

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACION DEL USO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS, BASADOS EN  
ELECTROPANEL DE POLIESTIRENO EXPANDIDOS, ONDULADO Y REFORZADO  
CON ELECTROMALLA DE ACERO GALVANIZADO Y RETICULADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JUAN BORMAN EMANUEL LÓPEZ RIVERA**  
ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JULIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

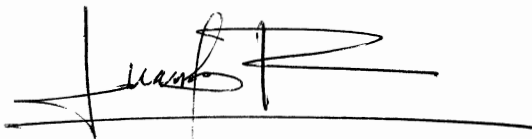
DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Montenegro Paiz
EXAMINADOR	Ing. José Eduardo Ramírez Saravia
EXAMINADOR	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illezcas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACION DEL USO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS, BASADOS EN ELECTROPANEL DE POLIESTIRENO EXPANDIDOS, ONDULADO Y REFORZADO CON ELECTROMALLA DE ACERO GALVANIZADO Y RETICULADO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2011.



Juan Borman Emanuel López Rivera



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, febrero de 2012.

Ingeniero  
Guillermo Mellini  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Mellini:

Por medio de la presente, le informo que he asesorado y revisado el trabajo de graduación, con título: EVALUACION DEL USO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS BASADOS EN ELECTROPANEL DE POLIESTIRENO EXPANDIDOS, ONDULADO Y REFORZADO CON ELECTROMALLA DE ACERO GALVANIZADO Y RETICULADO, desarrollado por el estudiante Juan Borman Emanuel López Rivera, con carné: 8812192. El cual satisface los objetivos del mismo.

Al agradecer su amable atención y colaboración, me suscribo atentamente.

Mario Rodolfo Corzo Ávila  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 2089

Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila  
No. de colegiado: 2089  
Jefe de la Sección de Estructuras

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
SECCIÓN  
ESTRUCTURAS  
GUATEMALA, C.A.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,  
13 de abril de 2012

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación EVALUACIÓN DEL USO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS BASADOS EN ELECTROPANEL DE POLIESTIRENO EXPANDIDOS, ONDULADO Y REFORZADO CON ELECTROMALLA DE ACERO GALVANIZADO Y RETICULADO desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Juan Borman Emanuel López Rivera, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante López Rivera, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Juan Borman Emanuel López Rivera, titulado **EVALUACIÓN DEL USO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS BASADOS EN ELECTROPANEL DE POLIESTIRENO EXPANDIDOS, ONDULADO Y REFORZADO CON ELECTROMALLA DE ACERO GALVANIZADO Y RETICULADO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio de 2012.

/bbdeb.



DTG. 337 .2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL USO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS, BASADOS EN ELECTROPANEL DE POLIESTIRENO EXPANDIDOS, ONDULADO Y REFORZADO CON ELECTROMALLA DE ACERO GALVANIZADO Y RETICULADO**, presentado por el estudiante universitario **Juan Borman Emanuel López Rivera**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 16 de julio de 2012

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Soberano de los reyes de la tierra, tú que reinas por los siglos de los siglos. Pero en cuanto a mí, el acercarme a Dios es el bien; he puesto en Jehová el Señor mi esperanza, para contar todas tus obras. (Salmo 73:28). Gracias por tu hijo Jesucristo a quien has enviado para salvarnos. (Ef. 2:8)

### **Mis padres**

Francisco Horacio López Muñoz.

Mary de Jesús Rivera de López.

Por haber dedicado su vida a educarme, han sido el mejor modelo para mi vida. Sin ustedes hubiera sido imposible realizar este proyecto. Eternamente habitarán en mi corazón.

### **Mi esposa**

Deisy Janeth. Eres el regalo más dulce y poderoso que Dios me ha dado. "Casa y riqueza son herencia de los padres, pero la mujer prudente viene del Señor" (LBLA. Proverbios 19:14).

### **A mis hijos**

Juan Andrés, Derek, Luz María, Juan David, me hacen muy feliz y me han motivado a ser un mejor padre. Son mi mejor herencia.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Mis hermanos</b>	Olga, Ruvita, Nahúm, Verónica, América, Miguel Angel, Edgar y Julio. Por su amor incondicional y nuestra unidad familiar.
<b>Mis suegros</b>	Edgar Sinaí Franco. Alba Luz Rivera Calderón. Por amarme como un hijo. Dios les multiplique sus bendiciones.
<b>Ing. Mario R. Corzo A.</b>	Por ser un asesor de una extraordinaria excelencia académica y por haberme orientado y guiado de principio a fin en este proyecto.
<b>Empresa Siconsa</b>	Por su apoyo incondicional en el desarrollo de éste proyecto.
<b>La Iglesia Cristiana</b>	La Trompeta Final. Pastor Erick F. Jocol F. Por su apoyo moral, espiritual y ético. Toda la congregación es parte de mi corazón, y agradezco a Dios por sus oraciones y su amor demostrado a mí y familia. Juntos somos un equipo llamado a salvar, conquistando al mundo para nuestro Salvador Jesucristo.

**SETECA**

Seminario Teológico Centroamericano. Por enseñarme las riquezas espirituales más profundas de Dios y su Palabra, por orientar los destinos de mi vida y teología. Ustedes son parte de este proceso de transformación en mi vida.

**SEMILLA**

Seminario Anabautista Latinoamericano. Compartir teología con ustedes ha sido muy enriquecedor para mi vida. Siempre que me invitan me siento alagado y sobre todo por el amor que ustedes demuestran, es sin igual. Dios les bendiga y gracias por ser parte de mi vida.

**A usted**

Por su apoyo moral y espiritual que he disfrutado a lo largo de nuestra vida. Dios le bendiga y cumpla sus mejores deseos en usted, sabiendo que si cumplimos con Dios, El cumplirá con nosotros. (Números 6:24-26).

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. CONCEPTOS GENERALES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO .....	1
1.1. Breve historia del electropanel .....	1
1.2. Concepto generales del sistema constructivo.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO.....	3
2.1. Fundamentos del sistema constructivo .....	3
2.2. Composición del sistema constructivo .....	4
2.2.1. Núcleo central de poliestireno expandido.....	5
2.2.2. Mallas de acero electrosoldado.....	6
2.2.2.1. Mallas de refuerzo. ....	6
2.2.2.2. Malla esquinera. ....	6
2.2.2.3. Malla plana. ....	7
2.2.3. Concreto liviano .....	7
3. GENERALIDADES Y VENTAJAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO .....	9
3.1. Ventajas generales.....	9
3.2. Generalidades de panes del sistema constructivo.....	9
3.2.1. Generalidades de ensayos a corte .....	10

3.2.2.	Generalidades de ensayos a compresión sobre muros ..	11
3.2.3.	Generalidades de ensayos a flexión sobre muros.....	12
3.2.4.	Generalidades de ensayos sobre losas .....	12
3.2.5.	Panel simple del sistema constructivo.....	13
4.	FUNDACIONES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO .....	15
4.1.	Generalidades.....	15
4.2.	Montaje del panel simple del sistema constructivo .....	15
4.3.	Porcentaje de aberturas.....	16
4.4.	Mallas de refuerzo .....	16
4.4.1.	Malla esquinera.....	17
4.4.2.	Malla plana.....	18
4.4.3.	Malla “U”.....	18
4.5.	Lanza morteros para muros y cielorrasos.....	18
5.	TIPOLOGÍA DE LOS PANELES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO .....	21
5.1.	Generalidades.....	21
5.2.	Terminación de losas .....	21
5.3.	Curado del repello.....	22
5.4.	Terminación.....	22
5.5.	Recomendaciones complementarias .....	23
5.6.	Resumen de las fases de construcción de un edificación.....	23
6.	ENSAYOS Y ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	25
6.1.	Ensayos a corte sobre muros .....	25
6.1.1.	Modelo para pruebas de corte sobre muros.....	26
6.1.2.	Ensayo a corte de muro 1 .....	27
6.1.3.	Ensayo a corte de muro 2 .....	33
6.1.4.	Ensayo a corte de muro 3 .....	37

6.1.5.	Ensayo a corte de muro 4.....	42
6.1.6.	Ensayo a corte de muro 5.....	46
6.2.	Ensayos de compresión.....	51
6.2.1.	Ensayo de compresión muro 1 .....	51
6.2.2.	Ensayo de compresión muro 2.....	56
6.2.3.	Ensayo de compresión muro 3.....	60
6.3.	Ensayo de muros a flexión.....	67
6.3.1.	Ensayo de flexión muro 1 .....	67
6.3.2.	Ensayo de flexión muro 2 .....	71
6.3.3.	Análisis de resultados de pruebas a flexión.....	75
6.4.	Ensayos sobre losas.....	77
6.4.1.	Características generales del ensayo.....	77
6.4.2.	Ensayo de losa 1 .....	78
6.4.3.	Ensayo de losa 2 .....	83
6.4.4.	Ensayo de losa 3.....	88
6.4.5.	Ensayo de losa 4.....	93
6.4.6.	Ensayo de losa 5.....	98
6.4.7.	Ensayo de losa 6.....	102
CONCLUSIONES.....		107
RECOMENDACIONES .....		109
BIBLIOGRAFÍA .....		111
APÉNDICE.....		113



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Electropanel de poliestireno expandido .....	5
2.	Detalle de malla esquinera y plana .....	17
3.	Lanza morteros tipo p y tipo s .....	19
4.	Modelo de pruebas a corte .....	27
5.	Modelo de muro a corte 1 .....	28
6.	Ensayo a corte 1 .....	29
7.	Datos ensayo a corte 1 .....	31
8.	Modelo de ensayo a corte 2 .....	34
9.	Carga vrs. deformaciones .....	36
10.	Modelo de ensayo de muro a corte 3 .....	38
11.	Ensayo a corte 3 .....	39
12.	Datos ensayo a corte 3 .....	41
13.	Modelo de ensayo de muro a corte 4 .....	43
14.	Ensayo a corte 4 .....	45
15.	Modelo de ensayo a corte 5 .....	47
16.	Ensayo a corte 5 .....	49
17.	Modelo de muro a compresión 1 .....	52
18.	Ensayo a compresión 1 .....	53
19.	Compresión 1 .....	54
20.	Modelo de ensayo de muro a compresión 2 .....	56
21.	Ensayo a compresión 2 .....	57
22.	Ensayo a compresión 2 .....	59
23.	Modelo de ensayo a compresión con viga de cimiento 3 .....	61

24.	Ensayo a compresión 3.....	63
25.	Datos ensayo a compresión 3.....	64
26.	Modelo de ensayo de muro a flexión 1.....	68
27.	Ensayo flexión 1.....	69
28.	Carga-deformación flexión 1.....	71
29.	Modelo de ensayo de muro a flexión 2.....	72
30.	Ensayo a flexión 2.....	73
31.	Carga-deformación a flexión 2.....	75
32.	Modelo de ensayo de losa 1.....	79
33.	Ensayo de losa 1.....	79
34.	Esfuerzo-deformación def. 1 losa 1.....	81
35.	Esfuerzo-deformación def.2 Losa 1.....	81
36.	Esfuerzo-deformación def. 3 losa 1.....	82
37.	Modelo de ensayo de losa 2.....	84
38.	Ensayo de losa 2.....	84
39.	Esfuerzo-deformación def. 1, losa 2.....	86
40.	Esfuerzo-deformación def. 2, losa 2.....	86
41.	Esfuerzo-deformación def. 3, losa 2.....	87
42.	Modelo de ensayo de losa 3.....	88
43.	Ensayo de losa 3.....	89
44.	Esfuerzo-deformación def. 1, losa 3.....	91
45.	Esfuerzo-deformación def. 2, losa 3.....	91
46.	Esfuerzo-deformación def. 3, losa 3.....	92
47.	Modelo de ensayo de losa 4.....	94
48.	Ensayo de losa 4.....	94
49.	Esfuerzo-deformación def. 1, losa 4.....	96
50.	Esfuerzo-deformación def. 2, losa 4.....	96
51.	Esfuerzo-deformación def. 3, losa 4.....	97
52.	Modelo de ensayo de losa 5.....	99



53.	Ensayo de losa 5 .....	99
54.	Esfuerzo-deformación def. central losa 5.....	101
55.	Modelo de ensayo de losa 6.....	103
56.	Ensayo de losa 6 .....	103
57.	Esfuerzo-deformación def. central, losa 6.....	105

## TABLAS

I.	Datos de ensayo a corte 1 .....	30
II.	Ensayo a corte 2.....	35
III.	Datos de ensayo a corte 3.....	40
IV.	Datos de ensayo a corte 4.....	44
V.	Datos de ensayo a corte 5.....	48
VI.	Análisis general de paneles a corte .....	50
VII.	Ensayo a compresión 1 .....	54
VIII.	Ensayo a compresión 2. ....	58
IX.	Datos de ensayo a compresión 3 .....	62
X.	Resumen de ensayos a compresión.....	66
XI.	Datos de ensayo a flexión 1.....	70
XII.	Datos de ensayo a flexión 2.....	74
XIII.	Datos de ensayo de losa 1 .....	80
XIV.	Datos de ensayo de losa 2 .....	85
XV.	Datos de ensayo losa 3 .....	90
XVI.	Datos de ensayo losa 4 .....	95
XVII.	Datos de ensayo de losa 5 .....	100
XVIII.	Datos de ensayo de losa 6 .....	104



## LISTA DE SIMBOLOS

<b>Simbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área
<b>P</b>	Carga puntual
<b>cm</b>	Centímetros
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetros cuadrados
<b>a</b>	Constante para el cálculo de módulo elástico
<b>Δ</b>	Deformación admisible
<b>Def</b>	Deformómetro
<b>Φ</b>	Diámetro
<b>σ</b>	Esfuerzo
<b>F<sub>y</sub></b>	Esfuerzo de deformación
<b>F<sub>yk</sub></b>	Esfuerzo de tensión de fluencia
<b>F<sub>t<sub>k</sub></sub></b>	Esfuerzo tensión de rotura
<b>F</b>	Fuerza
<b>@</b>	Indica espaciamiento
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>lb</b>	Libras
<b>psi</b>	Libra por pulgada cuadrada
<b>L</b>	Longitud
<b>m</b>	Metros.
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado

<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>mm</b>	Milímetros
<b>E</b>	Módulo elástico, en kg/cm <sup>2</sup>
<b>%</b>	Porcentaje
<b>ln<sup>2</sup></b>	Pulgadas cuadradas
<b>F'c</b>	Resistencia al esfuerzo de compresión del concreto, kg/cm <sup>2</sup>
<b>F'm</b>	Resistencia al esfuerzo de compresión de la mampostería, kg/cm <sup>2</sup>
<b>t</b>	Tonelada

## GLOSARIO

<b>Absorción</b>	Refiere a la absorción de agua.
<b>ACI</b>	American Concrete Institute.
<b>Área bruta</b>	Área total de una sección.
<b>Área neta</b>	Área efectiva de una sección.
<b>ASTM</b>	American Standard of Testing and Materials.
<b>Cemento</b>	Sustancia de polvo fino hecha de argamasa de yeso capaz de formar una pasta blanda mezclarse con agua.
<b>Columna</b>	Soporte vertical que transmite carga hacia la cimentación.
<b>Concreto</b>	Mezcla de cemento portland, agua y aglomerantes finos y gruesos.
<b>Curado</b>	Periodo en el cual un elemento gana resistencia.

<b>Deformómetro</b>	Dispositivo que mide y registra deformaciones.
<b>Elongación</b>	Aumento de la longitud de un elemento.
<b>Ensayo</b>	Prueba de las propiedades de una estructura o elemento.
<b>Esfuerzo</b>	El producto de la aplicación de una fuerza sobre un área.
<b>Estribo</b>	Estructura extrema que sirve de apoyo a la superestructura.
<b>Fluencia</b>	Límite donde un elemento sometido a esfuerzo pierde su proporcionalidad, esfuerzo deformación lineal y comienza tener comportamiento plástico.
<b>Fraguar</b>	Proceso de endurecimiento del concreto.
<b>Fuerza</b>	Energía que se aplica a un elemento.
<b>Hormigón</b>	Nombre que se le da también al concreto.
<b>Mampostería</b>	Sistema constructivo formado por materiales simplemente acomodados o aglutinados.

<b>Mortero</b>	Mezcla de un árido fino (arena), un conglomerante (yeso, cal o cemento) y agua.
<b>Prisma de mampostería</b>	Muestra representativa de la mampostería de un muro.
<b>Psi</b>	<i>Pounds square inche.</i>
<b>Resilencia</b>	Es la energía de deformación que puede ser recuperada de un cuerpo deformado cuando cesa el esfuerzo que causa la deformación. Dentro del límite elástico, la resilencia es igual al trabajo externo realizado para efectuar la deformación.
<b>SI</b>	Sistema internacional de unidades.
<b>Solera</b>	Nombre con que se conoce a la viga.
<b>Tabique</b>	Pared delgada, usado como relleno, no soporta carga.
<b>UBC</b>	Uniform Building Code





## RESUMEN

A continuación se presenta un estudio del desarrollo de resistencia a esfuerzos de corte, compresión y flexión, de muros y losas del presente sistema constructivo, a escala natural y que está basado en poliestireno expandido, así como la caracterización de los distintos materiales utilizados para su construcción.

El objetivo principal fue el de establecer su resistencia estructural a los esfuerzos a que será sometido y trasladar la información al sector construcción para su uso en Guatemala.

Los ensayos realizados siguen las recomendaciones de normativas de ACI (American Concrete Institute).

La metodología se basó en ensayos a veinte y ocho, y treinta y cinco días de edad en general, los muros a escala natural y los ensayos a corte, flexión, compresión. Se ensayaron seis losas con diferentes composiciones de refuerzo y peralte para conocer su comportamiento estructural y hacer recomendaciones para su mejora estructural. Los ensayos fueron realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII).

En cada ensayo se presentan gráficas, tablas y fotografías así como el análisis de resultados, al final las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante la investigación.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar y proponer este sistema constructivo identificando sus características mecánicas y dinámicas por medio de ensayos estructurales de flexión, corte y compresión utilizando los materiales que presente el sistema constructivo como la malla electrosoldada, reticulada y el uso de remaches de acero trefilado. Determinar por medio de las pruebas, su comportamiento estructural y así poder determinar su resistencia estructural. Con esto determinar la conveniencia de su uso para la construcción en general, además de proponer las debidas recomendaciones técnicas para su uso en Guatemala.

### **Específicos**

1. Evaluar las propiedades estructurales mediante ensayos de pruebas de resistencia a corte, compresión y flexión sobre diferentes tipos de muros y losas, prototipos a escala natural con este sistema constructivo.
2. Análisis e interpretación de resultados obtenidos para determinar la capacidad sismo resistente del sistema constructivo.
3. Dar una alternativa para que por medio de este sistema constructivo los habitantes de Guatemala puedan construir viviendas con seguridad estructural antisísmica por medio de un sistema que les provea rapidez, facilidad y economía a la vez.



## INTRODUCCIÓN

En Guatemala se requieren construcciones seguras estructuralmente, que satisfagan diversas necesidades como la rapidez y facilidad de instalación y competitiva con el sistema constructivo tradicional. Además que tenga resistencia ante un evento sísmico y que minimice el efecto de estos.

Es así como este sistema constructivo basado en poliestireno expandido ondulado es reforzado estructuralmente con mallas electro-soldadas reticuladas de acero de alta resistencia y equivalente a eslabones, asegurados estructuralmente con el uso de remaches de acero y su aumento de cuantía del acero electro-soldado, formando micro columnas. De esta manera se pretende determinar la resistencia estructural a los esfuerzos de corte, flexión, y compresión, con aplicaciones de ferrocemento, produciendo una estructura que tenga una mejor resistencia estructural.

Se requiere hacer uso de este sistema constructivo para Guatemala, para lo cual, el presente trabajo de graduación realizará el análisis estructural, por medio de ensayos de compresión, corte y flexión, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), a los veinte y ocho días de secado sobre muros terminados y a escala natural. Con esto se pretende hacer una interpretación de resultados y de esta manera, conocer la respuesta estructural de este sistema constructivo.

Además se quiere determinar si es apropiado su uso, y si es conveniente, proponerlo para su uso para la construcción en general, y además las mejoras y recomendaciones técnicas, estructurales, así como constructivas para el sistema constructivo evaluado.



# **1. CONCEPTOS GENERALES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO**

## **1.1. Breve historia del electropanel**

Los primeros usos del panel W se remontan a los años 70, cuando en los Estados Unidos se comenzó a utilizar para viviendas de poca altura, específicamente en la ciudad de San Francisco, California, después del terremoto que desbastó a la ciudad en los años 70, donde se descubrió que el material compuesto por mallas estereométricas y micro-columnas, era bien resistente a sismos. Comparados con los elementos compuestos de concreto como paredes o muros, debido a que es un material flexible y que se combina muy bien con elementos de acero como vigas y columnas

## **1.2. Concepto generales del sistema constructivo**

Este sistema constructivo está basado en un bloque de poliestireno expandido conocido como poroplast, el cual se une luego por medio de máquinas con una malla de acero de alta resistencia lo que garantiza que el proceso de fabricación sea estándar. Una vez que se va a construir con dicho panel, se repella con la tradicional mezcla de cemento y arena (mortero) o concreto fluido en dependencia de la resistencia que sea requerida.





## **2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO**

### **2.1. Fundamentos del sistema constructivo**

El sistema constructivo está formado por un núcleo de poliestireno de 0,065 metros de grosor, y una malla electrosoldada de acero galvanizado de alta resistencia, este tiene  $\phi$  2 milímetros (de diámetro) y van colocados horizontal y verticalmente formando cuadros de 0,065 metros x 0,075 metros. Estos cuadros se interconectan en ambos lados o caras del muro por alambre de la misma malla a noventa grados (o sea perpendicularmente) saliendo ambas puntas de ambos lados de la cara y soldados en el punto de unión con las mallas planas.

La idea de formar esta malla es que, el sistema posea mayor cuantía de acero que otros sistemas. El núcleo central de poliestireno es una plancha ondulada y no liza para una mejor adherencia del concreto ligero.

Los muros que se ensayaron poseen un grosor entre 0,10 metros y 0,11 metros como se especifica en cada prueba. Las principales diferencias con otros paneles de poliestireno, radican en la cuantía de acero por metros cuadrados que es mayor en este sistema, la mayor cantidad de puntos de soldadura por metros cuadrados.

La principal finalidad del sistema constructivo, es proveer paneles modulares prefabricados, que además de ahorrar tiempo en la construcción y mano de obra, con respecto a sistemas constructivos tradicionales, logren obtener en un solo elemento funciones estructurales monolíticas, simplificando

la ejecución, y a la vez su capacidad estructural sea aceptable para su uso en la construcción.

La malla electrosoldada para este ensayo, se colocaron en toda el área plana de la plancha de poliestireno ondulado. Además en las aristas se le colocó malla tipo “u” para empalme que rodea todas las aristas del muro, esto con el fin de evitar discontinuidades en los muros ensayados.

Luego se les colocó un espesor promedio de 0,025 metros en cada cara del muro, con una mezcla de cemento arena para darle el grosor adecuado. En las losas se observó que las estructuras tienen mejor comportamiento estructural a darles 0,05 metros de grosor en la cara superior de las losas.

## **2.2. Composición del sistema constructivo**

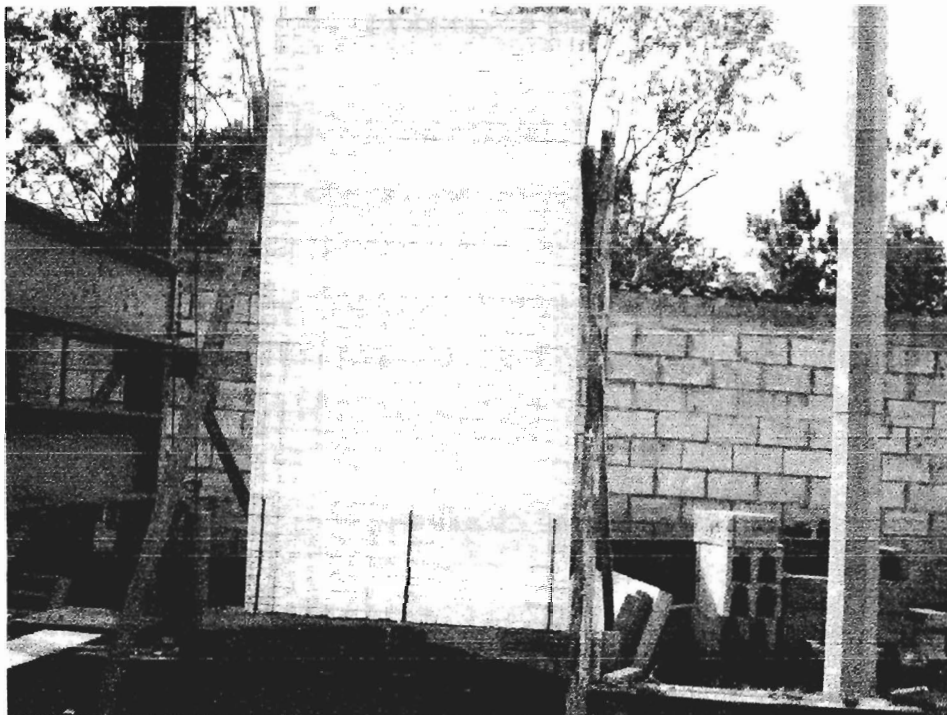
El elemento básico está compuesto por:

- Núcleo central de poliestireno expandido, no tóxico, auto extingible, inerte y de densidad uniforme.
- Malla de acero electrosoldada, colocada en ambas caras del poliestireno, unidas por conectares a 90° y del mismo material, y con características semejantes.
- Colocación de mortero compuesto de cemento arena de 0,025 metros de grosor en promedio para cada cara de los muros y las aristas de los mismos. En el caso de las losas se varió para algunos ensayos para observar su comportamiento estructural, se fundió 0,05 metros sobre la parte superior de las mismas.

### **2.2.1. Núcleo central de poliestireno expandido**

El núcleo del panel es una plancha ondulada de poliestireno expandido, reforzado por una malla electro soldada colocada en cada cara e interconectadas entre sí por alambres galvanizados, que atraviesan al tecnopor y van soldados a cada malla. Este alambre es del mismo usado para formar la electromalla plana.

Figura 1. **Electropanel de poliestireno expandido**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

## **2.2.2. Mallas de acero electrosoldado**

La malla electro soldada está compuesta por alambres lisos de acero galvanizado, con 2,5 milímetros de diámetro.

