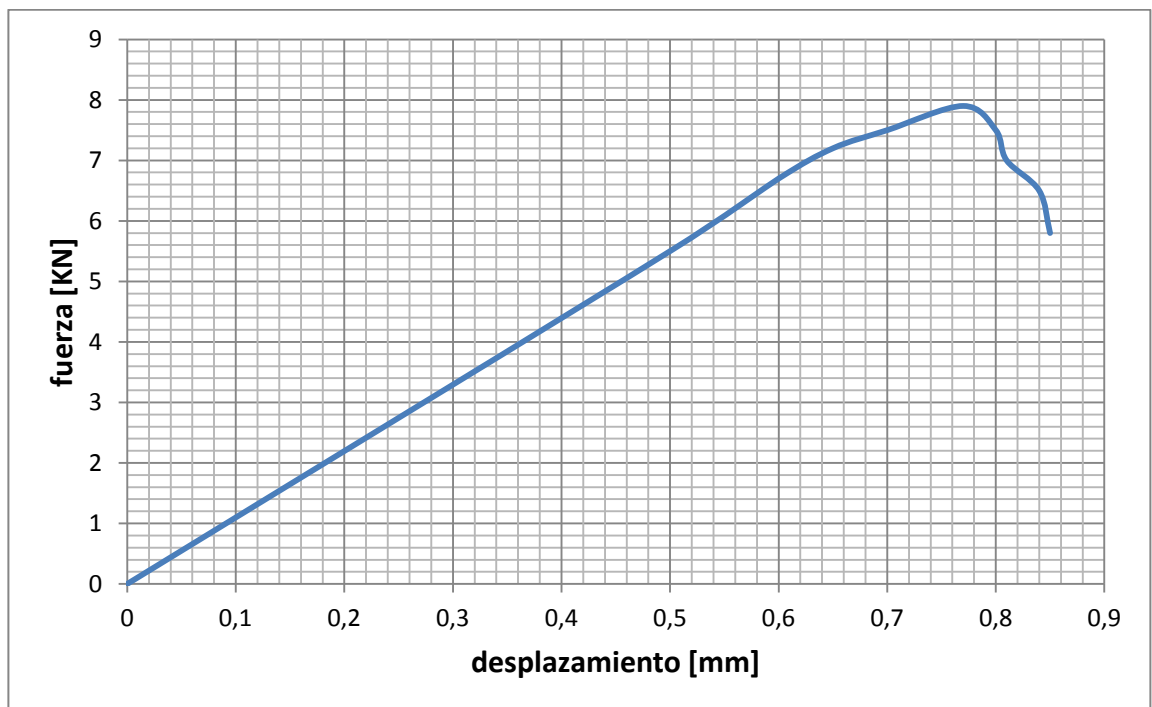
Fuente: Software Actuador MTS.

Tabla 15: Tabla de Fuerza/Desplazamiento Probeta # 2

[mm]	[KN]
DESPLAZ.	FUERZA
0	0
0.5	7
0.6	8.4
0.65	8.8
0.7	9.2
0.76	9.6
0.78	9.1
0.8	9.1
0.83	8.8
0.86	8.5

Fuente: Autores.

Figura 31: Grafica Fuerza/desplazamiento Probeta # 2



Fuente: Autores.

Tabla 16: Tabla de dimensiones de la probeta # 2

área contribuyente en la resistencia muro [mm²]	
240	ancho [mm]
6	largo [mm]
2880	

Altura del muro [mm]
480

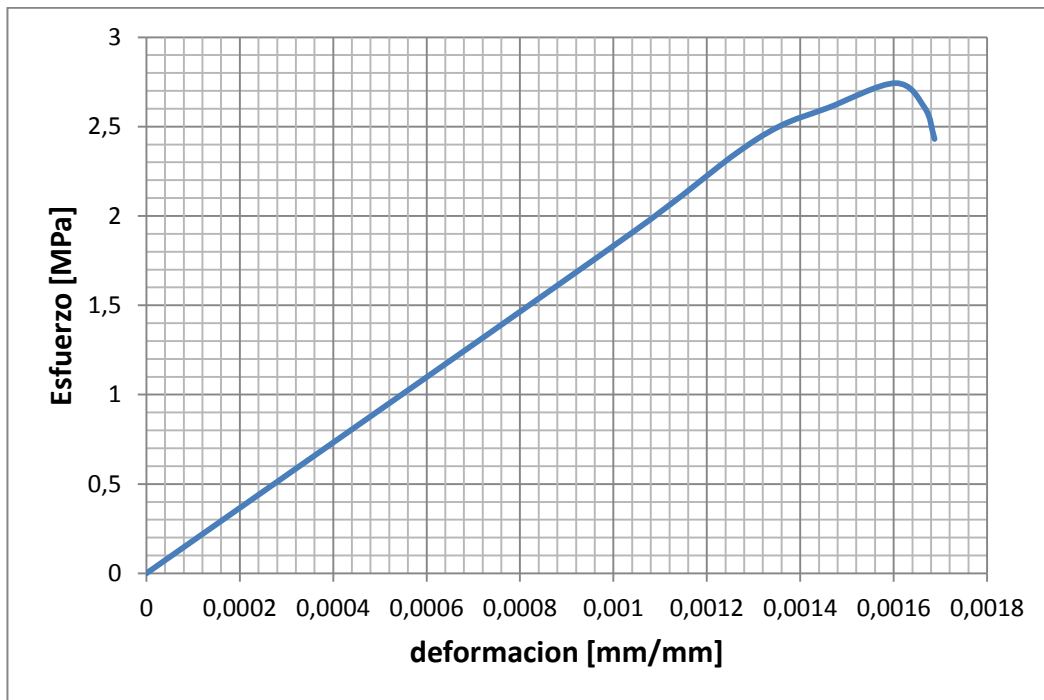
Fuente: Autores

Tabla 17: Tabla de Esfuerzo/Deformación Probeta # 2

mm/mm	MPa
deformación	esfuerzo
0	0
0.001041667	2.430555556
0.00125	2.916666667
0.001354167	3.055555556
0.001458333	3.194444444
0.001583333	3.333333333
0.001625	3.159722222
0.001666667	3.159722222
0.001729167	3.055555556
0.001791667	2.951388889

Fuente: Autores

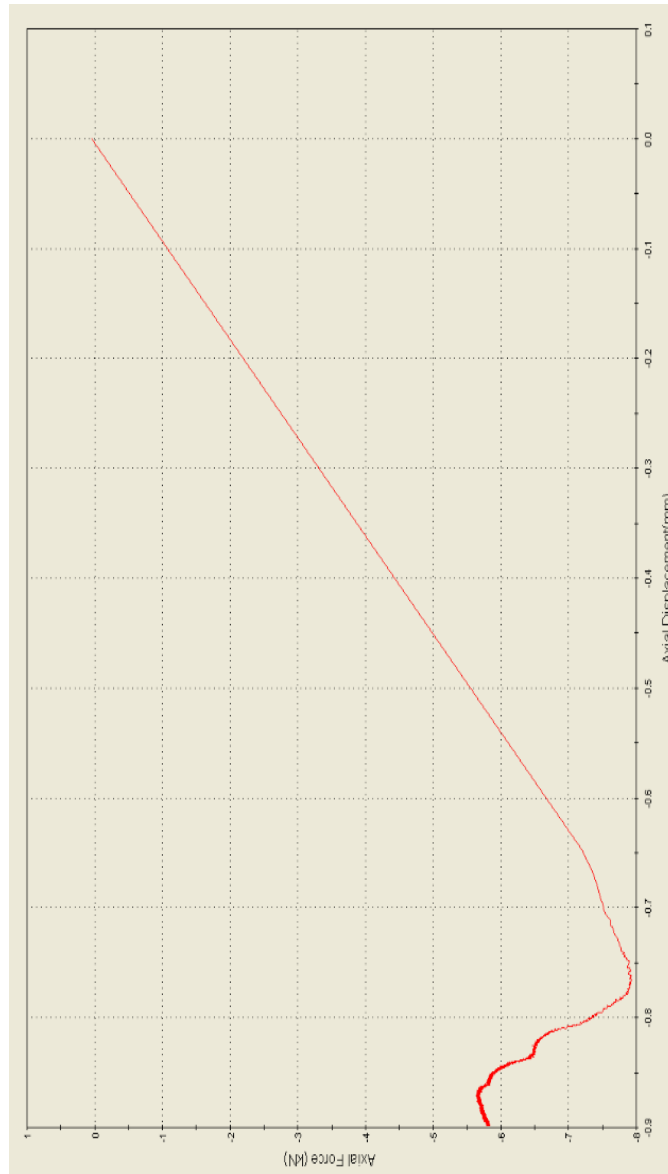
Figura 32: Grafica Esfuerzo/deformación Probeta # 2



Fuente: Autores.

De la tercera probeta fallada se obtuvo:

Figura 33: Grafica de resultado Fuerza / Desplazamiento suministrada por el equipo para la tercera probeta



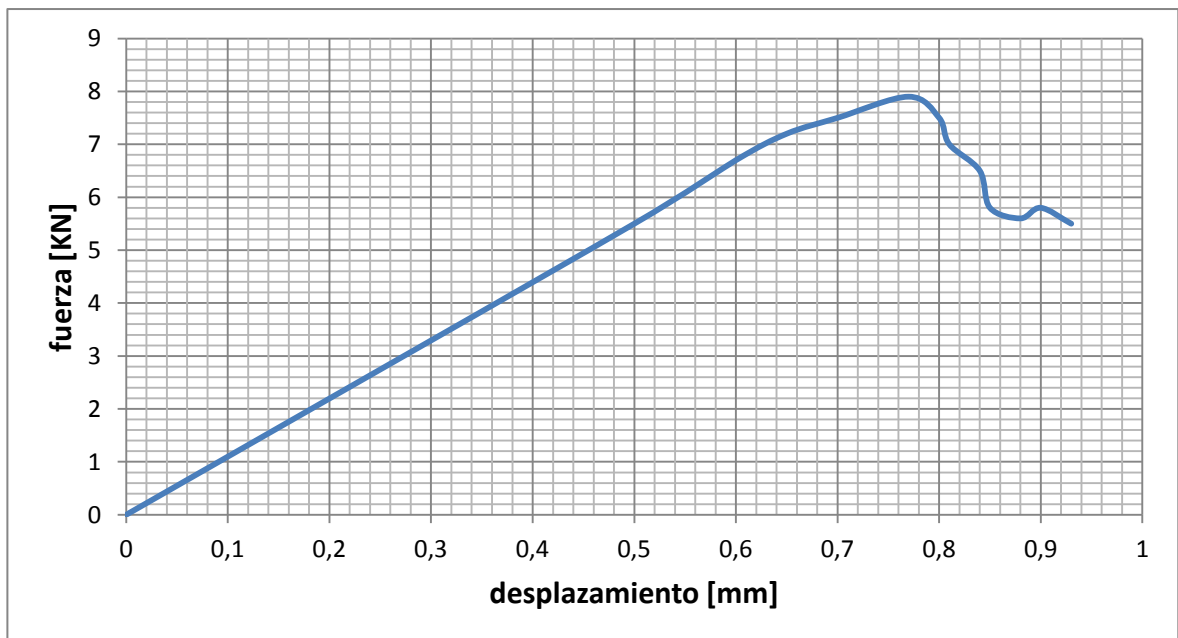
Fuente: Software Actuador MTS.

Tabla 18: Tabla de Fuerza/Desplazamiento Probeta # 3

mm	KN
DESPLAZ.	FUERZA
0	0
0.5	5.5
0.6	6.7
0.65	7.2
0.7	7.5
0.77	7.9
0.8	7.5
0.81	7
0.84	6.5
0.85	5.8
0.88	5.6
0.9	5.8
0.93	5.5

Fuente: Autores.

Figura 34: Grafica Fuerza/desplazamiento Probeta # 3



Fuente: Autores.

Tabla 19: Tabla de dimensiones de la probeta # 3

área contribuyente en la resistencia muro [mm²]	
240	ancho [mm]
6	largo [mm]
2880	

Altura del muro [mm]
480

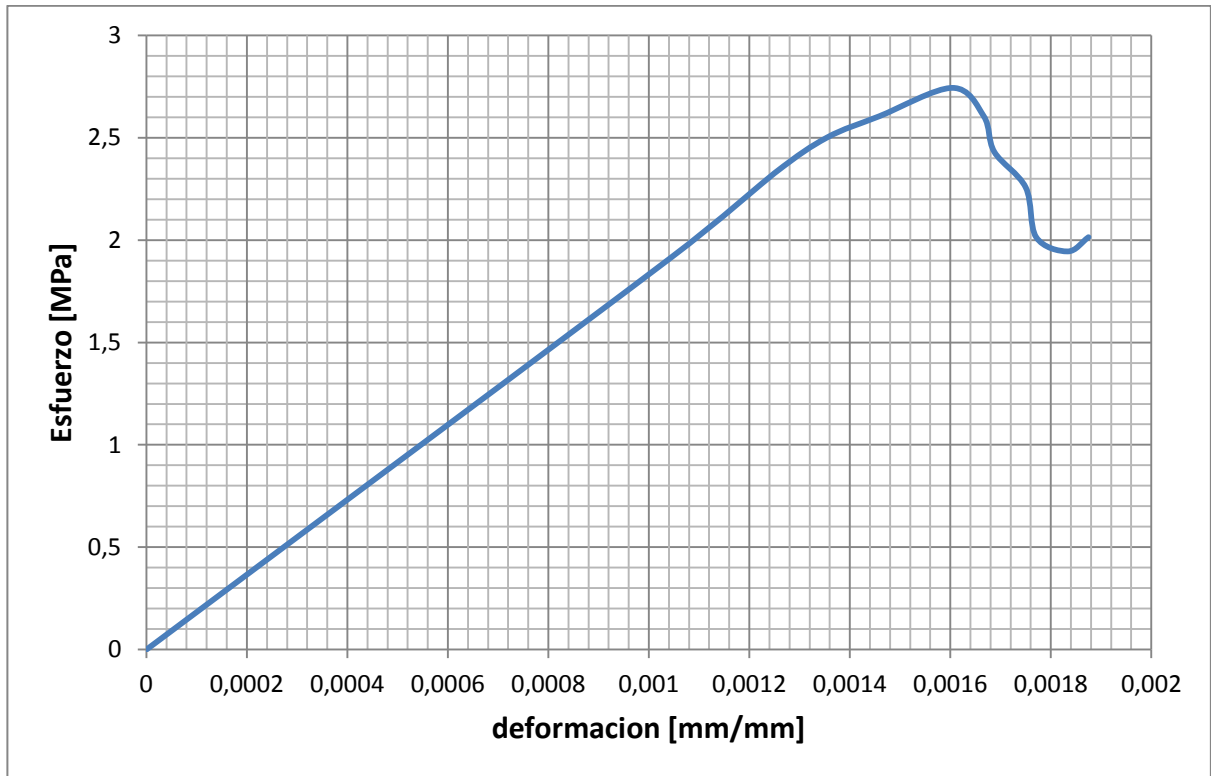
Fuente: Autores.

Tabla 20: Tabla de Esfuerzo/Deformación Probeta # 3

mm/mm	MPa
deformación	esfuerzo
0	0
0.001041667	1.909722222
0.00125	2.326388889
0.001354167	2.5
0.001458333	2.604166667
0.001604167	2.743055556
0.001666667	2.604166667
0.0016875	2.430555556
0.00175	2.256944444
0.001770833	2.013888889
0.001833333	1.944444444
0.001875	2.013888889

Fuente: Autores.

Figura 35: Grafica Esfuerzo/deformación Probeta # 3



Fuente: Autores.

3.2.3. Modulo de elasticidad y modulo de ruptura

Cabe aclarar que en los análisis anteriores no se tuvo en cuenta la resistencia a la compresión del poliestireno, ya que es relativamente pequeño comparado con la resistencia a la compresión del mortero.

Para hallar el modulo de elasticidad se observo la pendiente de la zona elástica del material, este modulo se calcula mediante la siguiente ecuación y se define como la pendiente de la recta de la curva esfuerzo/deformación:

$$E \text{ MPa} = \frac{\sigma \text{ [MPa]}}{\varepsilon \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]}$$

Se promediaron los módulos de elasticidad encontrados en las tres probetas de muros:

Tabla 21: Promedios de los módulos de elasticidad

Probeta	Mod. Elasticidad E [MPa]
1	2333.333333
2	2000
3	1833.3327

Mod. Elasticidad promedio E [MPa]
2055.55344

Fuente: Autores.

Para hallar la resistencia máxima a la compresión se toma el valor más alto resistido por la probeta y se divide en su respectiva área de sección transversal, se sabe que el poliestireno no influye en la resistencia a la compresión.

Se promediaron las resistencias máximas a la compresión encontrados en las tres probetas de muros:

Tabla 22: Promedios de las resistencias máximas a la compresión.

Probeta	Res. Compresión f'_c [MPa]	Res. Compresión f'_c Promedio [MPa]
1	2.534722222	2.87037037
2	3.333333333	
3	2.743055556	

Fuente: Autores.

IV. MODELO ANALITICO COMPUTACIONAL

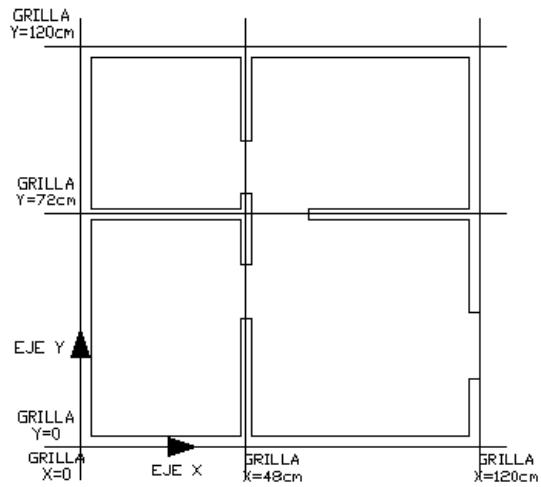
El modelo se analizó en el programa de análisis y diseño de estructuras **SAP2000** mediante la metodología de los elementos finitos. Consistió en la simulación a escala **1:5** correspondiente al sistema de vivienda de interés social propuesto por el sistema constructivo 3D-Panel, con un área de 36 m², compuesta por paneles prefabricados para los muros y la placa de entrepiso. El modelo está compuesto por elementos "Shell/Non Layered", los cuales simulan elementos de área con propiedades mecánicas no lineales, estos elementos de área fueron utilizados para modelar los muros del sistema constructivo 3D-Panel.

