

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**VALIDACIÓN ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA PROPUESTA
POR LA EMPRESA KUBIEC-CONDUIT, MEDIANTE ESTUDIOS
ANALÍTICO-EXPERIMENTALES**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MENCION ESTRUCTURAS**

MELISA NATALIA HERRERA QUISHPE
melisa.herrera@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. PATRICIO HONORATO PLACENCIA ANDRADE MSc.
patohpla@hotmail.com

CODIRECTOR: ING. DIEGO ANDRÉS SOSA CAIZA MSc.
diego.sosac@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2017

DECLARACIÓN

Yo, Melisa Natalia Herrera Quishpe, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado en ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

MELISA NATALIA HERRERA QUSHPE

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Melisa Natalia Herrera Quishpe, bajo nuestra supervisión.

**ING. PATRICIO PLACENCIA MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO**

**ING. DIEGO SOSA MSc.
CODIRECTOR DEL PROYECTO**

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme estar viva, darme el regalo más hermoso que es mi familia, y por poner en mi camino a buenos amigos.

Un fuerte agradecimiento a mis padres Gandy y Susy por su apoyo en cada momento, por sus palabras de ánimo y sabiduría que me dieron el coraje, la valentía y el entusiasmo para seguir adelante, pero más que nada por el amor que me dan.

A mi hermano Felipe por estar conmigo desde el principio, por apoyarme en cada momento y ser una guía para mí, y gracias por esos dos hermosos angelitos que nos diste Benjamín y Maximiliano.

Al Centro de Investigación de la Vivienda por su inmensa colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A mis compañeros de trabajo, Christian, Gastón, Diego, Raúl, Robert, Edwin por soportar mis mal genios y brindarme su compañía y ayuda en cada momento.

A mis amigos de la carrera, por el apoyo y las experiencias compartidas, Liz, Yady, David P., Gabo, David B, Kevin, Caro, Lucho, Jorge.

A July, mi mejor amiga, por su apoyo y aliento, por el cariño puro y la amistad sincera que me brinda, y sin duda por ser la mejor compañera de volley. Gracias por estar a mi lado, sin ti estoy segura que esta etapa de mi vida no habría sido igual.

A Christian, por ser una increíble persona, que me ha brindado su apoyo y guía durante la ejecución de este proyecto y en varias etapas de mi vida. Pero más que nada, gracias por las lecciones de vida, por su compañía que ha sido de calidad, y por ser una persona con principios, positiva, y muy ocurrida que desde el principio me han hecho sonreír.

DEDICATORIA

A mis padres, Gandy y Susy.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
PRESENTACIÓN	XVIII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 ALCANCE	5
1.3 DEFINICIONES	6
1.4 GENERALIDADES	8
1.5 METODOLOGÍA	10
CAPÍTULO 2	12
DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA	12
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	12
2.2 DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA	16
2.3 DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL	18

CAPÍTULO 3	19
ESTUDIOS EXPERIMENTALES	19
3.1 ESTUDIO EN LOS MATERIALES	19
3.2 ESTUDIO EN LA VIVIENDA.....	47
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
CAPÍTULO 4	82
ESTUDIO ANALÍTICO	82
4.1 MODELO MATEMÁTICO	82
4.2 CALIBRACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	89
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	100
CAPÍTULO 5	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
5.1 CONCLUSIONES	103
5.2 RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXOS	110
ANEXO No. 1	111
PLANOS DE LA VIVIENDA	111
ANEXO No. 2	121
RESULTADOS DE ENSAYO DE MATERIALES	121
ANEXO No. 3	128
MONITOREO DE FISURAS EN TESTIGOS DE YESO	128
ANEXO No. 4	136
PARÁMETROS QUE SE UTILIZAN PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS- MEDICIÓN DE VIBRACIONES AMBIENTALES	136

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL ACERO	13
TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO	14
TABLA 2.3 CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL POLIISOCIANURATO	15
TABLA 3.1 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO DE DENSIDAD	22
TABLA 3.2 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO A CORTE	27
TABLA 3.3 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR	31
TABLA 3.4 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA	35
TABLA 3.5 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO A FLEXIÓN	41
TABLA 3.6 CARGA MÁXIMA PROMEDIO OBTENIDA	44
TABLA 3.7 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO EN ENSAYOS DE MATERIALES	46
TABLA 3.8 COMPARACIÓN DE RESISTENCIA ENTRE EL ACERO Y LA ESPUMA DE EPS	47
TABLA 3.9 VALORES DE CARGA VERTICAL	49
TABLA 3.10 CICLOS DE APLICACIÓN DE CARGA VERTICAL	50
TABLA 3.11 CICLOS DE DESCARGA	51
TABLA 3.12 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBA DE CARGA	53
TABLA 3.13 CÁLCULO DEL PESO DE LA ESTRUCTURA	57
TABLA 3.14 CÁLCULO DEL CORTANTE BASAL	58
TABLA 3.15 CARGAS LATERALES DE ESTUDIO	59
TABLA 3.16 RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS DEFORMÍMETROS	63
TABLA 3.17 RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS LVDT'S	64

TABLA 3.18 FRECUENCIAS Y PERIODOS FUNDAMENTALES	73
TABLA 3.19 COMPARACIÓN DE SOLICITACIONES OBTENIDAS TEÓRICAMENTE Y EXPERIMENTALMENTE	74
TABLA 3.20 DEFLEXIONES PERMANENTES OBTENIDAS TEÓRICAMENTE Y EXPERIMENTALMENTE.....	75
TABLA 3.21 COMPARACIÓN DEFLEXIONES OBTENIDAS TEÓRICAMENTE Y EXPERIMENTALMENTE.....	76
TABLA 3.22 COMPARACIÓN DE CARGAS MÁXIMAS TEÓRICAS Y EXPERIMENTALES.....	77
TABLA 3.23 COMPARACIÓN DE DERIVAS MÁXIMAS TEÓRICAS Y EXPERIMENTALES.....	78
TABLA 3.24 COMPARACIÓN DE RIGIDEZ INICIAL Y RIGIDEZ FINAL	80
TABLA 3.25 MOMENTO RESISTENTE Y MOMENTO VOLCANTE RESPECTO AL PUNTO A	81
TABLA 4.1 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MODELO Y CON EL ENSAYO EXPERIMENTAL.....	88
TABLA 4.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MODELO CALIBRADO Y CON EL ENSAYO EXPERIMENTAL	90
TABLA 4.3 RESULTADOS DE ESFUERZOS CRÍTICOS DE ELEMENTOS TIPO SHELL DE ACUERDO A CADA PARED Y TIPO DE CARGA.....	94
TABLA 4.4 RESULTADOS DE LAS COMPONENTES DE ESFUERZOS NORMALES PARA LOS ELEMENTOS SHELL CRÍTICOS (CUBIERTA)	94
TABLA 4.5 RESULTADOS DE ESFUERZOS CRÍTICOS DE ELEMENTOS TIPO SOLID DE ACUERDO A CADA PARED Y TIPO DE CARGA	97
TABLA 4.6 RESULTADOS DE LAS COMPONENTES DE ESFUERZOS NORMALES PARA LOS ELEMENTOS TIPO SOLID CRÍTICOS EN CUBIERTA	98
TABLA 4.7 RESULTADOS DE LAS COMPONENTES DE ESFUERZOS NORMALES PARA LOS ELEMENTOS SOLID CRÍTICOS EN PARED (EJE A)	99
TABLA 4.8 COMPARACIÓN DE ESFUERZOS A CORTE OBTENIDOS TEÓRICA Y EXPERIMENTALMENTE.....	101
TABLA 4.9 COMPARACIÓN DE ESFUERZOS A COMPRESIÓN OBTENIDOS TEÓRICA Y EXPERIMENTALMENTE.....	101

TABLA 4.10 COMPARACIÓN DE ESFUERZOS A FLEXIÓN EN LÁMINAS DE ACERO OBTENIDOS TEÓRICA Y EXPERIMENTALMENTE	102
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 CINTURÓN DE FUEGO DEL PACÍFICO, ZONA DONDE OCURRIERON LOS 10 SISMOS MÁS FUERTES DEL MUNDO.....	1
FIGURA 1.2 MAPA CON LA UBICACIÓN Y MAGNITUD DE LOS DE LOS SISMOS MÁS IMPORTANTES DESDE 1906. (LA ESTRELLA ROJA REPRESENTA EL EPICENTRO DEL EVENTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016)....	3
FIGURA 1.3 DAÑOS EN ALGUNAS ESTRUCTURAS DEBIDO AL SISMO DEL 16 DE ABRIL.....	4
FIGURA 2.1 PANEL DE ACERO ESTRUCTURAL.....	13
FIGURA 2.2 POLIESTIRENO EXPANDIDO	14
FIGURA 2.3 POLIISOCIANURATO	15
FIGURA 2.4 PLANO ARQUITECTÓNICO DE LA VIVIENDA	16
FIGURA 2.5 PLANO ARQUITECTÓNICO DE LOS CORTES TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL DE LA VIVIENDA.....	17
FIGURA 2.6 PANELES KUTÉRMICOS PARA MUROS Y CUBIERTAS	18
FIGURA 3.1 ENSAYO DE DENSIDAD	20
FIGURA 3.2 PROBETAS UTILIZADAS PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD.....	21
FIGURA 3.3 ESQUEMA DEL ENSAYO A CORTE Y SU MODO DE FALLA TÍPICO	23
FIGURA 3.4 CONFIGURACIÓN DE ENSAYO	24
FIGURA 3.5 PROBETAS PARA EL ENSAYO A CORTE	25
FIGURA 3.6 ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR.....	28
FIGURA 3.7 PROBETAS PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR.....	28
FIGURA 3.8 ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA	32
FIGURA 3.9 PROBETAS PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA.....	32
FIGURA 3.10 ESQUEMA DEL ENSAYO A FLEXIÓN	36
FIGURA 3.11 PROBETAS PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN	37

FIGURA 3.12 DIAGRAMAS DE CARGA, CORTANTE Y MOMENTOS PARA MUROS Y CUBIERTAS	38
FIGURA 3.13 ESQUEMA DEL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL	42
FIGURA 3.14 PROBETA PARA EL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL	43
FIGURA 3.15 FALLA POR APLASTAMIENTO OBTENIDO A TRACCIÓN DIAGONAL.....	43
FIGURA 3.16 SIMULACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL EN EL PROGRAMA SAP 2000	44
FIGURA 3.17 RESULTADO DE ESFUERZOS MÁXIMOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL EN KG/CM ²	46
FIGURA 3.18 RELACIÓN DE RESISTENCIA ENTRE EL ACERO Y LA ESPUMA	47
FIGURA 3.19 SECCIÓN DE CUBIERTA, DONDE SE APLICÓ LA SOBRECARGA.....	48
FIGURA 3.20 DEFORMÍMETROS UTILIZADOS EN PRUEBA DE CARGA.....	52
FIGURA 3.21 UBICACIÓN DE DEFORMÍMETROS	52
FIGURA 3.22 SENTIDO DE APLICACIÓN DE LA CARGA HORIZONTAL	56
FIGURA 3.23 MONTAJE DEL ENSAYO.....	59
FIGURA 3.24 APLICACIÓN DE CARGA LATERAL	60
FIGURA 3.25 INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA EN ENSAYO A CARGA LATERAL	61
FIGURA 3.26 UBICACIÓN DE DEFORMÍMETROS Y LVDT'S	61
FIGURA 3.27 COLOCACIÓN DE TESTIGOS DE YESO.....	62
FIGURA 3.28 MEDICIÓN DE VIBRACIONES AMBIENTALES	67
FIGURA 3.29 ACELERÓMETRO UTILIZADO PARA MEDIR LAS VIBRACIONES AMBIENTALES.....	68
FIGURA 3.30 UBICACIÓN DEL ACELERÓMETRO	68
FIGURA 3.31 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESAMIENTO DE SEÑALES SEGÚN (Guillier, y otros, 2014)	69
FIGURA 4.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES INGRESADOS EN EL MODELO.....	84

FIGURA 4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS TIPO SHELL Y TIPO SOLID	85
FIGURA 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS TIPO FRAME	86
FIGURA 4.4 COMPOSICIÓN FINAL DE MUROS	86
FIGURA 4.5 VISTAS DEL MODELO EN EL PROGRAMA SAP 2000	87
FIGURA 4.6 SECCIÓN DE CUBIERTA REAL Y EQUIVALENTE.....	89
FIGURA 4.7 ESFUERZOS INTERNOS PARA ELEMENTOS TIPO SHELL QUE CONSIDERA EL PROGRAMA SAP 2000.	92
FIGURA 4.8 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA ELEMENTOS TIPO SHELL - CONDICIONES DE CARGA VERTICAL.	93
FIGURA 4.9 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA ELEMENTOS TIPO SHELL - CONDICIONES DE CARGA LATERAL.....	93
FIGURA 4.10 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA LOS ELEMENTOS TIPO SHELL CRÍTICOS, PARA CARGA VERTICAL	95
FIGURA 4.11 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA LOS ELEMENTOS TIPO SHELL CRÍTICOS, PARA CARGA LATERAL	95
FIGURA 4.12 ESFUERZOS INTERNOS PARA ELEMENTOS TIPO SHELL QUE CONSIDERA EL PROGRAMA SAP 2000.	96
FIGURA 4.13 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA ELEMENTOS TIPO SOLID - CONDICIONES DE CARGA GRAVITACIONALES.	96
FIGURA 4.14 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA ELEMENTOS TIPO SOLID - CONDICIONES DE CARGA LATERAL.	97
FIGURA 4.15 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA LOS ELEMENTOS TIPO SOLID CRÍTICOS EN CUBIERTA - CARGA VERTICAL.....	98
FIGURA 4.16 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA LOS ELEMENTOS TIPO SOLID CRÍTICOS EN CUBIERTA - CARGA LATERAL	99
FIGURA 4.17 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA LOS ELEMENTOS TIPO SOLID CRÍTICOS EN PARED A- CARGA VERTICAL	100

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3.1 CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A CORTE EN MUESTRAS DE EPS.....	26
GRÁFICO 3.2 CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A CORTE EN MUESTRAS DE PIR.....	26
GRÁFICO 3.3 CURVAS ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN UNITARIA DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN MUESTRAS DE EPS	30
GRÁFICO 3.4 CURVA ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN UNITARIA DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN MUESTRAS DE PIR	30
GRÁFICO 3.5 CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA EN MUESTRAS DE EPS	34
GRÁFICO 3.6 CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA EN MUESTRAS DE PIR.....	34
GRÁFICO 3.7 CURVAS DE CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A FLEXIÓN EN MUESTRAS DE EPS	40
GRÁFICO 3.8 CURVAS DE CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A FLEXIÓN EN MUESTRAS DE PIR	40
GRÁFICO 3.9 CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL EN MUESTRAS DE EPS	45
GRÁFICO 3.10 CURVA CARGA VS. DEFLEXIÓN DE LOS DEFORMÍMETROS D3 Y D4.....	54
GRÁFICO 3.11 CURVAS CARGA VS. DESPLAZAMIENTO DE LOS DEFORMÍMETROS D1, D2, D5 Y D6.....	54
GRÁFICO 3.12 CURVA CARGA VS. DESPLAZAMIENTO DEL DEFORMÍMETRO D7	55
GRÁFICO 3.13 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I) DE LOS DEFORMÍMETROS D1, D2, D3.....	63
GRÁFICO 3.14 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I, ETAPA II) DE LOS DEFORMÍMETROS D1, D2, D3.....	64

GRÁFICO 3.15 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I) PARA LVDT 3, LVDT 4, LVDT 5.....	65
GRÁFICO 3.16 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I, ETAPA II) PARA LVDT 3, LVDT 4, LVDT 5	65
GRÁFICO 3.17 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I) PARA TODOS LOS LVDT EN SENTIDO DE APLICACIÓN DE LA CARGA.....	66
GRÁFICO 3.18 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I) PARA LVDT 1, SENTIDO PERPENDICULAR A LA APLICACIÓN DE LA CARGA.....	66
GRÁFICO 3.19 SEÑAL TOMADA EN SENTIDO NORTE-SUR.....	70
GRÁFICO 3.20 ESPECTRO DE RESPUESTA EN SENTIDO NORTE – SUR PARA CADA VENTANA DE 25 SEGUNDOS	70
GRÁFICO 3.21 PROMEDIO DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA EN SENTIDO NORTE - SUR PARA LAS VENTANAS DE 25 SEGUNDOS	71
GRÁFICO 3.22 SEÑAL TOMADA EN SENTIDO ESTE - OESTE	71
GRÁFICO 3.23 ESPECTRO DE RESPUESTA EN SENTIDO ESTE-OESTE PARA CADA VENTANA DE 25 SEGUNDOS	72
GRÁFICO 3.24 PROMEDIO DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA EN SENTIDO ESTE – OESTE PARA LAS VENTANAS DE 25 SEGUNDOS	72
GRÁFICO 3.25 COMPARACIÓN DE CARGAS ALCANZADAS CON LAS REQUERIDAS POR EL CÓDIGO	77
GRÁFICO 3.26 COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS ALCANZADOS CON LOS PERMITIDOS POR LA NORMA.....	79
GRÁFICO 3.27 CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN PARA EL ENSAYO A CARGA LATERAL (LVDT 4)	80
GRÁFICO 3.28 FUERZAS ACTUANTES EN LA VIVIENDA.....	81
GRÁFICO 4.1 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MODELO CALIBRADO Y EL ENSAYO EXPERIMENTAL (LA PRUEBA DE CARGA VERTICAL-DEFORMÍMETRO D3).....	91
GRÁFICO 4.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MODELO CALIBRADO Y EL ENSAYO EXPERIMENTAL (ENSAYO A CARGA LATERAL - D2, LVDT 4) ..	91

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se pretende validar estructuralmente una vivienda propuesta por la empresa KUBIEC - CONDUIT, misma que posee un sistema constructivo innovador de paneles tipo sándwich.

Para su validación se realizaron varios estudios experimentales en los materiales y en el prototipo de vivienda, para obtener curvas de capacidad, rigidez, módulo de elasticidad de los materiales, y con ello poder evidenciar que la vivienda presente un buen comportamiento ante cargas verticales y laterales que representan las acciones sísmicas. Adicionalmente se realizó un estudio analítico con la ayuda de un modelo matemático para conocer la distribución de esfuerzos en la vivienda.

Los resultados obtenidos mostraron que la vivienda es apta para resistir sollicitaciones gravitacionales y laterales que requiere la norma.

ABSTRACT

This project develops the structural validation of a house proposed by the company KUBIEC - CONDUIT, which has an innovative construction system of sandwich panels.

For validation, several experimental studies were carried out on the materials and the prototype of the house, in order to obtain curves of capacityrigidity, modulus of elasticity of the materials, and with this evidence a good performance of the house against vertical and lateral loads that represent the seismic actions. In addition, an analytical study was carried out with the help of a mathematical model to know the distribution of efforts in the house.

The results showed that the house is able to withstand gravitational and lateral stresses required by the norm.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto consta de cinco capítulos distribuidos de la siguiente manera:

El Capítulo 1, contiene la parte introductoria de la investigación, muestra Antecedentes, Definiciones básicas, Generalidades, Alcance, Objetivos, y Metodología a utilizarse en la presente tesis.

En el Capítulo 2, se realiza una descripción de los materiales así como de la configuración arquitectónica y estructural del prototipo de vivienda de estudio.

En el Capítulo 3, se describen los estudios experimentales realizados en los materiales y en el prototipo de vivienda, se muestra y analizan los resultados de los ensayos a carga vertical y carga lateral, realizados en la vivienda.

En el Capítulo 4, se muestra el desarrollo del modelo matemático computacional, así como la calibración del mismo, para posteriormente analizar resultado de esfuerzos actuantes en la vivienda bajo sollicitaciones verticales y laterales.

En el Capítulo 5, finalmente se detallan conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Ecuador es un país con alto riesgo sísmico ya que se encuentra en el llamado “Cinturón de Fuego del Pacífico”, mismo que es el responsable del 90 % de sismos en el mundo. (Rosenberg, 2010)

(Rosenberg, 2010), menciona que el “Cinturón de Fuego del Pacífico es una zona en forma de herradura en la cual limitan varias placas tectónicas, se extiende a lo largo de más de 40,000 kilómetros rodeando las costas del Océano Pacífico desde Nueva Zelanda hasta Chile, se caracteriza por tener una intensa actividad volcánica y sísmica, producto de la interacción constante de las placas.

FIGURA 1.1 CINTURÓN DE FUEGO DEL PACÍFICO, ZONA DONDE OCURRIERON LOS 10 SISMOS MÁS FUERTES DEL MUNDO.



FUENTE: (Tsunami alerts sparks panic in Indonesia, 2014)

El Cinturón de Fuego del Pacífico concentra varias zonas de subducción (zona donde una placa litosférica oceánica se hunde bajo otra placa, ya sea oceánica o continental), el hundimiento de una placa bajo otra genera tensiones muy grandes que al liberarse producen sismos. Los mayores terremotos registrados mediante sismógrafos han ocurrido en el Cinturón de fuego del Pacífico, y se estima que alrededor del 75% de la energía sísmica total producida en el mundo al año es liberada a lo largo de esta región. (Alarcón & Franco, 2010).

1.1.1 SISMOS EN ECUADOR

Ecuador es un país que se ha visto afectado, muy frecuentemente, por grandes sismos que han generado pérdidas humanas y económicas.

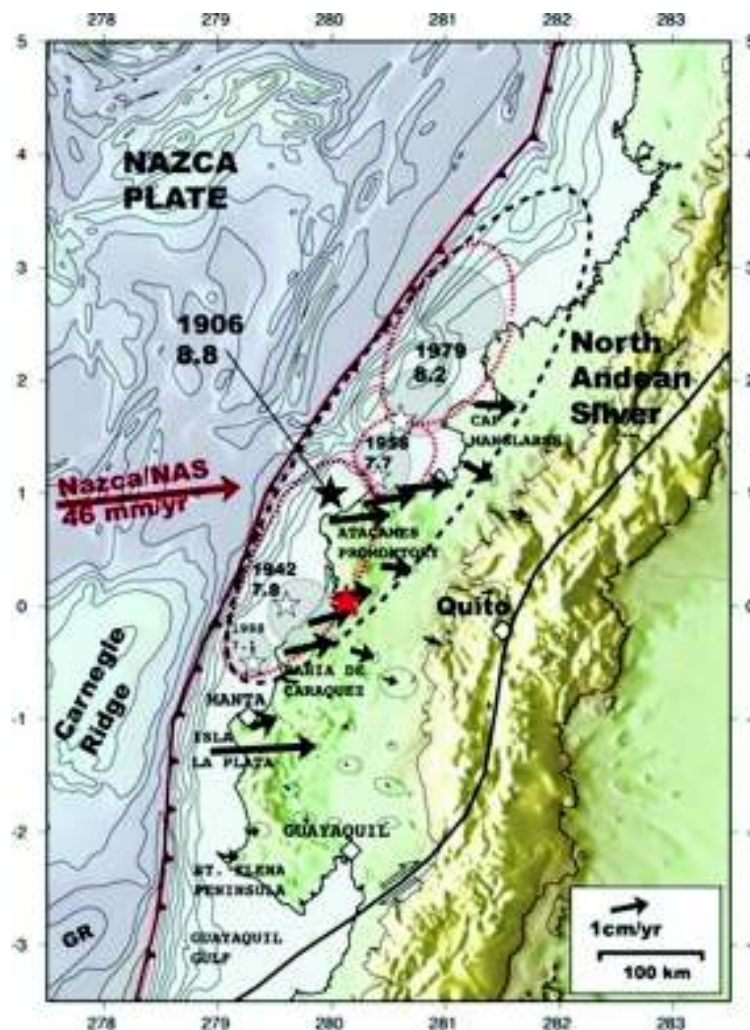
“La costa ecuatoriana con una extensión de 950km está sujeta como se ha mencionado anteriormente a los procesos tectónicos de los bordes de las placas. La subducción de la Placa Nazca bajo la Placa Sudamericana, origina dos ambientes epicentrales, uno en el continente y otro en la plataforma submarina.” (Espinoza, 1992, pág. 21).

En el Ecuador se han presentado sismos de gran magnitud en el ambiente continental, sin embargo, son los sismos en la plataforma submarina los que han dejado una mayor huella. El 31 de enero de 1906 ocurrió un gran sismo que se lo ha registrado como el número 7 entre los sismos más fuertes en todo el mundo y el número 1 en Ecuador, su epicentro se localizó frente la costa de Esmeraldas y su magnitud fue de 8.8 grados en la escala Richter y grado IX en la escala de Mercalli (escala de doce grados desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras), este sismo originó un tsunami que afectó a las costas cercanas de Ecuador y Colombia, alrededor de unas 1.000 a 1.500 personas murieron. (Espinoza, 1992).

Posterior a esos eventos se suscitaron en las costas ecuatorianas 5 sismos de gran importancia no solo por los daños que ocasionaron, también porque su magnitud

superaba los 7 grados en la escala Richter y sus epicentros se localizaron cerca al epicentro del sismo de 1906 , estos sismos son los del 14 de mayo de 1942 y del 19 de enero de 1958, con magnitudes de 7.8 grados, el sismo del 12 de diciembre de 1979 con una magnitud de 8.1, el sismo de 7.1 grados en el año de 1998 y el sismo más reciente ocurrido el 16 de abril de 2016 con una magnitud de 7.8 grados con su epicentro ubicado en las costas de Pedernales.

FIGURA 1.2 MAPA CON LA UBICACIÓN Y MAGNITUD DE LOS DE LOS SISMOS MÁS IMPORTANTES DESDE 1906. (LA ESTRELLA ROJA REPRESENTA EL EPICENTRO DEL EVENTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016).



FUENTE: <http://www.andes.info.ec/es/noticias/mejorar-codigos-construccion-tener-conciencia-vivir-pais-sismico-lecciones-terremoto>

1.1.1.1 Sismo del 16 de abril del 2016

El sábado 16 de abril a las 18h58 (hora local), ocurrió un sismo de magnitud 7.8 en escala de Richter, su hipocentro se ubicó en las costas de Pedernales (Manabí), a una profundidad de 20 km y de acuerdo al último informe emitido por la Secretaria de Gestión de Riesgos este sismo dejó 663 personas fallecidas, 6.274 heridos y 28.755 personas sin viviendas.

Este ha sido el sismo más destructivo del país en los últimos treinta años. En las zonas más afectadas como Pedernales y Chamanga se registró una intensidad máxima de 9 EMS (Escala Macrosísmica Europea – mide niveles de intensidad, es una actualización de la escala de Mercalli), y en costas cercanas como Bahía de Caráquez, Jama, Canoa y zonas centrales de Manta y Portoviejo se registró una intensidad de 8 EMS, estos valores reflejan el colapso en muchas edificaciones vulnerables y daños en edificaciones construidas bajo recomendaciones de normas técnicas. (Geofísico, 2016).

FIGURA 1.3 DAÑOS EN ALGUNAS ESTRUCTURAS DEBIDO AL SISMO DEL 16 DE ABRIL.



FUENTE: “Así cambio Manabí después del terremoto” por Vicente Costales, El Comercio, Derechos de autor [2016] por grupo el Comercio.

Ecuador ha sido constantemente escenario de varios eventos sísmicos y la destrucción que estos dejan a su paso no ha disminuido. Este sismo ha permitido comprobar que la mayoría de las estructuras en el país son vulnerables dado que un buen número de estructuras son construidas de manera empírica y otras simplemente no tienen un control técnico y de calidad adecuado. Por tales razones es necesario investigar e implementar nuevos sistemas y métodos constructivos, además de optimizar los existentes. Estos nuevos sistemas estructurales deben ser resistentes, livianos, durables y de bajo costo y que cumplan con estándares sismo-resistentes.

KUBIEC-CONDUIT, una empresa ecuatoriana dedicada a la industria del acero, fabricó y construyó una vivienda de interés social con un sistema de paneles tipo sándwich, que se espera pueda ayudar en la reconstrucción de las poblaciones afectadas de Manabí, es por ello que busca validar estructuralmente la vivienda para que pueda ser una solución segura y funcional para la sociedad.

1.2 ALCANCE

Se pretende validar estructuralmente una vivienda con un sistema de paneles tipo sándwich propuesta por la empresa KUBIEC-CONDUIT, para ello se realizarán ensayos en los: materiales, la vivienda y un estudio de vibraciones ambientales para obtener el periodo real de la vivienda, mismos que serán ejecutados por el Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional.

Con los resultados obtenidos de dichos ensayos se comprobará si la vivienda cumple con requisitos de resistencia y rigidez para hacer frente a las cargas verticales de peso propio y sobrecargas, así como también a las fuerzas sísmicas correspondientes al sismo de diseño, también se verificará si la vivienda cumple con las derivas permitidas por la NEC-15.

1.2.1 OBJETIVOS

1.2.1.1 Objetivo General

Determinar la validez estructural frente a eventos sísmicos de una vivienda propuesta por la empresa KUBIEC-CONDUIT.

1.2.1.2 Objetivos Específicos

- Conocer el desempeño estructural en términos de resistencia y serviciabilidad de la vivienda.
- Determinar la resistencia a carga vertical y carga lateral de la vivienda.
- Determinar la resistencia experimental.
- Comparar los resultados experimentales con el desarrollo analítico.
- Determinar la validez estructural.

1.3 DEFINICIONES

1.3.1 SISTEMA CONSTRUCTIVO

Un sistema constructivo está integrado por los materiales o materia prima a la que a lo sumo se le ha aplicado algún tratamiento como por ejemplo tierra, arena, hierro, ripio, cemento, etc.; los cuales y según conveniencia del sistema se transformaran en elementos que cumplirán una función determinada (como perfiles, placas, bloques, etc.). Tanto los materiales como los elementos que conforman el sistema deberán cumplir con requerimientos y exigencias básicas de seguridad, habitabilidad, durabilidad y estéticas. (Maldonado, 2010)

Para entender de mejor manera, un sistema constructivo se define como el conjunto integral de materiales, herramientas, procedimientos y elementos

constructivos combinados según determinadas reglas tecnológicas para conformar una obra completa.

1.3.1.1 Sistema Constructivo Convencional

“Es el conjunto de procesos de diseño, organización y ejecución de edificaciones, que en un país o región determinada se reconocen como la práctica usual de construcción, durante un período de tiempo considerable” (INAVI, 1982) .

1.3.1.1.1 Sistema Porticado

Sistema formado por columnas y vigas las cuales están conectadas entre sí por medio de nudos rígidos que permiten la transferencia de momentos flectores y cargas axiales hacia las columnas. Este sistema utiliza comúnmente elementos de hormigón armado o perfiles de acero.

1.3.1.2 Sistema Constructivo No Convencional

Es un sistema constructivo con un conjunto de procedimientos que han desplazado a los sistemas convencionales o tradicionales. Se caracteriza por técnicas innovadoras que facilitan las operaciones y reduzcan la incidencia de la mano de obra, con el uso de equipos y maquinaria que predominantes; presenta gran versatilidad y rapidez en construcción, y utiliza materiales innovadores de buenas características y propiedades.

1.3.1.2.1 Sistema con Paneles

Es un sistema constructivo basado en paneles estructurales auto-portantes prefabricados de alta resistencia que forman muros, paredes y cubiertas.

“El **panel tipo sándwich** es un producto de la construcción que consiste en dos capas colocadas a cada lado de un núcleo de material aislante térmico, al cual están firmemente unidas, de manera que los tres componentes actúan en conjunto” (Mongue, 2016).

Los paneles sándwich se utilizan en aplicaciones de la construcción donde se requiere una combinación de alta rigidez estructural y bajo peso.

Los paneles sándwich son un ejemplo de un compuesto sándwich estructurado: la fuerza y la ligereza de esta tecnología la hace popular y generalizada. Tiene gran versatilidad lo que significa que los paneles pueden tener diferentes aplicaciones y pueden tener muchas formas: el núcleo y los materiales de la capa exterior pueden variar ampliamente y el núcleo puede ser un panel o un relleno sólido.

1.4 GENERALIDADES

1.4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

La empresa KUBIEC-CONDUIT propone un sistema constructivo no convencional, de paneles tipo sándwich; sistema que además de confinar cumple con una función estructural.

Los paneles tipo sándwich de esta investigación son de la línea KUTERMICO, éstos poseen un material aislante termo-acústico unido a dos láminas de acero producidos mediante un proceso continuo, que actúan monolíticamente para resistir esfuerzos exteriores. Un recubrimiento galvanizado por inmersión en caliente, ofrece resistencia a los efectos de la intemperie. (KUBIEC, 2015)

Los materiales que conforman los paneles son innovadores, de bajo peso, fáciles de producir y transportar. La ligereza de los materiales permite tener paneles que

en la construcción son rápidos y sencillos de instalar por lo que reducen costos de instalación y montaje, y mejoran ciertas propiedades estructurales.

Los códigos y normas que se utilizan en esta línea de productos para reglamentar su calidad son:

- ASTM A-36.- American Society for Testing Materiales.
- NEC-2015.- Norma Ecuatoriana de la Construcción.

El uso genérico de estos paneles es en cubiertas y fachadas (bodegas, hangares, galpones, etc.), viviendas (casas prefabricadas, campamentos), otras aplicaciones (contenedores desarmables o fijos).

1.4.2 VENTAJAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

El sistema de paneles tipo sándwich ofrece muchos beneficios tales como:

- Auto-portante.
- Aislante termo-acústico.
- Sostenibilidad en su fabricación.
- Ligereza.
- Facilidad y rapidez de montaje.
- Excelente relación Peso- Resistencia.
- Compatibilidad con otros sistemas constructivos.
- Acabados de alta calidad.

1.4.3 JUSTIFICACIÓN

Debido a que la vivienda que propone la empresa KUBIEC-CONDUIT corresponde a un sistema no convencional cuyos parámetros de diseño no están claros en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), la empresa optó por realizar una

validación estructural, basándose en el apartado 2.3 del capítulo 9 de la norma NEC-15 (Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m), el cual indica que, “para sistemas constructivos diferentes a los descritos en este capítulo, cuyo diseño no pueda ser respaldado por normativa nacional o internacional o cuando se trate de un sistema único o patentado, éstos deberán ser aprobados por el Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción y contar con un informe técnico sobre el desempeño del sistema constructivo, y el cumplimiento de las disposiciones de la NEC, emitido por el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) de la Escuela Politécnica Nacional u otro centro certificado por el Comité Ejecutivo de la NEC”. (NEC, 2015).

1.5 METODOLOGÍA

En este proyecto de investigación se realizarán estudios analítico-experimentales a una vivienda construida por la empresa KUBIEC-CONDUIT. Los ensayos se realizarán bajo procedimientos y estándares del Centro de Investigación de la Vivienda (CIV). Además, se realizará el análisis de un modelo matemático de la estructura que permita analizar y comparar resultados experimentales para simular el comportamiento de la vivienda ante determinadas sollicitaciones.

A continuación se describe brevemente la secuencia de la investigación:

- Ensayos y mediciones: aquí se realizan los ensayos destructivos y no destructivos a la vivienda y sus materiales. Los ensayos destructivos a realizarse consisten en pruebas de laboratorio en materiales, la prueba de carga vertical de la vivienda y el ensayo a carga horizontal a la misma. Dentro de la tipología de ensayos no destructivos se encuentran las mediciones de vibraciones ambientales.
- Modelación matemática de la vivienda propuesta: en este punto se realiza una modelación estructural tomando en cuenta la configuración arquitectónica de la vivienda y las propiedades físico-mecánicas de los materiales. El objetivo es

determinar la validez de la vivienda a nivel de esfuerzos y las propiedades físico-mecánicas de los materiales.

- Calibración del modelo matemático: con los resultados experimentales se tienen datos reales de la vivienda lo que permite realizar ajustes en el modelo matemático, con el fin de que los resultados teóricos se acerquen a los obtenidos experimentalmente.
- Recopilación de información: este punto es la síntesis y manejo de datos obtenidos. Una vez organizados los datos se comparan resultados del modelo matemático con los resultados obtenidos en los ensayos de campo y también se realiza un análisis del comportamiento de la vivienda.
- Finalmente se evalúan los resultados obtenidos y los criterios de aceptación, determinando si la vivienda tiene un comportamiento estructural adecuado o no.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

En el presente capítulo se describe el prototipo de vivienda propuesto por la empresa KUBIEC-CONDUIT desde el punto de vista: arquitectónico, de los materiales y estructural.

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

En la línea de productos KUTÉRMICO de la empresa KUBIEC, los paneles se componen de láminas de acero como recubrimiento y un material aislante como núcleo, este material aislante puede variar entre una espuma de EPS o una espuma de PIR. A continuación, se muestran características de estos materiales.

2.1.1 Acero

Los paneles están comprendidos por láminas exteriores de acero estructural A36. El Acero estructural A36 o acero estructural al carbono es un acero que se produce bajo la especificación (ASTM A36), su mayor uso es en la industria de la construcción. Entre sus ventajas esta su gran resistencia a la tensión y compresión.

FIGURA 2.1 PANEL DE ACERO ESTRUCTURAL

FUENTE: <http://www.alutech.hn/productos/>

TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL ACERO

Acero	A36
Espesor	0.40 mm
Esfuerzo de Fluencia	2531 kg/cm ²
Esfuerzo Último	4080 kg/cm ²
Elongación	En 200 mm: 20% En 50 mm: 23%
Composición Química	Carbono: 0.26 % Fósforo : 0.04 % Sulfuro : 0.05 % Silicio : 0.40 % Cobre : 0.20 %
Recubrimiento	Galvalume por inmersión en caliente: aluminio 55% , zinc 43%, silicio 2% según norma ASTM A792. Espesor del Galvalume AZ150

FUENTE: (KUBIEC, 2015)

FUENTE: (ASTM A36)

ELABORADO POR: Herrera Melisa

2.1.2 Poliestireno Expandido (EPS)

El material aislante que conforma las paredes es una espuma de poliestireno expandido.

El poliestireno expandido (EPS) es un plástico rígido, resistente, ligero, reciclable, de células cerradas. Su fabricación es mediante la expansión de perlas de

poliestireno con vapor y presión para unir las perlas y formar bloques o moldes. El EPS tiene una variedad de aplicaciones en la industria de la construcción, sirve para el aislamiento y el llenado de vacíos, puede ser utilizado en paneles como principal componente de soporte de carga ya sea como pared exterior, entramado, división, pared, techo, suelo y estructura.

FIGURA 2.2 POLIESTIRENO EXPANDIDO



FUENTE: <http://www.ingenieros.es/noticias/ver/proyecto-colreleps-una-salida-sostenible-para-los-residuos-de-poliestireno-expandido/3963>

TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO

Poliestireno Expandido	EPS
Nivel de Aislamiento Acústico para 500 mm	36 dB
Estabilidad Térmica	-184° a +77° C
Densidad	10 - 18 kg/m ³
Resistencia a la Tracción	4,13 kg/cm ²
Módulo de Elasticidad	207,06 kg/cm ²
Resistencia a la Flexión	6,54 kg/cm ²
Módulo de Flexión	229,50 kg/cm ²
Resistencia a la Compresión	9,38 kg/cm ²
Módulo de Compresión	180,54 kg/cm ²
Fuerza de Corte	2,96 kg/cm ²

Fuente: (KUBIEC, 2015)

Fuente: (MatWeb, 1996)

Elaborado por: Herrera Melisa

2.1.3 Poliisocianurato (PIR)

El material aislante que conforma la cubierta es una espuma de poliisocianurato.