El espaciamiento entre los alambres longitudinales es 0,075 metros, mientras que entre los alambres transversales el espaciamiento es 0,065 metros (colocadas de 0,075 metros x 0,065 metros). El conector también es un alambre liso galvanizado de 2,5 milímetros de diámetro.

### **2.2.2.1. Mallas de refuerzo**

Las mallas de refuerzo son fabricadas con alambre de acero galvanizado de alta resistencia, ( $F_y = 5600$  kilogramos/centímetros cuadrados con diámetro de 2,4 milímetros). Se deben colocar para reforzar vanos de ventanas, puertas, esquinas o uniones en ángulo, produciendo continuidad a la malla estructural. Se fijan al panel con amarres realizados con alambres de acero o grapas.

### **2.2.2.2. Mallas esquinera**

Se debe utilizar en todas las uniones entre paneles en las esquinas o intersecciones. La cantidad de mallas necesarias varía según la altura. Para una altura de 2,50 metros. Deben ir dos internas y dos externas.

### **2.2.2.3. Mallas plana**

Debe colocarse en todos los vértices de las puertas y las ventanas a una inclinación de 45° grados, en empalmes entre paneles y lugares donde se ha cortado la malla. La cantidad para puertas es de dos mallas y en ventanas de cuatro unidades. Estos refuerzos sirven para evitar fallas de corte a 45° en las esquinas donde se intersecan los vanos, de ahí que las puertas poseen dos esquinas y las ventanas cuatro.

### **2.2.3. Concreto liviano**

Concreto especialmente diseñado a partir de los materiales tradicionales, cemento, arena y grava de ½" o ¾", mas agua y con un componente de poliestireno expandido, para mantener una consistencia plástica y un peso por unidad de volumen que garantice su cualidad de liviano.

El concreto liviano tiene aplicaciones que se requieran cuando es necesario un bajo peso en materiales como rellenos y recubrimientos, paneles, elementos prefabricados, losas de entepiso, muros divisorios fundidos en sitio, prefabricados livianos.

Las ventajas y beneficios que posee el concreto liviano es la reducción del peso de la estructura, mejor rendimiento en el tiempo de ejecución de acabados, dado su bajo peso y fácil colocación, mejora las propiedades termo acústicas de la estructura, disminuye la transmisión de vibraciones y la estabilidad en el rendimiento volumétrico en estado plástico, así como las mejores condiciones de acabado.



### **3. GENERALIDADES Y VENTAJAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO**

#### **3.1. Ventajas generales**

Las ventajas que presenta el sistema constructivo basado en electro panel son:

- Elevada resistencia estructural y resistencia en relación a su peso muerto.
- Ahorro en cimientos por partes estructurales, por ser más liviana la obra terminada.
- Utilización integral de un mismo sistema constructivo.
- La superficie ondulada del panel son especialmente aptas para la aplicación de concreto liviano y/o morteros.

#### **3.2. Generalidades de paneles del sistema constructivo**

Los ensayos a los paneles fueron realizados a escala natural, se inicio con los ensayos a corte, luego ensayos de muros a compresión, posteriormente se ensayaron muros a flexión y por último los ensayos sobre losas.

### **3.2.1. Generalidades de ensayos a corte**

Los muros de corte de medidas de 3,65 metros x 2,40 metros x 0,10 metros en general para los muros sin vanos o aberturas, estas medidas variaron en uno o máximo dos centímetros, generalmente para darle un recubrimiento no menos de 0,025 metros sobre sus caras. Los muros con vano de ventanas como fue en el caso del muro número dos fue de 2,43 metros de ancho por 2,39 metros de alto y 0,10 metros de grosor de muro.

El muro número tres de 3,53 metros de ancho x 2,40 metros de alto x 0,11 metros de espesor. Y el muro no. 4 con vano de puerta y vano de ventana con medidas de 2,43 metros de ancho x 2,40 metros de alto y su espesor x 0,11 metros.

Se aplicó carga lateral a cada muro utilizando un gato hidráulico de 50 toneladas, tomando deformaciones de volteo, en la parte baja del muro, y otros para reportar movimiento lateral.

Los muros ensayados a corte demostraron que al aplicárseles carga tuvieron inicialmente falla por aplastamiento en la parte inferior. Para corregir el problema se les colocó un refuerzo de apoyo en la parte inferior, entre el suelo y el elemento, lo que mejoró sustancialmente el comportamiento estructural del muro. Además se observó que cuando los muros tienen aberturas que sobrepasan el 20% ya no trabajan como sólidos por lo que se les debe restar esa área al momento del diseño de trabajo. Y los anchos entre vanos ya sea de puertas y ventanas u otros no debe ser menor de 0,30 metros ya que debilita notablemente la estructura viéndose fallas por corte en las esquinas de los vanos.



### **3.2.2. Generalidades de ensayos a compresión sobre muros**

Estos ensayos fueron realizados sobre muros a escala natural y con un mínimo de 28 días, hasta 35 días de fraguado, según se reporta específicamente en cada ensayo. Las pruebas fueron en total tres muros sólidos, sin aberturas de vanos y con un recubrimiento no menor de 0,025 metros en sus aristas.

Los muros fueron sometidos a esfuerzos de compresión, por medio de una prensa hidráulica con capacidad de 150 000 libras. La carga se aplicó gradualmente en ellos, tomando lecturas de pandeo perpendicular al centro respecto de su altura y ancho, todo esto con la finalidad de observar el grado de deterioro, en la relación al esfuerzo-deformación en el elemento estructural y poder determinar su comportamiento.

Al realizarse los ensayos, se observó que el sistema muestra debilidad al aplastamiento, sobre todo en la cara inferior que tiene contacto con el suelo, por lo que el tercer muro ensayado se le colocó una viga de amarre, simulando en forma real el comportamiento estructural del muro.

En este muro con viga de cimentación, se observó que la resistencia del muro a la compresión fue significativamente mayor que la de los dos muros anteriores. Su resistencia llegó a un treinta y tres por ciento, respecto del muro uno y a un cuarenta y cinco por ciento más de resistencia respecto del muro dos.

Esto implica que con la colocación de la viga cimiento y la colocación de pines en el cimiento, el sistema posee mejor comportamiento estructural. Se especificó una distancia a la cual deben ir los pines, así como el diámetro del acero.

### **3.2.3. Generalidades de ensayos a flexión sobre muros**

En los ensayos de flexión se ensayaron dos muros sólidos de igual medida 2,42 metros de largo x 1,22 metros de ancho x 0,10 metros de espesor, fraguados a treinta y dos días, y treinta y cinco días respectivamente. El gato hidráulico usado fue de 10 toneladas con un área de 2,25 pulgadas cuadradas.

Se colocó de forma vertical cada muro, aplicándole una carga gradual a flexión pura con el fin de determinar la magnitud de la carga que soporta el panel a flexión. Se observó que el sistema tiene un rango elástico amplio, además de iniciar fallas en los traslapes de malla.

### **3.2.4. Generalidades de ensayos sobre losas**

Se ensayaron en total seis losas en dos fases. La primera fase, consistió en ensayar las dos primeras losas normales, con electromalla colocada normalmente y su núcleo de poliestireno expandido.

Luego se ensayaron cuatro losas ultimas, en vista de que las dos primeras losas, presentaron una deflexión significativa debido a su propio peso.

Por lo que se decidió ensayar cuatro losas adicionales, agregándoles características estructurales diferentes y específicas para cada uno, esto para observar su comportamiento estructural.

Las losas fueron colocadas en dos apoyos y fundidas en su parte superior, así como se les cubrió en la parte inferior con concreto liviano. A las cuatro losas últimas se les colocó malla de refuerzo en la parte superior, donde se producen esfuerzos de compresión como fue en el caso de la cuarta losa.

La quinta losa se le colocó doble malla adicional de refuerzo en la parte central de la losa, donde se producen esfuerzos de tensión, y en la sexta losa se le dejó la misma malla normal que se propone al panel, y se le fundió adicionalmente cinco centímetros, en lugar de dos y medio. La losa cuatro se fundió igual que la primera y segunda losa.

Las losas demostraron deflexiones visibles con solo su peso propio, no así las últimas tres losas, que tuvieron diferentes comportamientos estructurales.

### **3.2.5. Panel simple del sistema constructivo**

Para el uso estructural de este panel consideramos un espesor de mortero promedio mínimo de 0,025 metros en ambas caras del panel, formando paneles terminados de 0,10 metros de grosor en general.

La malla de acero galvanizado trae las siguientes características estructurales:

Acero longitudinal	$\phi$ 2,5 o 3,5 mm cada 65 mm
Acero transversal	$\phi$ 2,5 mm cada 65 mm
Acero de conexión: cuadrados)	$\phi$ 3,0 mm (más o menos 68 por metros

Características del acero:

Tensión característica de fluencia:

$f_{yk} > 600 \text{ N/mm}^2$

Tensión característica de rotura:

$f_{tk} > 680 \text{ N/mm}^2$

Densidad de la plancha de poliestireno:

de  $15 \text{ kg/m}^3$

Espesor de la plancha de poliestireno:

de 4 cm.

Espesor de la pared terminada:

en promedio 0,10 metros. de  
espesor

salvo en los casos donde se  
especifica para cada ensayo.

## **4. FUNDACIONES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO**

### **4.1. Generalidades**

La obra realizada con paneles del sistema constructivo, comienza con una fundación que puede estar constituida por un cimiento corrido. Según los ensayos se llegó a la conclusión de un refuerzo específico, con distribución de área de acero específica, para un mejor comportamiento estructural del sistema, placa de fundación o viga sísmica.

La introducción de los anclajes, se puede realizar previamente al vaciado del concreto o luego del fraguado, taladrando la cimentación, introduciendo los anclajes y fijándolos con pasta de cemento o resina epóxica.

### **4.2. Montaje del panel simple del sistema constructivo**

Para muros los paneles del sistema constructivo son instalados en campo, amarrando la malla metálica a los anclajes de la fundación por medio de alambres y alicates. Es necesario que la barra quede debidamente embebida en mortero.

Para garantizar la continuidad de los elementos, los paneles contienen en ambos extremos, pestañas de empalme, que permite unir cada uno de los paneles, a la malla del panel adyacente. En esta etapa cuidamos la verticalidad y la alineación de los paneles para evitar cualquier tipo de desplome. Los eventuales desplomes constituirán elementos de debilidad estructural, mientras

los espacios vacíos entre los empalmes producen puentes térmicos y filtraciones.

Los vanos deben ser tenidos en cuenta al momento de realizar las operaciones de montaje, mientras que cualquier otro tipo de abertura menor podrá realizarse una vez montados los paneles.

#### **4.3. Porcentaje de aberturas**

A lo largo de los ensayos se observó que el sistema, tiene debilidad al aplastamiento. Por lo que se recomienda que en vanos y puertas los espacios de mochetas y vigas no sea menores de 30 centímetros de ancho, para que el sistema no sea propenso a las fallas por corte a 45°, así como al aplastamiento.

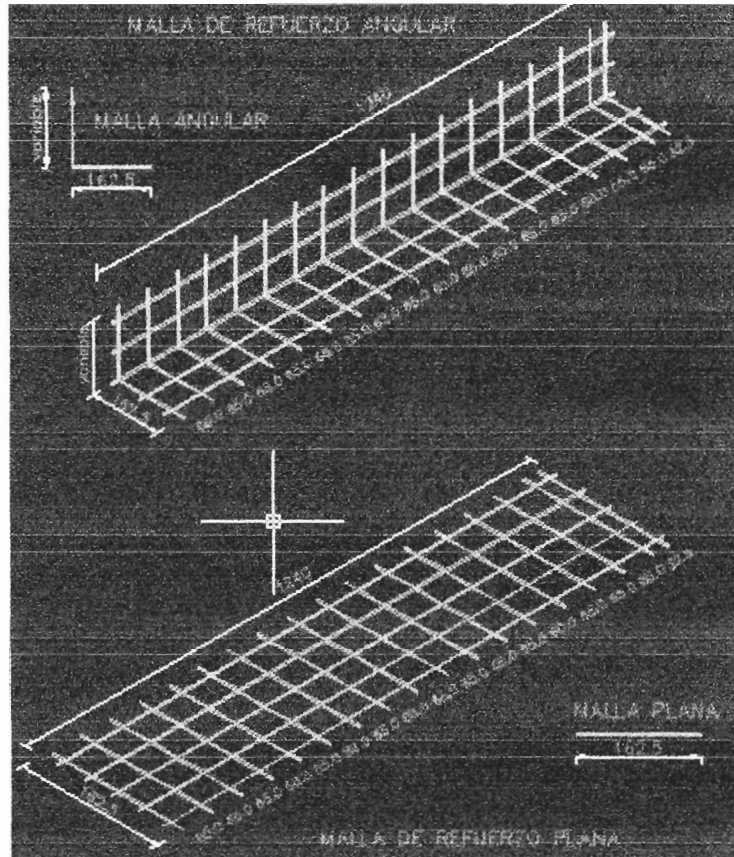
Además se observó que el porcentaje de aberturas no sea superior al 20% del área total del muro, para que pueda desarrollar el trabajo como un solo elemento sólido, y no afecte estructuralmente al sistema haciéndolo propenso al aplastamiento.

#### **4.4. Mallas de refuerzo**

Las mallas de refuerzo son fabricadas con alambre de acero galvanizado de alta resistencia, con diámetro de 2,4 milímetros. Se utilizan para reforzar vanos de ventanas, puertas, esquinas o uniones en ángulo, produciendo continuidad a la malla estructural.

Se fijan al panel con amarres realizados con alambres de acero o grapas. Estas mallas se clasifican como malla esquinera, malla plana y malla “u”, que se describen a continuación:

Figura 2. **Detalle de malla esquinera y plana**



Fuente: <http://www.mdue.it/>. Consulta el 20 de mayo de 2011.

#### **4.4.1. Malla esquinera**

Se utilizó en todas las uniones entre paneles en las esquinas o intersecciones. La cantidad necesaria de mallas fue utilizada según la altura (Ejemplo: 4 unidades por esquina para 2,50 metros de altura, 2 internas y 2 externas).

#### **4.4.2. Malla plana**

Utilizada en los vértices de todas las ventanas y puertas a una inclinación de 45°, en empalmes entre paneles y lugares donde se ha cortado la malla.

La cantidad necesaria es la siguiente:

Cantidades por puerta: 2 unidades

Cantidades por ventana: 4 unidades

#### **4.4.3. Malla “U”**

Constituye la continuidad de los paneles al costado de las puertas y ventanas.

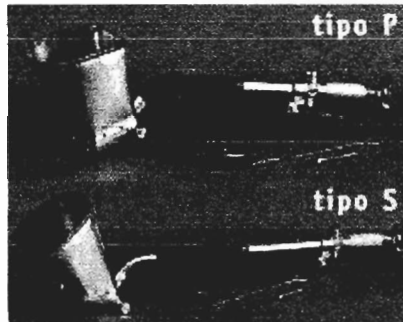
#### **4.5. Lanza morteros para muros y cielorrasos**

Hoy en día, la industrialización del proceso de trabajo en el campo de la construcción, admite una mayor rapidez de actuación en revestimientos civiles, con un ahorro significativo del trabajo.

De hecho, las máquinas de revestimiento actuales, se pueden utilizar para la colocación de concretos livianos, y pueden significar una mayor rapidez en los trabajos de obra civil donde se requiera ahorrar tiempo. Algunos tipos de estos lanza morteros se muestran en las siguientes ejemplos.



Figura 3. Lanza morteros tipo P y tipo S



Fuente: <http://www.mdue.it/en/3/products/accessories/coating-machines.html>. Consulta el 18 de junio de 2011.

Existen algunos tipos de máquinas de revestimiento para este tipo de sistema constructivo, dentro de los cuales mencionamos el tipo P, para paredes, y tipo S, para techos.

Se pueden aplicar el mínimo de capas, evitando de esta manera el desperdicio, y obteniendo mejores resultados cuando se usan morteros sobre todo de tipo liviano.

Estos lanza morteros están constituidos por cuatro orificios para rociar el primer revestimiento, y dos modelos de orificios para el revestimiento final.



## **5. TIPOLOGÍA DE LOS PANELES DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO**

### **5.1. Generalidades**

El cálculo de los elementos mecánicos y los desplazamientos, es parte integral del proceso de diseño de una estructura, e interesan los esfuerzos internos de las estructuras producidas por las cargas, ya que la finalidad es diseñar la estructura de manera que los esfuerzos no excedan los valores límites de seguridad establecidos por los códigos correspondientes.

### **5.2. Terminación de losas**

Antes de vaciar el concreto de la capa de compresión, se deben colocar puntales a cada 0,75 metros, produciendo contraflechas (ligero aumento de altura de 0,50 centímetros por cada metro lineal, hasta el centro de la luz de la losa).

En el caso del presente sistema constructivo, primero se procedió a colocar la primera mano de repello en el cielo raso antes del vaciado del hormigón de la capa de compresión.

Para el vaciado de la losa de techo con el sistema constructivo, los encargados de obra deben tener cuidado al caminar, colocando tablonces de madera entre apoyos, evitando de esa manera cualquier tipo de deformación.

El hormigón debe ser de 210 kilogramos / centímetros cuadrados (3 000 psi), con una granulometría máxima del agregado de 12 milímetros y un espesor de 0,04 metros a 0,06 metros.

Una vez fraguado el hormigón de cubierta, se retiran los puntales, desde el centro hacia los extremos, de manera que pase gradualmente la carga a la losa, según diseño previo. El segundo repello al cielo raso y aleros, se ejecuta de igual manera que en los muros.

### **5.3. Curado del repello**

El proceso correcto de fraguado, es esencial para obtener la resistencia necesaria de los elementos estructurales. Para evitar la evaporación de humedad del repello, se debe mantener hidratada la pared, por dos días a partir de la última capa de repello aplicada, como mínimo, y variará dependiendo de los efectos del clima.

Todo lo anterior, permite que el cemento se hidrate por un proceso natural, garantizando el fraguado del mortero y limitando los fenómenos debidos a su retracción.

### **5.4. Terminación**

La aplicación del revestimiento sobre el repello se deberá realizar lo más tarde posible. Mientras mayor sea el tiempo transcurrido entre el curado de las capas de repello y la colocación de revestimientos, mayor habrá sido la retracción del repello y mayor seguridad existirá de que el revestimiento quede bien adherido. De esta manera, las fisuras del repello serán más estables y se cubrirán sin afectar su apariencia. Considerando lo anterior, se procede a la

impermeabilización superficial y al revestimiento de la losa de cubierta, acabados, colocación de puertas y ventanas, aplicación de pinturas y revestimientos, etc.

### **5.5. Recomendaciones complementarias**

El uso de lanza morteros para la aplicación del repello, aumenta su compactación y homogeneidad, reduciendo el nivel de retracción y mejorando su capacidad estructural, impermeabilidad y resistencia al desgaste. Estas recomendaciones son importantes:

- No sobrecargar los muros por una sola cara, se debe aplicar alternando las cargas de repello.
- Donde por razones de corte en obra, el panel no presente pestaña de empalme, el empalme se debe reforzar con una malla plana.
- La incorporación de aditivos plastificantes, en general disminuye el riesgo de fisura.
- Pinturas o revestimientos de gran elasticidad previenen la aparición de fisura.

### **5.6. Resumen de las fases de construcción de un edificio**

El orden cronológico para la construcción de una edificación con el presente sistema constructivo, debe ser ordenado y preciso, con actividades lógicas que desarrollen un buen desempeño. Las siguientes recomendaciones describen las fases de construcción:

- Construcción de la fundación e introducción de anclajes.
- Montaje de paneles de pared con inserción de malla de refuerzo y de acero en correspondencia con los ángulos, aberturas, etc.
- Colocación vertical de los paneles con ayuda de guías y puntales.
- Tacos de anclaje para marcos de puertas y ventanas.
- Montaje de paneles de cubierta e inserción de armadura de refuerzo.
- Trazado e instalación de tuberías y accesorios eléctricos y sanitarios.
- Alineación, instalación vertical de los paneles, e inserción de los refuerzos.
- Primera y segunda aplicación del repello estructural sobre los muros, protegiéndolos y humedeciéndolos constantemente para obtener un buen curado.
- Apuntalamiento, capa de compresión y aplicación del mortero en la losa de cubierta.
- Retiro de puntales, después de por lo menos 14 días.
- Segunda aplicación de repello estructural en la losa.
- Acabado.

## 6. ENSAYOS Y ANÁLISIS DE LABORATORIO

### 6.1. Ensayos a corte sobre muros

Se tomó el peso del panel promedio de un prisma de 1,01\*0,97\*0,10m<sup>3</sup>  
Peso= 172,5 lbs. (1 kg/2,22 lbs.) = 78,40 kg.

$$\frac{78,40kg}{0,10mt * 0,97mt} = 808,2 \frac{kg}{m^2}$$

Esto multiplicado por las dimensiones del prisma da:

$$\frac{808,20 \text{ kg/metros cuadrados}}{(0,10\text{metros} \times 0,97\text{metros} \times 1,01\text{metros})} = 808,24 = 808\text{kg/m}^3$$

El peso específico del sistema constructivo, es de 800 kilogramos/metro cúbico. Lo que hace que el sistema, sea menor comparativamente con el peso del concreto que es de 2 400 kilogramos/metro cúbico. Su peso específico es la tercera parte de lo que es el concreto, lo que lo hace un material relativamente liviano, comparado con el peso del concreto.

$$\frac{78,40kg}{(0,10mt \times 0,97mt)} = 808,2kg/mt^2$$

Otro dato importante, es conocer su peso por unidad de medida que va a servir, ya que el sistema debe por lo menos resistir tres veces su propio peso.

Entonces el peso por metro lineal equivale a:

$$\frac{78,40 \text{ kg}}{(0,10\text{metros} \times 0,97\text{metros})} = \frac{808,20 \text{ kg/metros cuadrados}}{(0,10\text{metros} \times 0,97\text{metros} \times 1,01\text{metros})}$$
$$= 808,24\text{kg/m}^3$$

De aquí:

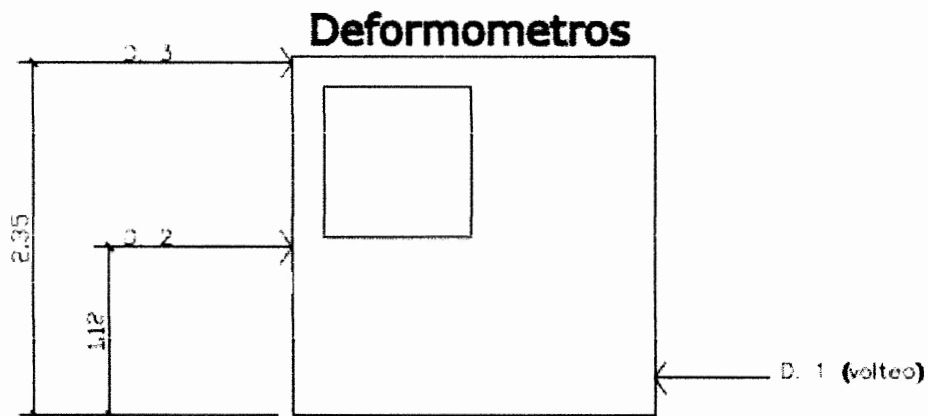
$$\frac{808,24\text{kg}}{\text{m}^3(0,10\text{mt} \times 1,01\text{mt})} = 0,80\text{kg/cm}$$

### **6.1.1. Modelo para pruebas de corte sobre muros**

El modelo para las pruebas de corte, indica que para estos ensayos se utilizaron tres deformómetros, ubicados en los puntos críticos de los muros a ensayar, el modelo se muestra en la siguiente gráfica:



Figura 4. Modelo de pruebas a corte



Fuente: elaboración propia.

### 6.1.2. Ensayo a corte de muro 1

Este panel, consiste en un muro solido de 3,65 metros de largo por 2,39 metros de alto y un grosor de muro de 0,10 metros.

