



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE LOSAS TIPO
VIGUETA Y BOVEDILLA NO PREENFORZADO**

Gloria Elizabeth Hernández Chamalé

Asesorado por el Ing. Civil Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, julio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LOSAS TIPO
VIGUETA Y BOVEDILLA NO PREEFORZADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GLORIA ELIZABETH HERNÁNDEZ CHAMALÉ
ASESORADO POR EL ING. CIVIL MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR(A)	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR(A)	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR(A)	Ing. Jorge Alberto Martínez Cruz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

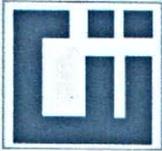
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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:

DISEÑO DE LOSAS TIPO VIGUETA Y BOVEDILLA NO PREENFORZADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 16 de octubre de 2015.

Gloria Elizabeth Hernández Chamalé



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



Guatemala 24 de octubre de 2016

Ingeniero
Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Coordinador Área de Estructuras
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **DISEÑO DE LOSAS TIPO VIGUETA Y BOVEDILLA NO PREEFORZADO**, presentado por el estudiante Gloria Elizabeth Hernández Chamale, quien se identifica con carné 20074297.

Considero que el trabajo de graduación se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado. Sin otro particular, atentamente


Mario Rodolfo Corzo Ávila
Ingeniero Civil Colegiado No. 2089





Guatemala,
024 de febrero de 2017

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación DISEÑO DE LOSAS TIPO VIGUETA Y BOVEDILLA NO PREESFORZADO desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Gloria Elizabeth Hernández Chamalé, con Carnet No. 200714297, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

/mrrm.





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Departamento de Estructuras Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera, al trabajo de graduación de la estudiante Gloria Elizabeth Hernández Chamalé DISEÑO DE LOSAS TIPO VIGUETA Y BOVEDILLA NO PREESFORZADO da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Guatemala, julio 2017

/mrrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua

Universidad de San Carlos
de Guatemala

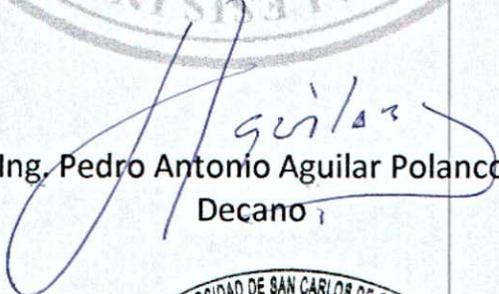


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 293.2017

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: **DISEÑO DE LOSAS TIPO VIGUETA Y BOVEDILLA NO PREEFORZADO**, presentado por la estudiante universitaria: **Gloria Elizabeth Hernández Chamalé**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, julio de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser esa fe nata en mi carrera, para lograr todos los sueños.
- Mis padres** Por ser los pilares y el apoyo incondicional, siendo la inspiración para seguir esta carrera, mostrando el esfuerzo ante la vida. Leopolda Chamalé de Hernández y Heleodoro Hernández; en memoria de mi TARI el ser que fue el formador de mi temple, fortaleza, confianza, carácter, etc., para culminar este sueño de ambos.
- Mis herman@s** Welner Hernández, Sandra Chamalé, Zoila Chamalé, Ana Chamalé. Por ser apoyo para la superación.
- Mis Sobrinos** Ángel, Jeremy, Alexandra, Adiel, Kendra, Alleha, Sophia, Michelle y Randal. Por ser esa luz de Juventud y ánimos para lograr esta meta con cariño hacia su tía YOYITA.
- Mis Tíos** Félix Luna, Carmen de Luna, Silvia Hernández, Zoila Hernández, Carlos Hernández, Gloria Hernández, Flor Picón. Por entusiasarme y anímame en mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la institución que me abrió las puertas a mi carrera profesional.
Facultad de Ingeniería	Por ser el foco principal de mi aprendizaje e influencia decisiva en mi carrera.
Ing. Mario Corzo	Por ser ese padre que me enseñó a encontrarle el amor y pasión a la profesión, con humildad y, sobre todo, a ser un ser humano integral, compartiendo lo aprendido sin egoísmo, no solo aprendiendo para el día sino para la vida. Gracias por enseñarme a ser SABANDIJA RETORCIDA.
Mis amigos de la Facultad	Krysthel Jiménez, Sharonn Pu, Wendy Mazariegos, Revi del Cid, Jaime Mazariegos, Carlos González, José Ordoñez, Reyna Márquez, Eidy Hernández, Luis Castro, Sergio Guapo, Juan Yax, Julia Hernández, Harol López, Gaby Norman, Juanjo Bonilla, etc.
Mis amigos de Carrera	Rita Estrada, Jaime García, Mariela Santos, Mafer Ramírez, Alexander de León, Carmina Pérez, Emmanuel Barrios, Mario Pacay, Bertha Solís, Ana Hernández; Juan Sucup, Leila Álvarez, Julio Arroyo, Fredy Bal, Juan Tum, Etc.

Sr. Fabio Sánchez

Por ser ese hombre amigo que me enseñó
muchas cosas sobre la ingeniería y
conocimiento personal.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. LOSAS PREFABRICADAS	1
1.1. Generalidades	1
1.1.1. Definición.....	1
1.1.2. Su función.....	1
1.2. Materiales utilizados y su conformación para una Losa no Preesforzada	3
1.2.1. Definición.....	3
1.2.2. Viguetas.....	4
1.2.2.1.1. Joist.....	5
1.2.2.1.2. Vigas tipo T.....	6
1.2.3. Bovedilla	7
1.2.4. Acero Estructural	7
1.2.5. Electromalla	8
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	11
2.1. Definiciones de Propiedades Físicas y Mecánicas.....	11
2.2. Propiedades estructurales y condiciones de carga	11
2.3. Condiciones de momentos últimos.....	11

2.4.	Área de acero (cuantía de acero).....	12
2.5.	Refuerzos por Contracción y Temperatura	13
2.6.	Corte Vertical (vigüeta).....	14
2.7.	Control de Deflexión.....	15
2.8.	Momento de Agrietamiento	16
2.9.	Momento de Inercia.....	17
2.10.	Momento de Trabajo	18
3.	PROGRAMA LOSA PREFABRICADA.....	21
3.1.	Desarrollo Programa de Losa	21
4.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DE PARTE EXPERIMENTAL.....	27
4.1.	Descripción del Ensayo.....	27
4.2.	Análisis de la Losa Prefabricada (armado).....	34
4.3.	Análisis de gráficas	38
5.	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
5.1.	Comparación del Diseño Estructural y Experimental	69
5.2.	Análisis de Resultados	70
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Losa Prefabricada no Preesforzada (Vista en Isométrico)	2
2.	Losa Prefabricada no Preesforzada (Vista en Frontal).....	2
3.	Partes de la Losa Prefabricada no Preesforzada	3
4.	Deflexión en viguetas	4
5.	Armado de <i>Joist</i>	5
6.	Vigas Tipo T (sistemas monolíticos como si fueran alas).....	6
7.	Bloque de Bovedilla.....	7
8.	Acero Estructural.....	7
9.	Traslape de Electromalla.....	9
10.	Ecuaciones de Momento último (losa 2 continuidades)	12
11.	Refuerzo mínimo en elementos sometidos a flexión	13
12.	Refuerzo mínimo en elementos sometidos a flexión	13
13.	Área de refuerzo de cortante.....	14
14.	Área acero Deformación 35 %	14
15.	Cuantía de refuerzo.....	14
16.	Cortante en la cara de todos los demás apoyos	14
17.	Agrietamiento en viga.....	15
18.	Resistencia requerida.....	15
19.	Deflexión Máxima Admisible Calculada	16
20.	Momento de área (Hipótesis de diseño).....	17
21.	Inercia Efectiva.....	17
22.	Momento de agrietamiento.....	17

23.	Módulo de Ruptura del Concreto	17
24.	Momento de Inercia sección ejes paralelos	18
25.	Momento de Área de la sección.....	19
26.	Momento de Área de la sección.....	19
27.	Área de la sección	19
28.	Cuadrulación y Carga losa de 3,70 mts a carga de diseño.....	28
29.	Deformaciones en tres puntos	29
30.	Descarga losa por 24 hrs.....	29
31.	Verificando recuperación y deformación después de 24 hrs de descargada	30
32.	Deformación de losa con factor 2 de carga de diseño	30
	Continuación de la figura 32	31
33.	Descarga y se carga con factor 2 más un 30 % de la carga de fluencia..	32
34.	Verificación de fisuras en viguetas, despegue en apoyos del <i>mampost</i> , en área de vigas agretamiento	33
35.	Armado de losa con rigidizante y vigas en los 2 puntos de apoyo.....	34
36.	Colocacion de formaleta, electromalla y bastones.....	35
37.	Realizando cilindro para verificar resistencia del concreto	35
38.	Realizando mezcla en la concretera, mojando bovedilla, aplicando concreto, vibrando y razando losa	36
39.	Humedece losa para mantener el sistema para su fraguado.....	37
40.	Gráfica de diseño para carga y descarga (izquierda)	39
41.	Gráfica de diseño para carga y descarga (centro)	39
42.	Gráfica de diseño para carga y descarga (derecha)	40
43.	Gráfica de Factor 2 para carga y descarga (izquierda).....	42
44.	Gráfica de Factor 2 para carga y descarga (centro)	42
45.	Gráfica de Factor 2 para carga y descarga (derecha)	43
46.	Gráfica de fluencia más 30 % para carga y descarga (izquierda).....	45
47.	Gráfica de fluencia más 30 % para carga y descarga (centro)	45

48.	Gráfica de fluencia más 30 % para carga y descarga (derecha).....	46
49.	Gráfica de Absorción Energía (izquierda)	47
50.	Gráfica de Absorción Energía (centro).....	47
51.	Gráfica de Absorción Energía (derecha).....	48
52.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos).....	48
53.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos conCentro).....	49
54.	Gráfica de Absorción Energía (izquierda)	50
55.	Gráfica de Absorción Energía (centro).....	50
56.	Gráfica de Absorción Energía (derecha).....	51
57.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos).....	51
58.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos con Centro)...	52
59.	Gráfica de Absorción Energía (izquierda)	53
60.	Gráfica de Absorción Energía (centro).....	54
61.	Gráfica de Absorción Energía (derecha).....	54
62.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos).....	55
63.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos con Centro)...	55
64.	Gráfica de Absorción Energía (izquierda)	57
65.	Gráfica de Absorción Energía (centro).....	57
66.	Gráfica de Absorción Energía (derecha).....	58
67.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos).....	58
68.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos con Centro)...	59
69.	Gráfica de Absorción Energía (izquierda)	60
70.	Gráfica de Absorción Energía (centro).....	61
71.	Gráfica de Absorción Energía (derecha).....	61
72.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos).....	62
73.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos con Centro)...	62
74.	Gráfica de Absorción Energía (izquierda)	64
75.	Gráfica de Absorción Energía (centro).....	64
76.	Gráfica de Absorción Energía (derecha).....	65

77.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos).....	65
78.	Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos con Centro) ...	66
79.	Carga de Diseño (Centro).....	66
80.	Carga con Factor 2 (Centro)	67
81.	Carga en punto de fluencia más 30 % (Centro)	67
82.	Gráfica de comparación entre diseño estructural y experimental	69

TABLAS

I.	Propiedades Mecánicas.....	9
II.	Tabla del Programa Excel.....	21
	Continuación de Tabla II.	22
	Continuación de Tabla II.	23
	Continuación de Tabla II.	24
	Continuación de Tabla II.	25
	Continuación de Tabla II	26
III.	Datos de diseño para carga y descarga	38
IV.	Datos de Factor 2 para carga y descarga.....	41
V.	Datos de fluencia, más 30 % para carga y descarga.....	44
VI.	Datos de diseño para carga de Energía y Linealización de deflexión (Carga de Diseño en Losa).....	46
VII.	Datos de diseño para descarga de energía y Linealización de deflexión (Descarga de Diseño en Losa)	49
VIII.	Datos de diseño para Carga de energía y Linealización de deflexión (Carga con Factor 2 de Losa)	52
IX.	Datos de diseño para descarga de energía y Linealización de deflexión (Descarga con Factor 2 en Losa).....	56

X.	Datos de diseño para Carga de energía y Linealización de deflexión (Carga de Losa en punto de fluencia más 30 %)	59
XI.	Datos de diseño para descarga de energía y Linealización de deflexión (Descarga de Losa en punto de fluencia más 30 %).....	63
XII.	Datos de comparación del diseño estructural y experimenta	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Av	Área de cada estribo.
As	Área de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción, mm ² .
b	Ancho del alma, cm.
bw	Ancho del alma de la viga, cm.
A's	Área del refuerzo a compresión, mm ² .
Ad	Área mínima de refuerzo de flexión, m.
As, min	Área mínima de refuerzo de flexión, mm ² .
Wu	Carga mayorada por unidad de longitud de viga, o losa en una dirección kg/cm ² .
Cm	Carga muerta soportadas por un elemento.
Cv	Carga viva (sin factores de carga).
μ	Coefficiente de fricción.
ρ	Cuantía del refuerzo As evaluada sobre el área bd.
ρ'	Cuantía del refuerzo A's evaluada sobre el área bd.
ρb	Cuantía del refuerzo As evaluada sobre el área bd que produce condiciones balanceadas de deformación unitaria.
ρmax	Cuantía máxima para secciones de gran deformación.
d	Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción, mm.

d'	Distancia desde la fibra extrema en compresión al centroide del refuerzo longitudinal en compresión, mm.
s	Espaciamiento medido centro a centro de unidades tales como refuerzo longitudinal, refuerzo transversal tendones de preesforzado, alambres, o anclajes, cm.
c	Distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro, mm.
t	Espesor de la pared de una sección con vacíos, cm.
hf	Espesor del patín.
λ	Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión.
φ	Factor de reducción de resistencia.
ξ	Factor que depende del tiempo para cargas sostenidas.
β_1	Factor que relaciona la profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro.
Vu	Fuerza cortante mayorada, N.
fr	Módulo de ruptura del concreto, kg/cm ² .
le	Momento de inercia efectivo para el cálculo de las deflexiones, mm ⁴ .
Ig	Momento de inercia de la sección bruta con respecto al eje que pasa por el centroide, sin tener en cuenta el refuerzo, mm ⁴ .
Icr	Momento de inercia de la sección fisurada transformada a concreto, mm ⁴ .

Mcr	Momento de fisuración, kg/cm.
Mu	Momento mayorado en la sección, kg/cm.
n	Número de unidades, tales como ensayos de resistencia, barras, alambres, anclajes, o brazos de una cabeza de cortante.
a	Profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos, m.
f'c	Resistencia especificada a la compresión del concreto, kg/cm ² .
fy	Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo no preesforzado, kg/cm ² .
Vn	Resistencia nominal a cortante, N.
Vc	Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto, N.

GLOSARIO

Carga	Fuerzas y otras acciones que resultan del peso de los materiales de construcción, efectos ambientales, movimientos diferenciales, cambios volumétricos restringidos.
Cuantía	Cantidad de acero que se requiere para una sección.
Diafragma	Miembro de edificaciones de losas de piso, techo y la cimentación, que integran muros portantes para evitar sus desplazamientos laterales.
Empotramiento	Es cuando la vigueta está embebida o anclada a la viga o muro de apoyo.
Estribo	Es para soportar fuerzas cortantes y de torsión del refuerzo transversal de vigas y losas siendo un amarre o tensor, en forma rectangular, colocado normalmente perpendicularmente o en ángulo con respecto al refuerzo longitudinal.
Losa	Elemento estructural, que transmite las fuerzas que actúan en el plano del miembro hacia los elementos verticales y horizontales del sistema.

No preesforzado

Es para losas en dos sentidos, con una menor cuantilla de refuerzo preesforzado.

Preesforzado

Son los esfuerzos permanentes en una estructura para mejorar su comportamiento y resistencia bajo condiciones de servicio y de resistencia (esfuerzos internos haciendo que el acero de refuerzo se tense).

Refuerzo

Elemento de acero en forma de barras corrugado, malla electrosoldada, o elemento embebido en concreto.

Rigidizante

Es un elemento estructural que se utiliza para incrementar la resistencia a la flexión en una losa.

RESUMEN

En Guatemala no se cuenta con el control adecuado de diseño de elementos estructurales (losas prefabricadas), esto trae como consecuencia no saber diferenciar los métodos o procedimientos entre las losas preesforzadas y no preesforzadas, por lo cual se toma el fundamento teórico para cálculo y diseño y enfatizar en una losa tipo vigueta y bovedilla no preesforzada, para que en el momento que las empresas fabriquen y vendan dichas losas tengan parámetros concretos que indiquen un tiempo de vida de las estructuras.

En el ámbito de la construcción, en 1976 a consecuencia del terremoto, se comienzan a construir este tipo de losas con una gran versatilidad y facilidad de instalación, para cubrir espacios amplios y con una gran capacidad de carga, colocando en sentido perpendicular a las viguetas, las cuales están diseñadas para soportar diferentes tipos de cargas que son transmitidas por la losa, eliminando la formaleta disminuyendo así la mano de obra. Los materiales a utilizar aparte de las viguetas, se utilizan bovedillas que tienen la función de cubrir espacios y para soportar carga las viguetas y acero estructural por temperatura y que estos llegan hacer de menor espesor de la pastilla; para evitar la deflexión de la misma se colocan rigidizantes a 1,5 mts como mínimo, trabajando como vigas no preesforzadas que su flecha va hacia abajo por la carga aplicada a la misma.

En el diseño se determinan los diferentes factores para hacer una comparación entre lo práctico y teórico donde se compara la losa, cómo se vende y cómo se construye al momento de la colocación en el lugar, utilizando y colocando según se vaya a construir ya en obra y verificando el armado que

debe llevar para que funcione según diseño, verificando así la máxima deflexión que puede tener y la carga a soportar.

En la comparación se verifican las gráficas con datos de la práctica, donde se le aplica un factor dos a la losa, verificando así la fluencia y soporte de la misma. Se verifica cómo la energía absorbida por la misma hace que el acero soporte un 30 % de carga más que un factor dos, verificando que soporta muy bien para lo que es diseñado.

Los resultados nos indican que para longitudes no debe de exceder de 3 mts de longitud de la luz libre entre apoyos para que la deflexión no se pase de la máxima, donde el espesor deberá ser de 15 cm y si sobrepasa, un espesor de 20 cm. Teniendo en cuenta que se utiliza el acero de máxima resistencia G-70 se debe tener cuidado de no fatigar ya que este colapsaría súbitamente ya que su falla terminaría siendo frágil; que los aceros que se utilicen sean como mínimo acero legítimo, para que trabaje como el diseño; tener en cuenta que si los apoyos están bien anclados, no importa la mala distribución en la losa, ya que los apoyos son los que soportan el momento negativo, soportando y absorbiendo la carga.

OBJETIVOS

General

Diseñar losas tipo vigueta y bovedilla no Preesforzado

Específicos

1. Diseñar losas no preesforzadas.
2. Utilizar las dimensiones de los materiales para la elaboración de vigueta y bovedilla en electromalla y acero estructural.
3. Calcular las cuantías máximas y mínimas para la comparación con cuantías calculadas.
4. Verificar el comportamiento del diafragma; su deflexión, fallas a corte.
5. Minimizar los costos de materiales para la elaboración de una losa.
6. Verificar según Código ACI 3118-11S, las normas y parámetros para que se cumpla su función en la construcción.

INTRODUCCIÓN

En el diseño de losas conocidas como vigueta y bovedilla se ha distorsionado tanto su concepto de cálculo como constructivo, ya que las mismas se originaron con el sistema de losas con vigueta preesforzada y bovedilla; en la actualidad hay varias fábricas que se dedican a la elaboración de este tipo de losas y en el proceso de cálculo la consideran como vigas (tipo T) simplemente soportadas, condición que en las preesforzadas tiene una curvatura cóncava que al iniciar su trabajo estructural ella se nivela provocando empuje horizontal hacia los muros o elementos portantes, mientras que las no preesforzadas su trabajo tiende a tener un comportamiento convexo. De allí que los criterios de diseño no son los mismo, situación que motiva el presente trabajo de graduación, el cual desarrolla las condiciones de carga, flechas permisibles, momentos positivos y negativos, cortantes y criterio de agrietamiento entre otras.

El diseño de una losa prefabricada tipo vigueta y bovedilla no preesforzada, se obtiene de materiales de diferentes dimensiones, según la luz que se vaya a cubrir. Se utilizará un mapa mental indicando los cursos teóricos para la realización de dicho diseño en donde se tomarán en cuenta factores como: Concreto 1 (Diseño de área de acero ACI 318-11S Cap. 10.3, Diseño de viga (vigueta) ACI 318-11S Cap. R 7.12.3) , Concreto 2 (Deflexión y Momentos de agrietamiento de losas ACI 318-11S Cap. 11-13, 8.3.3, 9.5.2.3 , Deflexión Instantánea ACI 318-11S Cap. 9.5b) Diseño Estructural (Cargas y sobre cargas para un techo Normas AGIES).

1. LOSAS PREFABRICADAS

1.1. Generalidades

1.1.1. Definición

Este sistema se introdujo en el país el año 1 976 (como una de las consecuencias del terremoto de ese mismo año). Su sistema tiene gran versatilidad en cubrir espacios amplios y capacidad de carga (versatilidad y facilidad de instalación).

Es un conjunto de elementos prefabricados reforzados con electromalla de alta resistencia y se encuentra diseñada para resistir fuerzas verticales, la losa prefabricada se analiza y funciona como una losa tradicional continua, armada en un sentido, la luz de diseño es el espaciamiento entre viguetas. Este sistema consiste en empotrar las viguetas a la solera de corona, luego se procede a fundir la losa; el rigidizaste se debe colocar en el sentido perpendicular a las viguetas.