El poliisocianurato (PIR) es un plástico celular termoestable formado cuando dos productos químicos líquidos básicos, isocianurato y polioliol, se combinan en presencia de un catalizador que ayuda a las moléculas a reorganizarse y unirse, un agente de soplado crea células cerradas en la estructura. Si el proceso de elaboración es correcto, el resultado es una espuma rígida de poliiso rígida inerte, no nutritiva, altamente estable que tiene los valores de aislamiento térmico más altos de cualquier aislamiento de espuma convencional disponible comercialmente en la actualidad. Su aplicación en la industria de la construcción ha sido como aislamiento de cimentación, pared y techo tanto en ambientes comerciales como residenciales.

FIGURA 2.3 POLIISOCIANURATO



FUENTE: <http://www.bcomp.it/en/bfoam-rigid-polyurethane-foams/>

TABLA 2.3 CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL POLIISOCIANURATO

Poliisocianurato	PIR
Nivel de Aislamiento Acústico para 500 mm	36 dB
Estabilidad Térmica	-200° a +120° C
Densidad	34-45 kg/m ³
Fuerza de Corte	1.69 kg/cm ²
Módulo de Corte	20.32 kg/cm ²
Resistencia a la Tracción Paralela	3.45 kg/cm ²
Resistencia a la Tracción Perpendicular	2.46 kg/cm ²
Módulo de tracción Paralelo	122.40 kg/cm ²
Módulo de tracción Perpendicular	82.05 kg/cm ²
Resistencia a la Flexión Paralelo	4.08 kg/cm ²
Resistencia a la Flexión Perpendicular	4.22 kg/cm ²
Módulo de Flexión Paralelo	61.17 kg/cm ²
Módulo de Flexión Perpendicular	71.57 kg/cm ²

FUENTE: (KUBIEC, 2015)

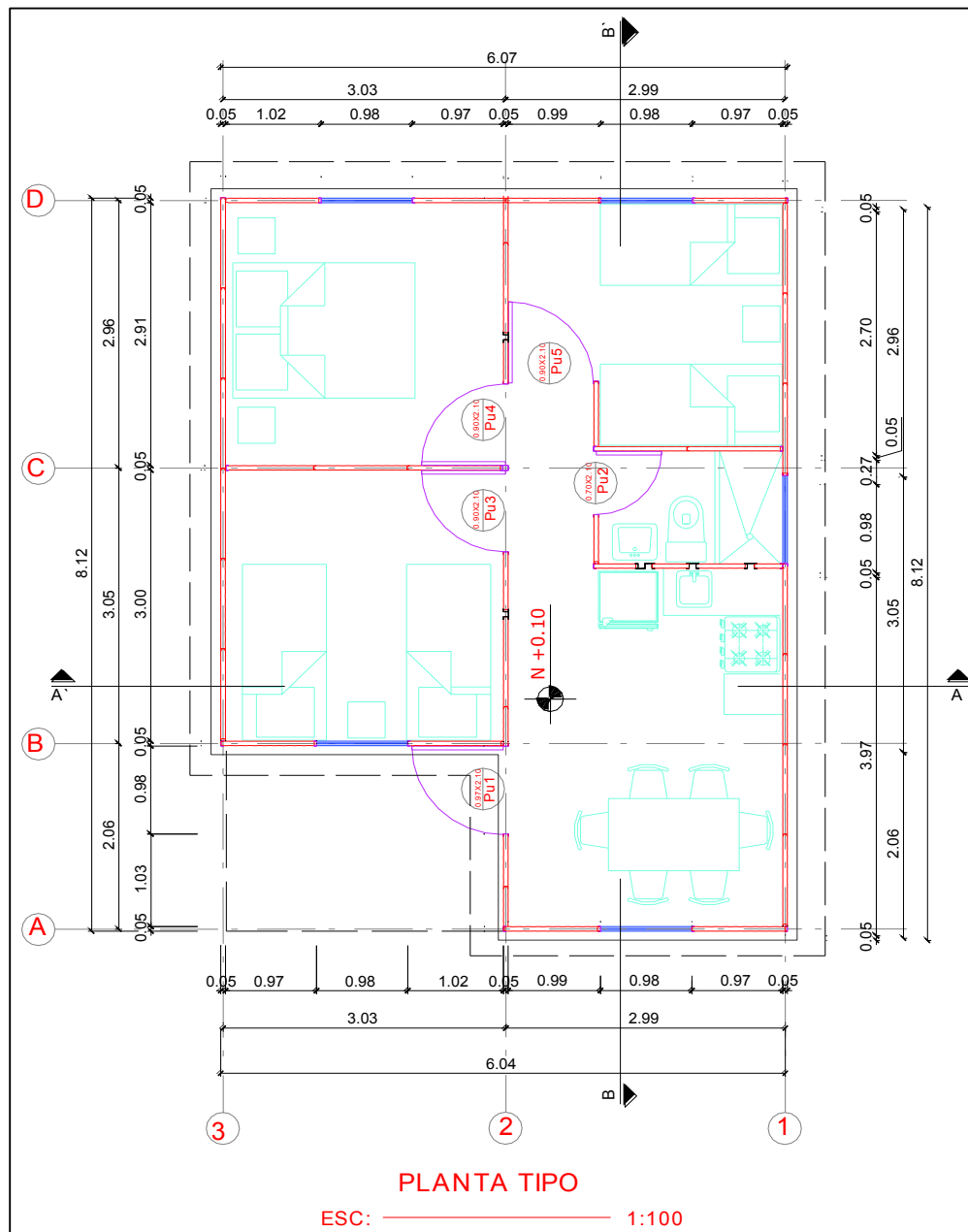
FUENTE: (DyplastProducts)

ELABORADO POR: Herrera Melisa

2.2 DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA

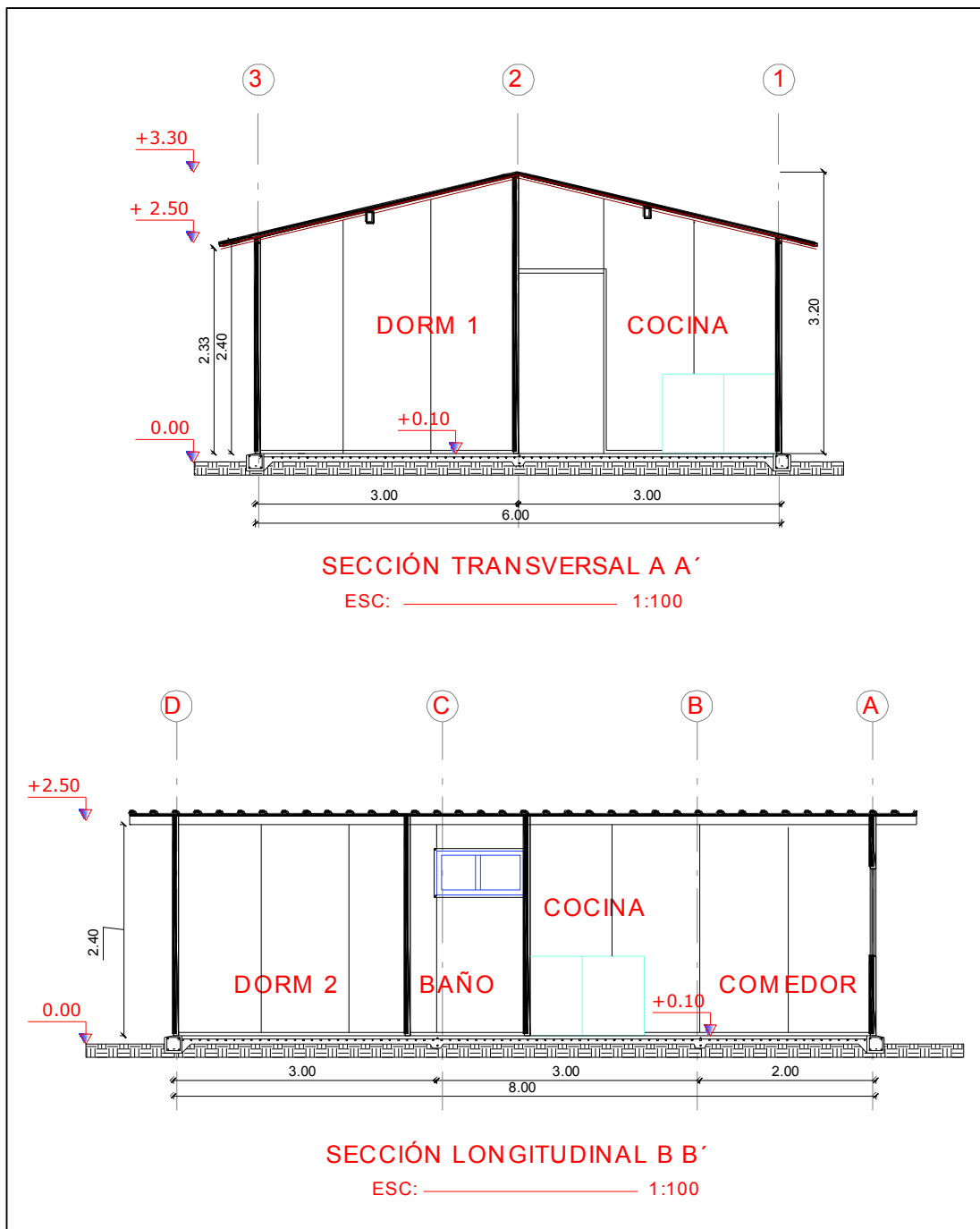
El modelo propuesto por la empresa KUBIEC-CONDUIT es una vivienda de 42 m² de área de construcción, de una planta con cubierta a doble caída y con una distribución de paredes que permiten separar los espacios esenciales como se muestra en las figuras 2.4 y 2.5.

FIGURA 2.4 PLANO ARQUITECTÓNICO DE LA VIVIENDA



ELABORADO POR: Herrera Melisa

FIGURA 2.5 PLANO ARQUITECTÓNICO DE LOS CORTES TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL DE LA VIVIENDA



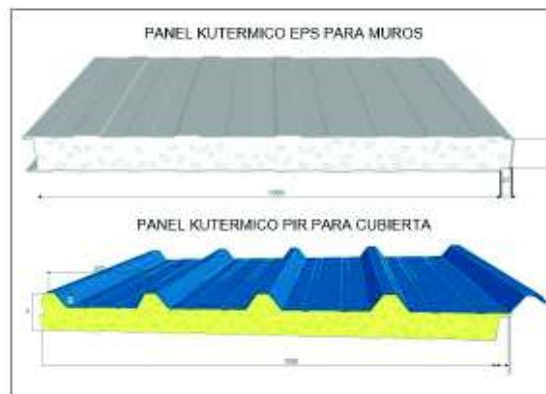
ELABORADO POR: Herrera Melisa

2.3 DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL

La vivienda está basada en un conjunto de paredes auto-portantes y cubierta a dos aguas con una pendiente del 30%. Las paredes son la estructura resistente y se encuentran sobre un perfil metálico tipo C 55x30x2 unido a un contrapiso de hormigón de 210 kg/cm² mediante pernos de 4" cada 50 cm.

Las paredes y divisiones internas están conformadas por paneles Kutérmico EPS de 50 mm de espesor con un peso promedio por metro cuadrado de 7.61 kg/m², mientras que la cubierta está conformada por paneles Kutérmico PIR de 15 mm de espesor, con un peso promedio por metro cuadrado de 4.79 kg/m².

FIGURA 2.6 PANELES KUTÉRMICOS PARA MUROS Y CUBIERTAS



FUENTE: (KUBIEC, 2015)

La conexión entre los paneles es por medio de pernos auto perforantes de 4", para el caso de la conexión ortogonal entre paneles se utilizan ángulos esquineros de acero y pernos de 1/2".

Se utilizó perfiles y accesorios para las terminaciones de los paneles en puertas, ventanas y esquinas, así como para cubrir las uniones de paneles, cubierta, fachadas, etc.

Un mayor detalle de la descripción estructural se encuentra en el Anexo No. 1.

CAPÍTULO 3

ESTUDIOS EXPERIMENTALES

En el presente capítulo se describen y analizan los ensayos, pruebas y mediciones realizadas en la vivienda, así como en los materiales de la misma.

Los ensayos se realizaron en campo, así como en laboratorio, bajo procedimientos del Centro de Investigación de la Vivienda, basados en la normativa vigente NEC, ACI y ASTM.

3.1 ESTUDIO EN LOS MATERIALES

Los materiales principales a utilizar en esta investigación son el poliisocianurato (PIR), el poliestireno expandido (EPS) y el acero estructural.

A los dos paneles tipo sándwich con material aislante (PIR y EPS), se les realizaron ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades mecánicas, tales como: ensayo de densidad, corte, compresión paralela, compresión perpendicular, flexión y tracción diagonal. Estos ensayos se realizaron de acuerdo a la norma ASTM.

3.1.1 DENSIDAD

El ensayo de densidad, se lo realizó utilizando la norma American Society for Testing Materials; Standard Test Method for Density of Sandwich Core Materials: este método de ensayo determina la densidad de materiales del núcleo de construcción tipo sándwich. (ASTM C271, 2017)

3.1.1.1 Descripción del Ensayo

El ensayo consiste de un acondicionamiento del material núcleo (material aislante) de una muestra, de la medición del peso del espécimen y la medición de la longitud, ancho y espesor de la muestra para posteriormente determinar su densidad.

FIGURA 3.1 ENSAYO DE DENSIDAD



ELABORADO POR: Herrera Melisa

Instrumentación

La instrumentación utilizada en el ensayo consiste de:

- Horno eléctrico que mantenga la temperatura en 105 °C
- Balanza electrónica con aproximación 0.1 gr
- Calibrador pie de rey
- Flexómetro

Muestra

Para el ensayo se tomaron cinco probetas de EPS y cinco probetas de PIR, de sección transversal rectangular como sugiere la norma.

FIGURA 3.2 PROBETAS UTILIZADAS PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Para las dimensiones de las probetas de EPS se tomó el mínimo recomendado por (ASTM C271, 2017), que equivale a probetas de 30 cm x 30 cm x 5 cm; sin embargo, para las probetas de PIR, al ser muestras de un panel de cubierta con crestas que impiden tomar secciones como las que recomienda la norma, se tomaron probetas de 30 cm x 18 cm x 1.5 cm.

Acondicionamiento de la muestra

El acondicionamiento consiste en determinar el contenido de humedad de la muestra, para ello se debe someter la muestra a un secado en horno a una temperatura de 105 ± 3 °C por 24 horas. En este procedimiento se toma el peso de la muestra antes y después del secado para poder determinar el contenido de humedad en la muestra con la siguiente expresión: (ASTM C271, 2017)

$$\omega\% = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad (3.1)$$

Donde:

$\omega\%$: Contenido de humedad de la muestra

W_h : Peso de la muestra húmeda en *gr*.

W_s : Peso de la muestra seca en *gr*.

Mediciones

Para este ensayo se debe tomar tres medidas: largo, ancho y espesor de las probetas así como el peso antes y después del acondicionamiento.

Cálculos

Se determina peso y volumen de la muestra para poder obtener el valor de la densidad mediante la siguiente expresión:

$$D = \frac{P}{V} \quad (3.2)$$

Donde

D: Densidad de la muestra en kg/m^3

P: Peso de la muestra en kg

V: Volumen de la muestra en m^3

3.1.1.2 Resultados Obtenidos

En la tabla 3.1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de densidad para los diferentes materiales, un mayor detalle de los resultados se muestra en el Anexo No. 2.

TABLA 3.1 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO DE DENSIDAD

MATERIAL	ESPESOR (cm)	CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega\%$	DENSIDAD DEL ACERO (gr/cm^3)	DENSIDAD DE LA ESPUMA (gr/cm^3)	DENSIDAD DEL PANEL (gr/cm^3)	PESO DEL PANEL (kg/m^2)
EPS	5	5.720	8.440	0.019	0.294	8.173
PIR	1.5	0.534	7.626	0.039	0.375	6.886

ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.1.2 CORTE

Este ensayo se lo realizó utilizando la norma American Society for Testing Materials, Standart Test Method for Core Shear Properties of Sandwich

Constructions by Beam: este método de ensayo cubre la determinación de la propiedad de corte del material núcleo de construcción tipo sándwich. (ASTM C393, 2017)

3.1.2.1 Descripción del Ensayo

Este ensayo consiste en someter una viga de panel a un momento de flexión normal y registrar carga y deformación. (ASTM C393, 2017)

El único modo de fallo aceptable es el corte del núcleo (material aislante). No se considera aceptable el modo de falla si ésta ocurre en la unión entre el núcleo y la cara de acero. (ASTM C393, 2017)

FIGURA 3.3 ESQUEMA DEL ENSAYO A CORTE Y SU MODO DE FALLA TÍPICO



ELABORADO POR: Herrera Melisa

Instrumentación

La instrumentación utilizada en el ensayo consiste de:

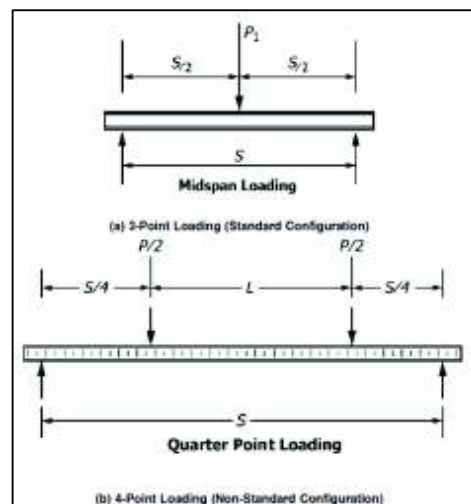
- Celda de carga a Compresión y Tracción
- Transductor de desplazamiento
- Gato hidráulico
- UPM 100 (Equipo que registra la información)

- Barras de apoyo de 25mm de ancho
- Barras de carga de 25 mm de ancho
- Placa de acero para repartir la carga (16.75 kg)
- Placa de acero para repartir la carga (2 kg)

Configuración

Según (ASTM C393, 2017), se permite dos configuraciones de ensayo, la configuración estándar que es un ensayo en tres puntos y la configuración no estándar que es un ensayo en 4 puntos.

FIGURA 3.4 CONFIGURACIÓN DE ENSAYO



FUENTE: (ASTM C393, 2017)

Muestra

Para el ensayo se tomaron cinco probetas de PIR y cinco probetas de EPS, de sección transversal rectangular de acuerdo a las especificaciones que recomienda la norma para el ensayo no estándar. (ASTM C393, 2017)

FIGURA 3.5 PROBETAS PARA EL ENSAYO A CORTE

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Debido a que las dimensiones para la configuración no estándar dependen del espesor del panel se tuvieron muestras diferentes. Para el caso de las muestras de EPS se tomaron probetas de 65 cm x 18 cm x 5cm, mientras que para las muestras de PIR se tomaron probetas de 20 cm x 8.5 cm x 1.5 cm.

Mediciones

En este ensayo se debe registrar continuamente la carga aplicada y la deformación en el centro de la luz de la probeta.

Cálculos

Con la información de carga alcanzada se puede determinar el esfuerzo máximo de corte mediante la siguiente expresión:

$$F_s^{ult.} = \frac{P_{max.}}{A_s} \quad (3.3)$$

Donde:

$F_s^{ult.}$: Esfuerzo máximo de corte en kg/cm^2 .

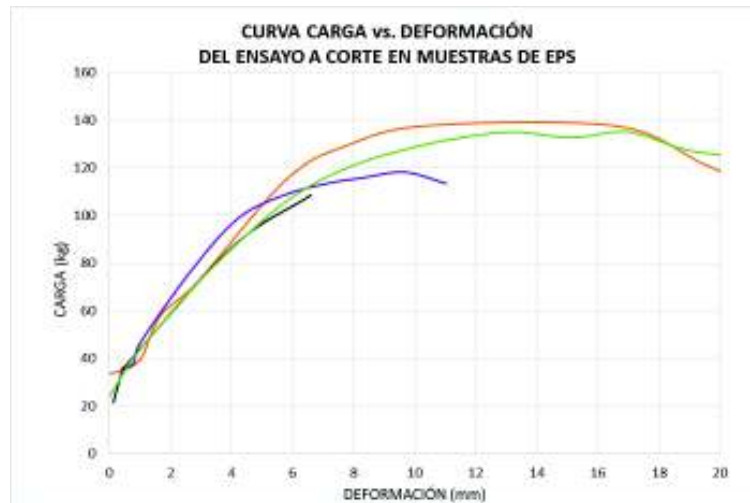
$P_{max.}$: Carga máxima alcanzada en ensayo en kg .

A_s : Área de corte en cm^2 .

3.1.2.2 Resultados Obtenidos

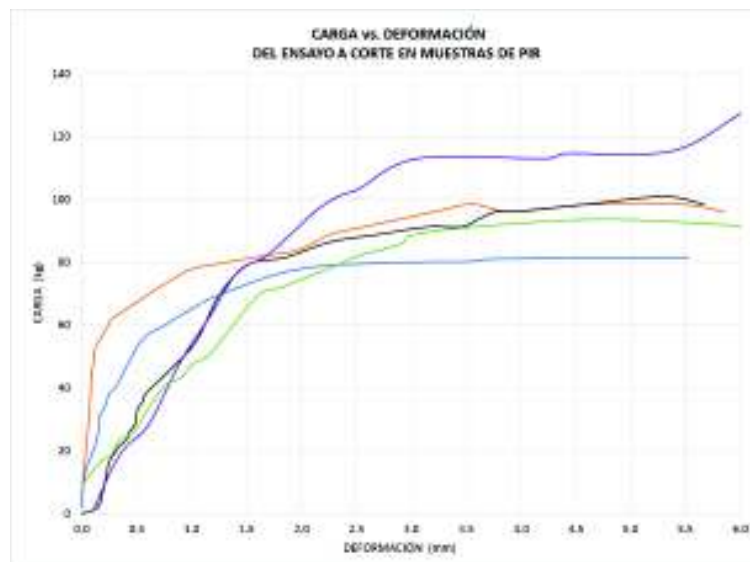
En los gráficos 3.1 y 3.2 se pueden observar las curvas Carga vs. Deformación, obtenidas de los ensayos a corte en los diferentes materiales.

GRÁFICO 3.1 CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A CORTE EN MUESTRAS DE EPS



ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.2 CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A CORTE EN MUESTRAS DE PIR



ELABORADO POR: Herrera Melisa

En la tabla 3.2 se muestra el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos realizados a corte, un mayor detalle de los resultados se muestra en el Anexo No.2.

TABLA 3.2 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO A CORTE

MATERIAL	ESPESOR (mm)	ESFUERZO MÁXIMO A CORTE (kg/cm ²)
EPS	50	0,631
PIR	15	3,282

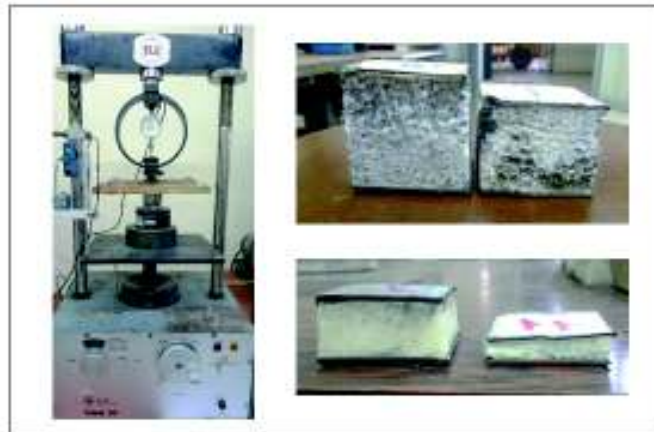
ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.1.3 COMPRESIÓN PERPENDICULAR

Este ensayo se lo realizó utilizando la norma American Society for Testing Materials, Standart Test Method for Flatwise Compressive Strength of Sandwich Constructions: este método de ensayo cubre la determinación del esfuerzo de compresión, así como el módulo de elasticidad del material núcleo de construcción tipo sándwich. (ASTM C365, 2017)

3.1.3.1 Descripción del Ensayo

Este método de ensayo consiste en someter una muestra de panel a una fuerza de compresión uniaxial, perpendicular al plano de las láminas de acero. La fuerza se transmite al núcleo utilizando unas plataformas de carga unidas a la máquina de ensayo, y se registra la carga y deformación. (ASTM C365, 2017)

FIGURA 3.6 ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Instrumentación

La instrumentación utilizada en el ensayo consiste de:

- Máquina universal con un ajuste de velocidad de 0.5 mm/min.
- Transductor de desplazamiento.
- Placas de aplicación de carga.

Muestra

Para el ensayo se tomaron cinco probetas de EPS y cinco probetas de PIR, de sección transversal rectangular como lo recomienda la norma.

FIGURA 3.7 PROBETAS PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Las probetas de EPS son cubos de 5cm de arista mientras que para el caso de las probetas de PIR son prismas de 3cm x 3 cm x 1.5 cm.

Mediciones

En este ensayo se debe registrar continuamente la carga aplicada y la deformación, así como las dimensiones de las probetas antes y después del ensayo. (ASTM C365, 2017)

Cálculos

Con la información de carga alcanzada se puede determinar el esfuerzo máximo a compresión perpendicular mediante la siguiente expresión:

$$F_z^{ult.} = \frac{P_{max.}}{A} \quad (3.4)$$

Donde:

$F_z^{ult.}$: Esfuerzo máximo a compresión perpendicular en kg/cm^2 .

$P_{max.}$: Carga máxima alcanzada en ensayo en kg .

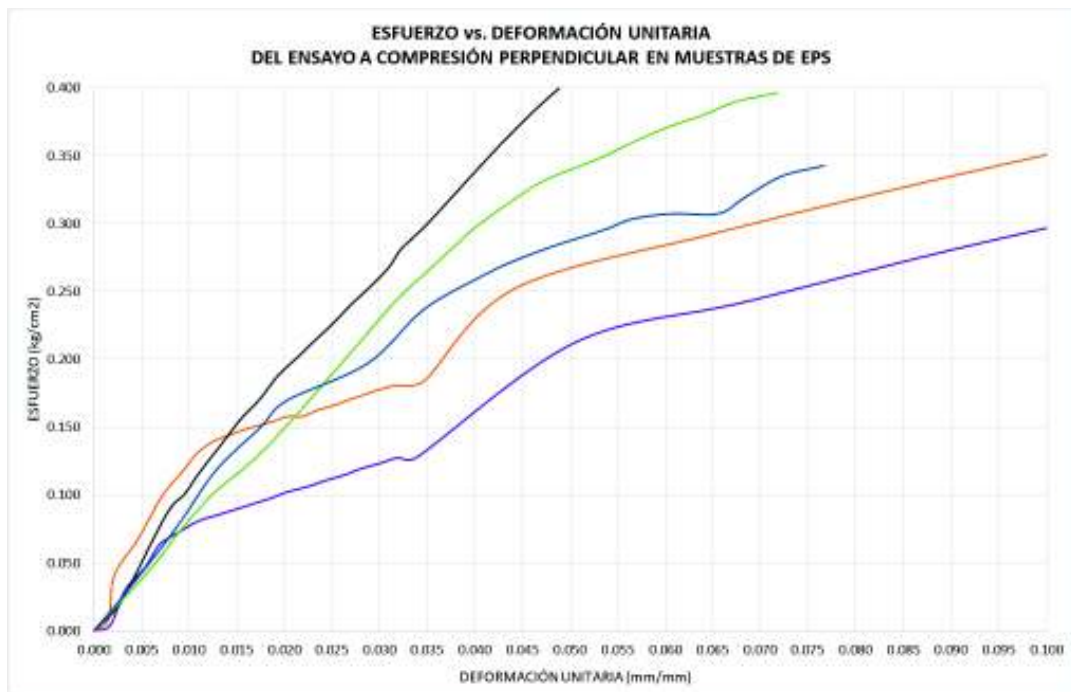
A : Área en cm^2 .

De la curva Esfuerzo vs. Deformación Unitaria se determina el esfuerzo y el módulo de elasticidad a compresión con la pendiente de la recta secante desde el origen hasta el punto del 2% de la deformación unitaria. (ASTM C365, 2017)

3.1.3.2 Resultados Obtenidos

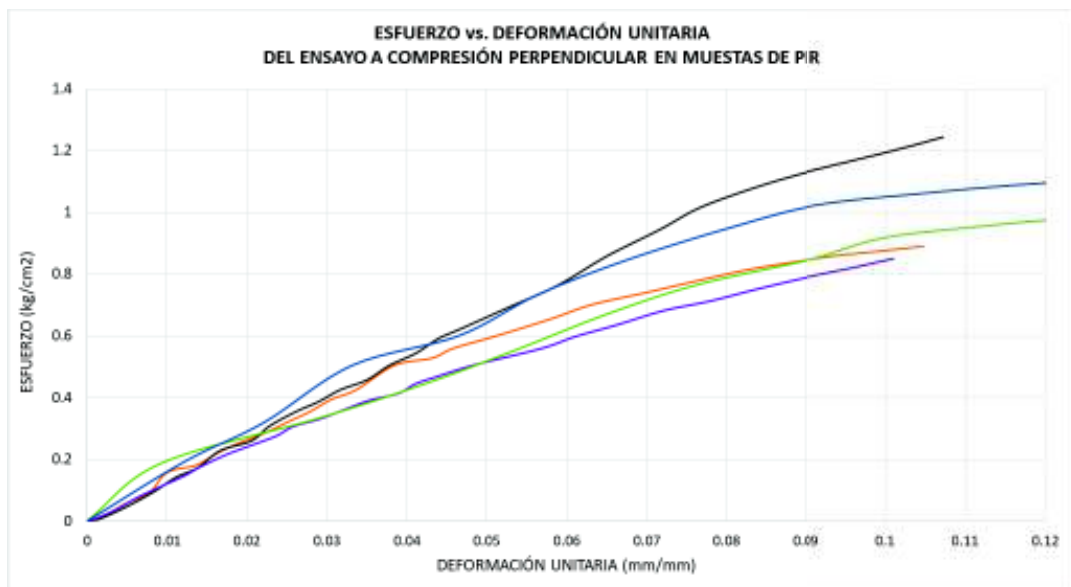
En los gráficos 3.3 y 3.4 se puede observar la curva generalizada de Esfuerzo vs. Deformación Unitaria.

GRÁFICO 3.3 CURVAS ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN UNITARIA DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN MUESTRAS DE EPS



ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.4 CURVA ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN UNITARIA DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN MUESTRAS DE PIR



ELABORADO POR: Herrera Melisa

En la tabla 3.3 se muestra un resumen de los resultados obtenidos, un mayor detalle de los resultados se muestra en el Anexo No.2.

TABLA 3.3 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PERPENDICULAR

MATERIAL	ESPESOR (cm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)
EPS	5	7.700	0.305
PIR	1.5	12.156	0.992

ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.1.4 COMPRESIÓN PARALELA

Este ensayo se lo realizó utilizando la norma American Society for Testing Materials, Standart Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions, este método de ensayo cubre la determinación del esfuerzo de compresión del material núcleo de construcción tipo sándwich. (ASTM C364, 2017)

3.1.4.1 Descripción del Ensayo

Este método de ensayo consiste en someter un panel sándwich a una fuerza de compresión monotónicamente creciente paralela al plano de sus caras. La fuerza se transmite al núcleo utilizando unas placas de soporte en los extremos, se registra la carga y la deformación. (ASTM C364, 2017)

La única forma de falla aceptable en este ensayo es el pandeo lejos de los extremos de soporte.

FIGURA 3.8 ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Instrumentación

La instrumentación utilizada en el ensayo consiste de:

- Maquina universal con un ajuste de velocidad de 0.5 mm/min.
- Transductor de desplazamiento de hasta 50 cm.
- Placa de aplicación de carga.

Muestra

Para el ensayo se tomaron cinco probetas de EPS y cinco probetas de PIR, de sección transversal rectangular como lo recomienda la norma.

FIGURA 3.9 PROBETAS PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Las dimensiones de las probetas corresponden a las recomendadas por (ASTM C364, 2017), debido a que éstas depende del espesor del panel se tomaron muestras diferentes, para el caso de las muestras de EPS se utilizaron probetas de 30cm x 18cm x 5cm, mientras que para las muestras de PIR se tomaron probetas de 12cm x 8.5 cm x 1.5 cm.

Mediciones

En este ensayo se debe registrar continuamente la carga aplicada y la deformación, así como las dimensiones de las probetas antes y después del ensayo.

Cálculos

Con la información de carga alcanzada se puede determinar el esfuerzo máximo a compresión perpendicular mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{P_{max.}}{w(2t_{fs})} \quad (3.5)$$

Donde:

σ : Esfuerzo máximo a compresión paralela en kg/cm^2 .

$P_{max.}$: Carga máxima alcanzada en ensayo en kg .

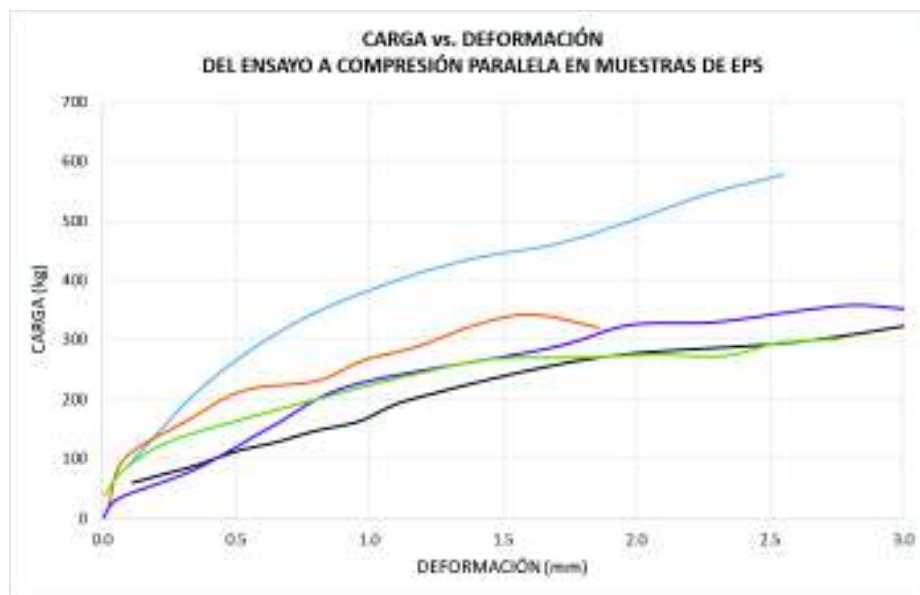
w : Espesor del panel en cm .

t_{fs} : Espesor de una cara de acero en cm .

3.1.4.2 Resultados Obtenidos

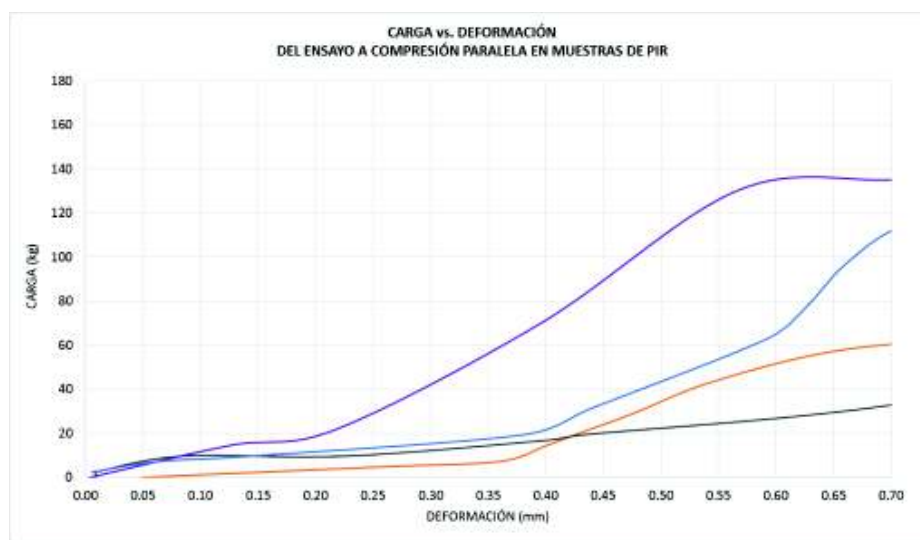
En los gráficos 3.5 y 3.6 se pueden observar las curvas Carga vs. Deformación, obtenidas de los ensayos a compresión paralela en los diferentes materiales.

GRÁFICO 3.5 CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA EN MUESTRAS DE EPS



ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.6 CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA EN MUESTRAS DE PIR



ELABORADO POR: Herrera Melisa

En la tabla 3.4 se muestra un resumen de los resultados obtenidos, un mayor detalle de los resultados se muestra en el Anexo No.2.

TABLA 3.4 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN PARALELA

MATERIAL	ESPESOR (cm)	ESFUERZO MÁXIMO A COMPRESIÓN PARALELA (kg/cm ²)
EPS	5.0	2.708
PIR	1.5	1.797

ELABORADO POR: Herrera Melisa

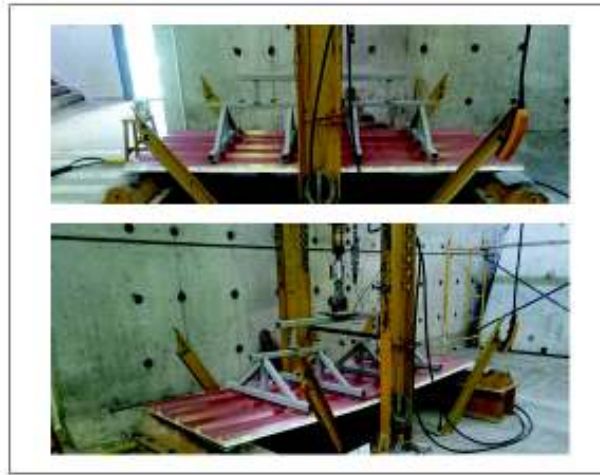
3.1.5 FLEXIÓN

Este ensayo se lo realizó utilizando la norma American Society for Testing Materials, Standart Test Method of Conducting Strength Tests of Panels for Building Constructions: este ensayo busca determinar el esfuerzo máximo, módulo de elasticidad a flexión además de parámetros como la rigidez y resistencia de la sección transversal de los paneles. (ASTM E72, 2017)

3.1.5.1 Descripción del Ensayo

Según (ASTM E72, 2017), el ensayo consiste en someter un panel a flexión mediante la aplicación de carga en cuatro puntos, se registra carga y deformación en el centro de luz.