El modelo para este ensayo es como se muestra a continuación como un muro solido. Los datos generales del ensayo son los siguientes:

Fecha de fundición: 23.03.2011

Fecha de ensayo: 25.04.2011

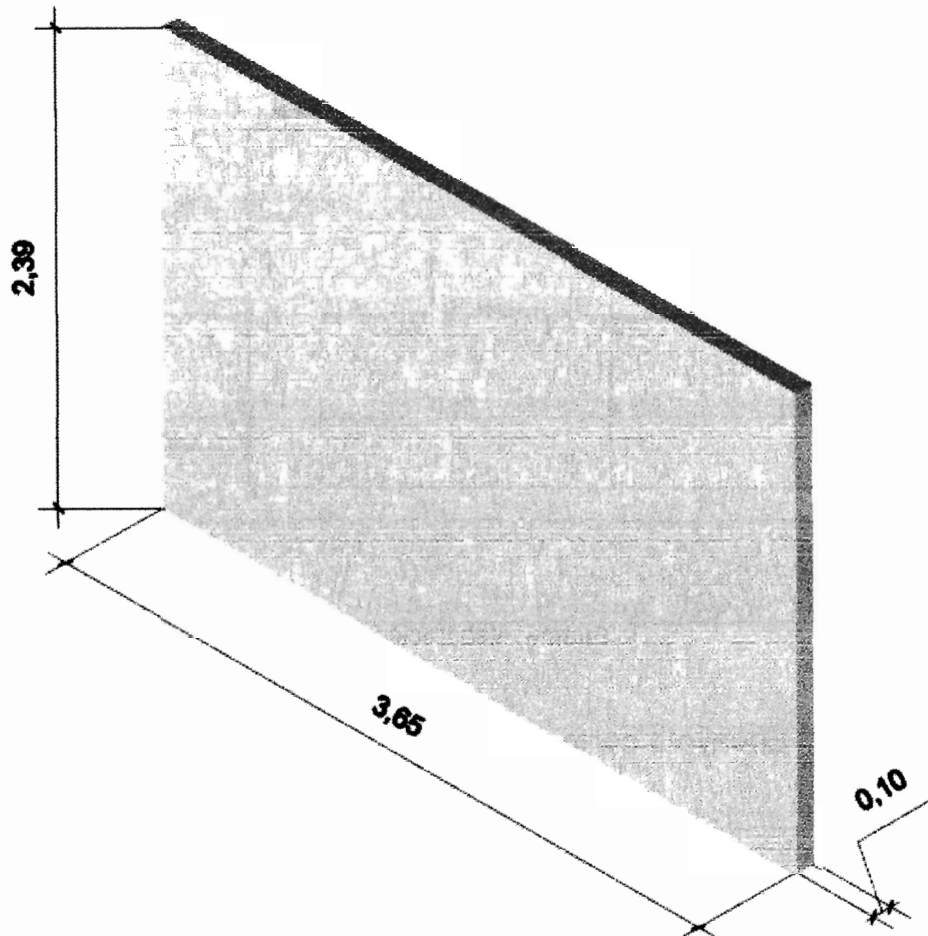
Edad: 33 días

Gato hidráulico: 10 Ton

Área efectiva=2,24in<sup>2</sup>

Conversión: 2,24 lb=1 kg

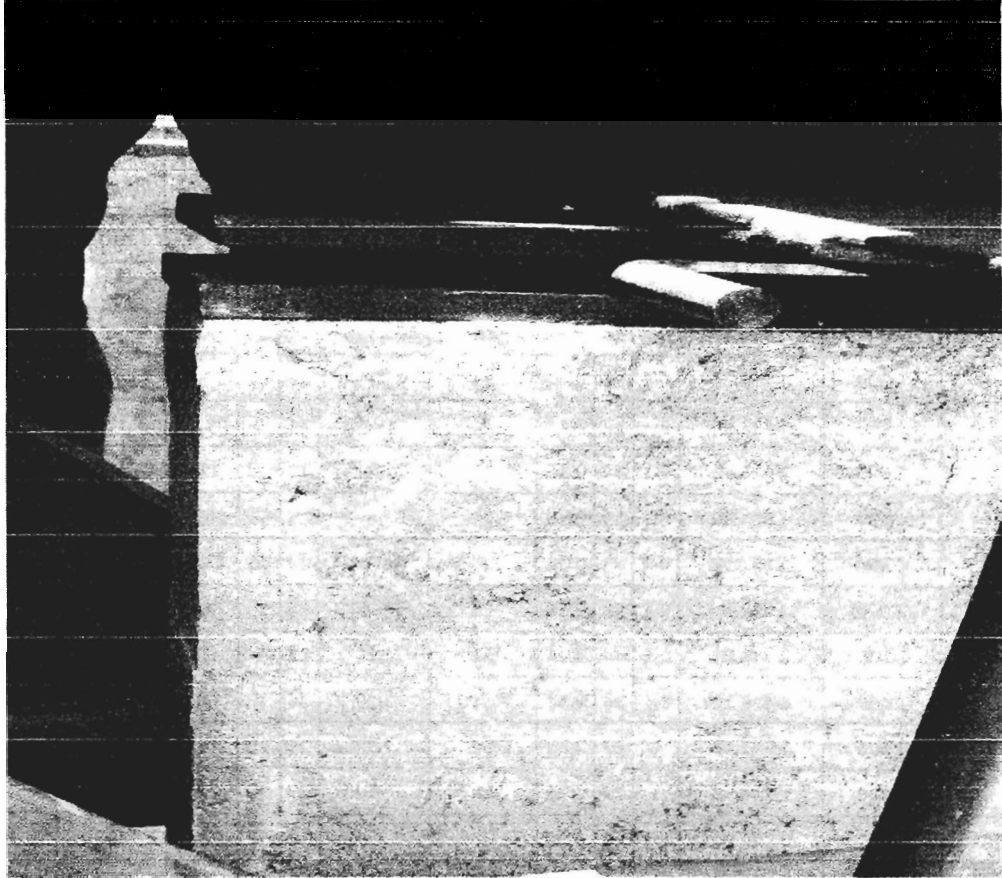
Figura 5. Modelo de muro a corte 1



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente fotografía se muestra el apoyo colocado con el fin de realizar el ensayo a corte adecuadamente, igual se aplicó la misma técnica para hacer los demás ensayos a corte.

Figura 6. Ensayo a corte 1



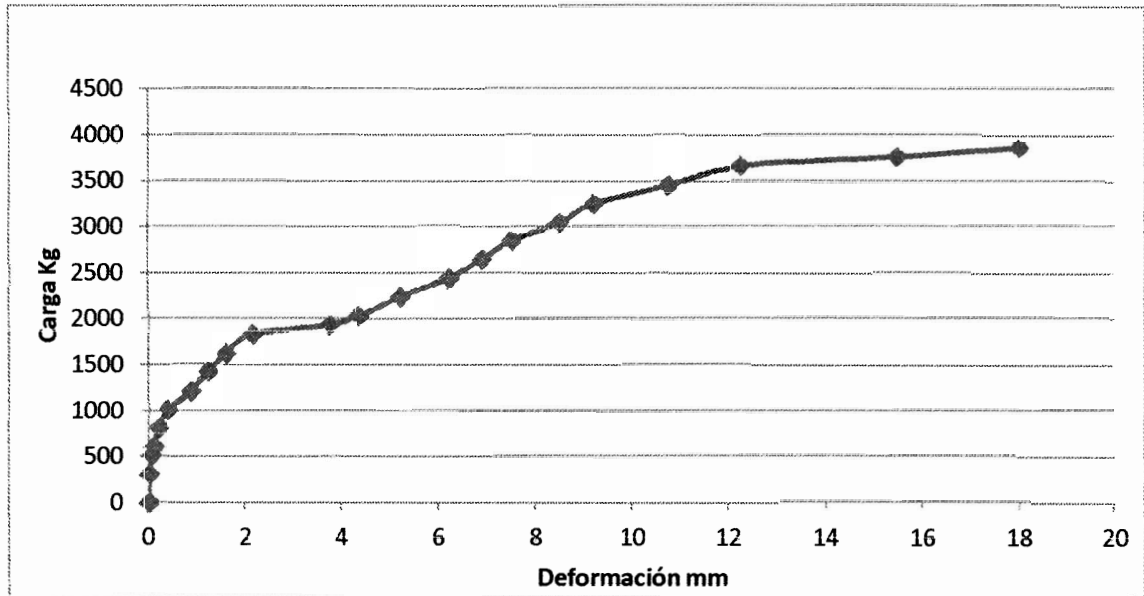
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla I. Datos de ensayo a corte 1

NOTAS	Carga PSI	Carga en Kg	DefVolteo					DefDesplaz				
			Lecturas			Acumulado	Acumulado mm	Lecturas			Acumulado	Acumulado mm
	0	0,0	0-1	3	0,03	0	0,0000	19	82	19,82	0	0
	300	304,90	0-1	4	0,04	1	0,0254	19	83	19,83	1	0,01
	500	508,16	0-1	5	0,05	2	0,0508	19	87	19,87	5	0,05
	600	609,80	0-1	6	0,06	3	0,0762	19	92	19,92	10	0,10
	800	813,07	0-1	8	0,07	4	0,1016	20	3	20,03	21	0,21
	1000	1016,33	0-1	10	0,10	7	0,1778	20	20	20,2	38	0,38
	1200	1219,60	0-1	14	0,14	11	0,2794	20	67	20,67	85	0,85
	1400	1422,86	0-1	17	0,17	14	0,3556	21	2	21,02	120	1,20
	1600	1626,13	0-1	20	0,20	17	0,4318	21	40	21,4	158	1,58
	1800	1829,40	0-1	25	0,25	22	0,5588	21	95	21,95	213	2,13
	1900	1931,03	0-1	33	0,33	30	0,762	23	55	23,55	373	3,73
	2000	2032,66	0-1	38	0,38	35	0,889	24	15	24,15	433	4,33
	2200	2235,93	0-1	44	0,44	41	1,04	25	0	25	518	5,18
	2400	2439,20	0-1	54	0,54	51	1,29	26	0	26	618	6,18
	2600	2642,46	1	63	0,63	60	1,54	26	70	26,7	688	6,88
	2800	2845,73	1	72	0,72	69	1,7526	27	30	27,3	748	7,48
	3000	3049,00	1-2	90	0,90	87	2,2098	28	30	28,3	848	8,48
	3200	3252,26	1-2	2	1,20	117	2,9718	29	0	29	918	9,18
	3400	3455,53	1-2	24	1,24	121	3,0734	30	55	30,55	1073	10,73
	3600	3658,80	1-2	41	1,41	138	3,5052	32	5	32,05	1223	12,23
	3700	3760,43	2	66	1,66	163	4,1402	35	28	35,28	1546	15,46
	3800	3862,06	2-3	93	1,93	190	4,826	37	80	37,8	1798	17,98
Falla local en esquina	3900	3963,70										

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Datos ensayo a corte 1



Fuente: elaboración propia.

Se puede observar en este ensayo, que el límite elástico según la información que nos proporciona la grafica se encuentra en 1 016 kilogramos. El límite elasto-plástico se encuentra en 1 829,40 kilogramos. Hay un valle cerca de 4 milímetros, donde entra a trabajar el acero y después comienza a fluir el acero, hasta llegar a 3 252,27 kilogramos. Ahí hay un endurecimiento del acero. (Ver apéndice)

Aquí el sistema se acepta considerable por valor con el corte basal de 0,25 entra en un rango elato plástico. Además:

$$2,39 \times 0,015 \times 1\ 000 = 35$$

Donde 0,015 es valor de deformación de desplazamiento lateral permitido al muro. De aquí:

$$\frac{2mm}{23,50} = 0,00085 \quad (\text{observar gráfica})$$

El valor de 0,00085 es el nivel de rigidez que el sistema presenta. Hay que observar, que el sistema muestra un elevado comportamiento al desplazamiento lateral. Pero su diseño y comportamiento se rige por la configuración de la malla.

Otra observación importante, es que cuando sobrepasa el 20% del área del muro en espacios abiertos (puertas y ventanas). Hay que descontarle esa abertura al comportamiento del sistema. En este caso el área del muro es de:

$$2,39mt \times 3,65mts = 8,72m^2$$

No tiene áreas de puertas y ventanas por lo que trabaja como un sólido.

Otro dato importante es el peso del parapeto que se obtiene de la siguiente fórmula:

$$0,44Na = 1,20 \times 0,44 \times 1 \times 4 = 2,12$$

Este valor de 2,12 corresponde al peso del parapeto. Entonces el valor máximo permisible:

$$1\,784kg \times 2,12 = 3\,782kg \quad (\text{ver gráfica})$$

Se observa que resiste con la teórica máxima permisible.

### **6.1.3. Ensayo a corte de muro 2**

El modelo para este ensayo es como se muestra a continuación con un muro que tiene vano de ventana únicamente y el área total es de 2,43 metros x 2,39 metros teniendo un grosor de 11 centímetros.

Datos generales del ensayo:

Fecha de fundición: 31.03.2011

Fecha de ensayo: 26.04.2011

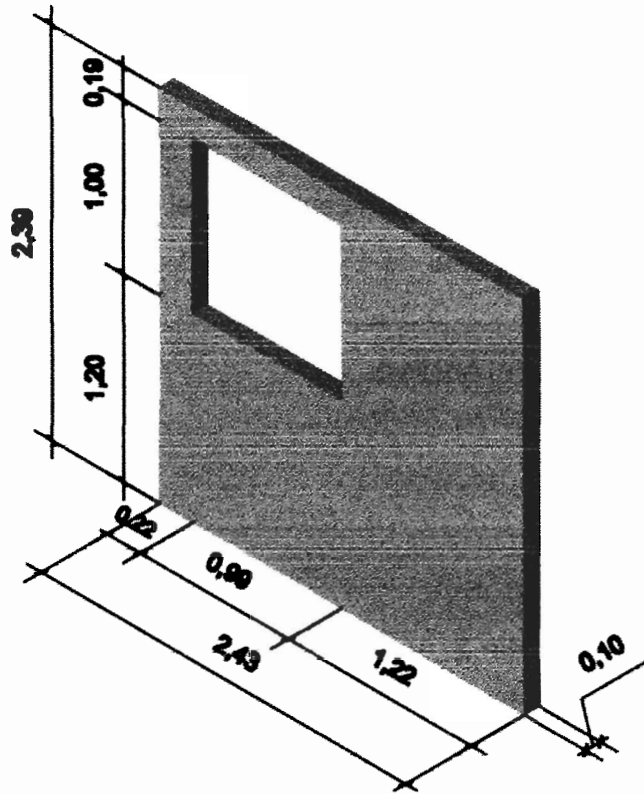
Edad: 26 días

Gato hidráulico: 50 Ton

Área efectiva=2,24m<sup>2</sup>

Conversión: 2,24 m<sup>2</sup>=1 kg

Figura 8. Modelo de ensayo a corte 2



Fuente: elaboración propia.

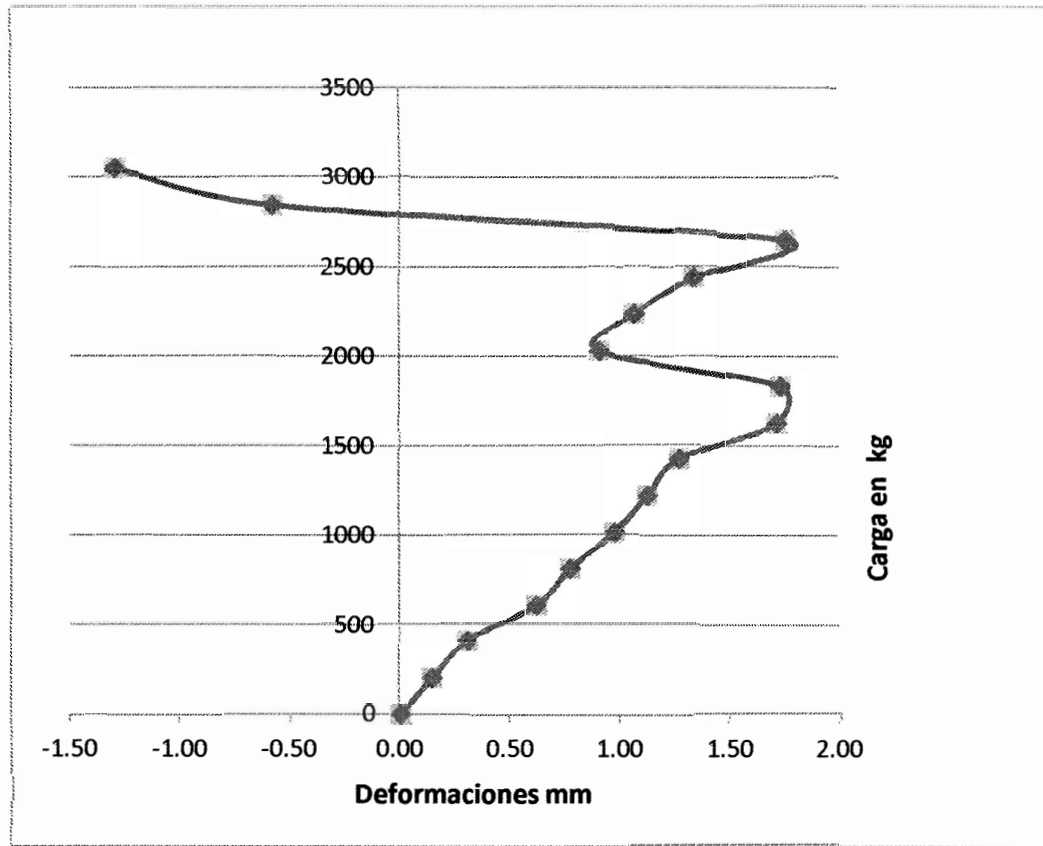


Tabla II. Ensayo a corte 2

NOTAS Y OBSERVACIONES	Carga PSI	Carga en Kg	Def1 (Vottee)				Def2				Def3				0.98 Def. Votero	Def1- Def. %Def1			
			Lecturas	Acumulado	Acumulado mm	Lecturas	Lecturas	Acumulado	Acumulado mm	Lecturas	Lecturas	Acumulado	Acumulado mm						
	0	0,00	1-2 8	1,1	0	0,0000	0-1 0	0	0	0	0	0	21	0	21	0	0,0000	0,00	0,00
	200	203,27	1-2 9	1,1	1,09	0,0109	0-1 2	0	2	0	0,0508	21	15	21	215	21	2,1500	0,00	21,15
	400	406,53	1-2 18	1,2	1,18	0,0118	0-1 5	0	5	0	0,127	21	40	21	2140	21	2,4000	0,00	21,40
	600	609,80	1-2 27	1,3	1,27	0,0127	0-1 11	0	11	0	0,2794	21-22	80	22	2180	22	2,18000	0,00	21,80
	800	813,07	1-2 35	1,4	1,35	0,0135	0-1 14	0	14	0	0,3556	22	3	22	2203	22	2,20300	0,00	22,03
	1000	1016,33	1-2 46	1,5	1,46	0,0146	0-1 18	0	18	0	0,4572	22	34	22	2234	22	2,23400	0,00	22,34
	1200	1219,60	2 60	1,6	1,6	0,0160	0-1 22	0	22	0	0,5588	22-23	63	23	2263	23	2,26300	0,00	22,63
	1400	1422,87	2-3 78	1,8	1,78	0,0178	0-1 26	0	26	0	0,6604	22-23	95	23	2295	23	2,29500	0,00	22,95
	1600	1626,13	2-3 2	2	2,02	0,0202	0-1 34	0	34	0	0,8636	23-24	64	24	2363	24	2,36300	0,00	23,63
	1800	1829,40	2-3 28	2,3	2,28	0,0228	0-1 42	0	42	0	1,0668	23-24	90	24	2390	24	2,39000	0,00	23,90
	2000	2032,67	3 51	3,5	3,51	0,0351	0-1 48	0	48	0	1,2192	24	28	24	2428	24	2,42800	0,00	24,28
	2200	2235,93	3-4 75	3,8	3,75	0,0375	0-1 51	1	51	1	1,2954	24-25	68	25	2468	25	2,46800	0,00	24,68
2.200: Grieta en dirección 0,25m de mochea	2400	2439,20	4 18	4,2	4,18	0,0418	0-1 55	1	55	1	1,397	25	37	25	2537	25	2,53700	0,00	25,37
	2600	2642,47	4-5 48	4,5	4,48	0,0448	1 64	1	64	1	1,6256	26	6	26	2608	26	2,60800	0,00	26,08
	2800	2845,74	7 65	7,7	7,65	0,0765	1 76	1	76	1	1,9304	26-27	86	27	2686	27	2,68600	0,00	26,86
	3000	3049,00	8 68	8,7	8,68	0,0868	1 82	1	82	1	2,0828	27	15	27	2715	27	2,71500	0,00	27,15
	Observación general: se debe evaluar la colocación de más grapas.																		

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Carga vrs deformaciones



Fuente: elaboración propia.

El área de muro sólido menos el espacio de la ventana es:

$$2,43\text{mt} \times 2,39\text{mt} = 5,80\text{m}^2 - (0,99\text{mt} \times 1\text{ mt}) = 4,81\text{ mt}^2$$

Se toma como base los resultados el peso del muro, por metro cuadrado igual a:

$$\frac{808\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4,81\text{m}^2 = 3\ 886\text{ kg}$$

Esto multiplicado por 3 (su resistencia debe ser tres veces su peso como factor de resistencia) y luego por factor de corte basal 0,25:

$$886kg \times 3 \times 0,25 = 2\,914\,kg$$

Entonces la resistencia que debe tener, según gráfica en 2 200,35 kilogramos aparecen grietas y en 2 800 kilogramos hay falla en ventana a 1,20 metros. La falla por aplastamiento es en 3 049 kilogramos.

La falla por aplastamiento en 1,72 milímetros es con carga de 1 829 kilogramos. Entonces:

$$\frac{1\,829,40kg}{2,43mt} = 753kg/mt$$

Para muros que tienen hasta 20% por ventanas y puertas trabajan como sólidos:

$$2,43mt \times 2,39mt = 5,80m^2 - 1m^2 = \frac{4,80m^2}{5,80m^2} = 0,82 \times 100 = 82\%$$

De este resultado se obtiene que el muro trabaje como sólido.

#### **6.1.4. Ensayo a corte de muro 3**

El modelo para este ensayo, es como se muestra a continuación con un muro sólido sin aberturas. El área total es de 3,53 metros x 2,40 metros teniendo un grosor de 0,11 metros.

Datos generales del ensayo:

Fecha de fundición: 31.03.2011

Fecha de ensayo: 27.04.2011

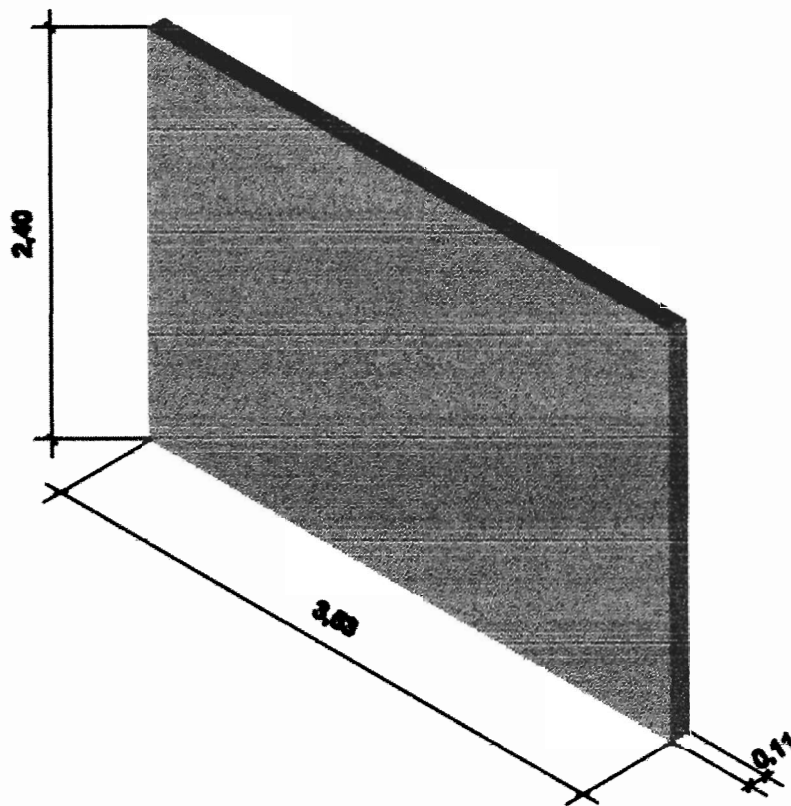
Edad: 27 días

Gato hidráulico: 25 t

Área efectiva= 5,16 in<sup>2</sup>

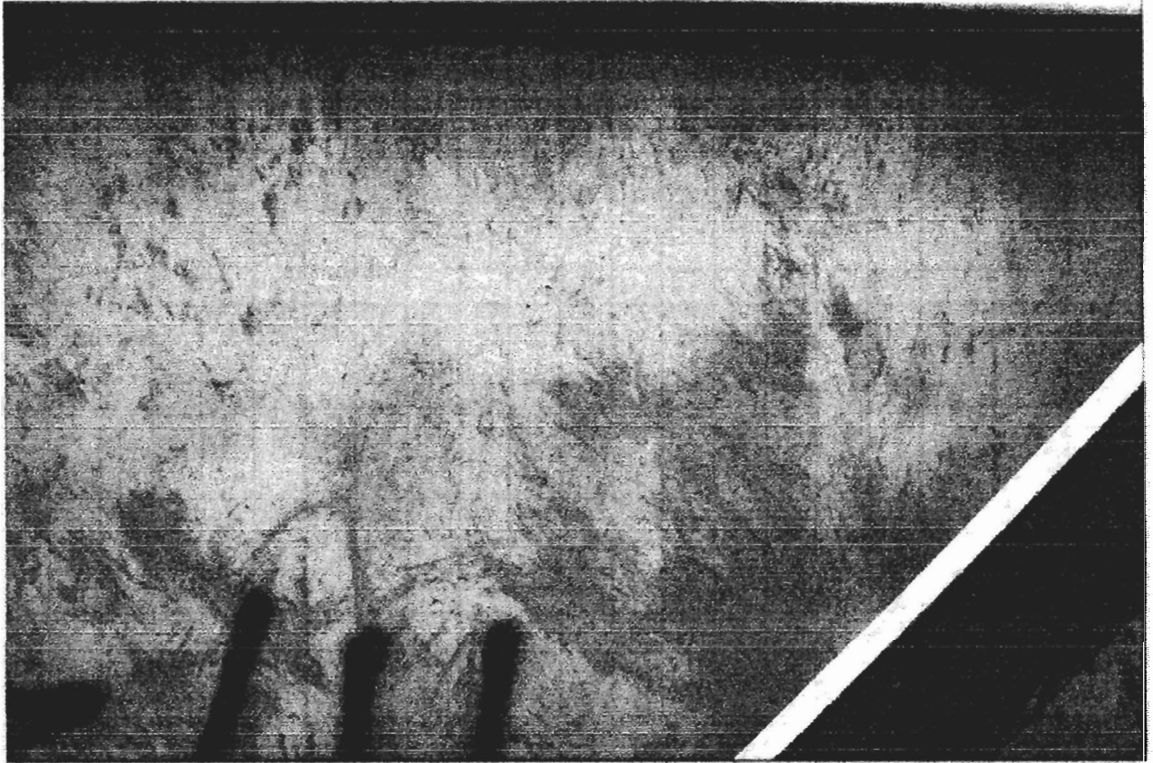
Conversión: 2,24 lb=1 kg

Figura 10. **Modelo de ensayo de muro a corte 3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Ensayo a corte 3**