1.1.2. Su función

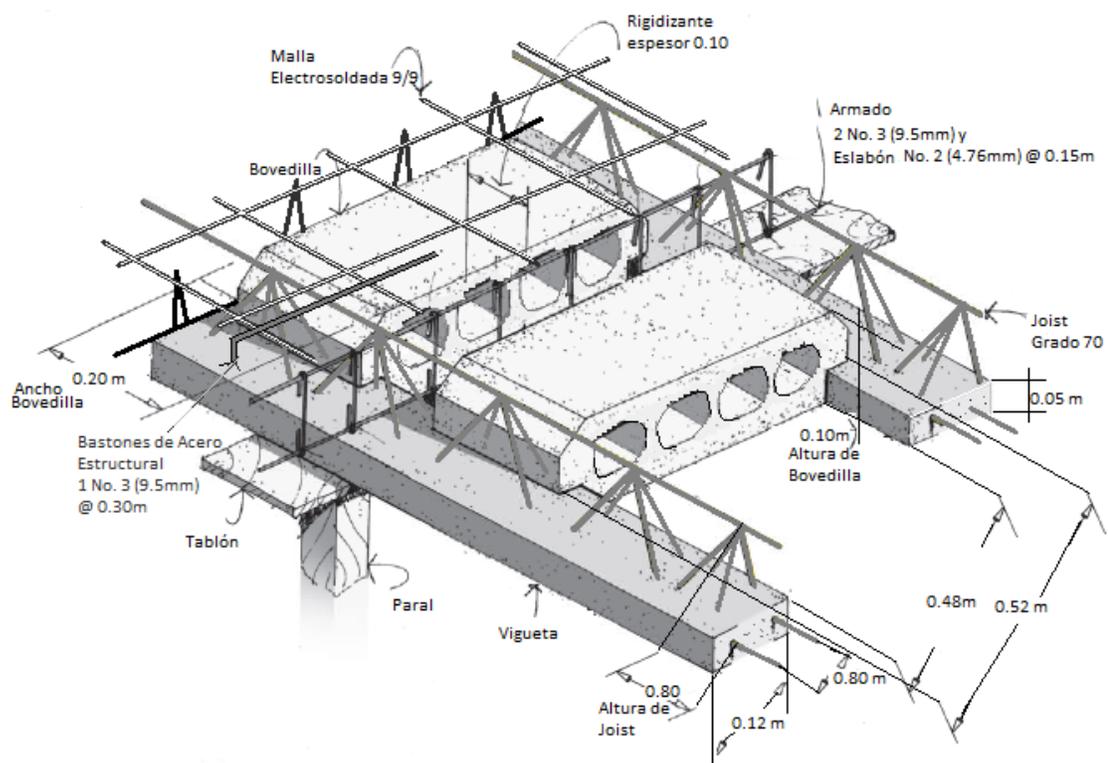
Es un sistema bondadoso, para los constructores y habitantes. La losa prefabricada en sus inicios fue utilizada para viviendas, usándola así para losas finales o entresijos; ahora se usa en todo tipo de edificaciones por su bajo peso, permitiendo que se efectuó su montaje manualmente, eliminando el costo de equipos pesados para su construcción. Las viguetas son las que están diseñadas para soportar diferentes tipos de cargas, pues las recibe la carga transmitida por la losa, donde el refuerzo estructural de la losa ha sido sustituido por una electromalla de acero de alta resistencia y la bovedilla funciona únicamente como formaleta, verificando así la rapidez en la instalación, eliminación de la formaleta, reduciendo la mano de obra, teniendo mayor durabilidad y reduciendo corrosión.

1.2. Materiales utilizados y su conformación para una Losa no Preesforzada

1.2.1. Definición

Son sistemas constructivos que vinieron a revolucionar los sistemas de losa tradicionales, la losa presenta varias ventajas como el ahorro de madera, concreto, mano de obra, tiempo y la obtención de losas livianas con respecto a su espesor. Se pueden construir hasta 6 mts de claro con un sistema más económico.

Figura 3. Partes de la Losa Prefabricada no Preesforzada

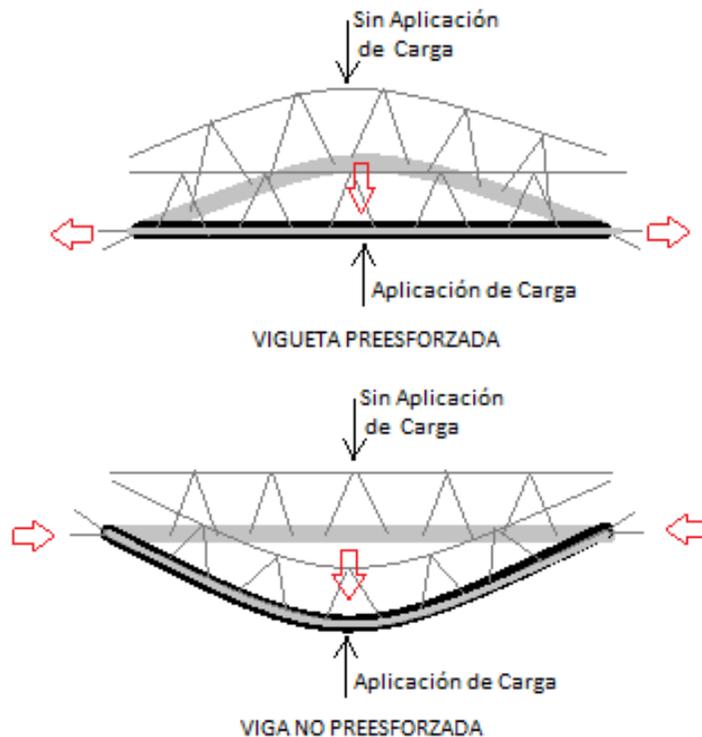


Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD, Paint.

1.2.2. Viguetas

Es un elemento prefabricado longitudinal resistente, diseñado para soportar cargas, dándole estabilidad a las mismas. El área de refuerzo perpendicular a las viguetas debe cumplir la resistencia requerida por flexión, considerando las concentraciones de carga y debe ser al menos igual al refuerzo para retracción y temperatura requerido; sabiendo que para diseñar es necesario conocer los esfuerzos que producen las cargas a lo largo de su longitud, los cuales serán valores de corte y momento flector.

Figura 4. Deflexión en viguetas

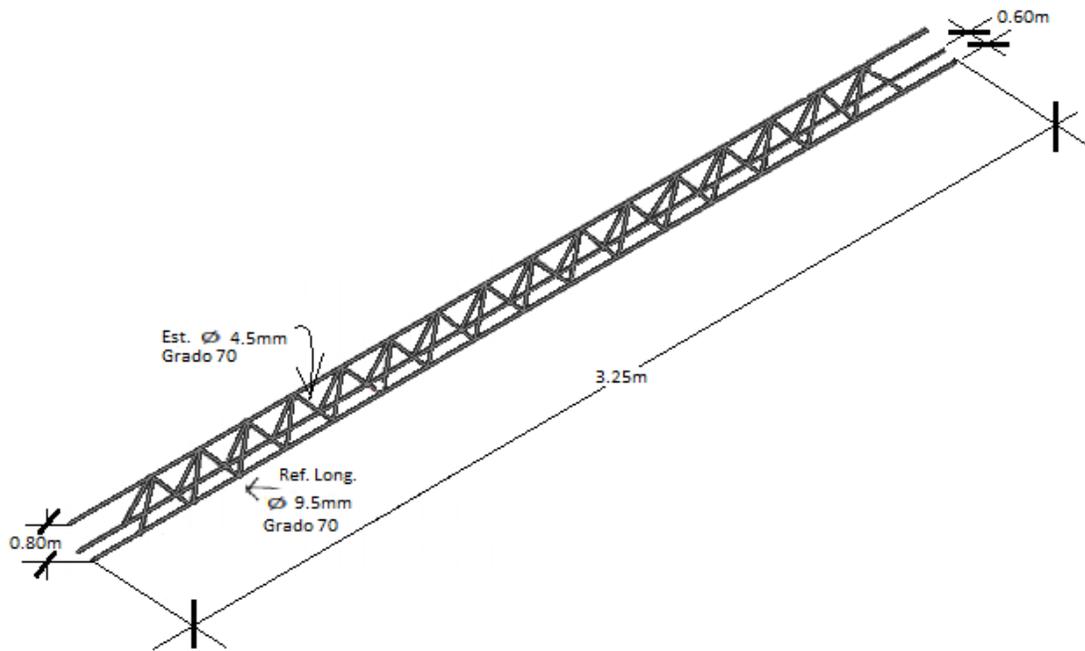


Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD, Paint.

1.2.2.1.1. *Joist*

Es un producto electrosoldado triangular, formado por 3 varillas corrugadas de grado 70 y una en forma de zig-zag mediante un proceso de soldadura por resistencia eléctrica a cada 20 cm, agregándole concreto colado en las dos varillas inferiores, más el acero de refuerzo que requiera, dependiendo el claro y cargas a las que va a ser sometida la losa. Esta vigueta es muy importante para el sistema vigueta bovedilla ya que le sirve como apoyo a la bovedilla y a la capa de compresión.

Figura 5. **Armado de *Joist***

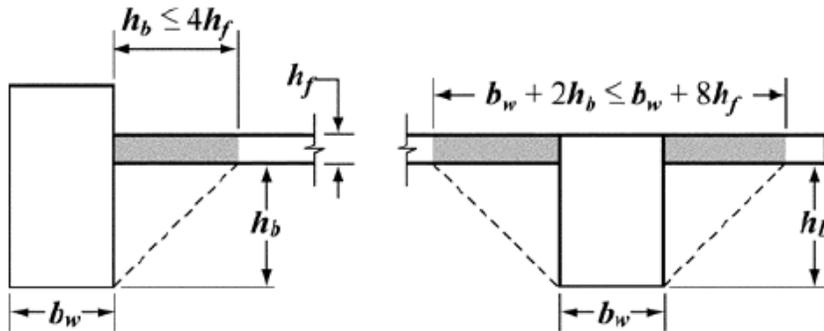


Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD, Paint.

1.2.2.1.2. Vigas tipo T

En la construcción de vigas T no preesforzadas, construidas para soportar losas monolíticas o compuestas, el ancho efectivo de la losa usada como ala b_f , debe incluir el ancho b_w del alma de la viga, más un ancho sobresaliente efectivo del ala, de acuerdo con ACI 318-11s tabla 6.3.2.1, donde h es el espesor de la losa y s_w es la distancia libre a la siguiente alma. Sabiendo que el ancho de la losa efectivo como ala de la viga T está limitado a un cuarto de la luz. El reglamento ahora permite un octavo de la luz a cada lado del alma de la viga el cual tiene un impacto despreciable en el diseño. En vigas T no preesforzadas aisladas, en las cuales se utilice la forma T para proporcionar por medio del ala un área adicional de compresión, el ala debe tener un espesor mayor o igual a $0,5b_w$ y un ancho efectivo del ala menor o igual a $4b_w$.

Figura 6. Vigas Tipo T (sistemas monolíticos como si fueran alas)

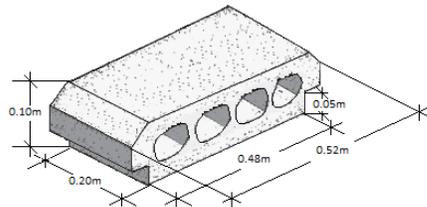


Fuente: ACI 318-08 Fig. 13.2.4.

1.2.3. Bovedilla

Está hecha de hormigón, cerámico, barro u otro material, la producción de las bovedillas está hechas en máquinas industriales vibro compresoras de *block* de 13 cm y 16 cm de peralte, utilizándose materiales y dosificaciones controladas que garantiza calidad y uniformidad al producto.

Figura 7. **Bloque de Bovedilla**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD, Paint.

1.2.4. Acero Estructural

Es uno de los materiales básicos utilizados en la construcción de estructuras, se produce en una amplia gama de formas y grados, lo que permite una gran flexibilidad en su uso. Es relativamente barato fabricar y es el material más fuerte y más versátil disponible para la industria de la construcción. Se define como acero estructural a la aleación entre hierro y carbono en pequeñas cantidades con otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno.

Figura 8. **Acero Estructural**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD, Paint.

1.2.5. Electromalla

Es un refuerzo que requiere la capa de compresión para resistir los esfuerzos a flexión. Sirve también para evitar agrietamiento por los cambios volumétricos debido a las variaciones de temperatura. Este elemento se compone de barras lisas o corrugadas, laminadas en frío, longitudinales y transversales, que se cruzan en forma rectangular, estando las mismas soldadas en todas sus intersecciones. Por su mayor resistencia permite utilizar menor cantidad de acero a diferencia de los sistemas tradicionales. Las varillas que conforman la malla electrosoldada son de aceros trefilados en frío con una fluencia mínima de 5 000 Kg/cm² y una resistencia mínima a la rotura de 5 600Kg/cm², y fabricados bajo especificaciones de las normas:

- Para alambre liso ASTM A82 – 94.
- Para alambre corrugado ASTM A496 – 94.
- Las mallas electrosoldadas hechas con alambre liso cumplen con la norma ASTM A185 – 94.
- Las mallas electrosoldadas hechas con alambre corrugado cumplen con la norma ASTM 497 – 86.

Traslapes en malla electrosoldada:

Los Traslapes para malla electrosoldada se ajustaran a los acápites aplicables del ACI Standard Building Codes requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-11S), a menos que se indique en los planos o lo disponga la Supervisión.

Longitud de anclaje:

La longitud de anclaje estarán de acuerdo a lo acápites del Código ACI 318-11S, a menos que se indiquen en los planos o lo disponga la supervisión.

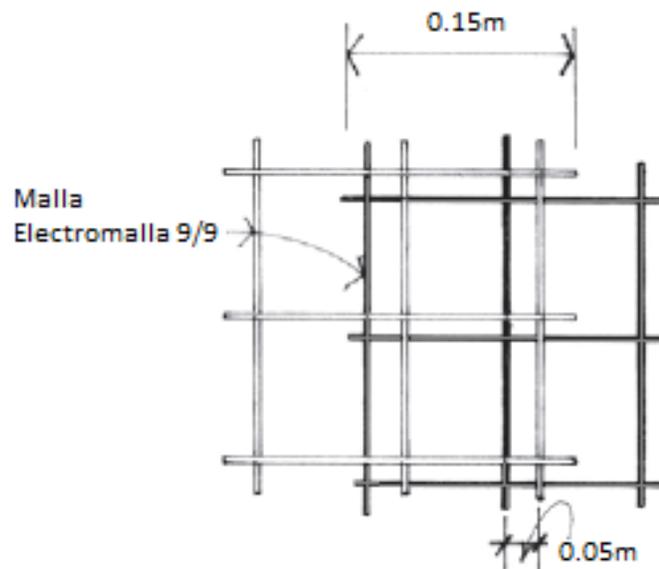
Propiedades mecánicas:

Tabla I. **Propiedades Mecánicas**

Material	Grado del alambre o del grafil	Límite de fluencia (mín.)	Resistencia a la tracción (mín.)	Reducción de área (mín.)	Esfuerzo cortante en la soldadura (mín.)
Malla con Alambre Liso (NTC 1925)	A 450	450 MPa 45.9 kgf / mm ²	515 MPa 52.5 Kgf / mm ²	30 %	24.6 Kgf / mm ²
Malla con Alambre corrugado (grafil) (NTC 2310)	G 485	485 MPa 49.5 Kgf / mm ²	550 MPa 56.0 Kgf / mm ²	30 %	Æ Alambre ≥ 4.5 mm = 24.6 Kgf / mm ² Æ Alambre < 4.5 mm = 12.4 Kgf / mm ²

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel

Figura 9. **Traslape de Electromalla**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD, Paint.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Definiciones de Propiedades Físicas y Mecánicas

Las propiedades físicas de la losa prefabricada son los elementos que componen el sistema así como la vigueta, bovedilla, electromalla, acero estructural y concreto que, en conjunto, vuelven el sistema uniforme donde el acero trabaja dándole tensión y el concreto la compresión. Antes de colapsar el acero el concreto se agrieta antes de llegar al colapso.

Las propiedades mecánicas de la losa prefabricada es donde se analiza la flexión del sistema de vigueta y bovedilla, llegando a los momentos máximos negativo y positivo, aplicándole la carga máxima para verificar la flecha máxima que soporta el sistema; así agrietándose las viguetas por el sistema, llegando a fluir y el concreto a agrietarse.

2.2. Propiedades estructurales y condiciones de carga

Las propiedades estructurales de una losa es la verificación de la máxima flexión, que soportará cuando se le aplique la carga de diseño, más un Factor 2 del que fue diseñado el sistema; se verifican los momentos últimos positivos (centro) y negativos (apoyos), se verifica la figuración y la torsión cuando se le es aplicada la máxima carga sin llegar al colapso.

2.3. Condiciones de momentos últimos

Las propiedades estructurales de una losa es verificar la máxima. Según el capítulo 8.3.3 del ACI-318S 11, los momentos y fuerzas cortantes aproximadas proporcionan valores razonablemente conservadores para las

condiciones indicadas cuando los elementos sometidos a flexión forman parte de un pórtico o de estructura continua.

Figura 10. **Ecuaciones de Momento último (losa 2 continuidades)**

$$M_{u+} = \frac{wl^2}{8}$$

$$M_{u-} = \frac{wl^2}{24}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 8.3.3 p. 111

2.4. Área de acero (cuantía de acero)

Es la cantidad de acero que debe usarse por cada metro cúbico de concreto, donde las unidades en (Kg/m³) se obtienen de acuerdo al diseño del elemento estructural y en relación de la medida de los esfuerzos a cortante y a flexión que aumentan sobre un elemento. Con esto se verificar el aumento de la cantidad de acero que tenga que incorporarse si se amplía la cuantía de acero según la estructura que se esté trabajando. Tener en cuenta que si se coloca poco refuerzo el elemento tendera a fallar rápidamente por flexión o cortante, y si se le colocar mucho refuerzo el elemento falla a compresión. En ambos casos no se desea que ocurran, o al menos en este caso que falle por cortante o flexión la losa.

Cuando se diseña el elemento estructural se sabe que el área de acero con el que se trabajar es según las cargas y esfuerzos que llegue a resistir el elemento cuando el mismo comience a trabajar en el sistema construido.

Donde:

Figura 11. **Refuerzo mínimo en elementos sometidos a flexión**

$$A_{s_{min}} = \frac{14,1}{f_y} b_w d$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 10.5.1 p. 143

Figura 12. **Refuerzo mínimo en elementos sometidos a flexión**

$$a_{positivo} = \frac{\rho f_y d}{0,85 f_c}$$

Fuente: *Diseño de Estructuras de Concreto* Cap. 3.4 p. 78

2.5. Refuerzos por Contracción y Temperatura

Las estructuras de extensión considerables, como las losas, están sometidas a esfuerzos altos generados por la contracción de fraguar y los cambios de temperatura, los que tienden a ocasionar agrietamientos pronunciados. Para evitar este fenómeno se requiere de una cierta cantidad de refuerzo, denominado comúnmente, refuerzo de temperatura.

En las losas armadas en una dirección, el refuerzo principal para minimizar la fisuración y para amarrar la estructura con el fin que actué como se supone en el diseño, donde la contracción a los cambios de volumen provoca tracción en las losas por ser elementos prefabricados o tableros permanentes de acero, el refuerzo superior como el inferior, son efectivos para la contracción del agrietamiento. (ACI 318-11 7.12)

Figura 13. **Área de refuerzo de cortante**

$$A_{vmin} = 3,5 \frac{b_w S}{f_y}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 11.4.6.3 p. 175

Figura 14. **Área acero Deformación 35 %**

$$\rho \geq 0,0018 * \frac{4\ 200}{f_y}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 7.12.2.1.C p. 104

2.6. Corte Vertical (vigüeta)

Se considera que el cortante vertical es resistido por todo el elemento compuesto, como si se tratara de un elemento de la misma sección transversal construido monolíticamente. El cortante vertical se toma para determinar el cortante horizontal. (Pág. Capítulo 17.4. ACI 318-05)

Figura 15. **Cuantía de refuerzo**

$$\rho_{max} = 0,75\rho_{balanceado}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. RB 10.3.3 p. 413

Figura 16. **Cortante en la cara de todos los demás apoyos**

$$V_{u-} = \frac{wl}{2}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 8.3.3 p. 111

Figura 17. **Agrietamiento en viga**

$$V_c = 1,1 * 0,53\sqrt{f'_c}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 11.3.3.2 p. 170

2.7. **Control de Deflexión**

Se realiza en los elementos de concreto reforzado sometidos a flexión. Deben diseñarse para que tenga una rapidez adecuada con el fin de limitar cualquier deflexión que pudiese afectar adversamente la resistencia o el funcionamiento de la estructura. El inciso 9.5 del ACI 318-11 se ocupa de las deflexiones que pueden ocurrir al nivel de carga de servicio.

La deflexión se considera antes o después de lograr una acción compuesta efectiva donde se establecen que no debe hacerse distinción entre los elementos apuntalados y sin apuntar.