Con respecto al análisis sísmico se utilizó dos metodologías para este tipo de estructura: El análisis estático no lineal más conocido como **Pushover** basado en un análisis estático lineal y un análisis dinámico no lineal basado en una función tiempo historia que describe una función variante en el tiempo ya sea de aceleración o de fuerza. Un registro sísmico esta generalmente en función de la aceleración contra el tiempo. En este caso se ha incorporado al programa **Sap2000** una función variante en el tiempo contra fuerza, que fue la fuerza que resultó del modelo a escala fabricado y ensayado.

4.1 MONTAJE DE LA ESTRUCTURA

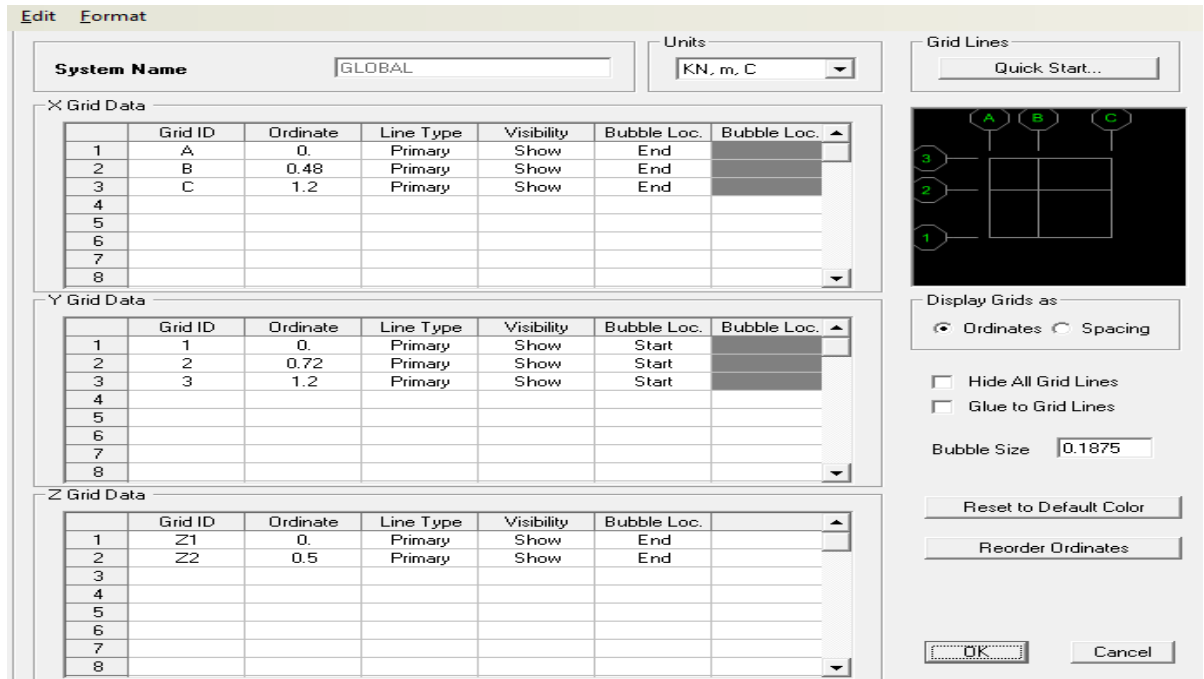
La estructura de muros está compuesta por elementos tipo “Shell Layered/Nonlinear”. Se tienen que armar unas grillas con la geometría respectiva, que son una especie de cajones los cuales permiten crear los muros.

Figura 36: Montaje de grillas.



Fuente: Autores

Figura 37: Montaje de grillas.



Fuente: SAP 2000 SCI

Una vez armadas las grillas se define el material, en este caso se introdujo un nuevo material que llamamos 3D, que no es más que introducir las propiedades halladas anteriormente en cada casilla correspondiente y tener cuidado al idealizar la curva esfuerzo/deformación.

Se tuvo en cuenta que la resistencia a la tensión fue de un 35% y la resistencia al cortante fue de un 30% del valor de la resistencia hallada a la compresión en el material.

Además se tuvo cuidado al ingresar el peso de material por unidad de volumen dado a que este también está afectado por el factor de escala.

Figura 38: Definición material.

Material Name 3d	Material Type Concrete	Symmetry Type Isotropic
Modulus of Elasticity E 2055.55	Weight and Mass Weight per Unit Volume 7.061E-08 Mass per Unit Volume 7.200E-12	Units N, mm, C
Poisson's Ratio U 0.3	Other Properties for Concrete Materials Specified Concrete Compressive Strength, f'c 2.8704 <input type="checkbox"/> Lightweight Concrete Shear Strength Reduction Factor	
Coeff of Thermal Expansion A 1.170E-05		
Shear Modulus G 790.5962	Advanced Material Property Data Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties... Thermal Properties...	

Fuente: SAP 2000 SCI

Se consideró las propiedades inelásticas del material:

Figura 39: Propiedades del material.

Material Name: 3d Material Type: Concrete

Hysteresis Type: Takeda

Drucker-Prager Parameters:
Friction Angle: 0.
Dilatational Angle: 0.

Units: N, mm, C

Stress-Strain Curve Definition Options:
 Parametric
 User Defined Convert To User Defined

User Stress-Strain Curve Data
 Number of Points in Stress-Strain Curve: 10

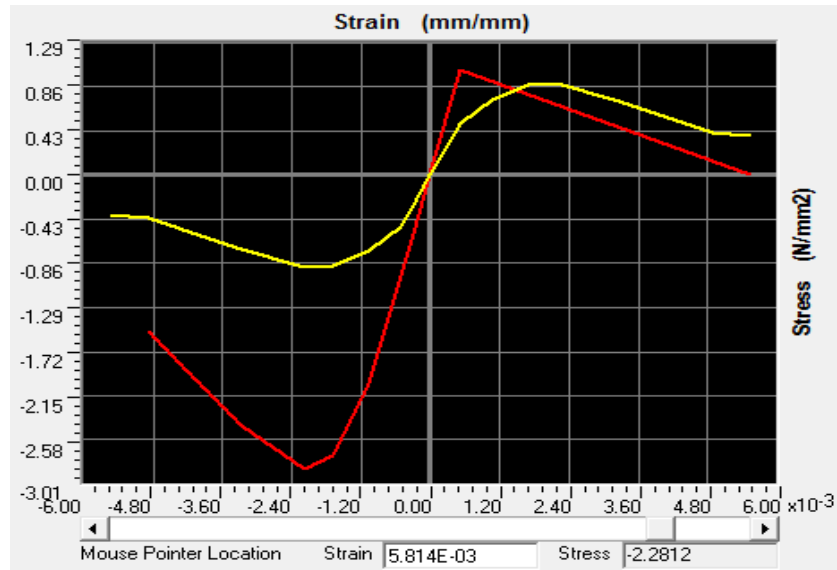
	Strain	Stress	Point ID
1	-4.887E-03	-1.5236	-E
2	-4.344E-03	-1.8336	
3	-3.284E-03	-2.4389	
4	-2.172E-03	-2.8704	-C
5	-1.703E-03	-2.7325	
6	-1.060E-03	-2.0277	
7	-2.172E-04	-0.4461	
8	0.	0.	A
9	5.020E-04	1.0321	B
10	5.523E-03	0.	E

Order Rows
Show Plot...

Fuente: SAP 2000 SCI

La siguiente grafica muestra la curva esfuerzo/deformación para la compresión y la curva esfuerzo/deformación para el cortante, ingresados en el programa Sap2000.

Figura 40: Curva esfuerzo/deformación (cortante y compresión).

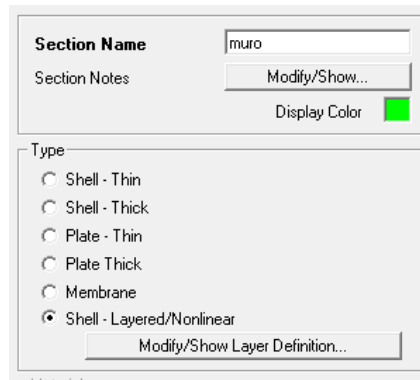


■ Compresión ■ Cortante

Fuente: SAP 2000 SCI

Se definieron secciones transversales de muro con la herramienta para crear elementos de área “Shell Layered /Nonlinear”, que es el análogo de considerar una sección de muro con comportamiento en el rango no –lineal o inelástico.

Figura 41: “Shell Layered /Nonlinear”,



Fuente: SAP 2000 SCI

Se puede ver en esta imagen que existe muchas posibilidades para crear elementos Shell, que modelan muros y placas, el más usado Shell-Thin, se utiliza para todo tipo de placas y muros, el resto de estos casos para de entrada definir si el elemento de área tendrá un comportamiento a trabajar cierto tipo en fuerza en especial.

Figura 42: Definición refuerzo del muro de 3D-Panel.

The screenshot shows the 'Reinforcement Definition' dialog box for a wall section named 'muro'. The 'Rebar Layers' are set to 'Two Layers'. The 'Units' are set to 'N, mm, C'. Under 'Material Data And Concrete Thickness', the concrete material is '3d', rebar material is 'As-refuerzo', and concrete thickness is '12'. The 'In-Plane Element Component Behavior' has 'S22 Nonlinear' checked. The 'Out-of-Plane Element Component Behavior' is set to 'Linear'. Under 'Rebar Size, Spacing and Clear Cover', the 'Size and Spacing Is the Same For All Rebar' checkbox is unchecked. The rebar size is 'cal20' and spacing is '@ 12.7' for all directions. The cover is '3'. The 'Shell Section Elevation View' shows a cross-section with rebar layout, and the 'Shell Section Plan View' shows a grid with rebar layout. The 'Show Elevation 1-3' checkbox is checked.

Fuente: SAP 2000 SCI

Para que se pueda efectuar un buen análisis de pushover y análisis dinámico no-lineal, se debe ingresar “el diseño”, es decir se debe ya tener a la mano como está conformado el refuerzo de la estructura. Se definió que la fuente de masa en la estructura sería de las cargas, en este caso solo la carga muerta.

Figura 43: Definición de la fuente de masa

The screenshot shows the 'Mass Definition' dialog box. The 'From Loads' radio button is selected. The 'Define Mass Multiplier for Loads' section contains a table with two columns: 'Load' and 'Multiplier'. The table has one row with 'DEAD' in the 'Load' column and '1.' in the 'Multiplier' column. There are 'Add', 'Modify', and 'Delete' buttons to the right of the table.

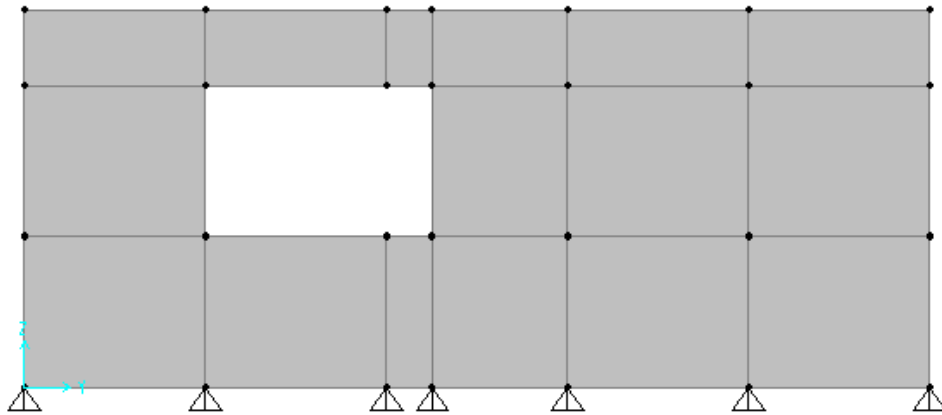
Load	Multiplier
DEAD	1.

Fuente: SAP 2000 SCI

4.1.1. Geometría de la estructura

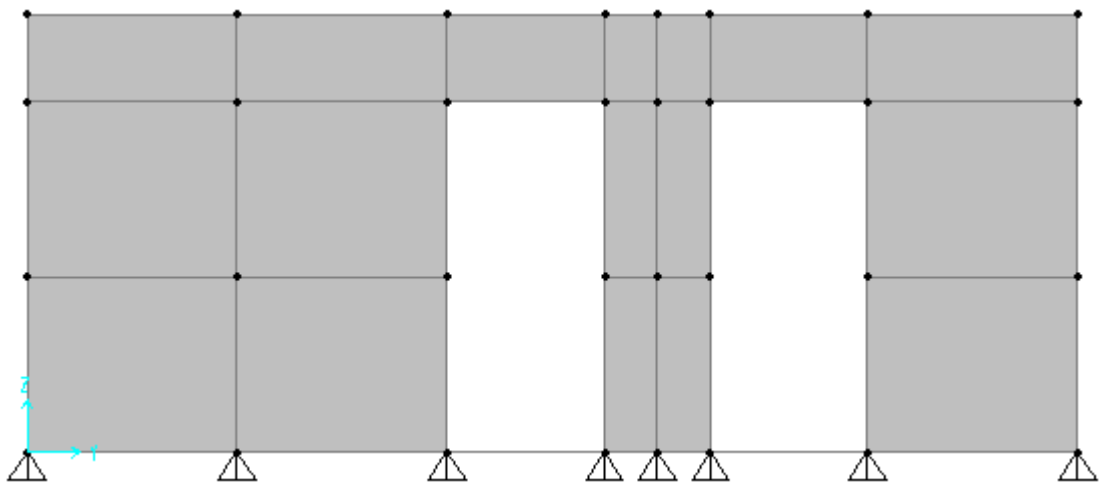
Se procedió con la armada de la estructura mediante los elementos “Shell Layered /Nonlinear”.

Figura 44: Muro en X=0



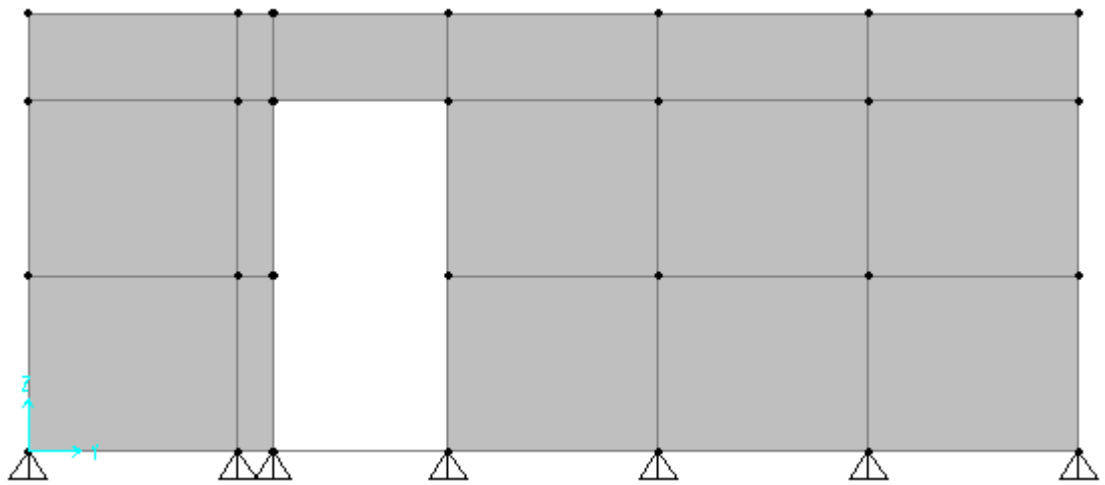
Fuente: SAP 2000 SCI

Figura 45: Muro en X=48cm (escala) X=2.4m (real)



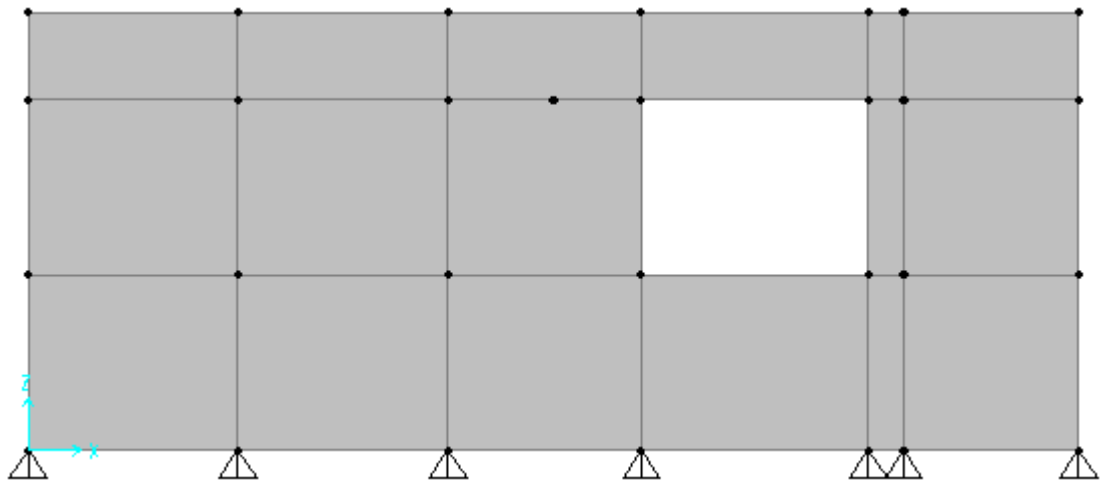
Fuente: SAP 2000 SCI

Figura 46: Muro en $X=120\text{cm}$ (escala) $X=6\text{m}$ (real)