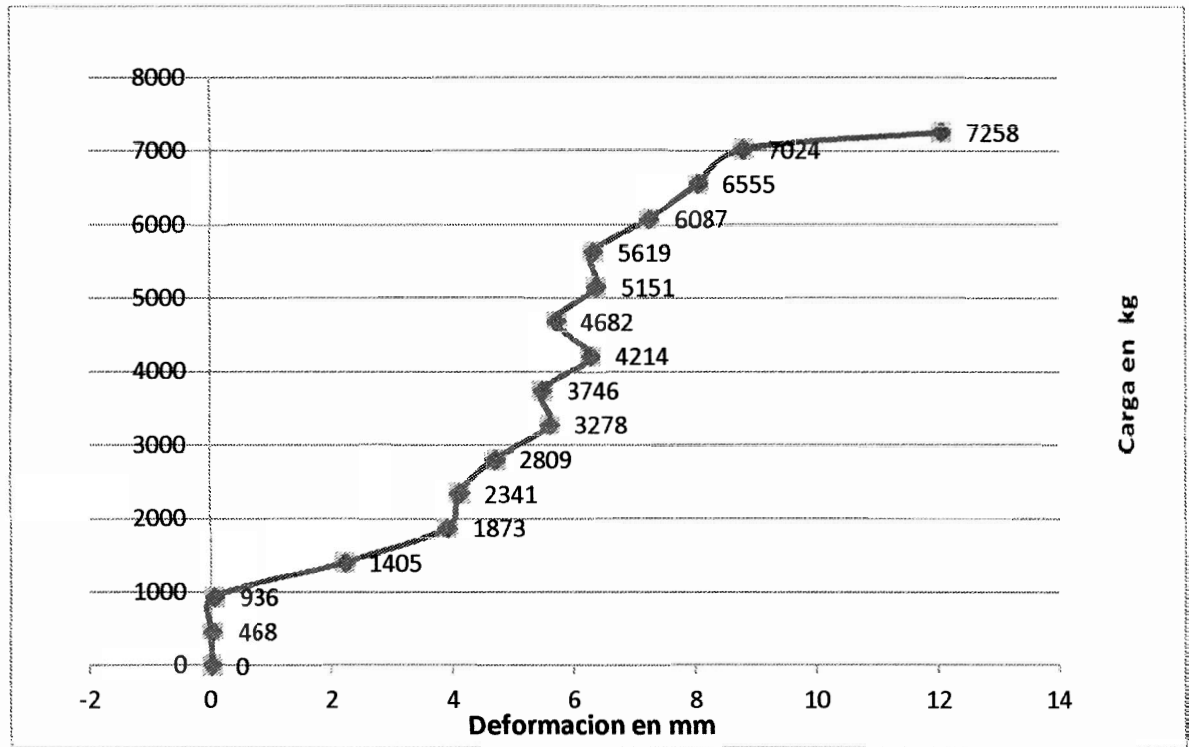
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla III. Datos de ensayo a corte 3

NOTAS Y OBSERVACIONES	Carga PSI	Carga Kg	Def. 1 (Volteo)				Def. 2				Acumulado (mm)	0.67 Def. 1	Def2- %Def1
			Lecturas		Acumulado	mm	Lecturas	Acumulado	Acumulado (mm)				
	0	0,00	19	20	19,2	0	0,0000	24	42	24	0	0,00	0,00
	200	564,89	19	24	19,24	1924	19,2400	24	43	24	2446	0,00	24,46
	400	1129,77	19-0	32	19,32	1932	19,3200	24	54	25	2454	0,00	24,54
	600	1694,66	19-0	73	19,73	1973	19,7300	26	96	27	2696	0,00	26,96
	800	2259,54	0	16	20,16	2016	20,1600	28	95	29	2895	0,00	28,95
	1000	2824,43	0-1	99	20,99	2099	20,9900	29	71	30	2971	0,00	29,71
	1200	3389,31	1	38	21,38	2138	21,3800	25	26	25	2526	0,00	25,26
Se registra la primera falla	1400	3954,20	2	2	22,2	2220	22,2000	26	72	27	2672	0,00	26,72
	1600	4519,08	2-3	59	22,59	2259	22,5900	26	35	27	2685	0,00	26,85
	1800	5083,97	3	7	23,07	2307	23,0700	27	98	28	2798	0,00	27,98
	2000	5648,85	3-4	66	23,66	2366	23,6600	27	80	28	2780	0,00	27,80
	2200	6213,74	4	14	24,14	2414	24,1400	28	80	29	2880	0,00	28,80
	2400	6778,63	4-5	75	24,75	2475	24,7500	29	16	29	2916	0,00	29,16
	2600	7343,51	5	4	25,04	2504	25,0400	30	28	30	3028	0,00	30,28
	2800	7908,40	5-6	59	25,59	2559	25,5900	31	43	31	3143	0,00	31,43
	3000	8473,28	6	2	26,2	2620	26,2000	32	58	33	3258	0,00	32,58
	3200	8755,73	5-6	74	25,74	2574	25,7400	35	54	36	3554	0,00	35,54
Falla (ver nota)			Nota: en 3100 psi se registra falla por aplastamiento en la esquina inferior contraria al gato y re vienta en la esquina										

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Datos ensayo a corte 3



Fuente: elaboración propia.

El área del muro es igual a

$$2,53\text{mt} \times 2,40\text{mt} = 8,47 \text{ mt}^2$$

Se toma como base el peso de panel por metros cuadrados:

$$\frac{808\text{kg}}{\text{m}^2} \times 8,47\text{m}^2 = 6,84 \text{ 5kg}$$

Esto multiplicado por 3 (debe resistir tres veces su peso como factor de resistencia) y luego, por factor de corte basal 0,25.

De aquí:

$$6\,845\text{kg} \times 3 \times 0,25 \cong 5\,134\text{kg}$$

Sería la resistencia que debe resistir el muro. La falla por aplastamiento es en 5,58 milímetros (ver gráfica) con una carga de 3 277 kilogramos. Este dato al dividirlo por su longitud se encuentra su resistencia por metro lineal. De esto, la resistencia es de:

$$\frac{3\,277\text{kg}}{3,53} = 928\text{kg/mt}$$

#### **6.1.5. Ensayo a corte de muro 4**

Este muro consiste en un panel de 2,43 metros de ancho x 2,40 metros de alto con vano de puerta y una ventana según se indica en la vista de perfil del muro.

El área total del muro incluyendo puerta y ventana, es de:

$$2,43\text{mt} \times 2,40\text{mt} = 5,83\text{m}^2$$

A esto se le resta el área de puerta y venta:

$$0,85 \times 0,78 \times 0,79 = 2,32\text{m}^2$$

De aquí el área del muro es igual a

$$5,83\text{m}^2 - 2,32\text{m}^2 = 3,52\text{m}^2$$

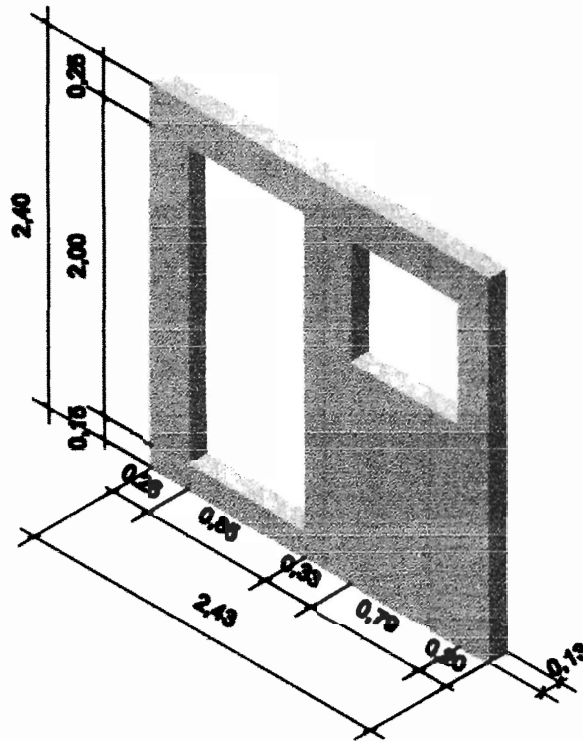


Para ver si trabaja como sólido dividimos su área total entre área de aberturas

$$\frac{3,51}{5,83} = 0,60 \times 100 = 60\%$$

Ya no trabaja como sólido.

Figura 13. **Modelo de ensayo de muro a corte 4**



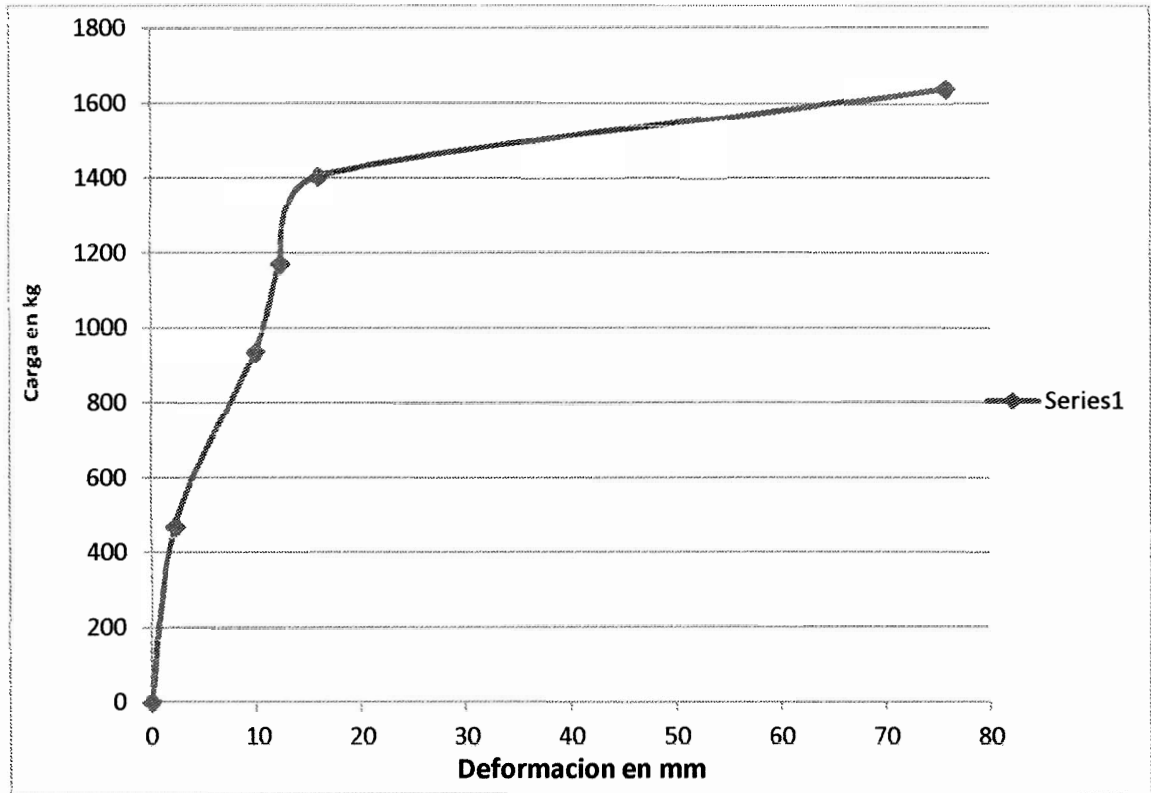
Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. Datos de ensayo a corte 4

NOTAS Y OBSERVACIONES	Carga PSI	Carga Kg	Def 1 (Volteo) a 2.37m de base				Deformometro 2				0.67 Def. %Def1	Def2- %Def1		
			Lecturas	Acumulado	Acumulado	mm	Lecturas	Acumulado	Acumulado	mm				
	0		2-3	6	2,06	0	0,0000	29	0	29	0	0	0,00	
	200	468,24	2-3	63	2,63	263	2,6300	31-32	54	31,54	31,54	2,54	0	2,54
Inician grietas en muro	400	936,48	4-5	70	4,7	470	4,7000	38	0	38	3800	38	0	38,00
hilo se desplaza 9mm y grietas anterioresse expanden	500	1170,60	5-6	73	5,73	573	5,7300	41-42	15	41,15	4115	41,15	0	41,15
hilo se desplaza 11mm	600	1404,72	6-7	59	6,59	659	6,5900	45-46	30	45,3	4530	45,3	0	45,30
	700	1638,84	7-8	32	7,32	732	7,3200	105-106	69	105,7	10569	105,69	0	105,69

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Ensayo a corte 4



Fuente: elaboración propia.

Se toma como base, el área sólida del muro multiplicado por tres y luego por valor de corte basal, lo que proporciona su resistencia:

$$\frac{808kg}{m^2} \times 3,51m^2 \times 3 \times 0,25 = 2130kg$$

Esta es la resistencia que debe tener el muro.

La falla por aplastamiento es en 15,8 milímetros con una carga de 1404,72 kilogramos. De esto

$$\frac{1\,404\text{kg}}{2,43\text{mt}} = 578\text{kg/mt}$$

Se debe observar que para muros que tienen hasta 20% de aberturas por puertas y ventanas, estos trabajan como sólidos, en este caso tiene un 40%, por lo que ya no trabaja como sólido. Es necesario descontarle esa área para conocer su resistencia.

#### **6.1.6. Ensayo a corte de muro 5**

El modelo para este ensayo es como se muestra abajo con un muro con puerta. El área total es de 2,45 metros x 2,40 metros teniendo un grosor de 13 centímetros.

Datos generales del ensayo:

Fecha de fundición: 01.04.2011

Fecha de ensayo: 29.04.2011

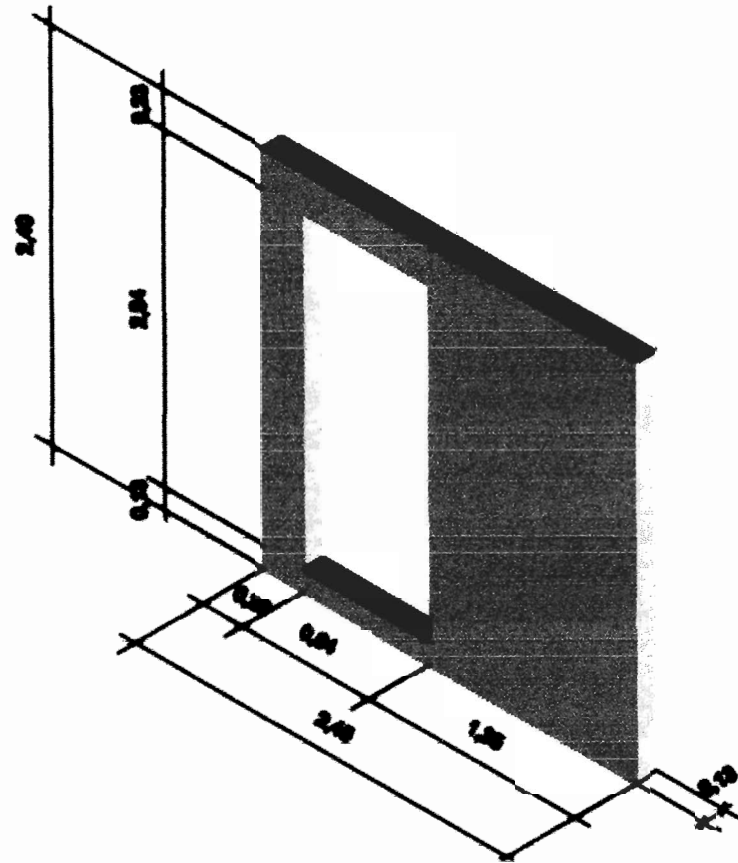
Edad: 28 días

Gato hidráulico: 25 t

Área efectiva = 5,16 in<sup>2</sup>

Conversión: 2,24 lb=1 kg

Figura 15. Modelo de ensayo a corte 5



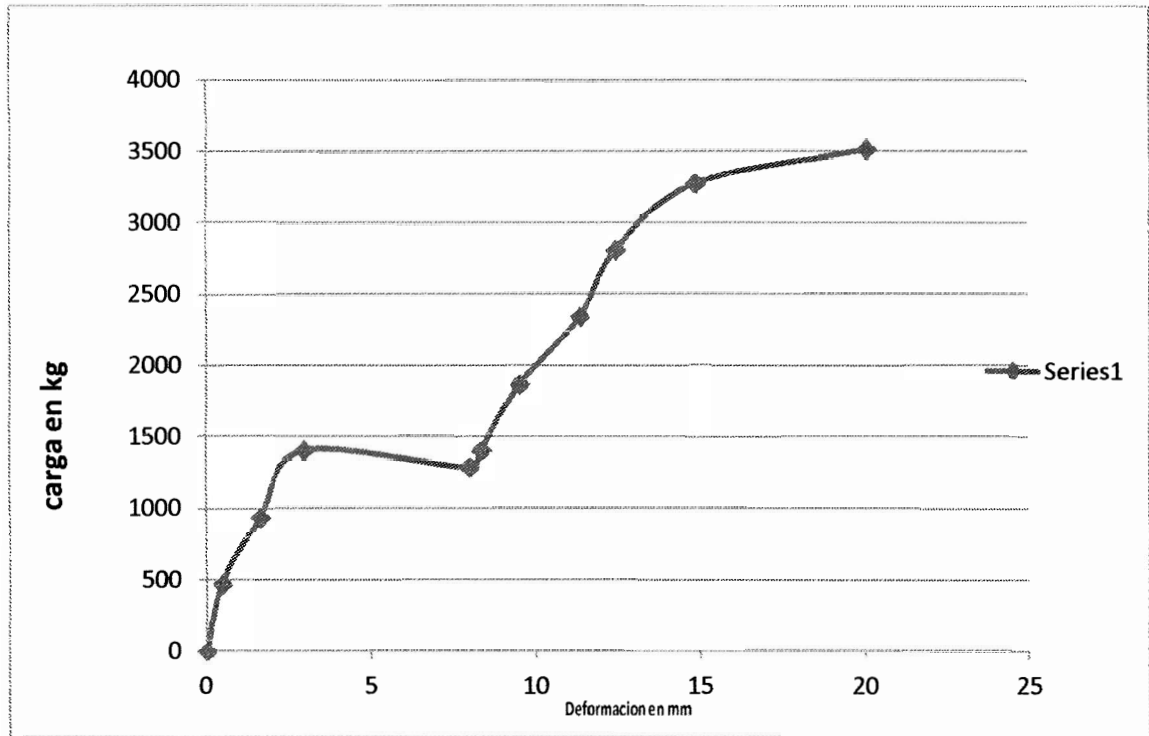
Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Datos de ensayo a corte 5

NOTAS Y OBSERVACIONES	Carga (psi)	Carga (Kg)	Def 1 (Voiteo)				Deformometro 2				Acumulado	0.98 Def. 1	Def2- %Def1
			Lecturas	Acumulado	Acumulado mm	Lecturas	Acumulado	Acumulado mm					
	0	0,00	18-6	6	18,06	0	0,0000	22-23	58	22,58	0	0	0,00
	200	468,24	18-19	23	18,23	1 823	18,2300	23-24	19	23,19	2319	0,61	0,61
	400	936,48	19-0	11	19,11	1 911	19,1100	25	20	25,2	2520	2,62	2,62
	600	1 404,72	0-1	17	20,17	2 017	20,1700	27	60	27,6	2760	5,02	5,02
Aparecen grietas sobre el dintel, hilo 4mm	550	1 287,66			20,17	2 017	20,1700			27,6	2760	27,6	27,60
	600	1404,72	0-1	55	20,55	2 055	20,5500	28	32	28,32	2832	28,32	28,32
Las grietas del dintel atraviesan el muro	800	1 872,96	1-2	54	21,54	2 154	21,5400	30	45	30,45	3045	30,45	30,45
	1 000	2 341,20	2-3	74	22,74	2 274	22,7400	33	46	33,46	3346	33,46	33,46
	1 200	2 809,44	3-4	63	23,63	2 363	23,6300	35	45	35,45	3545	35,45	35,45
Inicio el espolvoreo en esquina de vano	1 400	3 277,68	5-6	72	25,72	2 572	25,7200	39-40	90	39,9	3990	39,9	39,90
falla cede se nota la grieta a 45° en puerta, hilo:23mm	1 500	3 511,80	5-6	73	25,73	2 573	25,7300	45	10	45,1	4510	45,1	45,10

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Ensayo a corte 5



Fuente: elaboración propia.

El área total efectiva del panel

$$A = 2,45\text{mt} \times 2,40\text{mt} = 5,88\text{m}^2 - 0,84\text{mt} \times 2,04\text{mt} = 4,16\text{m}^2$$

Donde se descuenta la puerta de 0,84 metros. La resistencia a corte es igual a:

$$\frac{808\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4,16\text{m}^2 = 3\,366,45\text{kg} \times 3 \times 0,25 = 2\,526\text{kg}$$

Tres es su propio peso tres veces y 0,25 el valor de corte basal.

En la gráfica se puede observar, que en 1 287 kilogramos aparecen grietas y en 1 404 kilogramos la gráfica se desplaza, para luego continuar hasta 2 809 kilogramos donde el hilo está en 10 milímetros. En general su resistencia es adecuada. (Ver conclusiones)

**Tabla VI. Análisis general de paneles a corte**

Tipo y número de panel	Longitud (mts)	Alto (mts)	Area Total (mts <sup>2</sup> )	Area de vacíos (mts <sup>2</sup> )	% Area efectiva (m2)	Carga de desarrollo rango elasto-plastico(kg)	Relación largo/alto (factor adimensional)	Carga de diseño (kg)	Relacion carga/longitud (kg/m)
Corte panel sólido	3,65	2,39	8,72	0	8,72	2845,74	1,52	1 872,20	513
Panel con modulo de ventana	2,43	2,39	5,8	0,99	4,81	1 423	1,01	1 408,90	580
Corte de panel sólido	2,4	3,53	8,47	0	8,47	600 promedi	1,47	1 088,40	453
Corte con puerta y ventana	2,43	2,4	5,83	2,32	3,51	1 405	1,01	1 391,00	572
Corte de panel con puerta	2,45	2,4	5,88	1,71	4,17	1404,72	1,02	1 377,00	562

Fuente: elaboración propia.



En base a los ensayos hechos, se observa que el sistema constructivo posee una capacidad de resistencia a corte de 1 400 kilogramos en promedio, y a la vez nos da como resultado que ese esfuerzo por metro lineal es de 530 kilogramos/metros en promedio.

## **6.2. Ensayos de compresión**

De acuerdo a Jeans Handry y otros autores, la resistencia a compresión deber ser 8 veces la resistencia a corte. El ensayo corresponde a tres muros normales, dos de los cuales no tienen viga de apoyo, como en el caso del muro tres el cual se le colocó una viga de apoyo.

En vista de que en ensayos anteriores, se observó que el sistema constructivo tiene debilidad por aplastamiento, en las áreas de apoyo sobre todo en la superficie que apoyan al suelo.

### **6.2.1. Ensayo de compresión muro 1**

Este muro consiste en un panel solido sin aberturas tal y como se muestra en el esquema, con 0,025 metros de fundición en sus ambas caras, no tiene refuerzo adicional. Las características generales del muro son las siguientes:

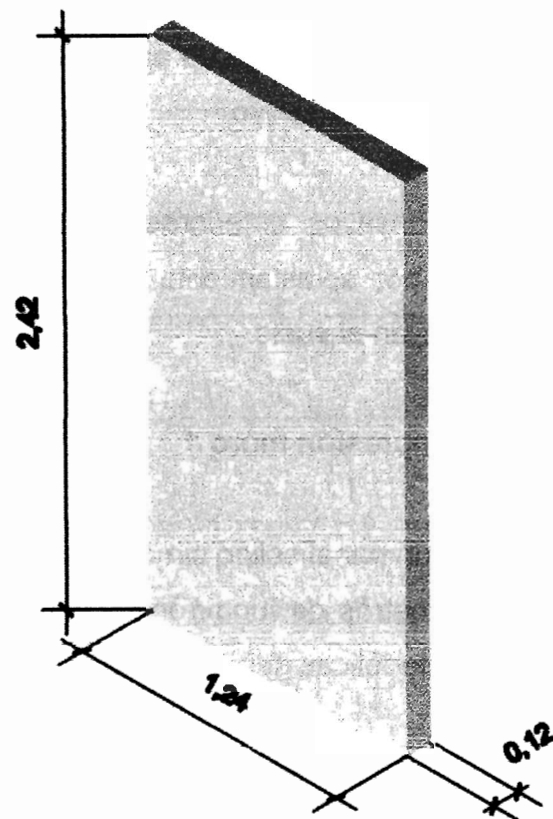
Fecha de fundición: 05.04.2011

Fecha de ensayo: 10.05.2011

Edad: 35 días

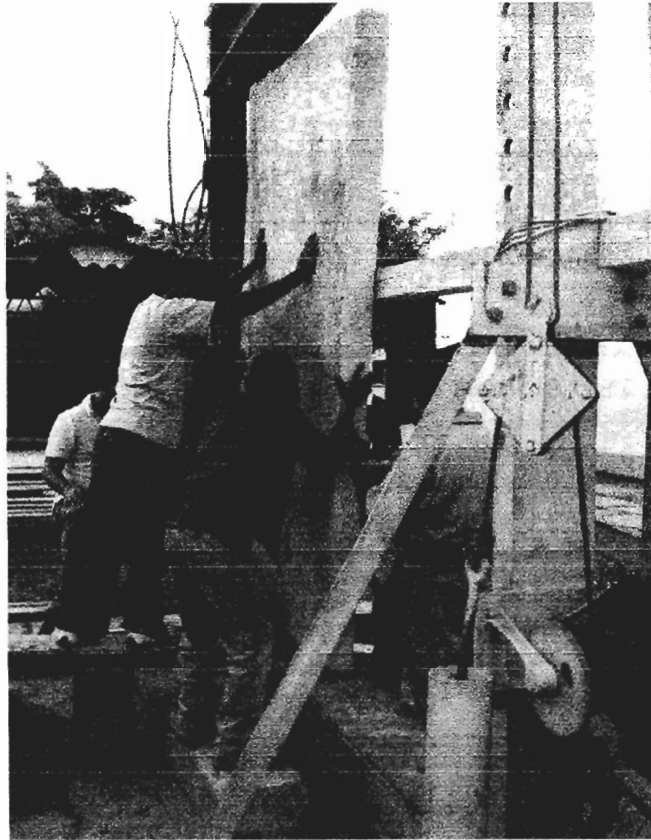
Conversión: 2,24 lb=1 kilogramos

Figura 17. **Modelo de muro a compresión 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Ensayo a compresión 1**



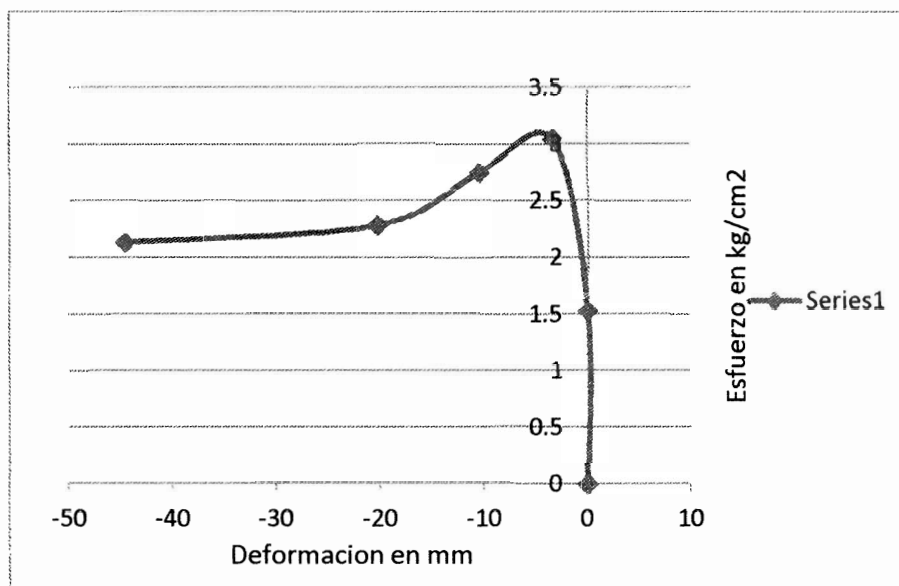
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla VII. Ensayo a compresión 1

NOTAS	Carga (PSI)	Carga Real (PSI)	Carga (Kg)	Esfuerzo (F/A)	Lecturas			Acumulado	Acumulado (mm)
	0	0	0	0	11	0	61	0	0,00
	5 000	3 977,8	2 268,60	1,52	10-11	44	60,44	0	0,00
	10 000	8 427,8	4 537,21	3,05	9	12	59,12	-132	-3,35
	9 000	7 537,8	4 083,48	2,74	6	28	56,28	-416	-10,57
	7 500	6 202,8	3 402,90	2,29	2-3	45	52,45	-799	-20,29
	7 000	5 757,8	3 176,04	2,13	42-43	84	42,84	-1760	-44,70
<b>Nota: Aplastamiento total de 4,5 cm</b>									

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Compresión 1



Fuente: elaboración propia.