Para elementos no Preesforzados que no cumplan con estos requisitos de control de la altura o espesor mínimo o que soporten o estén ligados a muros divisorios, subirán daños debido a deflexiones grandes y para todos los elementos de concreto preesforzado a flexión. Las deflexiones deben calcularse mediante los procedimientos descritos o referidos en las secciones apropiadas del reglamento y deben limitarse a los valores de Tabla 9.5 (b). (9.5.5.3)

Figura 18. **Resistencia requerida**

$$w_u = 1,4C_M + 1,7C_v$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 9.2.1 p. 121

Figura 19. **Deflexión Máxima Admisible Calculada**

$$t = \frac{l}{180}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 9.5 (b) p. 130

2.8. Momento de Agrietamiento

Según el reglamento, el momento de agrietamiento donde el M_u es el momento mayorado sobre las vigas en la sección que se está considerando, y el V_u que es la fuerza cortante mayorada que ocurre simultáneamente con M_u . Puesto que las mismas propiedades de la sección se aplican tanto a los esfuerzos por la carga muerta como por la carga viva, no hay necesidad de calcular los esfuerzos, y el momento agrietamiento, M_{ct} ; se refleja en el cambio total de esfuerzos desde el preesforzado efectivo, hasta una tracción de $\frac{\sqrt{f'_c}}{2}$, la cual se supone que ocasiona agrietamiento por flexión, donde el momento de agrietamiento debe considerarse el efecto de preesforzado. En la referencia de 9.23 también se presenta un método para predecir el efecto del acero de tracción no preesforzado en la reducción de la contraflecha por flujo plástico, y en forma aproximada en las referencias

Según las reglas, la distribución del refuerzo a flexión se da con el fin de controlar el agrietamiento por flexión en vigas de las losas en una dirección (losas reforzadas para resistir los esfuerzos de flexión en una sola dirección).

Para los momentos de agrietamiento se calculan para controlar el agrietamiento en el refuerzo inferior como en el superior, sabiendo que, no obstante, la resistencia del concreto en tracción es importante en las condiciones de agrietamiento y deflexión a nivel de cargas de servicio.

Figura 20. **Momento de área (Hipótesis de diseño)**

$$M_{area} = (b - b_w)h_f * \frac{h_f}{2} + b_w * t * \frac{t}{2}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 9.5.2.3 Ec.9.8 p. 130

Figura 21. **Inercia Efectiva**

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 9.5.2.3 Ec.9.8 p. 130

Figura 22. **Momento de agrietamiento**

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 9.5.2.3 Ec.9-9 p. 130

Figura 23. **Módulo de Ruptura del Concreto**

$$f_r = 2\lambda\sqrt{f'_c}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 9.5.2.3 Ec.9-10 p. 130

2.9. Momento de Inercia

El procedimiento para obtener el momento de inercia efectivo, descrito en el reglamento y en la referencia 9.13, se seleccionó considerando que es suficientemente preciso para emplearse en el control de deflexiones del 9.14-

9.16. El momento de inercia efectivo I_e se desarrolló para proporcionar una transición entre los límites superior e inferior de I_g e I_{cr} , como función de la relación M_{cr}/M_a . En la mayoría de los casos prácticos, I_e será menor que I_g .

El momento de inercia de vigas T debe estar basado en el ancho efectivo del ala definido en 8.10. En general, es suficientemente preciso tomar I_g para una viga T como dos veces el I_g del alma $2(bwh^3/12)$. Hay que tener en cuenta que el momento de un sistema viga-losa en cualquier sección transversal fuera del nudo o capitel de la columna, usando el área bruta de concreto.

Figura 24. **Momento de Inercia sección ejes paralelos**

$$I_g = \frac{b * h_f^3}{3} + \frac{b_w * y_t}{3} * \frac{(b - b_w) * (h_f - y_{bs})^3}{3}$$

Fuente: ACI-318-11S Cap. 9.5.2.3 Ec.9-10 p. 130

2.10. Momento de Trabajo

Es cuando el momento actuante debe ser menor al momento resistente o actuante.

La incertidumbre de esas cargas hace que se realice un mayoreo en el sistema y por eso se le aplica el factor que será menor de 1 donde la certeza sea menor para las cargas que se han solicitado. Cuando se calcula o cuando el procedimiento de diseño se realiza en base de los momentos de trabajo se sabe que los esfuerzos serán permisibles y se calculan en la zona de su comportamiento elástico los cuales serán congruentes, y no podrán excederse de un valor límite específico. Se debe trabajar con factores de seguridad que reducen los esfuerzos de trabajo.

Figura 25. **Momento de Área de la sección**

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

Fuente: ACI-318-11S Suposiciones de Diseño Cap. 10.2 p. 137

Figura 26. **Momento de Área de la sección**

$$M_{area} = (b - b_w)h_f * \frac{h_f}{2} + b_w * t * \frac{t}{2}$$

Fuente: ACI-318-11S Suposiciones de Diseño Cap. 10.2 p. 137

Figura 27. **Área de la sección**

$$\hat{AREA} = b * h_f * h'_f * b_w$$

Fuente: ACI-318-11S Suposiciones de Diseño Cap. 10.2 p. 137

3. PROGRAMA LOSA PREFABRICADA

3.1. Desarrollo Programa de Losa

Tabla II. Tabla del Programa Excel

DATOS GENERALES			Datos de Materiales	
PESO CONCRETO REFORZADO	2400 KG/M3		bovedilla	
ACERO ESTRUCTURAL	4931.83 KG/CM2	GRADO 70	a	0.20 m
ELECTROMALLA	5284.10 KG/CME	GRADO 75	b	0.60 m
BOVEDILLA 10 CM	9 KG		vigueta	
CARGA VIVA	200 Kg/m2	ENTREPISO	a	0.12 m
SOBRE CARGA	130 Kg/m2		b	0.05 m
			l	1.00 m

Wbovedilla	19.55 lb	8.870235935 kg	74 kg/m2
Vigueta			24 kg/m2
Concreto			140 kg/m2
Σ total			238 kg/m2
		usar	240 kg/m2

longitud de vigueta	3.7 m		
bw	12 cm		
hf	5 cm		
peralte mínimo	0.14 m	<	0.15 m VERDADERO

1 Del Análisis Conocemos

$$\begin{aligned} \mu_u &= W/L^2/8 \\ \mu_u &= W/L^2*1/24 \end{aligned}$$

2 Revisando ancho efectivo

b el < de	L/4	92.5 cm		
	bw+16hf	92 cm	usar	60 cm
	S	60 cm		
ademas de observarse	5	5 cm		
	hf ≥ 5-(bw)/12	4 cm	usar	5 cm
t ≤ 3.5bw	15 ≤	42 cm		VERDADERO
S ≤ 75+bw	60 ≤	87 cm		VERDADERO
bw ≥ 10 cm	12 ≥	10 cm		VERDADERO
b < bw + 16 hf	60 <	92 cm		VERDADERO
	ϕ	ρ	f_y	b
	0.9		4931.828045	12
			kg/cm2	cm
				d
				15
				cm

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Continuación de Tabla II.

L	370 cm	
b	60 cm	
bw	12 cm	
hf	5 cm	
d	12.5 cm	
d'	2.5 cm	
t	15 cm	
Cv	200 kg/m2	
Cm Losa	240 kg/m2	
Cm Acabados	130 kg/m2	
f'c	280 kg/cm2	510.815625
fy	4931.83 kg/cm2	
1.4*CM	518 kg/m2	
1.7*CV	340 kg/m2	
Wu=1.4Cv+ 1.7CM	858 KG/M2	ACI-318
Wu	514.8 kg/m	

3 MOMENTO POSITIVO							
losa con 2 continuidades							
1	$Mu+=1/8*Wu* L^2$	880.95 kg-m		88095 kg-cm			
2	b	60.00 cm					
3	ϕ	0.9					
				rev	rev	rev	
		a	b	c	$\rho1$	$\rho2$	ρ
4	Mu+	5.412957011	12	5	-0.010416745	0.106932681	usar 0.010417
5	As+= $\rho b d$	1.562511771		3.76			
	cordones inferiores 2	2 ϕ	9.5 mm			1.418 cm2	
		ϕ	4.76 mm			0.356 cm2	
						1.774 cm2	
	Ascalculada< As a usar	VERDADERO					
6	$a_{positivo}=\rho*fy*d/.85*f'c$	2.698193058					VIGA REGA RECTANGULAR
7	a	2.70	cm	<	5	cm	T falsa Seguir paso 13

4 CUANTÍA DE ACERO			
1	$\rho_{max}=0.65*\rho_{balanceado}$	0.014764496	$\rho_{max}= 0.014764496$
	$\rho_{balanceado}$	0.022714609	
2	$\rho_{calculado}<\rho_{maximo}$	OK	usar As
3	$AS_{minimo}=14.1/fy*bw*d$	0.428847069	
	Ascalculado> As minimo	USAR As	USAR As 1.774 cm2
usar bastones 3/5 L			

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Continuación de Tabla II.

5 MOMENTO NEGATIVO							
1	$Mu=(Wu \cdot L^2)/24$	293.651 kg-m	29365.05 kg-cm				
		d'	2.5 cm	bw	12 cm		
		a	b	c	ρ_1	ρ_2	$\rho_{calculado}$
3	$Mu-$	5.482957011	12	5	-0.018424661	0.114940597	usar 0.018425
4	$As=\rho \cdot bw \cdot d$	0.55273984 cm ²		5.2			
5	$a = As \cdot fy / (.85 \cdot fc \cdot b)$	0.95448804					
	$a < 5 \text{ cm}$	VERDADERO					SE DEBE UTILIZA $\rho_{max}=0.5$ PARA ZONAS SISMICAS CUANDO EL ACERO A UTILIZAR SEA PARA VARIAS GRADO 60
6	$\rho_{max}=0.65 \cdot \rho_{balanceado}$	0.014764496	$\rho_{max} =$	0.014764496			
7	$\rho_{balanceado}$	0.022714609					
	$\rho_{calculado} < \rho_{maximo}$	OK		USAR As		0.55 cm ²	
6 BASTONES							
		2 ϕ	9.5 mm			1.418 cm ²	
		2				1.418 cm ²	
	$A_{calculado} > A_{usar}$	colocar bastones a	9.5	@	60	cm	
		usar bastones L/4					
7 REFUERZO POR CONTRACCION Y TEMPERATURA							
		fy	5284.101477 kg/cm ²	b	100	d	5
	$\rho \geq 0.0018 \cdot 4200 / fy$		0.001430707				
	$A_{temperatura}$		0.715353408 cm²/m				
	$A_{calculado} < A_{usar}$		OK				
	usar electromalla 9/9 es igual		0.756 cm ² /m			USAR ELECTROMALLA 9/9	
	electromalla 10/10		0.618 cm ² /m				
8 CORTE VERTICAL							
		ϕ	bw	d	S	α	fy
		0.85	12	12.5	20	53.00	4931.83
1	Vu	WL/2	952.38 kg				
2	$vu=Vu/\phi \cdot bw \cdot d$		7.47				
3	$vc=1.1 \cdot 53 \cdot \sqrt{fc}$		9.755				
	$vc/2$		4.878				
4	Si $Vu \leq Vc$		Ok			NO NECESITA ESTRIBOS	
5	si $Vc/2 < vu \leq Vc$		VERDADERO VERDADERO				
6	$Av=3.52 \cdot bw \cdot S / fy$		0.171				
7	Ad		0.264 calculo joist				
	$Ad > Av$		OK				
	correcto los dos cordones de diagonales de joist						
	$Vc < vu$		FALSO				
8	Av		0.3001				
9	Av		0.1713				
10	Ad		0.2641 calculo joist				
	$Ad > Av$		VERDADERO				

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Continuación de Tabla II.

9 CONTROL DE DEFLEXION						
	f'c	fy	Cm	Cv	Wt	L
	280	4931.828045	370	200	570	370
	kg/cm	kg/cm	kg/m2	kg/m2	kg/m2	cm
			222	120	342	3.7
			kg/m	kg/m	kg/m	m

10 MOMENTO DE TRABAJO PARA Wtotal						
1	M=WL^2/24	195.083	kg-m			
2	M+=1/8*WL^2	585.248	kg-m			
3	Modulo de elasticidad de concreto	252671.33	kg/cm2	2526713280	kg/m2	
4	Modulo de elasticidad de acero	2039000	kg/cm2	20390000000	kg/m2	8.069771968
5	n = Es/Ec	8.069771968	usar	8		
6	fr=modulo de ruptura					
	fr=2*λ*vf'c	66.93	kg/cm2	fr=1.99vf'c	33.30	
7	Ig= momentos de inercia seccio total					
		b	hf	bw	t	h'f
		60	5	12	15	10
		cm	cm	cm	cm	cm
8	Marea	1950	cm3	As		
	A= area de la seccion	420	cm2			
	Ybs= Marea/A	4.64	cm			
	Yt flexion +	10.36	cm			
	Yt flexion -	7.5	cm			
9	Ig= momentos de inercia seccion	VERDADERO				
	Ig= momento inercia rectangulo	6446.43	cm4			
	Ig= ejes paralelos					
10	Flexion positiva					
	0= ΣMeje neutro	a	b	c		
	0=Ycr*b*Ycr/2+(nAs+)(d'-Ycr)	30	14.19	-170.261	2.63047995	-2.157534101
	Icr+	1719	cm2			2.16
11	flexion negativa	n*As	11.34			
	0= ΣMeje neutro	a	b	c		
	0=(nAs-)(d'-Ycr)-Ycr*b*Ycr/2	6	11.34	-141.764249	5.89692085	-4.006730867
	Icr-	1075.39	cm4			4.01
	Yt+	10.36	cm			
	Yt-	7.50	cm			
8	momento de agrietamiento	Ig-	3375			
	Mcr=fr*Ig/Yt					
	Mcr+	416.6				
	Mcr-	301.2				
9	Icr+	1719				
	Icr-	1075.39				
10	Ie= momento de inercia efectivo, según ecuación ACI					
	Ie=(Mcr/Ma)^3*Ig+[1-(Mcr/ma)^3]*Icr					
	Ie+	3423.85	cm4	flexion positiva		
	Ie-	9538.95	cm4	flexion negativa		
11	valor promedio Ie					
	Ie	6481.40	cm4	6.4814E-05	m4	
12	λ = factor de multiplicacion para cargas sostenidas					
	λ=ξ/(1+50*ρ')					
	ξ	2	al considerar la deflexion adicional a largo plazo a un tiempo mayor de 5 años			
	ρ'	0	porque As '=0			
	λ+ =	2		0		
	λ- =	2				
	λprom =	2				

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Continuación de Tabla II.

13 Calculamos la deformacion del miembro bajo la concion de carga total de trabajo					
(Cm+Cv)	342 kg/m	Mx	L		
		585.248	3.7		
13 Haciendo uso del metodo de doble integracion					
Mx=EI d2y/dx2	-171	632.7	-585.25		
	x2	x			
Primera integracion					
Eidy/dx	-57	316.35	-585.25	C1	
	x3	x2	x		
Segunda integracion					
Eiδm+v	-14.25	105.45	-292.62375	C1	C2
	x4	x3	x2	x	
Si	X=	0	→	δ=	0
si	X=	3.7	→	δ=	0
con lo cual al susbtituir se obtine C2=0					
	-2670.679425	5341.35885	-4006.01914	C1 3.45	
	-1335.339713	→		-360.90	
Eiδ	-14.25	105.45	-292.62375	-360.90	
	x4	x3	x2	x	
X = L/2	1.85			δ=5*w*l^4/384EI	0.000631518 0.063151773
EI =	1321558.02	kg-m2			
	-166.9174641	667.6698563	-1001.50478	-667.6698563	
	-1168.422248				
δm+v	-0.000884125	m	0.088	cm	0.132618723
L/180	0.020555556	m	2.056	cm	
δ< L/180	VERDADERO				
carga muerta que depende del tiempo					
δm	0.114781117 cm				
δ20%v(a largo plazo)	0.012408769				
δ20%v(inmediata)	0.006204385				
δ20%v	0.018613154 cm				
Deflexión instantanea debido a la aplicacion de la carga viva sostenida por corto tiempo es					
δ80%v	0.024817539 cm				
δ	0.15821181 cm				
L/180	2.055555556 cm				
δ< L/180	VERDADERO SE PUEDE COLOCAR TABIQUES				

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Continuación de Tabla II

11 Corte horizontal			
	Wu	L	ancho de apoyos
	514.8	3.7	14
	kg/m	m	cm
1 $V_u = W_u * (l - \text{ancho apoyos}) / 2$	880.31 kg		
$V = V_u / 0.85$	1035.66 kg		
2 se determina ξ par la seccion de momento positivo			
As+	1.774 cm		3 ϕ 6.2 mm
As-	1.418		
n	8		
d'	12.5 cm		
$c_+ = a_+ / \beta_1$	3.17 cm		
$c_- = a_- / \beta_1$	1.12 cm		
le	6481.40 cm ⁴		
b	12 cm		se usa 12 cm como potencialmente se producira la falla
x	20 cm		
$C \leq hf$			
$\xi_+ = V_u A_s n (d-c) / le b$	1.76 kg/cm ²		
$\xi_- = V_u A_s n (d-c) / le b$	1.72 kg/cm		
usar mayor ξ	1.76		
$V_n = T_u = \xi * b * x$	422.85 kg		
3 α = angulo de inclinacion de la diagonal			
$\alpha =$	51.34 grados		0.89605538
ldiagonal	12.81 cm		
fy	4931.83 kg/cm ²		
μ	1.00		
$V_n = A_v f * f_y * (\mu \text{sen} \alpha + \text{cos} \alpha)$			
$A_v f = V_n / (f_y * (\mu \text{sen} \alpha + \text{cos} \alpha))$	0.06 cm ²		
2 ϕ 4.1mm	0.53 cm ²		
2 ϕ 4.1mm > Avf	VERDADERO		NO NECESITA ESTRIBOS

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DE PARTE EXPERIMENTAL

4.1. Descripción del Ensayo

El procedimiento del ensayo está basado en las disposiciones del ACI 318-11S sección 20.4. Como sistemas de apoyos se utilizaron para las losa 2, muretes de apoyo. El ensayo a flexión de la losa se realiza mediante un proceso de cargas y descargas con periodos de 24 hrs.

Previo a iniciar con la aplicación de la carga, se obtienen las dimensiones y características geométricas de la losa a ensayar y se ubican los deformómetros en puntos considerados críticos, esto es, a cada tercio de luz libre y al centro.

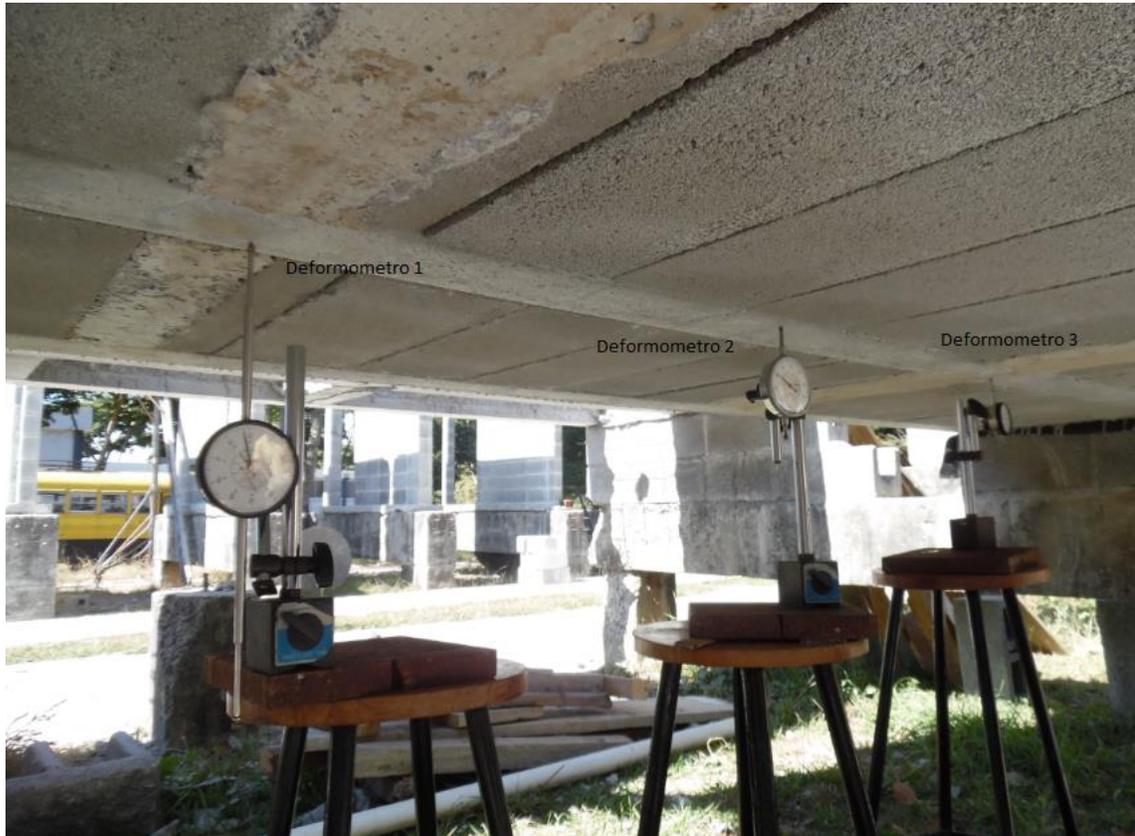
Se trazaron cuadrículas sobre el área de la losa con el fin de ubicar la carga de manera tal que simulara carga distribuida. Posteriormente se inicia la aplicación de carga utilizando cilindros de concreto previamente pesados y debidamente identificados, manteniendo incrementos del orden de un 10 % de la carga de diseño y tomando las lecturas de los deformómetros en cada incremento, con el fin de apreciar el comportamiento de la losa bajo los efectos de la carga que le está siendo aplicada. La carga total aplicada sobre la losa, se dejará durante un periodo de 24 hrs., después se inicia el proceso de descarga procediendo inverso al proceso de carga durante 24 hrs. La losa permanece descargada, luego de las cuales se inició nuevamente con el proceso de carga, con la única diferencia que en este último caso se buscó alcanzar el colapso de la losa.