Al fallar el panel por flexión se tiene la carga máxima que permite determinar el esfuerzo máximo a flexión, además se obtiene parámetros de resistencia y rigidez de la sección transversal del panel frente a cargas perpendiculares al plano. (ASTM E72, 2017)

FIGURA 3.10 ESQUEMA DEL ENSAYO A FLEXIÓN

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Instrumentación

La instrumentación utilizada en el ensayo consiste de:

- Celda de carga a Compresión y Tracción
- Transductor de desplazamiento
- Gato hidráulico
- UPM 100 (Equipo que registra la información)
- Apoyos
- Sistema de barras de carga (45 kg).

Muestra

Para el ensayo se tomaron paneles a escala real, para el caso de los muros (EPS) se tomaron 3 probetas de 250cm x 100cm x 5cm, mientras que para la cubierta (PIR) se tomaron 3 probetas de 300cm x 100cm x 1.5cm.

FIGURA 3.11 PROBETAS PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Cálculos

Para el cálculo del esfuerzo máximo resistente se utilizó la siguiente expresión:

$$\sigma_{max.} = \frac{M c}{I} \quad (3.6)$$

Donde:

$\sigma_{max.}$: Esfuerzo máximo que ocurre en el punto más alejado al eje neutro.

M : Momento interno resultante.

c : Distancia desde el eje neutro este hasta el punto más alejado.

I : Momento de inercia de la sección transversal respecto del eje neutro.

Para el cálculo del momento de inercia de la sección tipo sándwich se utilizó la ecuación 3.7 (Barbero & Navarro, 2008) .

$$I = \frac{B (e - en)}{4} * \left(\frac{e + en}{2} \right)^2 \quad (3.7)$$

Donde:

I : Momento de inercia de una sección sándwich con respecto al eje neutro en cm^4 .

B : Ancho de la viga en cm .

en: Espesor del núcleo en *cm*.

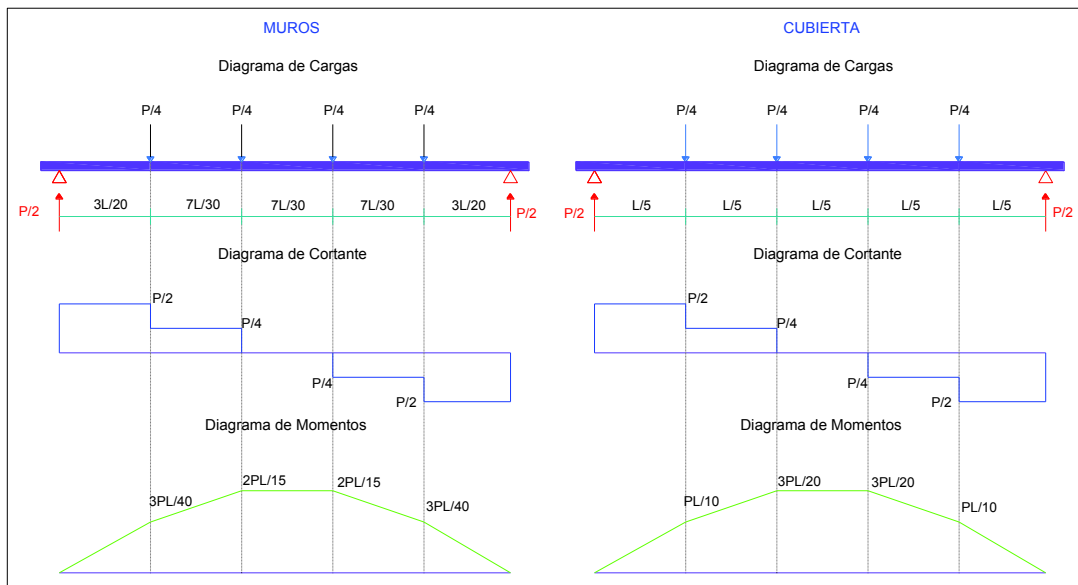
e_r : Espesor de la lámina de revestimiento en *cm*.

e : Espesor del panel en *cm* ($e=e_n+e_r$) en *cm*.

Del diagrama de momentos que se muestra en la figura 3.12 se obtuvo el momento flector y mediante el teorema de área de momentos se determinó la deflexión en el centro de luz.

Dado a que se utilizó el mismo sistema de barras de carga (juego de 4 barras separadas una distancia fija) para el ensayo de muros y el ensayo de cubiertas se obtuvo dos esquemas de ensayo y por ende dos diagramas de momento ya que la longitud de los paneles de cubierta es mayor que la longitud de los muros.

FIGURA 3.12 DIAGRAMAS DE CARGA, CORTANTE Y MOMENTOS PARA MUROS Y CUBIERTAS



ELABORADO POR: Herrera Melisa

Para los paneles de pared se tiene:

$$M_u = \frac{2 PL}{15} \quad (3.8)$$

$$\delta_{max.} = 0.0142 \frac{PL^3}{EI} \quad (3.9)$$

Para los paneles de cubierta se tiene:

$$M_u = \frac{3 PL}{20} \quad (3.10)$$

$$\delta_{max.} = \frac{63 PL^3}{4000 EI} \quad (3.11)$$

Donde:

M_u : Momento último interno en *kg.cm*.

P : Carga máxima aplicada en *kg*.

L : Longitud del panel en *cm*.

$\delta_{max.}$: Deflexión máxima en *cm*.

E : Módulo de elasticidad en *kg/cm²*.

I : Inercia de las sección transversal en *cm⁴*.

Del ensayo se tiene la carga y deflexión por lo que se puede despejar el módulo de rigidez de las ecuaciones 3.8 y 3.10.

Para los paneles de pared se tiene:

$$EI = 0.0142 \frac{PL^3}{\delta_{max.}} \quad (3.12)$$

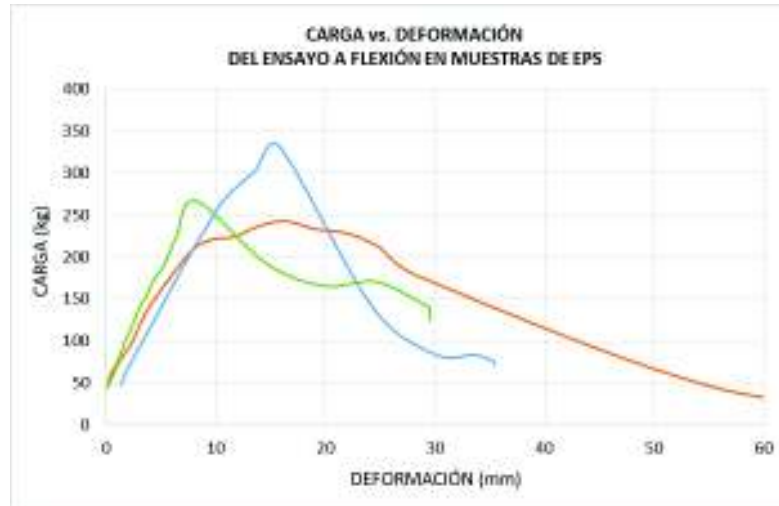
Para los paneles de cubierta se tiene:

$$EI = \frac{63 PL^3}{4000 \delta_{max.}} \quad (3.13)$$

3.1.5.2 Resultados Obtenidos

En los gráficos 3.7 y 3.8 se pueden observar las curvas Carga vs. Deformación, obtenidas de los ensayos a flexión en los materiales.

GRÁFICO 3.7 CURVAS DE CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A FLEXIÓN EN MUESTRAS DE EPS



ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.8 CURVAS DE CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A FLEXIÓN EN MUESTRAS DE PIR



ELABORADO POR: Herrera Melisa

En la tabla 3.5 se muestra el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos realizados a flexión, un mayor detalle de los resultados se muestra en el Anexo No.2.

TABLA 3.5 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL ENSAYO A FLEXIÓN

MATERIAL	ESPESOR (cm)	CARGA MÁXIMA P máx. (kg)	DEFORMACIÓN MÁXIMA δ máx. (cm)	MOMENTO ÚLTIMO Mu (kg.cm)	ESFUERZO MÁXIMO A TENSIÓN σ máx. (kg/cm ²)	MÓDULO DE RIGIDEZ Ei (kg/cm ²)	MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm ²)
EPS	5.0	280.644	1.341	9354.814	476.283	50637415.404	1033311.201
PIR	1.5	292.366	5.110	13156.482	893.679	24313868.333	878492.757

ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.1.6 TRACCIÓN DIAGONAL

Para este ensayo se utilizó la norma American Society for Testing Materials, Standart Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Mansory Assemblages. Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la tracción diagonal o corte de muros de mampostería. (ASTM E519, 2017)

3.1.6.1 Descripción del Ensayo

Este ensayo consiste en someter un muro a compresión a lo largo de una diagonal, provocando así una falla de tensión diagonal con la división de la muestra al separarse paralelamente a la dirección de carga. (ASTM E519, 2017)

En el ensayo se registra continuamente la carga y deformación a compresión.

FIGURA 3.13 ESQUEMA DEL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL



ELABORADO POR: Herrera Melisa

Instrumentación

La instrumentación utilizada en el ensayo consiste de:

- Celda de carga a Compresión y Tracción
- Transductor de desplazamiento
- Gato hidráulico
- UPM 100 (Equipo que registra la información)
- Apoyos a 45°

Muestra

Para el ensayo se analizaron únicamente los muros de pared. Se tomaron 3 probetas de EPS de 100cm x100cmx 5cm

FIGURA 3.14 PROBETA PARA EL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Cálculos

Los cálculos en este ensayo se realizaron de manera diferente a lo especificado en la norma, debido a que no se obtuvo una falla por corte como se presenta en ensayos de mampostería, la falla obtenida fue por aplastamiento (compresión) en las esquinas donde se ubicaron los apoyos. (Iza, 2012)

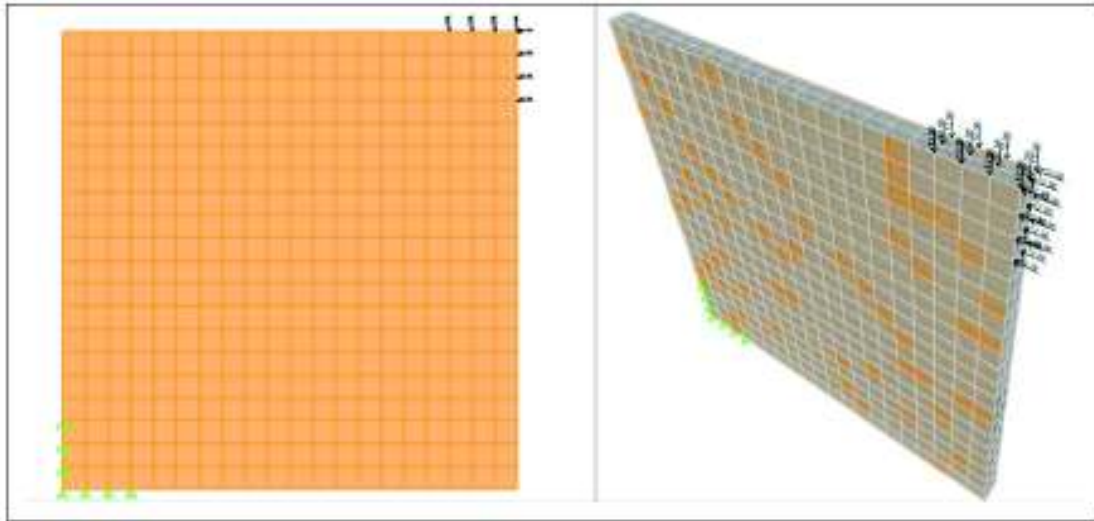
FIGURA 3.15 FALLA POR APLASTAMIENTO OBTENIDO A TRACCIÓN DIAGONAL

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Utilizando los procedimientos de (Iza, 2012), se realizó un modelo matemático del ensayo en el programa SAP 2000, y se revisaron los esfuerzos máximos a

compresión obtenidos en las esquinas mediante la aplicación de la carga máxima promedio del ensayo.

FIGURA 3.16 SIMULACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL EN EL PROGRAMA SAP 2000



ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.1.6.2 Resultados Obtenidos

En la tabla 3.6 se muestra la carga máxima alcanzada en cada una de las probetas, así como la carga máxima promedio.

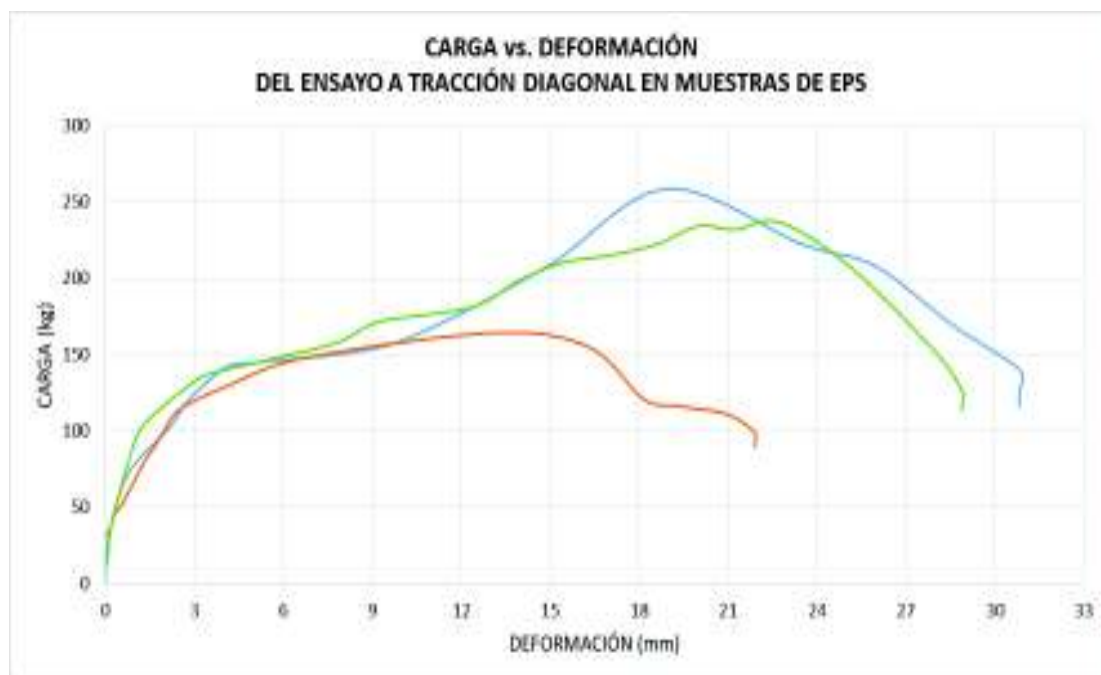
TABLA 3.6 CARGA MÁXIMA PROMEDIO OBTENIDA

MUESTRA	CARGA MÁXIMA (kg)
1	258.704
2	164.323
3	236.761
PROMEDIO	219.929

ELABORADO POR: Herrera Melisa

En el gráfico 3.9 se muestra los resultados de Carga vs. Deformación obtenidos experimentalmente del ensayo a tracción diagonal.

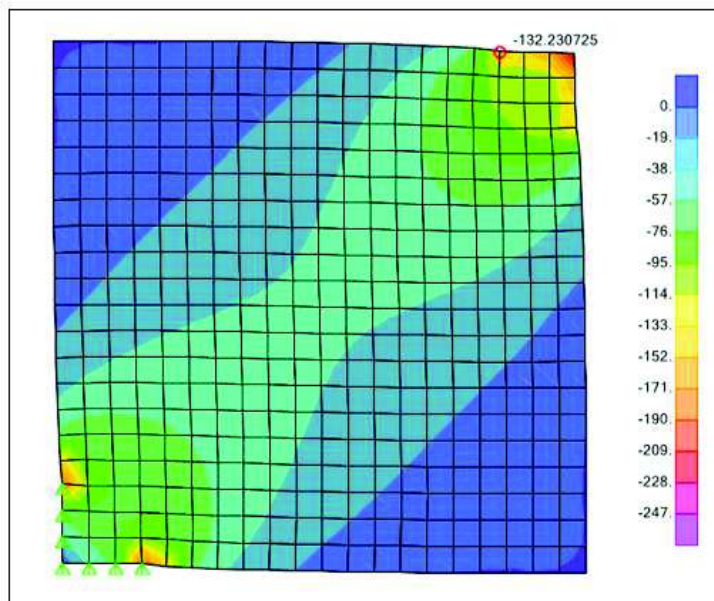
GRÁFICO 3.9 CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL EN MUESTRAS DE EPS



ELABORADO POR: Herrera Melisa

En la figura 3.17 se muestran los esfuerzos de compresión máximos que generan la falla por aplastamiento en las esquinas cuyo valor máximo en la zona de falla es de 132.23 kg/cm².

FIGURA 3.17 RESULTADO DE ESFUERZOS MÁXIMOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO A TRACCIÓN DIAGONAL EN KG/CM²



ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.1.7 RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

En este punto se muestra un resumen de las propiedades obtenidas de los materiales ensayados.

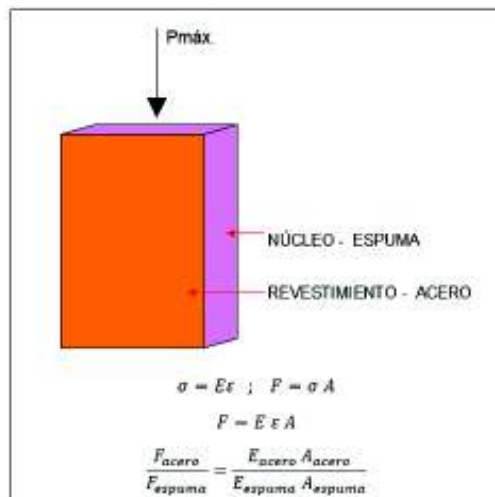
TABLA 3.7 RESUMEN DE RESULTADOS PROMEDIO EN ENSAYOS DE MATERIALES

PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS	POLIESTIRENO EPS	POLIISOCIANURATO PIR	PANEL DE EPS	PANEL DE PIR
Densidad (kg/m ³)	19.000	39.000	-	-
Esfuerzo a Corte (kg/cm ²)	0.631	3.282	-	-
Esfuerzo a Compresión Perpendicular (kg/cm ²)	0.305	0.992	-	-
Módulo de Elasticidad a Compresión (kg/cm ²)	7.700	12.156	-	-
Esfuerzo a Compresión Paralela (kg/cm ²)	2.708	1.797	-	-
Esfuerzo a Flexión (kg/cm ²)	-	-	476.283	893.679
Módulo de Elasticidad a Flexión (kg/cm ²)	-	-	1033311.201	878492.757

ELABORADO POR: Herrera Melisa

También se comparó la resistencia entre el acero y la espuma de EPS para conocer cuánto contribuye cada material para resistir fuerzas de compresión paralela.

FIGURA 3.18 RELACIÓN DE RESISTENCIA ENTRE EL ACERO Y LA ESPUMA



FUENTE: (Iza, 2012)

ELABORADO POR: Herrera Melisa

TABLA 3.8 COMPARACIÓN DE RESISTENCIA ENTRE EL ACERO Y LA ESPUMA DE EPS

	LONGITUD (cm)	ESPESOR (cm)	ÁREA A (cm ²)	MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm ²)	A x E (kg)	F_{acero}/F_{espuma}
ACERO	20	0.04	1.6	2038901.9	3262243.04	4237
ESPUMA DE EPS	20	5.00	100	7.7	770	

ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.2 ESTUDIO EN LA VIVIENDA

En el estudio de la vivienda se realizarán varias pruebas de campo y laboratorio con la finalidad de realizar una validación estructural de la misma. Los criterios que serán analizados son:

- Carga alcanzada en prueba de carga vertical.
- Deflexiones en prueba de carga vertical.
- Fuerza alcanzada en ensayo a carga lateral.

- Derivas de piso máximas en ensayo a carga lateral.
- Rigidez
- Daños visuales en prueba de carga y en ensayo a carga lateral.

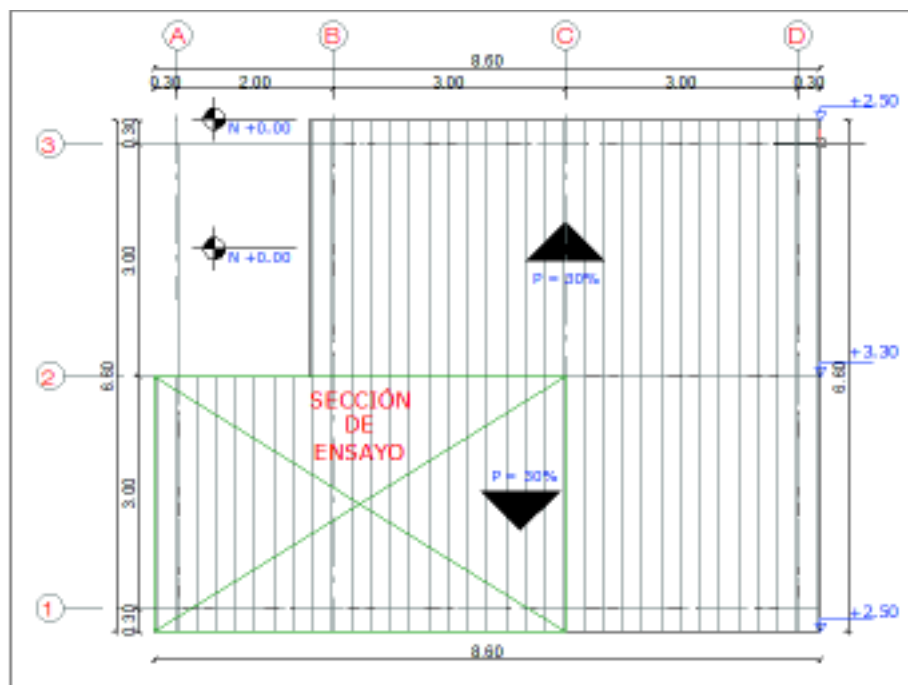
3.2.1 ESTUDIO A CARGA VERTICAL

Del estudio a carga vertical se evalúa la resistencia y rigidez de la estructura frente a solicitaciones gravitatorias, para ello se realiza una prueba de carga vertical estática en la cubierta y se procesan los datos para determinar deflexiones y desplazamientos horizontales.

3.2.1.1 Diseño a carga vertical

La vivienda de esta investigación posee segmentos idénticos por lo que la prueba de carga se realizó en una sección representativa de la cubierta. Esta sección se escogió analizando la zona más crítica, donde las deflexiones y esfuerzos sean máximos.

FIGURA 3.19 SECCIÓN DE CUBIERTA, DONDE SE APLICÓ LA SOBRECARGA



ELABORADO POR: Herrera Melisa

La carga de estudio para esta vivienda es la carga muerta (peso propio de cubierta) más una sobrecarga de servicio (ACI 318S, 2005). La carga viva que se utilizó fue la indicada para cubiertas inclinadas según (NEC-15 Capítulo 1, 2015), y la intensidad de carga aplicada en el ensayo se calculó según (ACI 318S, 2005), pese a las limitaciones de su aplicación para estructuras de hormigón armado, pretendiendo someter a la estructura a una carga crítica, en comparación a la capacidad de carga de un panel individual ensayado a carga vertical según la norma NEC-15.

No se considera cargas de granizo o ceniza debido a que se pretende utilizar estas viviendas para reconstruir las poblaciones afectadas en la costa ecuatoriana y en estas zonas la altitud no supera los 1000 m.s.n.m.

TABLA 3.9 VALORES DE CARGA VERTICAL


CARGAS GRAVITACIONALES				
TIPO DE CARGA	DESCRIPCIÓN	CARGA	UNIDAD	REFERENCIAS / OBSERVACIONES
CARGA MUERTA	Peso propio panel	6.886	Kg/m ²	Valor tomado de la tabla 3.1
CARGA VIVA	Carga mínima para cubiertas	71.380	Kg/m ²	NEC 2015: Cargas no sísmicas 4.2.1
INTENSIDAD DE CARGA REQUERIDA	0.85 (1.4 D + 1.7 L)	111.338	Kg/m ²	ACI 318S-05: 20.3.2
SOBRECARGA APLICADA	Carga de ensayo	105.000	Kg/m ²	Intensidad de carga requerida menos peso propio (redondeado al inmediato superior)

ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.2.1.2 Prueba de carga vertical







En este ensayo se utilizaron sacos de arena de 3 kg como carga de prueba, el proceso de aplicación de carga se lo realizó en 6 ciclos. Primero se aplicó una carga de 30 kg/m² y posteriormente se realizaron incrementos de 15 kg/m² hasta llegar a la carga de ensayo. La cubierta permaneció con la carga total durante 1 hora y posteriormente se realizó la descarga en un proceso de 5 ciclos.

TABLA 3.10 CICLOS DE APLICACIÓN DE CARGA VERTICAL

30 kg/m ²	45 kg/m ²
	
60 kg/m ²	75 kg/m ²
	
90 kg/m ²	105 kg/m ²
	

ELABORADO POR: Herrera Melisa

TABLA 3.11 CICLOS DE DESCARGA

105 kg/m²	75 kg/m²
	
45 kg/m²	30 kg/m²
	
15 kg/m²	0 kg/m²
	

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Instrumentación

La instrumentación empleada en el ensayo de carga vertical consistió de 6 deformímetros mecánicos, los cuales permitían medir deflexiones en determinados puntos.

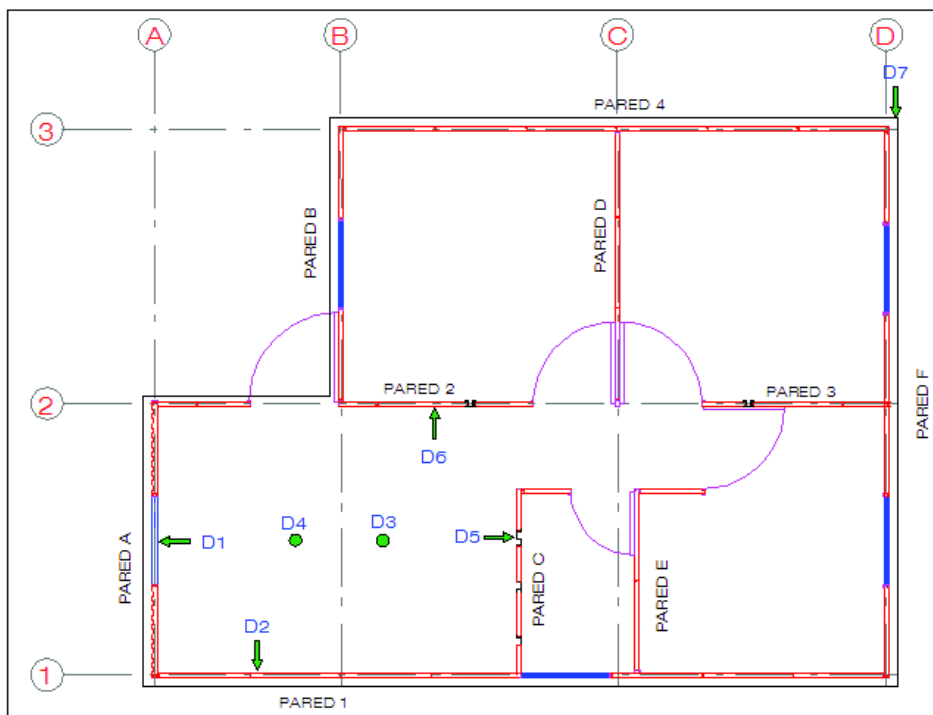
FIGURA 3.20 DEFORMÍMETROS UTILIZADOS EN PRUEBA DE CARGA



ELABORADO POR: Herrera Melisa

La ubicación de los deformímetros dependió de las respuestas que se deseaban medir, es por ello que se los dispuso de la siguiente manera:

FIGURA 3.21 UBICACIÓN DE DEFORMÍMETROS



ELABORADO POR: Herrera Melisa

- D1: mide el desplazamiento horizontal correspondiente a la pared A.
 D2: mide el desplazamiento horizontal correspondiente a la pared 1.
 D3: mide la deflexión vertical del panel de cubierta en el centro de luz.
 D4: mide la deflexión vertical del panel de cubierta en el centro de luz.
 D5: mide el desplazamiento horizontal correspondiente a la pared C.
 D6: mide el desplazamiento horizontal correspondiente a la pared 2.
 D7: mide el desplazamiento horizontal excéntrico por torsión y está ubicado en el panel correspondiente a la pared 4.

3.2.1.3 Resultados obtenidos

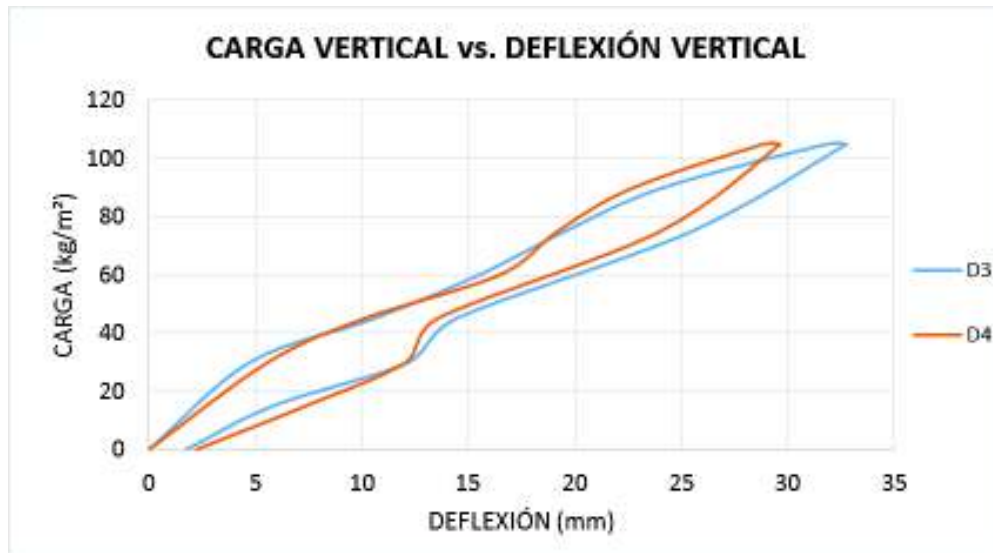
Con la prueba de carga se obtuvieron los siguientes resultados para los diferentes deformímetros:

TABLA 3.12 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBA DE CARGA

ETAPA	CICLO	CARGA kg/m ²	D1 mm	D2 mm	D3 mm	D4 mm	D5 mm	D6 mm	D7 mm
CARGA	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1	30	0.81	-0.05	4.75	5.59	0.05	0.13	0.25
	2	45	1.04	-0.08	10.57	10.11	0.00	0.20	0.28
	3	60	1.45	-0.08	15.49	16.46	0.05	0.30	2.59
	4	75	1.55	-0.15	19.53	19.18	0.05	0.36	5.03
	5	90	1.68	-0.13	24.13	22.73	0.15	0.43	5.11
	6	105	1.65	0.08	31.83	28.85	0.30	0.43	5.13
REPOSO 1 HORA		105	1.83	0.20	32.74	29.64	0.36	0.41	10.06
DESCARGA	5	105	1.83	0.20	32.74	29.64	0.36	0.41	10.06
	4	75	1.65	-0.10	25.48	24.00	0.28	0.41	7.29
	3	45	1.37	-0.13	14.43	13.54	0.25	0.30	1.27
	2	30	1.12	-0.15	12.19	12.07	0.20	0.23	1.24
	1	15	0.76	-0.15	5.84	7.37	0.20	0.18	1.27
	0	0	0.48	-0.05	1.75	2.24	0.20	0.05	0.89

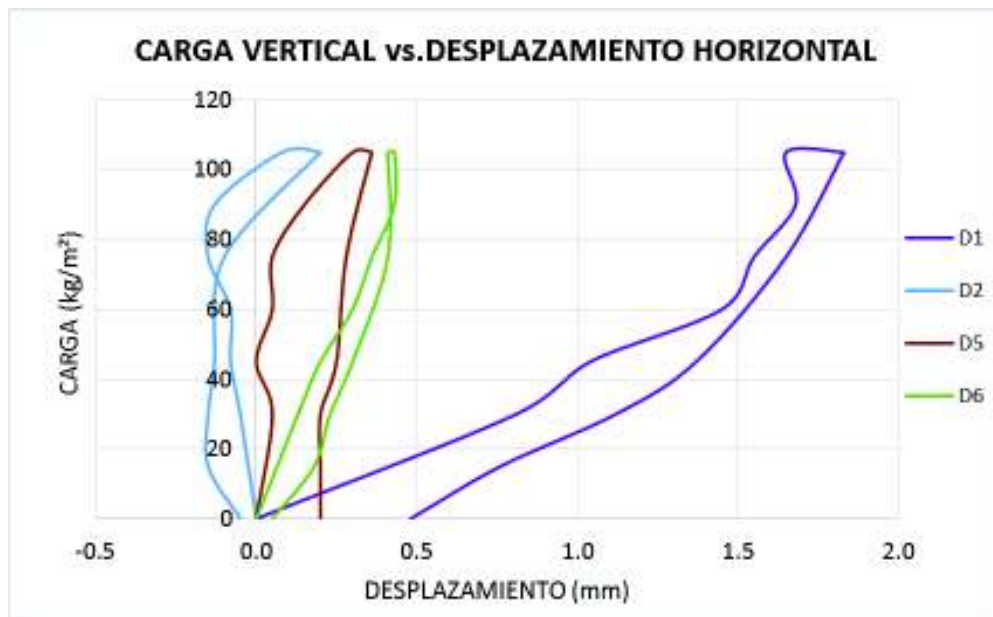
ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.10 CURVA CARGA VS. DEFLEXIÓN DE LOS DEFORMÍMETROS D3 Y D4.



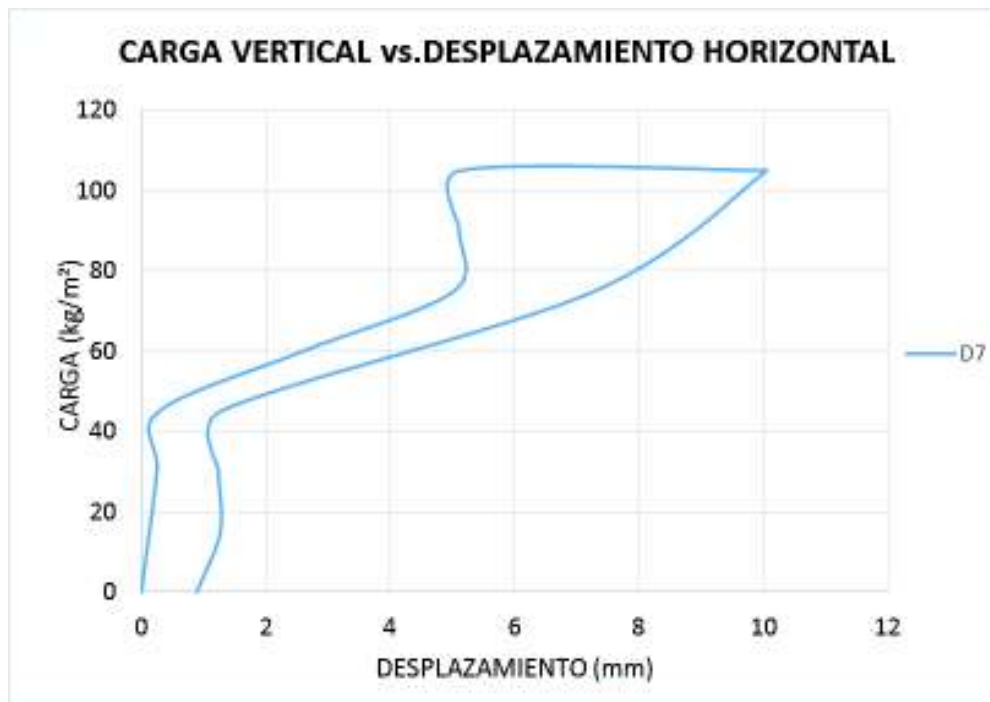
ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.11 CURVAS CARGA VS. DESPLAZAMIENTO DE LOS DEFORMÍMETROS D1, D2, D5 Y D6



ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.12 CURVA CARGA VS. DESPLAZAMIENTO DEL DEFORMÍMETRO D7



ELABORADO POR: Herrera Melisa

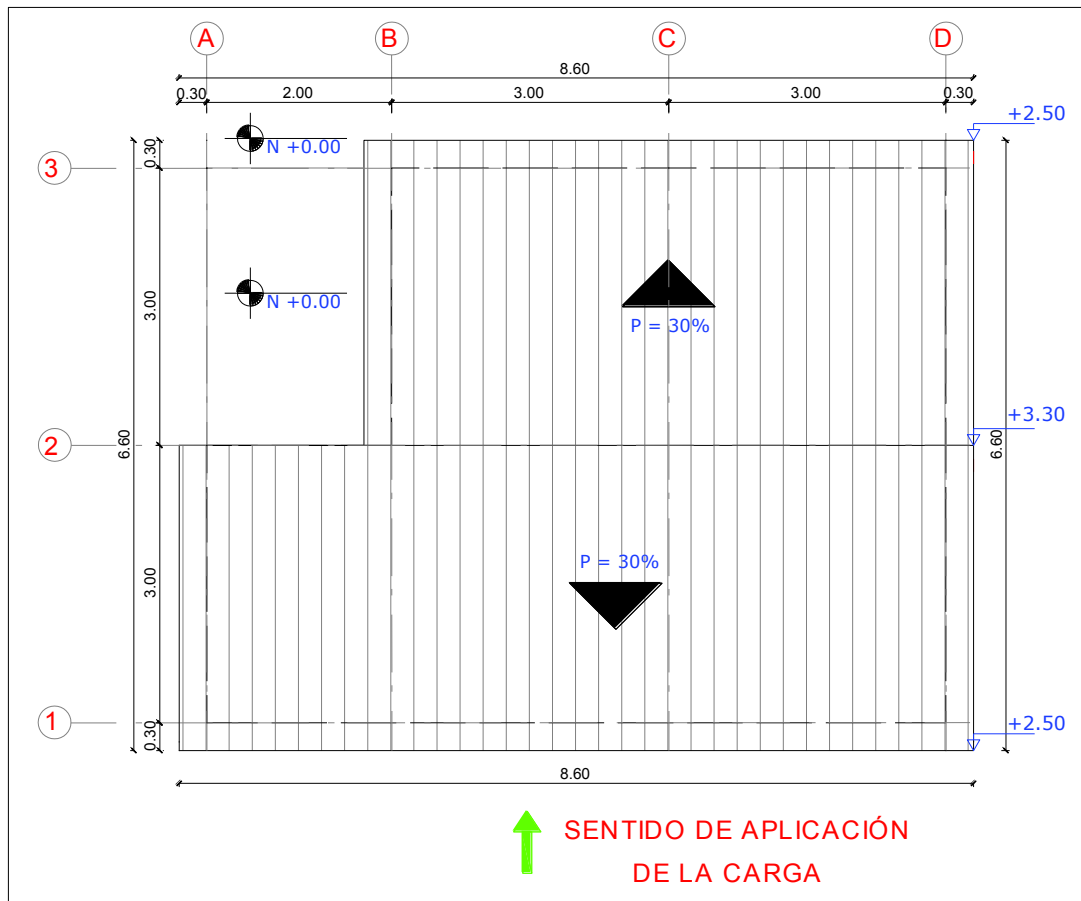
3.2.2 ESTUDIO A CARGA LATERAL

Mediante el estudio a carga lateral se evalúa la resistencia y estabilidad de la estructura frente a solicitaciones sísmicas, para ello se realiza un ensayo monotónico a carga horizontal en la parte superior de los paneles y se procesan los datos para determinar desplazamientos.