Como se ha mencionado de acuerdo a Jeans Handry y otros autores la resistencia a compresión debe estar comprendida entre ocho veces la resistencia a corte.

La carga que corresponde a la compresión del sistema es de 4 537 kilogramos y esta corresponde a 3,05 kilogramos/centímetros cuadrados. Entonces de la resistencia a corte promedio de:

$$\frac{530kg}{mt} \times 100cm = \frac{5,30kg}{12cm} = 0,44kg/cm^2$$

Esta es la resistencia que debe ser multiplicada por lo menos 6 veces para concluir si resiste.

De aquí se obtiene:

$$\frac{0,44kg}{cm^2} \times 6 = 2,65$$

Buscando el más cercano en tabla se encuentra que es:

$$\frac{3,05}{0,44} = 6,81 \cong 7 \text{ la resistencia a corte}$$

Se acepta el sistema ya que le dato teórico de Jeans Handry en la práctica puede llegar hasta 6 veces la resistencia adecuada.

### 6.2.2. Ensayo de compresión muro 2

Este muro consiste en un panel sólido sin aberturas tal y como se muestra en el esquema, con 2,5 centímetros de fundición en sus ambas caras con un grosor total de 12 centímetros. No tiene refuerzo adicional y sus dimensiones son de 1,24 metros x 2,42 metros. Las características generales del muro son las siguientes:

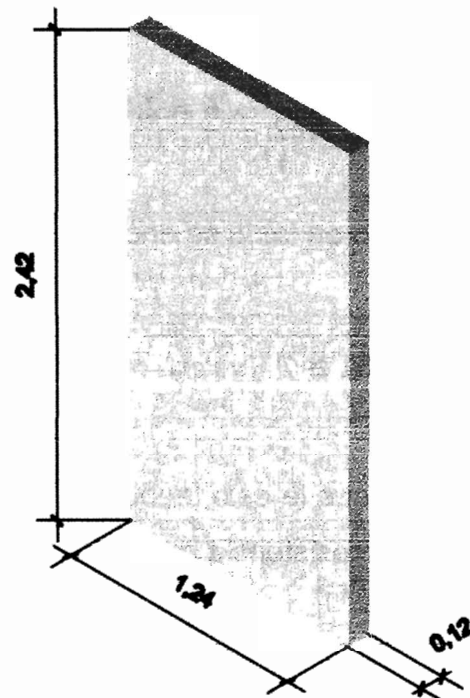
Fecha de Fundición: 05.04.2011

Fecha de Ensayo: 10.05.2011

Edad: Edad: 35 días

Conversión: 2,24 lb=1 kg

Figura 20. **Modelo de ensayo de muro a compresión 2**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 21. Ensayo a compresión 2**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

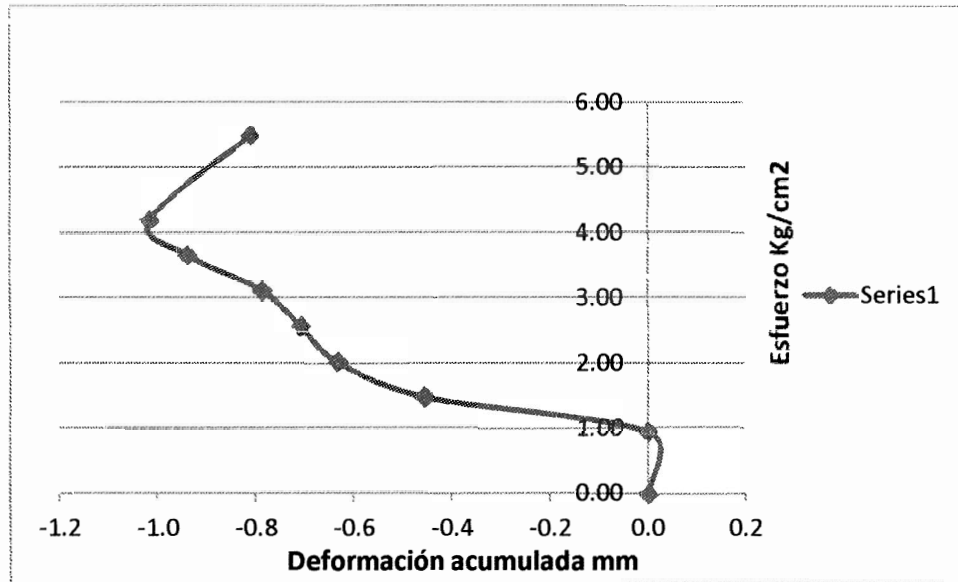
Tabla VIII. Ensayo a compresión 2

NOTAS	Carga PSI	Carga real en psi	Carga en Kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	Lecturas		Acumulado	Acumulado mm
	0	0	0,00	0,00	49	0	49	0,00
	4000	3 087,8	1 401,00	0,94	48-49	96	48,96	0,00
	6000	4 867,8	2 208,62	1,48	48	78	48,78	-0,46
	8000	6 647,8	3 016,24	2,03	48	71	48,71	-0,64
	10 000	8 427,8	3 823,87	2,57	48	68	48,68	-0,71
	12000	1 020,8	4 631,49	3,11	48	65	48,65	-0,79
	14000	11987,8	5 439,11	3,66	48	59	48,59	-0,94
	16000	1 3767,8	6 246,73	4,20	48	56	48,56	-1,02
Comienza a botar carga	18000	1 5547,8	8 166,97	5,49	48	64	48,64	-0,81
Nota: Aplastamiento total 3 cm								

Fuente: elaboración propia.



Figura 22. Ensayo a compresión 2



Fuente: elaboración propia.

La carga que corresponde a la compresión del sistema es de 4 537 kilogramos corresponde 3,05 kilogramos/centímetros cuadrados. De aquí se toma el valor de corte:

$$\frac{530kg}{mt} = \frac{5,30kg}{12cm} = 0,44kg/cm^2$$

De este valor

$$\frac{0,44kg}{cm^2} * 6 = 2,65$$

Pero se toma

$$\frac{4,20 \frac{kg}{cm^2}}{0,44} = 9,5$$

Sobrepasa la resistencia de corte en más de ocho veces.

Se observa que la zona de resiliencia en punto 1, su zona elástica en 2,57 milímetros, la zona elastoplástica, y en 4,20 milímetros se observó falla por aplastamiento. Se observó un acomodamiento del muro previo a fallar por aplastamiento (pto. 2,57 milímetros hasta 3,11 milímetros) hasta que falló en 4,20 milímetros.

Se debe hacer la observación, que este panel mejoró su resistencia, debido a que se le colocó un refuerzo de malla electrosoldada, adicional a la que tiene en la parte inferior de 30 centímetros hacia arriba, esto con el objetivo de simular un mejor empotramiento.

Este es la resistencia de diseño que debe tomarse como base, ya que mejoró sustancialmente y llega al punto de referencia de resistencia de 9.5 veces la resistencia buscada que es de 8 veces. El valor de su zona elástica está en el rango de 3 000 kilogramos.

Se acepta el sistema ya que el dato teórico de Jeans Handry en la práctica puede llegar a 6 veces la resistencia.

### **6.2.3. Ensayo de compresión muro 3**

Este muro consiste en un panel sólido, sin aberturas tal y como se muestra en el esquema, con 0,025 metros de fundición en sus ambas caras con un grosor total de 0,12 metros. No tiene refuerzo adicional y sus

dimensiones son de 1,24 metros x 2,42 metros. Las características generales del muro son las siguientes:

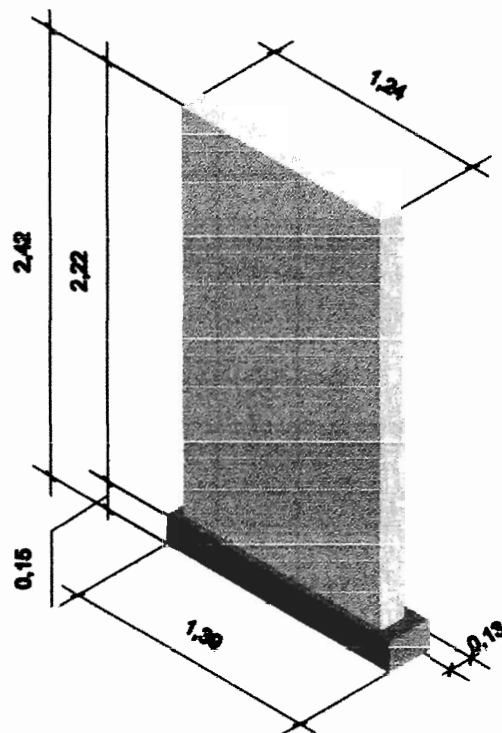
Fecha de fundición: 10.05.2011

Fecha de ensayo: 09.06.2011

Edad: 29 días

Conversión: 2,24 lb=1 kg

Figura 23. **Modelo de ensayo compresión 3 con viga de cimiento**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Datos de ensayo a compresión 3

NOTAS	Carga Viga PSI	Carga Real PSI	Carga en Kg	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	Lecturas		Acumulado	Acumulado mm
	-	-	-	0,00	24	0	0	0,0
	5 000,00	3 977,80	1 804,81	1,48	24	17,5	17,5	0,18
	10 000,00	8 427,80	3 823,87	3,13	24	36	36	0,36
	15 000,00	12 877,80	5 842,92	4,79	24	38	38	0,38
	20 000,00	17 327,80	7 861,98	6,44	24-25	52	52	0,52
	25 000,00	21 777,80	9 881,03	8,10	24-25	73	73	0,73
	30 000,00	26 227,80	11 900,09	9,75	25	0	100	1,00
	35 000,00	30 677,80	13 919,15	11,41	25-26	25	125	1,25
	40 000,00	35 127,80	15 938,20	13,06	25-26	74	174	1,74
Fallo del muro	41 500,00	36 462,80	16 543,92	-0,18				

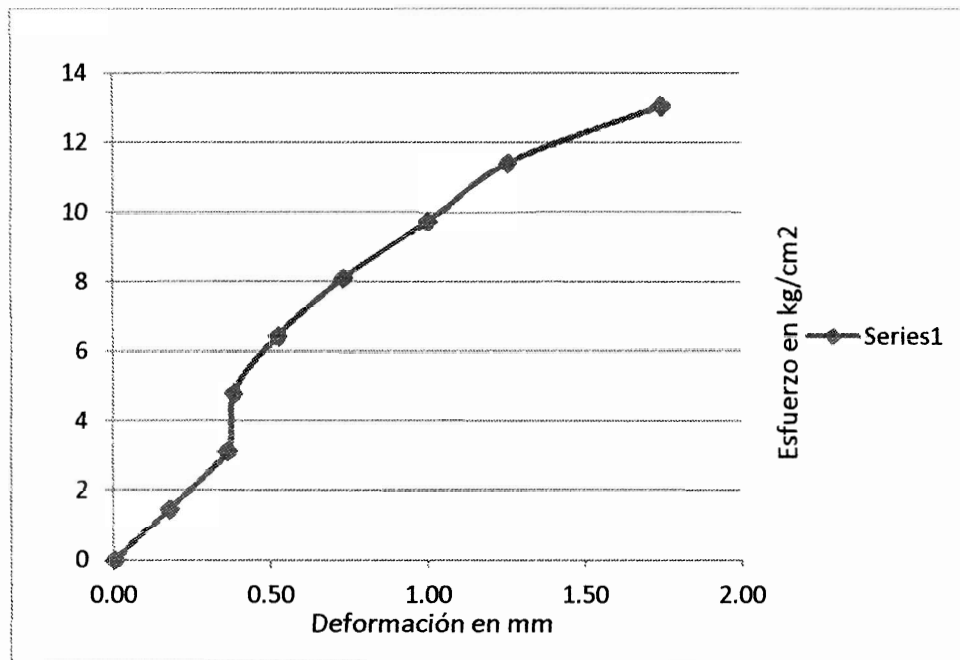
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Ensayo a compresión 3**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 25. Datos ensayo a compresión 3



Fuente: elaboración propia.

La carga que corresponde a la compresión del sistema, es de 4 537 kilogramos corresponde 3,05 kilogramos/centímetros cuadrados. Como ya se obtuvo la resistencia a corte es de 530 kilogramos/metros, se procede a la respectiva conversión y queda:

$$\frac{530kg}{mt} = \frac{5,30kg}{cm} = 0,53kg/cm^2$$

Este valor se multiplica por 6 y queda:

$$\frac{0,53kg}{cm^2} * 6 = 3,18$$

Pero se toma su valor

$$\frac{8,10kg}{\frac{cm^2}{0,53}} = 15,28 \cong 15$$

Que es el punto tangente y donde trabaja el ferrocemento, 15 veces la resistencia de corte. Sobrepasa a 9 requerida.

Se observa que el muro trabajando en forma real su comportamiento estructural se mejora y sobre todo con la viga de amarre en la parte inferior con pines no. 3 @ 40 centímetros.

Se acepta el sistema, ya que el dato teórico de Jeans Handry en la práctica puede llegar a 6 veces la resistencia de corte, que marca 3,13 kilogramos/centímetros cuadrados se marca la residencia del sistema.

La resistencia anda en el orden de 1 400 kilogramos, el menor de los tres. Luego hay un comportamiento (zona elástica) del sistema. El rango elastoplástico, se encuentra alrededor de los 4 500 kilogramos y luego entramos a la zona plástica donde solo trabaja el acero. Su valor de diseño en el rango elastoplástico, es de 4 600 kilogramos. Su valor de endurecimiento por estricción anda de 2 veces de la zona elastoplástica.

Al evaluar las tres gráficas en su zona de endurecimiento por estricción, se observa la importancia que tiene el comportamiento de los muros cuando en la parte inferior, se ha desarrollado un empotramiento integrado por un sistema de cimiento corrido, con pines con la distribución mencionada en la distribución a corte.

La zona de elastoplasticidad es de 3 000 kilogramos. En 4 600 zona de endurecimiento con la zona elasticoplástica 4 600/3 000 un valor de 50% más de capacidad que tiene el sistema antes de llegar a su límite inferior de falla.

Tabla X. **Resumen de ensayos a compresión**

Descripción de muros a Compresión	Largo (L) (mi)	Alto (A) (metros)	Relación L/A	Resiliencia del Sistema (kg)	Zona Elástica (kg)	Zona Elastoplástica (kg)	Zona de Colapso falla por aplastamiento (kg)
Muro no. 1	1,24	2,42	0,51	1 400	3 000	3 500	4 537
Muro no. 2	1,24	2,42	0,51	1 400	3 824	5 439	6 246
Muro no. 3	1,22	2,27	0,54	1 400	3 823	4 600	13 919

Fuente: elaboración propia.

La resistencia a compresión del sistema constructivo genera un esfuerzo de 3,00 kilogramos/centímetros cuadrados en general y su comportamiento es aceptable según los datos de cada ensayo, ya que como mínimo resiste seis veces el esfuerzo a corte que, es lo generalmente aceptable según Hans Hendry.

El sistema muestra según la tabla de resumen, que cuando los muros están construidos sobre una cimentación pineada, como lo fue el ensayo no.3, su comportamiento estructural sube significativamente.



### **6.3. Ensayos de muros a flexión**

Se busca en las pruebas de flexión encontrar el módulo de elasticidad del sistema E y determinar la una constante "a" como factor constante, para el presente sistema constructivo de la ecuación  $E=af'm$ . para esto se debe tomar dos paneles que poseen las mismas medidas para tener cálculos confiables.

#### **6.3.1. Ensayo de flexión muro 1**

El muro está fundido 0,025 metros en cada cara y mide 1,22 metros x 2,42 metros, tal y como se muestra en modelo de abajo, y tiene un grosor de 0,10 metros.

Datos generales del ensayo:

Fecha de fundición: 04.04.2011

Fecha de ensayo: 09.05.2011

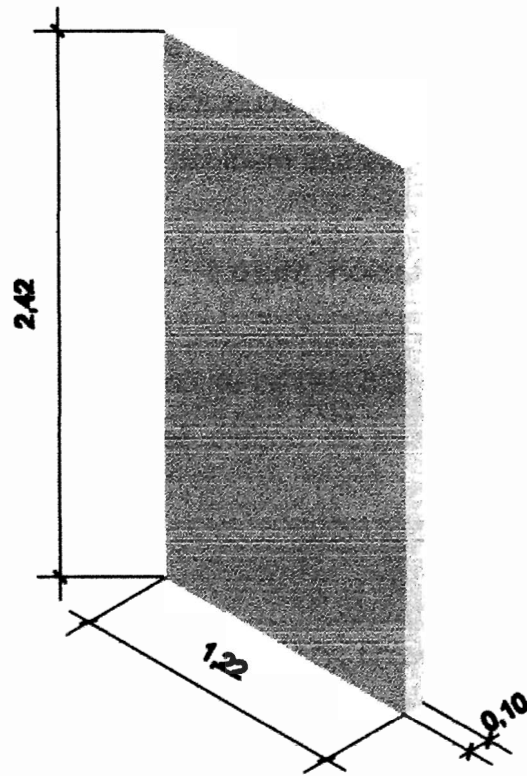
Edad: 35 días

Gato hidráulico: 10 t

Área Efectiva= 2,24m<sup>2</sup>

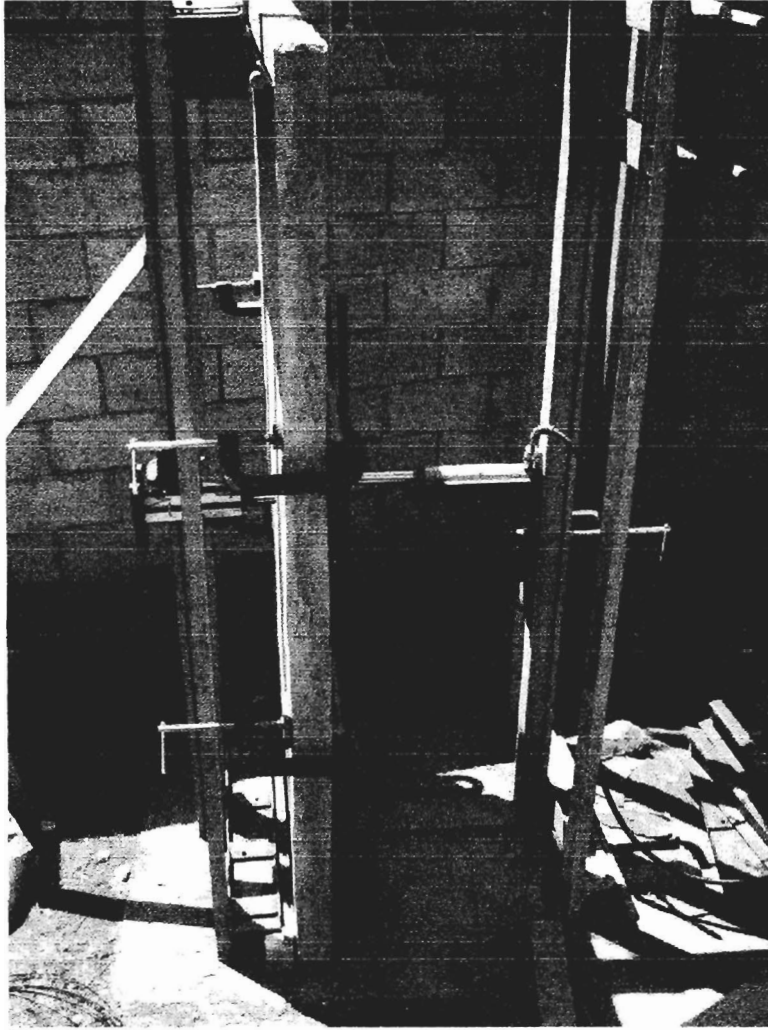
Conversión: 2,24 m<sup>2</sup>=1 kg

Figura 26. **Modelo de ensayo de muro a flexión 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Ensayo a flexión 1



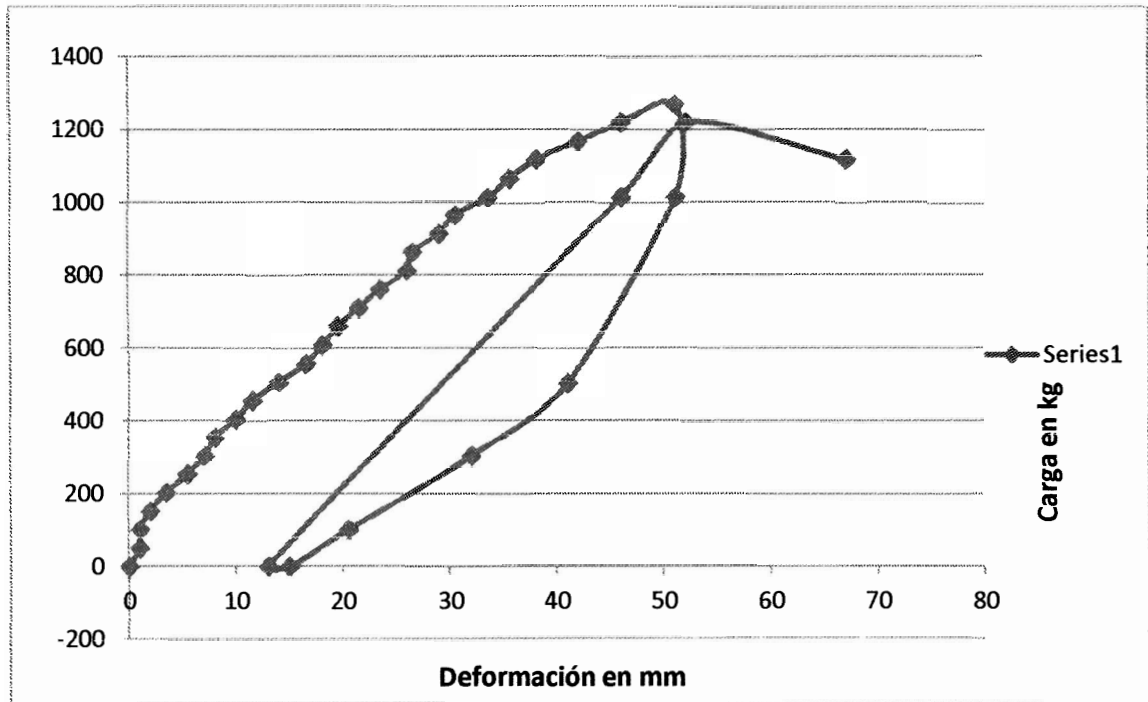
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XI. Datos de ensayo a flexión 1

NOTAS	Carga PSI	Carga en Kg	Def Flexión		
			Lectura	Acum CM	Acum mm
	0	0,00	7,40	0,00	0,00
	50	50,82	7,50	0,10	1,00
	100	101,63	7,50	0,10	1,00
	150	152,45	7,60	0,20	2,00
	200	203,27	7,75	0,35	3,50
Cruje de ajuste	250	254,08	7,95	0,55	5,50
	300	304,90	8,10	0,70	7,00
	350	355,72	8,20	0,80	8,00
	400	406,53	8,40	1,00	10,00
	450	457,35	8,55	1,15	11,50
Primeras grietas (celeste)	500	508,17	8,80	1,40	14,00
	550	558,98	9,05	1,65	16,50
	600	609,80	9,20	1,80	18,00
	650	660,62	9,35	1,95	19,50
	700	711,43	9,55	2,15	21,50
	750	762,25	9,75	2,35	23,50
	800	813,07	10,00	2,60	26,00
	850	863,88	10,05	2,65	26,50
Fallas en morado y se expanden las celestes	900	914,70	10,30	2,90	29,00
Bota la carga a 800	950	965,52	10,45	3,05	30,50
	1 000	101,33	10,75	3,35	33,50
	1 050	1 067,15	10,95	3,55	35,50
Bota la carga a 1050	1 100	1 117,97	11,20	3,80	38,00
	1 150	1 168,78	11,60	4,20	42,00
	1 200	1 219,60	12,00	4,60	46,00
Bota la carga	1 250	1 270,42	12,50	5,10	51,00
Descargando	1 000	1 016,33	12,50	5,10	51,00
	500	5 08,17	11,50	4,10	41,00
	300	304,90	10,60	3,20	32,00
	100	101,63	9,45	2,05	20,50
	0	0,00	8,90	1,50	15,00
Dejando 2 min después	0	0,00	8,70	1,30	13,00
Volviendo a cargar	1 000	1 016,33	12,00	4,60	46,00
	1 200	1 219,60	12,60	5,20	52,00
	1 100	1 117,97	14,10	6,70	67,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Carga-deformación flexión 1



Fuente: elaboración propia.

### 6.3.2. Ensayo de flexión muro 2

El muro está fundido 0,025 metros en cada cara, y mide 1,22 metros x 2,42 metros tal y como se muestra en modelo de abajo, y tiene un grosor de 0,10 metros.