Figura 28. Cuadrulación y Carga losa de 3,70 mts a carga de diseño



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 29. **Deformaciones en tres puntos**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 30. **Descarga losa por 24 hrs**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 31. Verificando recuperación y deformación después de 24 hrs de descargada



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 32. Deformación de losa con factor 2 de carga de diseño



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Continuación de la figura 32.



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 33. Descarga y se carga con factor 2 más un 30 % de la carga de fluencia



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 34. Verificación de fisuras en viguetas, despegue en apoyos del *mampost*, en área de vigas agretamiento



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

4.2. Análisis de la Losa Prefabricada (armado)

Cada una de las cargas con su respectiva deformación fue tabulada de tal modo que se pudieron graficar las deformaciones contra la carga acumulada, distribuida tanto para carga como para descarga de cada losa. Las descargas se realizaron (24 hrs) después.

Figura 35. Armado de losa con rigidizante y vigas en los 2 puntos de apoyo



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 36. **Colocacion de formaleta, electromalla y bastones**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 37. **Realizando cilindro para verificar resistencia del concreto**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 38. **Realizando mezcla en la concretera, mojado bovedilla, aplicando concreto, vibrando y razando losa**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 39. **Humedece losa para mantener el sistema para su fraguado**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

4.3. Análisis de gráficas

Cada una de las cargas con su respectiva deformación fue tabulada de tal modo que se pudiera graficar las deformaciones contra la carga acumulada distribuida para el ensayo de losa no preesforzada tipo vigueta y bovedilla. Primera carga de diseño en el cual se deja cargado por 24 hrs, se descarga y verificar la recuperación de la misma.

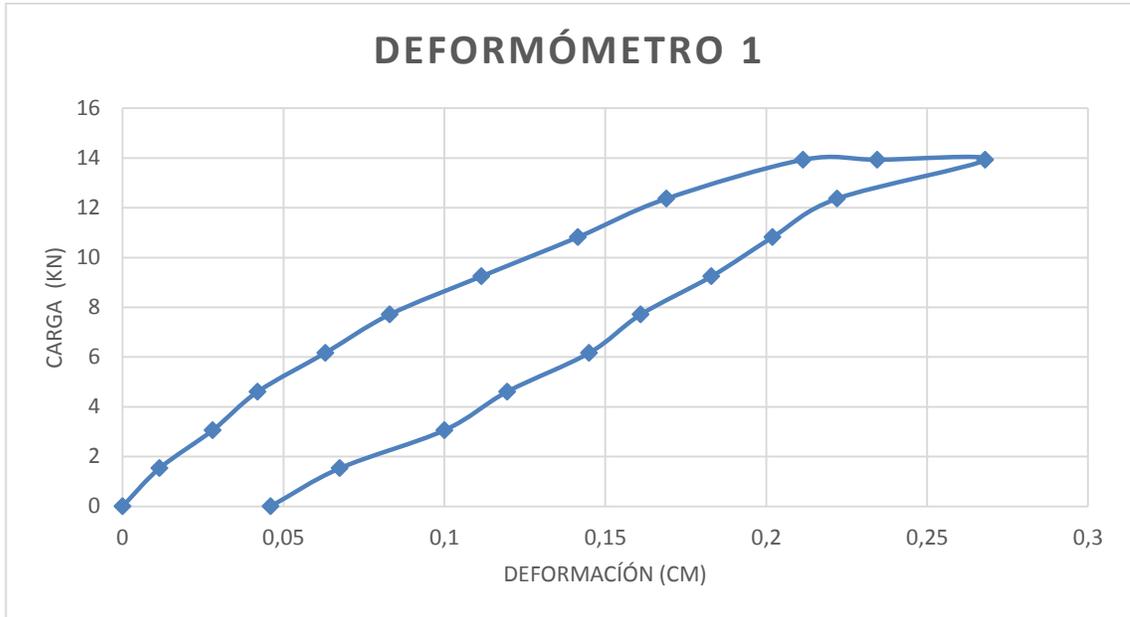
Tabla III. Datos de diseño para carga y descarga

	Fuerza		Lectura						Deformación					
	Carga (kg)	KN	mm		mm		plg		DEF 1 CM	DEF 2 CM	DEF 3 CM			
12/01/2016	0	0	4	5	80.5	4	5	72.0	2	3	26.0	0	0	0
	155.9	1.530938	4	5	92.0	4	5	91.0	2	3	30.5	0.0115	0.0190	0.01143
	311.4	3.057948	5	6	8.5	5	6	10.0	2	3	35.0	0.0280	0.0380	0.02286
	469.2	4.607544	5	6	22.5	5	6	25.5	2	3	42.5	0.0420	0.0535	0.04191
	628	6.16696	5	6	43.5	5	6	49.5	2	3	50.0	0.0630	0.0775	0.06096
	785	7.7087	5	6	63.5	5	6	70.0	2	3	57.0	0.0830	0.0980	0.07874
	941.2	9.242584	5	6	92.0	6	7	3.5	2	3	65.0	0.1115	0.1315	0.09906
	1101.8	10.819676	6	7	22.0	6	7	62.5	2	3	79.0	0.1415	0.1905	0.13462
	1259.4	12.367308	6	7	49.5	7	8	70.5	2	3	90.0	0.1690	0.2985	0.16256
100%	1418.7	13.931634	6	7	92.0	7	8	19.5	2	3	4.5	0.2115	0.3475	0.19939
13/01/2016	1418.7	13.931634	7	8	15.0	7	8	46.5	3	4	13.0	0.2345	0.3745	0.22098
	1418.7	13.931634	8	9	1.0	9	10	45.5	3	4	82.0	0.2680	0.3750	0.22100
	1259.4	12.367308	8	9	88.0	9	10	30.0	3	4	76.0	0.2220	0.3595	0.20576
	1101.8	10.819676	8	9	68.0	9	10	8.0	3	4	69.0	0.2020	0.3375	0.18798
	941.2	9.242584	8	9	49.0	8	9	87.0	3	4	61.0	0.1830	0.3165	0.16766
	785	7.7087	8	9	27.0	8	9	64.0	3	4	54.0	0.1610	0.2935	0.14988
	628	6.16696	8	9	11.0	8	9	45.0	3	4	48.0	0.1450	0.2745	0.13464
	469.2	4.607544	7	8	85.5	8	9	17.0	3	4	39.0	0.1195	0.2465	0.11178
	311.4	3.057948	7	8	66.0	7	8	94.0	3	4	30.0	0.1000	0.2235	0.08892
	155.9	1.530938	7	8	33.5	7	8	58.0	3	4	19.0	0.0675	0.1875	0.06098
5 min	0	0	7	8	12.0	7	8	33.0	3	4	10.0	0.0460	0.1625	0.03812
15 min	0	0	6	7	97.5	7	8	18.0	3	4	0.5	0.0315	0.1475	0.01399
	0	0	6	7	72.0	6	7	90.0	2	3	97.0	0.0060	0.1195	0.00510

CARGA DE DISEÑO
1 418,7 Kg
DEF MÁX.
3,47 mm
LONGITUD
82,70 mts

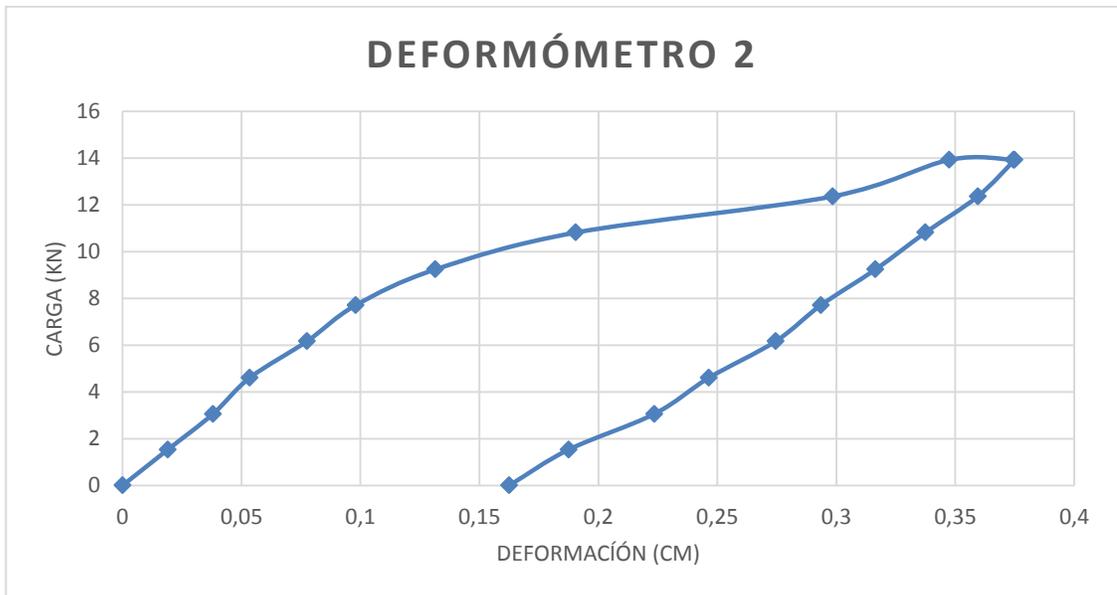
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 40. **Gráfica de diseño para carga y descarga (izquierda)**



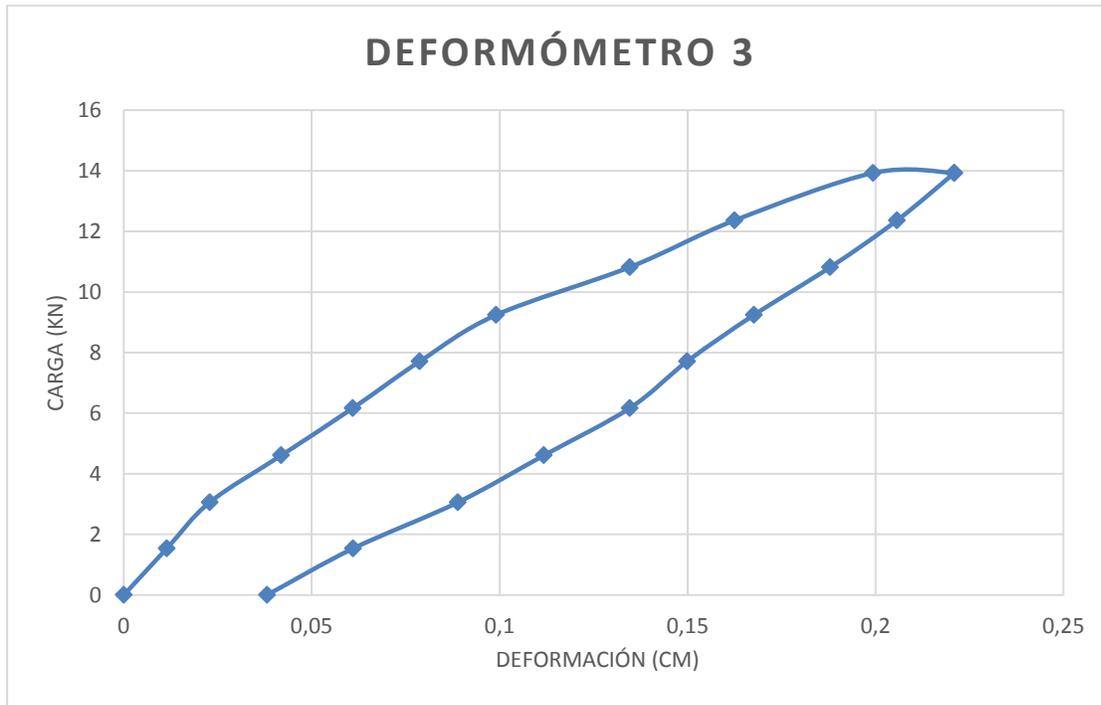
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 41. **Gráfica de diseño para carga y descarga (centro)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 42. **Gráfica de diseño para carga y descarga (derecha)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Cada una de las cargas con su respectiva deformación fue tabulada de tal modo que se pudiera graficar las deformaciones contra la carga acumulada distribuida para el ensayo de losa no preesforzada tipo vigueta y bovedilla. Segunda carga de Diseño con Factor 2 en el cual se deja cargado por 24 hrs, se descarga y verifica la recuperación de la misma.

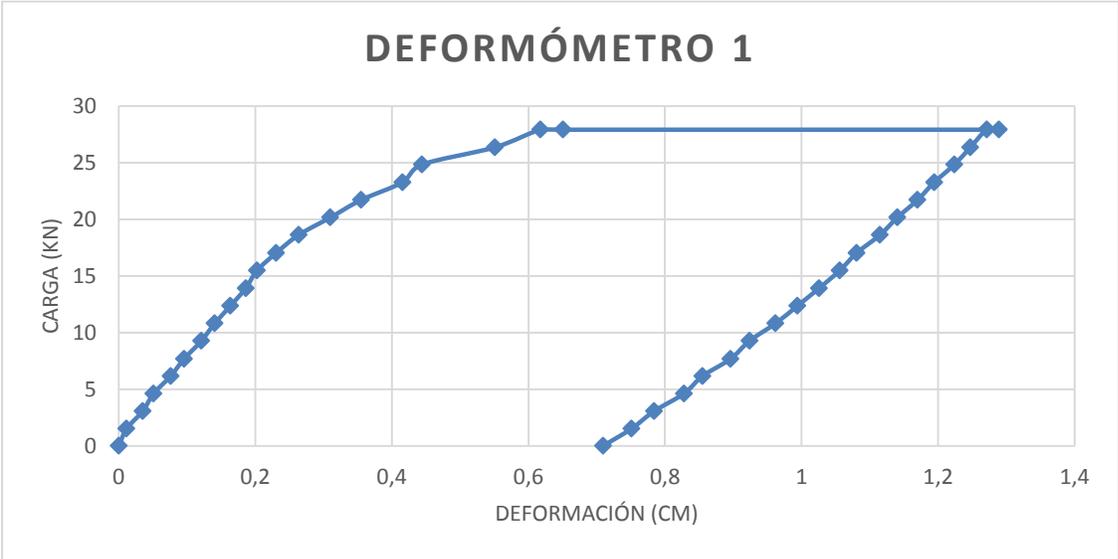
Tabla IV. Datos de Factor 2 para carga y descarga

	Fuerza		Lectura			Deformación		
	Carga (kg)	KN	mm	mm	plg	DEF 1 CM	DEF 2 CM	DEF 3 CM
14/01/2016	0	0	6 7 48.0	5 6 91.0	2 3 88.0	0	0	0
	154.7	1.519154	6 7 59.5	6 7 90.0	2 3 90.5	0.0115	0.099	0.00635
	312.1	3.064822	6 7 83.0	7 8 15.0	2 3 99.0	0.035	0.124	0.02794
	470.6	4.621292	6 7 99.0	7 8 34.5	3 4 0.5	0.051	0.1435	0.03175
	628	6.16696	7 8 24.0	7 8 63.5	3 4 14.0	0.076	0.1725	0.06604
	781.7	7.676294	7 8 43.5	7 8 85.5	3 4 22.0	0.0955	0.1945	0.08636
	945	9.2799	7 8 69.0	8 9 14.5	3 4 31.0	0.121	0.2235	0.10922
	1101.6	10.817712	7 8 88.5	8 9 37.5	3 4 39.0	0.1405	0.2465	0.12954
	1259	12.36338	8 9 11.5	8 9 63.0	3 4 57.0	0.1635	0.272	0.17526
	1418.8	13.932616	8 9 34.0	8 9 89.0	3 4 55.0	0.186	0.298	0.17018
	1577.1	15.487122	8 9 50.5	9 10 9.5	3 4 61.5	0.2025	0.3185	0.18669
	1735.3	17.040646	8 9 78.5	9 10 40.5	3 4 69.0	0.2305	0.3495	0.20574
	1897.5	18.63345	9 10 11.5	9 10 77.0	3 4 83.5	0.2635	0.386	0.24257
	2054.5	20.17519	9 10 58.0	10 11 29.5	4 5 0.0	0.31	0.4385	0.28448
	2212.1	21.722822	10 11 3.0	10 11 81.5	4 5 17.0	0.355	0.4905	0.32766
	2370.7	23.280274	10 11 63.5	11 12 50.5	4 5 39.5	0.4155	0.5595	0.38481
	2530.3	24.847546	10 11 92.0	11 12 91.0	4 5 53.0	0.444	0.6	0.4191
	2685.9	26.375538	11 12 99.0	13 14 8.5	5 6 90.0	0.551	0.7175	0.76708
	2844.5	27.93299	12 13 65.5	14 15 78.5	5 6 13.5	0.6175	0.8875	0.82677
	2844.5	27.93299	12 13 99.0	14 15 16.5	5 6 36.0	0.651	0.9255	0.88392
100%	2844.5	27.93299	6 7 38.5	7 8 61.0	6 7 18.0	1.2895	1.0955	1.21392
15/01/2016	2844.5	27.93299	6 7 20.5	7 8 42.0	6 7 11.0	1.2715	1.0765	1.20692
	2685.9	26.375538	5 6 96.5	7 8 18.0	6 7 2.0	1.2475	1.0525	1.19792
	2530.3	24.847546	5 6 73.0	6 7 91.0	5 6 93.0	1.224	1.0255	1.18892
	2370.7	23.280274	5 6 43.5	6 7 58.5	5 6 83.0	1.1945	0.993	1.17892
	2212.1	21.722822	5 6 19.0	6 7 33.0	5 6 74.0	1.17	0.9675	1.16992
	2054.5	20.17519	4 5 89.5	5 6 99.0	5 6 63.0	1.1405	0.9335	1.15892
	1897.5	18.63345	4 5 64.0	5 6 72.0	5 6 54.0	1.115	0.9065	1.14992
	1735.3	17.040646	4 5 30.0	5 6 35.0	5 6 41.0	1.081	0.8695	1.13692
	1577.1	15.487122	4 5 5.0	5 6 8.0	5 6 32.0	1.056	0.8425	1.12792
	1418.8	13.932616	3 4 75.0	4 5 73.0	5 6 21.0	1.026	0.8075	1.11692
	1259	12.36338	3 4 43.0	4 5 39.0	5 6 9.0	0.994	0.7735	1.10492
	1101.6	10.817712	3 4 11.0	4 5 3.0	4 5 98.0	0.962	0.7375	1.09392
	945	9.2799	2 3 73.0	3 4 59.0	4 5 84.0	0.924	0.6935	1.07992
	781.7	7.676294	2 3 45.0	3 4 28.0	4 5 74.0	0.896	0.6625	1.06992
	628	6.16696	2 3 4.0	2 3 82.0	4 5 60.0	0.855	0.6165	1.05592
	470.6	4.621292	1 2 77.0	2 3 51.0	4 5 49.0	0.828	0.5855	1.04492
	312.1	3.064822	1 2 33.0	2 3 2.0	4 5 33.0	0.784	0.5365	1.02892
15 min	154.7	1.519154	1 2 0.0	1 2 65.0	4 5 21.0	0.751	0.4995	1.01692
	0	0	0 1 58.5	0 1 22.0	4 5 1.0	0.7095	0.4565	0.99692

CARGA DE DISEÑO
2 844,5 Kg
DEF MÁX.
10,955 mm
LONGITUD
3,70 mts

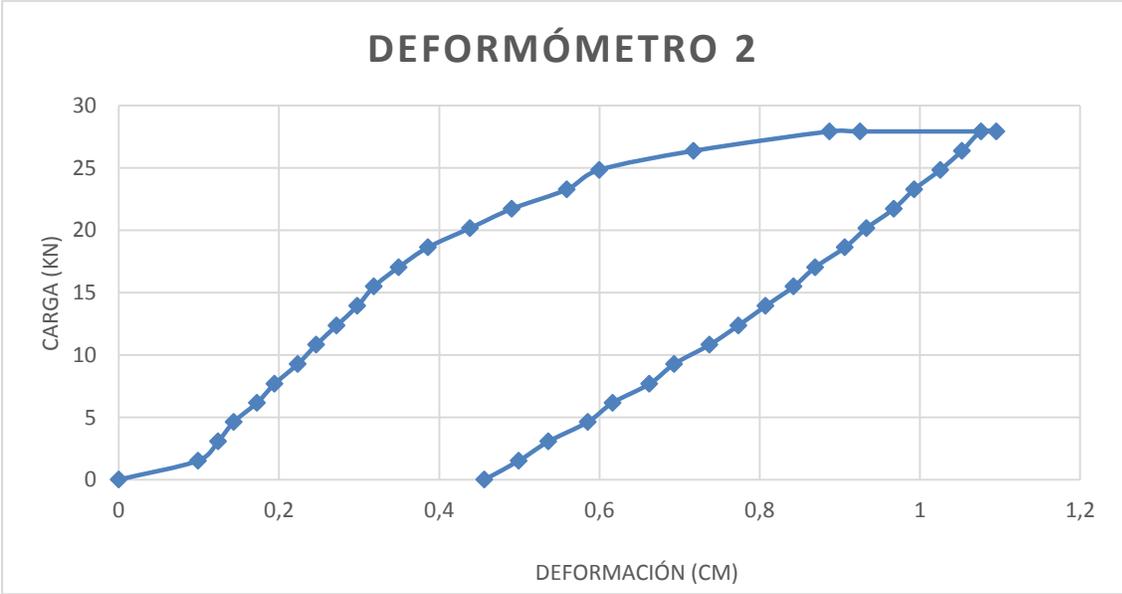
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 43. Gráfica de Factor 2 para carga y descarga (izquierda)



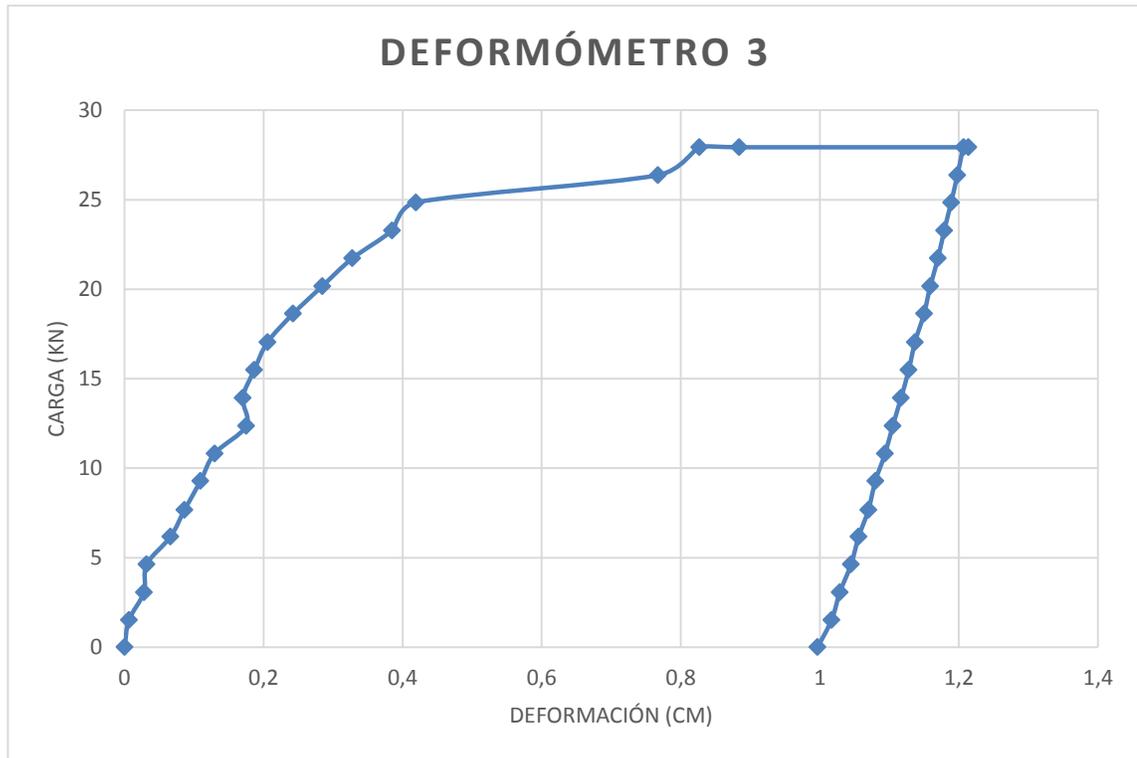
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 44. Gráfica de Factor 2 para carga y descarga (centro)



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 45. **Gráfica de Factor 2 para carga y descarga (derecha)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Cada una de las cargas con su respectiva deformación fue tabulada de tal modo que se pudiera graficar las deformaciones contra la carga acumulada distribuida para el ensayo de losa no preesforzada tipo vigueta y bovedilla. Tercera carga de Diseño con Factor 2, en el punto de fluencia más 30 % en el cual se deja cargado por 24 hrs, se descarga y verifica la recuperación de la misma.