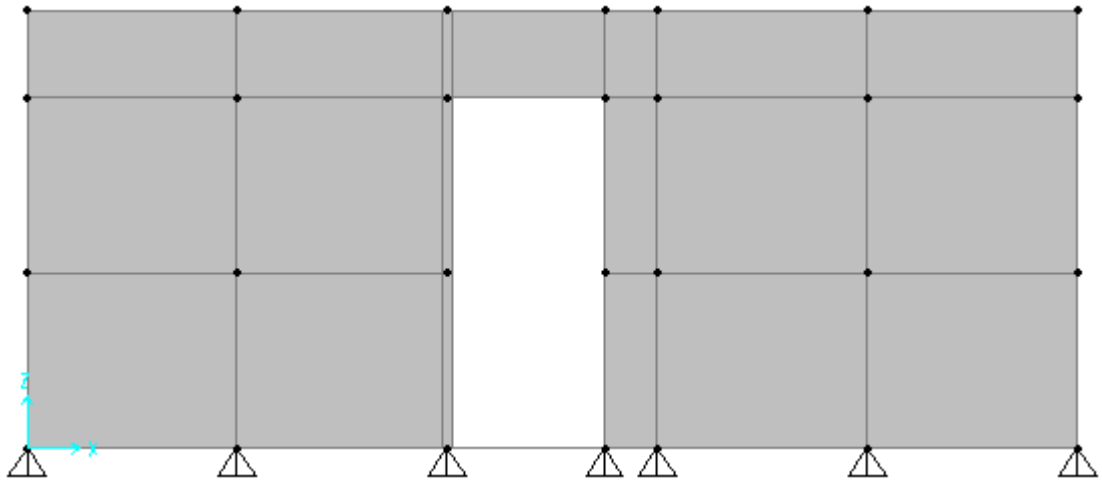
Fuente: SAP 2000 SCI

Figura 47: Muro en $Y=0$



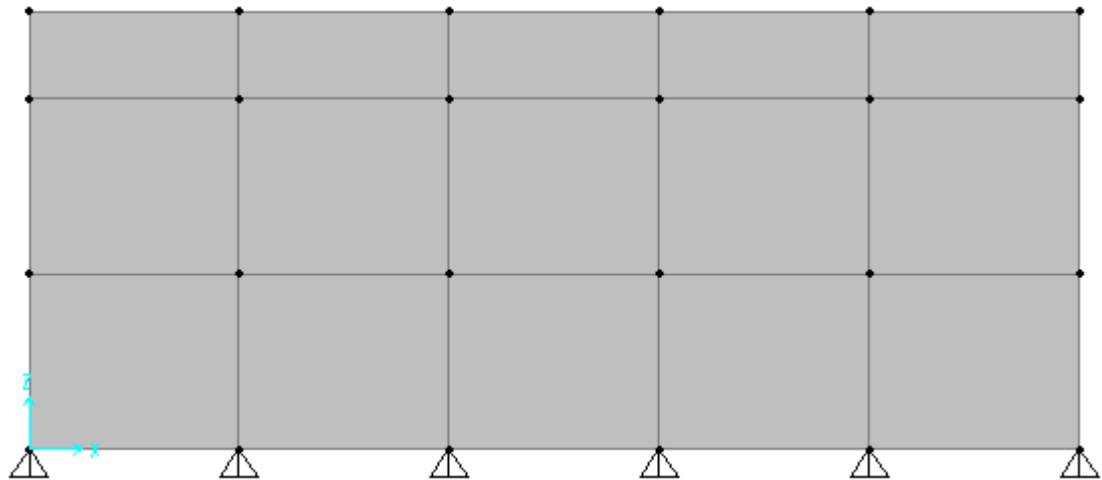
Fuente: SAP 2000 SCI

Figura 48: Muro en Y=72cm (escala) Y=3.6m (real)



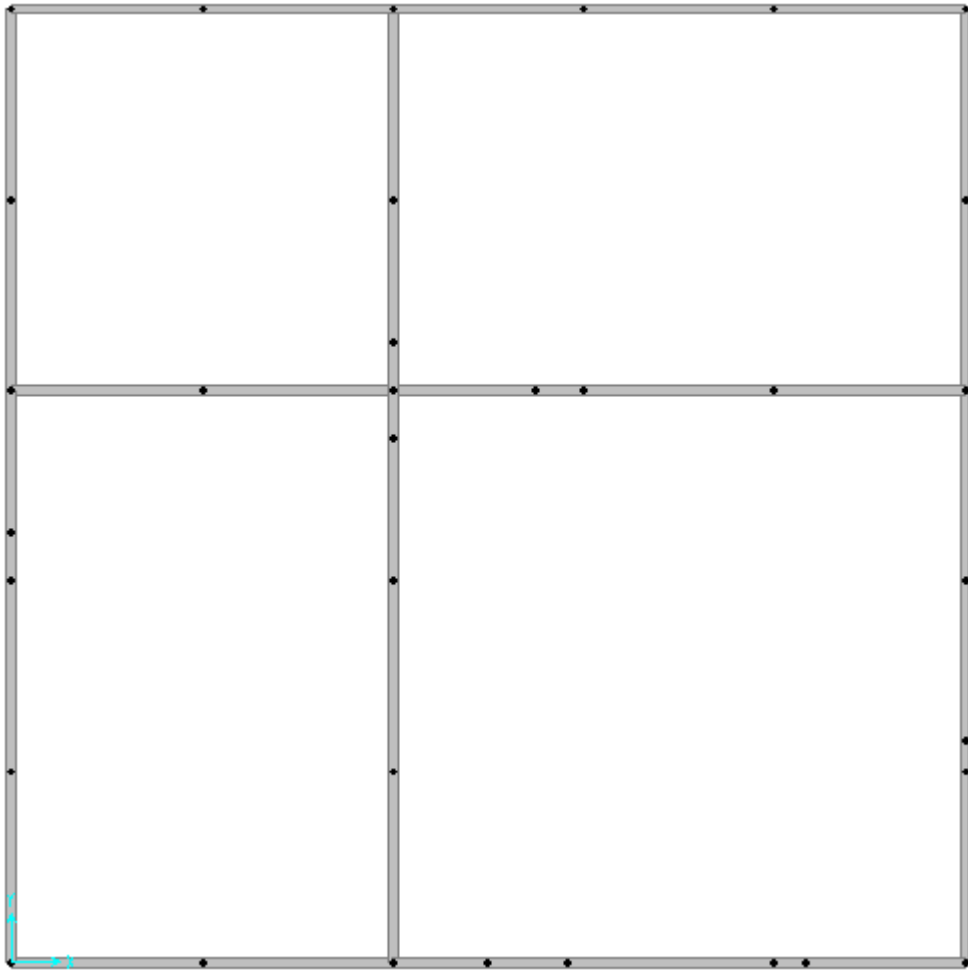
Fuente: SAP 2000 SCI

Figura 49: Muro en Y=120cm (escala) Y=6m (real)



Fuente: SAP 2000 SCI

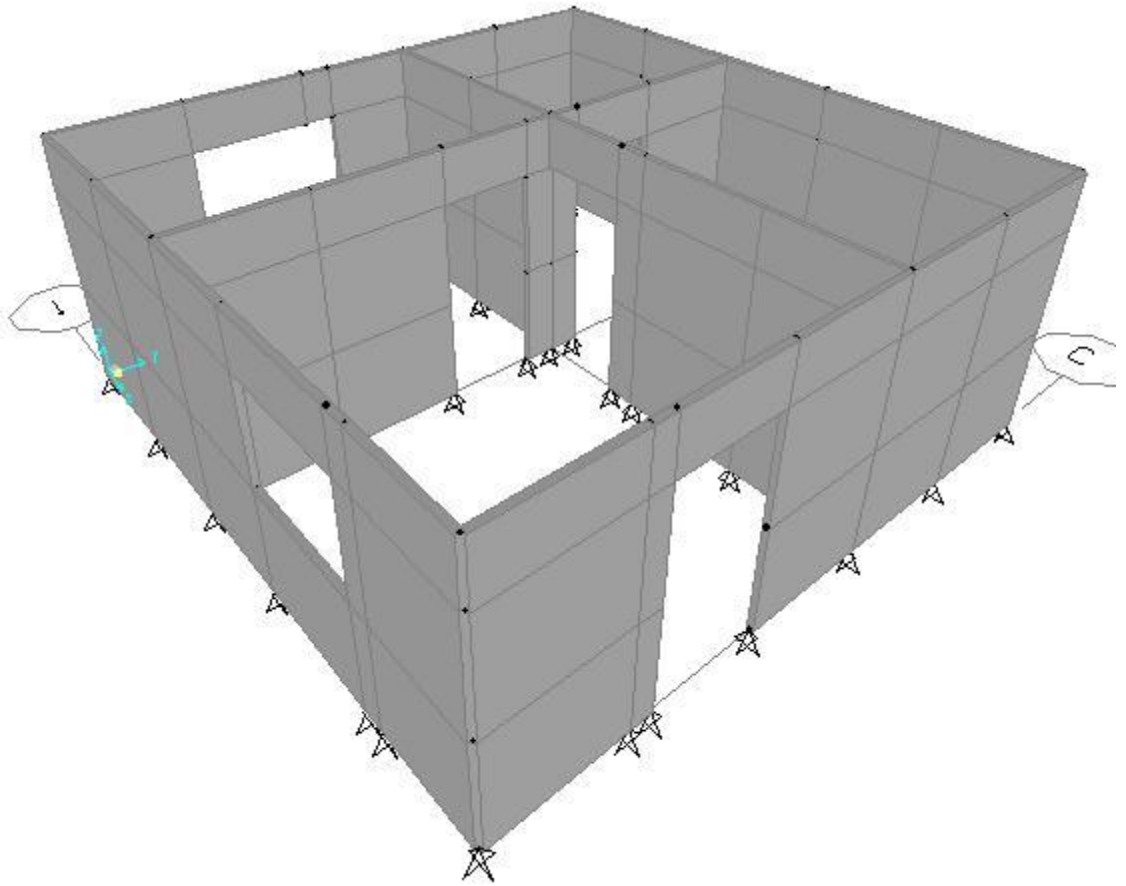
Figura 50: Planta Z=48cm (escala) Z=2.4m



Fuente: SAP 2000 SCI

A esta planta se le asignó un diafragma rígido, tal que transfiera las cargas a todos los muros, este diafragma rígido simula la placa de entepiso.

Figura 51: Modelo tridimensional estructura modelo a escala sistema constructivo 3D PANEL



Fuente: SAP 2000 SCI

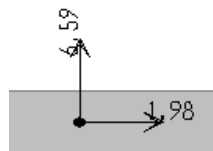
4.2 PUSHOVER

Este método de análisis no-lineal, ofrece una gran ventaja en el estudio de la estructura frente al análisis estático lineal, donde se considera que la estructura siempre va estar en el rango elástico y que ella es capaz de recobrar su posición y estado original en el momento en que se deje de aplicar una carga impuesta, pero como sabemos esto no es así, pasado un punto de desplazamiento originado por una fuerza, la estructura comenzará a tomar una posición irreversible comparada con la posición original, dado a la entrada en el rango inelástico de los materiales.

Al tener el valor de la fuerza sísmica actuante “cortante basal”, será fácil detectar si la estructura ha entrado en el punto donde no hay reversa, en el rango inelástico o bien si la estructura habrá colapsado.

En el momento de cargar la estructura se tuvo en cuenta las dos direcciones del sismo, por lo tanto se impuso el cortante basal a escala de 100% en la dirección Y y 30% en la dirección X. Esta carga se impone para poder obtener una idea previa de cómo es el comportamiento de la estructura mediante el pushover y así poder determinar la carga en la cual el nodo monitoreado se empieza a comportar inelásticamente. Se creó un caso de carga estático el cual tendría el nombre **Sy**, en el cual está la carga sísmica hallada. Esta carga fue impuesta en el punto de aplicación de la carga en el modelo físico del sistema constructivo 3D-Panel.

Figura 52: Carga impuesta al modelo constructivo.



$$S_y = 100\% F_x (j) + 30\% F_x (i) ; S_y = 6.59 (j) + 1.98 (i) \text{ [KN]}$$

Fuente: SAP 2000 SCI

Luego de tener nuestro modelo ya bien definido procedemos a efectuar un análisis **Pushover** que en un análisis estático no lineal, consiste en aplicar una carga estática a la estructura o un desplazamiento considerable que sea capaz de hacer llegar a la estructura a los valores del límite elástico y observar el comportamiento no lineal de la estructura, es importante tener un indicio de cuanta es la carga estática que hace que la estructura empiece a ingresar en el rango inelástico o bien el nodo que estamos monitoreando o en su lugar el desplazamiento en el cual la estructura empieza a tener este comportamiento, como se realizó en este caso.

Este análisis puede ser bastante demorado dado a que es un proceso iterativo que el programa Sap2000 trabaja con métodos numéricos, en los cuales se tiene que prestar atención a si es efectiva su convergencia.

4.2.1. Primer caso

Se ha creado un nuevo caso de carga que primero evalúe si por carga muerta se originan plastificaciones:

Figura 53: Primer caso para análisis Pushover Ecase1.

The screenshot shows the 'Load Case Definition' dialog box in SAP2000. The 'Load Case Name' is 'Ecase1'. The 'Load Case Type' is 'Static'. Under 'Initial Conditions', 'Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State' is selected. Under 'Analysis Type', 'Nonlinear' is selected. Under 'Modal Load Case', 'All Modal Loads Applied Use Modes from Case' is 'MODAL'. The 'Loads Applied' table has the following data:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1.
Load Pattern	DEAD	1.

Other parameters include 'Load Application' set to 'Full Load', 'Results Saved' set to 'Final State Only', and 'Nonlinear Parameters' set to 'Default'. Buttons for 'Add', 'Modify', and 'Delete' are visible next to the load table. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Fuente: SAP 2000 SCI

En el siguiente paso se creó un segundo llamado **ACASE2** caso de carga, en el cual se definió que se empezara a partir del caso **ACASE1**.

Figura 54: Ecase2

The screenshot shows the 'Define Case' dialog box in SAP 2000 SCI. The 'Load Case Name' is 'ACASE2'. The 'Load Case Type' is 'Static'. The 'Initial Conditions' are set to 'Continue from State at End of Nonlinear Case' with 'ACASE1' selected. The 'Analysis Type' is 'Nonlinear'. The 'Modal Load Case' is 'MODAL'. The 'Loads Applied' table has one entry: 'Load Pattern' with 'Sy' and a scale factor of '1.'. The 'Other Parameters' are 'Displ Control', 'Multiple States', and 'Default'.

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Sy	1.

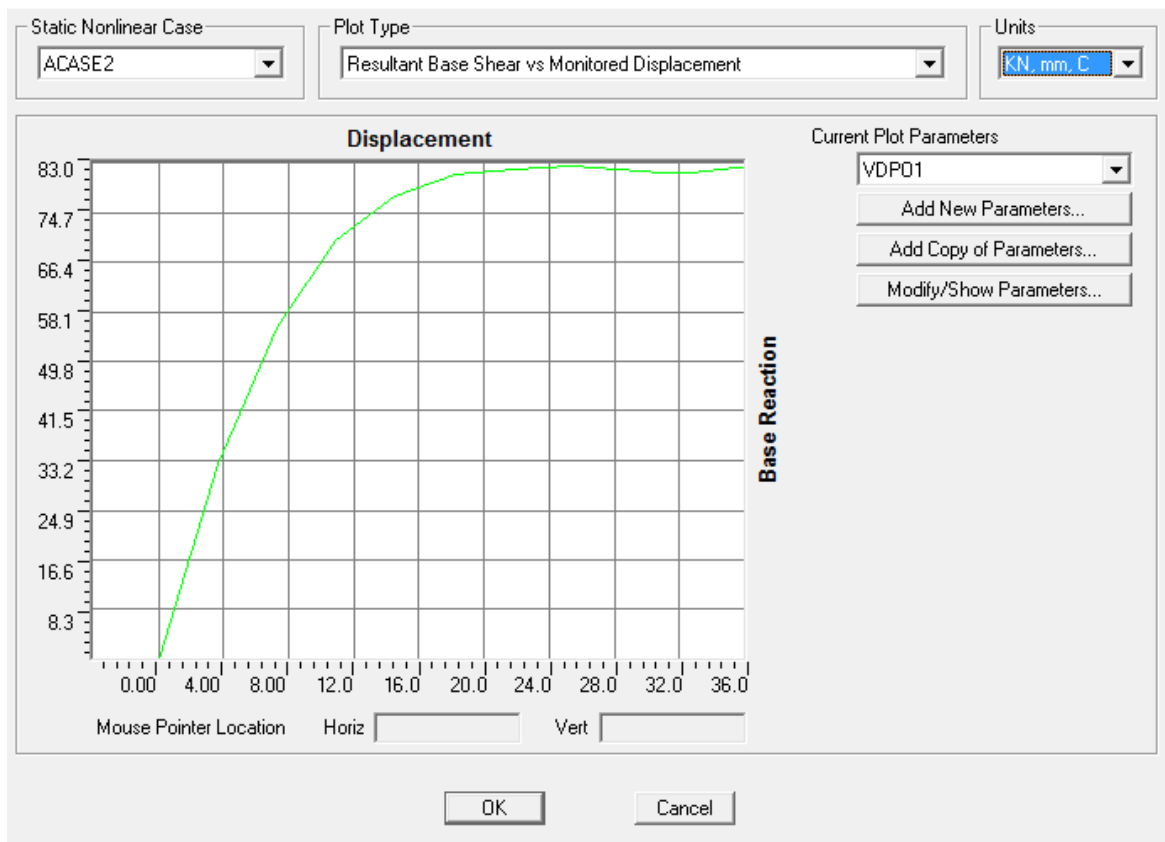
Fuente: SAP 2000 SCI

Este caso estaría basado en una fuerza de excitación **Sy**, que es la fuerza sísmica hallada anteriormente.