Datos generales del ensayo:

Fecha de fundición: 04.04.2011

Fecha de ensayo: 06.05.2011

Edad: 32 días

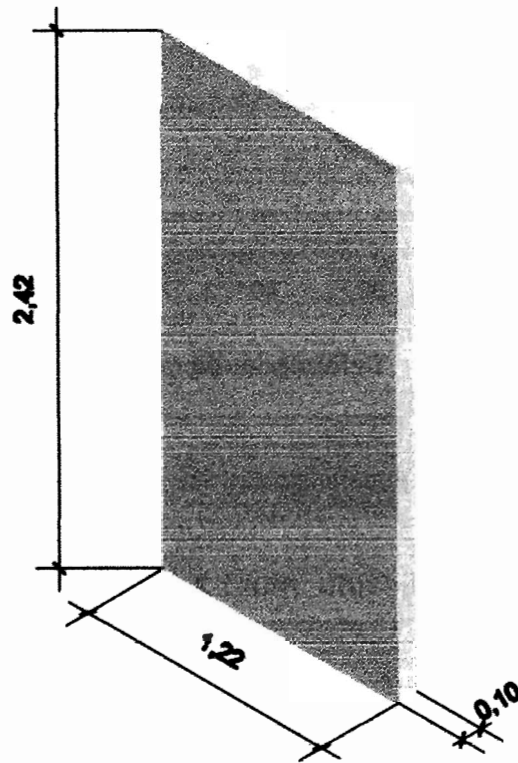
Gato hidráulico: 10 t

Área efectiva= 2,24in<sup>2</sup>

Conversión: 2,24 lb=1 kg

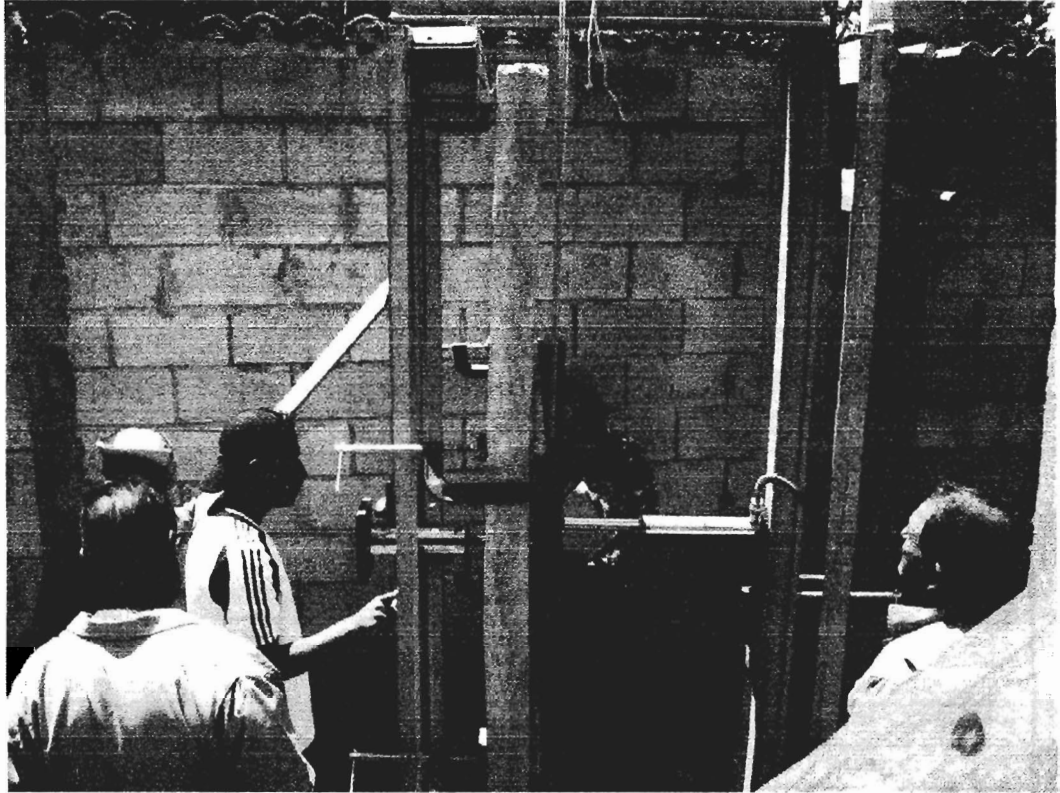
Para este ensayo la altura efectiva se toma la distancia entre apoyos, que en este caso ha sido de 2,30 metros.

Figura 29. **Modelo de ensayo de muro a flexión 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Ensayo a flexión 2**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XII. Datos de ensayo a flexión 2

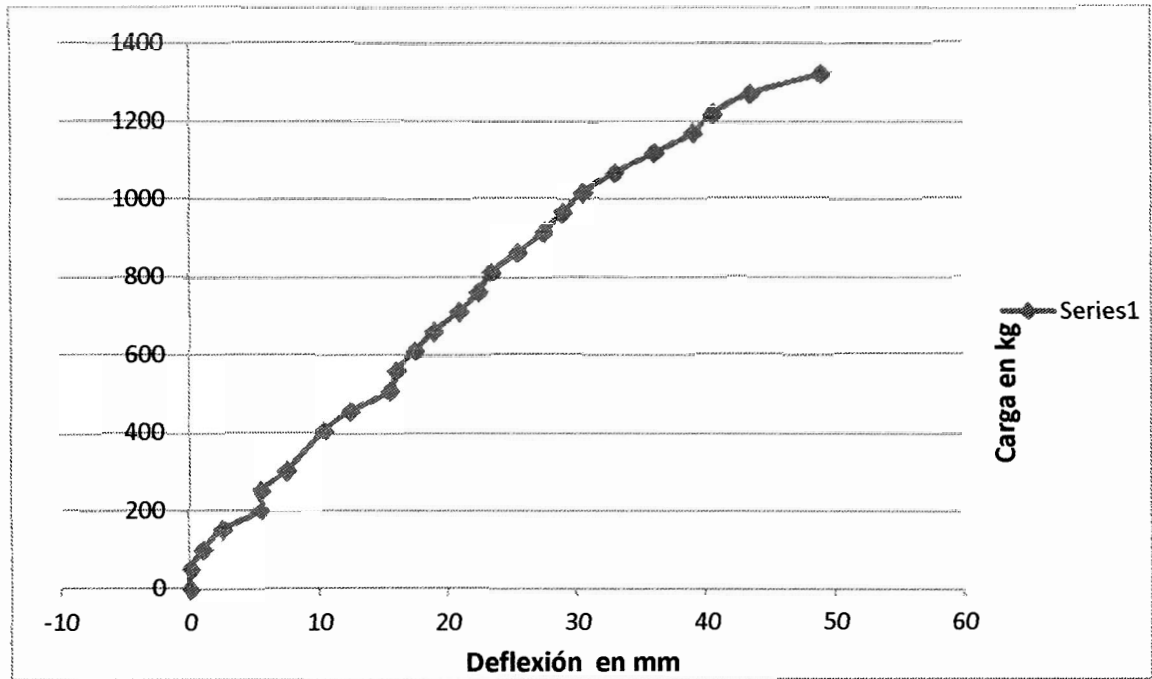
NOTAS	Carga (PSI)	Carga (Kg)	Deflexión		
			Lectura	Acum (Cm)	Acum (mm)
	0	0,00	19,40	0,00	0,00
	50	4,06	19,40	-2,90	-29,00
	100	8,13	19,50	-2,80	-28,00
	150	12,19	19,65	-2,65	-26,50
	200	16,25	19,95	-2,35	-23,50
	250	20,31	19,95	-2,35	-23,50
	300	24,38	20,15	-2,15	-21,50
	350	28,44	20,30	-2,00	-20,00
	400	32,50	20,45	-1,85	-18,50
	450	36,56	20,65	-1,65	-16,50
	500	40,63	20,95	-1,35	-13,50
Fallas de color naranja	550	44,69	21,00	-1,30	-13,00
	600	48,75	21,15	-1,15	-11,50
	650	52,81	21,30	-1,00	-10,00
	700	56,88	21,50	-0,80	-8,00
	750	60,94	21,65	-0,65	-6,50
Fallas de color verde	800	65,00	21,75	-0,55	-5,50
	850	69,06	21,95	-0,35	-3,50
	900	73,13	22,15	-0,15	-1,50
	950	77,19	22,30	0,00	0,00
	1 000	81,25	22,45	0,15	1,50
	1 050	85,31	22,70	0,40	4,00
Fallas en lápiz	1 100	89,38	23,00	0,70	7,00
	1 150	93,44	23,30	1,00	10,00
	1 200	97,50	23,45	1,15	11,50
	1 250	101,56	23,75	1,45	14,50
Totalmente rajado, ya no sube carga	1 300	105,63	24,30	2,00	20,00

Fuente: elaboración propia.

Se le siguió aplicando carga hasta topar a los 0,25 metros, en descarga regresó 0,03 metros.



Figura 31. Carga-deformación ensayo a flexión 2



Fuente: elaboración propia.

### 6.3.3. Análisis de resultados de ensayos a flexión

Lo primero que se observa es que la carga  $P$  de falla del material se encuentra ubicada en 508,17 kilogramos se toma para su objetivo el redondeo a 508 kilogramos y se toma el dato exacto del panel no.1 que es el menor de los dos paneles. Además la deformación para esa carga se encuentra en 14 milímetros.

Además se tiene la ecuación para el módulo de elasticidad  $E$ , según el código ACI para este modelo con dos cargas distribuida a  $L/3$  donde  $L$  es la longitud del muro. La ecuación es la siguiente:

$$\Delta = \frac{0,85PL^3}{24EI}$$

De donde se despeja E para encontrar el módulo de elasticidad del sistema. Entonces la ecuación quedaría:

$$E = \frac{0,85PL^3}{24\Delta I}$$

Aquí se sustituye los valores que se obtuvieron en la prueba de donde P es la fuerza de falla, L es la longitud del muro,  $\Delta$  es la deformación para esa fuerza P, y la I inercia del muro a ensayar.

$$P = 508 \text{ kg}$$

$$L = 242 \text{ cm}$$

$$\Delta = 1.4 \text{ cm}$$

$$I = 1/12 bh^3 = 1/12(122) (10)^3 = 10\ 167,00 \text{ cm}^4$$

La ecuación da como resultado:

$$E = 0,85 * 508 * \frac{242^3}{24 * 1,4 * 10\ 167} = 17\ 914 \text{ kg/cm}^2$$

Con este valor y con  $f'm = 45,25$  se puede determinar la constante "a" con que se debe calcular el módulo E. Entonces la ecuación quedaría:

$$a = \frac{E}{f'm} = \frac{17914}{45.25} = 395.89 \cong 400$$

Con este factor encontrado se obtiene la ecuación con que debe ser calculado el módulo elástico del sistema el cual queda de la siguiente manera:

$$E = 400f'm$$

#### **6.4. Ensayo sobre losas**

Las pruebas para losas deben realizarse en base a la deflexión máxima admisible calculada del código ACI tabla 9.5. Donde se indica que para este caso, la deflexión considerada va a ser para el indicado limite de deflexión igual a  $L/240$  donde L es igual a la longitud de la losa.

##### **6.4.1. Características generales del ensayo**

Para este sistema constructivo corresponde el sistema de entrepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales, no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.

La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales, la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional.

#### **6.4.2. Ensayo de losa 1**

Esta losa tiene como característica estructural, una fundición normal de 0,025 metros en su cara superior y 0,025 metros en su cara inferior. Su peralte es de 0,13 metros en total.

El área de refuerzo de la malla electrosoldada galvanizada es igual y normal, no tiene área de acero de refuerzo adicional, una fundición y electropanel normal.

Datos generales de la losa:

Área total de losa: 4,50 metros<sup>2</sup>

Ancho: 1,20 metros.

Largo: 3,75 metros.

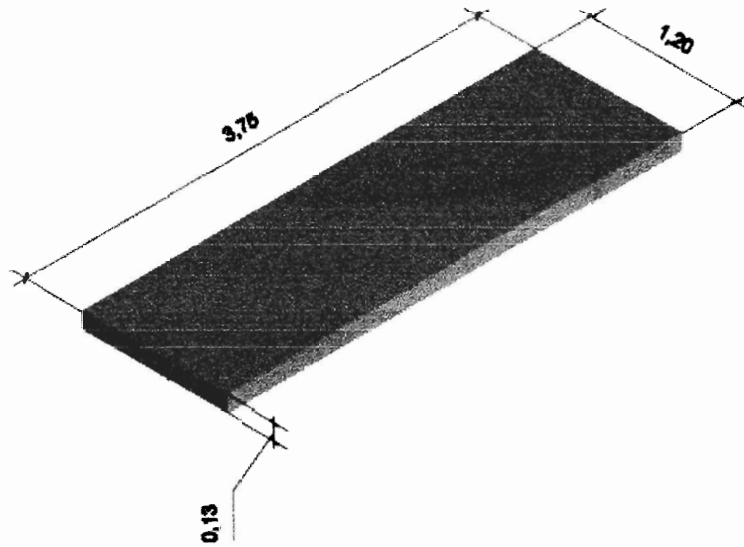
Peralte: 0,13 metros.

Fecha de fundición: 4 de abril del 2,011

Fecha de ensayo: 3 de mayo del 2,011

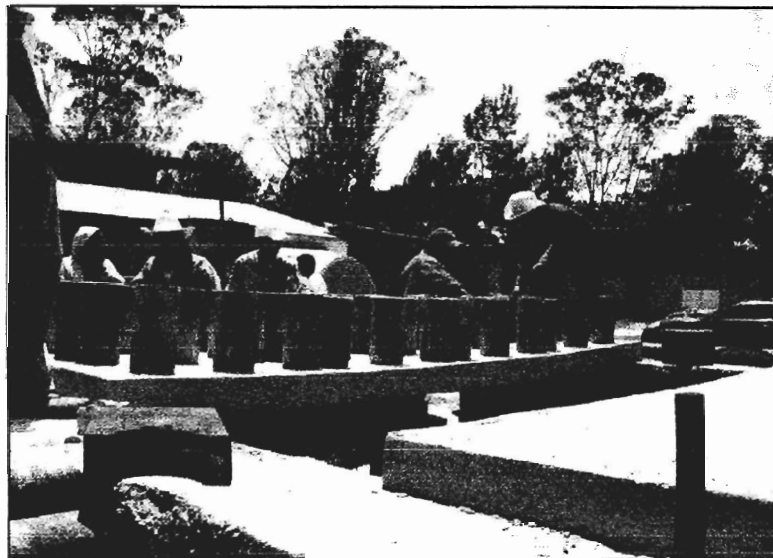
Edad: 29 días

Figura 32. **Ensayo losa 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Ensayo losa 1**



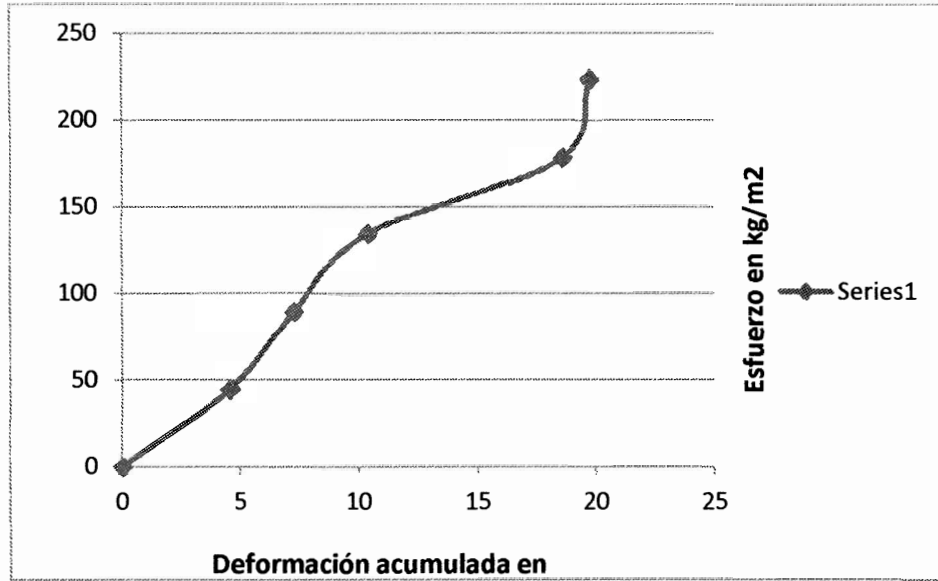
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XIII. Datos de ensayo de losa 1

NOTAS Y OBSERVACIONES	Carga PSI	Carga Kg	Esfuerzo $\sigma=f/a$	Def1 (1/3)			Def2 (1/2)			Def3 (1/3)								
				Lecturas	Acum u-lado	Acumul ado mm	Lecturas	Acum u-lado	Acumul ado mm	Lecturas	Acum u-lado	Acumul ado mm						
													1-2	0	1	0	0,00	1-2
				2-3	79	2,8	179	4,55	2-3	24	2,24	124	3,15	1-2	90	1,9	90	2,29
	0,00	0,00	0,00	1-2	0	1	0	0,00	1-2	0	1	0	0,00	1-0	0	1	0	0,00
	203,00	203,00	45,11	2-3	79	2,8	179	4,55	2-3	24	2,24	124	3,15	1-2	90	1,9	90	2,29
	199,50	402,50	89,44	3-4	84	3,8	284	7,21	4-5	85	4,85	385	9,78	2-3	7	2,1	107	2,72
	202,00	604,50	134,33	5-6	8	5,1	408	10,36	8-9	22	8,22	722	18,34	5	52	5,5	452	11,48
	198,00	802,50	178,33	8-9	29	8,3	729	18,52	10-11	65	10,7	965	24,51	8-9	50	8,5	750	19,05
	203,50	1 006,00	223,56	8-9	75	8,8	775	19,69						9-10	11	9,1	811	20,60

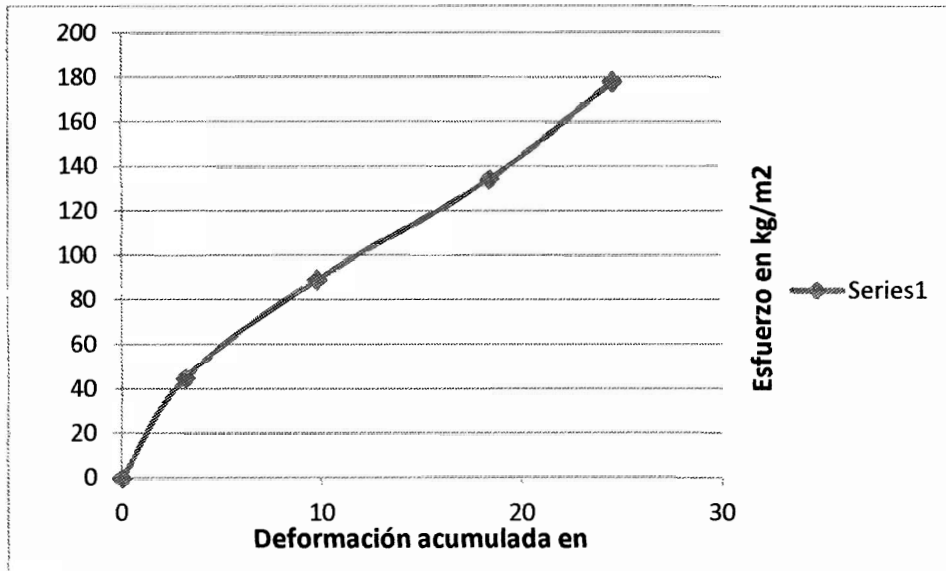
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Esfuerzo-deformación def. 1 losa 1**



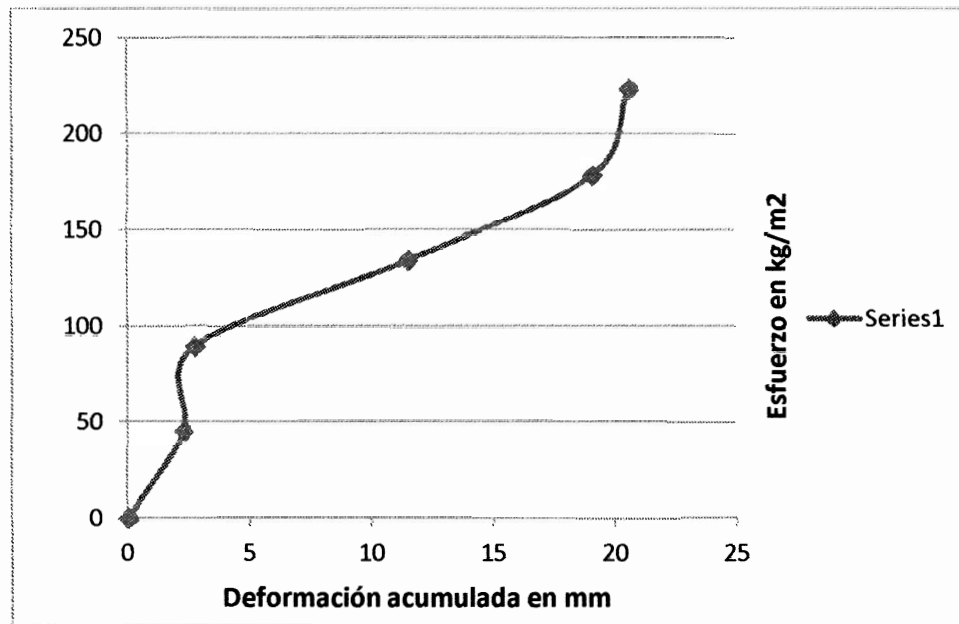
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Esfuerzo-deformación def. 2 losa 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Esfuerzo-deformación def. 3 losa 1**



Fuente: elaboración propia.

Se observa que esta losa tiene una resistencia aproximada de 125 kilogramos/metros cuadrados (debajo de 134,33 kilogramos/metros cuadrados como lo indica la gráfica).

La deformación permisible según la primera gráfica, que es el primer L/3 de longitud de losa es:

$$\Delta = \frac{l}{240} = \frac{3,75mt}{240} = 1,56cm = 16mm$$

De aquí se observa que la deformación permisible anda en 155 kilogramos/metros cuadrados.



Para la segunda gráfica que es al centro de la losa, la deformación máxima siendo la misma luz queda en 16 milímetros ( $L/240$ ). Esta deformación nos indica un esfuerzo máximo permitido de 125 kilogramos/metros cuadrados.

Para la tercera gráfica que es  $2/3$  de longitud de la losa, indica una resistencia de 155 kilogramos/metros cuadrados.

Este análisis permite observar que, el sistema es muy sensible a las variaciones constructivas en lo que al apoyo y la colocación de la mezcla del mortero cemento arena. El esfuerzo de trabajo en este ensayo se ubica en 80 kilogramos/metros cuadrados, puede llegar hasta 200 kilogramos/metros cuadrados, pero ya no regresa a su posición inicial y a partir de este esfuerzo de trabajo, empieza a trabajar el acero.

#### **6.4.3. Ensayo de losa 2**

Esta losa tiene como característica estructural, una fundición normal de 0,025 metros en su cara superior y 0,025 metros en su cara inferior. Su peralte es de 0,13 metros en total. El área de refuerzo de la malla electrosoldada galvanizada es igual que la primera losa, y no tiene área de acero de refuerzo adicional.

Datos generales de la losa:

Área total de losa: 4,58 metros<sup>2</sup>

Ancho: 1,22 metros.

Largo: 3,75 metros.

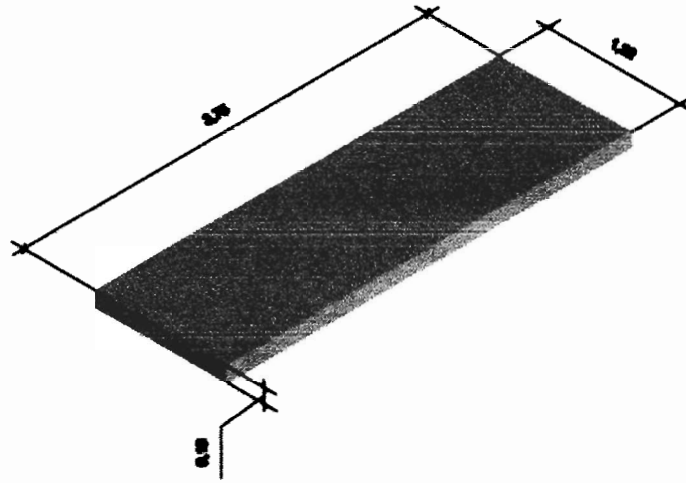
Peralte: 0,13 metros.