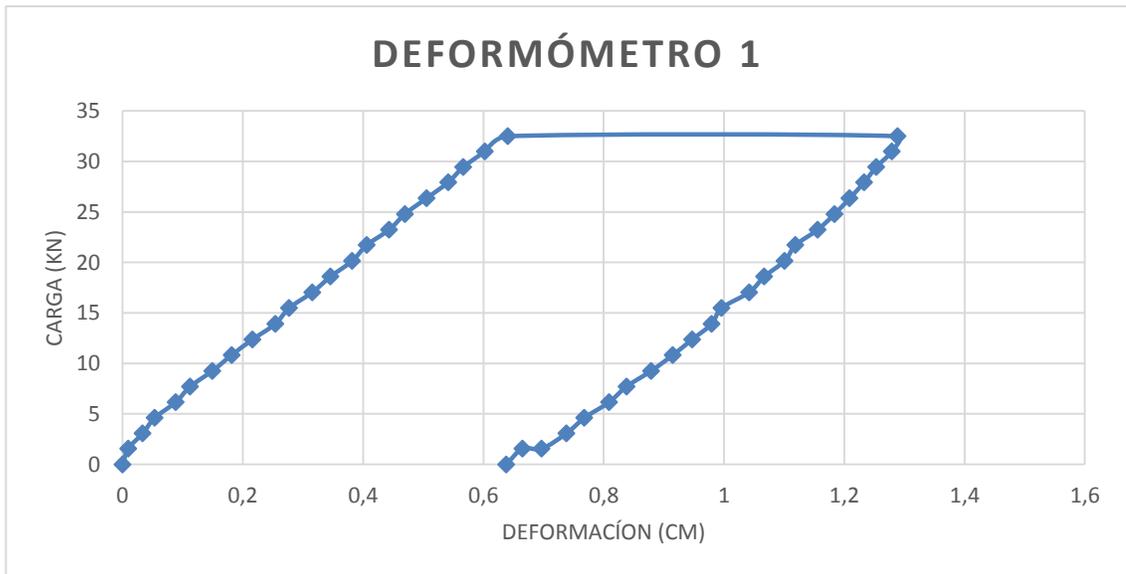
Tabla V. Datos de fluencia, más 30 % para carga y descarga

15/01/2016	Fuerza		Lectura						Deformación					
	Carga (kg)	KN	mm		mm		plg		DEF 1 CM	DEF 2 CM	DEF 3 CM			
	0	0	0	1	58.5	0	1	22.0	4	5	1.0	0	0	0
	158.7	1.558434	0	1	68.0	0	1	32.0	4	5	9.5	0.0095	0.01	0.0085
	312.5	3.06875	0	1	92.0	0	1	60.0	4	5	18.5	0.0335	0.038	0.0175
	469	4.60558	1	2	12.0	0	1	84.0	4	5	26.0	0.0535	0.062	0.025
	627.8	6.164996	1	2	47.0	1	2	23.0	4	5	39.0	0.0885	0.101	0.038
	784.8	7.706736	1	2	71.0	1	2	51.0	4	5	48.0	0.1125	0.129	0.047
	943	9.26026	2	3	8.0	1	2	92.0	4	5	61.0	0.1495	0.17	0.06
	1102.8	10.829496	2	3	40.0	2	3	29.0	4	5	67.5	0.1815	0.207	0.0665
	1259.3	12.366326	2	3	74.5	2	3	69.0	4	5	85.5	0.216	0.247	0.0845
	1416.7	13.911994	3	4	12.5	3	4	11.5	4	5	99.0	0.254	0.2895	0.098
	1576.7	15.483194	3	4	35.5	3	4	37.5	5	6	7.5	0.277	0.3155	0.1065
	1735.7	17.044574	3	4	74.0	3	4	81.0	5	6	22.0	0.3155	0.359	0.121
	1894.1	18.600062	4	5	4.5	4	5	15.0	5	6	33.0	0.346	0.393	0.132
	2053.3	20.163406	4	5	40.5	4	5	55.0	5	6	46.0	0.382	0.433	0.145
	2211.4	21.715948	4	5	64.5	4	5	85.0	5	6	55.0	0.406	0.463	0.154
	2367	23.24394	5	6	2.0	5	6	23.0	5	6	69.0	0.4435	0.501	0.168
	2525.3	24.798446	5	6	28.0	5	6	51.5	5	6	78.0	0.4695	0.5295	0.177
	2684.1	26.357862	5	6	64.0	5	6	91.0	5	6	91.5	0.5055	0.569	0.1905
	2844.5	27.93299	6	7	0.0	6	7	30.0	5	6	99.0	0.5415	0.608	0.198
	2997.9	29.439378	6	7	25.0	6	7	58.0	6	7	14.0	0.5665	0.736	0.213
	3154.9	30.981118	6	7	61.0	6	7	99.0	6	7	28.0	0.6025	0.777	0.227
	3309.7	32.501254	6	7	99.0	7	8	45.0	6	7	42.0	0.6405	0.823	0.241
100%	3309.7	32.501254	7	8	6.5	7	8	51.5	6	7	45.0	1.2885	1.5525	0.485
	3154.9	30.981118	6	7	97.0	7	8	40.0	6	7	41.0	1.279	1.541	0.481
	2997.9	29.439378	6	7	71.0	7	8	11.0	6	7	31.0	1.253	1.512	0.471
	2844.5	27.93299	6	7	51.0	6	7	89.0	6	7	24.0	1.233	1.49	0.464
	2684.1	26.357862	6	7	27.0	6	7	64.0	6	7	15.0	1.209	1.465	0.455
	2525.3	24.798446	6	7	2.0	6	7	34.0	6	7	6.0	1.184	1.435	0.446
	2367	23.24394	5	6	73.8	6	7	4.0	5	6	96.0	1.1558	1.405	0.436
	2211.4	21.715948	5	6	37.0	5	6	70.0	5	6	86.0	1.119	1.371	0.426
	2053.3	20.163406	5	6	19.0	5	6	44.0	5	6	76.0	1.101	1.345	0.416
	1894.1	18.600062	4	5	85.0	5	6	6.0	5	6	64.0	1.067	1.307	0.404
	1735.7	17.044574	4	5	60.0	4	5	78.0	5	6	55.0	1.042	1.279	0.395
	1576.7	15.483194	4	5	14.0	4	5	40.0	5	6	42.0	0.996	1.241	0.382
	1416.7	13.911994	3	4	97.5	4	5	11.0	5	6	32.0	0.9795	1.212	0.372
	1259.3	12.366326	3	4	65.0	3	4	75.0	5	6	20.0	0.947	1.176	0.36
	1102.8	10.829496	3	4	33.0	3	4	39.0	5	6	8.0	0.915	1.14	0.348
	943	9.26026	2	3	97.0	2	3	99.0	4	5	95.0	0.879	1.1	0.335
	784.8	7.706736	2	3	56.0	2	3	53.0	4	5	81.0	0.838	1.054	0.321
	627.8	6.164996	2	3	27.0	2	3	20.0	4	5	70.0	0.809	1.021	0.31
	469	4.60558	1	2	86.0	1	2	72.0	4	5	55.0	0.768	0.973	0.295
	312.5	3.06875	1	2	56.0	1	2	41.0	4	5	45.0	0.738	0.942	0.285
	158.7	1.558434	1	2	15.0	0	1	92.0	4	5	29.0	0.697	0.893	0.269
15 min	158.7	1.558434	0	1	83.0	0	1	55.0	4	5	16.0	0.665	0.856	0.256
	0	0	0	1	56.0	0	1	28.0	4	5	7.0	0.638	0.829	0.247

CARGA DE DISEÑO
3 309,7 Kg
DEF MÁX.
15,525 mm
LONGITUD
3,70 mts

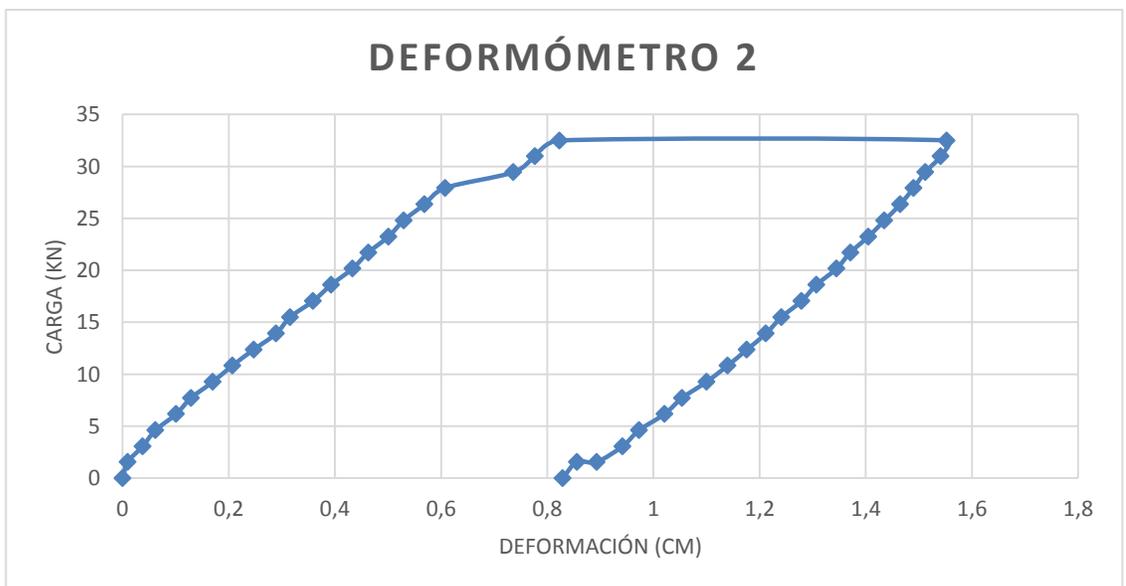
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 46. **Gráfica de fluencia más 30 % para carga y descarga (izquierda)**



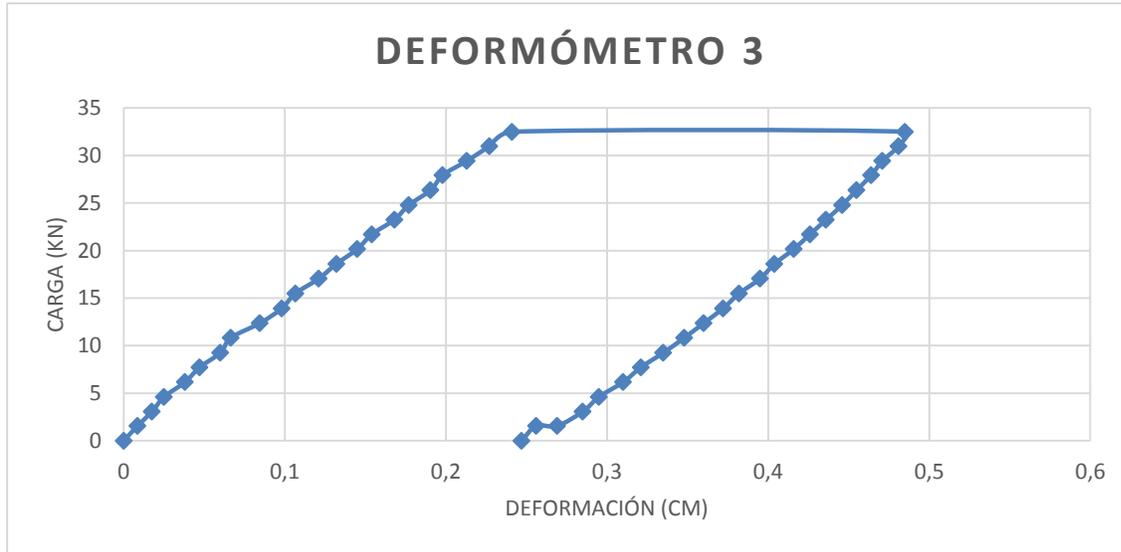
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 47. **Gráfica de fluencia más 30 % para carga y descarga (centro)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 48. Gráfica de fluencia más 30 % para carga y descarga (derecha)



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

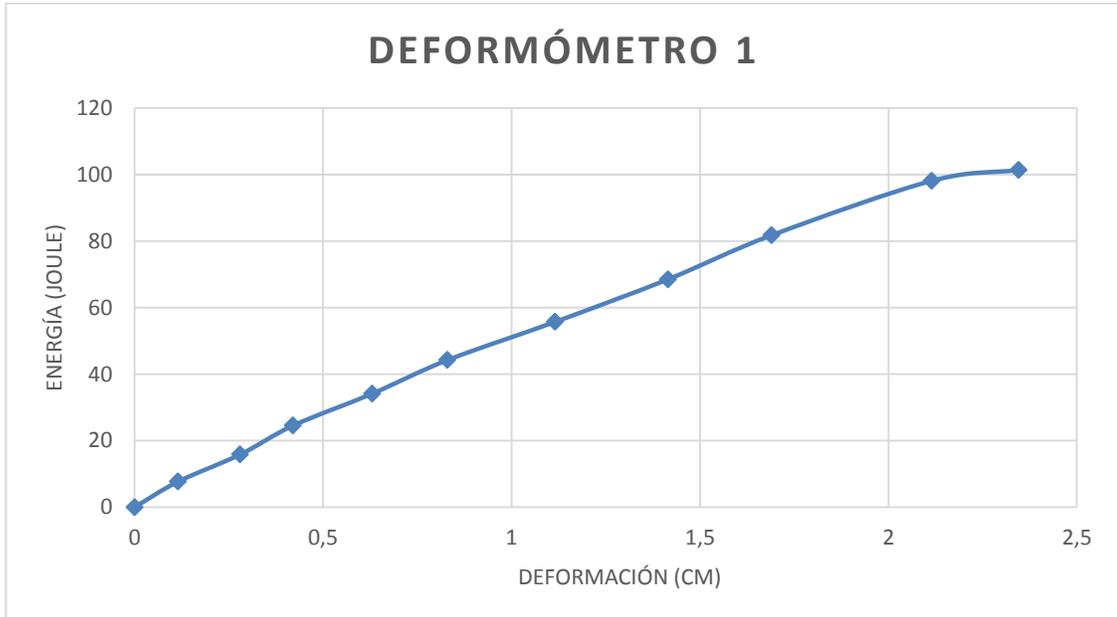
Tabla VI. Datos de diseño para carga de Energía y Linealización de deflexión (Carga de Diseño en Losa)

12/01/2016	Fuerza		Lectura						Desplazamiento						Energía						
	Carga (kg)	kN	mm			plg			DEF 1	DEF 2	DEF 3	Julias 1	Julias 2	Julias 3	Prom (1-3)						
	0	0	4	5	80.5	4	5	72.0	2	3	26.0	4.805	0	4.72	0	2.26	0	Julias 1	Julias 2	Julias 3	Prom (1-3)
	155.9	1.530938	4	5	92.0	4	5	91.0	2	3	30.5	4.92	0.115	4.91	0.19	2.305	0.114	7.67028	7.65469	3.593495	0.11465
	311.4	3.057948	5	6	8.5	5	6	10.0	2	3	42.0	5.085	0.28	5.1	0.38	2.42	0.406	15.83469	15.8814	7.53588	0.3432
	469.2	4.607544	5	6	22.5	5	6	25.5	2	3	42.5	5.225	0.42	5.255	0.535	2.425	0.419	24.5157	24.65646	11.3781	0.41955
	628	6.16696	5	6	43.5	5	6	49.5	2	3	50.0	5.435	0.63	5.495	0.775	2.50	0.61	34.1318	34.5086	15.7	0.6198
	785	7.7087	5	6	63.5	5	6	70.0	2	3	57.0	5.635	0.83	5.7	0.98	2.57	0.787	44.23475	44.745	20.1745	0.8087
	941.2	9.242584	5	6	92.0	6	7	3.5	2	3	77.5	5.92	1.115	6.035	1.315	2.775	1.308	55.71904	56.80142	26.1183	1.21155
	1101.8	10.819676	6	7	22.0	6	7	62.5	2	3	79.0	6.22	1.415	6.625	1.905	2.79	1.346	68.53196	72.99425	30.74022	1.3806
	1259.4	12.367308	6	7	49.5	7	8	70.5	2	3	90.0	6.495	1.69	7.705	2.985	2.90	1.626	81.79803	97.03677	36.5226	1.6578
100%	1418.7	13.931634	6	7	92.0	7	8	19.5	2	3	4.5	6.92	2.115	8.195	3.475	3.045	1.994	98.17404	116.262465	43.199415	2.05445
15 min	1418.7	13.931634	7	8	15.0	7	8	46.5	3	4	13.0	7.15	2.345	8.465	3.745	3.13	2.21	101.43705	120.092955	44.40531	2.2774

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

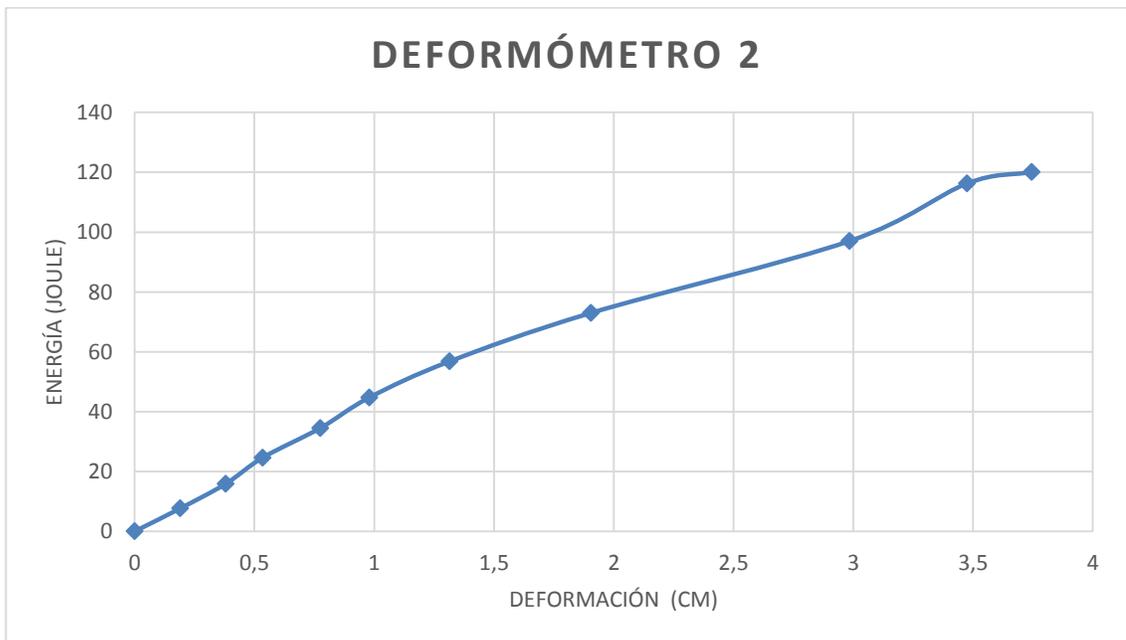
Cada una de las cargas de energía y Linealización de deflexión de la losa de diseño se grafican, en donde se verifica la absorción de energía que tiene al momento en que se le aplica la carga. Esta se convierte en resistencia de la losa hasta el momento de su falla.