3.2.2.1 Diseño a carga lateral

La vivienda debe proveer resistencia en las dos direcciones ante efectos sísmicos, por ello para analizar si el comportamiento de la estructura es el adecuado se realiza el ensayo de carga lateral en el sentido crítico (menos rígido).

FIGURA 3.22 SENTIDO DE APLICACIÓN DE LA CARGA HORIZONTAL



ELABORADO POR: Herrera Melisa

La carga lateral de estudio de esta vivienda fue un valor superior al cortante basal de la estructura (fuerza demandada por el sismo de diseño). Para el cálculo del cortante basal se utilizó la ecuación descrita en (NEC-15 Capítulo 2, 2015).

TABLA 3.13 CÁLCULO DEL PESO DE LA ESTRUCTURA

PESO DE ESTRUCTURA PRINCIPAL- PANELES					
DESCRIPCIÓN	SECCIÓN	ÁREA m²	PESO PANEL kg/m²	PESO kg	PESO TOTAL kg
CUBIERTA	1	28.380	6.886	195.425	345.402
	2	21.780	6.886	149.977	
PAREDES EXTERIORES	1	5.790	8.170	47.304	478.599
	2	15.000	8.170	122.550	
	3	2.895	8.170	23.652	
	4	10.100	8.170	82.517	
	5	2.895	8.170	23.652	
	6	21.900	8.170	178.923	
PAREDES INTERIORES	1	6.400	8.170	52.288	355.027
	2	8.475	8.170	69.241	
	3	6.880	8.170	56.210	
	4	9.400	8.170	76.798	
	5	9.400	8.170	76.798	
	6	1.450	8.170	11.847	
	7	1.450	8.170	11.847	
					1179.028
PESO DE ESTRUCTURA AUXILIAR - PERFILES DE ACERO					
PERFIL	LONGITUD m	ÁREA cm²	PESO kg/m	PESO kg	
C 55x30x2	41.380	1.420	1.470	60.829	
AL 40X2	82.760	2.310	1.810	149.796	
EXTRAS				130.000	
				340.624	
PESO TOTAL ESTRUCTURA					
DESCRIPCIÓN	PESO kg				
ESTRUCTURA PRINCIPAL	1179.028				
ESTRUCTURA AUXILIAR	340.624				
	1519.652				

FUENTE: (KUBIEC, Perfiles : Canales, correas y omegas, 2015)

ELABORADO POR: Herrera Melisa

TABLA 3.14 CÁLCULO DEL CORTANTE BASAL

CORTANTE BASAL ESTÁTICO		
PARÁMETRO	VALOR	DETALLE
Z : FACTOR DE ZONA	0.63	Valor tomado de la curva de peligro sísmico de la provincia de Portoviejo, para un periodo de retorno de 475 años
PERFIL DE SUELO	C	Perfil de suelo muy denso o roca blanda, que cumple con el criterio de velocidad de la onda de cortante: $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$, o Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios: $N \geq 50.0$; $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
Fa : COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO	1.18	Amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.
Fd : COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO	1.06	Amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de desplazamiento para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.
Fs : COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO	1.23	Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamiento relativos del suelo, para los espectros de aceleración y desplazamiento.
η : RAZÓN ENTRE LA ACELERACIÓN ESPECTRAL $S_a(T=0.1s)$ Y EL PGA PARA EL PERIODO DE RETORNO SELECCIONADO	1.80	Valor para provincias de la Costa.
r : FACTOR USADO EN EL ESPECTRO DE DISEÑO ELÁSTICO, CUYOS VALORES DEPENDEN DE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO.	1.00	Valor para todos los tipos de suelo, con excepción del suelo tipo E.
Tc : PERIODO LÍMITE DE VIBRACIÓN EN EL ESPECTRO SÍSMICO ELÁSTICO DE ACELERACIONES QUE REPRESENTA EL SISMO DE DISEÑO.	0.61	$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$
To : PERIODO LÍMITE DE VIBRACIÓN EN EL ESPECTRO SÍSMICO ELÁSTICO DE ACELERACIONES QUE REPRESENTA EL SISMO DE DISEÑO.	0.11	$T_o = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$
Ct : COEFICIENTE QUE DEPENDE DEL TIPO DE EDIFICIO	0.07	Valor para estructuras de acero sin arriostramiento.
hn : ALTURA MÁXIMA DEL EDIFICIO DE N PISOS, MEDIDA DESDE LA BASE DE LA ESTRUCTURA, EN METROS	2.40	Altura de la vivienda
α : COEFICIENTE QUE DEPENDE DEL TIPO DE EDIFICIO	0.80	Valor para estructuras de acero sin arriostramiento.
T : PERIODO DE VIBRACIÓN	0.15	$T = C_t h_n^\alpha$
Sa : ESPECTRO DE DISEÑO EN ACELERACIÓN	1.34	$S_a = \eta Z F_a$
I : COEFICIENTE DE IMPORTANCIA	1	Valor para todas las estructuras que no sean de ocupación especial o edificaciones esenciales.
R : FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA SÍSMICA	1	Valor más crítico para un tipo de estructura
Φe : COEFICIENTE DE CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN	1	Valor para una estructura sin irregularidades en elevación
Φp : COEFICIENTE DE CONFIGURACIÓN EN PLANTA	0.9	Valor para una estructura con irregularidades en planta
W : CARGA SÍSMICA REACTIVA, EN KILOGRAMOS	1519.65	Carga muerta total de la estructura
V : CORTANTE BASAL DE DISEÑO, EN KILOGRAMOS	2259.42	$V = \frac{I \cdot S_a}{R \cdot \Phi_e \cdot \Phi_p} W$

FUENTE: (NEC-15 Capítulo 2, 2015)

ELABORADO POR: Herrera Melisa

TABLA 3.15 CARGAS LATERALES DE ESTUDIO

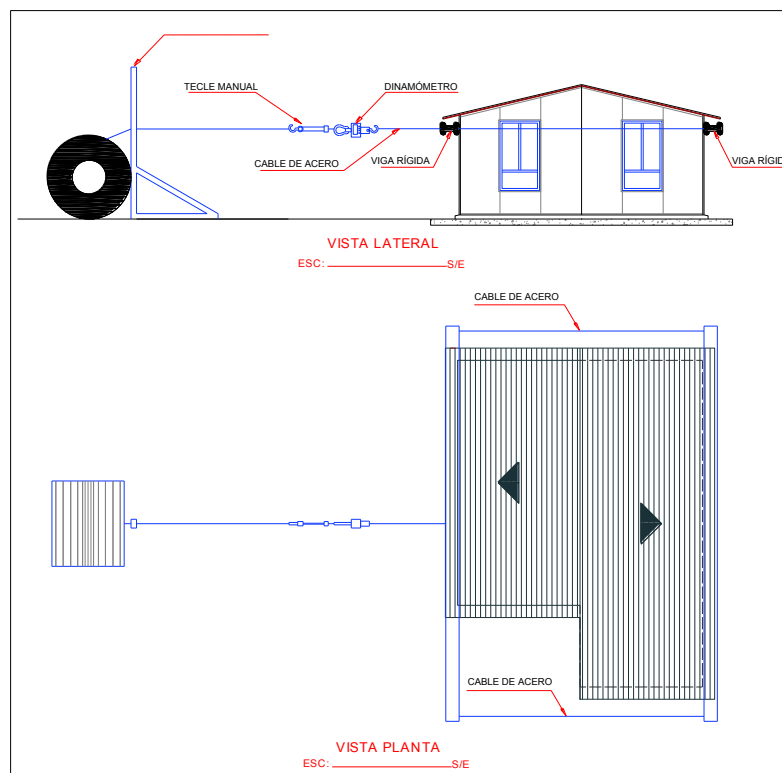
CARGAS LATERALES	CARGA kg	OBSERVACIONES
CORTANTE BASAL ESTÁTICO	2259.42	Fuerza demandada por el sismo de diseño. (equivalente a 1.42 W)
CARGA APLICADA	2800.00	Fuerza de ensayo (equivalente a 1.76 W)

ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.2.2.2 Ensayo a carga lateral

Montaje del ensayo

Para realizar el ensayo se montó un sistema en el cual una viga rígida repartía uniformemente la carga que se generaba mediante un teclé manual, cuyo registro se realizó con el uso de un dinamómetro digital, tal como se muestra en la figura 3.23.

FIGURA 3.23 MONTAJE DEL ENSAYO

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Ciclos de carga

El proceso de aplicación de carga se realizó en dos etapas, en la primera etapa se aplicó carga horizontal a la vivienda en 14 ciclos de 200 kg hasta llegar a la carga de ensayo, posteriormente se realizó la descarga en 3 ciclos. En la segunda etapa para revisar el comportamiento de la estructura en su rango elástico se volvió a cargar a la vivienda hasta una carga de 2000 kg y se descargó para ver su recuperación.

FIGURA 3.24 APLICACIÓN DE CARGA LATERAL



ELABORADO POR: Herrera Melisa

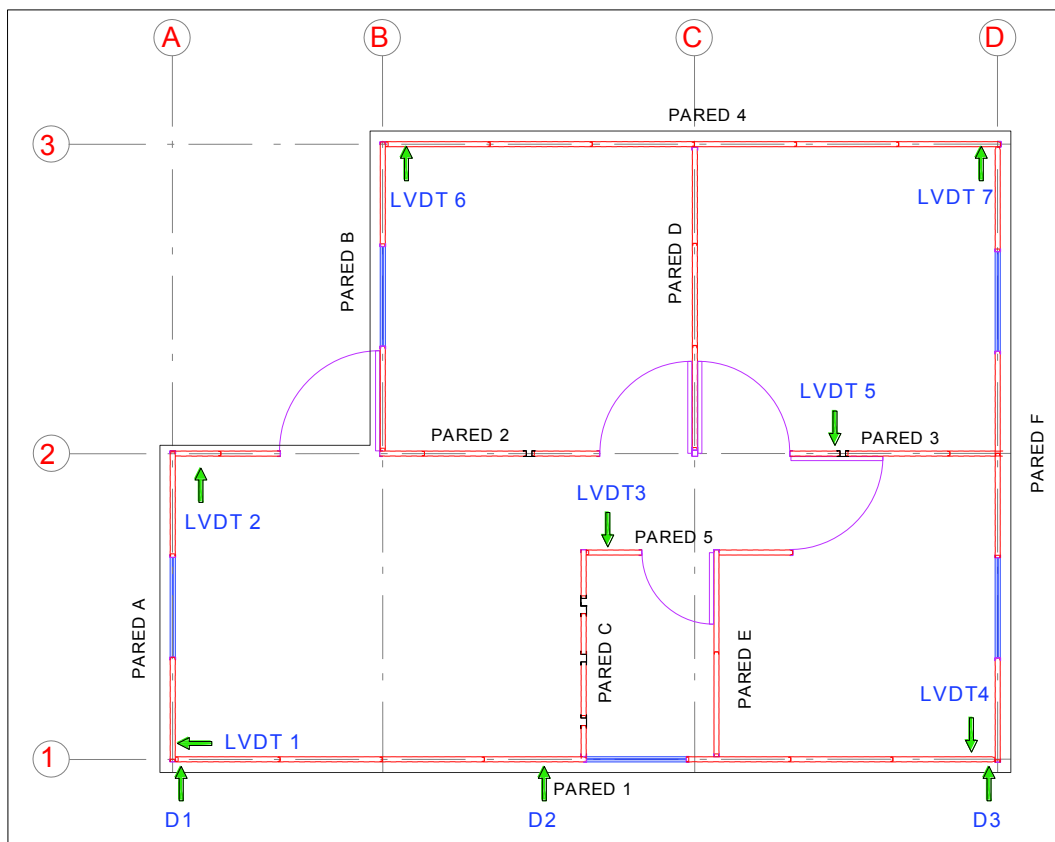
Instrumentación

La instrumentación empleada en el ensayo de carga lateral consistió de 7 LVDT y 3 deformímetros mecánicos, los cuales permitían medir desplazamientos en determinados puntos.

FIGURA 3.25 INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA EN ENSAYO A CARGA LATERAL

ELABORADO POR: Herrera Melisa

La ubicación de los deformímetros y LVDT's dependió de las respuestas que se deseaban medir, es por ello que se los dispuso de la siguiente manera:

FIGURA 3.26 UBICACIÓN DE DEFORMÍMETROS Y LVDT'S

ELABORADO POR: Herrera Melisa

D1, D2, D3: miden el desplazamiento horizontal, en sentido de aplicación de la fuerza, correspondiente a la pared 1.

LVDT 1: mide el desplazamiento horizontal, perpendicular al sentido de aplicación de la fuerza, correspondiente a la pared A.

LVDT 2: mide el desplazamiento horizontal, en sentido de aplicación de la fuerza, correspondiente a la pared 2.

LVDT 3: mide el desplazamiento horizontal, en sentido de aplicación de la fuerza, correspondiente a la pared 5.

LVDT 4: mide el desplazamiento horizontal, en sentido de aplicación de la fuerza, correspondiente a la pared 1.

LVDT 5: mide el desplazamiento horizontal, en sentido de aplicación de la fuerza, correspondiente a la pared 3.

LVDT 6, LVDT 7: miden el desplazamiento horizontal, en sentido de aplicación de la fuerza, correspondiente a la pared 4.

Además de los medidores de desplazamiento se colocaron testigos de yeso en uniones entre paneles, entre paredes y cubierta, entre paredes y contrapiso, y en el marco de ventanas y puertas, para monitorear el comportamiento de la estructura.

FIGURA 3.27 COLOCACIÓN DE TESTIGOS DE YESO



ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.2.2.3 Resultados obtenidos

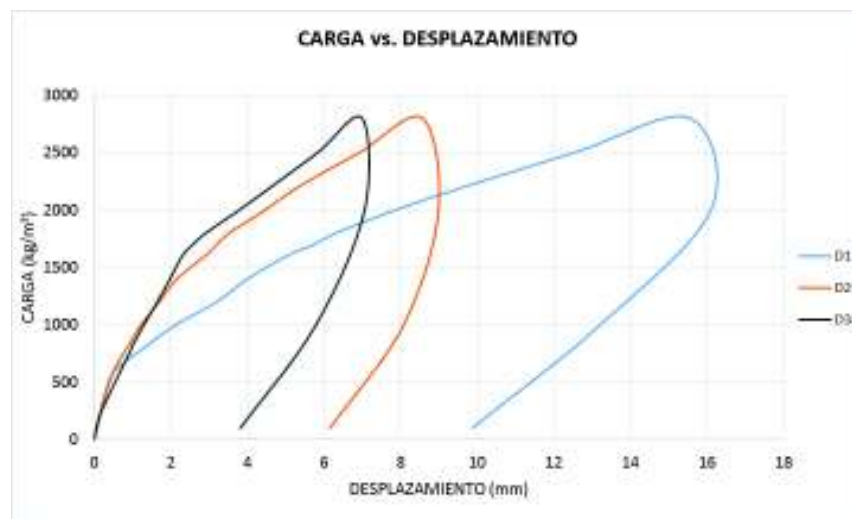
Con el ensayo a carga horizontal se obtuvieron los siguientes resultados para los diferentes deformímetros y LVDT'S:

TABLA 3.16 RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS DEFORMÍMETROS

ETAPA	CARGA kg	D1 mm	D2 mm	D3 mm	
ETAPA I	0	0.00	0.00	0.00	
	200	0.13	0.15	0.13	
	400	0.28	0.30	0.40	
	600	0.53	0.51	0.69	
	800	1.30	0.85	0.98	
	820	1.38	0.90	1.00	
	1000	2.13	1.22	1.30	
	1200	3.20	1.70	1.65	
	1400	4.01	2.16	1.98	
	1600	5.03	2.90	2.30	
	1700	5.74	3.20	2.58	
	1800	6.32	3.53	2.92	
	2000	7.87	4.47	3.79	
	2200	9.65	5.33	4.62	
	2500	12.55	6.93	5.84	
	2800	15.54	8.56	6.99	
	ETAPA II	2000	16.10	8.99	7.06
		1000	13.21	8.08	5.79
100		9.86	6.15	3.81	
100		9.86	6.15	3.81	
ETAPA II	2000	13.80	8.56	6.60	
	100	9.53	6.22	3.94	

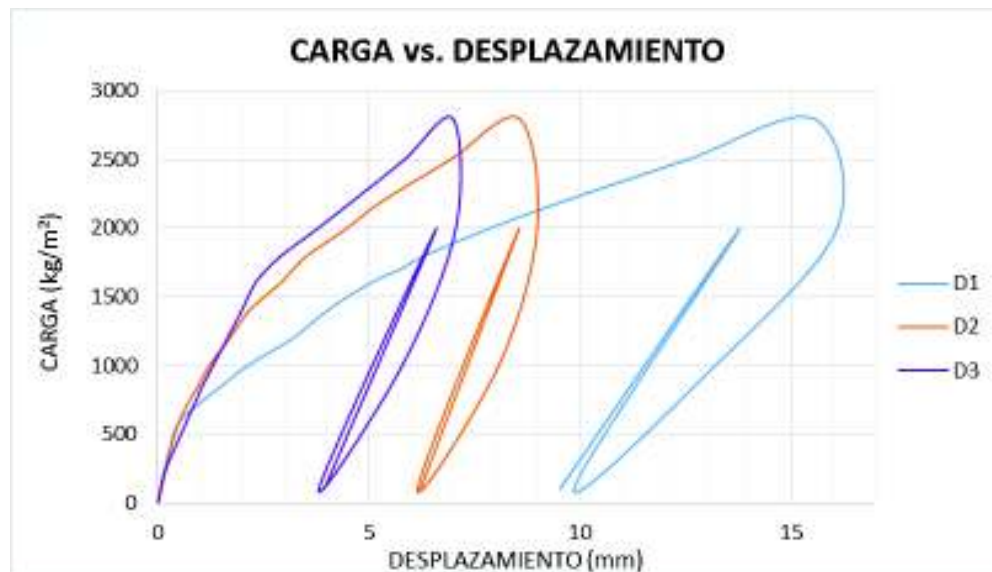
ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.13 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I) DE LOS DEFORMÍMETROS D1, D2, D3



ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.14 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I, ETAPA II) DE LOS DEFORMÍMETROS D1, D2, D3



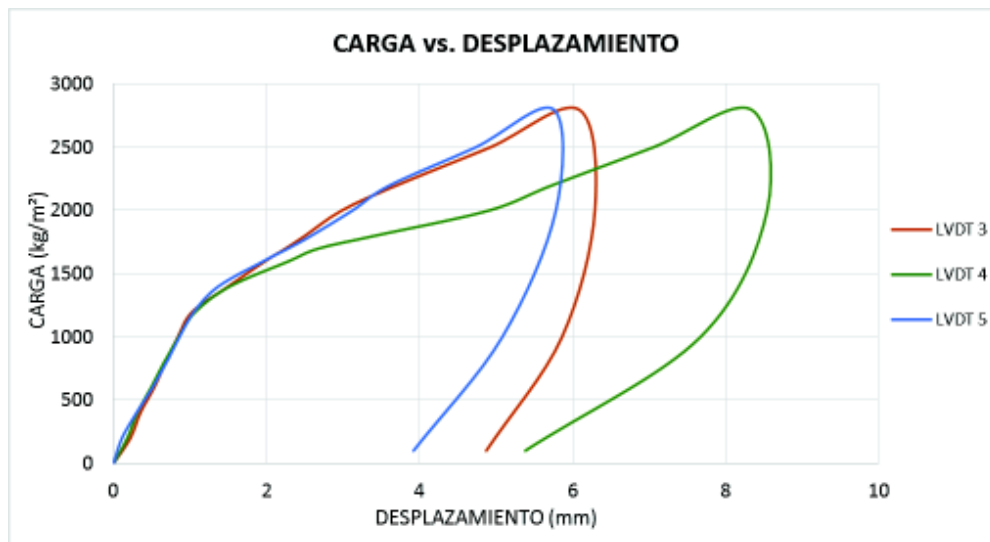
ELABORADO POR: Herrera Melisa

TABLA 3.17 RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS LVDT'S

ETAPA	CARGA kg	LVDT 1 mm	LVDT 2 mm	LVDT 3 mm	LVDT 4 mm	LVDT 5 mm	LVDT 6 mm	LVDT 7 mm
ETAPA I	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	200	0.68	0.08	0.22	0.18	0.11	0.03	0.26
	400	0.56	0.29	0.35	0.31	0.30	0.04	-0.03
	600	0.37	0.22	0.53	0.55	0.51	0.23	0.27
	800	-0.14	0.17	0.68	0.66	0.69	-0.05	0.11
	820	0.40	0.20	0.70	0.68	0.71	0.24	0.04
	1000	-0.28	0.11	0.84	0.85	0.86	-0.16	0.00
	1200	0.18	0.39	1.03	1.07	1.05	-0.08	0.17
	1400	-0.83	0.38	1.50	1.52	1.37	-0.17	-0.12
	1600	-0.34	0.17	1.98	2.29	1.96	-0.02	0.09
	1700	-0.98	0.46	2.25	2.68	2.28	0.02	-0.05
	1800	-0.62	0.25	2.50	3.41	2.58	0.08	-0.08
	2000	0.60	-0.06	2.98	4.90	3.12	0.27	-0.17
	2200	-0.02	0.13	3.70	5.73	3.61	0.03	-0.02
	2500	0.15	0.16	4.92	7.05	4.73	0.15	-0.05
	2800	0.10	0.14	6.08	8.33	5.75	0.14	0.02
	ETAPA II	2000	-0.04	-0.19	6.29	8.54	5.78	-0.15
1000		0.05	0.11	5.86	7.67	5.08	0.00	-0.07
100		0.09	0.19	4.87	5.38	3.92	0.17	-0.06
100		-0.09	-0.19	4.87	5.38	3.92	-0.17	0.06
2000		-0.04	-0.13	5.92	7.48	5.24	-0.20	-0.02
100		-0.05	-0.18	4.90	5.41	3.93	-0.11	0.07
0		0.13	-0.31	4.64	5.23	3.62	-0.13	0.01

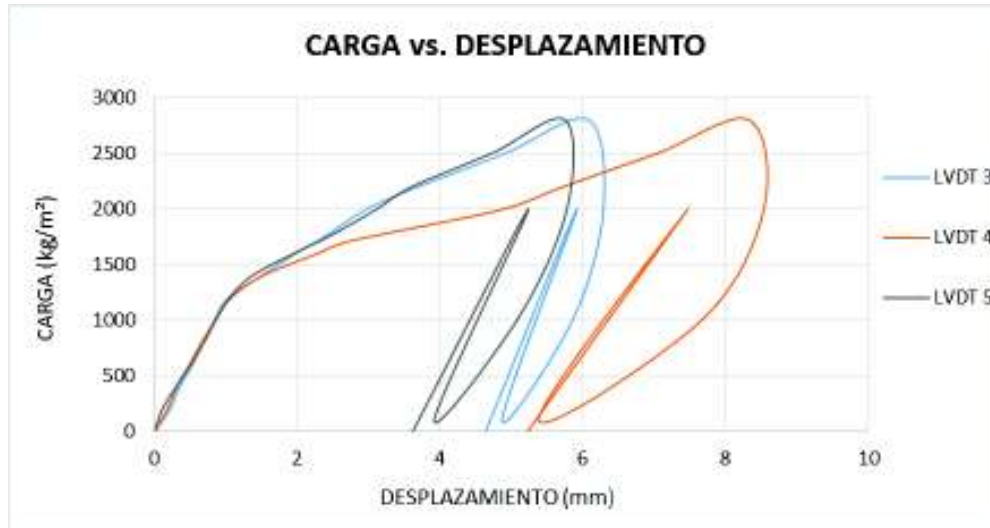
ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.15 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I) PARA LVDT 3, LVDT 4, LVDT 5



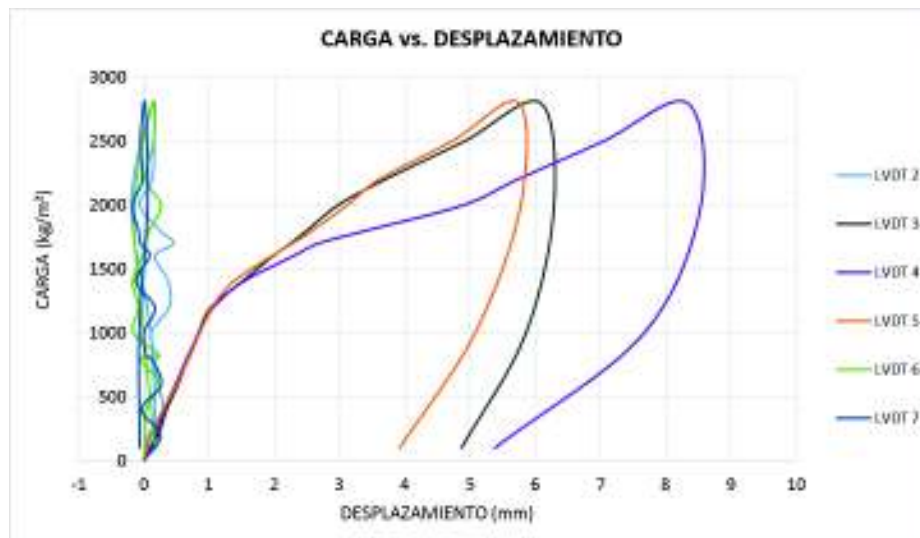
ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.16 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I, ETAPA II) PARA LVDT 3, LVDT 4, LVDT 5



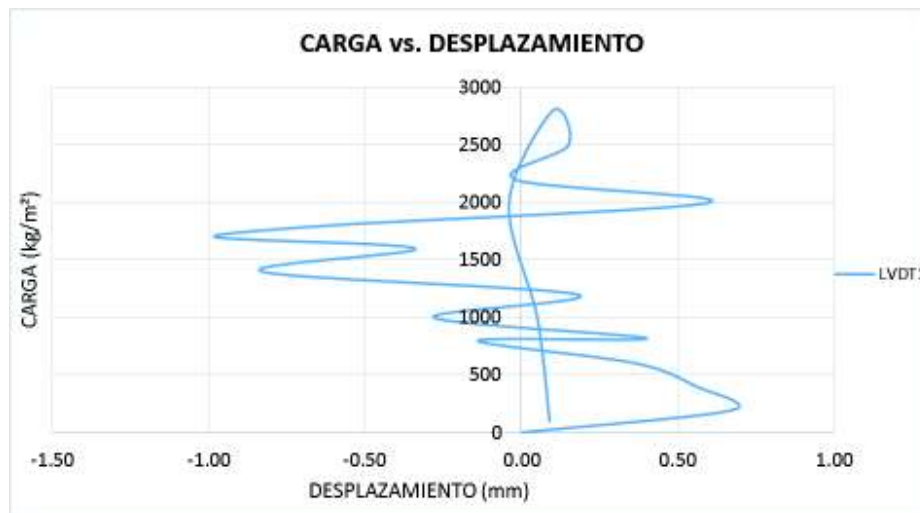
ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.17 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I) PARA TODOS LOS LVDT EN SENTIDO DE APLICACIÓN DE LA CARGA



ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.18 CURVA CARGA vs. DESPLAZAMIENTO (ETAPA I) PARA LVDT 1, SENTIDO PERPENDICULAR A LA APLICACIÓN DE LA CARGA.



ELABORADO POR: Herrera Melisa

En el Anexo No. 3 se encuentra los resultados del proceso de monitoreo de integración de elementos constitutivos de la estructura

3.2.3 ESTUDIO DE VIBRACIONES AMBIENTALES

El estudio de vibraciones ambientales busca determinar el periodo fundamental de la vivienda, si bien este parámetro dinámico de la estructura se lo puede calcular con modelaciones matemáticas, la medición de vibraciones ambientales da un valor más real del mismo. (Parra & Sarango, 2016)

Para determinar el periodo fundamental de la estructura es necesario realizar dos procedimientos: el primero es la adquisición de datos in situ y el segundo es el procesamiento de las señales registradas. (Parra & Sarango, 2016).

3.2.3.1 Medición de vibraciones ambientales

La adquisición de datos in situ consiste en colocar un sensor sísmico en la parte alta de la vivienda y registrar las señales de vibración ambiental de la estructura durante un tiempo mínimo de 15 min (1000 veces el periodo). (Parra & Sarango, 2016)

FIGURA 3.28 MEDICIÓN DE VIBRACIONES AMBIENTALES



ELABORADO POR: Herrera Melisa

Instrumentación

El equipo utilizado para medir las vibraciones ambientales consistió de un velocímetro-acelerómetro REF-TEK 160-03 marca Trimble, el mismo ha sido provisto por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN). Este es un sensor sísmico que permite medir velocidades y aceleraciones en función del

tiempo. El equipo está integrado por sensores triaxiales que miden las señales de tres componentes ortogonales entre sí (Vertical, Longitudinal, Transversal). Además, cuenta con un puerto USB que es utilizado para transferir los registros a una memoria externa. (Parra & Sarango, 2016)

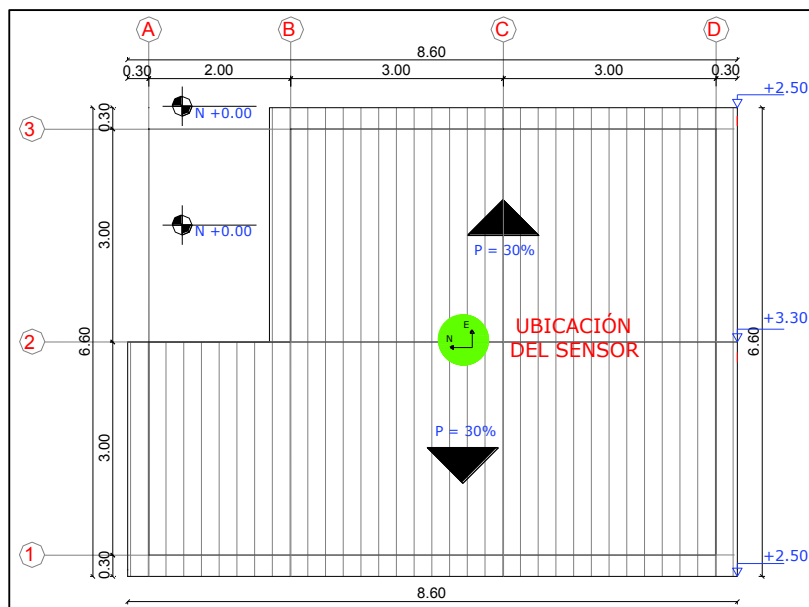
FIGURA 3.29 ACELERÓMETRO UTILIZADO PARA MEDIR LAS VIBRACIONES AMBIENTALES.



ELABORADO POR: Herrera Melisa

El sensor se ubicó en la cubierta de la vivienda ya que es el lugar donde se esperan las mayores deformaciones, además se colocó el norte del sensor paralelo a la longitud más larga de la vivienda para tener una referencia al momento de procesar las señales.

FIGURA 3.30 UBICACIÓN DEL ACELERÓMETRO

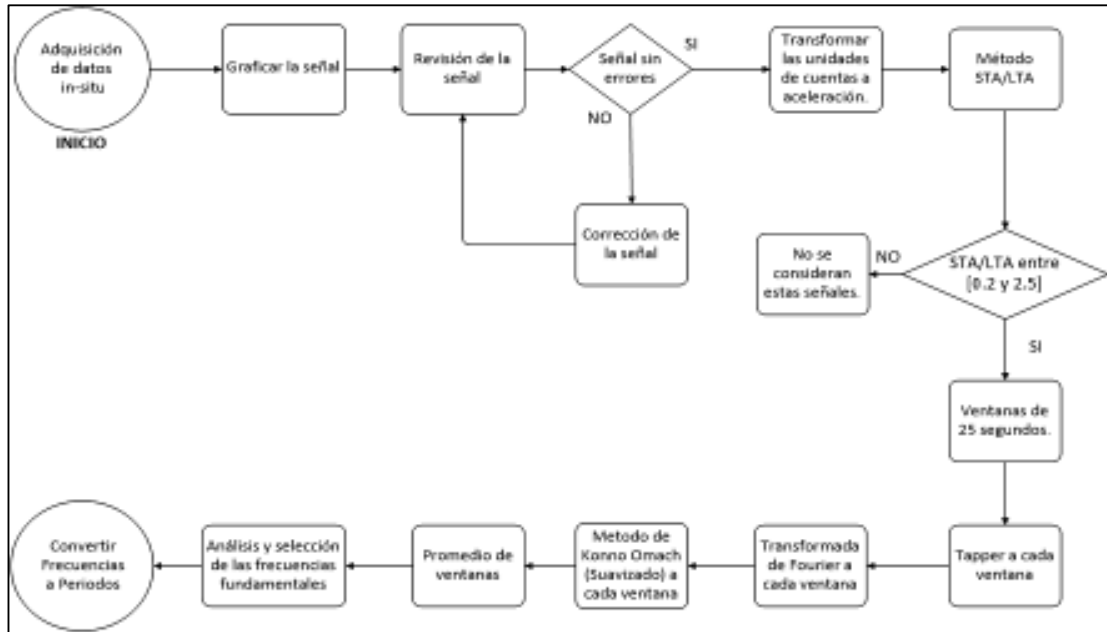


ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.2.3.2 Procesamiento de señales registradas

Los datos obtenidos de los sensores son procesados en el software GEOPSY, de forma similar a la metodología empleada por (Guillier, y otros, 2014).

FIGURA 3.31 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESAMIENTO DE SEÑALES SEGÚN (Guillier, y otros, 2014)

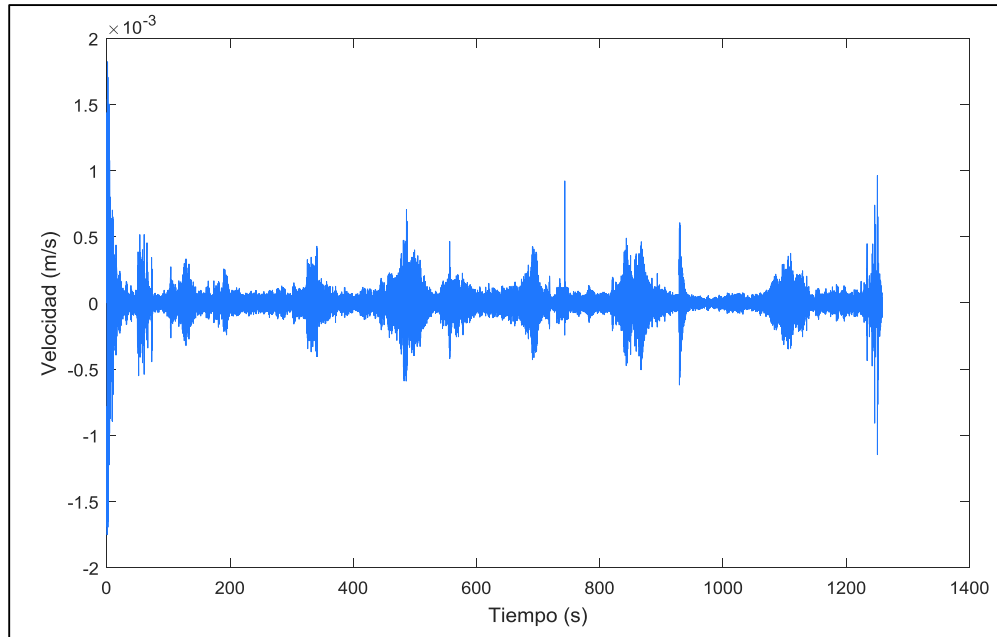


FUENTE: (Parra & Sarango, 2016)

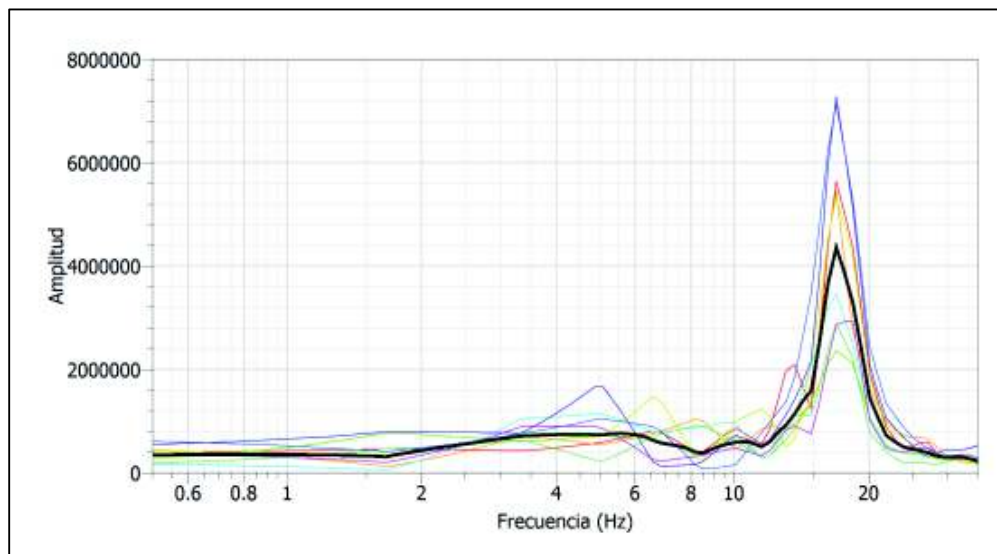
Los parámetros utilizados en este procedimiento se encuentran descritos en el Anexo No.4.

3.2.3.3 Resultados obtenidos

Con la medición de vibraciones ambientales se obtuvieron las siguientes señales para las diferentes direcciones (Norte-Sur, Este-Oeste).