Fecha de fundición: 4 de abril del 2,011

Fecha de ensayo: 3 de mayo del 2,011

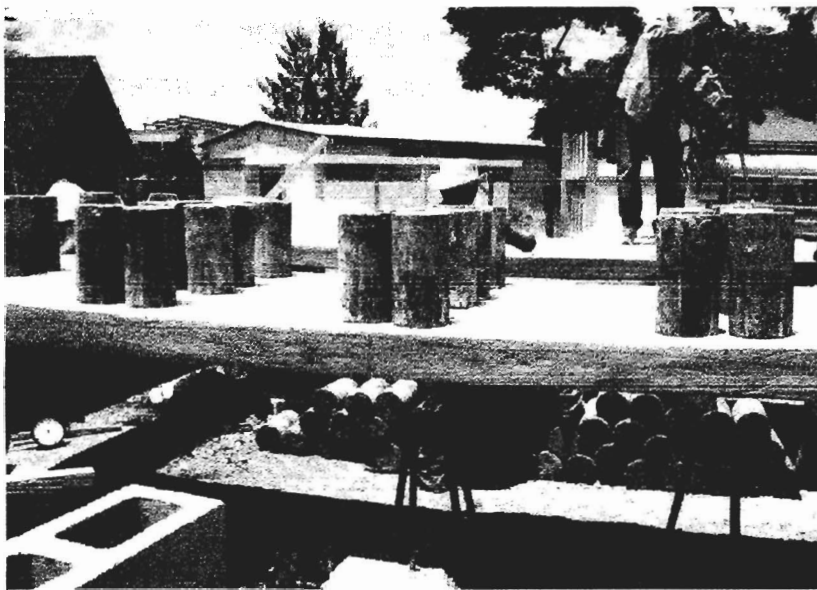
Edad: 29 días

Figura 37. **Modelo de ensayo de losa 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Ensayo de losa 2**



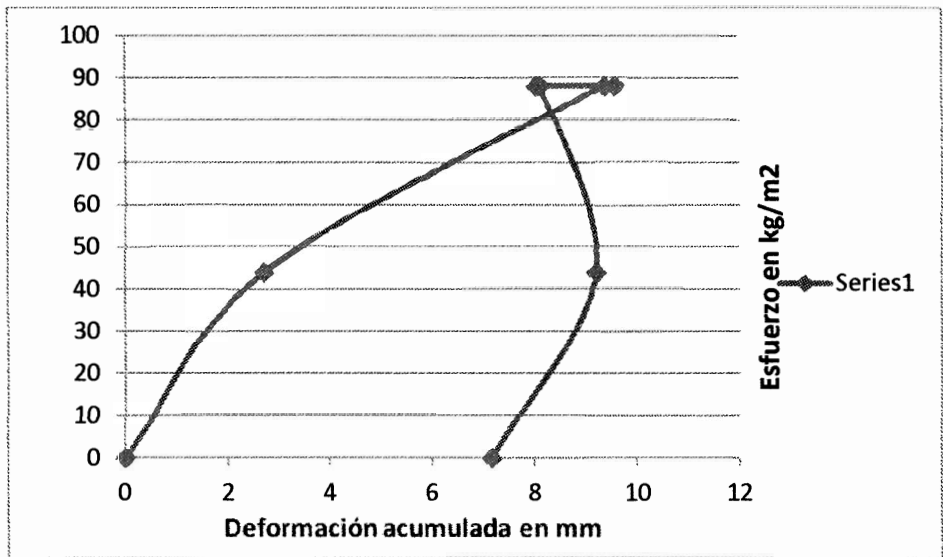
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería

Tabla XIV. Datos de ensayo de losa 2

NOTAS Y OBSERVACIONES	Carga PSI	Carga Kg	Esfuerzo $\sigma = f/a$	Def1 (1/3)				Def2 (1/2)				Def3 (1/3)						
				Lecturas	Acumulado	Acumulado mm	Lecturas	Acumulado	Acumulado mm	Lecturas	Acumulado	Acumulado mm	Lecturas	Acumulado	Acumulado mm			
	0,00	0,00	0,00	0-1	0	0,00	0	0,00	1-2	0	0,00	0	0,00	1-2	0	0,00	0	0,00
	201,50	201,50	44,00	1-2	6	1,06	106	2,69	2-3	45	2,45	245	6,22	2-3	94	2,94	294	7,47
	202,00	403,50	88,10	3-4	68	3,68	368	9,35	5-6	78	5,78	578	14,68	3-4	46	3,46	346	8,79
5 min después	0,00	403,50	88,10	3-4	76	3,76	376	9,55	5-6	90	5,9	590	14,99	4	54	4,54	454	11,53
24hrs después	0,00	403,50	88,10	3-4	16	3,16	316	8,03	5-6	48	5,48	548	13,92	4-5	92	4,92	492	12,50
1 hrs después	0,00	403,50	88,10	3-4	19	3,19	319	8,10	5-6	52	5,52	552	14,02	4-5	94	4,94	494	12,55
Quitando cilindros 2	202,00	201,50	44,00	3-4	62	3,62	362	9,19	5	70	5,7	570	14,48	3-4	40	3,4	340	8,64
Quitando cilindros 1	201,50	0,00	0,00	2-3	82	2,82	282	7,16	3-4	53	3,53	353	8,97					

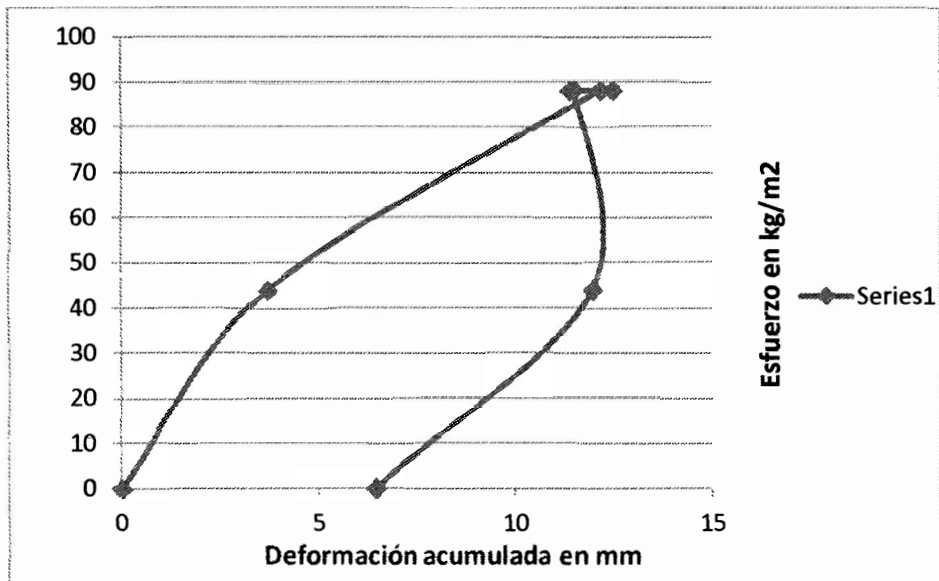
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Esfuerzo-deformación def. 1, losa 2



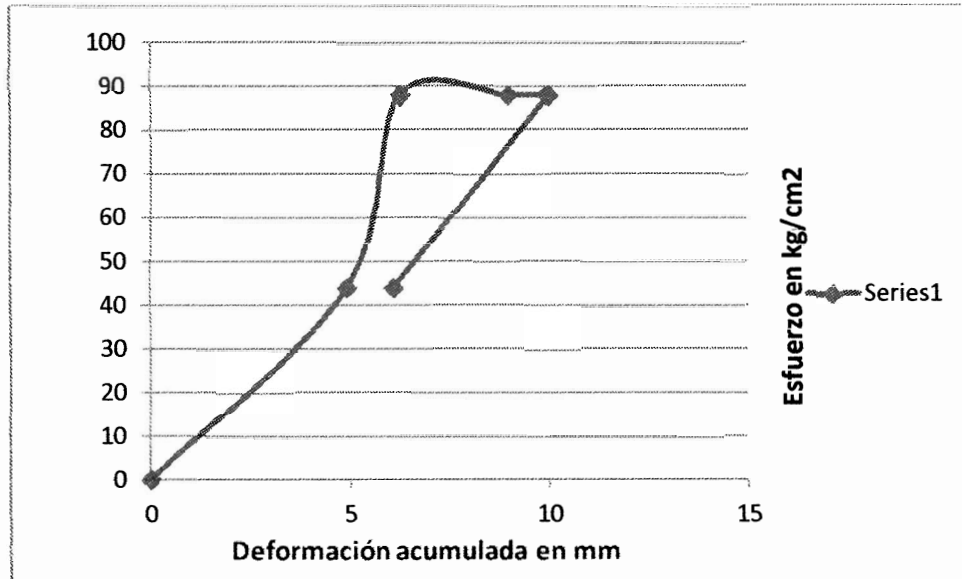
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Esfuerzo-deformación def. 2, losa 2



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Esfuerzo-deformación def. 3, losa 2**



Fuente: elaboración propia.

Se observa que esta losa tiene un esfuerzo de trabajo de 80 kilogramos/metros cuadrados y su deformación se acelera igual que en el ensayo de la losa 1, tiene las mismas características de resistencia estructural, por lo que se propone ensayar otras cuatro losas mas y colocarles un área de refuerzo adicional para analizar su comportamiento estructural.

Estas losas se identificaran como losa 3, losa 4, losa 5 y losa 6. La deformación permisible según la primera grafica que es el primer L/3 de longitud de losa es:

$$\Delta = \frac{l}{240} = \frac{3,75mt}{240} = 1,56cm = 16mm$$

#### 6.4.4. Ensayo de losa 3

Esta losa se reforzó con malla galvanizada, del mismo sistema constructivo en el área de compresión, a cada extremo superior de la losa, para observar los efectos que tiene sobre la rigidez y resistencia del sistema.

Datos generales de la losa:

Área total de losa: 4,58 metros<sup>2</sup>

Ancho: 1,23 metros.

Largo: 3,78 metros.

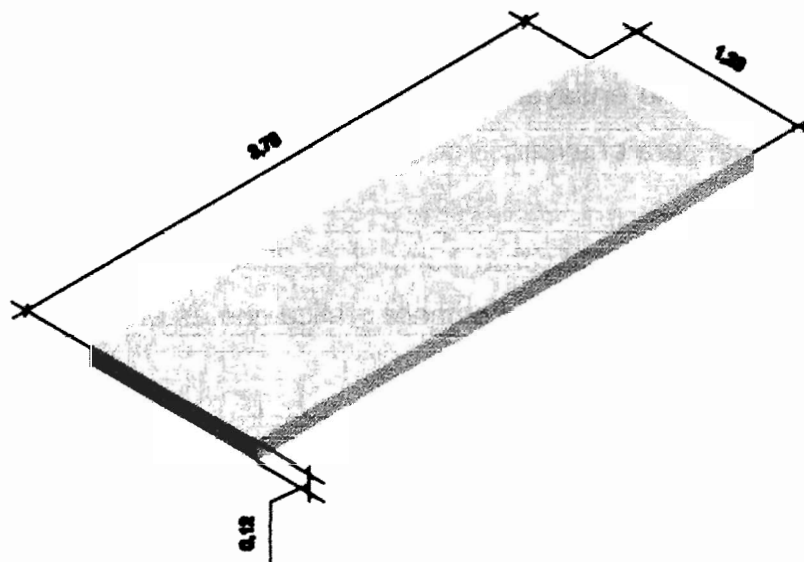
Peralte: 0,12 metros

Fecha de fundición: 9 de mayo del 2,011

Fecha de Ensayo: 6 de junio del 2,011

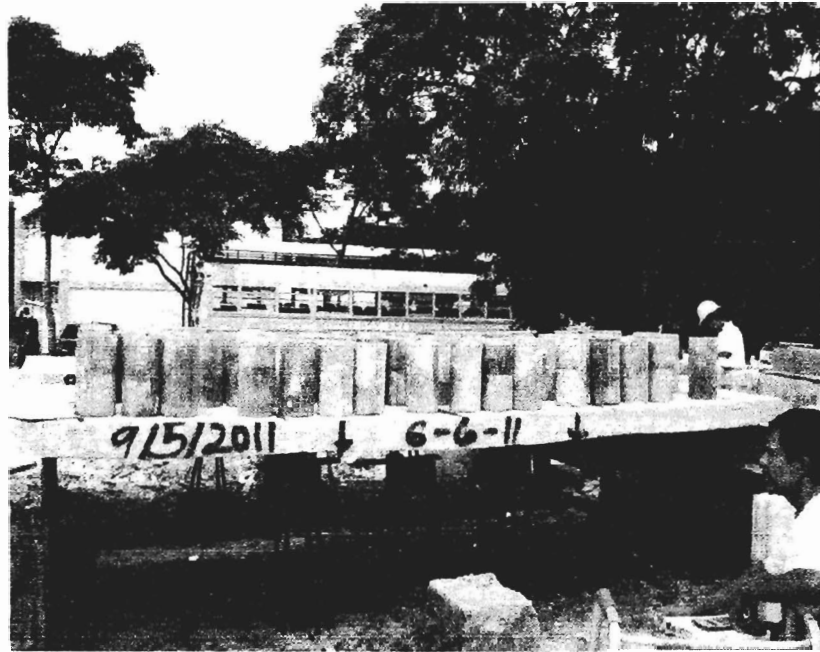
Edad: 26 días

Figura 42. Modelo de ensayo de losa 3



Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Ensayo de losa 3**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

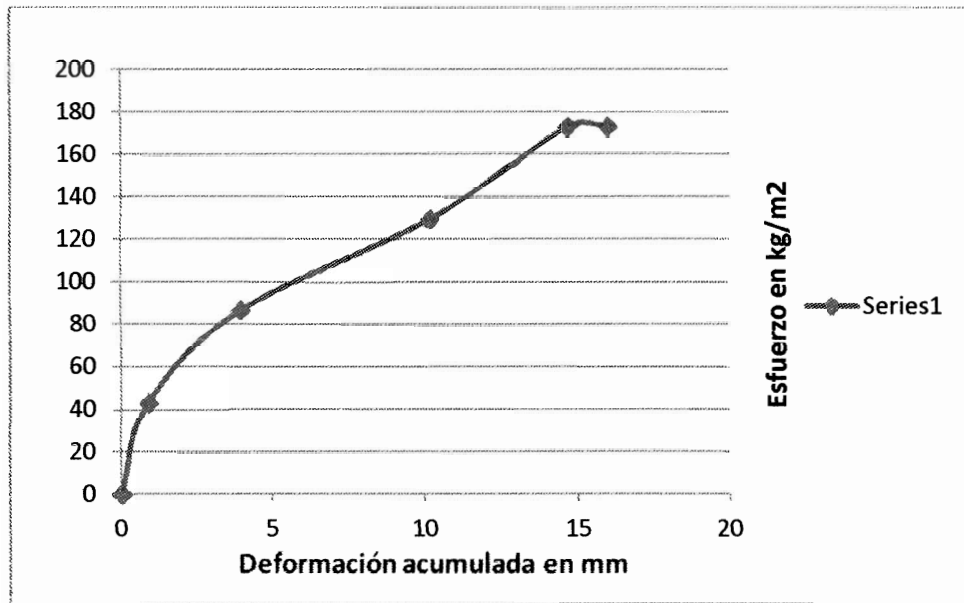
Tabla XV. Datos de ensayo losa 3

NOTAS Y OBSERVACIONES	Carga PSI	Carga Kg	Esfuerz o ( $\sigma=f/a$ )	Def1 (1/3)			Def2 (1/2)			Def3 (1/3)		
				Lecturas	Acumulado	Acumulado mm	Lecturas	Acumulado	Acumulado o mm	Lecturas	Acumulado	Acumulado mm
Con su propio peso ya se había deflectado 5mm	0,00	0,00	0,00	3-4 51 3,5	0	0,00	7-8 88 7,88	0	0,00	1-2 11 1,1	0	0,00
	201,50	201,50	43,33	4-5 38 4,4	438	4,38	9-0 2 9,02	902	9,02	3-4 90 3,9	389	3,89
	201,00	402,50	86,56	7-8 45 7,5	745	7,45	2-3 25 12,3	1 225	12,25	6-7 63 6,6	663	6,63
	199,10	601,60	129,38	3-4 66 14	1 366	13,66	7-8 59 17,6	1 759	17,59	1-2 5 11	1 105	11,05
	202,50	804,10	172,92	8-9 17 18	1 817	18,17	3-4 32 23,4	2 340	23,40	4-5 51 15	1 451	14,51
10 min después	0,00	804,10	172,92	9-0 47 19	1 947	19,47	4-5 62 24,6	2 462	24,62	5-6 73 16	1 572	15,72
24 hrs después	0,00	804,10	172,92				6 7 26,1	2 607	26,07			
	202,50	601,60	129,38				4 66 24,7	2 466	24,66			
	199,10	402,50	86,56				9 38 19,4	1 938	19,38			
	201,00	201,50	43,33						0,00			
	201,50	0,00	0,00				5 7 15,1	1 507	15,07			
24 hrs después	0,00	0,00	0,00				3-4 75 13,8	1 375	13,75			

Fuente: elaboración propia.

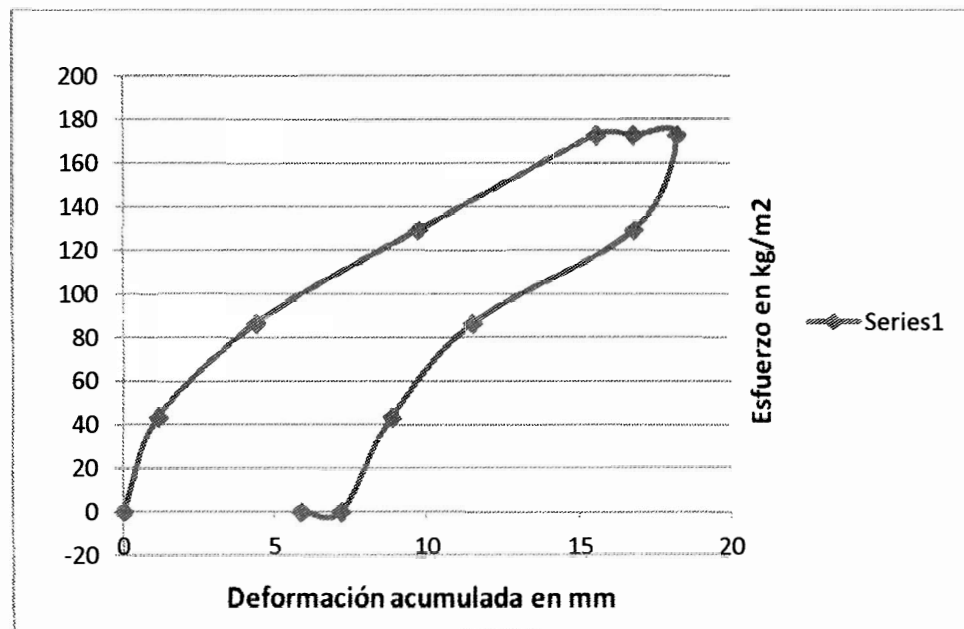


Figura 44. **Esfuerzo-deformación def. 1, losa 3**



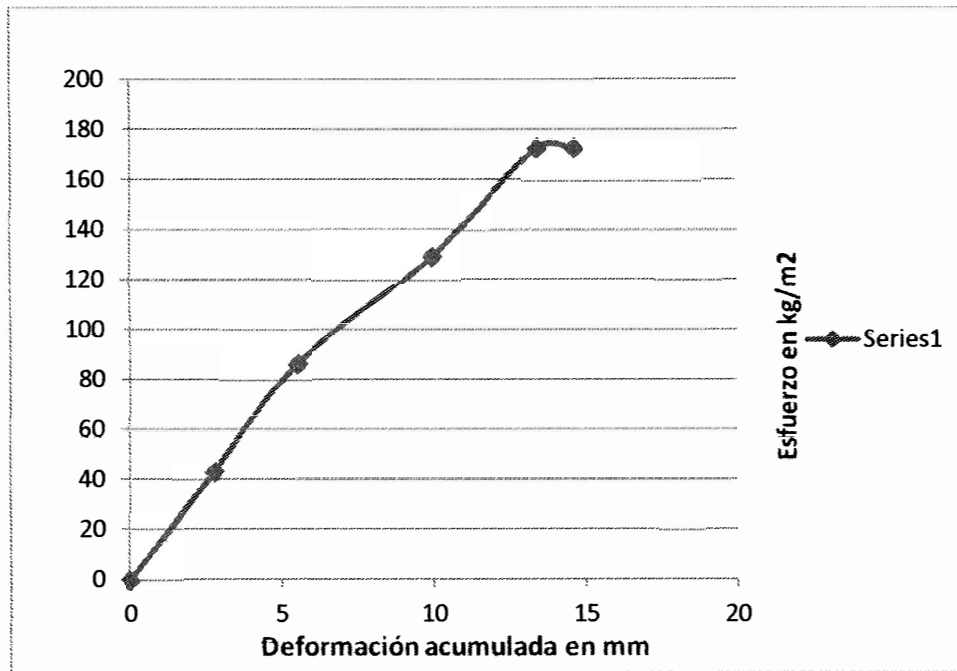
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Esfuerzo-deformación def. 2, losa 3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Esfuerzo-deformación def. 3, losa 3



Fuente: elaboración propia.

La deformación permisible según el ACI es igual a  $L/240$ , para la primer deformómetro que es el primer  $L/3$  de longitud de losa es:

$$\Delta = \frac{l}{240} = \frac{3,78mt}{240} = 1,57cm = 16mm$$

De aquí se observa que la deformación permisible anda en el esfuerzo equivalente a 175 kilogramos/metros cuadrados. El esfuerzo de trabajo se observa en 80 kilogramos/metros cuadrados donde el acero empieza a trabajar.

Igualmente el esfuerzo de trabajo está en 80 kilogramos/metros cuadrados donde el acero inicia a trabajar estructuralmente.

El deformómetro tres en el último tercio de la losa, indica las mismas propiedades estructurales que en el deformómetro uno, con un esfuerzo de trabajo de trabajo de 80 kilogramos/metros cuadrados donde inicia el trabajo del acero.

Se observa una leve resistencia de la losa a 175 kilogramos/metros cuadrados. Sin embargo el esfuerzo de trabajo sigue siendo el mismo.

#### **6.4.5. Ensayo de losa 4**

Esta losa se reforzó con dos electromalla al centro, donde se dan los esfuerzos de tensión. Las características de las losas son las siguientes:

Área total de losa: 4,58 metros<sup>2</sup>

Ancho: 1,24 metros.

Largo: 3,80 metros.

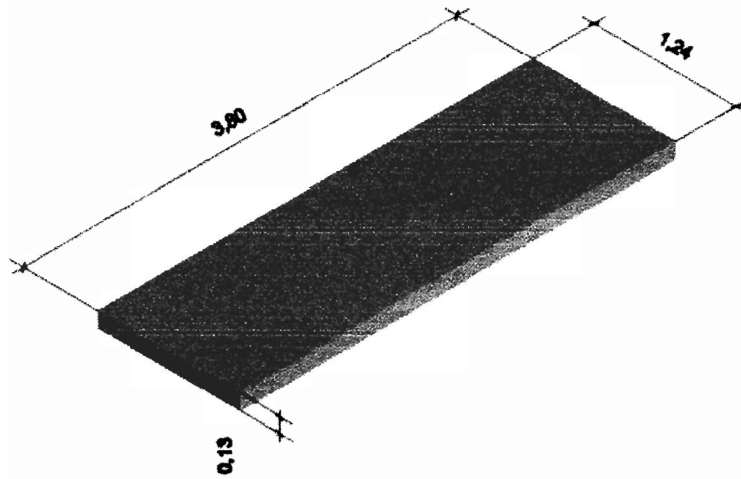
Peralte: 0,13 metros

Fecha de fundición: 11 de mayo del 2,011

Fecha de ensayo: 7 de junio del 2,011

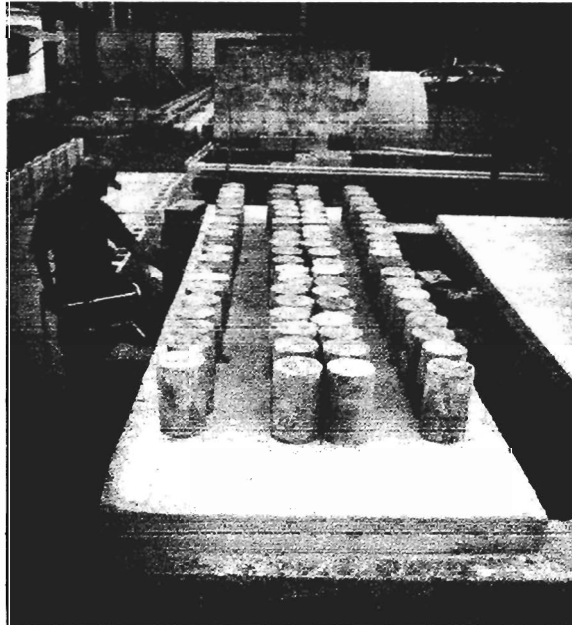
Edad: 26 días

Figura 47. **Modelo de ensayo de losa 4**



Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Ensayo losa 4**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

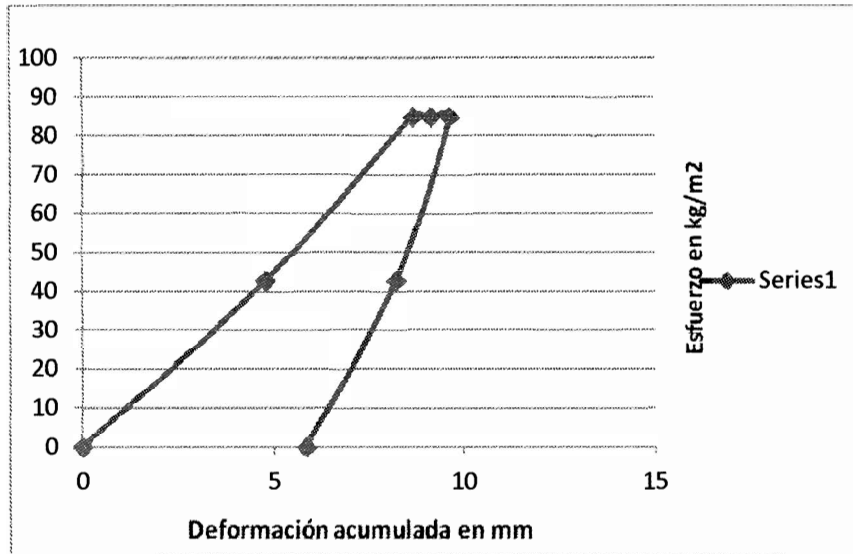
Tabla XVI. Datos de ensayo losa 4

NOTAS Y OBSERVACIONES	Carga psi	Carga Kg	Esfuerzo o ( $\sigma=f/a$ )	Def1 (1/3)			Def2 (1/2)			Def3 (1/3) in					
				Lecturas	Acumulado mm	Acumulado mm	Lecturas	Acumulado mm	Acumulado mm	Lecturas	Acumulado mm	Acumulado mm			
	0,00	0,00	0	17-18 95	17,9	0	0,00	9-0 81	9,81	0	0,00	2-3 92	2,9	0	0,00
Con su propio peso ya se habia deflectado 5mm	202,50	202,50	42,81	2-3 72	22,7	478	4,78	4 23	14,2	443	4,43	4-5 85	4,9	193	1,93
	199,10	401,60	84,90	6-7 58	26,6	864	8,64	9-0 73	19,7	993	9,93	6-7 50	6,5	358	3,58
min después	0,00	401,60	84,90	7 5	27,1	911	9,11	9-0 84	19,8	1 004	10,04	6-7 72	6,7	380	3,80
24hrs después	0,00	401,60	84,90	7 55	27,6	961	9,61	0-1 94	20,9	1 114	11,14	6-7 98	7	406	4,06
quitando primer peso	199,10	202,50	42,81	6 15	26,2	821	8,21	8-9 30	18,3	850	8,50	6 38	6,4	346	3,46
quitando segundo peso	202,50	0,00	0,00	3-4 78	23,8	584	5,84	6-7 65	16,7	685	6,85	5 35	5,4	243	2,43
recuperación sin peso después de 24 hrs		0,00	0,00	5-6 70	15,7	590	5,90								

NOTA: Por su propio peso ya contaba con una deformación inicial de 8.5 mm

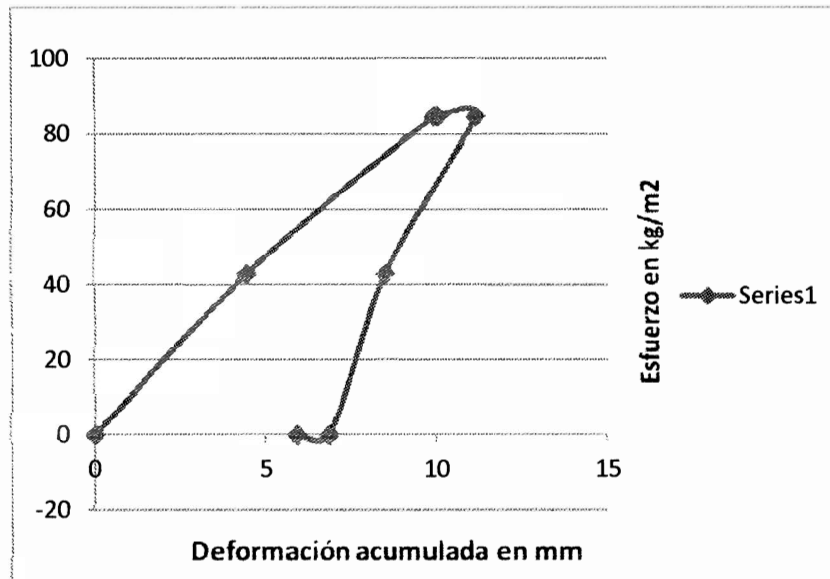
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Esfuerzo-deformación def. 1, losa 4**



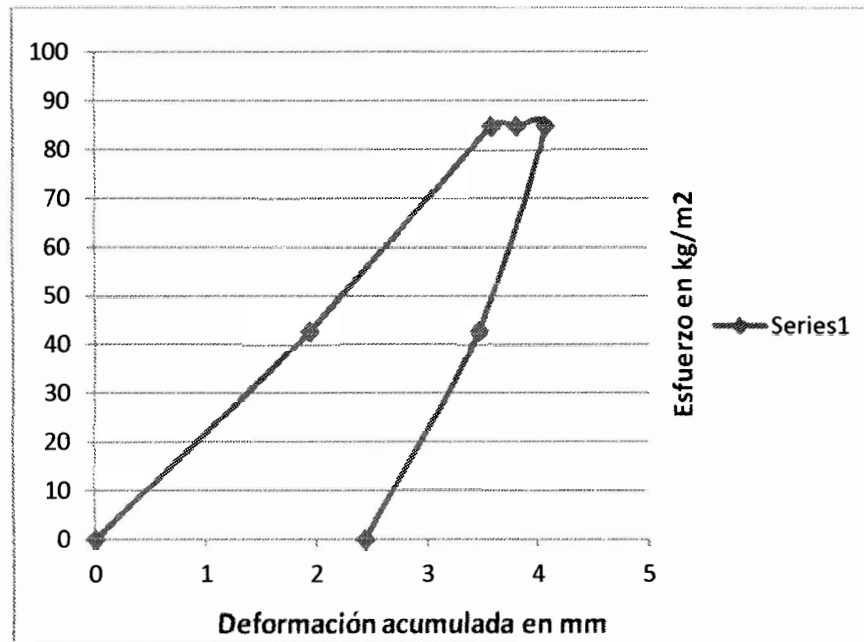
Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Esfuerzo-deformación def. 2, losa 4**



Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Esfuerzo-deformación def. 3, losa 4



Fuente: elaboración propia.