4.2.2. Segundo caso

Este caso se trabajó por control de desplazamientos, tal como se hizo en el modelo a escala y se le dio un desplazamiento máximo de 36mm, este valor de 8mm se encontró luego de hacer varias iteraciones y de observar que a este valor se empezaba a demorar la convergencia del método numérico. Además se introdujo la orden de que se monitoreara el nodo 145, que es el nodo donde se aplicó la carga sísmica y donde se tiene información del modelo a escala.

Figura 55: Grafica de curva de PUSHOVER



Fuente: SAP 2000 SCI

4.3. PROTOCOLO DE CARGA

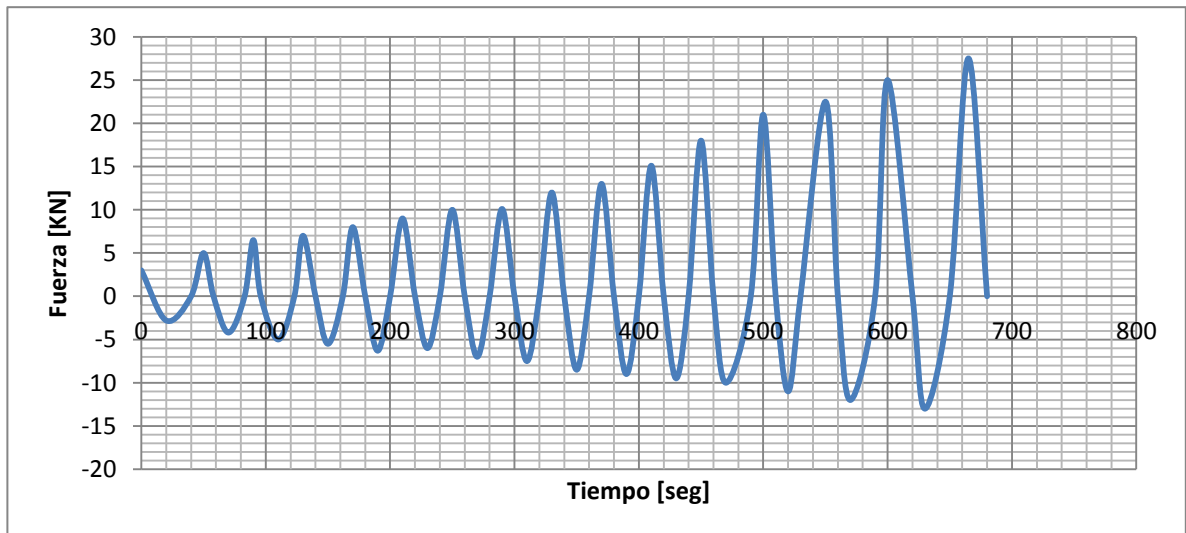
El modelo a escala como se pudo ver anteriormente estuvo sometido a un protocolo de carga, el cual también se cargó en el modelo computacional para comparar resultados.

El análisis dinámico no lineal considera aspectos como la función tiempo –historia como excitación del sistema estructural y el comportamiento de los materiales en el rango inelástico.

La función tiempo-historia es generalmente una acumulación de datos medidos y recopilados y sistematizados acerca de sismos de mediana a gran importancia, pero también podría ser función variante en el tiempo de cualquier fuerza, aceleración o bien desplazamientos.

La mayoría de los datos recopilados de sismos se sistematizan en forma de aceleración contra tiempo, en este caso se introdujo una excitación de fuerza contra tiempo.

Figura 56: Grafica de función Tiempo-Historia (Fuerza/Tiempo).



Fuente: SAP 2000 SCI

La función protocolo de carga está definida así:

Tabla 23: Función protocolo de carga.

T [seg]	F [KN]	T [seg]	F [KN]	T [seg]	F [KN]
0	3	230	-6	440	0
20	-2.8	240	0	450	18
40	0	250	10	460	0
50	5	260	0	470	-10
58	0	270	-7	490	0
70	-4.2	280	0	500	21
83	0	290	10.1	510	0
90	6.5	300	0	520	-11
96	0	310	-7.5	530	0
110	-5	320	0	550	22.5
123	0	330	12	560	0
130	7	340	0	570	-12
140	0	350	-8.5	590	0
150	-5.5	360	0	600	25
162	0	370	13	620	0
170	8	380	0	630	-13
180	0	390	-9	650	0
190	-6.3	400	0	665	27.5
200	0	410	15.1	680	0
210	9	420	0		
220	0	430	-9.5		

Fuente: Autores

En Sap2000 se creó un nuevo caso de carga llamado **ACASE3**, se definió como tipo de carga una función tiempo-historia, que usara los modos del análisis modal, que entrará en el rango no lineal y que tomara una función Fuerza/Tiempo que se cargo a Sap2000 con el nombre de **Protocolo UIS**. Como carga de excitación se tomó la fuerza sísmica **Sy** y como factor de escala 1.

Figura 57: Función Tiempo Historia(fuerza/Tiempo)

Function Name

Function File

File Name

c:\users\administrator\desktop\ingenieria civil
luis\proyecto de arado\3dbanel\th-fuerza3dbanel.txt

Header Lines to Skip

Prefix Characters per Line to Skip

Number of Points per Line

Values are:

Time and Function Values

Values at Equal Intervals of

Format Type

Free Format

Fixed Format

Characters per Item

Function Graph

Fuente: SAP 2000 SCI

Caso de carga del análisis dinámico no lineal

Figura 58: Definición del caso de carga del análisis Dinámico No Lineal, Sap2000

Load Case Name: ACASE3 Notes:

Load Case Type: Time History

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: Use Modes from Case: MODAL

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear

Time History Type:

- Modal
- Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	Sy	protocolo UI:	1.
Load Pattern	Sy	protocolo UIS	1.

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 60

Output Time Step Size: 1.

Time History Motion Type:

- Transient
- Periodic

Other Parameters:

Damping: Proportional Damping

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor

Nonlinear Parameters: Default

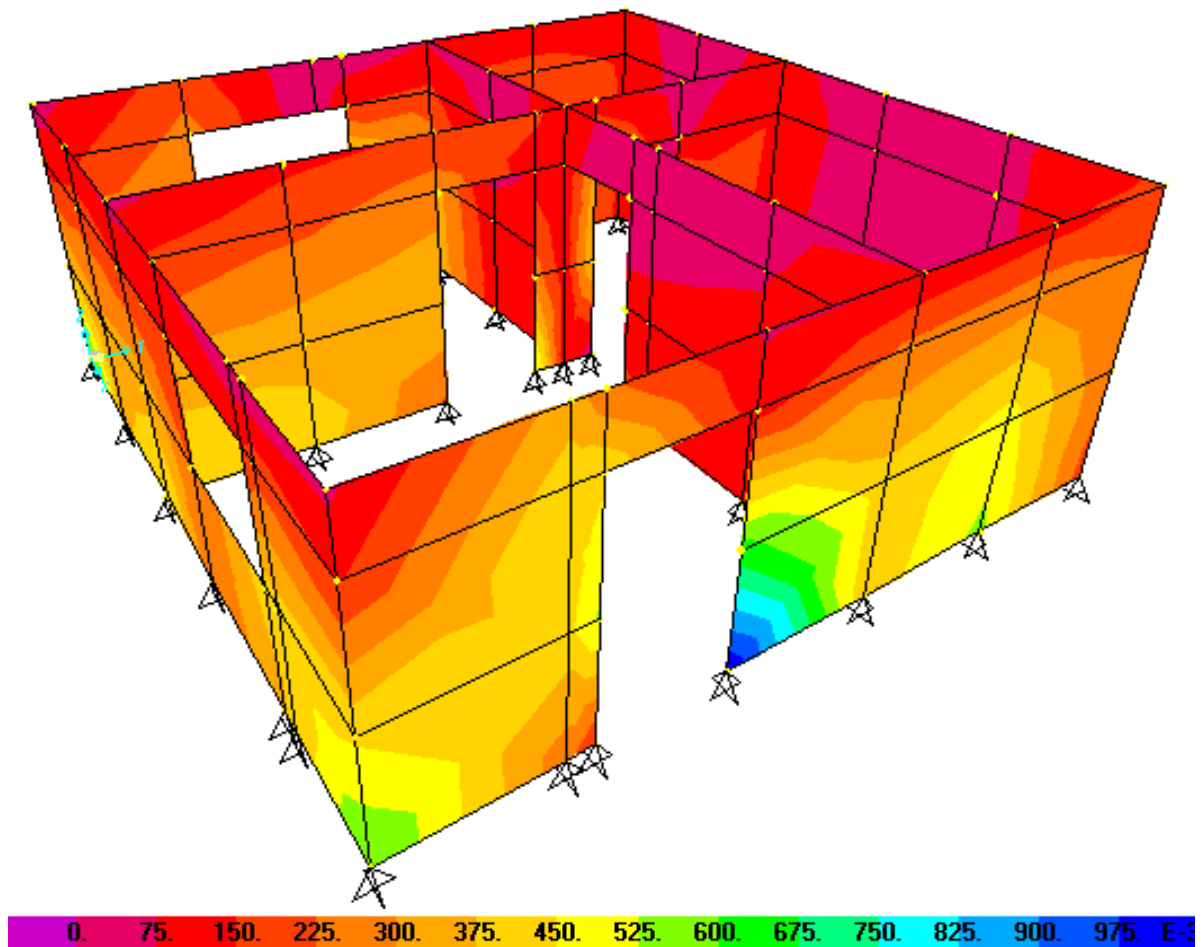
Fuente: SAP 2000 SCI

4.4. RESULTADOS

ANÁLISIS DE ESFUERZOS ORIGINADOS POR LA CARGA SISMICA

Se observó que para el tiempo $T=600$ seg , y la fuerza $F=25$ KN, se empezó a presentar la falla de la estructura:

Figura 59: $S_{Máx}$ [MPa]

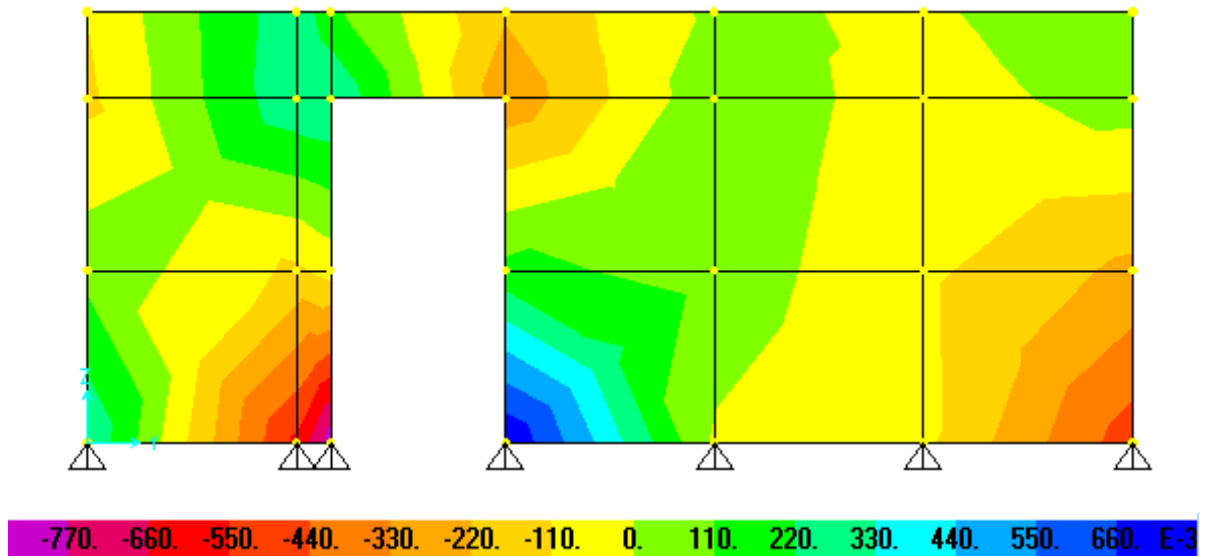


Franja de valores esfuerzos principales en $t=600$ seg, $F=25$ KN [MPa]

Fuente: SAP 2000 SCI

En la figura se aprecia que los mayores esfuerzos se encuentran en la zona cercana a la puerta

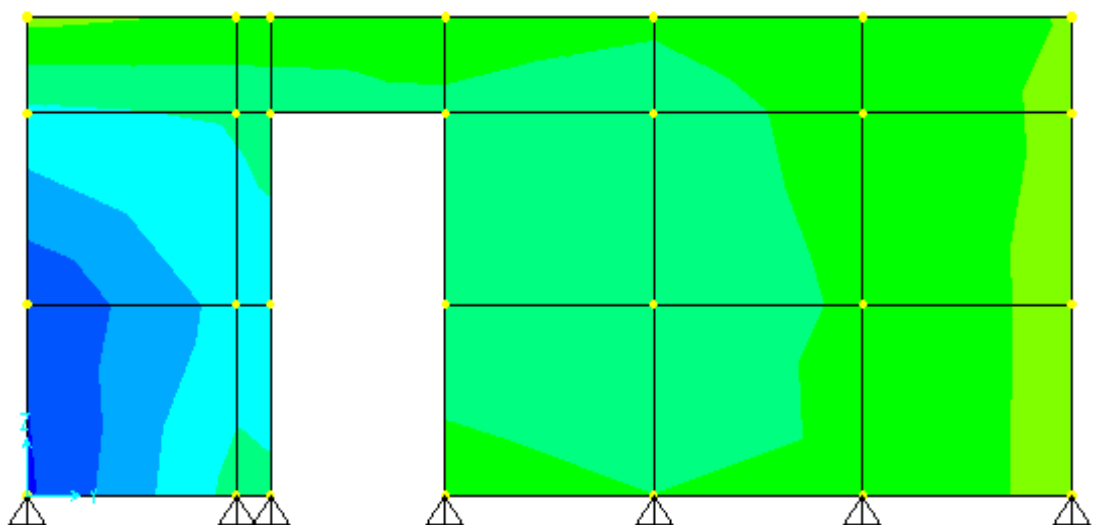
Figura 60: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)

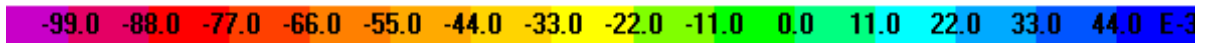


S11 Franja de valores esfuerzos paralelos a la carga sísmica en t=600seg, F=25KN [MPa]

Fuente: SAP 2000 SCI

Figura 61: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)

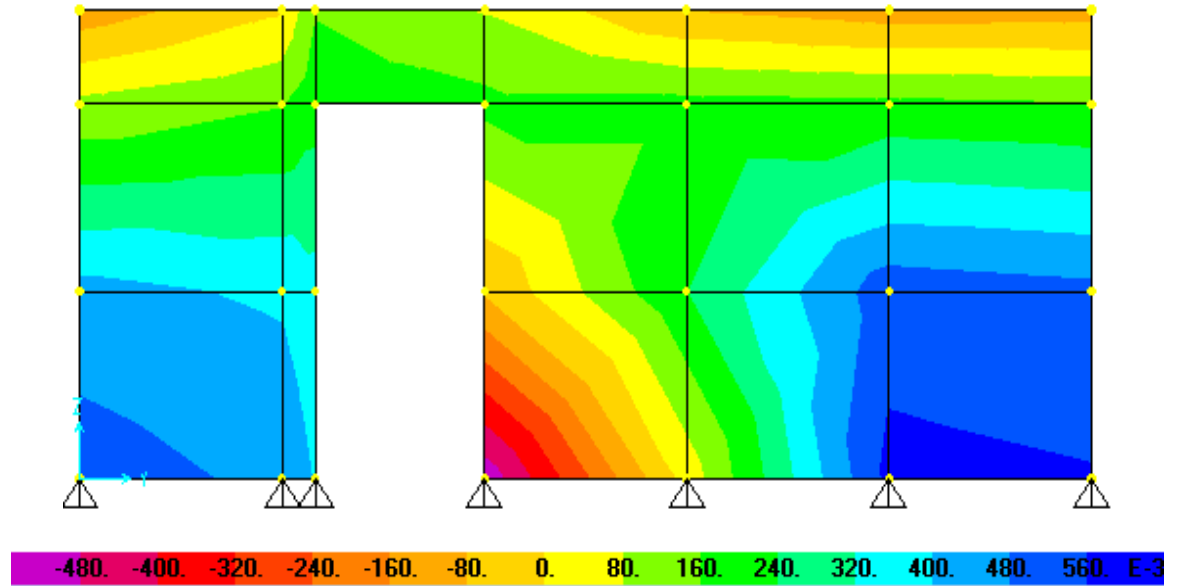




S22 Franja de valores esfuerzos perpendiculares a la carga sísmica en t=600seg, F=25KN [MPa]

Fuente: SAP 2000 SCI

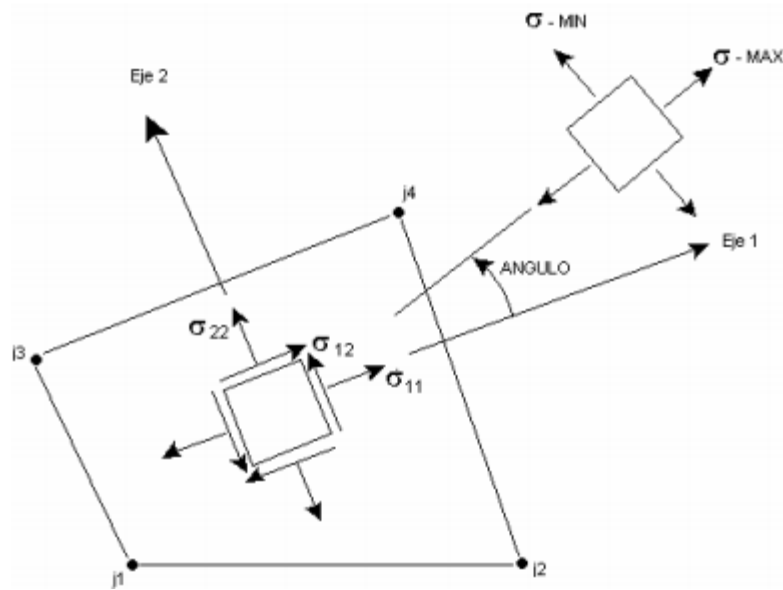
Figura 62: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)



S12 Franja de valores esfuerzos cortantes en t=600seg, F=25KN [MPa]

Fuente: SAP 2000 SCI

Teoría de esfuerzos

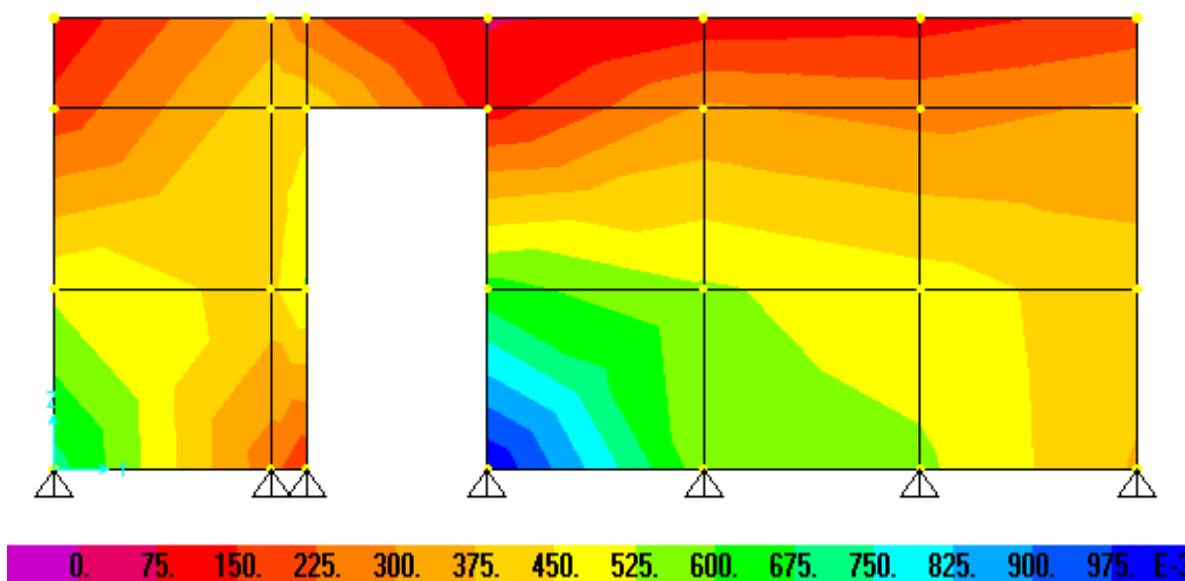


$$\sigma_{m\acute{a}x,min} = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{2}\right)^2 + \sigma_{12}^2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{2}\right)^2 + \sigma_{12}^2}$$

Se comprobó que los esfuerzos principales coincidieran con los arrojados por el programa.