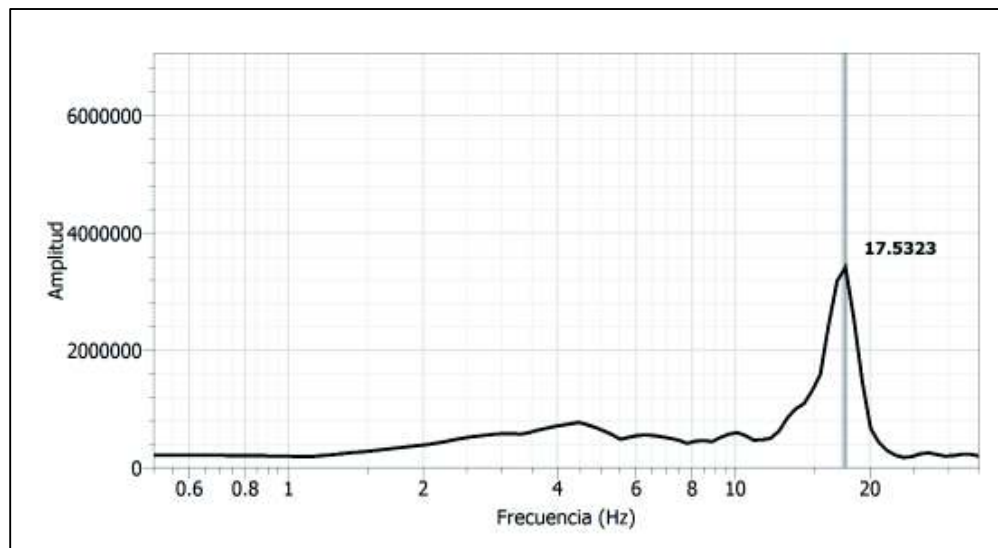
GRÁFICO 3.19 SEÑAL TOMADA EN SENTIDO NORTE-SUR

ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.20 ESPECTRO DE RESPUESTA EN SENTIDO NORTE – SUR PARA CADA VENTANA DE 25 SEGUNDOS

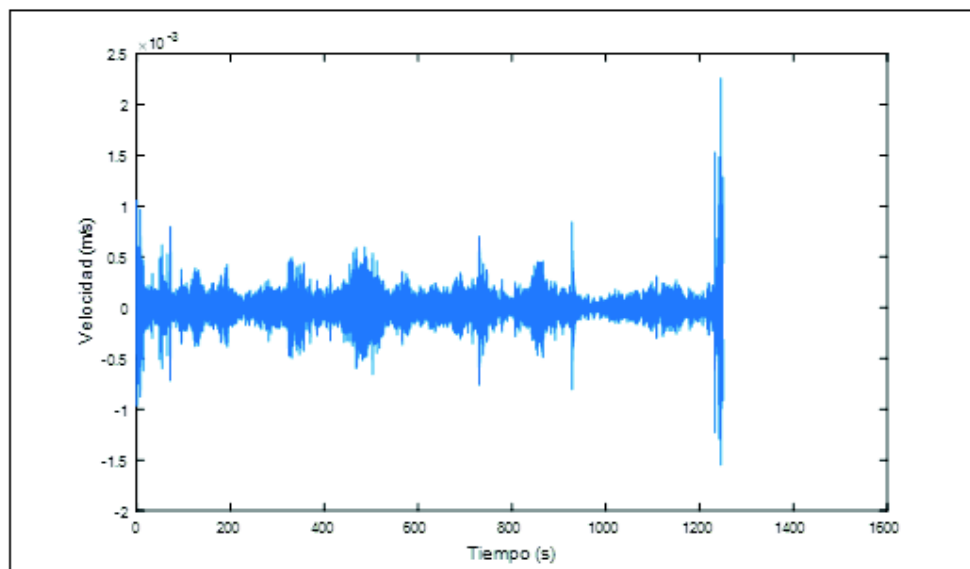
ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.21 PROMEDIO DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA EN SENTIDO NORTE - SUR PARA LAS VENTANAS DE 25 SEGUNDOS



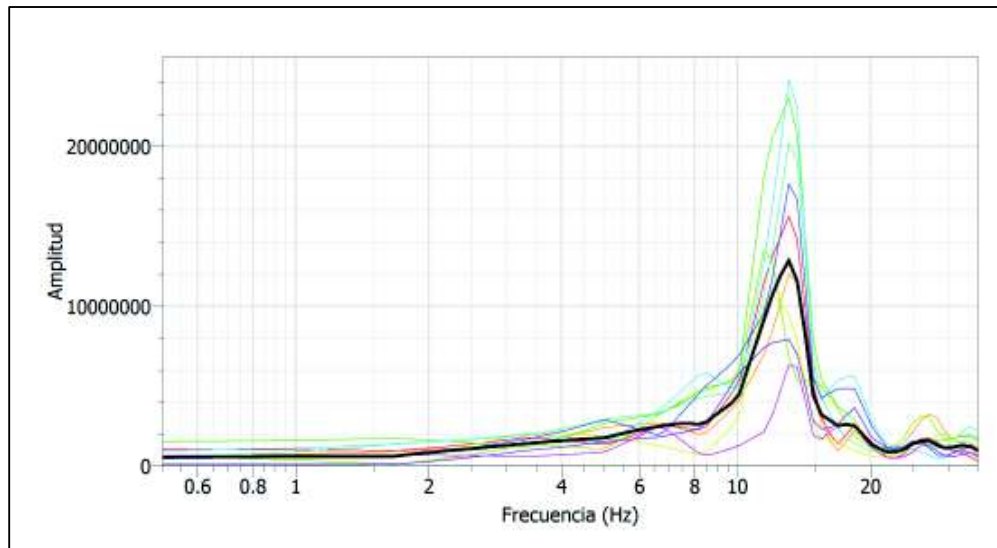
ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.22 SEÑAL TOMADA EN SENTIDO ESTE - OESTE



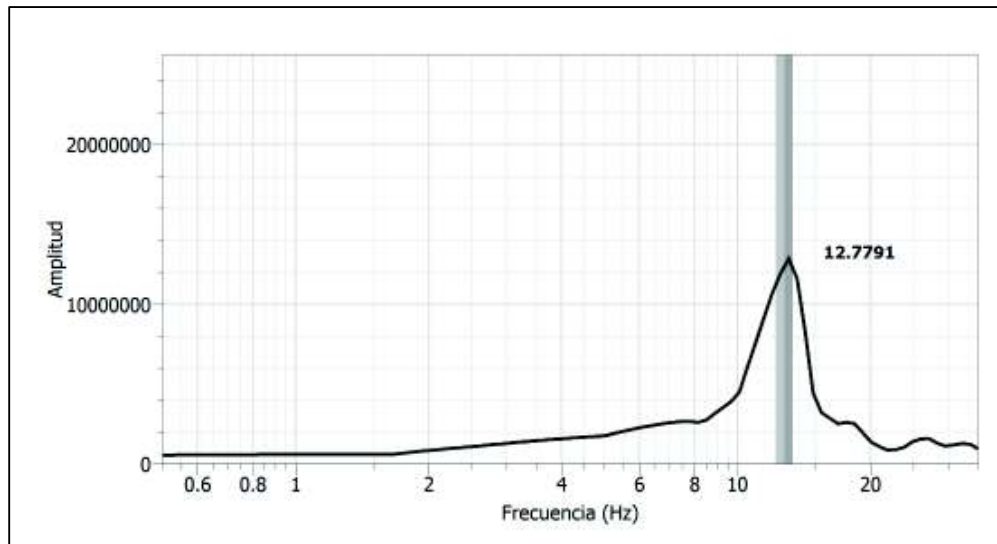
ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.23 ESPECTRO DE RESPUESTA EN SENTIDO ESTE-OESTE PARA CADA VENTANA DE 25 SEGUNDOS



ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.24 PROMEDIO DE LOS ESPECTROS DE RESPUESTA EN SENTIDO ESTE – OESTE PARA LAS VENTANAS DE 25 SEGUNDOS



ELABORADO POR: Herrera Melisa

De los espectros de respuesta de frecuencias se pudo determinar los siguientes periodos:

TABLA 3.18 FRECUENCIAS Y PERIODOS FUNDAMENTALES

DIRECCIÓN	FRECUENCIA FUNDAMENTAL (Hz)	PERIODO FUNDAMENTAL (S)
NORTE - SUR	17.5323	0.0570
ESTE - OESTE	12.7791	0.0783

ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se evaluara los siguientes criterios para comprobar la idoneidad de la estructura.

Carga vertical

- Sobrecarga alcanzada en prueba de carga vertical.
- Deflexiones obtenidas en prueba de carga vertical.

Carga Lateral

- Fuerza lateral alcanzada.
- Derivas máximas obtenidas a carga lateral.
- Pérdida de rigidez.
- Volcamiento
- Daños visuales en prueba de carga y en ensayo a carga lateral.

3.3.1 SOBRECARGA ALCANZADA EN PRUEBA DE CARGA VERTICAL

En el código (ACI 318S, 2005) la carga total de prueba (incluyendo la carga muerta ya presente) no debe ser menor que la siguiente expresión:

$$0.85(1.4D + 1.7L) \quad (3.14)$$

Donde:

D: carga muerta, peso propio del panel (kg/m²)

L: carga viva para cubiertas inclinadas (kg/m²)

TABLA 3.19 COMPARACIÓN DE SOLICITACIONES OBTENIDAS TEÓRICAMENTE Y EXPERIMENTALMENTE

CARGAS	INTENSIDAD (kg/m ²)	DESCRIPCIÓN
Carga Requerida	111.34	Obtenida con la ecuación 3.14
Carga Aplicada	105.00	Sobrecarga de ensayo
Carga Total Prueba de Carga	111.87	Carga total (carga aplicada + carga muerta)

ELABORADO POR: Herrera Melisa

En la tabla 3.17 se puede observar que la vivienda soporto las solicitaciones requeridas por el código.

3.3.2 DEFLEXIONES OBTENIDAS EN PRUEBA DE CARGA VERTICAL

Para evaluar la deflexión máxima permitida a carga vertical de la vivienda se analizó dos casos: en el primer caso se revisó la deflexión permanente permitida para paneles de poliisocianurato individuales y como segundo punto se analizó la deflexión máxima requerida en una prueba de carga en losas de hormigón armado.

De acuerdo a (Unión Europea para la Idoneidad Técnica en la Construcción, 1996), para paneles de cubierta la deformación permanente debe ser inferior al límite admitido equivalente a 1/200 de la luz entre ejes.

$$\Delta \leq \frac{l}{200} \quad (3.15)$$

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos en este estudio, para una longitud de panel de 300 cm.

TABLA 3.20 DEFLEXIONES PERMANENTES OBTENIDAS TEÓRICAMENTE Y EXPERIMENTALMENTE

DEFLEXIONES PERMANENTES (mm)		
Deflexión permanente permitida	15.00	Obtenida con la ecuación 3.15
Deflexión permanente obtenida	2.24	Obtenida del deformímetro D3: Tabla 3.12

ELABORADO POR: Herrera Melisa

En el código (ACI 318S, 2005), las deflexiones medidas en una prueba de carga deben satisfacer las siguientes condiciones:

- Que la deflexión máxima Δ_1 obtenida después de remover la carga cumpla con la siguiente expresión:

$$\Delta_1 \leq \frac{l_f^2}{20000 h} \quad (3.16)$$

Donde:

l_f : distancia entre los centros de los apoyos de la luz menor (mm)

h : espesor de la cubierta (mm)

- Que la deflexión residual Δ_r (diferencia entre la deflexión final y la deflexión inicial) cumpla con la siguiente expresión:

$$\Delta_r \leq \frac{\Delta_1}{4} \quad (3.17)$$

Del estudio a carga vertical realizado en la vivienda se obtuvieron las siguientes deflexiones.

TABLA 3.21 COMPARACIÓN DEFLEXIONES OBTENIDAS TEÓRICAMENTE Y EXPERIMENTALMENTE

DEFLEXIONES MÁXIMAS (mm)		
Deflexión máxima permitida	30.00	Obtenida con la ecuación 3.16
Deflexión máxima obtenida	31.83	Obtenida del deformímetro D3; Tabla 3.12
Deflexión residual permitida	7.50	Obtenida con la ecuación 3.17
Deflexión residual obtenida	2.24	Obtenida del deformímetro D4; Tabla 3.12

ELABORADO POR: Herrera Melisa

De las comparaciones realizadas en las tablas 3.18 y 3.19 se puede observar que las deflexiones obtenidas son menores o iguales a las deflexiones admisibles por lo que cumple con los requisitos de la UEATc y el código ACI.

3.3.3 FUERZA LATERAL ALCANZADA

De acuerdo a (NEC-15 Capítulo 2, 2015), se requiere que la resistencia de la vivienda a carga lateral sea mayor a la demandada por el sismo de diseño (sismo con un periodo de retorno de 475 años). Para ello se determinó el cortante basal elástico de la estructura con la siguiente expresión:

$$V = \frac{I \cdot S_a}{R \cdot \phi_e \cdot \phi_p} W \quad (3.18)$$

Donde:

V : cortante basal total (kg)

I : coeficiente de importancia

S_a : espectro de diseño en aceleración

ϕ_p y ϕ_e: coeficientes de configuración en planta y elevación

R : factor de reducción de resistencia sísmica

W : carga sísmica reactiva (kg)

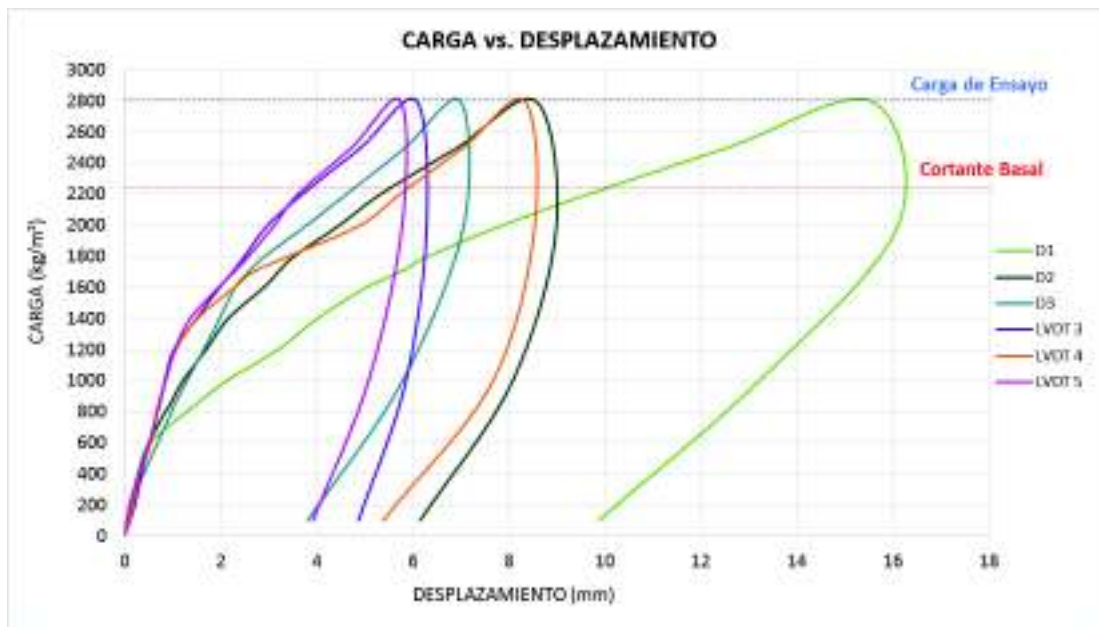
Del estudio a carga lateral se llegaron a las siguientes cargas:

TABLA 3.22 COMPARACIÓN DE CARGAS MÁXIMAS TEÓRICAS Y EXPERIMENTALES

CARGAS LATERALES	CARGA (kg)	OBSERVACIONES
Cortante Basal Estático	2259.42	Obtenida de la ecuación 3.18 (equivalente a 1.42 W)
Carga Aplicada	2800.00	Fuerza de ensayo (equivalente a 1.76 W); Tabla 3.16

ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.25 COMPARACIÓN DE CARGAS ALCANZADAS CON LAS REQUERIDAS POR EL CÓDIGO



ELABORADO POR: Herrera Melisa

Del gráfico 3.25 se observa que la vivienda resiste fuerzas mayores a las demandadas por el sismo de diseño, como lo requiere la norma NEC.

3.3.4 DERIVAS MÁXIMAS OBTENIDAS A CARGA LATERAL

En la tabla 7 en (NEC-15 Capítulo 2, 2015), se requiere que la deriva máxima no exceda el límite de deriva inelástica establecida para los diferentes tipos de estructuras. Debido a que el sistema constructivo de la vivienda no se encuentra descrito en la norma se tomó el límite establecido para estructuras de hormigón armado, estructuras metálicas y de madera.

$$\Delta_M = 0.002 \quad (3.19)$$

Donde:

Δ_M : Deriva máxima de piso (sin unidades)

Durante el ensayo a carga lateral se colocaron medidores de desplazamiento en diferentes puntos de la vivienda permitiendo determinar la siguiente deriva para el punto más crítico (Ubicación del deformímetro D1).

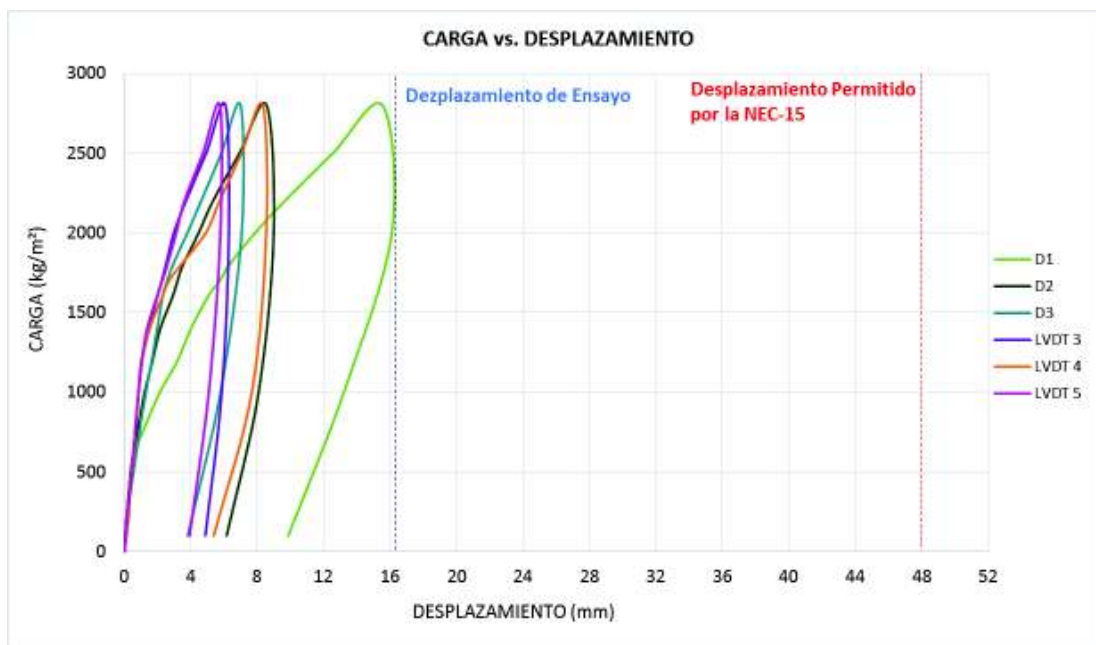
Se analiza la deriva a una carga de 2200 kg equivalente al cortante basal y también la deriva máxima de ensayo.

TABLA 3.23 COMPARACIÓN DE DERIVAS MÁXIMAS TEÓRICAS Y EXPERIMENTALES

DERIVAS		
Desplazamiento máximo permitida por la norma (mm)	48.0000	NEC-15 Capítulo 2 sección 6.3.9
Deriva máxima permitida por la norma	0.0200	
Desplazamiento máximo obtenido en el ensayo (mm)	9.6500	Valor registrado en D1, a una carga de 2200 kg; Tabla 3.16
Deriva máxima obtenida en el ensayo	0.0040	
Desplazamiento máximo obtenido en el ensayo (mm)	16.1000	Valor máximo registrado en D1; Tabla 3.16
Deriva máxima obtenida en el ensayo	0.0067	

ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 3.26 COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS ALCANZADOS CON LOS PERMITIDOS POR LA NORMA



ELABORADO POR: Herrera Melisa

De la comparación realizada en la tabla 3.21 se puede observar que las derivas no superan la deriva inelástica requerida por la norma NEC.

3.3.5 VARIACIÓN DE LA RIGIDEZ

En el ensayo realizado a carga lateral se aplicó carga en dos etapas con el fin de comprobar si la vivienda perdía rigidez durante el ensayo. Para ello se analiza las pendientes de las curvas de capacidad, tanto para la Etapa I como para la Etapa II.

GRÁFICO 3.27 CURVA CARGA VS DEFORMACIÓN PARA EL ENSAYO A CARGA LATERAL (LVDT 4)



ELABORADO POR: Herrera Melisa

Este análisis se realiza para todos los puntos en los que se leyó deformación durante el ensayo (Deformímetros D1, D2, D3; LVDT 3, LVDT 4, LVDT 5).

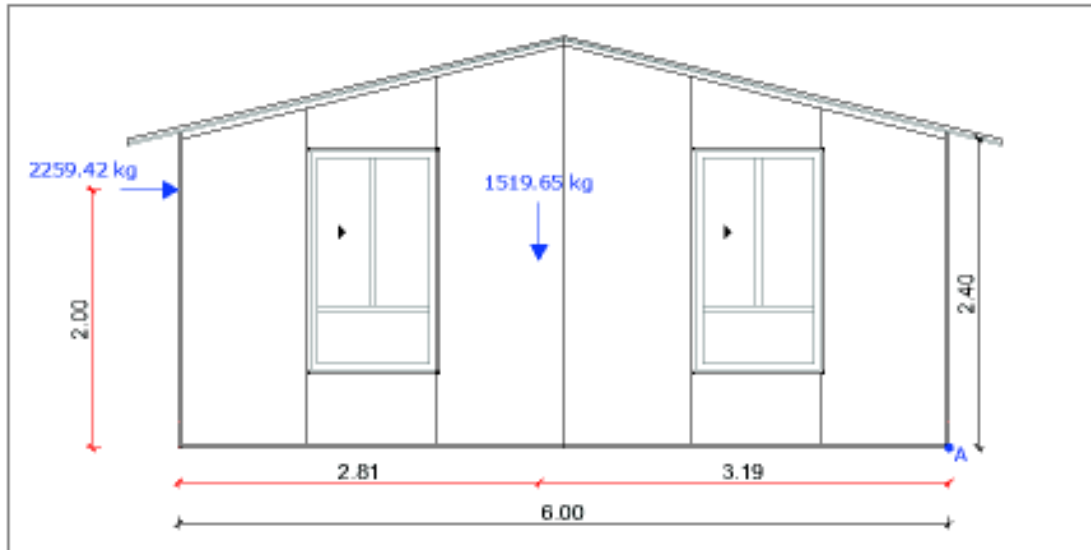
TABLA 3.24 COMPARACIÓN DE RIGIDEZ INICIAL Y RIGIDEZ FINAL

RIGIDEZ	D1	D2	D3	LVDT 3	LVDT 4	LVDT 5
K_i	469.484	819.672	769.231	1190.476	1176.471	1162.791
K_f	482.234	788.382	681.004	1563.007	1366.578	1421.374

ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.3.6 VOLCAMIENTO

La vivienda no debe presentar volcamiento para la fuerza demandada por el sismo de diseño.

GRÁFICO 3.28 FUERZAS ACTUANTES EN LA VIVIENDA

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Para revisar que no exista volcamiento se debe verificar que el momento resistente de la vivienda sea mayor que el momento volcante.

TABLA 3.25 MOMENTO RESISTENTE Y MOMENTO VOLCANTE RESPECTO AL PUNTO A

	FUERZA (kg)	BRAZO DE APLICACIÓN DE LA FUERZA (m)	MOMENTO (Kg.m)	DESCRIPCIÓN
Resistente	1519.65	3.19	4847.69	Momento que genera el peso propio
Volcante	2259.42	2.00	4518.84	Momento que genera el cortante basal

ELABORADO POR: Herrera Melisa

3.3.7 DAÑOS VISUALES EN PRUEBA DE CARGA VERTICAL Y ENSAYO A CARGA LATERAL

Durante la prueba de carga vertical y ensayo a carga vertical la estructura no presenta signos de desintegración, es decir los paneles nunca se salieron de sus guías metálicas, las uniones no fallaron y no se perdió la conexión entre las paredes y la cubierta. Tampoco presentó deformaciones permanentes representativas.

CAPÍTULO 4

ESTUDIO ANALÍTICO

En este capítulo se describe el estudio analítico mediante el desarrollo y análisis de un modelo matemático computacional de la vivienda, con el fin de tener un mayor conocimiento del comportamiento y desempeño de la estructura.

4.1 MODELO MATEMÁTICO

En el modelo matemático se simula los ensayos realizados experimentalmente como son prueba de carga vertical, ensayo a carga lateral y medición de vibraciones ambientales, esto permitirá comprobar que el modelo refleje un comportamiento real de la estructura para conocer de mejor manera los esfuerzos existentes en los diferentes materiales.

4.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO COMPUTACIONAL

El modelo matemático se realizó con el programa SAP 2000 v16.0.0 mediante elementos finitos.

Para el modelo se utilizó la arquitectura vista anteriormente y las propiedades físico mecánicas obtenidas de los ensayos en materiales.

En el modelo se representa a los paneles de pared y de cubierta, y los perfiles que se utilizan en las terminaciones superiores e inferiores de los paneles, así como en las uniones ortogonales entre paneles.

Las propiedades de los materiales se definen con la información obtenida de los estudios experimentales realizados en el capítulo 3.

Los elementos que se utilizan son tipo “Shell” para representar las láminas de acero y tipo “Solid” para representar los materiales aislantes como EPS y PIR.

Se colocaron apoyos articulados para representar los pernos auto perforantes.

Se dispusieron las cargas requeridas por la normas NEC-15 y el código ACI 318.

A continuación se muestra un mayor detalle la modelación realizada.

4.1.1.1 Estructura

Materiales

Se definieron tres materiales para las composiciones de los paneles: acero A36 (para el caso de paneles de pared y cubierta, perfiles auxiliares), EPS (para el caso de paneles de pared), PIR (para el caso de paneles de cubierta).

Para el acero A36 se utilizó las propiedades que brinda el programa SAP 2000 v 16.0.0., y la densidad obtenida en la tabla 3.1 equivalente a 8440 kg/m^3 .

Para definir la espuma de EPS se utilizaron los datos que se obtuvieron de los ensayos experimentales, una densidad de 19 kg/m^3 , valor tomado de la tabla 3.1 y un módulo de elasticidad de 7.7 kg/cm^2 , como se muestra en la tabla 3.3.

En el caso de la espuma de PIR se utilizó el dato de densidad de 39 kg/m^3 , obtenido de la tabla 3.1 y un módulo de elasticidad de 12.156 kg/cm^2 , valor tomado de la tabla 3.3.

FIGURA 4.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES INGRESADOS EN EL MODELO

The figure displays three instances of the 'Material Property Data' dialog box, each configured for a different material. The dialog is organized into several sections: General Data, Weight and Mass, Isotropic Property Data, and Other Properties for Steel Materials (which is only present for the A36 Steel material).

Material Name	Material Type	Weight per Unit Volume	Mass per Unit Volume	Modulus of Elasticity, E	Poisson's Ratio, ν	Coefficient of Thermal Expansion, α	Shear Modulus, G	Minimum Yield Stress, F_y	Minimum Tensile Stress, F_u	Effective Yield Stress, F_{ye}	Effective Tensile Stress, F_{ue}
A36	Steel	8.44×10^{-3}	8.60×10^{-6}	203901.9	0.3	1.17×10^{-5}	784793	2531.0507	4077.6038	3796.576	4485.5842
EPS	Other	1.90×10^{-5}	1.93×10^{-8}	7.7	0.3	1.17×10^{-5}	23815	-	-	-	-
PIR	Other	3.90×10^{-5}	3.97×10^{-8}	12.158	0.3	1.17×10^{-5}	46754	-	-	-	-

Each dialog box includes a 'Switch To Advanced Property Display' checkbox and 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

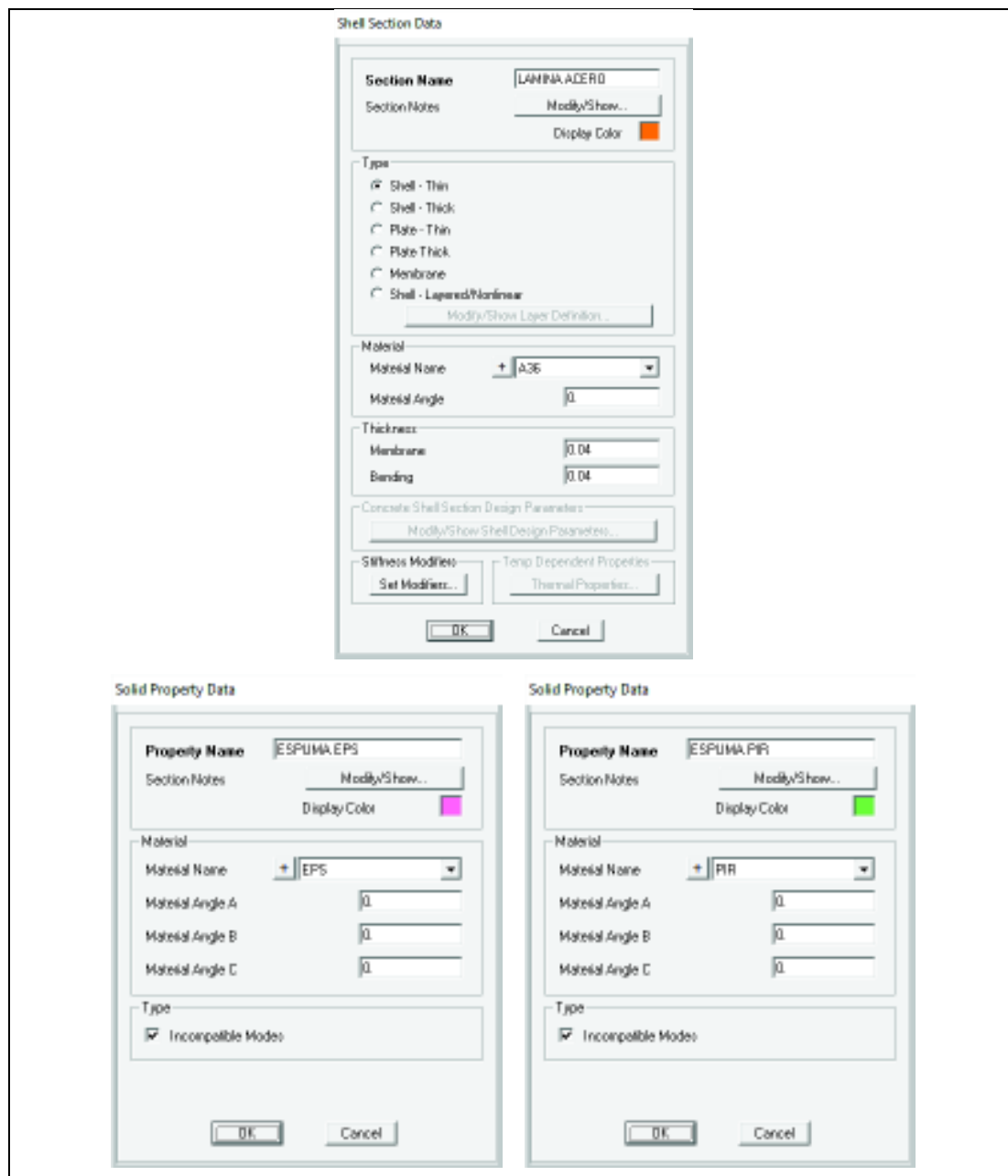
ELABORADO POR: Herrera Melisa

Elementos

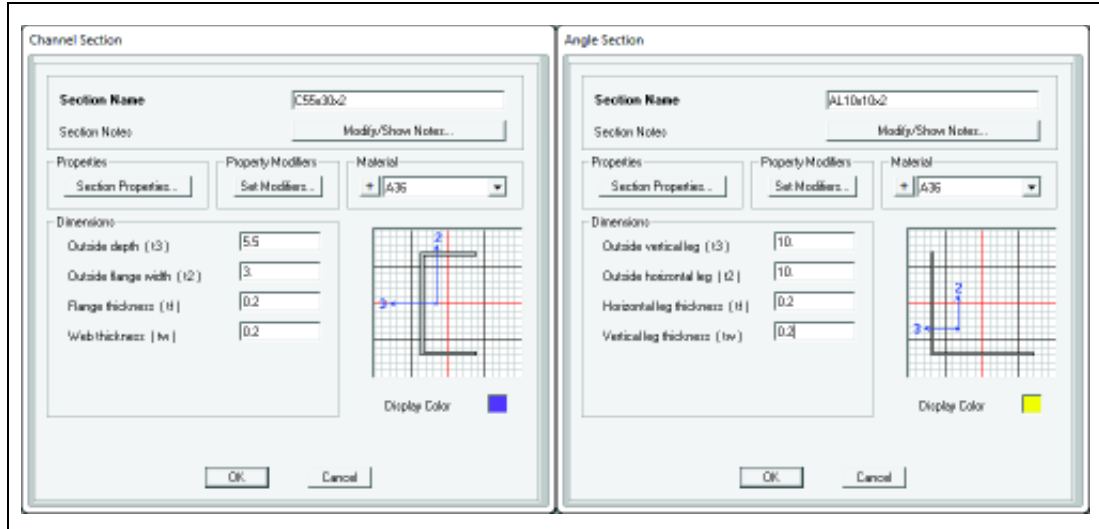
Para modelar la vivienda se definieron tres tipos de elementos.

Elementos tipo “Shell” para representar las láminas de recubrimiento de acero, elementos tipo “Solid” para representar los materiales aislantes o núcleo del panel, y elementos tipo “Frame” para definir los perfiles de acero.

FIGURA 4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS TIPO SHELL Y TIPO SOLID

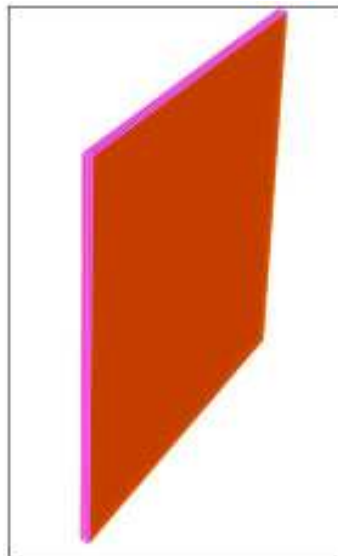


ELABORADO POR: Herrera Melisa

FIGURA 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS TIPO FRAME

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Para conformar el panel tipo sándwich se empezó creando los elementos tipo “Solid”, estos elementos se forman con la función “*extrude áreas to solids*”, para el caso de las paredes se formaron sólidos de 5 cm de espesor utilizando espuma de EPS, mientras que para la cubierta se formaron sólidos de 1.5 cm de espesor utilizando espuma de PIR, posteriormente se colocaron las láminas de recubrimiento con la función “*replicate*”.

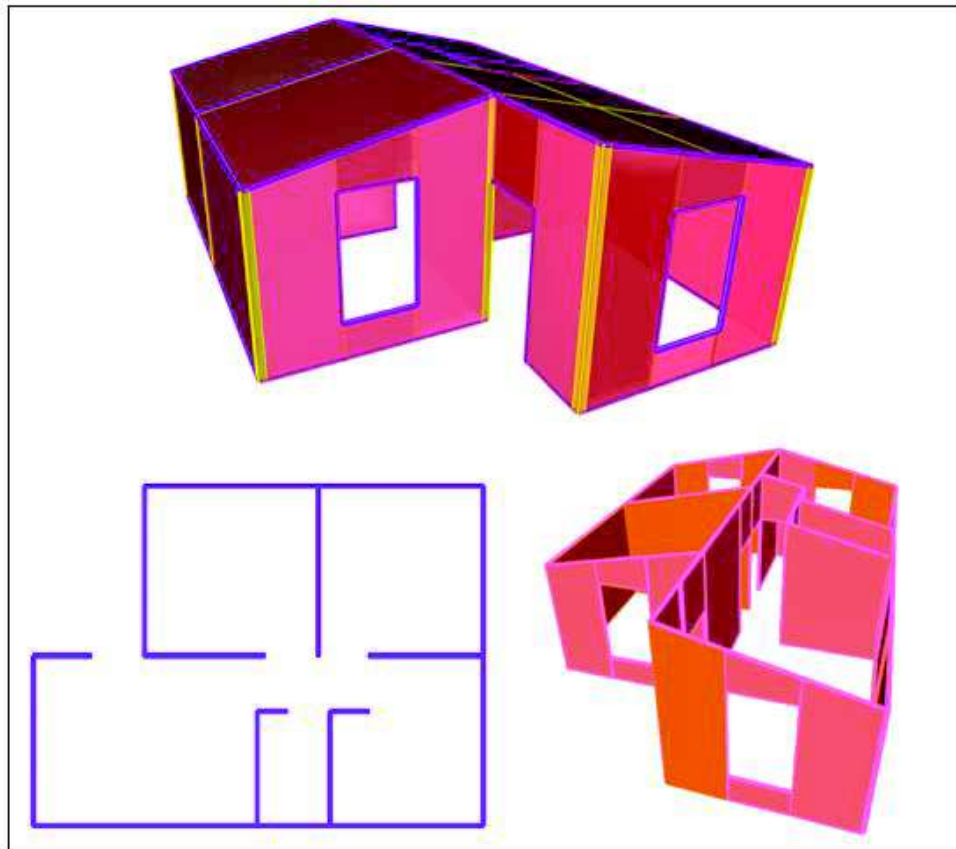
FIGURA 4.4 COMPOSICIÓN FINAL DE MUROS

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Apoyos

La configuración de muros del modelo es soportada por apoyos articulados que restringen los desplazamientos más que los giros producidos por momentos.

FIGURA 4.5 VISTAS DEL MODELO EN EL PROGRAMA SAP 2000



ELABORADO POR: Herrera Melisa

4.1.1.2 Cargas

Se analizó el modelo utilizando las cargas aplicadas a la vivienda en los ensayos experimentales.

Para revisar el comportamiento frente a cargas gravitacionales se aplicó una carga viva de hasta 105 kg/m^2 en el área del ensayo, como se realizó en la prueba de carga. Un mayor detalle se muestra en la tabla 3.9

Para el análisis a carga lateral se utilizó una viga rígida (“frame”) para repartir la carga. Se aplicó una carga viva repartida de hasta 305 kg/m que equivale a la carga de 2800 kg registrados en el ensayo. Un mayor detalle se muestra en la tabla 3.15.

4.1.2 RESULTADOS

Para comprobar la validez del modelo, se analizarán los criterios evaluados experimentalmente, es decir se obtendrá resultados de deformaciones (frente a la cargas de ensayo), y modos de vibración.

Al aplicar la carga vertical se analizarán deformaciones en el punto donde se obtuvo mayor deformación experimentalmente, es decir el punto que se registró con el deformímetro D3, y para carga lateral se analizara el desplazamiento en el punto registrado con el LVDT 4.

TABLA 4.1 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MODELO Y CON EL ENSAYO EXPERIMENTAL

	CARGA VERTICAL		CARGA LATERAL			MODOS DE VIBRACIÓN	
	CARGA (kg/m ²)	DEFORMACIÓN D3 (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN		PERIODO (s)	DIRECCIÓN
				D2 (mm)	LVDT4 (mm)		
MODELO	105	155.30	600	0.03	0.02	0.012	N-S
						0.012	E-O
ENSAYO	105	31.83	600	0.51	0.55	0.078	E-O
						0.057	N-S

ELABORADO POR: Herrera Melisa

De la tabla 4.1 se puede concluir que el modelo es demasiado rígido y por ello los resultados se alejan a los obtenidos experimentalmente; se debe calibrar el modelo para obtener resultados que reflejen el desempeño real de la estructura.