Figura 49. **Gráfica de Absorción Energía (izquierda)**



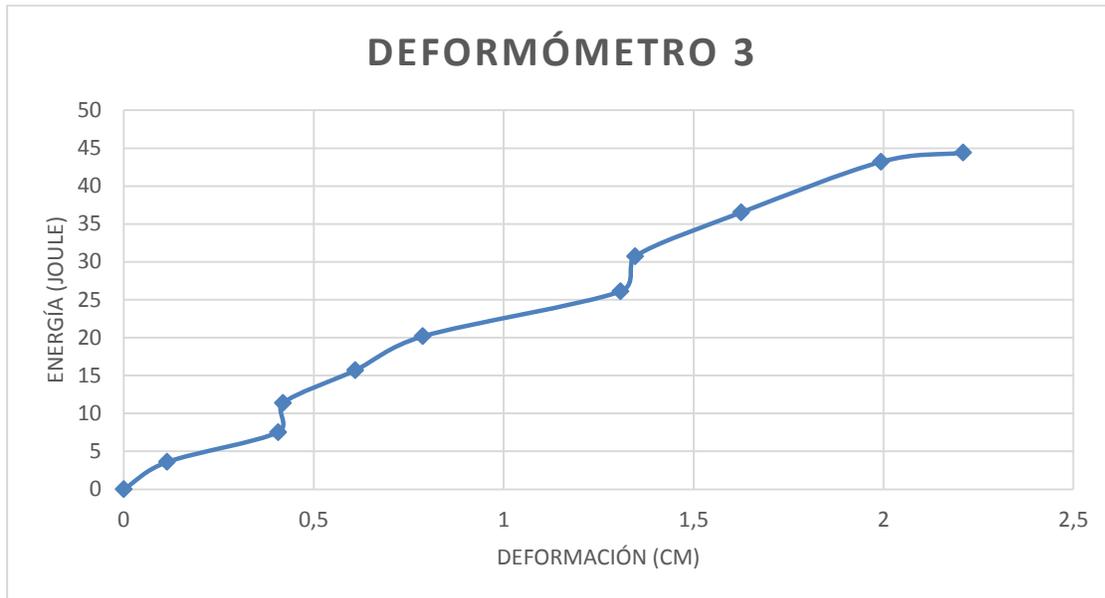
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 50. **Gráfica de Absorción Energía (centro)**



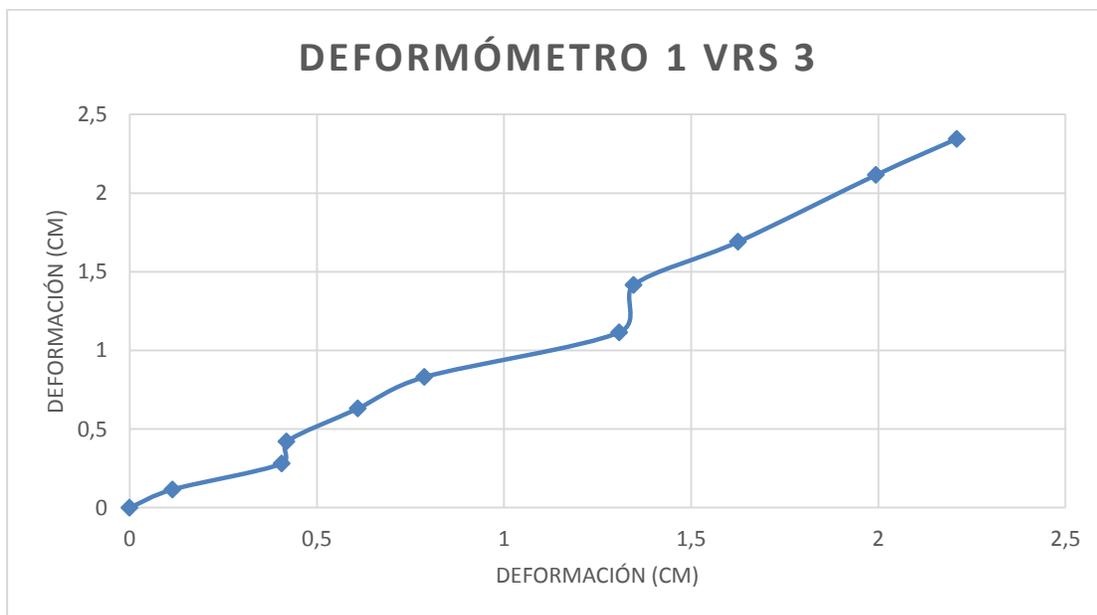
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 51. **Gráfica de Absorción Energía (derecha)**



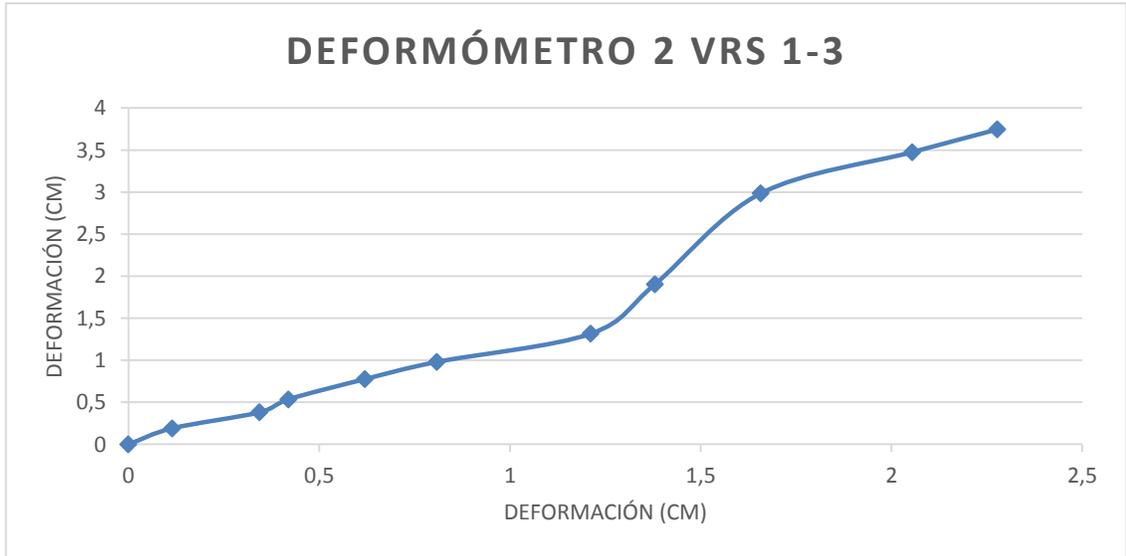
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 52. **Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 53. **Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos con Centro)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Tabla VII. **Datos de diseño para descarga de energía y Linealización de deflexión (Descarga de Diseño en Losa)**

13/01/2016	Fuerza		Lectura						Desplazamiento						Energía						
	Carga (kg)	KN	mm			plg			DEF 1		DEF 2		DEF 3		Julias 1	Julias 2	Julias 3	Prom (1-3)			
	1418.7	13.931634	8	9	1.0	9	10	45.5	3	4	82.0	9.01	2.3	9.455	2.555	3.82	2.159	127.82487	134.138085	54.19434	2.2245
	1259.4	12.367308	8	9	88.0	9	10	1.0	3	4	76.0	8.88	2.2	9.01	2.11	3.76	2.007	111.83472	113.47194	47.35344	2.0833
	1101.8	10.819676	8	9	68.0	9	10	8.0	3	4	69.0	8.68	2.0	9.08	2.18	3.69	1.829	95.63624	100.04344	40.65642	1.8944
	941.2	9.242584	8	9	49.0	8	9	87.0	3	4	61.0	8.49	1.8	8.87	1.97	3.61	1.626	79.90788	83.48444	33.97732	1.6978
	785	7.7087	8	9	27.0	8	9	64.0	3	4	54.0	8.27	1.6	8.64	1.74	3.54	1.448	64.9195	67.824	27.789	1.4989
	628	6.16696	8	9	11.0	8	9	45.0	3	4	48.0	8.11	1.4	8.45	1.55	3.48	1.295	50.9308	53.066	21.8544	1.3427
	469.2	4.607544	7	8	85.5	8	9	17.0	3	4	39.0	7.855	1.1	8.17	1.27	3.39	1.067	36.85566	38.33364	15.90588	1.1009
	311.4	3.057948	7	8	66.0	7	8	94.0	3	4	30.0	7.66	0.9	7.94	1.04	3.3	0.838	23.85324	24.72516	10.2762	0.8891
15 min	155.9	1.530938	7	8	33.5	7	8	58.0	3	4	19.0	7.335	0.6	7.58	0.68	3.19	0.559	11.485265	11.81722	4.97321	0.5869
	0	0	7	8	12.0	7	8	33.0	3	4	10.0	7.12	0.4	7.33	0.43	3.10	0.33	0	0	0	0.3651
	0	0	6	7	97.5	7	8	18.0	3	4	0.5	6.975	0.3	7.18	0.28	3.005	0.089	0	0	0	0.17195
100%	0	0	6	7	72.0	6	7	90.0	2	3	97.0	6.7	0.0	6.9	0	2.97	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

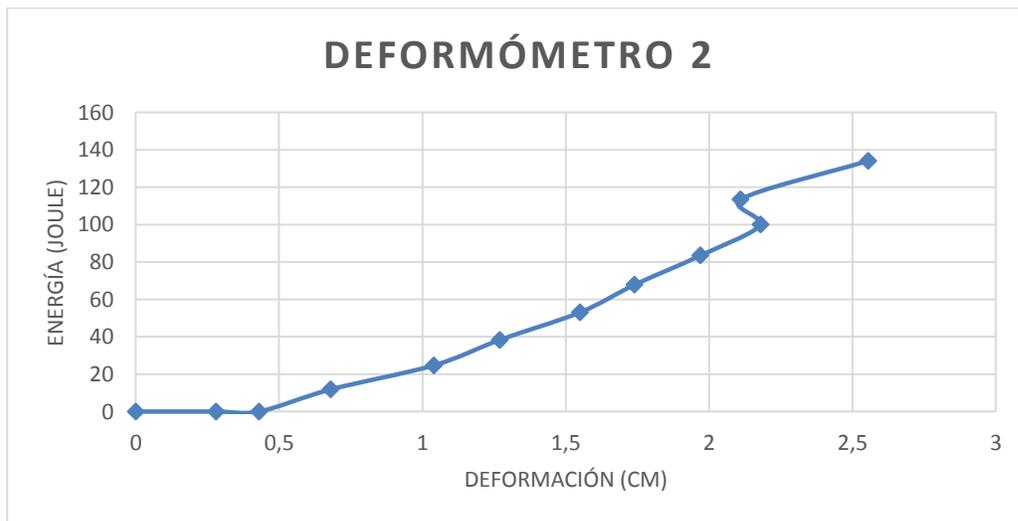
Cada una de las descargas de energía y Linealización de deflexión de la losa de diseño se grafican, en donde se verifica la absorción de energía que tiene al momento en que se le realiza la descarga donde se convierte en resistencia, regresando a su estado normal.

Figura 54. **Gráfica de Absorción Energía (izquierda)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 55. **Gráfica de Absorción Energía (centro)**



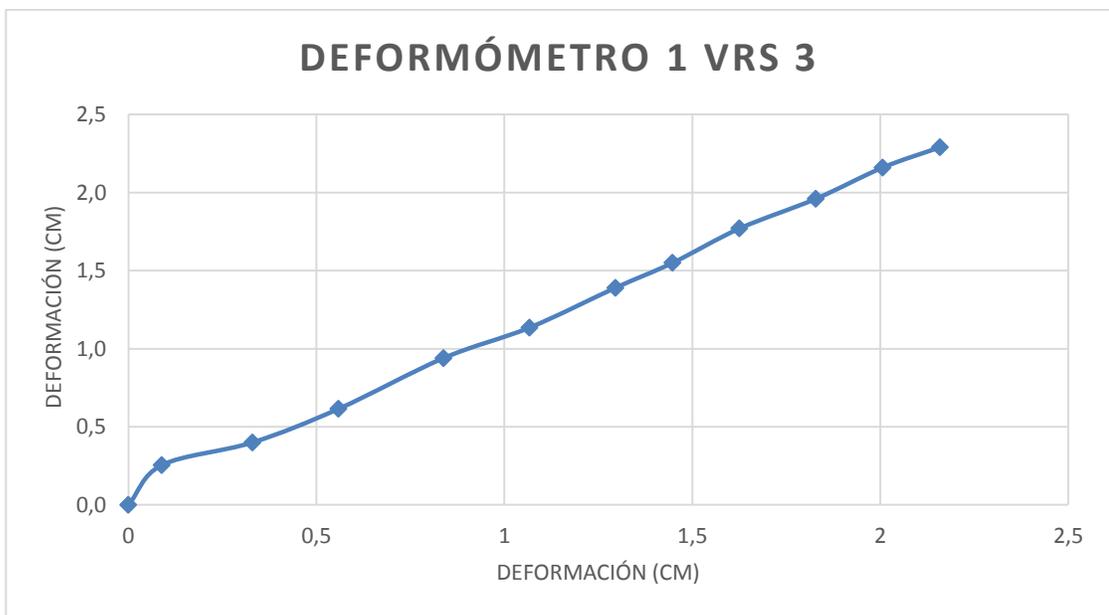
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 56. **Gráfica de Absorción Energía (derecha)**



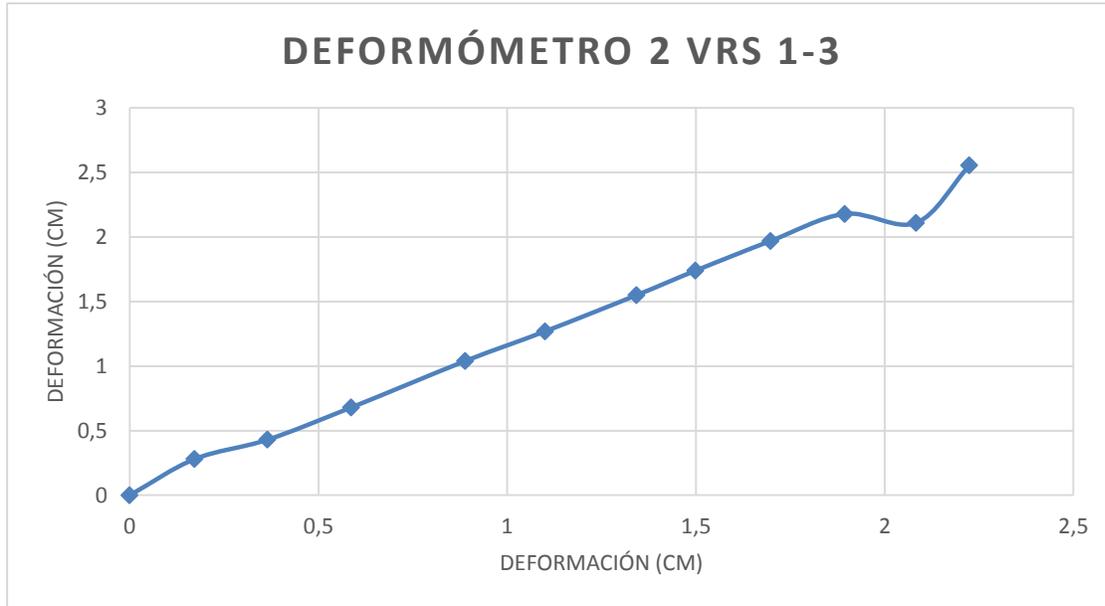
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 57. **Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 58. Gráfica de Absorción Energía Linealización
(Externos con Centro)



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

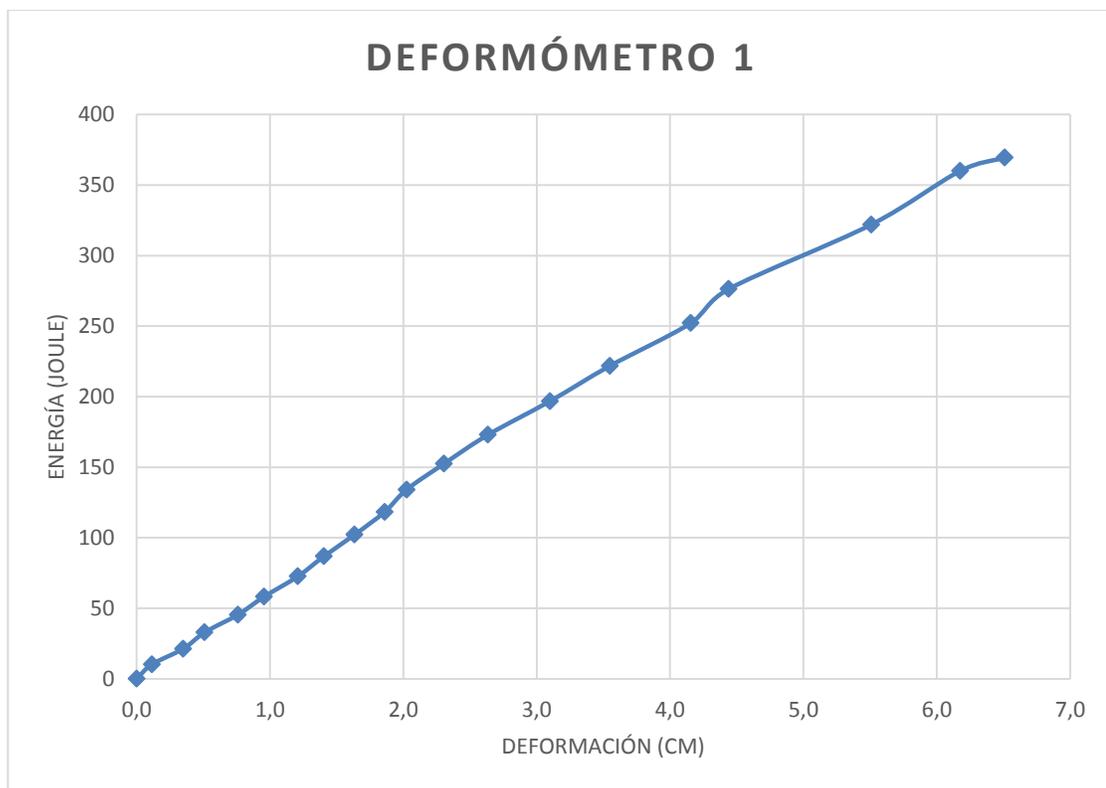
Tabla VIII. Datos de diseño para Carga de energía y Linealización de deflexión (Carga con Factor 2 de Losa)

14/01/2016	Fuerza		Lectura						Desplazamiento						Energía						
	Carga (kg)	KN	mm		mm		plg		DEF 1		DEF 2		DEF 3		Julias 1	Julias 2	Julias 3	Prom (1-3)			
0	0	6	7	48.0	5	6	91.0	2	3	88.0	6.48	0.0	5.91	0	2.88	0	0	0	0		
154.7	1.519154	6	7	59.5	6	7	90.0	2	3	90.5	6.60	0.1	6.9	0.99	2.905	0.064	10.202465	10.6743	4.494035	0.08925	
312.1	3.064822	6	7	83.0	7	8	15.0	2	3	99.0	6.83	0.4	7.15	1.24	2.99	0.279	21.31643	22.31515	9.33179	0.3147	
470.6	4.621292	6	7	99.0	7	8	34.5	3	4	0.5	6.99	0.5	7.345	1.435	3.005	0.318	32.89494	34.56557	14.14153	0.41375	
628	6.16696	7	8	24.0	7	8	63.5	3	4	14.0	7.24	0.8	7.635	1.725	3.14	0.66	45.4672	47.9478	19.7192	0.7102	
781.7	7.676294	7	8	43.5	7	8	85.5	3	4	22.0	7.435	1.0	7.855	1.945	3.22	0.864	58.119395	61.402535	25.17074	0.9093	
945	9.2799	7	8	69.0	8	9	14.5	3	4	31.0	7.69	1.2	8.145	2.235	3.31	1.092	72.6705	76.97025	31.2795	1.1511	
1101.6	10.817712	7	8	88.5	8	9	37.5	3	4	39.0	7.885	1.4	8.375	2.465	3.39	1.295	86.86116	92.259	37.34424	1.3502	
1259	12.36338	8	9	11.5	8	9	63.0	3	4	57.0	8.115	1.6	8.63	2.72	3.57	1.753	102.16785	108.6517	44.9463	1.6938	
1418.8	13.932616	8	9	34.0	8	9	89.0	3	4	55.0	8.34	1.9	8.89	2.98	3.55	1.702	118.32792	126.13132	50.3674	1.7809	
1577.1	15.487122	8	9	50.5	9	10	9.5	3	4	61.5	8.505	2.0	9.095	3.185	3.615	1.867	134.132355	143.437245	57.012165	1.94595	
1735.3	17.040646	8	9	78.5	9	10	40.5	3	4	69.0	8.79	2.3	9.405	3.50	3.69	2.057	152.446105	163.204965	64.03257	2.1812	
1897.5	18.63345	9	10	11.5	9	10	77.0	3	4	83.5	9.115	2.6	9.77	3.86	3.835	2.426	172.957125	185.38575	72.769125	2.53035	
2054.5	20.17519	9	10	58.0	10	11	29.5	4	5	0.0	9.58	3.1	10.3	4.385	4	2.845	196.8211	211.510775	82.18	2.9724	
2212.1	21.722822	10	11	3.0	10	11	81.5	4	5	17.0	10.03	3.6	10.82	4.905	4.17	3.277	221.87363	239.238615	92.24457	3.4133	
2370.7	23.280274	10	11	63.5	11	12	50.5	4	5	39.5	10.64	4.2	11.51	5.60	4.395	3.848	252.123945	272.749035	104.192265	4.00155	
2530.3	24.847546	10	11	92.0	11	12	91.0	4	5	53.0	10.92	4.4	11.91	6.00	4.53	4.191	276.30876	301.35873	114.62259	4.3155	
2685.9	26.375538	11	12	99.0	13	14	8.5	5	6	90.0	11.99	5.5	13.09	7.175	5.9	7.671	322.03941	351.450015	158.4681	6.5904	
100%	2844.5	27.93299	12	13	65.5	14	15	78.5	5	6	13.5	12.66	6.2	14.79	8.875	6.135	8.268	359.971475	420.559325	174.510075	7.22135
15 min	2844.5	27.93299	12	13	99.0	14	15	16.5	5	6	36.0	12.99	6.5	15.17	9.255	6.36	8.839	369.50055	431.368425	180.9102	7.6746