Figura 63: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)



SMax Franja de valores esfuerzos principales en t=600seg, F=25KN [MPa]

Fuente: SAP 2000 SCI

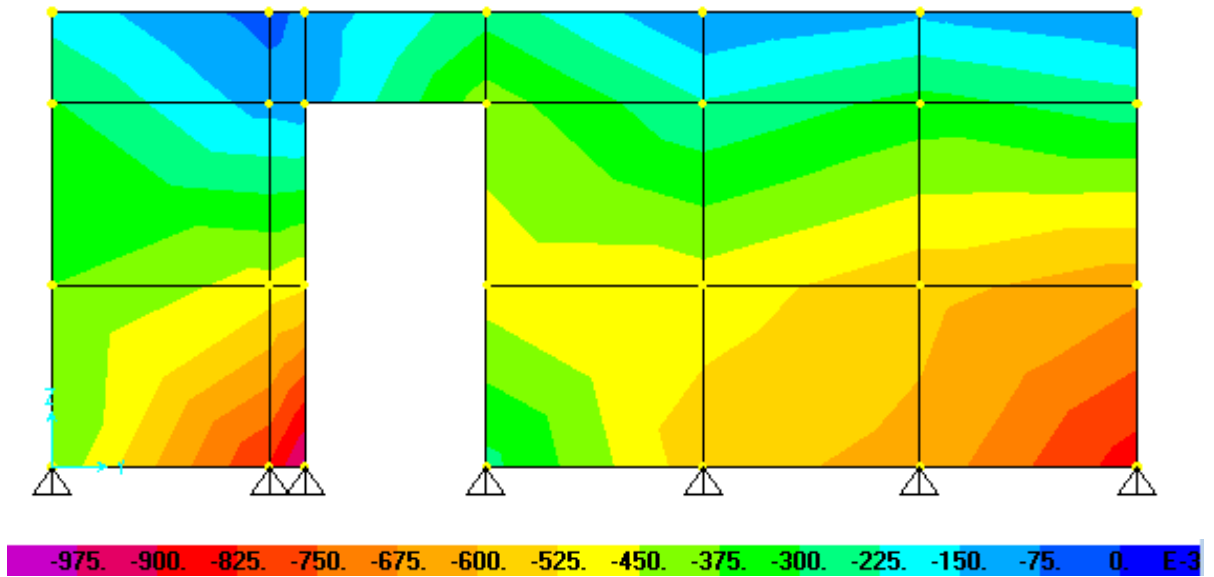
ESFUERZOS EN LA ZONA DERECHA INFERIOR DE LA PUERTA					
S11	S22	S12	Smax	Smin	Svmax
0.767584	-0.00242	-0.537276	1.04356009	-0.2783969	0.66097809

Res. Tensión Promedio [Mpa]
1.0462963

El esfuerzo obtenido para la resistencia a la tensión fue:

En este tiempo y para esta fuerza, se obtiene que el modelo empezara a fallar, esta carga esta muy por encima de la carga sísmica obtenida para el modelo a escala.

Figura 64: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)



SMin Franja de valores esfuerzos principales minimos en t=600seg, F=25KN [MPa]

Fuente: SAP 2000 SCI

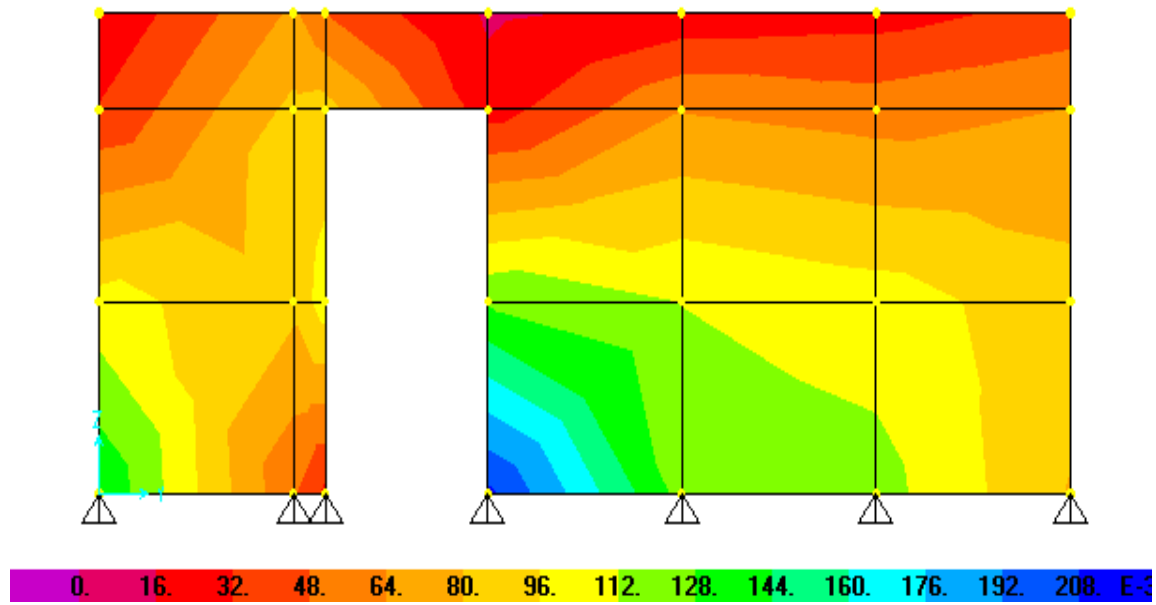
ESFUERZOS EN LA ZONA IZQUIERDA INFERIOR DE LA PUERTA					
S11	S22	S12	Smax	Smin	Svmax
-0.8508	0.00881	0.392873	0.16131208	-1.0033020	0.58230708

Res. Compresión f'_c Promedio [MPa]
2.87037037

También se pudo observar que el esfuerzo máximo de compresión en este punto y para esta fuerza en este tiempo era menor que el máximo permisible para el material, es decir el material no estaría fallando por compresión.

En el tiempo $t=90$ seg y Fuerza $F=6.5\text{KN}$, la fuerza se iguala a la fuerza sísmica calculada, es decir se podrían evaluar los esfuerzos en este instante y verificar si los esfuerzos sobrepasan los calculados.

Figura 65: Muro en $X=120\text{cm}$ (escala) $X=6\text{m}$ (real)



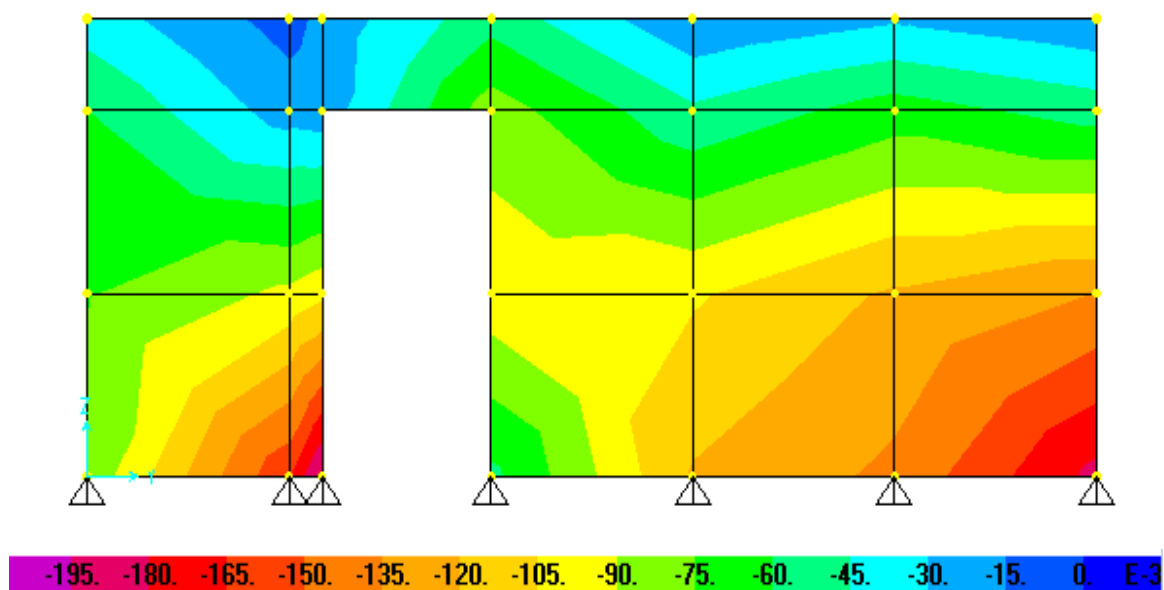
SMax Franja de valores esfuerzos principales en $t=90\text{seg}$, $F=6.5\text{KN}$ [MPa]

Fuente: SAP 2000 SCI

Res. Tensión Promedio [Mpa]
1.0462963

Claramente se observa que el esfuerzo principal para la tensión no supera el esfuerzo obtenido para este tipo de esfuerzos.

Figura 66: Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)



SMin Franja de valores esfuerzos principales en t=90seg, F=6.5KN [MPa]

Fuente: SAP 2000 SCI

Res. Compresión f'_c Promedio [MPa]
2.87037037

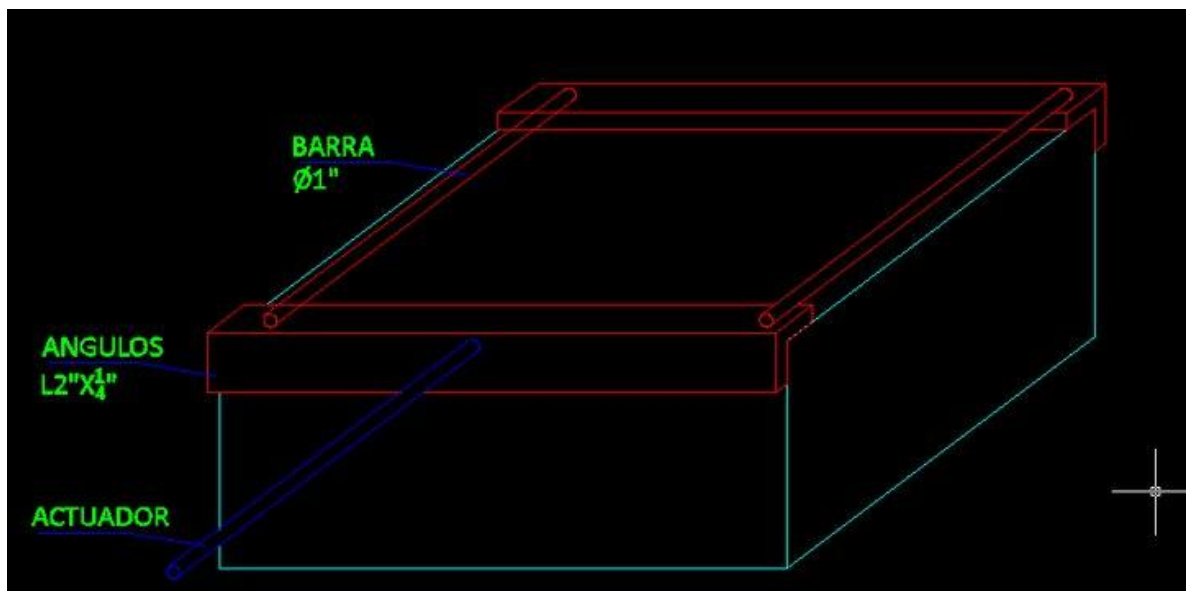
Igualmente para los esfuerzos principales mínimos, es decir para los esfuerzos de compresión, se obtiene un valor de esfuerzo mucho menor que el máximo en compresión.

V. ENSAYO DEL MODELO A ESCALA

Ya una vez construido nuestro modelo a escala con todos los criterios del análisis dimensional, y teniendo ubicado en la posición correcta el actuador MTS, hacía falta diseñar la forma en la cual se iba a transmitir la carga desde el actuador a la edificación para ello se pensaron en varios dispositivos de falla, pero necesitábamos uno el cual me pudiera mover en su conjunto toda la estructura aplicándole fuerzas a tracción y a compresión.

5.1 DISPOSITIVO DE FALLA

Foto 45: Dispositivo de falla



Fuente: Autores

Se diseñó un marco en acero el cual fuera capaz de soportar dichas cargas y transmitiera uniformemente la fuerza ejercida por el actuador y a su vez pudiera trabajar en ambos sentidos, como de tracción y compresión de la estructura y así poder simularle la fuerza sísmica calculada.

5.1.1. Marco

Para ello se requirió de un soldador que fuera al laboratorio y pudiera acoplar bien todos los elementos del sistema a nuestro modelo a escala.

Foto 46: Marco



Fuente: Autores

5.1.2. Platina Actuador

También se debió colocarle una platina al actuador para poder acoplar ambos sistemas y pudieran trabajar en conjunto con el modelo a escala.

Foto 47: Platina Actuador



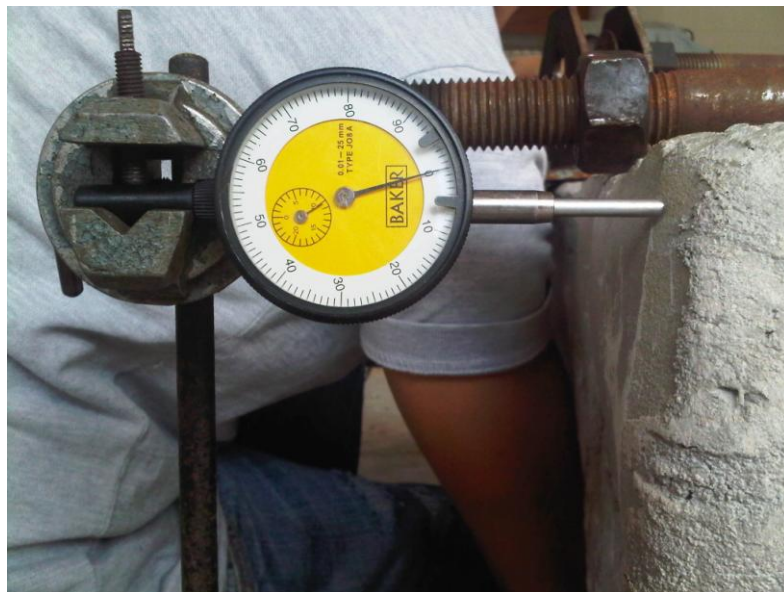
Fuente: Autores

Ajustado el marco a la vivienda y la platina al actuador se utilizo una barra resistente que me conectara ambos sistemas y así poder tener listo nuestro modelo para comenzar con el protocolo de carga sísmica que se iba a ejercer al modelo.

5.1.3. Sistema de medida

Para la medición de las deformaciones de los muros en nuestro modelo a escala, se instalaron dos deformímetros uno a cada lado, los cuales pudieran medirme los desplazamientos de la estructura de forma exacta, tanto en modo de tracción como de compresión.

Foto 48: Deformímetros



Fuente: Autores

Finalmente se pudo obtener todo un sistema trabajando en conjunto de forma sincronizada entre el actuador y el modelo, listo para ser evaluado.

Foto 49: Dispositivo completo de falla.