4.2 CALIBRACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

En este punto se analizarán los resultados obtenidos con el modelo inicial y se ajustarán la menor cantidad de parámetros para obtener un modelo que refleje el comportamiento real de la vivienda

De la tabla 4.1, se puede observar que para carga vertical el modelo tiene grandes deformaciones en comparación a las obtenidas experimentalmente, lo que indica que la cubierta del modelo es muy flexible. En cuanto a carga lateral, se puede observar que los desplazamientos obtenidos en el modelo son más pequeños que los obtenidos experimentalmente indicando que las paredes del modelo son muy rígidas. De igual manera el periodo registrado con el modelo refleja que la vivienda es más rígida de lo que realmente es.

4.2.1 CAMBIOS EN EL MODELO INICIAL

En el modelo inicial se considera una cubierta de sección rectangular de 1.5 cm de espesor, sin embargo en la realidad la cubierta no es de sección rectangular ya que presenta unas crestas cada 18 cm. Por lo que se cambiara el espesor de la cubierta del modelo a una altura equivalente de 3.76 cm.

FIGURA 4.6 SECCIÓN DE CUBIERTA REAL Y EQUIVALENTE



ELABORADO POR: Herrera Melisa

Para el caso de las paredes, el modelo inicial tomó el módulo de elasticidad del acero A36 que proporciona el programa SAP 2000, al ser este un valor teórico se cambió por un valor equivalente de 5000 kg/cm².

4.2.2 COMPROBACIÓN DE CALIBRACIÓN

Para demostrar la validez del modelo se analizaron resultados de deformaciones frente carga vertical en el punto donde se obtuvo mayor deformación experimentalmente, es decir el punto que se registró con el deformímetro D3.

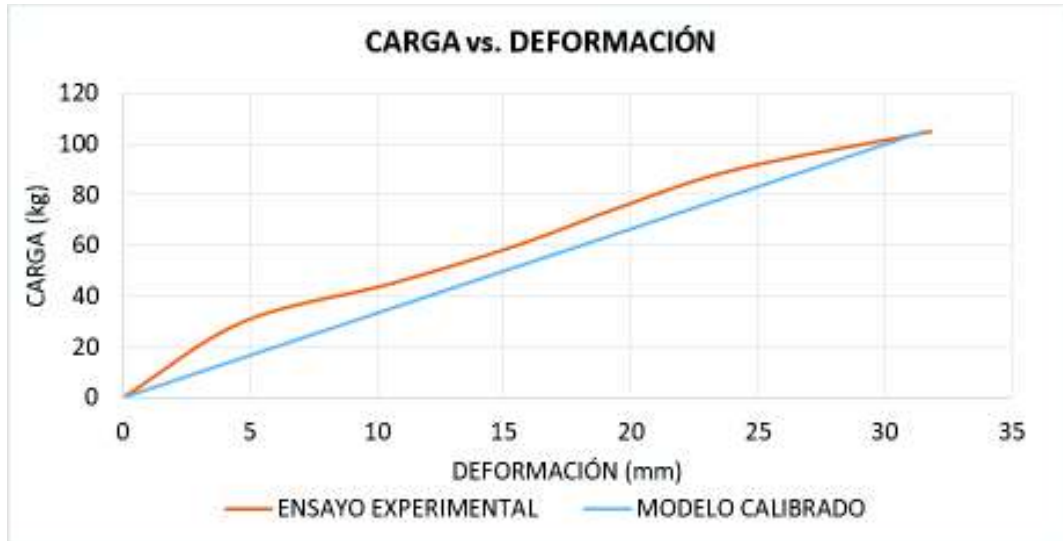
Para la carga lateral se analizaron los desplazamientos en los puntos registrados con el deformímetro D2 y el LVDT 4, para el rango elástico en el comportamiento de la vivienda.

TABLA 4.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MODELO CALIBRADO Y CON EL ENSAYO EXPERIMENTAL

	CARGA VERTICAL		CARGA LATERAL			MODOS DE VIBRACIÓN	
	CARGA (kg/m ²)	DEFORMACIÓN D3 (mm)	CARGA (kg)	DEFORMACIÓN		PERIODO (s)	DIRECCIÓN
				D2 (mm)	LVDT4 (mm)		
MODELO CALIBRADO	105	31.54	600	0.61	0.57	0.098	E-O
						0.083	N-S
ENSAYO	105	31.83	600	0.51	0.55	0.078	E-O
						0.057	N-S

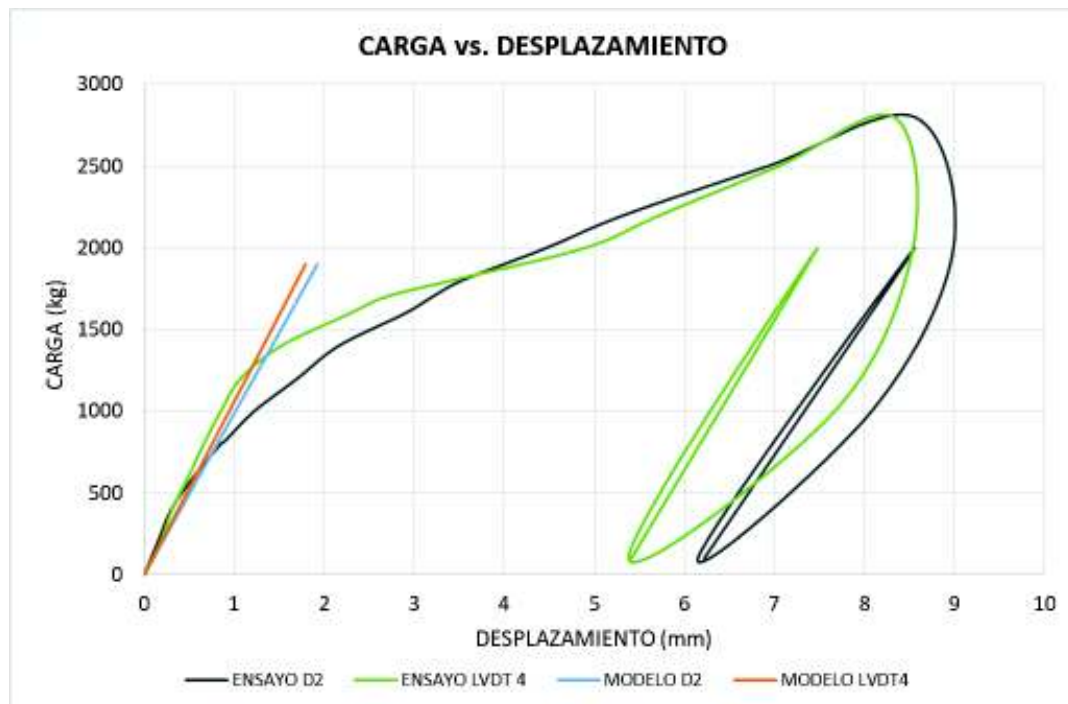
ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 4.1 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MODELO CALIBRADO Y EL ENSAYO EXPERIMENTAL (LA PRUEBA DE CARGA VERTICAL-DEFORMÍMETRO D3)



ELABORADO POR: Herrera Melisa

GRÁFICO 4.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MODELO CALIBRADO Y EL ENSAYO EXPERIMENTAL (ENSAYO A CARGA LATERAL - D2, LVDT 4)



ELABORADO POR: Herrera Melisa

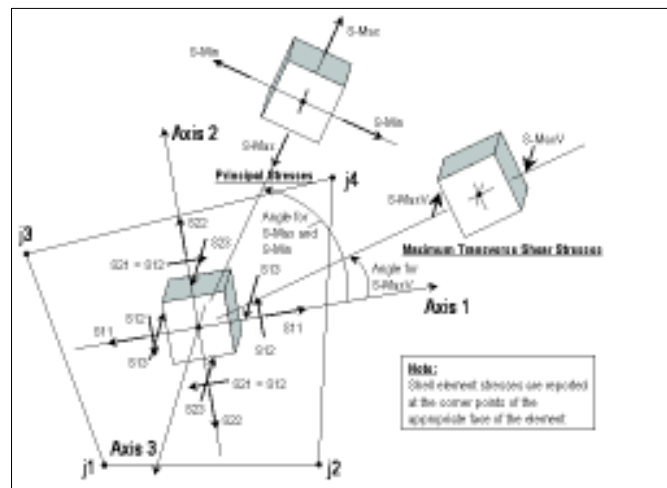
4.2.3 RESULTADOS DEL MODELO CALIBRADO

El estudio analítico busca conocer el desempeño de la vivienda a nivel de esfuerzos, se presentarán los esfuerzos actuantes en los paneles, tanto para las láminas de acero, como para las espumas de PIR y EPS.

4.2.3.1 Esfuerzos internos en láminas de acero (elementos tipo “shell”)

Se analizan los máximos esfuerzos obtenidos en los elementos tipo “Shell” para las condiciones de carga mostradas previamente.

FIGURA 4.7 ESFUERZOS INTERNOS PARA ELEMENTOS TIPO SHELL QUE CONSIDERA EL PROGRAMA SAP 2000.



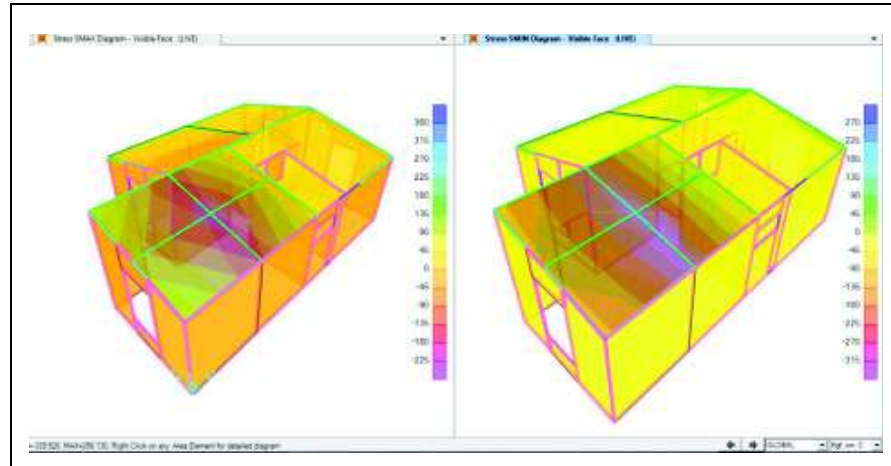
FUENTE: (SAP 2000)

Se revisan los esfuerzos máximos normales $S_{m\acute{a}x}$, $S_{m\acute{i}n}$ que proporciona el programa SAP 2000, así como el esfuerzo máximo a corte $\tau_{m\acute{a}x}$, que si bien el programa no determina este valor, se puede calcular con los esfuerzos principales normales S_{11} , S_{22} , S_{12} mediante la siguiente expresión.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{S_{11} - S_{22}}{2}\right)^2 + S_{12}^2} \quad (4.1)$$

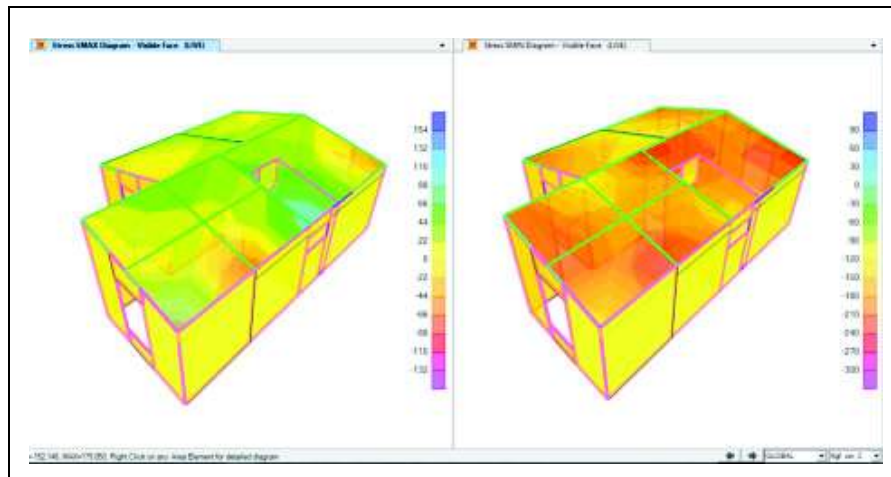
En las figuras 4.8 y 4.9 se observa los esfuerzos normales máximos y mínimos que presenta la vivienda para los diferentes estados de carga.

FIGURA 4.8 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA ELEMENTOS TIPO SHELL - CONDICIONES DE CARGA VERTICAL.



ELABORADO POR: Herrera Melisa

FIGURA 4.9 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA ELEMENTOS TIPO SHELL - CONDICIONES DE CARGA LATERAL



ELABORADO POR: Herrera Melisa

En las tablas 4.3 y 4.4 se muestran los resultados de esfuerzos críticos obtenidos con el programa.

TABLA 4.3 RESULTADOS DE ESFUERZOS CRÍTICOS DE ELEMENTOS TIPO SHELL DE ACUERDO A CADA PARED Y TIPO DE CARGA

	TIPO DE CARGA	Smax Kg/cm ²	Smin Kg/cm ²	τ max Kg/cm ²
PARED A	Vertical	-0.16	-10.74	3.89
	Lateral	8.75	2.65	3.13
PARED B	Vertical	0.59	-4.64	2.42
	Lateral	4.64	-2.26	2.94
PARED C	Vertical	0.56	-6.22	2.37
	Lateral	0.20	-1.53	0.58
PARED D	Vertical	2.04	-3.77	1.49
	Lateral	-2.52	-10.62	3.73
PARED 1	Vertical	-0.26	-10.67	4.14
	Lateral	8.52	-3.48	3.71
PARED 2	Vertical	-0.04	-4.77	1.79
	Lateral	1.62	-11.24	4.33
PARED 3	Vertical	-1.03	-6.02	2.16
	Lateral	8.29	-1.03	3.19
PARED 4	Vertical	0.07	-2.42	0.95
	Lateral	2.11	-9.83	3.87
PARED 5	Vertical	-1.31	-4.51	1.90
	Lateral	8.59	-1.30	3.43
PARED 6	Vertical	1.71	-1.54	0.68
	Lateral	9.46	-9.20	3.80
CUBIERTA	Vertical	350.19	-304.62	102.71
	Lateral	175.05	-322.99	90.73

FUENTE: SAP 2000

ELABORADO POR: Herrera Melisa

De la tabla 4.3 se observa que los esfuerzos críticos se encuentran en la cubierta, con un esfuerzo normal máximo de 350.19 kg/cm² (esfuerzo a tracción), y un esfuerzo normal mínimo de 322.99 kg/cm² (esfuerzo a compresión).

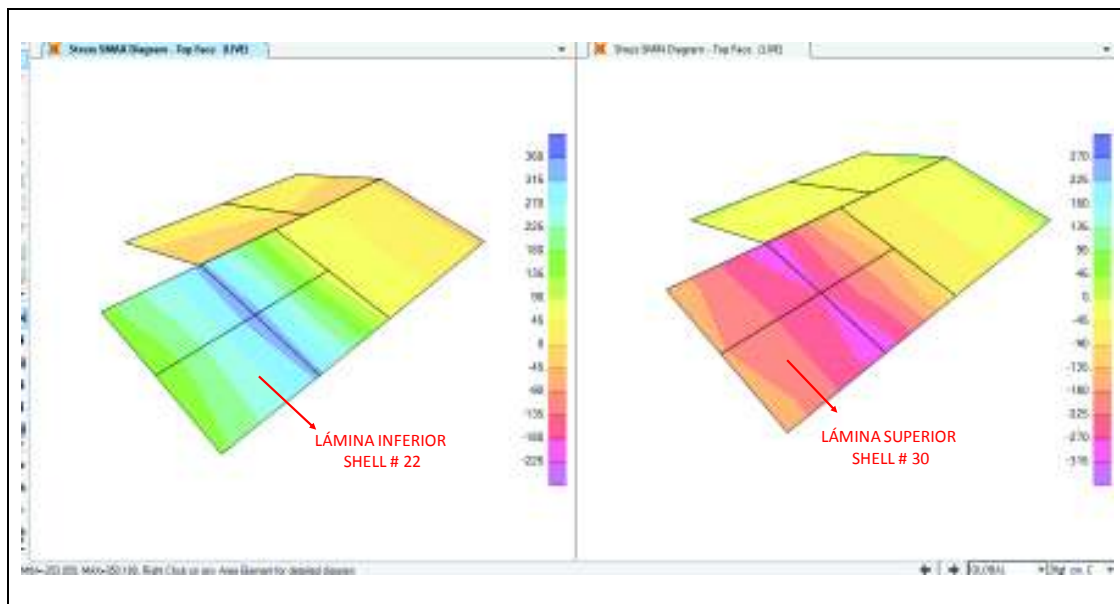
TABLA 4.4 RESULTADOS DE LAS COMPONENTES DE ESFUERZOS NORMALES PARA LOS ELEMENTOS SHELL CRÍTICOS (CUBIERTA)

TIPO DE CARGA	Shell #	S11 Kg/cm ²	S22 Kg/cm ²	S12 Kg/cm ²	Smax Kg/cm ²	Smin Kg/cm ²	τ max Kg/cm ²
Vertical	22	256.34	349.98	4.42	350.19	256.13	47.03
	30	-151.46	-288.43	-49.78	-135.27	-304.62	84.67
Lateral	31	102.94	166.53	-24.79	175.05	94.42	40.32
	22	-142.57	-321.95	-13.73	-141.53	-322.99	90.73

FUENTE: SAP 2000

ELABORADO POR: Herrera Melisa

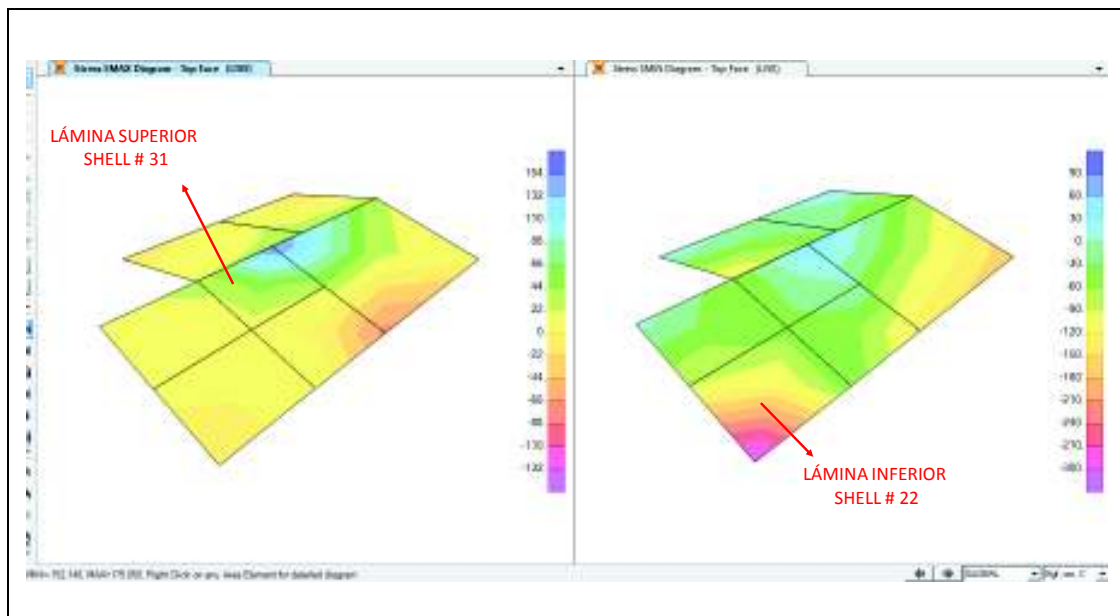
FIGURA 4.10 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA LOS ELEMENTOS TIPO SHELL CRÍTICOS, PARA CARGA VERTICAL



FUENTE: SAP 2000

ELABORADO POR: Herrera Melisa

FIGURA 4.11 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA LOS ELEMENTOS TIPO SHELL CRÍTICOS, PARA CARGA LATERAL



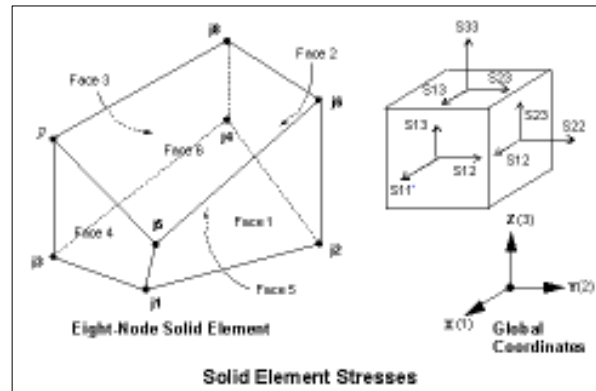
FUENTE: SAP 2000

ELABORADO POR: Herrera Melisa

4.2.3.2 Esfuerzos internos en espumas de EPS y PIR (elementos tipo “solid”)

Se analizan los máximos esfuerzos obtenidos en los elementos tipo “Solid” para las condiciones de carga mostradas previamente.

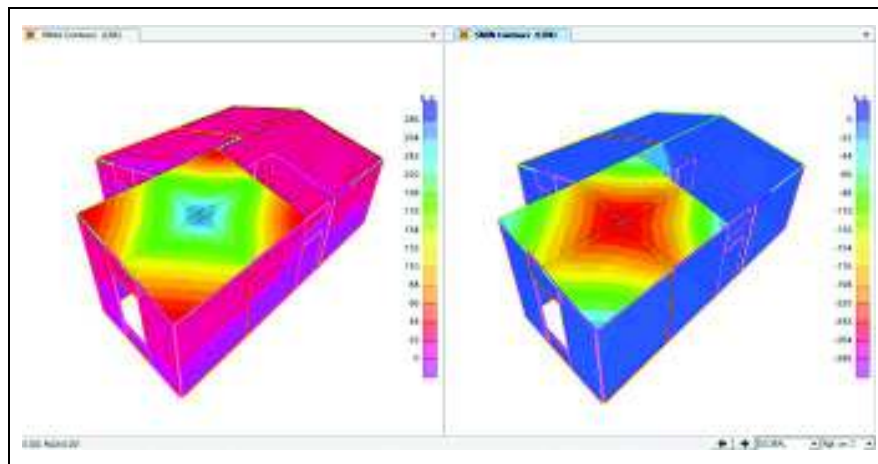
FIGURA 4.12 ESFUERZOS INTERNOS PARA ELEMENTOS TIPO SHELL QUE CONSIDERA EL PROGRAMA SAP 2000.



FUENTE: (SAP 2000)

Se revisarán los esfuerzos máximos normales $S_{m\acute{a}x}$, $S_{m\acute{i}n}$ que proporciona el programa SAP 2000, así como el esfuerzo máximo a corte $\tau_{m\acute{a}x}$. Tanto para la espuma de pared (EPS) como para la espuma de cubierta (PIR).

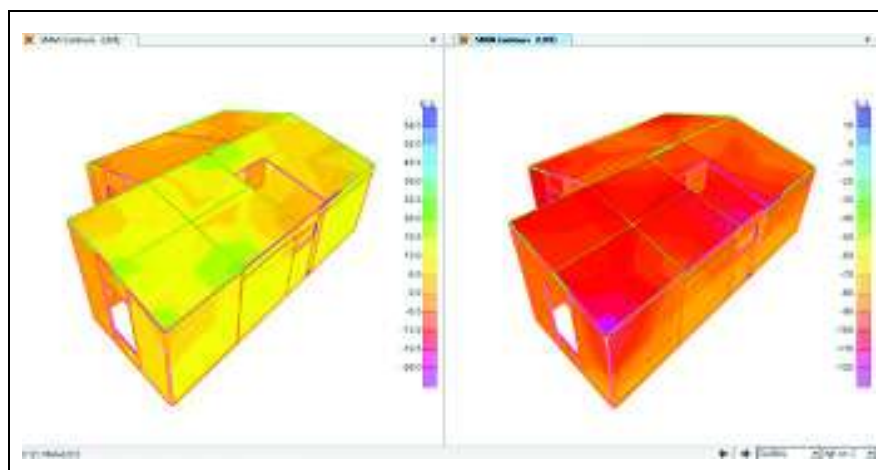
FIGURA 4.13 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA ELEMENTOS TIPO SOLID - CONDICIONES DE CARGA GRAVITACIONALES.



FUENTE: SAP 2000

ELABORADO POR: Herrera Melisa

FIGURA 4.14 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA ELEMENTOS TIPO SOLID - CONDICIONES DE CARGA LATERAL.



FUENTE: SAP 2000
ELABORADO POR: Herrera Melisa

En las tablas 4.5, 4.6 y 4.7 se muestran los resultados de esfuerzos críticos obtenidos con el programa.

TABLA 4.5 RESULTADOS DE ESFUERZOS CRÍTICOS DE ELEMENTOS TIPO SOLID DE ACUERDO A CADA PARED Y TIPO DE CARGA

	TIPO DE CARGA	Smax Kg/cm ²	Smin Kg/cm ²	τ max Kg/cm ²
PARED A	Vertical	0.010	-0.025	0.006
	Lateral	0.024	0.044	0.017
PARED B	Vertical	0.004	-0.008	0.002
	Lateral	0.007	-0.005	0.002
PARED C	Vertical	0.007	-0.012	0.004
	Lateral	0.003	-0.005	0.001
PARED D	Vertical	0.003	-0.007	0.001
	Lateral	0.013	-0.023	0.006
PARED 1	Vertical	0.011	-0.021	0.010
	Lateral	0.014	-0.006	0.003
PARED 2	Vertical	0.005	-0.010	0.004
	Lateral	0.009	-0.020	0.007
PARED 3	Vertical	0.006	-0.011	0.003
	Lateral	0.014	-0.006	0.003
PARED 4	Vertical	0.000	-0.004	0.000
	Lateral	-0.001	-0.016	0.001
PARED 5	Vertical	0.001	-0.008	0.001
	Lateral	0.013	0.004	0.002
PARED 6	Vertical	0.004	-0.003	0.001
	Lateral	0.017	-0.016	0.005
CUBIERTA	Vertical	0.310	-0.300	0.064
	Lateral	0.054	-0.120	0.012

FUENTE: SAP 2000
ELABORADO POR: Herrera Melisa

En la tabla 4.3 se observa que los esfuerzos críticos se encuentran en la cubierta, con un esfuerzo normal máximo de 0.054 kg/cm² (esfuerzo a tracción), y un esfuerzo normal mínimo de 0.30 kg/cm² (esfuerzo a compresión), esfuerzo máximo a corte de 0.064 kg/cm².

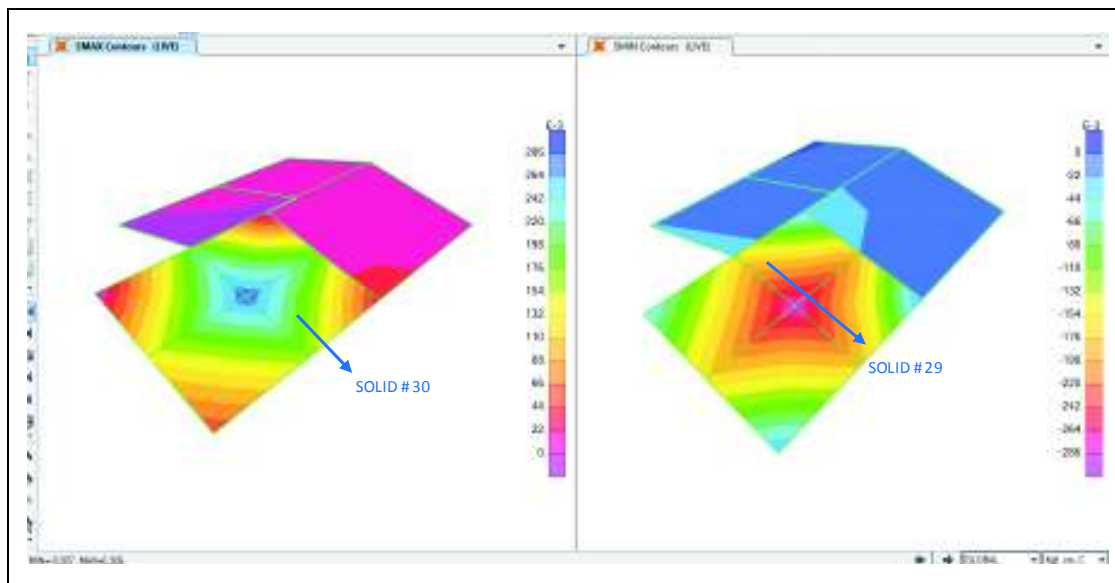
TABLA 4.6 RESULTADOS DE LAS COMPONENTES DE ESFUERZOS NORMALES PARA LOS ELEMENTOS TIPO SOLID CRÍTICOS EN CUBIERTA

TIPO DE CARGA	SOLID #	S11 Kg/cm ²	S22 Kg/cm ²	S33 Kg/cm ²	S12 Kg/cm ²	S13 Kg/cm ²	S23 Kg/cm ²	Smax Kg/cm ²	Smid Kg/cm ²	Smin Kg/cm ²	τ max Kg/cm ²
Vertical	30	0.011	0.110	-0.076	-0.038	0.180	-0.210	0.310	0.014	-0.270	0.063
	29	-0.014	-0.110	0.067	-0.035	0.180	0.200	0.260	-0.018	-0.300	0.059
	30	0.008	0.110	-0.077	-0.038	0.180	-0.210	0.300	0.010	-0.270	0.064
Lateral	30	0.007	0.009	0.052	0.000	0.000	0.011	0.054	0.007	0.006	0.001
	28	-0.034	-0.054	-0.097	-0.001	0.004	0.039	-0.030	-0.034	-0.120	0.010
	30	0.007	-0.016	0.002	0.000	-0.001	0.030	0.024	0.007	-0.038	0.012

FUENTE: SAP 2000

ELABORADO POR: Herrera Melisa

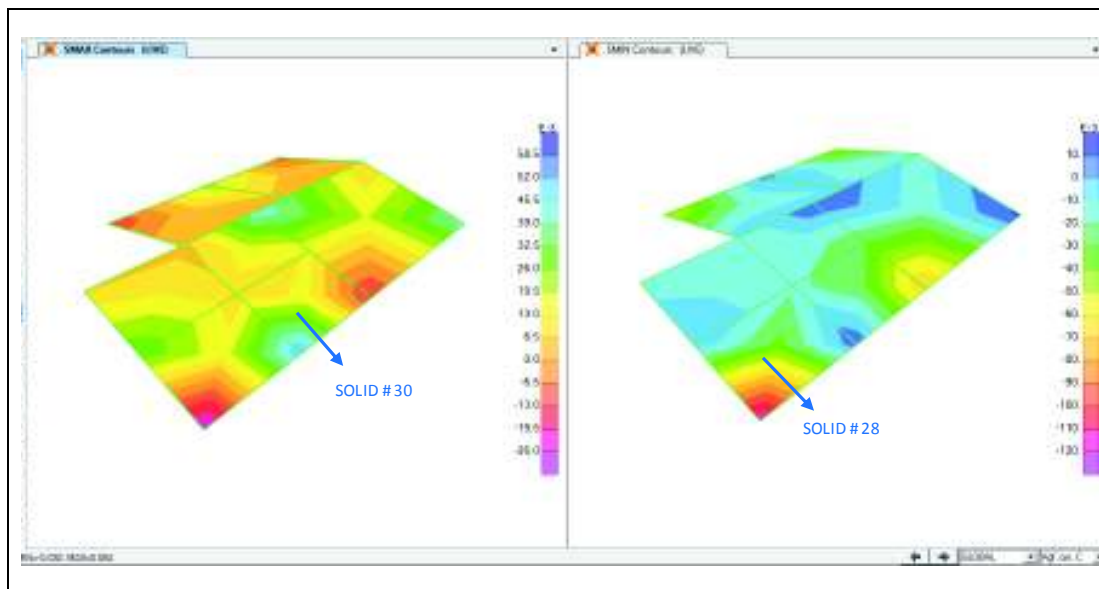
FIGURA 4.15 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA LOS ELEMENTOS TIPO SOLID CRÍTICOS EN CUBIERTA - CARGA VERTICAL



FUENTE: SAP 2000

ELABORADO POR: Herrera Melisa

FIGURA 4.16 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA LOS ELEMENTOS TIPO SOLID CRÍTICOS EN CUBIERTA - CARGA LATERAL



FUENTE: SAP 2000

ELABORADO POR: Herrera Melisa

Los esfuerzos máximos se presentan en la espuma de cubierta (PIR); además se detallan los esfuerzos máximos en la espuma de pared (EPS), para el posterior análisis de resultados.

TABLA 4.7 RESULTADOS DE LAS COMPONENTES DE ESFUERZOS NORMALES PARA LOS ELEMENTOS SOLID CRÍTICOS EN PARED (EJE A)

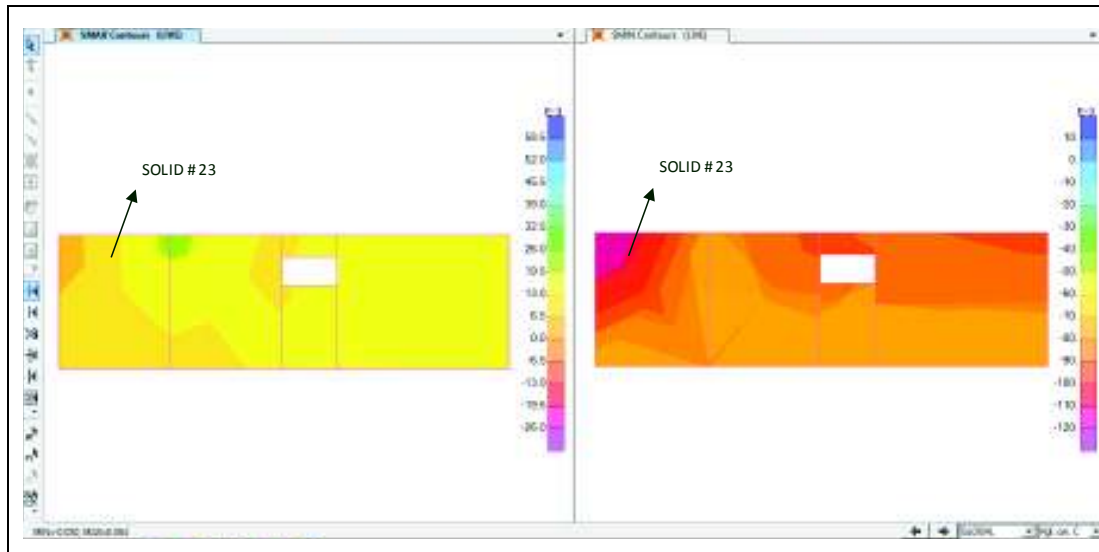
TIPO DE CARGA	SOLID #	S11 Kg/cm ²	S22 Kg/cm ²	S33 Kg/cm ²	S12 Kg/cm ²	S13 Kg/cm ²	S23 Kg/cm ²	Smax Kg/cm ²	Smid Kg/cm ²	Smin Kg/cm ²	τ max Kg/cm ²
Lateral	23	0.004	0.009	0.018	0.001	0.000	-0.009	0.024	0.004	0.003	0.003
	23	-0.008	-0.041	0.000	-0.001	-0.001	0.010	0.002	-0.008	-0.044	0.017

FUENTE: SAP 2000

ELABORADO POR: Herrera Melisa

En la tabla 4.7 se observa que los esfuerzos críticos en la pared A (pared donde se aplicó la carga lateral) son: esfuerzo normal máximo de 0.024 kg/cm² (esfuerzo a tracción), y un esfuerzo normal mínimo de 0.044 kg/cm² (esfuerzo a compresión), esfuerzo máximo a corte de 0.017 kg/cm².

FIGURA 4.17 ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA LOS ELEMENTOS TIPO SOLID CRÍTICOS EN PARED A- CARGA VERTICAL



FUENTE: SAP 2000

ELABORADO POR: Herrera Melisa

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de la vivienda a nivel de esfuerzos, compara los esfuerzos resistentes de los ensayos realizados en laboratorio, con los esfuerzos críticos obtenidos del modelo calibrado en el programa SAP 2000.

En este análisis se revisaran los siguientes parámetros:

- Esfuerzo de corte en espumas de PIR y EPS.
- Esfuerzo de compresión en espumas de PIR y EPS.
- Esfuerzo de flexión en láminas de acero.

4.3.1 ESFUERZOS DE CORTE EN ESPUMAS DE PIR Y EPS

Para revisar si el comportamiento de las espumas de PIR y EPS es el adecuado frente esfuerzos de corte, se compara el esfuerzo resistente a corte obtenido en el estudio de materiales, con el esfuerzo máximo a corte obtenido del modelo calibrado en los elementos tipo Solid para los diferentes materiales.

TABLA 4.8 COMPARACIÓN DE ESFUERZOS A CORTE OBTENIDOS TEÓRICA Y EXPERIMENTALMENTE

	EPS (kg/cm ²)	PIR (kg/cm ²)
ENSAYO DE LABORATORIO	0.631	3.282
MODELO CALIBRADO	0.017	0.064

ELABORADO POR: Herrera Melisa

En la tabla 4.8 se observa que para ninguno de los materiales, los esfuerzos actuantes sobrepasan los esfuerzos resistentes a corte.

4.3.2 ESFUERZOS DE COMPRESIÓN EN ESPUMAS DE EPS Y PIR

La revisión del comportamiento de las espumas frente esfuerzos de compresión, consiste en comparar el esfuerzo resistente a compresión perpendicular obtenido en el estudio de materiales, con el esfuerzo máximo a compresión del modelo calibrado en los elementos tipo Solid para los diferentes materiales.

TABLA 4.9 COMPARACIÓN DE ESFUERZOS A COMPRESIÓN OBTENIDOS TEÓRICA Y EXPERIMENTALMENTE

	EPS (kg/cm ²)	PIR (kg/cm ²)
ENSAYO DE LABORATORIO	0.305	0.992
MODELO CALIBRADO	0.024	0.300

ELABORADO POR: Herrera Melisa

De la comparación realizada en la tabla 4.9 se observa que en ninguno de los materiales, los esfuerzos actuantes sobrepasan los esfuerzos resistentes a compresión de los materiales.

4.3.3 ESFUERZOS DE FLEXIÓN EN LÁMINAS DE ACERO

La revisión del comportamiento de las láminas de acero frente esfuerzos de flexión, compara, el esfuerzo resistente a flexión obtenido en el estudio de materiales con los esfuerzos máximos a tracción y compresión obtenidos del modelo calibrado en los elementos tipo Shell.