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

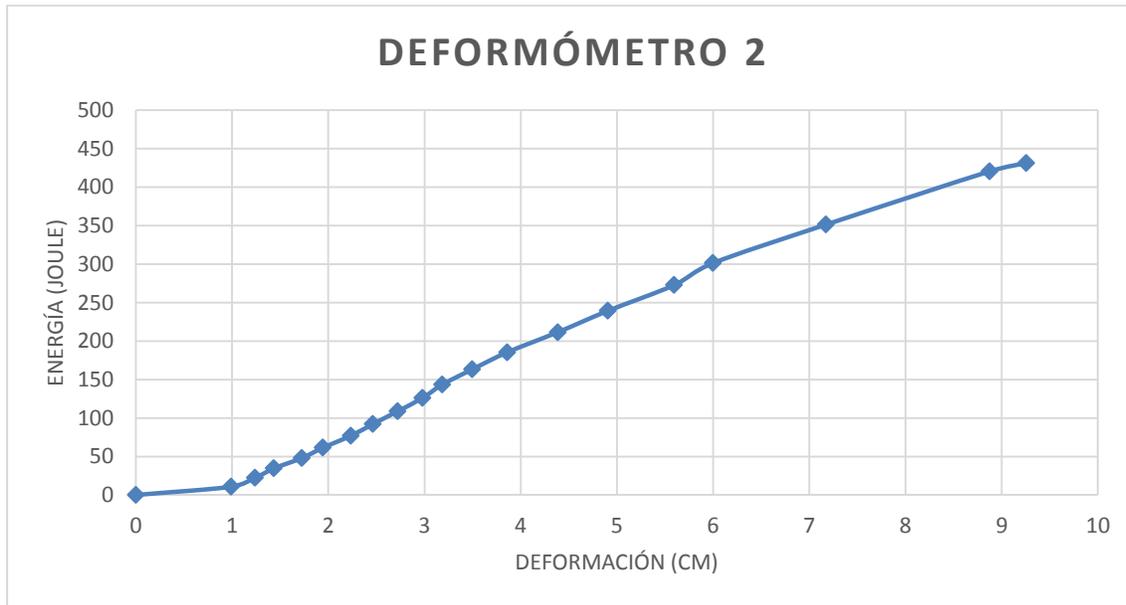
Cada una de las cargas de energía y Linealización de deflexión de la losa de diseño con el Factor 2 se grafican, en donde se verifica la absorción de energía que tiene al momento en que se le aplica la carga, esta se convierte en resistencia de la losa hasta el momento de su falla.

Figura 59. **Gráfica de Absorción Energía (izquierda)**



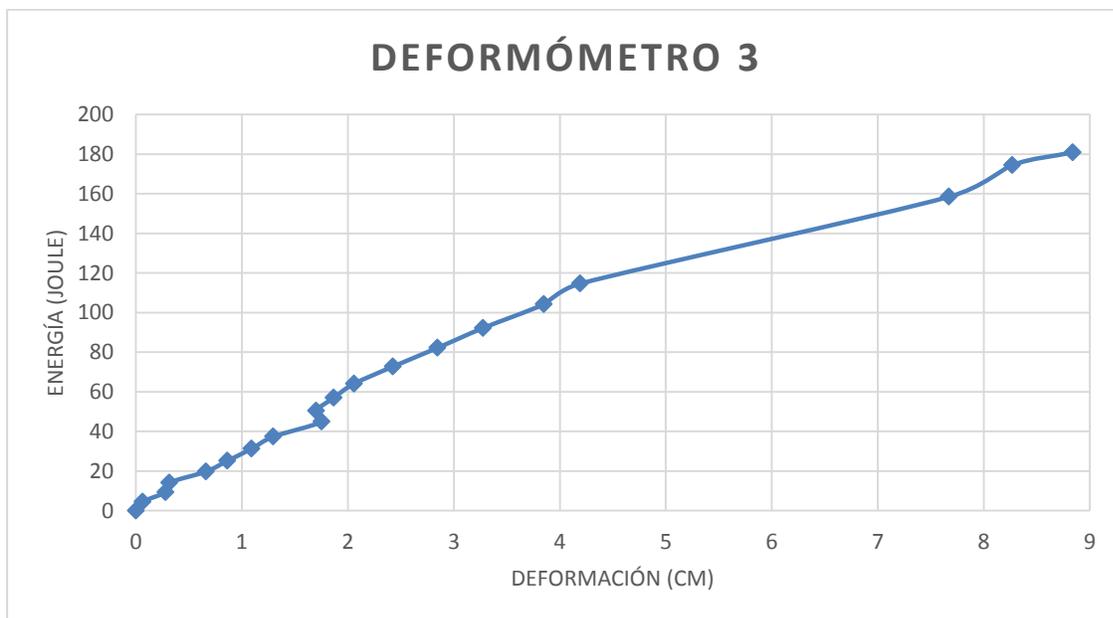
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 60. **Gráfica de Absorción Energía (centro)**



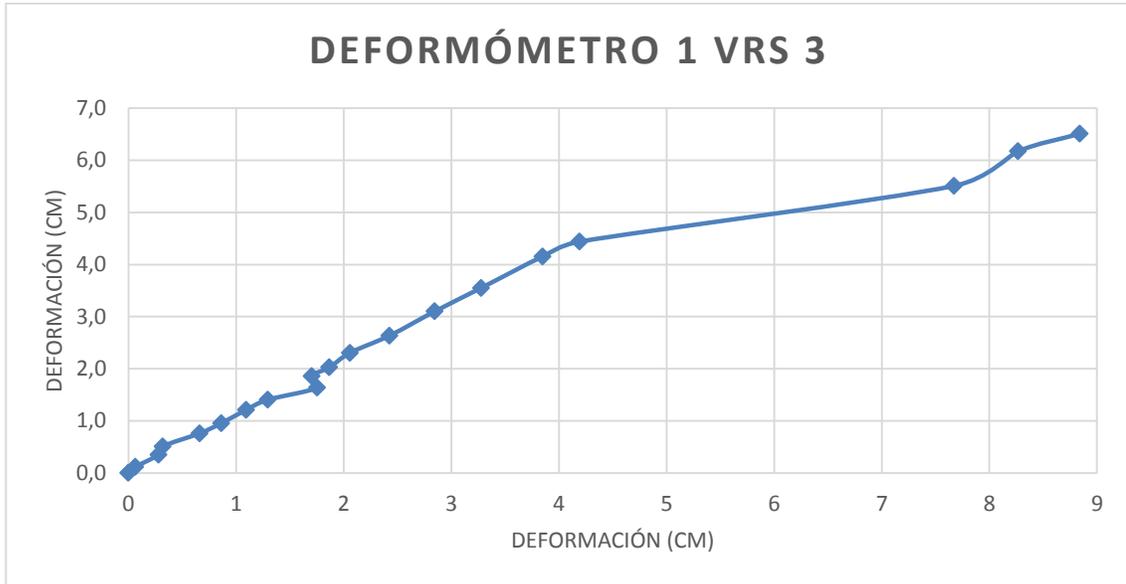
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 61. **Gráfica de Absorción Energía (derecha)**



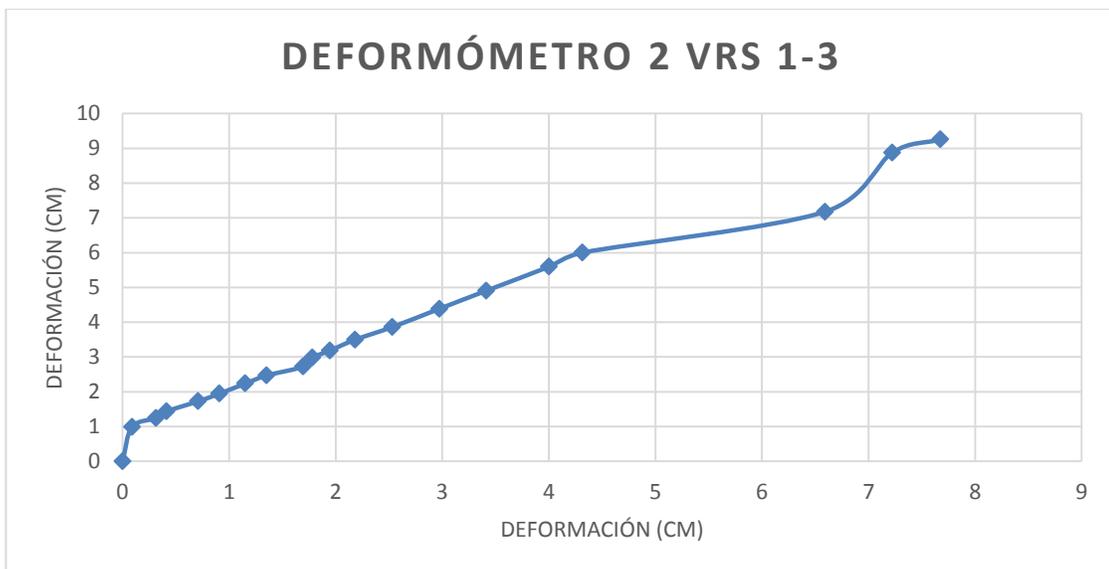
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 62. **Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 63. **Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos con Centro)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

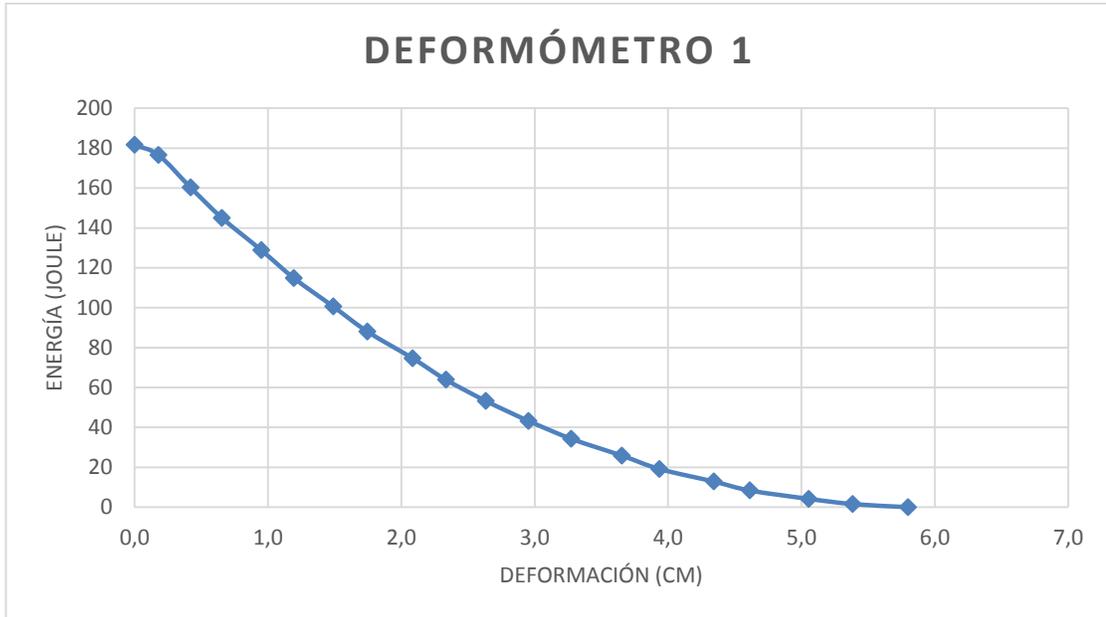
Tabla IX. **Datos de diseño para descarga de energía y Linealización de deflexión (Descarga con Factor 2 en Losa)**

14/01/2016	Fuerza		Lectura						Desplazamiento						Energía						
	Carga (kg)	KN	mm		mm		plg		DEF 1		DEF 2		DEF 3		Julias 1	Julias 2	Julias 3	Prom (1-3)			
	2844.5	27.93299	6	7	38.5	7	8	61.0	6	7	18.0	6.385	0.0	7.61	0	6.18	0	181.621325	216.46645	175.7901	0
	2844.5	27.93299	6	7	20.5	7	8	42.0	6	7	11.0	6.21	0.18	7.42	0.19	6.11	0.178	176.501225	211.0619	173.79895	0.1789
	2685.9	26.375538	5	6	96.5	7	8	18.0	6	7	2.0	5.965	0.42	7.18	0.43	6.02	0.406	160.213935	192.84762	161.69118	0.4132
	2530.3	24.847546	5	6	73.0	6	7	91.0	5	6	93.0	5.73	0.65	6.91	0.70	5.93	0.635	144.98619	174.84373	150.04679	0.645
	2370.7	23.280274	5	6	43.5	6	7	58.5	5	6	83.0	5.435	0.95	6.585	1.025	5.83	0.889	128.847545	156.110595	138.21181	0.9195
	2212.1	21.722822	5	6	19.0	6	7	33.0	5	6	74.0	5.19	1.20	6.33	1.28	5.74	1.118	114.80799	140.02593	126.97454	1.1563
	2054.5	20.17519	4	5	89.5	5	6	99.0	5	6	63.0	4.895	1.49	5.99	1.62	5.63	1.40	100.567775	123.06455	115.66835	1.4435
	1897.5	18.63345	4	5	64.0	5	6	72.0	5	6	54.0	4.64	1.75	5.72	1.89	5.54	1.626	88.044	108.537	105.1215	1.6853
	1735.3	17.040646	4	5	30.0	5	6	35.0	5	6	41.0	4.3	2.09	5.35	2.26	5.41	1.956	74.6179	92.83855	93.87973	2.0204
	1577.1	15.487122	4	5	5.0	5	6	8.0	5	6	32.0	4.05	2.34	5.08	2.53	5.32	2.184	63.87255	80.11668	83.90172	2.2597
	1418.8	13.932616	3	4	75.0	4	5	73.0	5	6	21.0	3.75	2.64	4.73	2.88	5.21	2.464	53.205	67.10924	73.91948	2.5494
	1259	12.36338	3	4	43.0	4	5	39.0	5	6	9.0	3.43	2.96	4.39	3.22	5.09	2.769	43.1837	55.2701	64.0831	2.8618
	1101.6	10.817712	3	4	11.0	4	5	3.0	4	5	98.0	3.11	3.28	4.03	3.58	4.98	3.048	34.25976	44.39448	54.85968	3.1615
	945	9.2799	2	3	73.0	3	4	59.0	4	5	84.0	2.73	3.66	3.59	4.02	4.84	3.40	25.7985	33.9255	45.738	3.5293
	781.7	7.676294	2	3	45.0	3	4	28.0	4	5	74.0	2.45	3.94	3.28	4.33	4.74	3.658	19.15165	25.63976	37.05258	3.7963
	628	6.16696	2	3	4.0	2	3	82.0	4	5	60.0	2.04	4.35	2.82	4.79	4.6	4.013	12.8112	17.7096	28.888	4.1791
	470.6	4.621292	1	2	77.0	2	3	51.0	4	5	49.0	1.77	4.62	2.51	5.10	4.49	4.293	8.32962	11.81206	21.12994	4.4538
	312.1	3.064822	1	2	33.0	2	3	2.0	4	5	33.0	1.33	5.06	2.02	5.59	4.33	4.70	4.15093	6.30442	13.51393	4.877
100%	154.7	1.519154	1	2	0.0	1	2	65.0	4	5	21.0	1.00	5.39	1.65	5.96	4.21	5.004	1.547	2.55255	6.51287	5.1944
15 min	0	0	0	1	58.5	0	1	22.0	4	5	1.0	0.59	5.80	1.22	6.39	4.01	5.512	0	0	0	5.6559

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

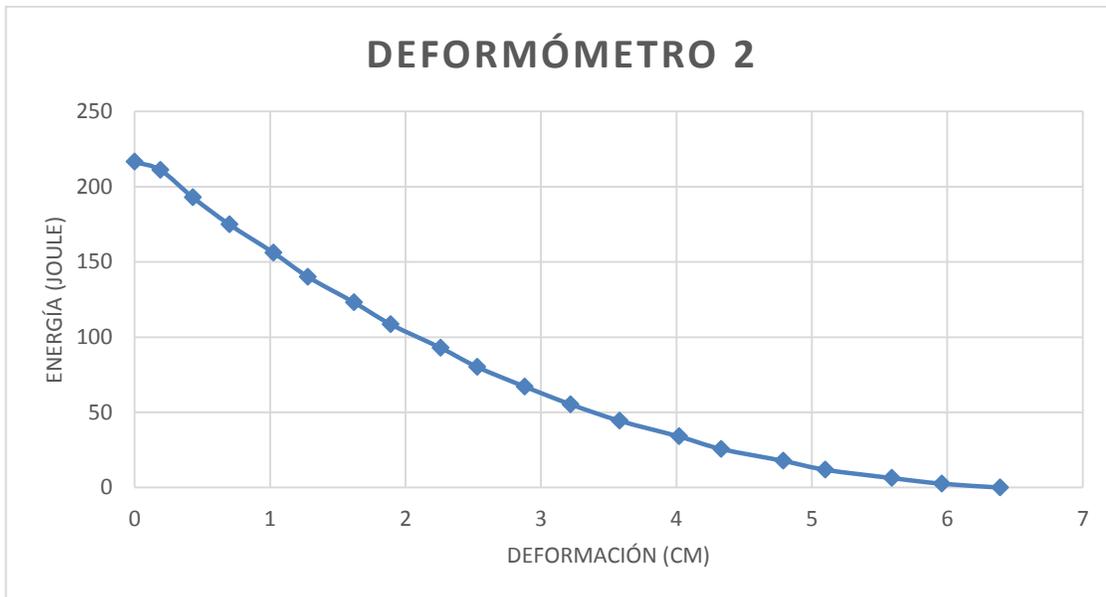
Cada una de las descargas de energía y Linealización de deflexión de la losa de diseño del Factor 2 se grafican, en donde se verifica la absorción de energía que tiene al momento en que se le realiza la descarga donde se convierte en resistencia, regresando a su estado normal.