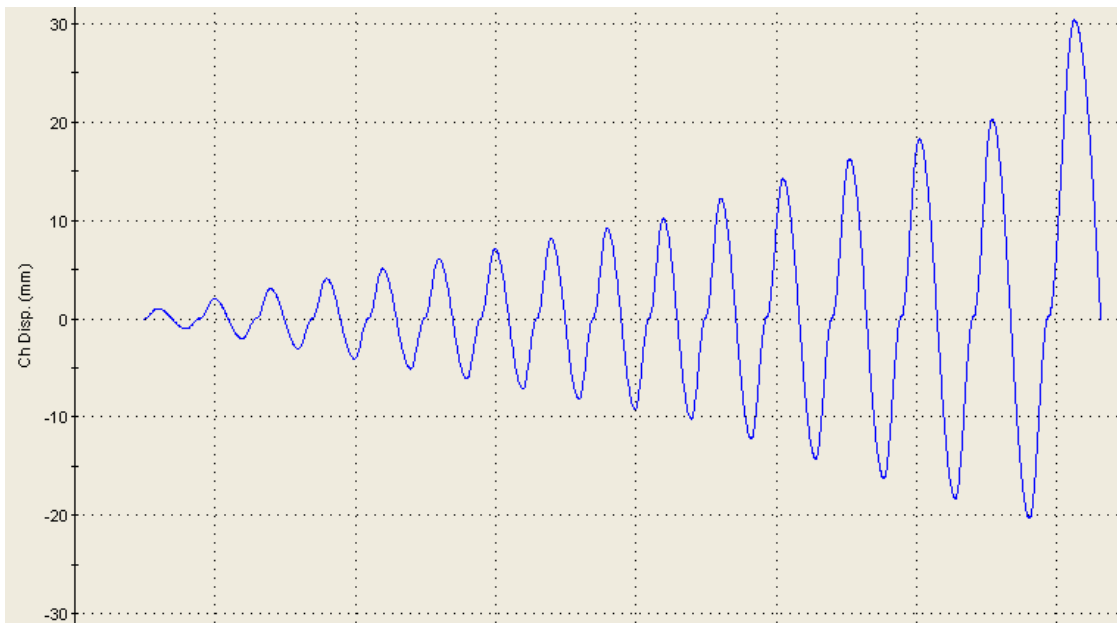


Fuente: Autores

5.2 PROTOCOLO DE CARGA

El protocolo de carga que se utilizó fue de acuerdo al análisis obtenido en el modelo matemático, teniendo como parámetro de incremento el desplazamiento simulando una función sinusoidal con tasa de incremento en cada ciclo.

Figura 67: Función Desplazamiento / Historia

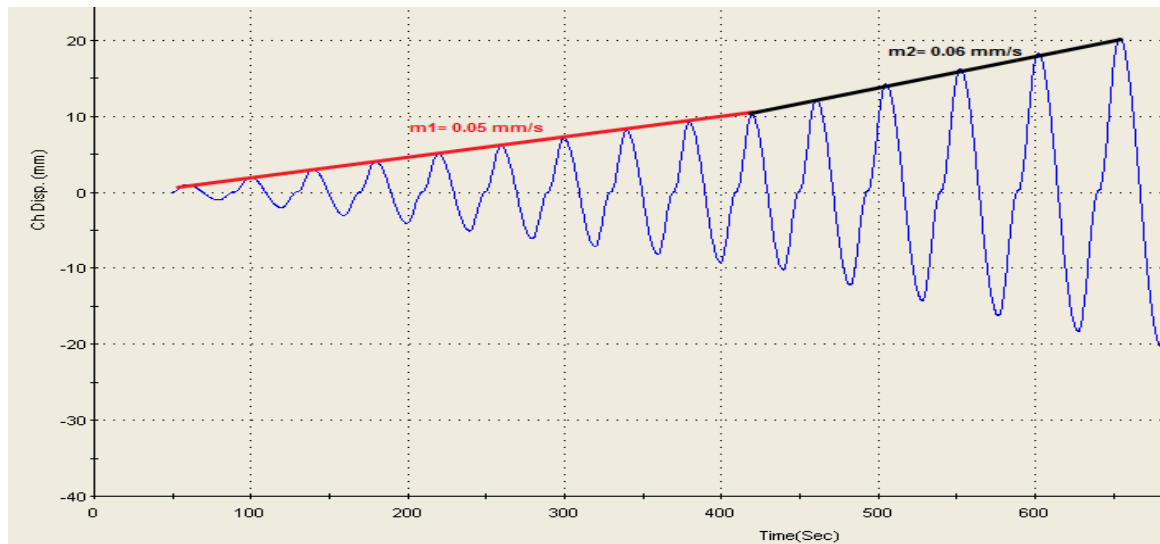


Fuente: Software Actuador MTS.

Para poder implementar este protocolo de carga, primero se debió programar bajo la herramienta computacional del laboratorio, y así darle los comandos al actuador MTS usando como plataforma el software del mismo dispositivo.

Para ello se debió tener dos tasas de incremento en el desplazamiento, ya que cada ciclo tendía a durar un poco más que el anterior y así el protocolo completo de carga se demoraría mucho más de lo esperado para completar el desplazamiento final para la cual sería sometida la estructura.

Figura 68: Tasa de incremento Desplazamiento.



Fuente: Software Actuador MTS

En el primer tramo del ensayo la tasa en el incremento del desplazamiento fue de 0.05 mm/s hasta tener los primeros 10 mm de desplazamiento del modelo y a partir de ahí se varió ese incremento a 0.06 mm/s hasta el final de la prueba que era cuando la estructura se desplazaría hasta los 30 mm con respecto a su posición inicial.

5.3 ENSAYO DEL MODELO

Teniendo el dispositivo de falla y el protocolo de carga bien configurados se dio inicio al ensayo de nuestra edificación, mediante un incremento en el desplazamiento del modelo a escala y conociendo los ciclos de los desplazamientos teóricos de un sismo en viviendas de interés social.

La función del desplazamiento fue de forma sinusoidal siendo transmitidos por el actuador MTS. Se consideraron estos desplazamientos con el fin de observar el comportamiento del modelo hasta el desplazamiento máximo calculado en nuestro modelo matemático, haciendo trabajar todos los paneles de la estructura hasta que fallaran.

Para alcanzar dichos desplazamientos se fue incrementando con dos tasas graduales, los primeros 10 mm se hicieron con a una velocidad de 0.05 mm/s y los restantes 20mm con una tasa de 0.06 mm/s. En definitiva estos desplazamientos se hicieron a tracción y compresión en el modelo hasta obtener el desplazamiento requerido.

Foto 50: Inicio de ensayo modelo.



Fuente: Autores

Durante todo el proceso se fue monitoreando en cada ciclo del desplazamiento la fuerza transmitida por el actuador al modelo a escala, y de igual forma los registros de la recuperación de la edificación.

Foto 51: Verificación de Fallas.



Fuente: Autores

Este ensayo tuvo como duración 12 minutos hasta llegar al estado de falla, el tipo de falla que se presentó no fue notoriamente en los paneles del modelo sino exactamente en la cimentación, debido a que la placa trató de flexionar el perno y este causándole un punzonamiento a la losa, de resto los paneles presentaron una resistencia coherente con el modelo analítico y su comportamiento fue el esperado.

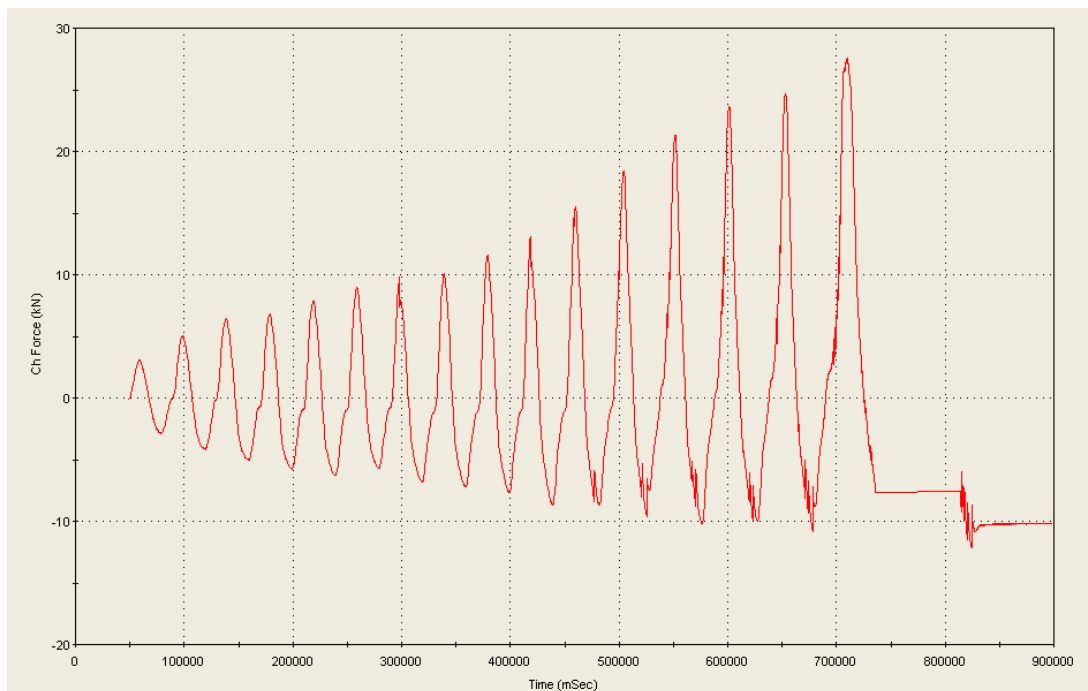
5.4 RESULTADOS

Luego de terminado el ensayo se procedió a ver los resultados gráficos de fuerza, desplazamiento y tiempo de todo el proceso.

En dichas graficas y tablas se observa el incremento de la fuerza soportada por la edificación la cual alcanzo una resistencia máxima de 2,78 KN para una deformación máxima de 24mm deduciendo el buen comportamiento de los paneles antes de que fallara la cimentación.

Los resultados expuestos en la tabla #, al igual q las graficas corresponden a las fuerzas y su deformada partiendo desde cero.

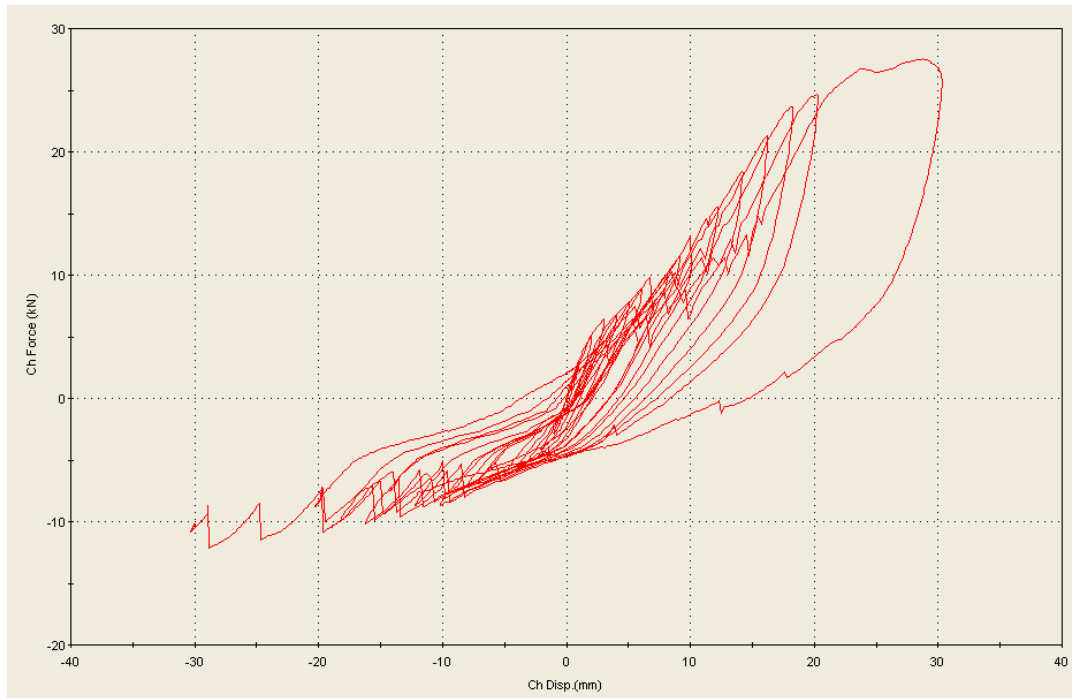
Figura 69: Función Fuerza / historia ensayo.



Fuente: Software Actuador MTS

Pudimos obtener la grafica de histéresis, en la cual observamos el comportamiento de la fuerza vs el desplazamiento y la recuperación del mismo en cada ciclo del ensayo al modelo hasta cuando falló la estructura.

Figura 70: Curva Histéresis ensayo modelo.



Fuente: Software Actuador MTS

Antes de que el ensayo cumpliera con todo el protocolo de carga al cual iba ser sometido, la losa de la cimentación presento una falla por punzonamiento debido al esfuerzo que le transmitía el anclaje a la losa, lo cual origino un total agrietamiento alrededor del pasador y un corte diagonal hasta una de las esquinas de los muros.

Foto 52: Falla en la cimentación.



Fuente: Autores

Foto 53: Falla diagonal losa de cimentación.



Fuente: Autores

Visualmente se notaron agrietamientos diagonales en las esquina de la puerta de la edificación causados por los esfuerzos cortantes que se generaron en los muros trasversales de la estructura.

Foto 54: Falla marco puerta lado derecho.



Fuente: Autores

Foto 55: Falla marco puerta lado izquierdo.



Fuente: Autores

Dentro de la del modelo a escala, un muro divisorio en la parte de la conexión con la losa de cimentacion. Como tambien en toda la esquina inferio derecha de la puerta.

Foto 56: Falla Muro divisorio interno.



Fuente: Autores

Foto 57: Falla marco esquina inferior derecho.



Fuente: Autores

Se presento una grieta de forma longitudinal en toda la union entre el muro frontal de la estructura y la losa de entepiso, esta fisura fue muy notoria.

Foto 58: Falla Cubierta / muro frontal.



Fuente: Autores

Al igual, este muro también presenta un pandeo que se prolongaba a lo largo del mismo. Comenzando desde el borde de la ventana hacia el centro del panel, debido a la fuerza horizontal que debía resistir.

Foto 59: Pandeo muro frontal.



Fuente: Autores

También se pudieron observar pequeñas fisuras o agrietamientos en el resto de los demás paneles producto a las grandes fuerzas que se le transmitía la edificación.

Foto 60: Grietas en muros laterales.



Fuente: Autores

Foto 61: Grieta muros posteriores.



Fuente: Autores

VI. INTERPRETACION Y COMPARACION

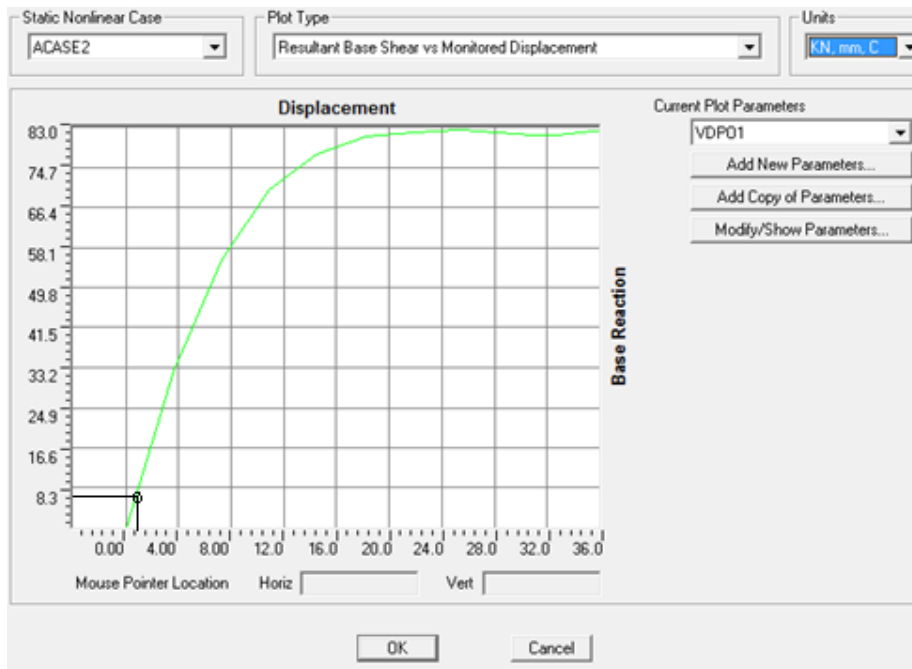
Análisis de la repuesta de la estructura a la fuerza sísmica.

Mediante la grafica de la curva del análisis estático no lineal “pushover”, se puede observar un comportamiento lineal del nodo donde fue aplicada la fuerza hasta los 58.1 KN, y de ahí en adelante se comienza a formar plastificaciones, es decir un comportamiento inelástico de este punto.

Si tenemos una fuerza sísmica **F_x** que es el correspondiente valor de la fuerza sísmica que indica la **NSR-10** en el titulo A, para construcciones sismo resistente, podríamos ubicarlo en la grafica del Pushover y observar donde se encuentra situado.

Siendo: $F_x(\text{real}) = 164.72 \text{ KN}$ $F_x(\text{escala}) = 6.589 \text{ KN}$

Figura 71: Grafica de curva de pushover.