TABLA 4.10 COMPARACIÓN DE ESFUERZOS A FLEXIÓN EN LÁMINAS DE ACERO OBTENIDOS TEÓRICA Y EXPERIMENTALMENTE

	LAMINA DE ACERO	
	TRACCIÓN (kg/cm ²)	COMPRESIÓN (kg/cm ²)
ENSAYO DE LABORATORIO	893.68	893.68
MODELO CALIBRADO	350.19	322.99

FUENTE: Tabla 3.5

ELABORADO POR: Herrera Melisa

En la tabla 4.10 se puede observar que los esfuerzos actuantes a flexión no sobrepasan los esfuerzos resistentes del material.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La vivienda de esta investigación tuvo una respuesta óptima ante cargas verticales y laterales, mismas que representan las acciones sísmicas. Su desempeño la convierte en una vivienda apta para zonas de alto riesgo sísmico. Esta conclusión es válida únicamente para la vivienda con la disposición de paredes mostrada en el capítulo 2 (ver figura 2.4).

Las deflexiones obtenidas para una carga de servicio (105 kg/m^2) son menores que las **deflexiones admisibles** recomendadas por el código ACI-318 y el informe técnico emitido por la UEAtc (Unión Europea para la Idoneidad Técnica en la Construcción, 1996), Por lo que se concluye que la vivienda de estudio cumple con este criterio de aceptabilidad.

La demanda por el sismo de diseño según la NEC-15, (2259.42 kg) es menor que la **resistencia lateral** de la estructura (2800 kg) en la dirección en que se aplicó la carga (ver figura 3.21). La vivienda cumple con este criterio de aceptabilidad.

La **deriva máxima** obtenida (0.0067) en dirección de la aplicación de la carga lateral (ver figura 3.21), no excede el límite de deriva inelástica (0.02) establecido en la tabla 7 (NEC-15 Capítulo 2, 2015). Se puede concluir que la vivienda cumple con este criterio de aceptabilidad para la dirección en que se realizó el ensayo.

Durante el ensayo a carga vertical la vivienda presentó un comportamiento lineal hasta llegar a la carga de servicio (105 kg/m^2) (ver gráfico 3.10), lo que muestra que la vivienda trabajó dentro del **rango elástico**. Por tal motivo cumple con este criterio de aceptabilidad.

En el ensayo a carga lateral, al incrementar las fuerzas el comportamiento de la estructura se mantuvo en el **rango elástico** durante todo el ensayo en lo que se refiere a los elementos, pero se observa un comportamiento no lineal de la estructura al sobrepasar los 1800 kg aproximadamente, debido al rozamiento entre paneles y conexiones existentes. Debido a que la vivienda resistió la fuerza demandada por el sismo de diseño en el rango elástico, se concluye que la vivienda tiene un comportamiento aceptable bajo cargas laterales.

Luego de realizar los ensayos a carga vertical y carga lateral, no se encontraron **daños visuales** en la estructura, esto se comprobó con el monitoreo de fisuras en los testigos de yeso realizado en el ensayo a carga lateral, en el cual se presentan fisuras pequeñas no generalizadas para las cargas a las que fue sometida la vivienda. Es decir la vivienda cumple con este criterio de aceptabilidad.

Del **análisis de esfuerzos** realizado se concluye que, los esfuerzos actuantes en los materiales núcleo de la vivienda (espuma de EPS y PIR), tanto para cargas verticales como para cargas laterales no exceden a los esfuerzos últimos resistentes de los materiales, por lo que se comprueba que la vivienda tuvo un buen desempeño a nivel de esfuerzos ya que no presentó fallas por corte o compresión en las espumas de cubierta ni de pared durante los ensayos experimentales.

Del **análisis de esfuerzos** realizado en las láminas de acero se concluye que, los esfuerzos actuantes para las condiciones de carga vertical como lateral no exceden los esfuerzos resistentes del material, por lo que la vivienda presenta un buen comportamiento a nivel de esfuerzos en las láminas de acero.

La **relación de esfuerzos** entre las láminas de acero y la espuma del material núcleo, del ensayo realizado a compresión paralela, indica que el acero resiste 4237 veces más que la espuma, con lo cual se concluye que en los paneles tipo sándwich el material que brinda resistencia es el acero, y la espuma ayuda al panel brindando estabilidad.

Del ensayo a tracción diagonal realizado se concluye que los muros no presentaron falla por corte como es común en las mamposterías al aplicar cargas horizontales y verticales simultáneamente, la forma de falla de los paneles es por compresión generando aplastamiento en las esquinas (falla local).

5.2 RECOMENDACIONES

En caso de existir algún cambio en la disposición de paredes en la vivienda, se recomienda utilizar el modelo calibrado puesto que refleja un comportamiento cercano a la realidad. Hay que tener claro que la validación realizada en esta investigación es solo para el prototipo de vivienda, con la configuración y disposición de paredes mostrados en la figura 2.4.

Se recomienda realizar un estudio a carga lateral de la vivienda para la dirección menos crítica (dirección que no se ensayó en esta investigación), para comprobar que la vivienda presente un buen comportamiento frente cargas laterales en ambas direcciones y para ratificar la veracidad del modelo calibrado.

Es importante realizar más ensayos de laboratorio en los paneles utilizados en las paredes, para tener un mayor conocimiento de su desempeño frente cargas laterales.

Se sugiere cambiar el material de relleno de las paredes (espuma de EPS), que si bien tuvo un buen desempeño durante los ensayos a carga lateral y vertical, este material no presentó una buena resistencia al calor al acondicionarlo para el cálculo de la densidad (Ensayo de densidad), ya que el material se quemó y redujo su sección a la mitad.

Se recomienda mejorar los anclajes entre el contrapiso y la estructura, puesto que en el ensayo a carga lateral se evidenció volcamiento más no un agotamiento en sí de la estructura.

Para ensayos similares se sugiere tener cuidado con los equipos que miden las deformaciones, ya que al ser instrumentos sensibles, cualquier movimiento puede modificar los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 318S, A. C. (2005). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario*. Estados Unidos.
- Alarcón, J., & Franco, J. (2010). El terremoto de magnitud 8.8 de Maule (Chile), Evaluación sísmológica y observaciones del estudio de campo. *Trébol, LV*, 5-17.
- ASTM A36, .. (s.f.). Standard Specification for Carbon Structural Steel. United States: ASTM.
- ASTM C271, .. (2017). ASTM C271- Standard Test Method for Density of Sandwich Core Materials. United States: ASTM.
- ASTM C364, .. (2017). Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions. United States: ASTM.
- ASTM C365, .. (2017). Standard Test Method for Flatwise Compressive Strength of Sandwich Constructions. United States.
- ASTM C393, .. (2017). ASTM C393- Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam. United States: ASTM.
- ASTM E519, .. (2017). Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Mansory Assemblages. United States: ASTM.
- ASTM E72, .. (2017). Standard Test Method of Conducting Strength Tests of Panels for Building Constructions. United States: ASTM.
- Barbero, e., & Navarro, C. (2008). *Introducción a las estructuras sándwich*. Madrid. DyplastProducts. (s.f.). ISO-C1(R)/2.5 Polyisocianurate Insulation 2.5 lb/ft³ (40kg/m³) density. 0416. Miami, Florida.
- Espinoza, J. (1992). Terremotos Tsunamigénicos en el Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico. VII*, págs. 21-28. Ecuador: INOCAR.
- Geofísico, I. (2016). *Observaciones del sismo del 16 de abril de 2016 de magnitud mw 7.8. Intensidades y aceleraciones*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016.html>

- Guillier, B., Chatelain, J. L., Tavera, H., Perfettini, H., Ochoa, A., & Herrera, B. (2014). *Establishing Empirical Period Formula for RC Buildings in Lima, Peru: Evidence for the Impact of Both the 1974 Lima Earthquake and the Application of the Peruvian Seismic Code on High-Rise Buildings*. (Vol. 85(6)). Seismological Research Letters.
- INAVI. (1982). Estudio sobre la situación de las empresas productoras de sistemas constructivos en Venezuela. *Instituto Nacional de la Vivienda*, 9-18.
- Iza, M. (2012). *Modelación de un sistema estructural alternativo, prefabricado de bajo peso, para una vivienda de dos pisos. (Paneles metálicos con inyección de poliuretano de alta resistencia)*. Quito.
- KUBIEC. (2015). KUTÉRMICO paneles tipo sánduche con aislamiento termoacústico. Quito, Pichincha, Ecuador.
- KUBIEC. (2015). Perfiles : Canales, correas y omegas. Ecuador.
- Maldonado, M. (2010). *Factibilidad del uso del sistema constructivo M-2 aplicado en viviendas de la ciudad de Loja*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- MatWeb, M. P. (1996). *Matweb*. Recuperado el July de 2017, de <http://www.matweb.com>
- Mongue, A. (2016). *Diseño de un panel sándwich semi-ligero con aislamiento de fibra natural proveniente del Ecuador que supere las prestaciones de los paneles existentes actualmente en el mercado, en base a parámetros térmicos, acústicos y de respeto por el medio ambiente*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- NEC, N. E. (2015). *Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- NEC-15 Capítulo 1, .. (2015). NEC-SE-CG: Cargas no sísmicas. Ecuador.
- NEC-15 Capítulo 2, .. (2015). NEC-SE-DS: Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente. Ecuador.
- Parra, G., & Sarango, J. (2016). *Análisis estadístico del periodo experimental de vibración de edificios aporticados de hormigón armado en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Rosenberg, M. (2010). *About.com Geography*. Obtenido de Pacific Ring of Fire: <http://geography.about.com/cs/earthquakes/a/ringoffire.htm>.

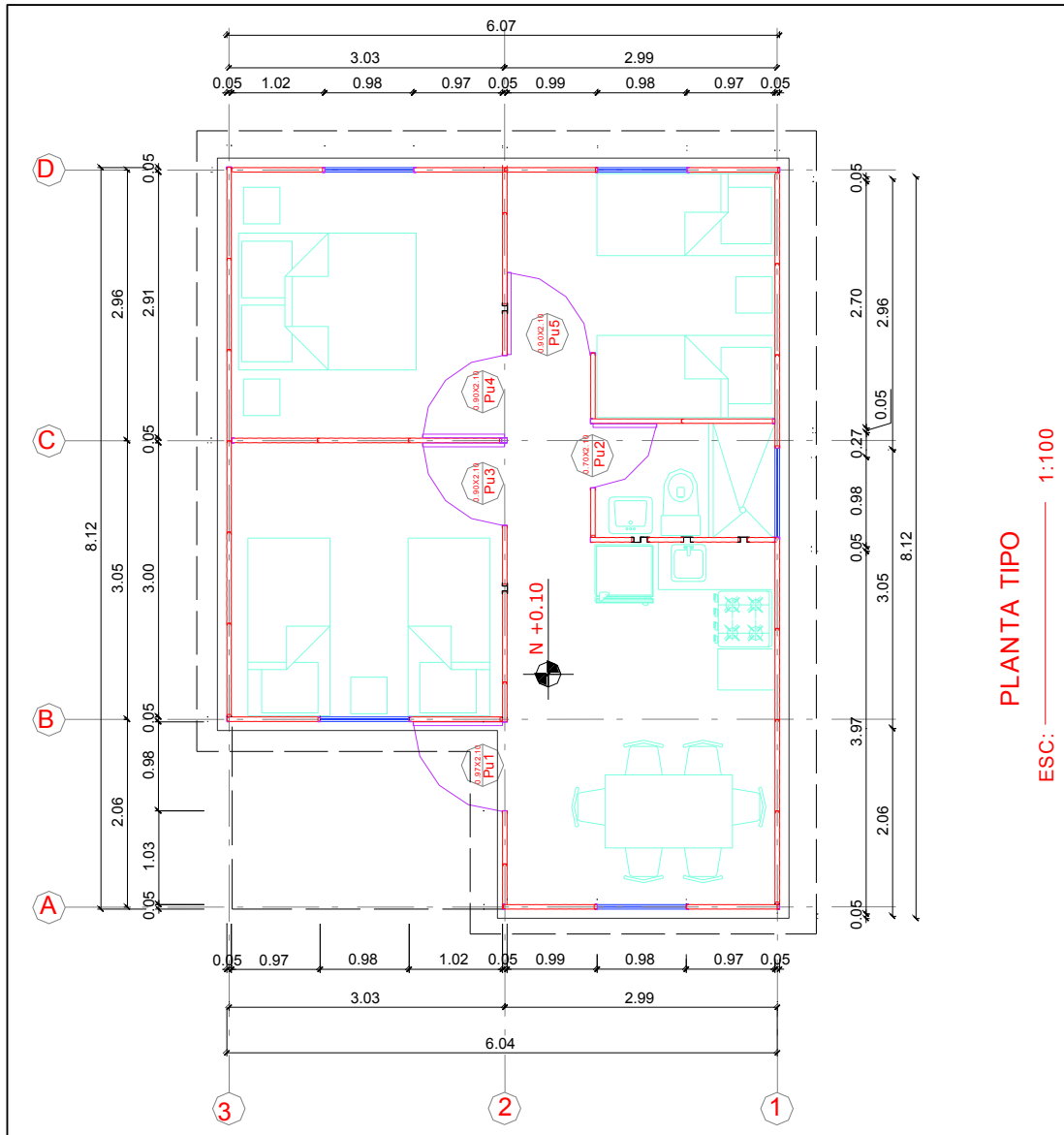
SAP 2000, H. (s.f.). *Structural Analysis Program*.

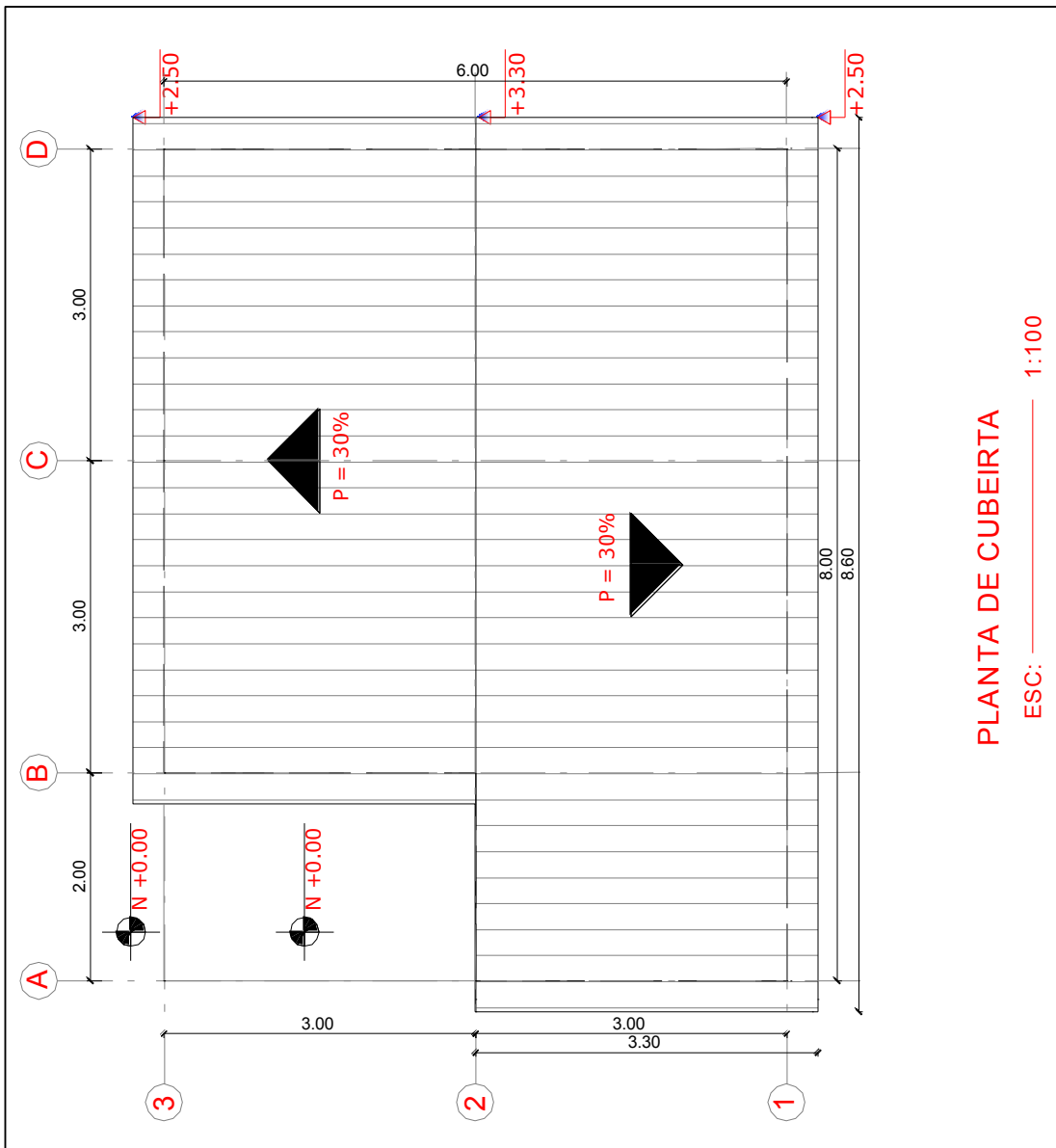
Tsunami alerts sparks panic in Indonesia. (15 de Noviembre de 2014). *Mail Online*.

Unión Europea para la Idoneidad Técnica en la Construcción, .. (1996). *Informe Técnico de la UEAtc para la Evaluación de las Obras Realizadas con Paneles Sándwich de Espuma de Poluuretano sin CFC*. Instituto Eduardo Torroja. Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

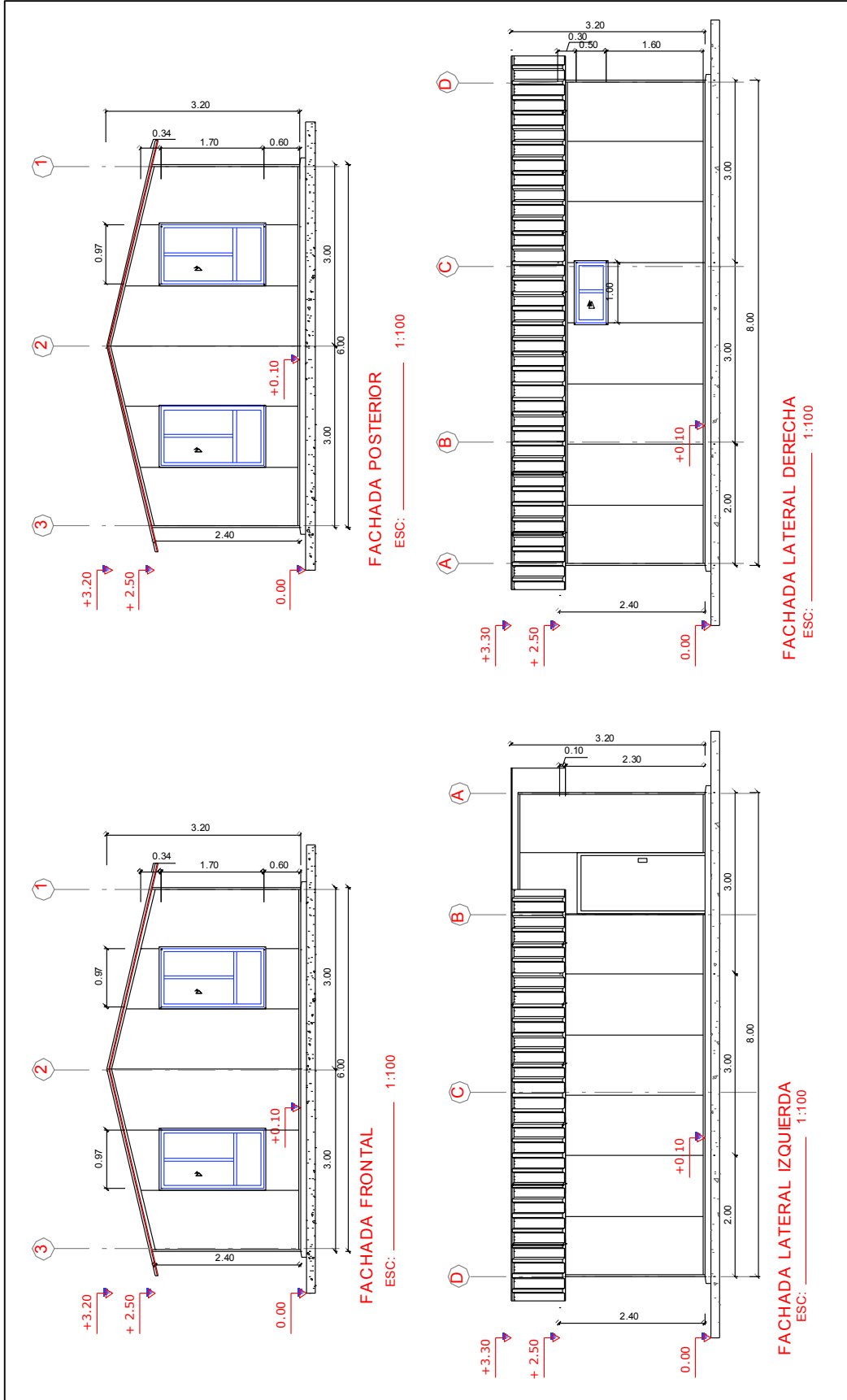
ANEXOS

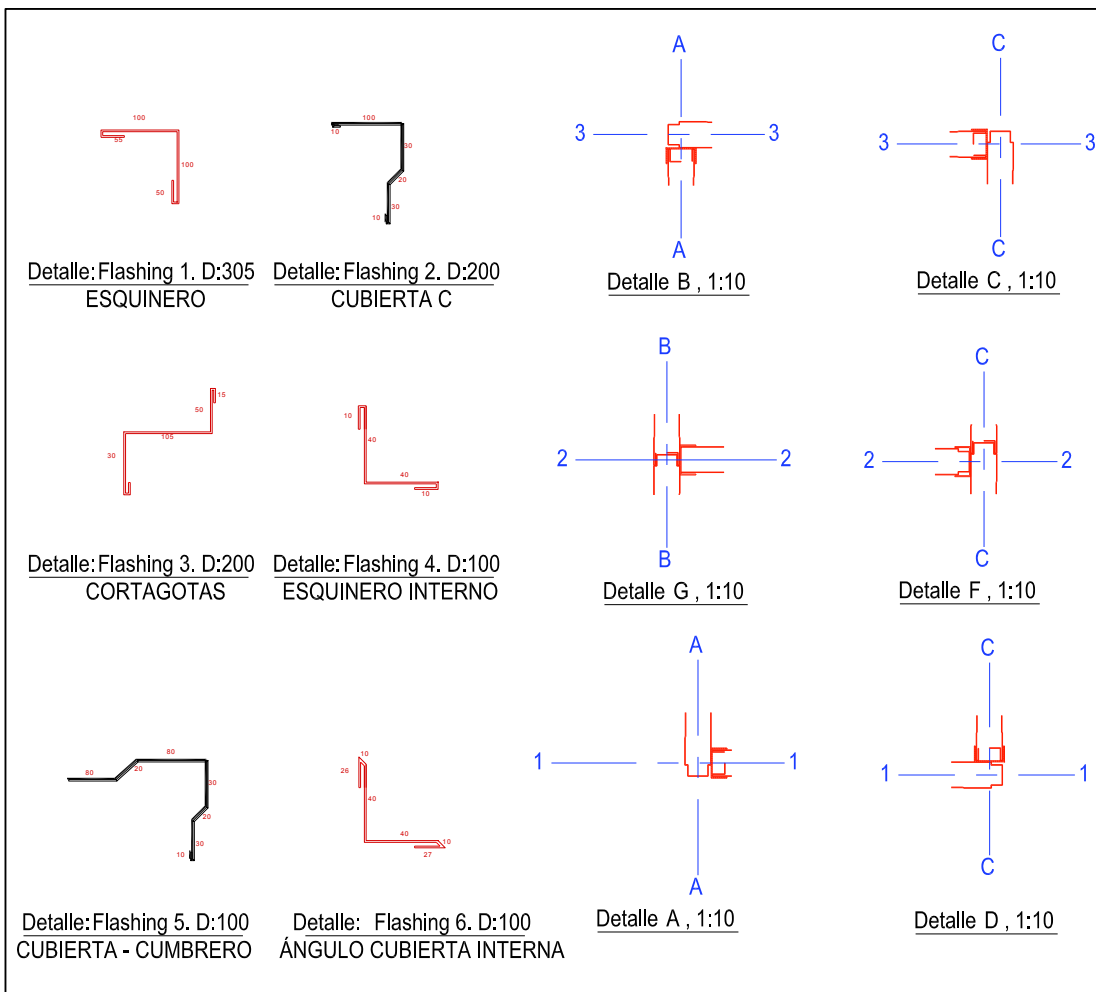
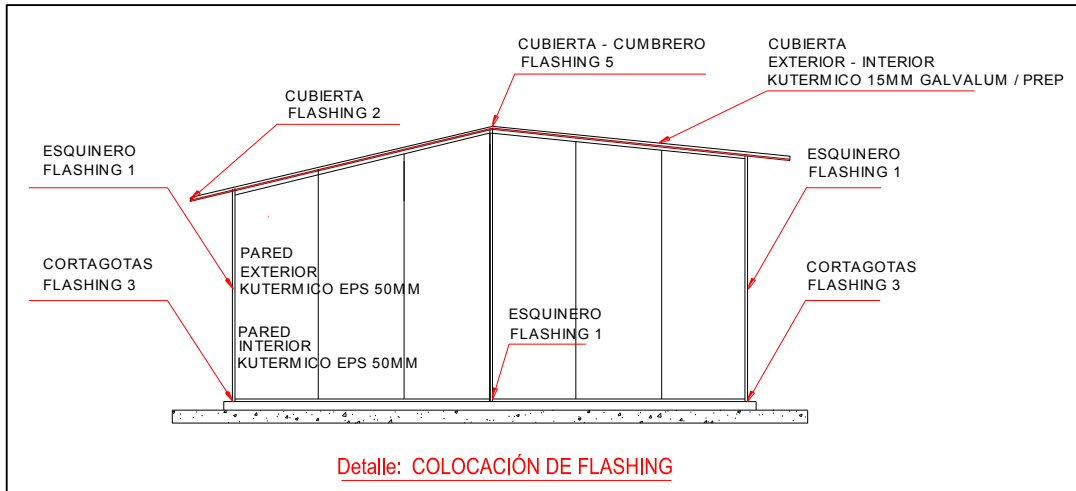
ANEXO No. 1
PLANOS DE LA VIVIENDA

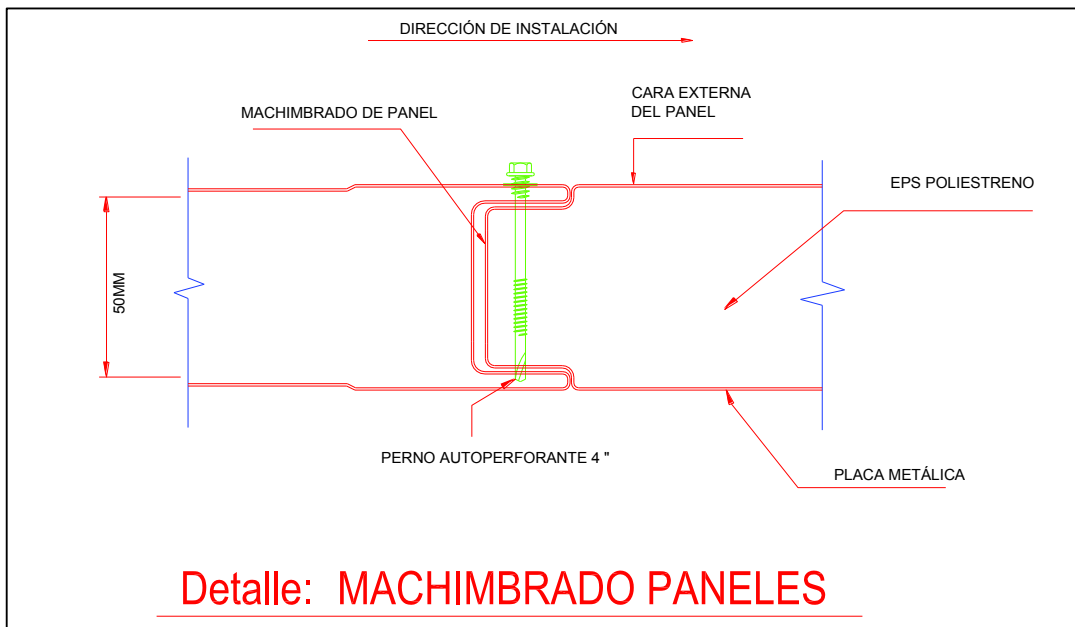
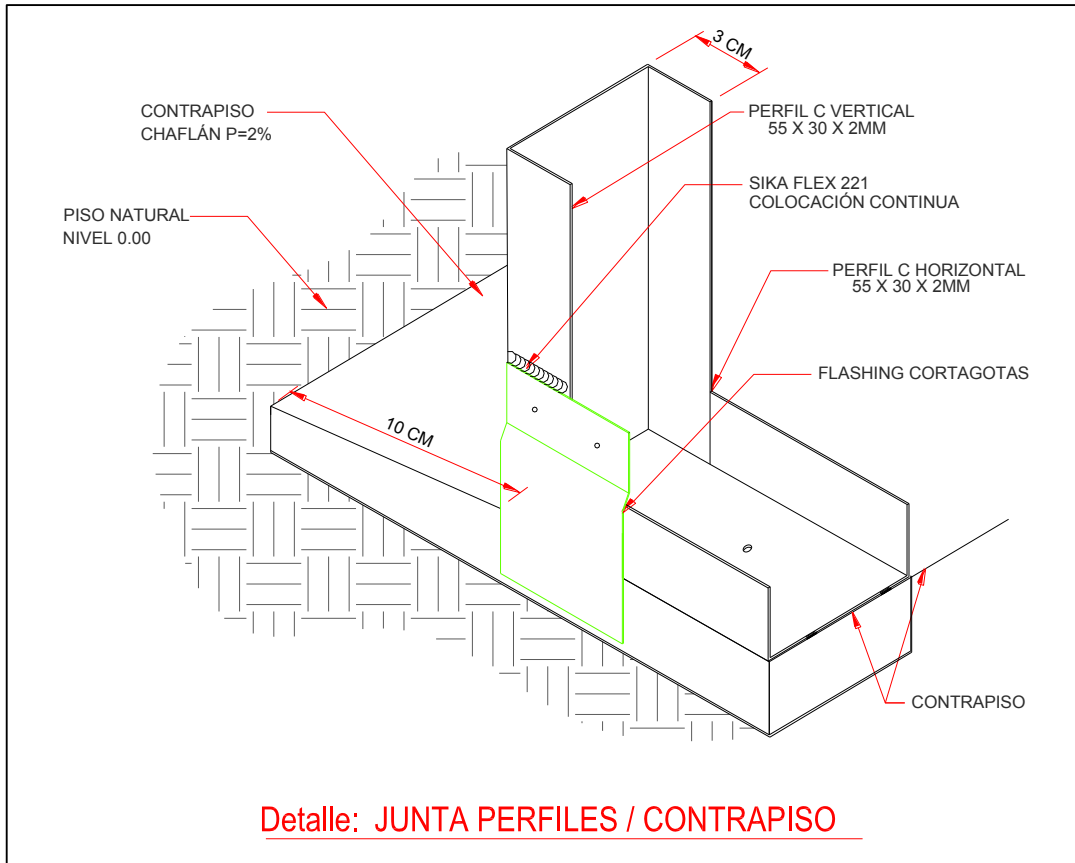


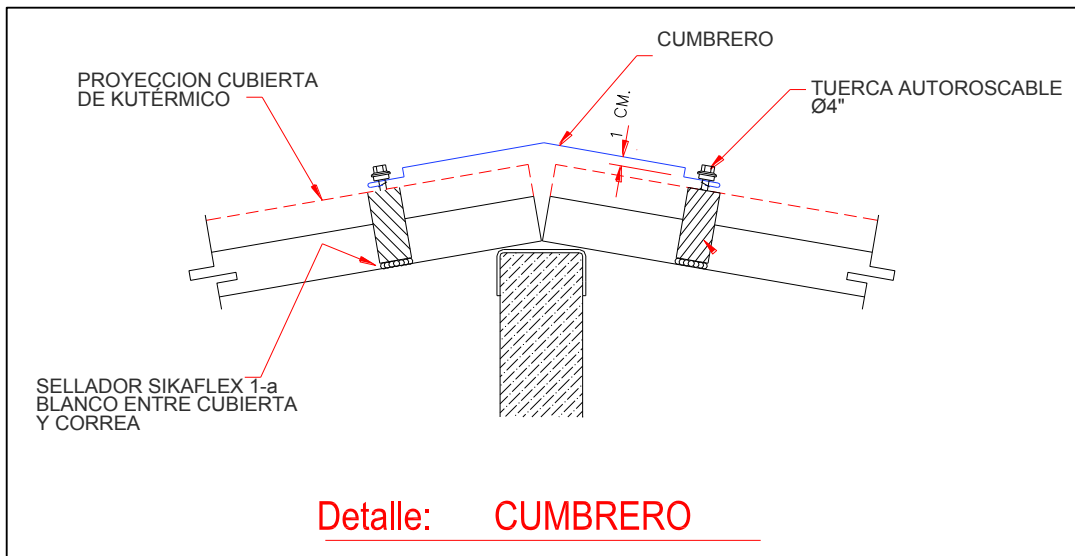
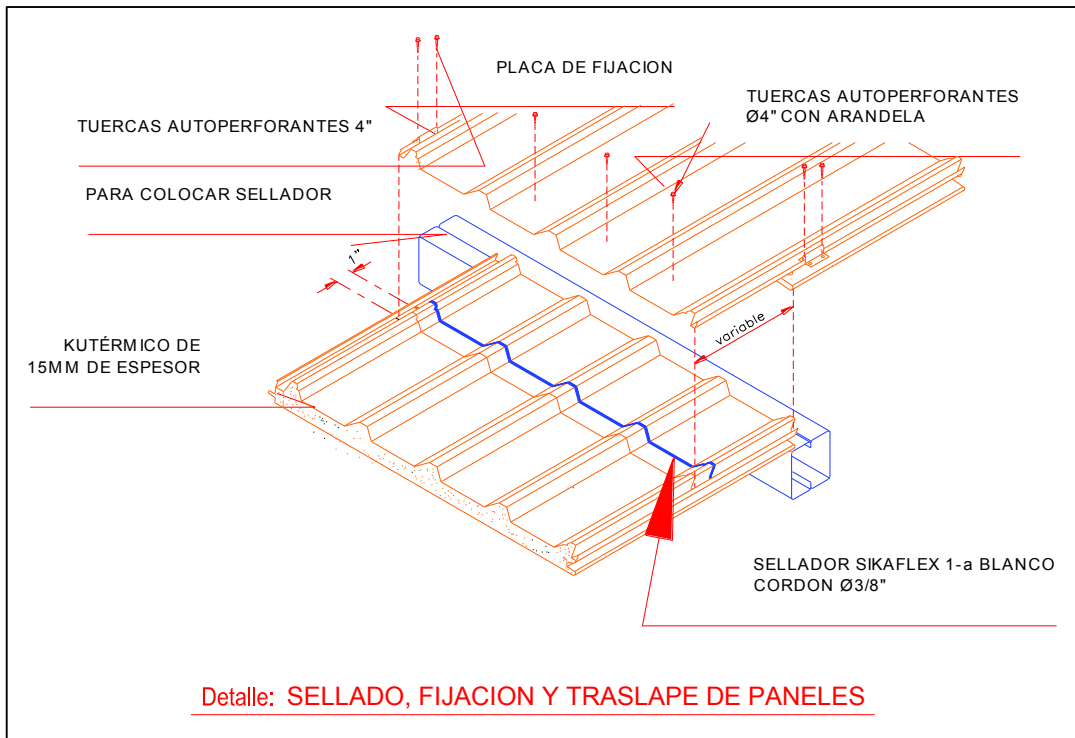