La deformación permisible según el ACI es igual a  $L/240$ , para la losa es:

$$\Delta = \frac{l}{240} = \frac{3,80mt}{240} = 1,58cm = 16mm$$

De aquí se observa que la deformación permisible anda en el esfuerzo equivalente a 175 kilogramos/metros cuadrados. El esfuerzo de trabajo se observa en 80 kilogramos/ metros cuadrados donde el acero empieza a trabajar.

El deformómetro central marca en apenas 400 kilogramos de carga una deformación de 10 milímetros lo que indica una pobre resistencia, el refuerzo de malla al centro no parece darle más rigidez a la losa.

El deformómetro no 3, no parece indicar una deflexión sin embargo, al inicio la losa por su propio peso ya estaba deflectada 8,5 milímetros.

#### **6.4.6. Ensayo de losa 5**

Esta losa tiene como característica estructural, una fundición normal de 0,025 metros en su cara superior y 0,025 metros en su cara inferior igual que la losa 1 y 2. Su peralte es de 0,13 metros en total. El área de refuerzo de la malla electrosoldada galvanizada es igual y normal, no tiene área de acero de refuerzo adicional, una fundición y electropanel normal.

Datos generales de la losa:

Área total de losa: 4,50 metros<sup>2</sup>

Ancho: 1,24 metros.

Largo: 4,04 metros.

Peralte: 0,15 metros.

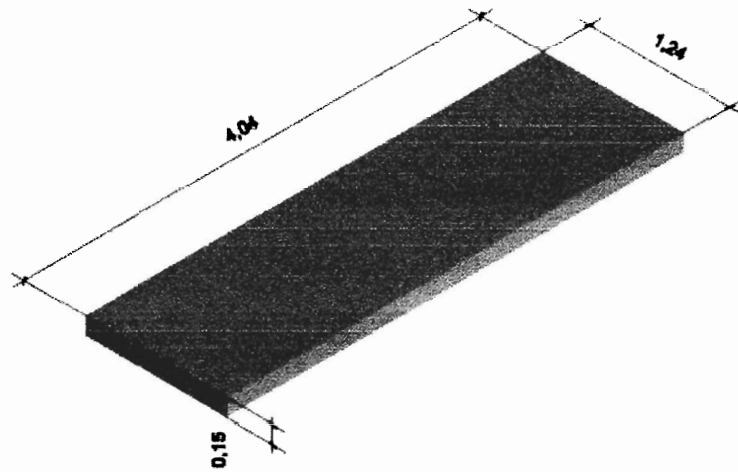
Fecha de fundición: 10 de mayo del 2,011

Fecha de ensayo: 7 de junio del 2,011

Edad: 27 días

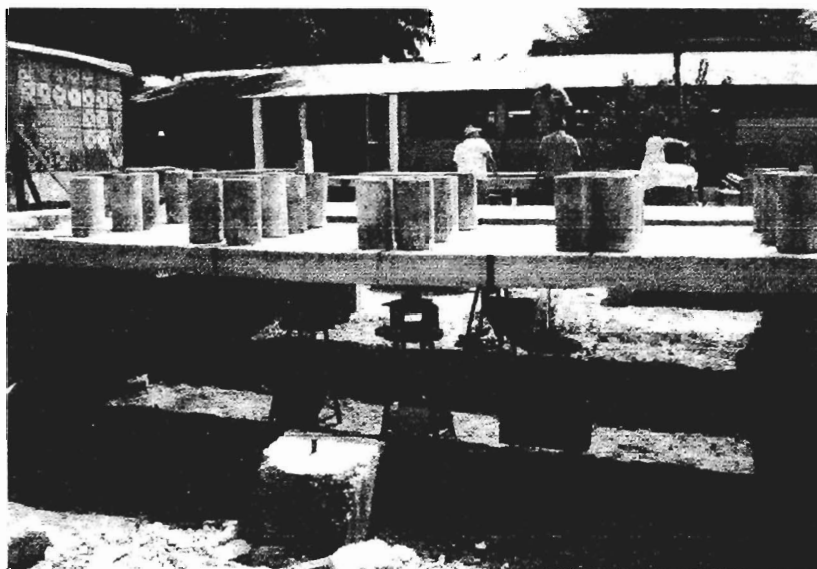


Figura 52. **Modelo de ensayo de losa 5**



Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Ensayo de losa 5**



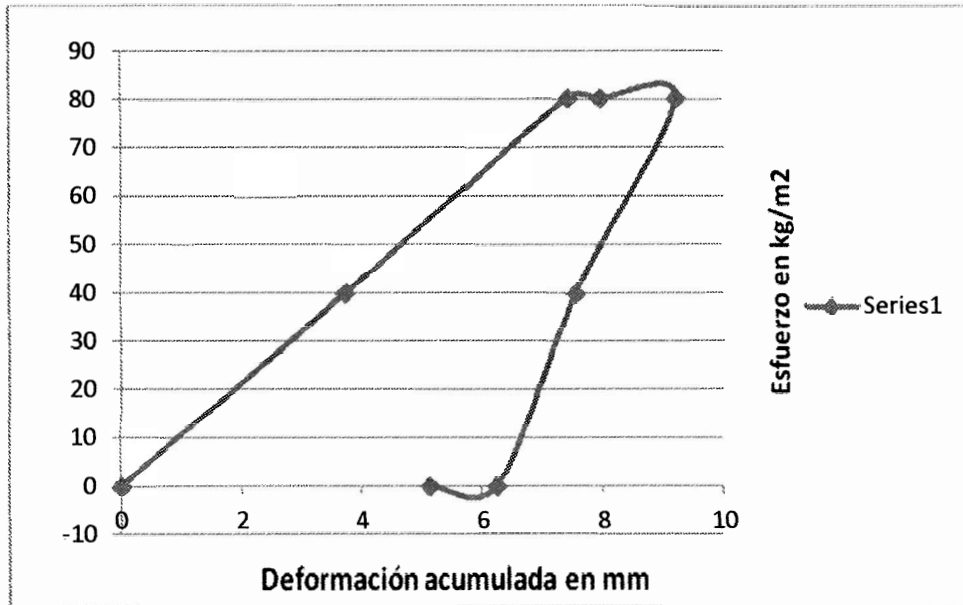
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XVII. Datos de ensayo de losa 5

NOTAS Y OBSERVACIONES	Carga Psi	Carga Kg	Esfuerzo $\sigma=f/a$	Def.1 (1/3)			Def.2 (1/2)			Def.3 (1/3) in					
				Lect	Acumulado	Acumulado mm	Lect	Acumulado	Acumulado mm	Lect	Acumulado	Acumulado mm			
Con su propio peso ya se había deflectado 9 mm. Tiene grietas (anaranjado)	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	3-4	39	3,39	0	0,00				0,00
Grietas en negro	199,50	199,50	39,90	0	0,00	0,00	7	12	7,12	712	7,12				0,00
Hilo 18 mm	202,00	401,50	80,30	0	0,00	0,00	0-1	81	10,8	1 081	10,81				0,00
Min después	0,00	401,50	80,30	0	0,00	0,00	1	34	11,3	1 134	11,34				0,00
24hrs después	0,00	401,50	80,30	0	0,00	0,00	2-3	59	12,6	1 259	12,59				0,00
Quitando primer peso	202,00	199,50	39,90	0	0,00	0,00	0-1	94	10,9	1 094	10,94				0,00
Quitando segundo peso	199,50	0,00	0,00	0	0,00	0,00	9-8	63	9,63	963	9,63				0,00
Recuperación sin peso después de 24 hrs	0,00	0,00	0,00				8-9	52	8,52	852	8,52				

Fuente: elaboración propia.

Figura 54. Esfuerzo-deformación def. central, losa 5



Fuente: elaboración propia.

La deformación permisible según la primera gráfica que es el primer L/3 de longitud de losa es:

$$\Delta = \frac{l}{240} = \frac{4,04mt}{240} = 1,68cm = 17mm$$

La resistencia de esta losa a los 401 kilogramos posee una deformación de 10,81 milímetros y a las 24 horas su deformación llega a 12,59 milímetros. Su esfuerzo de trabajo está sobre los 80 kilogramos/metros cuadrados y ha sido muy sensible el panel a las deformaciones ya que al iniciar el ensayo ya poseía una deformación de 9 milímetros.

#### **6.4.7. Ensayo de losa 6**

Esta losa tiene como característica estructural, una fundición de 0,05 metros sobre su base, o sea 0,025 metros más de fundición, lo que la hace más rígida ya que su peralte es más alto que las otras cinco ensayadas. Su peralte total es de 0,15 metros, el área de refuerzo de la malla electrosoldada galvanizada es igual y normal, no tiene área de acero de refuerzo adicional.

Con esto se observará su comportamiento estructural, al tener la losa mas peralte y si la losa alcanza mayor resistencia que las cinco ensayadas.

Datos generales de la losa:

Área total de losa: 5,05 metros<sup>2</sup>

Ancho: 1,24 metros.

Largo: 4,07 metros.

Peralte: 0,15 metros.

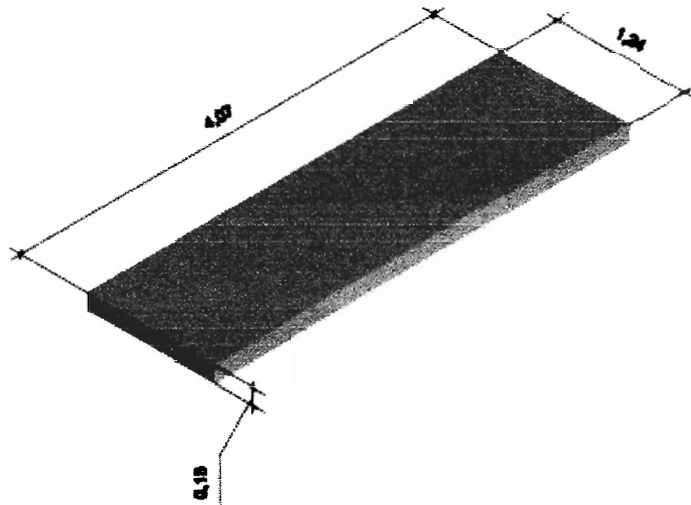
Fecha de fundición: 11 de mayo del 2,011

Fecha de Ensayo: 8 de junio del 2,011

Edad: 27 días

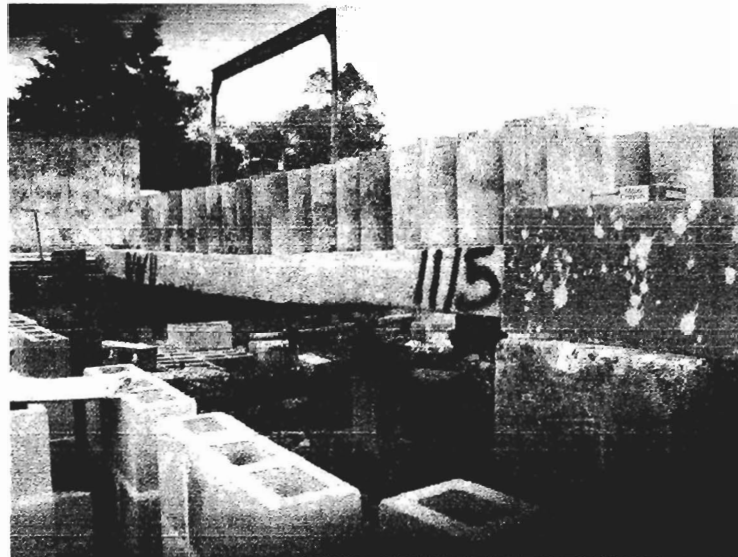
Nota importantes: esta losa por su propio peso al inicio del ensayo ya contaba con 8,50 milímetros de deflexión en su centro.

Figura 55. **Modelo de ensayo de losa 6**



Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Ensayo de losa 6**



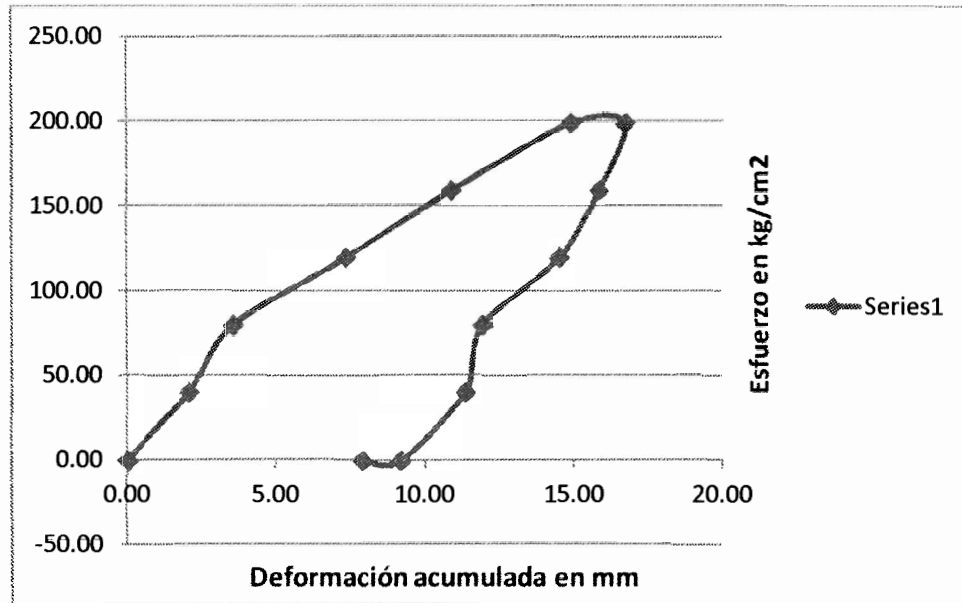
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XVIII. Datos de ensayo de losa 6

NOTAS Y OBSERVACIONES	Carga Psi	Carga Kg	Esfuerzo $\sigma=f/a$	Def 1 (1/3)			Def 2 (1/2)				
				Lecturas	Acumulado	Acumulado mm	Lecturas	Acumulado	Acumulado mm		
Con su propio peso ya se había deflectado 6,55 mm	0,00	0,00	0,00		0	0,00	5-6	78	5,78	0	0,00
	202,00	202,00	40,00		0	0,00	7-8	85	7,85	785	7,85
	199,50	401,50	79,50		0	0,00	9-0	35	9,35	935	9,35
	201,50	603,00	119,41		0	0,00	3-4	12	13,1	1 312	13,12
	200,10	803,10	159,03		0	0,00	6-7	65	16,7	1 665	16,65
	201,50	1 004,60	198,93		0	0,00	0-1	66	20,7	2 066	20,66
24 hrs después hilo 2,4 cm	0,00	1 004,60	198,93				2-3	48	22,5	2 248	22,48
	201,50	803,10	159,03		0	0,00	1-2	60	21,6	2 160	21,60
	200,10	603,00	119,41				0-1	28	20,3	2 028	20,28
	201,50	401,50	79,50				7-8	70	17,7	1 770	17,70
	199,50	202,00	40,00				7	9	17,1	1 709	17,09
	202,00	0,00	0,00				4	95	15	1495	14,95
24hrs después	0,00	0,00	0,00				3	69	13,7	1369	13,69

Fuente: elaboración propia.

Figura 57. Esfuerzo-deformación def. central, losa 6



Fuente: elaboración propia.

Se observa que esta losa tiene una resistencia aproximada de 200 kilogramos/metros cuadrados con una deflexión que roza los 17 milímetros.

La deformación permisible según la primera gráfica que es el primer L/3 de longitud de losa es:

$$\Delta = \frac{l}{240} = \frac{4,07\text{mt}}{240} = 1,69\text{cm} = 17\text{mm}$$

De aquí se observa que la deformación permisible anda en 200 kilogramos/metros cuadrados.

Para la gráfica que es al centro de la losa, la deformación máxima siendo la misma luz queda en 17 milímetros ( $L/240$ ). Esta deformación indica un esfuerzo máximo permitido de 200 kilogramos/metros cuadrados.

Este análisis permite observar que la losa fundida 0,05 metros sobre su cara superior, presenta una mejor resistencia a las deformaciones llegando a los 200 kilogramos/metros cuadrados con su deflexión límite.

El esfuerzo de trabajo en este ensayo se ubica en 80 kilogramos/metros cuadrados, a partir de ahí trabaja el acero y puede llegar hasta 200 kilogramos/metros cuadrados, pero ya no regresa a su posición inicial y a partir de 80 kilogramos/metros cuadrados inicia el esfuerzo de trabajo, donde empieza a trabajar el acero.



## CONCLUSIONES

1. Según los ensayos realizados, el presente sistema constructivo, posee una capacidad de resistencia a corte de 1 400 kilogramos como máximo. Se concluye del análisis de los muros que tenían aberturas de vanos de puerta o ventana, y/o que en este caso, se toma como la resistencia máxima del sistema, lo que a su vez dio como resultado de este análisis, que su esfuerzo de diseño a corte por metro lineal es de 530 kilogramos/metros.
2. Para el presente sistema constructivo la constante “a” con que se calcula el factor del módulo elástico, proporciona como resultado 400 por lo que la ecuación del módulo elástico del sistema quedaría de la siguiente manera:

$$E = 400f'm$$

3. Cuando los paneles están en relación de alto y ancho de 1,50 y trabajan a corte, su comportamiento predominante es por cortante, es decir que el efecto de flexión es despreciable, por lo que su punto crítico se presentan en fallas principalmente debidas al aplastamiento.
4. La resistencia a compresión del sistema constructivo, genera un esfuerzo de 3,00 kilogramos/centímetros cuadrados, superando en más de 9 veces la resistencia a corte del sistema, comparándola con la mínima requerida, que es de 6 veces la resistencia a corte. Se concluye además que el sistema constructivo posee una mejor resistencia cuando lleva una viga de

cimentación o amarre, reforzada con área de acero colocado verticalmente, llegando hasta 15 veces la resistencia a corte.

5. Se concluye además, que el sistema constructivo es sensible a las aberturas cuando estas son más del 20% de su área total, y tiende a disminuir su resistencia. Es decir, que cuando las aberturas son menores o iguales al 20% no es necesario descontar áreas de aberturas, para términos de análisis estructural.
6. El esfuerzo máximo de trabajo en las losas para este sistema constructivo se encuentra ubicado en 80 kilogramos/metros cuadrados donde el acero comienza a trabajar y puede llegar hasta 200 kilogramos/metros cuadrados pero según los ensayos, se observó, que a esos esfuerzos máximos la losa ya no regresa a su posición inicial.
7. Se concluye que en las losas con fundición de 0,05 metros sobre su cara superior presenta un mejor comportamiento estructural, eso debido a que le proporciona una mayor esbeltez, y como resultado una mejor resistencia a las deflexiones del sistema constructivo.

## RECOMENDACIONES

1. Para este sistema constructivo se recomienda usar para el diseño y análisis de las deflexiones como máximo  $L/240$ .
2. En los ensayos de corte se llega a la conclusión que debido a las fallas por aplastamiento se debe evaluar la colocación de más grapas en las áreas débiles donde aparece aplastamiento.
3. En vista de la debilidad del sistema constructivo al aplastamiento, se debe tener cuidado que los muros, cuando tienen más del 20% en aberturas se recomienda que las columnas y vanos que componen las puertas, ventanas y cualquier otro espacio, no deben ser menores de 0,30 metros de ancho.
4. Se recomienda fundirle 0,05 metros de espesor en la parte superior de las losas y no 0,025 metros, ya que con este último, dieron un bajo nivel de resistencia en las losas, y un alto nivel de deflexiones. Por lo que con este espesor propuesto, el sistema constructivo presenta un mejor comportamiento a las deflexiones y como resultado mayor resistencia a las cargas vivas.
5. Debido a que el sistema tiene debilidad al aplastamiento, se recomienda colocarle refuerzo de acero con hierro No. 3 (3/8") a cada 0,40 metros espaciado horizontalmente y sobre una viga o cimiento de amarre, en las áreas de empotramiento o cimentación.

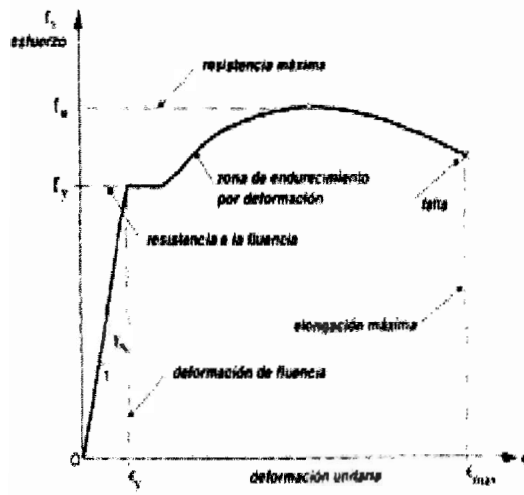


## BIBLIOGRAFÍA

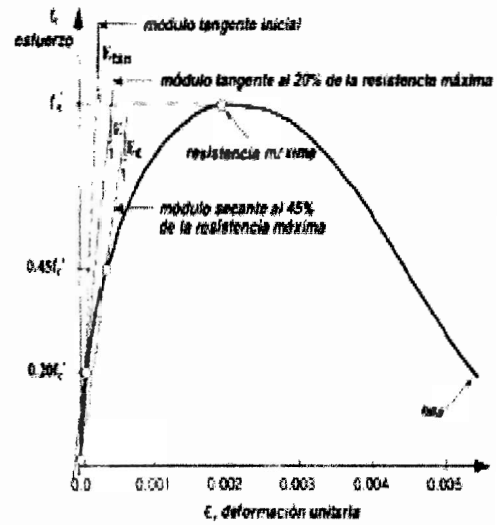
1. ACI 318S-08. *Requisitos de Reglamento para concreto estructural y comentario*. Versión en español y en sistema métrico. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2008. 518 p.
2. ARCHILA ALFARO, Patricia Yesenia. *Métodos para construcción de vivienda, utilizando materiales tecnológicos actuales: electropanel, tabla yeso, fibroyeso*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2004. 156 p.
3. CRUZ JIMÉNEZ, Mario Rodolfo. *Análisis y evaluación de bloques de concreto aligerados con poliestireno expandido*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2009, 63 p.
4. DUE P. M. [en línea]. [ref. 15 de abril de 2011]. Disponible en Web: <<http://www.mdue.it/en/3/products/accessories/coating-machines.html>>.
5. MERRIT, Frederick S. *Building design and construction handbook*. 6a ed. New York: McGraw-Hill, 2001. 1600 p.
6. *Osب Guide*. [en línea]. [ref. 25 de abril de 2011]. Disponible en Web: <<http://osbguide.tecotested.com/hconstruction>>.

7. *Panel Rey*. [en línea]. [ref. 20 de abril de 2011]. Disponible en Web:  
<<http://www.panelrey.com/index.php>>.
8. PAUL, B. K.; PAMA, R. P. *Ferrocemento*. México: Limusa, 1991. 226 p.

# ANEXO



(a) Diagrama esfuerzo-deformación del acero de refuerzo



(b) Diagrama esfuerzo-deformación del concreto simple