Fuente: SAP 2000 SCI

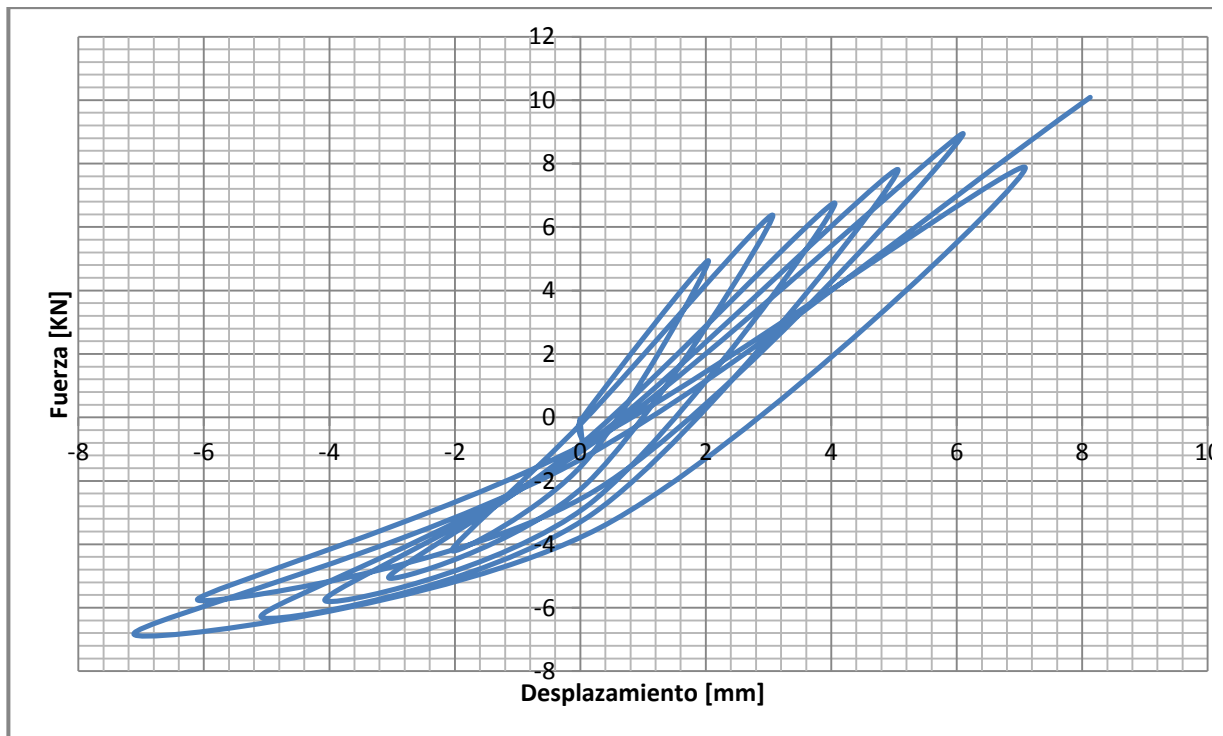
Podemos observar que la fuerza sísmica está muy lejos de llegar al punto de inelasticidad del material en este nodo. Además en el punto en donde la fuerza alcanza los **7KN** el desplazamiento es de **1.2386mm**.

Lo cual equivale en la realidad a un desplazamiento de 6.0mm ó 0.6cm.

Lo cual indica que la estructura tiene una rigidez bastante grande, debido a la configuración de los muros y a la manera en que estaban dispuestos.

Por otro lado si detallamos el resultado del modelo a escala:

Figura 72: Grafica de la curva de Histéresis Fuerza/Desplazamiento suministrada por el software del actuador, modelo a escala.



Fuente: Autor

Se obtiene un resultado para una carga de **7.0KN** un desplazamiento de **4.98mm**.
Lo cual equivale en la realidad a un desplazamiento de 24.9mm ó 2.49cm.

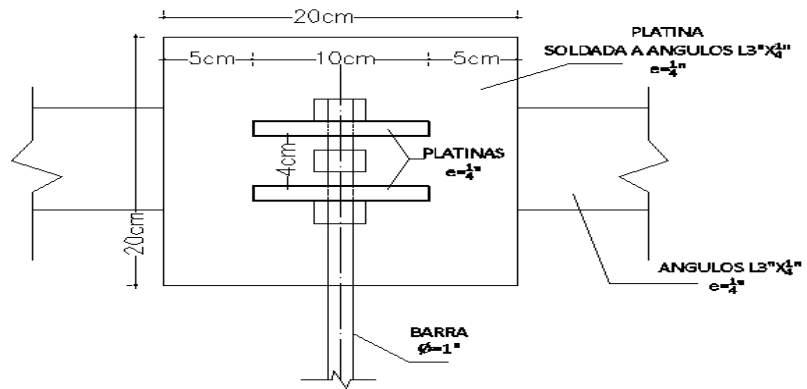
Tabla 24: Resultado carga/desplazamiento.

Desp.	Ch Force	Time
[mm]	[KN]	[Sec]
4.9808278	7.0042276	130.3074

Fuente : Autor

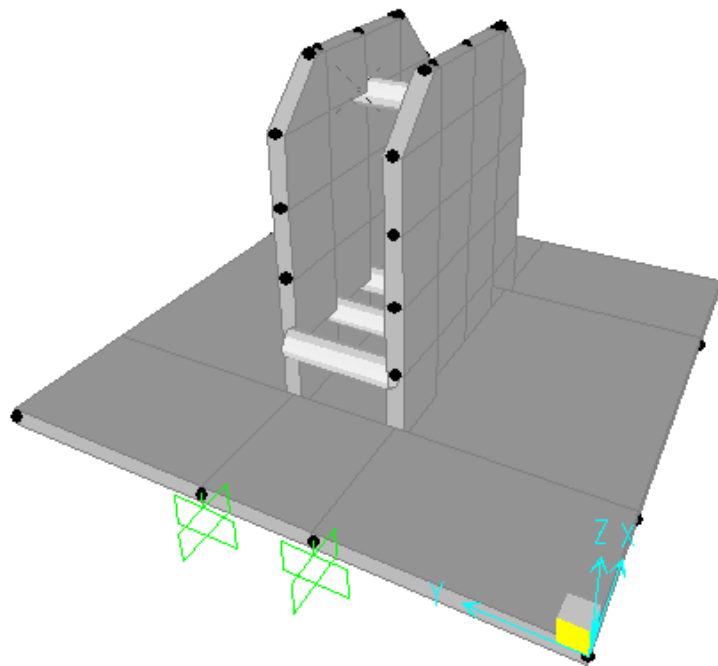
Si se considera que el sistema de llegada de la barra conectada al actuador tendría un desplazamiento, esto afectaría el resultado general en los desplazamientos, más no en la fuerza, dado a que el actuador se le introdujo la orden de trabajar por desplazamientos, es decir el sistema del actuador busca el desplazamiento necesario y guarda el respectivo valor de fuerza a la cual se le obligó llegar. Por este motivo modelamos el sistema de llegada de la barra del actuador en Sap2000, teniendo en cuenta la misma carga dinámica aplicada al modelo inicial, llamada **Protocolo UIS**, El resultado sería una función de desplazamientos en función del tiempo. Se tomó el valor de la resistencia del Acero de las platinas como de 253MPa.

Figura 73: Esquema de sistema de apoyos de platinas soldadas a los ángulos L2"x1/4"



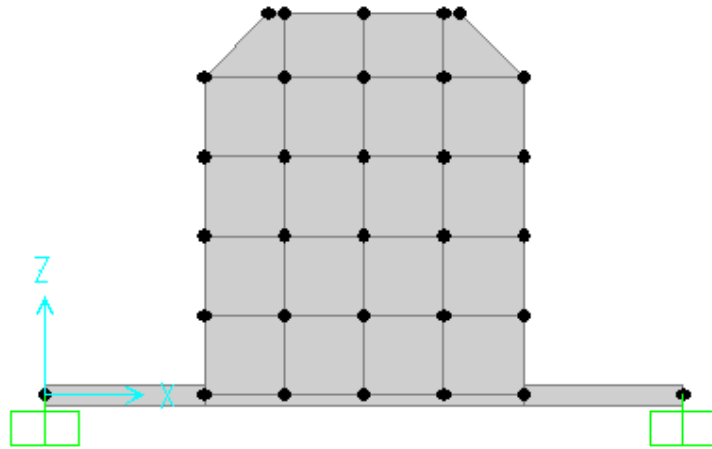
Fuente: Autor

Figura 74: Sistema de platina 3D.



Fuente: SAP 2000 SCI

Figura 75: Corte sistema platina.



Fuente: SAP 2000 SCI

Si restáramos en función del tiempo el desplazamiento del sistema de platinas al del resultado obtenido en el modelo a escala obtendríamos otra función de desplazamiento contra tiempo, pero esta sería mucho más cercana a la realidad.

Tabla 25: Tabla comparativa protocolo platina.

Fuerza aplicada a la Platina Protocolo UIS por Fuerza		Resultado del Protocolo UIS en la platina.	
T [seg]	F [KN]	U2 [mm]	T [seg]
0	3	0	0
20	-2.8	-1.15764	20
40	0	9.15E-08	40
50	5	2.06721	50
58	0	-0.28941	60
70	-4.2	-1.73646	70
83	0	-0.40072	80
90	6.5	2.687371	90
96	0	-0.59064	100
110	-5	-2.06721	110
123	0	-0.47705	120
130	7	2.894088	130
140	0	6.33E-06	140
150	-5.5	-2.27394	150
162	0	-0.37898	160
170	8	3.307546	170
180	0	-0.00001	180
190	-6.3	-2.60467	190
200	0	-1.1E-05	200
210	9	3.72099	210
220	0	-1.2E-05	220
230	-6	-2.48064	230
240	0	-1.2E-05	240
250	10	4.134433	250
260	0	-1.3E-05	260
270	-7	-2.89408	270
280	0	-1.3E-05	280

290	10.1
300	0
310	-7.5
320	0
330	12
340	0
350	-8.5
360	0
370	13
380	0
390	-9
400	0
410	15.1
420	0
430	-9.5
440	0
450	18
460	0
470	-10
490	0
500	21
510	0
520	-11
530	0
550	22.5
560	0
570	-12
590	0
600	25
620	0
630	-13
650	0
665	27.5
680	0

4.175778	290
-1.4E-05	300
-3.1008	310
-1.4E-05	320
4.961318	330
-1.4E-05	340
-3.51424	350
-1.4E-05	360
5.374761	370
-1.4E-05	380
-3.72096	390
-1.4E-05	400
6.242989	410
-1.4E-05	420
-3.92769	430
-1.4E-05	440
7.44197	450
-1.3E-05	460
-4.13441	470
0.000013	490
8.68227	500
0.000012	510
-4.54788	520
0.000012	530
9.302458	550
-1.2E-05	560
-4.96129	570
0.000012	590
10.33604	600
-1.2E-05	620
-5.37473	630
0.000012	650
7.579758	660
7.579757	670

Fuente: Autores

Podemos extraer el dato del tiempo de la tabla de Fuerza aplicada a la Platina Protocolo UIS por fuerza, para una fuerza de 7KN. El dato es de 130Seg.

Tabla 26: Fuerza aplicada platina - protocolo UIS.

T [seg]	F [KN]
130	7

Fuente: autores

Y en la tabla Resultados del Protocolo UIS en la Platina ubicamos este valor para encontrar la deformación.

Tabla 27: Resultado platina – protocolo UIS.

U2 [mm]	T [seg]
2.894088	130

Fuente: autores

Si restamos la deformación del sistema de platinas a la del modelo real ensayado en el laboratorio para el valor de la fuerza sísmica actuante, obtenemos:

$$4.9808278 U_{Mod. Real a escala} - 2.894088 U_{Platina, F = 7KN} = \mathbf{2.086739 mm}$$

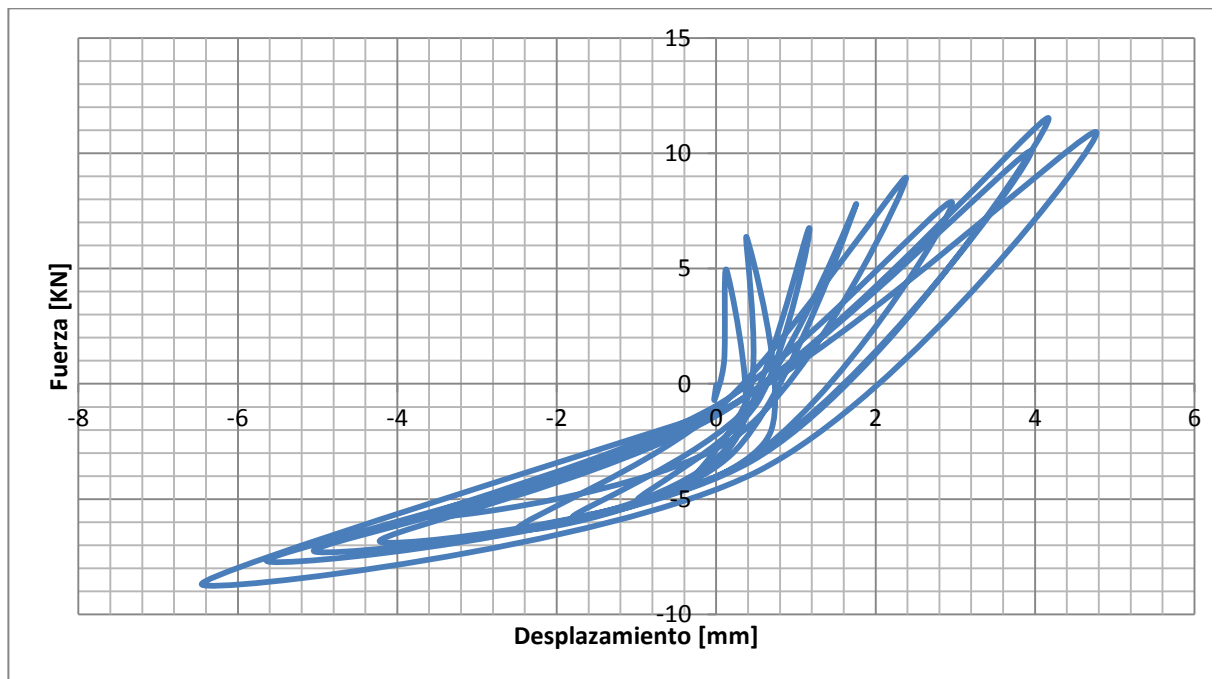
Al comparar la deformación del modelo real a escala con la deformación del modelo analítico computacional en Sap2000, se puede ver que hay una diferencia de:

$$\mathbf{2.086739 mm} \text{ Mod. real a escala} - \mathbf{1.2386mm} \text{ Mod. Sap2000} = \mathbf{0.84814 mm}$$

La diferencia es significativamente grande, pero aun siendo así, el modelo sigue comportándose en el rango elástico lejos del rango no lineal.

Se podría pensar en una nueva curva de **HISTÉRESIS**, restando los desplazamientos en el tiempo del modelo real a escala y de la deformación del sistema de platinas, para tener un comportamiento más real del comportamiento de la estructura en el nodo de estudio.

Figura 76: Grafica de Histéresis la curva Fuerza/Desplazamiento arrojada por el software del actuador, modelo a escala.

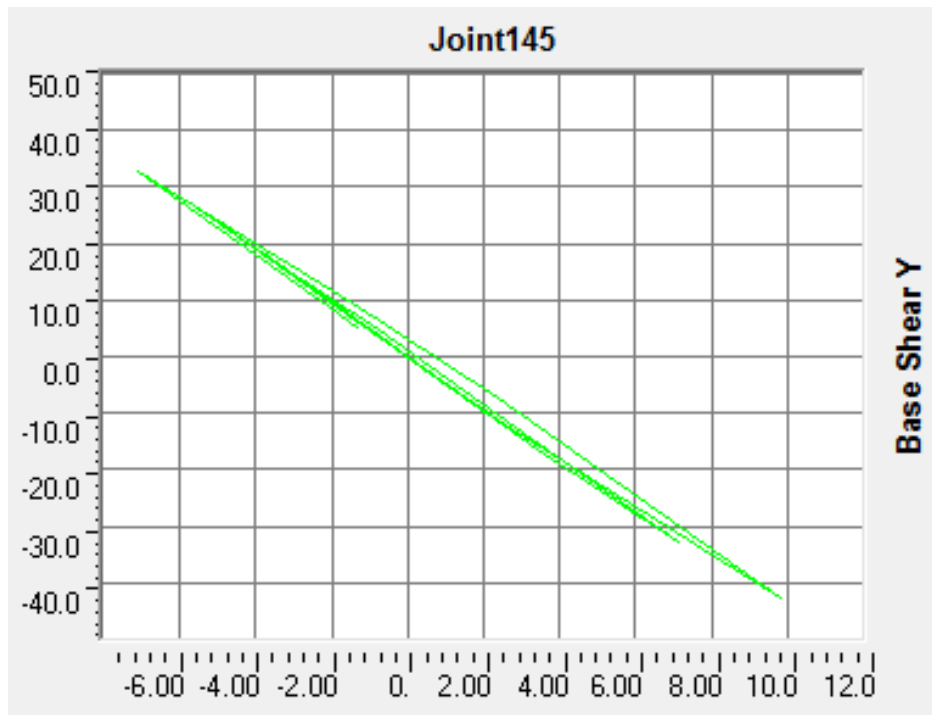


Fuente: Autor

Si se compara con el análisis dinámico no lineal en Sap2000 de este nodo, en donde fue aplicada la fuerza en el modelo a escala, se pudo observar, que la estructura presenta deformaciones lineales y que el protocolo de carga impuesto no es capaz de hacer ingresar, por lo menos a este nodo de estudio, en el rango

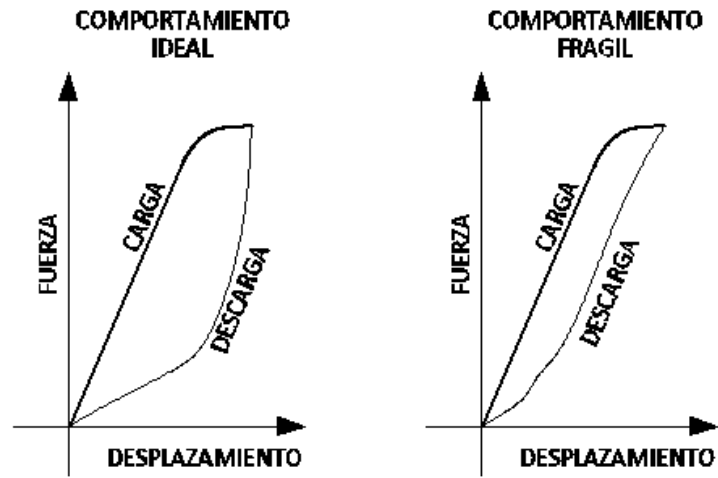
inelástico, es mas y que según el análisis de Pushover aun está distante de lograrlo, mientras que el modelo a escala, sabiendo de la lejanía de la entrada en el rango no lineal, presenta extraño comportamiento debido a que la curva de histéresis del nodo monitoreado en el momento de quitar la carga esta no lo hace en una forma ideal.