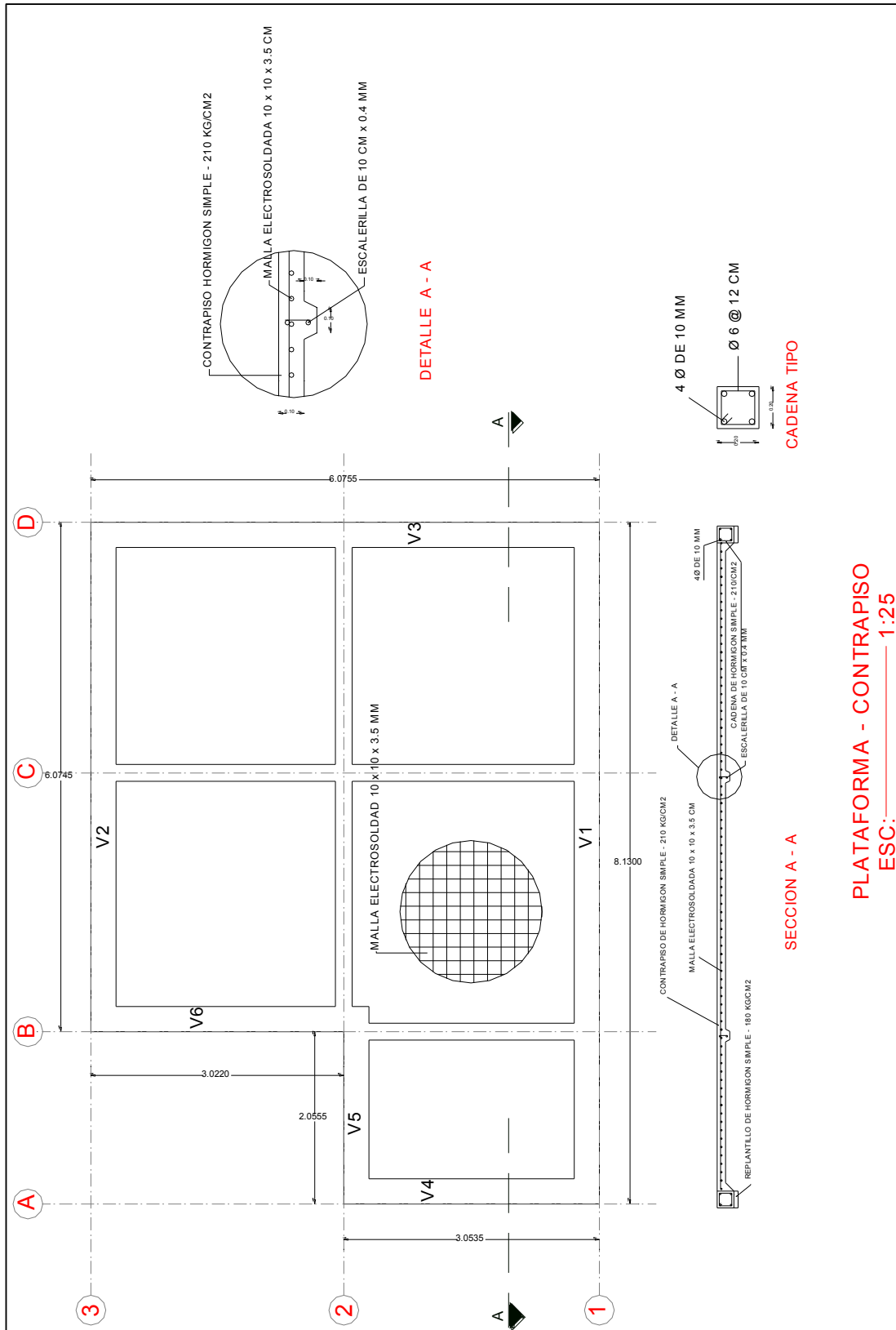
PLANTA DE CUBEIRTA
ESC: 1:100

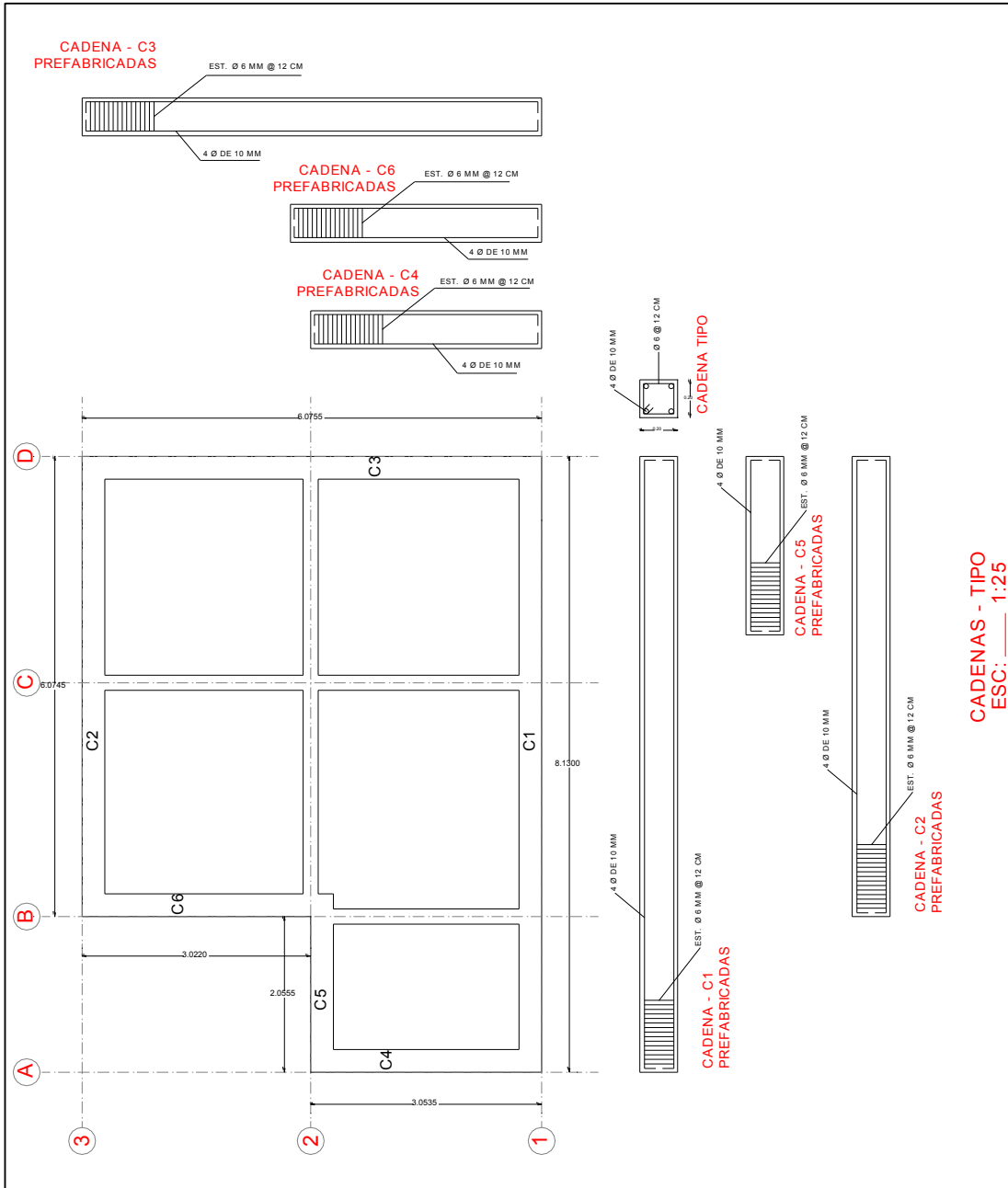












ANEXO No. 2
RESULTADOS DE ENSAYO DE MATERIALES

Ensayo de Densidad

PROBETA	MEDICIÓN INICIAL				MEDICIÓN FINAL				CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega\%$	PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD $\omega\%$	DENSIDAD (gr/cm ³)	PROMEDIO DENSIDAD (gr/cm ³)	PESO PANEL (kg/m ²)
	PESO (gr)	DIMENSIONES (cm)			PESO (gr)	DIMENSIONES (cm)							
		Largo	Ancho	Espesor		Largo	Ancho	Espesor					
EPS-1	735.00	29.60	29.95	5.03	686.30	29.60	29.95	2.29	7.10	5.72	0.34	0.29	8.17
EPS-2	703.50	29.83	29.17	5.11	678.50	29.83	29.17	2.43	3.68		0.32		
EPS-3	713.90	30.07	29.47	5.12	685.50	30.07	29.47	3.69	4.14		0.21		
EPS-4	718.60	29.83	29.33	5.07	673.00	29.83	29.33	2.51	6.78		0.31		
EPS-5	725.10	29.87	29.53	5.13	678.30	29.87	29.53	2.64	6.90		0.29		
PIR-1	363.60	32.10	16.47	1.83	362.20	32.10	16.47	1.83	0.39	0.53	0.37	0.37	6.89
PIR-2	387.30	32.23	17.53	1.87	384.80	32.23	17.53	1.87	0.65		0.36		
PIR-3	388.50	32.50	17.50	1.87	385.80	32.50	17.50	1.87	0.70		0.36		
PIR-4	389.30	32.57	17.07	1.80	387.70	32.57	17.07	1.80	0.41		0.39		
PIR-5	425.50	35.03	17.73	1.77	423.30	35.03	17.73	1.77	0.52		0.39		

PROBETA	PESO (gr)				DIMENSIONES (cm)			DENSIDAD ACERO (gr/cm ³)	DENSIDAD ACERO (gr/cm ³)	DENSIDAD ESPUMA (gr/cm ³)	DENSIDAD ESPUMA (gr/cm ³)
	Lámina 1	Lámina 2	Espuma	Sándwich	Largo	Ancho	Espesor				
EPS-1	211.10	244.20	68.30	523.60	34.60	19.80	5.00	8.31	8.440	0.020	0.019
EPS-2	248.80	219.60	59.30	527.70	34.80	19.80	4.96	8.50		0.017	
EPS-3	217.20	248.20	66.40	531.80	34.50	19.80	5.00	8.52		0.019	
PIR-1	169.00	163.10	30.10	362.20	32.10	16.47	1.83	7.85	7.626	0.031	0.039
PIR-2	166.00	173.80	45.20	385.00	32.23	17.53	1.87	7.52		0.043	
PIR-3	166.30	175.30	44.70	386.30	32.50	17.50	1.87	7.51		0.042	

Ensayo de Corte

EPS										
PROBETA	1		2		3		4		5	
Largo (cm)	64.50		65.00		64.60		64.70		64.70	
Ancho (cm)	20.00		20.00		19.70		19.30		19.50	
Espesor (cm)	4.94		5.00		5.00		5.20		4.98	
	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)
	16.750	0.545	33.653	0.018	21.579	0.125	33.653	0.373	23.994	0.000
	19.165	0.956	36.068	0.639	36.068	0.444	36.068	0.589	36.067	0.563
	21.580	1.166	40.898	1.082	33.653	0.435	38.482	0.813	40.896	0.829
	21.580	1.444	57.802	1.657	36.068	0.476	45.726	0.967	65.042	2.402
	22.165	1.706	72.291	2.902	86.776	4.024	76.362	2.648	89.188	4.266
	23.995	2.065	106.854	5.168	108.509	6.596	98.850	4.219	108.504	6.082
	26.410	2.431	120.587	6.324			108.509	5.719	120.577	7.905
	28.825	2.913	128.002	7.496			113.338	7.106	127.821	9.728
	28.825	13.791	137.491	10.216			115.753	8.277	132.650	11.523
	31.240	17.202	137.491	16.609			118.167	9.673	135.065	13.318
	31.240	41.626	120.587	19.635			113.338	11.037	127.821	18.800
	26.410	41.469	106.098	22.706			67.459	11.975	122.992	20.649

PIR										
PROBETA	1		2		3		4		5	
Largo (cm)	20.34		19.84		20.02		19.98		20.00	
Ancho (cm)	8.68		8.64		8.20		8.40		8.65	
Espesor (cm)	1.80		1.86		1.82		1.85		1.72	
	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)
	0.000	0.000	2.000	0.118	2.000	0.011	9.239	0.009	4.413	0.002
	2.000	0.146	14.064	0.273	6.826	0.007	16.477	0.172	6.826	0.009
	6.826	0.193	21.303	0.404	11.651	0.029	18.890	0.272	11.651	0.018
	11.652	0.222	28.542	0.615	14.064	0.039	23.716	0.352	30.954	0.068
	14.065	0.235	47.845	0.892	16.477	0.065	26.129	0.475	38.193	0.081
	16.478	0.251	62.321	1.159	18.890	0.094	33.368	0.608	45.431	0.094
	18.891	0.294	76.798	1.418	21.303	0.120	40.606	0.750	47.844	0.108
	21.304	0.337	81.624	1.664	23.716	0.137	43.019	0.891	52.670	0.127
	23.717	0.412	88.862	1.904	26.128	0.152	47.845	1.024	59.908	0.243
	26.130	0.436	96.101	2.122	30.954	0.164	50.258	1.150	62.321	0.287
	28.542	0.486	100.926	2.333	33.367	0.203	55.084	1.269	76.798	0.938
	33.368	0.510	103.339	2.522	35.780	0.230	69.561	1.611	79.211	1.197
	35.781	0.560	112.990	3.060	38.193	0.251	71.974	1.814	81.624	1.580
	38.194	0.584	112.990	4.239	40.605	0.316	79.213	2.335	84.036	1.977
	45.433	0.797	114.578	4.400	55.082	0.547	81.626	2.485	88.862	2.265
	55.085	1.047	115.403	5.375	59.908	0.755	85.538	2.878	91.273	2.569
	69.563	1.254	127.467	6.008	62.321	0.861	86.451	2.938	96.098	3.213
	79.214	1.516	117.816	6.585	64.734	0.984	88.642	2.996	98.511	3.555
	81.627	1.862			69.559	1.247	91.277	3.572	96.098	3.910
	86.453	2.265			78.000	2.000	93.690	4.786	98.511	4.649
	88.866	2.699			80.000	3.034	91.277	6.286	98.511	5.447
	91.279	3.150			80.200	3.500	93.690	6.650	96.098	5.853
	91.279	3.455			81.000	3.700	93.690	6.832	84.034	6.217
	93.692	3.612			81.200	4.000	96.103	7.195	79.209	6.296
	96.105	3.771			81.500	5.093	98.516	7.552	76.796	6.298
	96.105	3.935			81.624	5.524	96.103	8.093	79.209	6.300
	98.518	4.612			69.559	6.037	98.516	8.279		
	100.931	5.298			79.211	6.506				

Ensayo de Compresión Perpendicular

EPS										
PROBETA	1		2		3		4		5	
Largo (cm)	5.08		4.71		4.95		5.71		5.27	
Ancho (cm)	4.72		4.8		5.92		5.54		4.91	
Espesor (cm)	5.2		5.17		5.23		5.26		5.15	
	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.102	0.090	0.204	0.080	0.510	0.130	1.428	0.310	0.714	0.170
	0.714	0.170	0.918	0.110	1.224	0.230	2.243	0.460	1.937	0.440
	1.122	0.280	1.530	0.240	1.937	0.320	3.161	0.650	3.059	0.660
	1.530	0.360	2.243	0.370	2.651	0.420	3.977	0.880	3.875	0.900
	1.733	0.460	2.651	0.480	2.957	0.500	4.895	1.090	4.385	1.040
	1.937	0.570	2.957	0.560	3.365	0.570	5.812	1.280	5.099	1.480
	2.039	0.670	3.161	0.650	4.079	0.710	6.832	1.490	6.118	1.780
	2.141	0.770	3.263	0.740	4.589	0.810	7.750	1.680	6.730	2.080
	2.243	0.870	3.365	0.830	4.997	0.910	8.565	1.890	7.036	2.260
	2.345	0.970	3.467	0.950	5.506	1.010	9.381	2.100	7.342	2.490
	2.447	1.050	3.569	1.050	5.914	1.120	9.993	2.300	7.648	2.760
	2.549	1.170	3.569	1.130	6.220	1.200	10.503	2.490	7.852	2.910
	2.651	1.260	3.671	1.210	6.628	1.310	11.013	2.790	7.954	3.120
	2.753	1.370	3.773	1.320	7.036	1.410	11.319	2.940	7.954	3.380
	2.855	1.450	3.875	1.410	7.444	1.520	11.727	3.160	8.260	3.520
	2.957	1.560	4.079	1.620	7.852	1.620	12.032	3.370	8.667	3.720
	3.059	1.660	4.079	1.710	8.260	1.690	12.338	3.550	8.871	3.950
	3.059	1.760	4.181	1.800	8.667	1.800	12.542	3.780		
	5.099	2.630	5.710	2.290	12.134	2.690				
	5.812	3.560	6.628	3.380	14.174	3.780				
	6.730	4.680	7.444	4.470	15.397	4.890				
	7.546	5.790	8.158	5.500	16.621	5.980				
	10.401	8.230	10.605	7.620	19.272	7.970				
	12.236	10.700	12.440	10.200	21.822	10.920				
	14.684	13.460	14.786	12.920	24.269	13.590				
	18.355	16.910	16.927	15.530	26.614	16.040				
	23.351	21.130	21.516	19.550	29.163	18.760				
	29.571	25.300	26.308	23.750	32.426	21.370				
	38.341	29.680	32.834	27.760						
	49.150	33.750								

PIR										
PROBETA	1		2		3		4		5	
Largo (cm)	3.7		3.6		3.5		3.93		3.74	
Ancho (cm)	3.6		3.6		3.7		3.76		3.68	
Espesor (cm)	1.9		1.8		1.9		1.74		1.72	
	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.102	0.020	0.102	0.030	0.102	0.030	0.102	0.020	2.651	0.210
	0.510	0.070	0.612	0.090	0.714	0.090	0.611	0.070	4.385	0.380
	1.020	0.120	1.224	0.150	1.224	0.150	1.020	0.110	6.934	0.570
	1.530	0.180	1.835	0.200	2.039	0.190	4.895	0.500	8.260	0.800
	1.937	0.230	2.243	0.250	2.345	0.260	6.526	0.730	10.095	0.970
	2.345	0.270	2.957	0.300	2.855	0.310	8.158	0.930	11.625	1.160
	2.855	0.330	3.365	0.370	3.263	0.360	9.891	1.130	13.052	1.380
	3.263	0.390	3.977	0.410	3.671	0.420	11.319	1.330	14.072	1.570
	3.671	0.450	4.589	0.470	4.181	0.480	12.542	1.580	14.582	1.790
	4.079	0.490	4.997	0.520	4.589	0.530	13.562	1.740	14.990	2.010
	4.385	0.550	5.506	0.570	5.099	0.580	14.174	1.980	15.296	2.250
	4.793	0.610	5.914	0.630	5.506	0.640	14.582	2.180	15.499	2.420
	5.200	0.670	6.526	0.680	6.528	0.730	14.888	2.330	15.805	2.640
	5.506	0.740	7.036	0.740	6.832	0.820	15.194	2.600	15.703	2.840
	5.914	0.780	7.648	0.790	7.240	0.870	15.397	2.740	16.111	3.050
	6.220	0.830	8.056	0.840	7.750	0.970	15.703	2.950	16.417	3.230
	6.730	0.920	8.973	0.950	8.464	1.100	16.009	3.180	16.621	3.430
	7.444	1.080	9.891	1.060	9.075	1.200	16.315	3.360	16.825	3.620
	7.954	1.160	11.115	1.170	9.585	1.330	16.621	3.580		
	8.464	1.260	12.236	1.290	9.993	1.430	16.927	3.790		
	9.075	1.370	13.154	1.380	10.503	1.560				
	9.483	1.480	13.970	1.500	10.809	1.660				
	9.993	1.590	14.582	1.610	11.115	1.780				
	10.503	1.710	15.092	1.720	11.319	1.890				
	10.911	1.820	15.601	1.830	11.523	1.990				
	11.319	1.920	16.111	1.930						

Ensayo de Compresión Paralela

EPS										
PROBETA	1		2		3		4		5	
Largo (cm)	35.00		34.80		34.50		34.80		34.60	
Ancho (cm)	19.30		20.50		19.70		19.80		19.80	
Espesor (cm)	4.96		5.12		5.04		4.96		4.96	
	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)
	89.381	0.097	23.872	0.023	60.386	0.113	0.000	0.000	38.644	0.008
	224.659	0.384	101.173	0.083	74.879	0.231	33.815	0.061	84.533	0.086
	326.118	0.712	163.979	0.314	89.372	0.351	82.122	0.345	135.253	0.286
	391.342	1.047	214.707	0.527	113.527	0.505	156.997	0.644	219.786	0.966
	434.825	1.369	231.617	0.807	128.019	0.648	224.627	0.942	246.353	1.207
	461.397	1.702	265.436	0.975	147.343	0.798	286.026	1.673	268.090	1.461
	502.464	1.996	289.592	1.186	164.251	0.969	324.672	1.970	270.505	1.791
	545.946	2.270	323.411	1.384	200.000	1.154	329.502	2.288	275.336	2.052
	577.350	2.550	342.736	1.602	270.000	1.851	346.410	2.569	272.921	2.327
	256.063	2.018	320.995	1.859	298.000	2.629	358.487	2.814	294.658	2.528
	277.805	2.223	221.954	2.016	381.643	4.150	351.241	3.046	301.903	2.762
	219.828	2.194	144.654	2.064	422.705	4.922	353.656	3.297	289.827	2.942
	169.098	1.797	115.666	2.200	454.106	5.670	358.487	3.599	277.744	3.114
	157.020	1.693	103.588	2.185	485.507	6.072	318.825	3.877	265.668	3.294
					519.324	6.440				
					557.971	6.880				

PIR										
PROBETA	1		2		3		4		5	
Largo (cm)	11.84		11.50		12.04		12.04		11.76	
Ancho (cm)	8.70		8.66		8.66		7.90		8.40	
Espesor (cm)	1.80		1.80		1.96		1.90		1.88	
	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)
	0.000	0.049	0.000	0.092	0.000	0.009	0.000	0.004	2.415	0.005
	4.833	0.261	4.832	1.171	2.415	0.008	14.491	0.126	7.245	0.064
	7.249	0.360	7.248	1.427	9.661	0.085	21.737	0.218	9.660	0.144
	14.498	0.401	14.495	1.488	19.322	0.433	70.040	0.396	19.319	0.380
	19.331	0.425	31.406	1.534	33.814	0.713	130.419	0.567	31.393	0.440
	28.996	0.476	60.397	1.537	65.213	0.993	135.249	0.705	62.787	0.592
	43.494	0.545	67.644	1.857	77.289	1.166	132.834	0.825	77.276	0.626
	57.992	0.659	82.139	1.810	84.492	1.676	120.758	0.967	96.595	0.660
	65.241	0.819	91.803	1.682	86.229	1.724	108.683	1.136	113.499	0.706
	70.074	0.868	99.051	1.555	87.628	1.831	101.437	1.307	123.159	0.778
	72.490	0.949			94.196	1.958	94.192	1.586	127.988	0.888
					113.518	1.987	86.946	1.724	140.063	1.000
					118.349	1.999	67.625	1.903	154.552	1.109
							72.455	2.037	154.552	1.204

Ensayo de Flexión

EPS						
PROBETA	1		2		3	
Largo (cm)	250.50		250.40		250.40	
Ancho (cm)	99.50		100.00		100.00	
Espesor (cm)	4.99		4.99		4.98	
	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)
	45.000	0.148	45.000	0.053	47.413	1.352
	49.826	0.282	47.413	0.074	64.302	1.864
	73.953	1.112	47.413	0.098	95.668	3.164
	95.668	2.250	47.413	0.125	143.924	5.179
	131.860	3.528	49.825	0.194	192.179	7.161
	158.401	4.880	49.825	0.279	235.609	9.163
	182.528	6.238	59.476	0.317	269.388	10.824
	209.069	7.923	73.952	0.979	303.167	13.620
	221.133	9.688	98.079	1.663	332.121	15.783
	223.546	11.576	117.380	2.349	139.098	24.366
	235.609	13.729	139.094	3.036	83.604	30.115
	242.848	16.258	155.982	3.748	83.604	33.540
	233.197	19.085	175.284	4.454	76.366	35.273
	228.380	21.911	187.347	5.171	71.541	35.411
	211.490	24.963	223.537	6.383		
	177.709	28.372	266.965	8.192		








PIR						
PROBETA	1		2		3	
Largo (cm)	299.5		298		299.5	
Ancho (cm)	100		100		100	
Espesor (cm)	18.2		18.43		18.2	
	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)
	42.578	-1.081	45.000	0.062	45.000	-0.004
	49.843	-0.017	47.417	0.073	47.414	0.030
	54.686	0.639	47.417	0.218	73.972	2.991
	61.950	1.484	59.500	1.445	136.743	9.290
	74.057	2.550	81.251	3.677	197.100	15.854
	83.743	3.776	115.086	7.186	259.872	22.424
	100.693	5.185	153.753	11.434	242.972	29.390
	115.221	6.693	197.255	15.729	235.729	37.385
	134.593	8.430	240.756	20.071	262.286	44.803
	156.386	10.211	264.924	24.972	286.429	52.033
	173.336	12.036	245.590	40.220	158.472	62.409
	187.864	13.895	269.757	47.624	129.504	71.576
	195.128	15.949	146.503	57.815	110.189	80.189
	199.971	17.781	132.003	67.554	112.603	88.185
	236.214	23.313	139.253	76.766	100.531	92.721
	241.055	25.646	132.003	86.860	98.117	92.766
	255.577	35.425	88.501	96.472	95.703	92.771
	270.100	39.345	83.668	96.547	93.288	92.753
	294.304	43.571	78.834	96.554	90.874	92.765
	308.827	48.037				
	320.929	53.632				








Ensayo de Tracción Diagonal

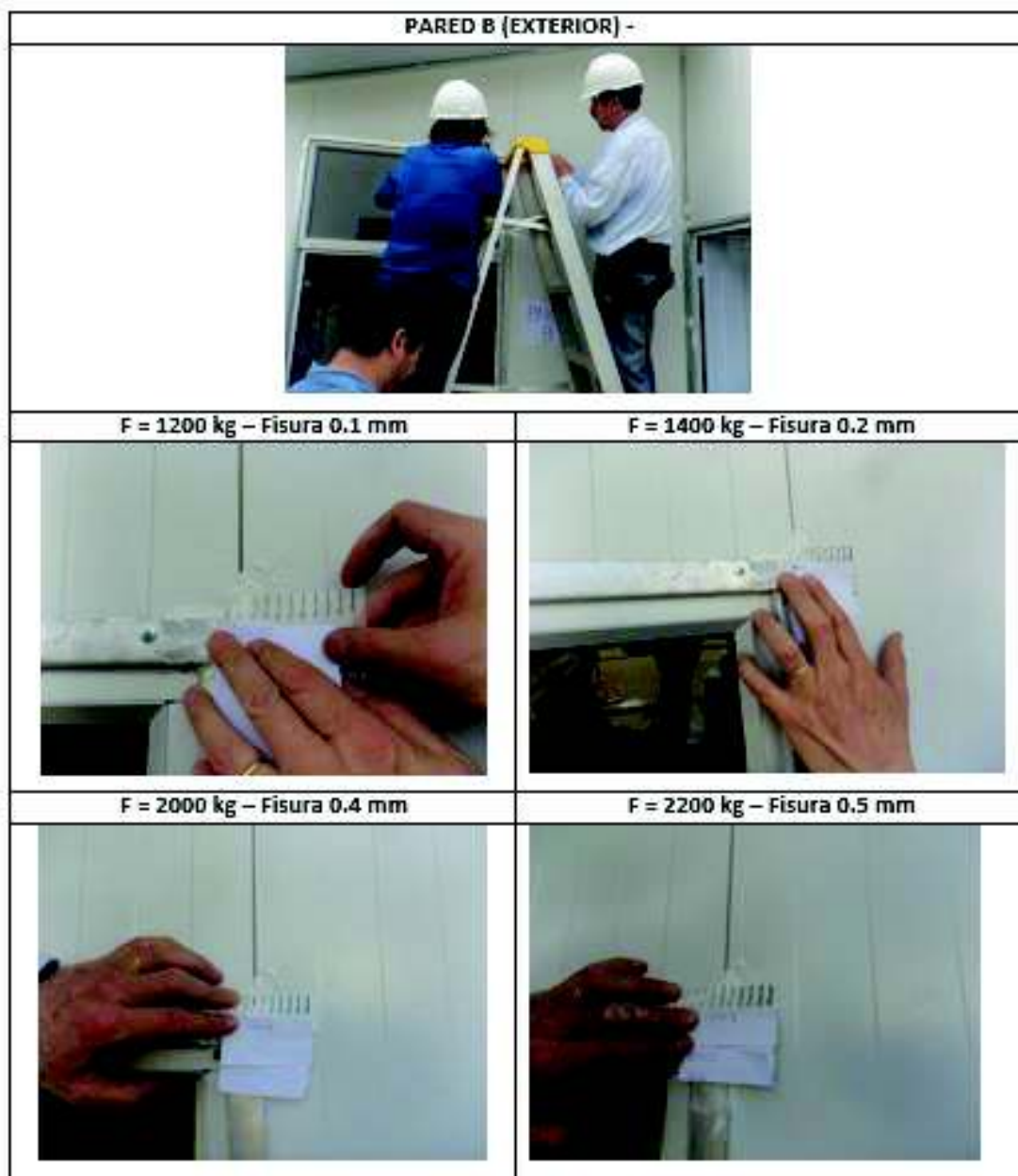
EPS						
PROBETA	1		2		3	
Largo (cm)	100		99.4		100	
Ancho (cm)	100		99.7		100	
Espesor (cm)	4.99		5		4.99	
	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Carga (kg)	Deformación (mm)
	4.836	-0.014	31.415	0.000	7.248	-0.012
	0.000	-0.015	36.248	0.159	16.911	0.014
	2.418	-0.017	44.497	0.272	21.743	0.030
	7.253	0.005	50.747	0.520	43.487	0.248
	12.089	0.008	57.996	0.720	91.805	0.963
	12.089	0.027	70.079	1.042	106.301	1.388
	16.925	0.067	82.161	1.376	130.460	2.850
	33.849	0.156	91.827	1.722	137.708	3.555
	55.609	0.416	111.159	2.337	157.035	7.672
	72.534	0.780	119.992	3.022	171.531	9.221
	82.205	1.151	128.075	3.955	181.194	12.364
	101.547	2.121	147.407	6.602	198.106	13.892
	118.472	2.727	164.323	13.144	210.186	15.398
	130.561	3.338	154.657	16.334	215.017	16.979
	142.650	4.147	120.825	18.153	222.265	18.590
	144.650	4.975	115.992	19.412	234.345	19.997
	152.321	8.581	111.159	20.939	231.929	21.206
	165.157	10.718	99.077	21.899	236.761	22.738
	207.930	14.902	91.827	21.905	207.770	25.104
	258.704	18.918	89.411	21.909	152.203	27.972

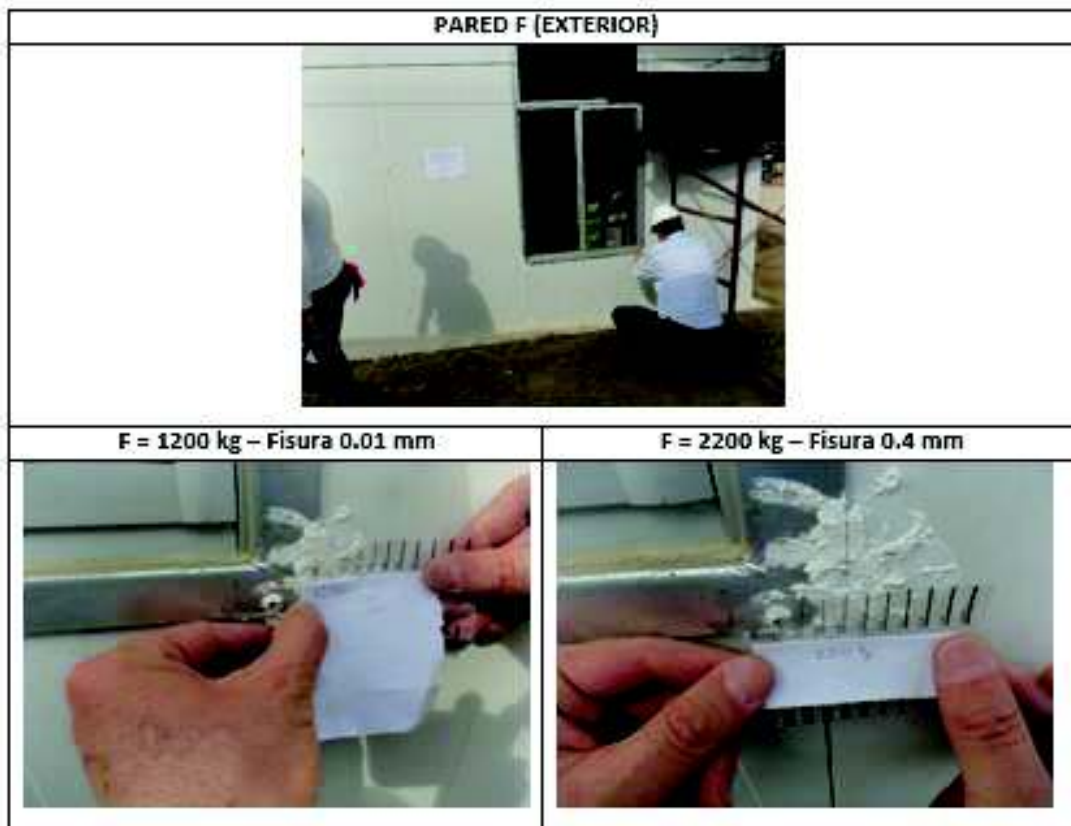
ANEXO No. 3







MONITOREO DE FISURAS EN TESTIGOS DE YESO

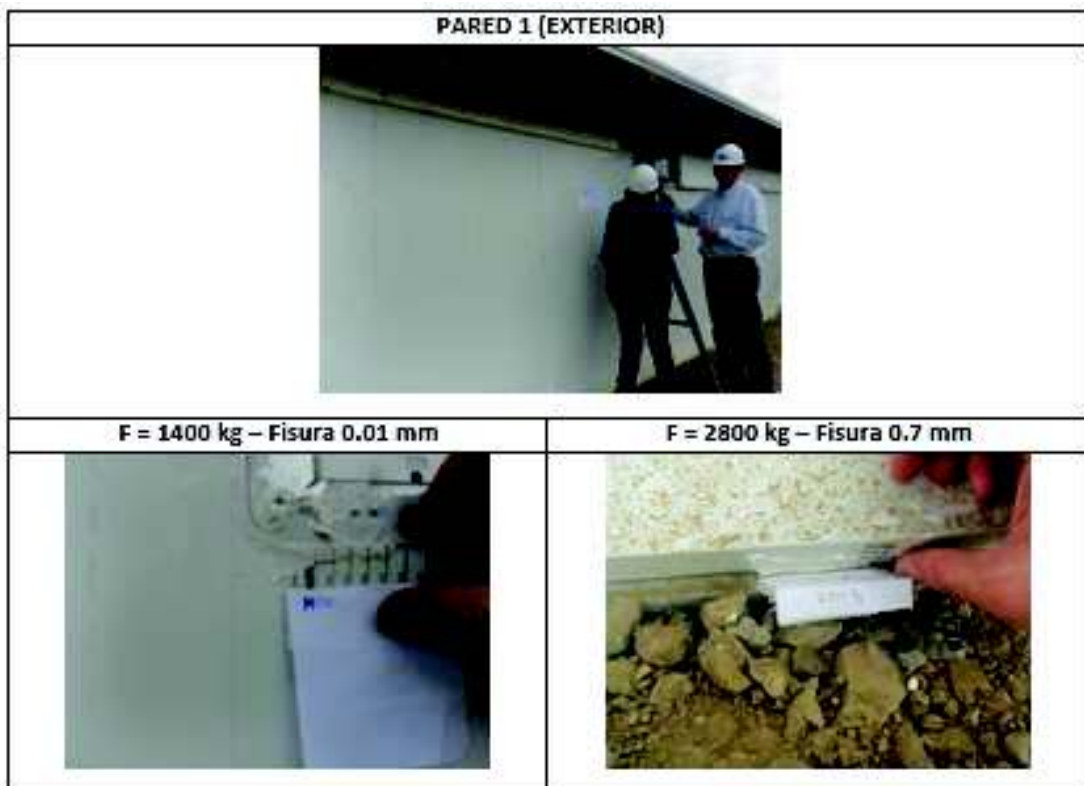
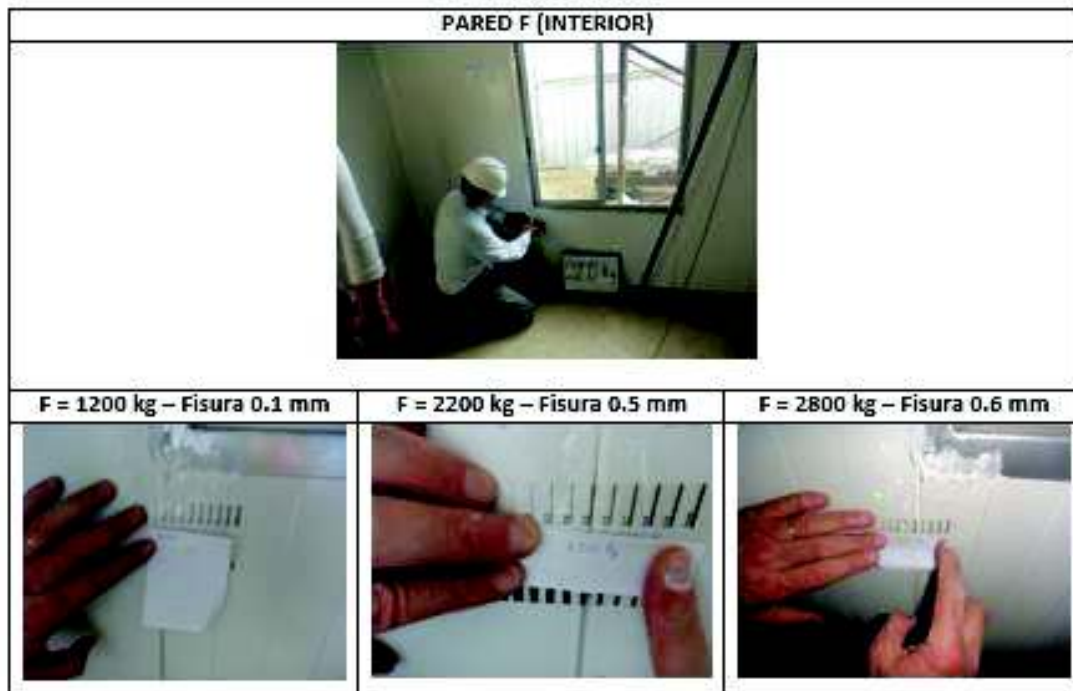
PARED A (INTERIOR) -	
	
F = 1000 kg – Fisura 0.3 mm	F = 1200 kg – Fisura 0.4 mm
	
F = 1800 kg – Fisura 0.5 mm	F = 2000 kg – Fisura 0.5 mm
	
F = 2200 kg – Fisura 0.7 mm	F = 2800 kg – Fisura 1 mm
	






PARED A (EXTERIOR) -	
	
F = 1200 kg – Fisura 0.2 mm	F = 1400 kg – Fisura 0.2 mm
	
F = 1800 kg – Fisura 0.4 mm	F = 2800 kg – Fisura 1 mm
	
F = 1200 kg – Fisura 0.1 mm	
	





PARED F (EXTERIOR) -	
	
F = 1200 kg – Fisura 0.1 mm	F = 2200 kg – Fisura 0.5 mm
	
PARED F (INTERIOR) -	
	
F = 1400 kg – Fisura 0.1 mm	F = 2200 kg – Fisura 0.3 mm
	



PARED 2 - CUBIERTA	
	
F = 2200 kg – Fisura 0.1 mm	F = 2800 kg – Fisura 0.4 mm
	
F = 2200 kg – Fisura 0.3 mm	F = 2800 kg – Fisura 0.6 mm
	

ANEXO No. 4

**PARÁMETROS QUE SE UTILIZAN PARA EL
PROCESAMIENTO DE DATOS- MEDICIÓN DE
VIBRACIONES AMBIENTALES**

PROCESAMIENTO DE DATOS DE SENSORES

Parámetros

- Tiempo de grabación de al menos quince minutos, de acuerdo a Cantieni, 2005 [2], que recomienda que se debe tener una longitud de medición no menor a 1000 veces el periodo de vibración.
- La frecuencia de medición se ajustó en 400 pulsaciones por segundo, ya que esta se considera suficiente para observar las frecuencias en el rango de interés. La frecuencia de Nyquist es $F_s/2$, es decir se puede estudiar frecuencias de hasta 200 Hz.
- Se utiliza el algoritmo STALTA con el fin de rechazar señales ajenas a la estructura y un Tapper al inicio y final de cada ventana, aplicando la función Tukey con un porcentaje de r igual a 5%.
- Se utilizó un filtro pasabandas de tipo butterworth entre 0.5 y 35 Hz debido a que las frecuencias esperadas para la estructura se encuentran en esos rangos.
- La señal filtrada en ambas direcciones fue separada en segmentos de 25s, de los que se obtiene los espectros de Fourier. Estos espectros son suavizados utilizando el método denominado "Konno & Ohmachi", que consiste en dividir la muestra en "n" número de subconjuntos mediante la función:

$$w_b(f, f_c) = \frac{\left[\sin \left(\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_c} \right) \right)^b \right) \right]^4}{\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_c} \right) \right)^b}$$

Donde f es la frecuencia, f_c es la frecuencia central en donde se realiza el suavizado y b es el coeficiente de ancho de banda. [3] Este suavizado es controlado por una constante de suavizado b . En este estudio se utilizó un valor de b igual a 40, con el cual se puede observar de forma clara los picos de interés.

FUENTE: (Parra & Sarango, 2016)