Figura 77: Curva de histéresis



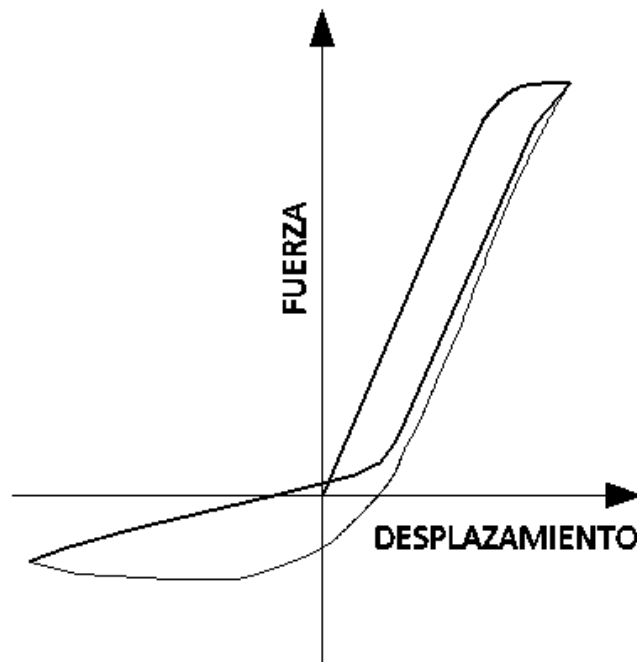
Fuente: SAP 2000 SCI

Figura 78: Grafica de comparación Fuerza/desplazamientos.



Fuente: Autores

Figura 78: Grafica de histéresis de un muro estructural en sección T o en L

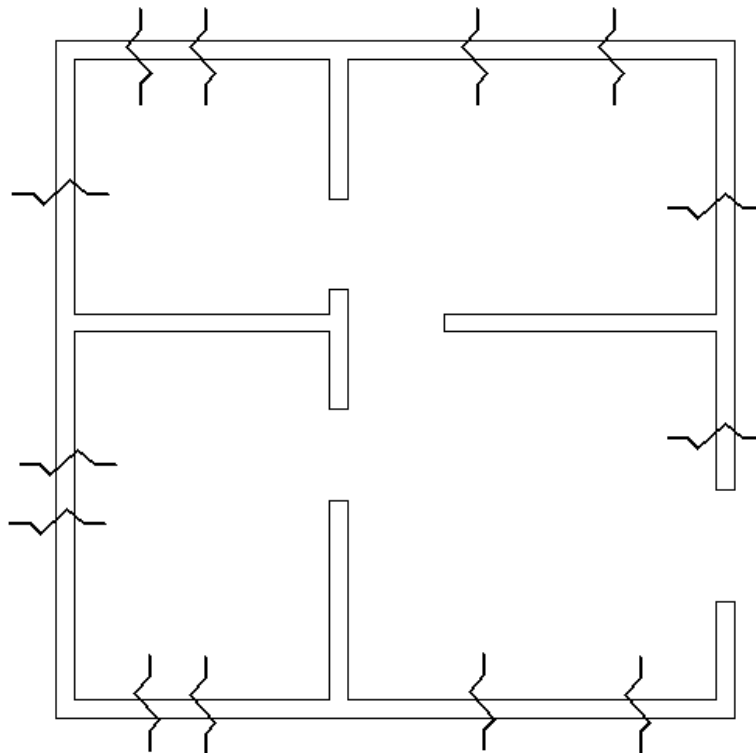


Este tipo de comportamientos frágiles o de ductilidad limitada, conducen a un tipo de estructura muy peligrosa debido a que el sistema colapsa sin previo aviso.

La rotura frágil tiene la peculiaridad de absorber relativamente poca energía, esto lo podemos ver más fácilmente si comparamos el área bajo la curva de las graficas anteriores, entre más grande sea el área bajo esta curvas más será la disipación de energía del sistema estructural.

En la grafica del comportamiento de muros en sección T o en L, puede apreciarse gran parecido a la forma de la histéresis obtenida del modelo a escala por el actuador, es decir la estructura tendría un comportamiento similar al de este tipo de estructuras, que son de ductilidad muy baja.

Figura 79: Esquema de distribución de muros de sección en T y en L, en la estructura en estudio



Fuente: Autores

En la grafica de histéresis del modelo a escala, suministrada por el equipo del Actuador, se presentó unos desplazamientos no reversibles, una de las hipótesis planteadas es algún tipo de corrimiento en la estructura debido a que en los anclajes los pernos no se logró la suficiente precisión en el juego del sistema, porque quedaron espacios entre los pernos y la placa de cimentación. Esta hipótesis es bastante considerable si miramos desde el punto de vista del modelo analítico computacional, que no registro signos de plastificación en ningún análisis efectuado hasta el rango de la carga sísmica.

Como se ha definido antes la resistencia experimental encontrada en el material fue:

Tabla 28: Resistencia compresión promedio.

Res. Compresión f'_c Promedio [Mpa]
2.87037037

Fuente: Autores

También se ha dicho que la resistencia a la tensión sería del 35% de la resistencia a la compresión:

Tabla 29: Resistencia tensión promedio.

Res. Tensión Promedio [Mpa]
1.0462963

Fuente: Autores

Para los muros que soportan la carga paralela a la carga sísmica horizontal, los esfuerzos máximos se encontraron en el muro: **Muro en X=48cm (escala)**, este es el muro en donde se encuentra situada la puerta de la vivienda.

El valor de los esfuerzos máximos y mínimos, encontrados a compresión y a tracción, en el tiempo $t=600$ seg y $F=25$ KN, respectivamente son:

Tabla 30: Esfuerzo máximo a compresión y tracción.

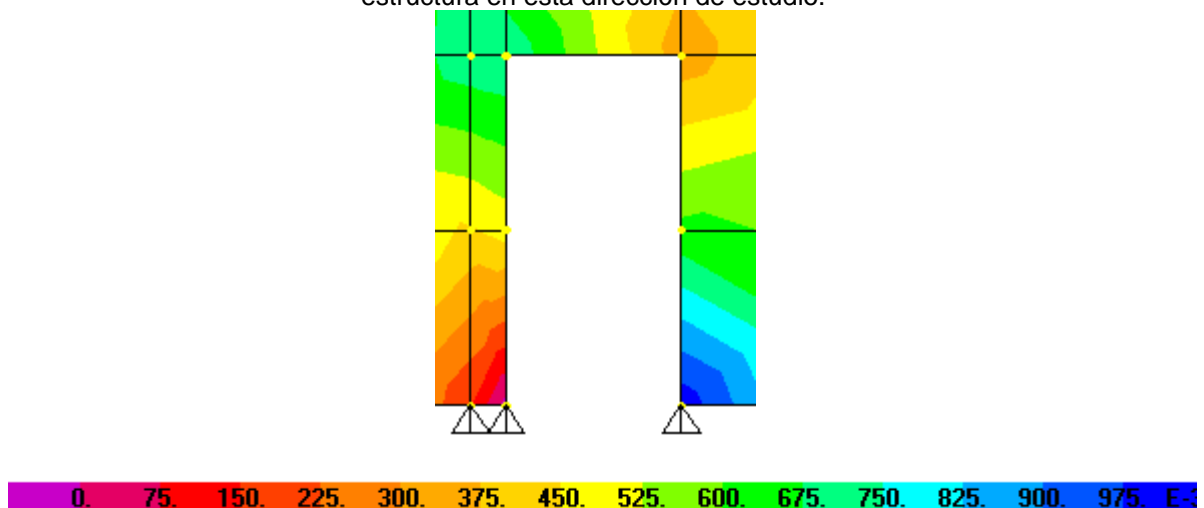
Esfuerzo Máx. Tensión	
Valor	Unidades
1.04	[Mpa]

Esfuerzo Máx. Compresión	
Valor	Unidades
-1.00	[Mpa]

Fuente: Autores

En este punto empezó a fallar la estructura.

Figura 80: Los esfuerzos principales presentes debido a la carga sísmica, son soportados por la estructura en esta dirección de estudio.



Franja de valores esfuerzos principales en $t=90$ seg, $F=6.5$ KN [MPa]

Fuente: SAP 2000 SCI

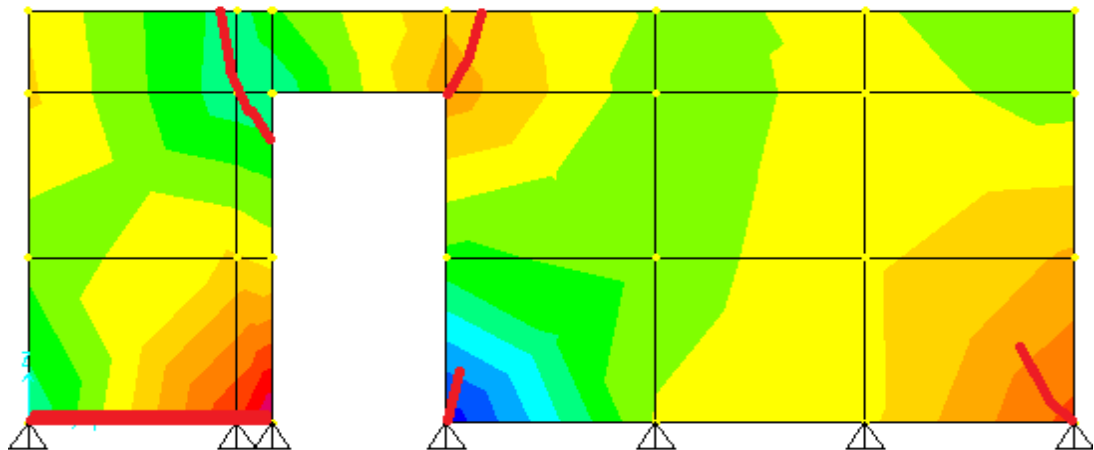
En el modelo a escala real se presentaron algunas fisuras o grietas en las mismas zonas que el análisis computacional arrojó como resultado, donde están los esfuerzos máximos, aunque este modelo no colapso, se muestra evidencia de que este sería el inicio del mecanismo de falla de la estructura.

Foto 58: Agrietamiento del modelo a escala.



Fuente: Autores

Figura 81: Posibles zonas en donde se presentaran las primeras grietas.



Fuente: SAP 2000 SCI

La carga sísmica, para los muros que soportan la carga perpendicular a la carga sísmica horizontal, los esfuerzos máximos se encontraron en el muro: **Muro en X=120cm (escala) X=6m (real)**, este es el muro en donde se encuentra situada la puerta de la vivienda.

El esfuerzo máximo presentado a tensión se ubicó en el extremo inferior derecho del muro.

Tabla 31: Esfuerzo máximo a compresión y tracción.

Esfuerzo Máx. Tensión	
Valor	Unidades
0.208	[Mpa]

Fuente: Autores

El esfuerzo máximo presentado en compresión se ubicó en la puerta en el extremo inferior derecho de esta.

Tabla 32: Esfuerzo máximo a compresión y tracción.

Esfuerzo Máx. Compresión	
Valor	Unidades
-0.200	[Mpa]

Fuente: Autores

VII. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Las conclusiones finales del trabajo están orientadas hacia el análisis del comportamiento del sistema de vivienda propuesto a lo largo de esta investigación. En el capítulo anterior se dieron las pautas para realizar este análisis mediante la comparación de los resultados de desplazamientos y esfuerzos resistentes contra esfuerzos actuantes.

- En todas las comparaciones se llegó a establecer que el sistema puede llegar a cumplir con los parámetros establecidos teniendo en cuenta las recomendaciones dadas para la construcción del sistema dadas. Es importante tener en cuenta que se está chequeando para resistencia última y no contra resistencia máxima admisible.
- En general, y realizando el análisis bajo el punto de vista de la sismo resistencia, se puede concluir que el sistema 3D-Panel podría llegar a resultar técnicamente viable a la luz de las normas sismo resistentes especificadas y vigentes debido a que, según los resultados obtenidos en esta investigación, la estructura de la vivienda no presentaría esfuerzos actuantes por encima de los últimos para ningún caso, ni deformaciones grandes por las cuales se podría presentar la entrada en el rango inelástico de la estructura y luego su colapso. Por lo tanto, se puede mencionar que, probablemente, el sistema no presenta problemas sísmicos por su característica primordial de ser demasiado liviano, lo cual lleva a que las fuerzas sísmicas no lleguen a ser tan altas debido precisamente a que estas se incrementan proporcionalmente con la masa de la estructura.
- Dado a fragilidad del material y su poca disipación de energía el sistema estructural se encuentra expuesto a riesgos grandes, tales como el colapso súbito de la edificación. Esto ocurriría cuando se sobrepase previamente el nivel de referencia del rango elástico. Este sistema estructural con este tipo de configuración de muros, en términos de resistencia sobrepasa la fuerza

sísmica actuante que indica la NSR-10 es adecuada, pero se advierte que una vez superado este límite por una fuerza sísmica mayor para la que se diseñó con base en la NSR-10, el colapso será inminente y súbito. Por esta razón recomendamos hacer los mismos análisis realizados en esta investigación para otra edificación que tuviese la más mínima variante a esta en estudio.

- Las derivas, o desplazamientos laterales relativos entre niveles de la edificación, para este tipo de estructura, con esta configuración geométrica, no deben ser excedidos del 1% de la altura del piso, que es más grande que el de la mampostería confinada del 0.5% de la altura del piso, para evitar la entrada de la estructura en el rango inelástico.
- Los ensayos de modelos a escala son de una ayuda enorme en el análisis y diseño de estructuras, y más en las estructuras que se están construyendo con nuevos materiales, porque ellos ayudan a entender el comportamiento real de la edificación frente a diferentes cargas impuestas en ella.
- Se debe tener serio cuidado con los análisis correspondientes, previos y después de realizar el modelo a escala real, debido a que de estos depende el resultado de los ensayos y cualquier error podría estropear el trabajo realizado. Así mismo es necesario hacer un análisis computacional para verificar el modelo real.
- Los modelos computacionales son mucho más idealistas que los reales, por esta razón se debe tener un buen manejo de las herramientas computacionales por parte del ingeniero diseñador, debido a que el programa computacional en su mayoría de veces no comprende la realidad de los errores, simplemente los analiza.
- El ensayo de probetas de nuevos materiales para su caracterización mecánica, está basado en comprender el comportamiento de estos ante diferentes cargas y la determinación de sus propiedades mecánicas básicas, en tanto se puedan efectuar con precisión los ensayos. Entre más

numero de probetas se tenga para ensayar más preciso será el resultado esperado.

- Claramente visible en el comparativo de costos directos de mano de obra y materiales, adicionalmente una serie de economías indirectas adicionales.
- La reducción del tiempo de ejecución de obra permitiendo una reducción en los gastos administrativos, de energía para el movimiento de equipos, salarios de trabajadores, amortización de maquinarias, andamiajes, reparaciones, jefes de obra, así como los gastos de financiación. Esta reducción de tiempo de obra que está íntimamente relacionada con la mayor velocidad de ejecución.
- Se eliminan los excesivos costos de remoción y transporte de escombros producidos por estas actividades, limpieza de obra dado que el sistema tiene una sola etapa húmeda que es la de aplicación del mortero de cemento, mientras que la elevación de muros es seca y con manipulación de elementos limpios que no producen escombros.
- El uso del 3D PANEL permite una importante disminución de los espesores de los muros exteriores e interiores de una vivienda, aumentando así el área útil.

TRABAJOS FUTUROS

- Respecto al alcance de este estudio, se pretende que este mismo sea una Introducción al proceso de homologación del sistema constructivo 3D-Panel en Colombia ante la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo resistentes ya que a partir de él se genera el primer análisis sísmico general del sistema. Sin embargo, este es solo un primer paso muy pequeño a todo el proceso de estudio y de análisis que requiere una homologación la cual debe ser elaborada y sustentada por profesionales y expertos en este campo.
- Esta investigación puede contar con estudios posteriores debido a que hay muchas especificaciones de ensayos y análisis que no se tuvieron en cuenta. Este es el caso de las conexiones, las cuales no se desarrollaron en la aplicación al modelo, pero que son fundamentales en el análisis del comportamiento de la estructura propuesta. Así mismo, no se llevaron a cabo los ensayos sobre los paneles de cubierta los cuales también son importantes para analizar con más detalle su comportamiento en el modelo.

BIBLIOGRAFIA

- GARCÍA R. Luis E. *DINÁMICA ESTRUCTURAL APLICADA AL DISEÑO SÍSMICO*. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 1998
- BEER, Ferdinand P. & JOHNSTON, E. Rusell Jr- *MECÁNICA DE MATERIALES*. McGraw Hill Tercera Edición. México, D.F. 2004.
- Documento [ATC-19, 1995]. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- NORMA SISMORESISTENTE COLOMBIANA NSR-98 - NSR-10. Títulos A y B.
- SAP 2000. Analysis Reference Volume 1. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA. 1997.
- (CIMOC). “Informe final ensayos de resistencia en páneces prefabricados para la construcción de cubiertas y muros en viviendas”. 3D PANEL (Durapanel de Colombia). Agosto de 2000.
- Revista CONSTRUDATA. Edición 126, Bogotá, Marzo – Mayo 2003.
- METROVIVIENDA. “Vivienda de Interés Social: Inventario de sistemas constructivos”. Bogotá D.C. – Sistema 3D PANEL. Año 2000.
- TRIDIPANEL (Durapanel de Colombia S.A.). *MANUAL DE ENSAMBLE PARA EL SISTEMA CONSTRUCTIVO TRIDIPANEL*. Bogotá D.C. Colombia. 2005.
- Sistema 3D Estructural. “Vivienda de interés social”.
<http://micigc.uniandes.edu.co/VIS/inventario.HTM>. Consulta de Diciembre de 2010.