Figura 64. **Gráfica de Absorción Energía (izquierda)**



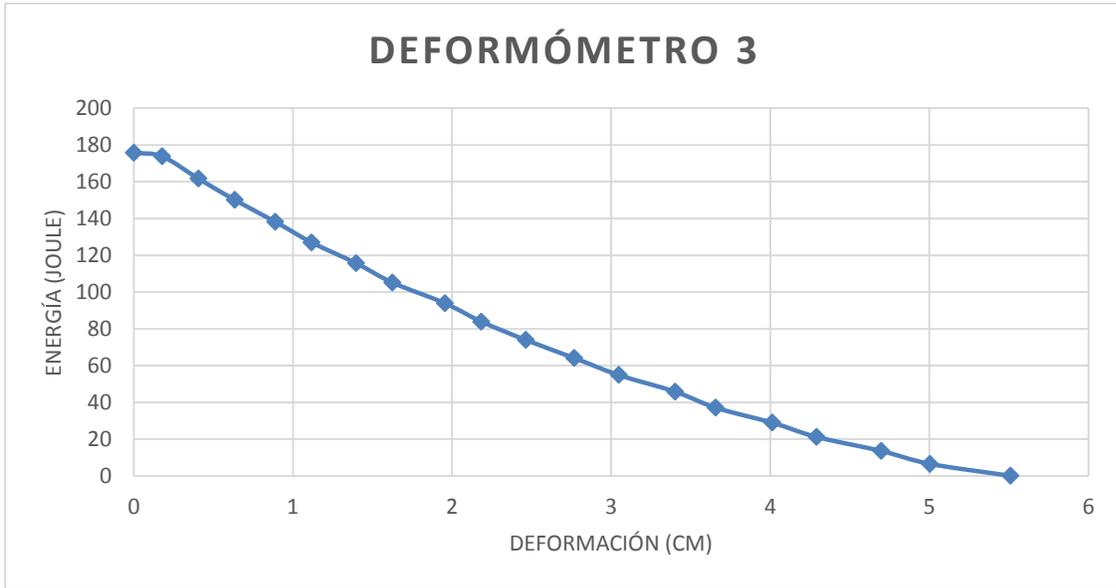
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 65. **Gráfica de Absorción Energía (centro)**



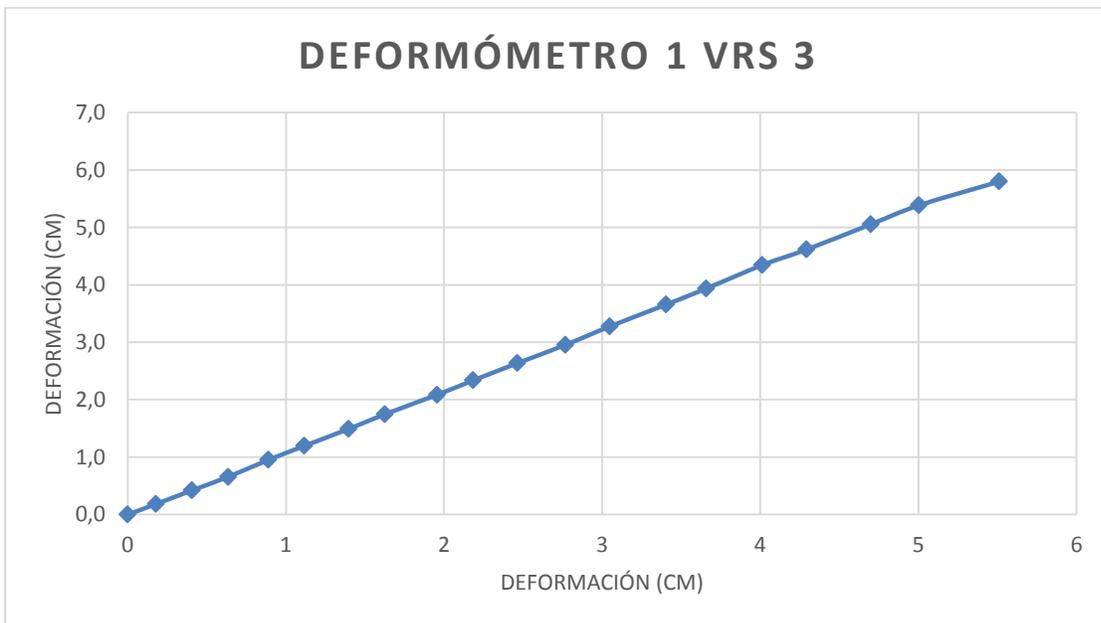
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 66. **Gráfica de Absorción Energía (derecha)**



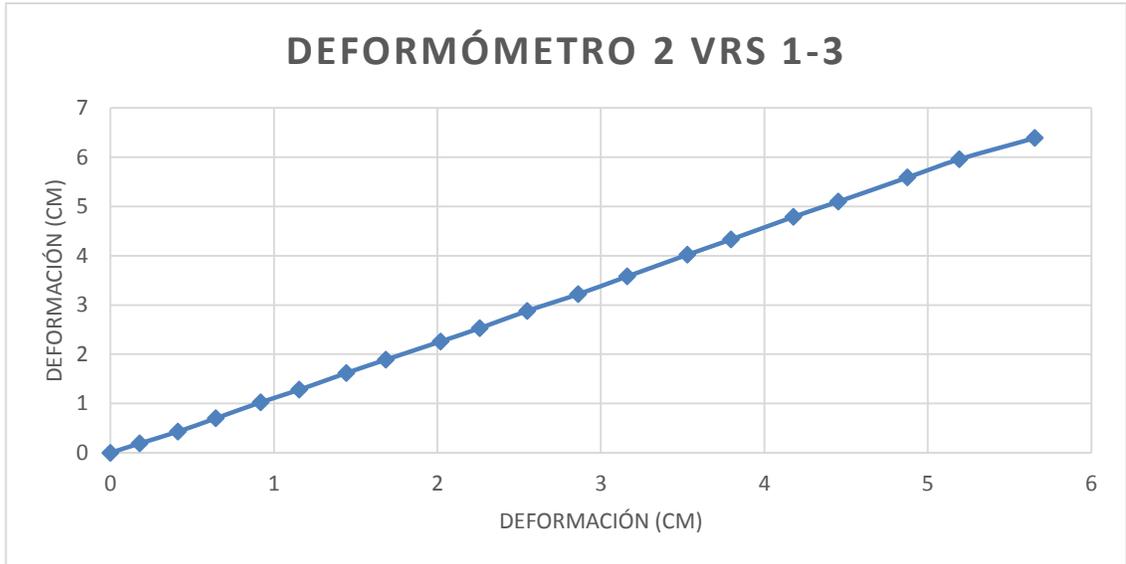
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 67. **Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 68. Gráfica de Absorción Energía Linealización
(Externos con Centro)



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

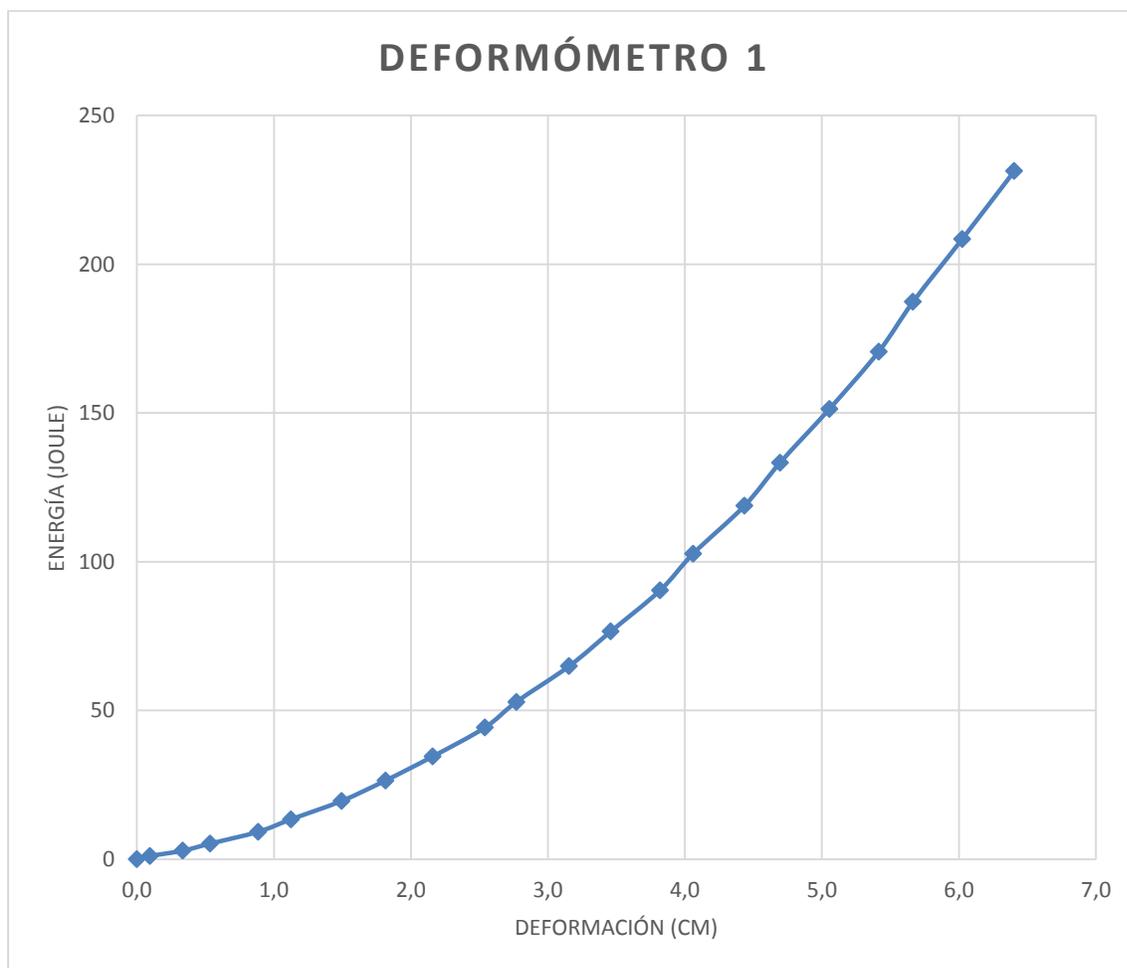
Tabla X. Datos de diseño para Carga de energía y Linealización de deflexión (Carga de Losa en punto de fluencia más 30 %)

14/01/2016	Fuerza		Lectura						Desplazamiento						Energía						
	Carga (kg)	KN	mm			plg			DEF 1		DEF 2		DEF 3		Julias 1	Julias 2	Julias 3	Prom (1-3)			
	0	0	0	1	58.5	0	1	22.0	4	5	1.0	0.585	0.0	0.22	0	4.01	0	0	0		
	158.7	1.558434	0	1	68.0	0	1	32.0	4	5	9.5	0.68	0.10	0.32	0.1	4.095	0.085	1.07916	0.50784	6.498765	0.09
	312.5	3.06875	0	1	92.0	0	1	60.0	4	5	18.5	0.92	0.34	0.6	0.38	4.185	0.175	2.875	1.875	13.078125	0.255
	469	4.60558	1	2	12.0	0	1	84.0	4	5	26.0	1.12	0.54	0.84	0.62	4.26	0.25	5.2528	3.9396	19.9794	0.3925
	627.8	6.164996	1	2	47.0	1	2	23.0	4	5	39.0	1.47	0.89	1.23	1.01	4.39	0.38	9.22866	7.72194	27.56042	0.6325
	784.8	7.706736	1	2	71.0	1	2	51.0	4	5	48.0	1.71	1.13	1.51	1.29	4.48	0.47	13.42008	11.85048	35.15904	0.7975
	943	9.26026	2	3	8.0	1	2	92.0	4	5	61.0	2.08	1.50	1.92	1.7	4.61	0.6	19.6144	18.1056	43.4723	1.0475
	1102.8	10.829496	2	3	40.0	2	3	29.0	4	5	67.5	2.4	1.82	2.29	2.07	4.675	0.665	26.4672	25.25412	51.5559	1.24
	1259.3	12.366326	2	3	74.5	2	3	69.0	4	5	85.5	2.745	2.16	2.69	2.47	4.855	0.845	34.567785	33.87517	61.139015	1.5025
	1416.7	13.911994	3	4	12.5	3	4	11.5	4	5	99.0	3.125	2.54	3.115	2.895	4.99	0.98	44.271875	44.130205	70.69333	1.76
	1576.7	15.483194	3	4	35.5	3	4	37.5	5	6	7.5	3.355	2.77	3.375	3.155	5.075	1.065	52.898285	53.213625	80.017525	1.9175
	1735.7	17.044574	3	4	74.0	3	4	81.0	5	6	22.0	3.74	3.16	3.81	3.59	5.22	1.21	64.91518	66.13017	90.60354	2.1825
	1894.1	18.600062	4	5	4.5	4	5	15.0	5	6	33.0	4.045	3.46	4.15	3.93	5.33	1.32	76.616345	78.60515	100.95553	2.39
	2053.3	20.163406	4	5	40.5	4	5	55.0	5	6	46.0	4.405	3.82	4.55	4.33	5.46	1.45	90.447865	93.42515	112.11018	2.635
	2211.4	21.715948	4	5	64.5	4	5	85.0	5	6	55.0	4.65	4.06	4.85	4.63	5.55	1.54	102.71953	107.2529	122.7327	2.8
	2367	23.24394	5	6	2.0	5	6	23.0	5	6	69.0	5.02	4.44	5.23	5.01	5.69	1.68	118.8234	123.7941	134.6823	3.0575
	2525.3	24.798446	5	6	28.0	5	6	51.5	5	6	78.0	5.28	4.70	5.515	5.295	5.78	1.77	133.33584	139.270295	145.96234	3.2325
	2684.1	26.357862	5	6	64.0	5	6	91.0	5	6	91.5	5.64	5.06	5.91	5.69	5.915	1.905	151.38324	158.63031	158.764515	3.48
100%	2844.5	27.932299	6	7	0.0	6	7	30.0	5	6	99.0	6.00	5.42	6.3	6.08	5.99	1.98	170.67	179.2035	170.38555	3.6975
15 min	2997.9	29.439378	6	7	25.0	6	7	58.0	6	7	14.0	6.25	5.67	7.58	7.36	6.14	2.13	187.36875	227.24082	184.07106	3.8975
	3154.9	30.981118	6	7	61.0	6	7	99.0	6	7	28.0	6.61	6.03	7.99	7.77	6.28	2.27	208.53889	252.07651	198.12772	4.1475
	3309.7	32.501254	6	7	99.0	7	8	45.0	6	7	42.0	6.99	6.41	8.45	8.23	6.42	2.41	231.34803	279.66965	212.48274	4.4075

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

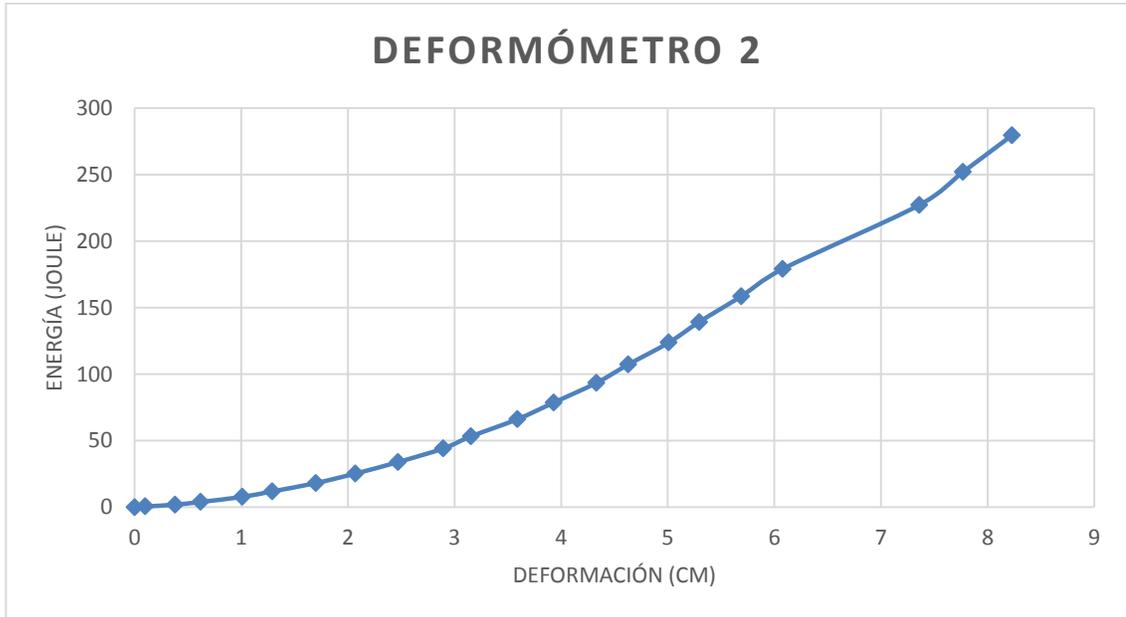
Cada una de las cargas de energía y Linealización de deflexión de la losa de diseño en el punto de fluencia más 30 % se grafican; se verifica la absorción de energía que tiene al momento en que se le aplica la carga. Esta se convierte en resistencia de la losa hasta el momento de su falla.

Figura 69. **Gráfica de Absorción Energía (izquierda)**



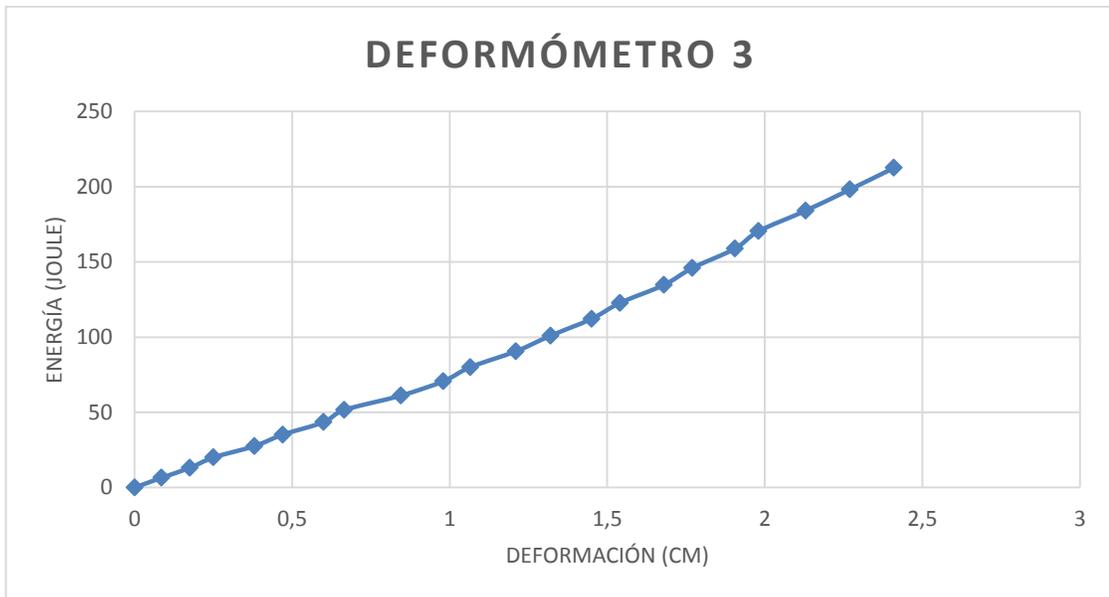
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 70. **Gráfica de Absorción Energía (centro)**



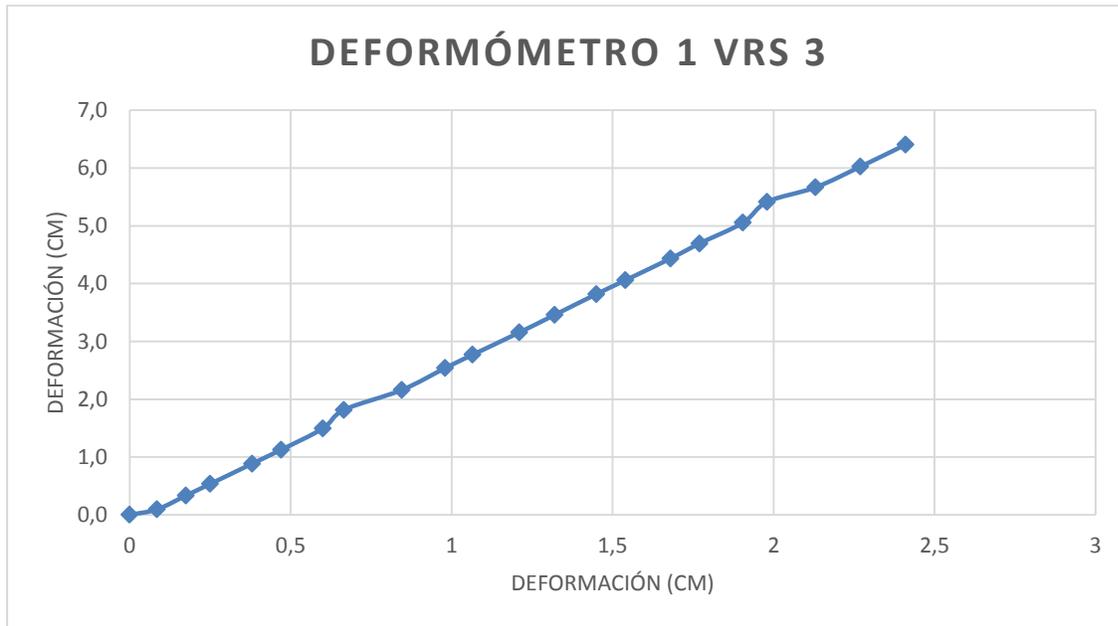
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 71. **Gráfica de Absorción Energía (derecha)**



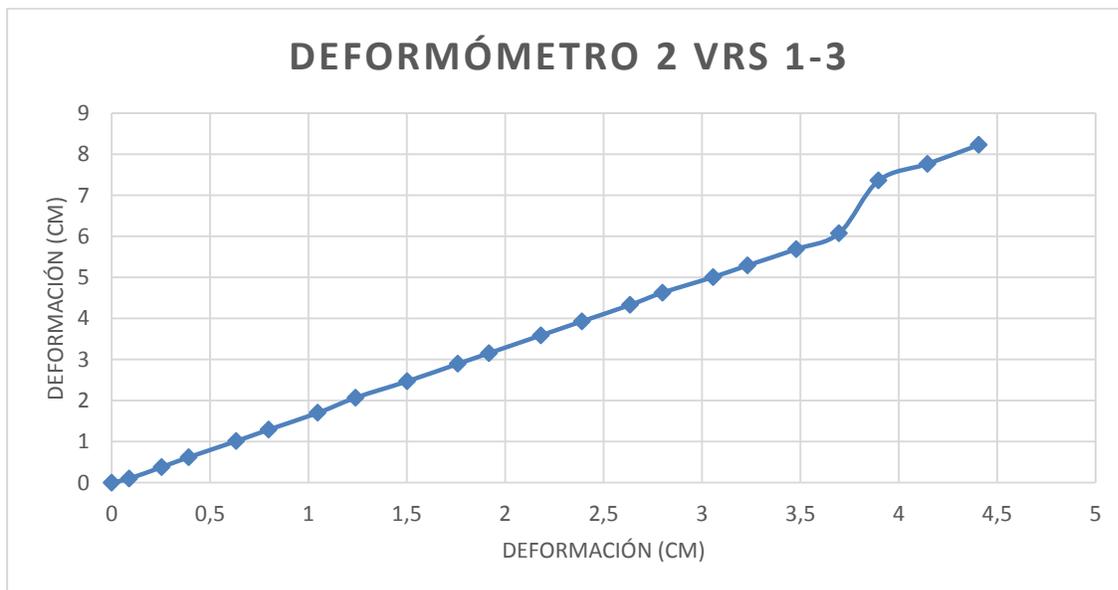
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 72. **Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 73. **Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos con Centro)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

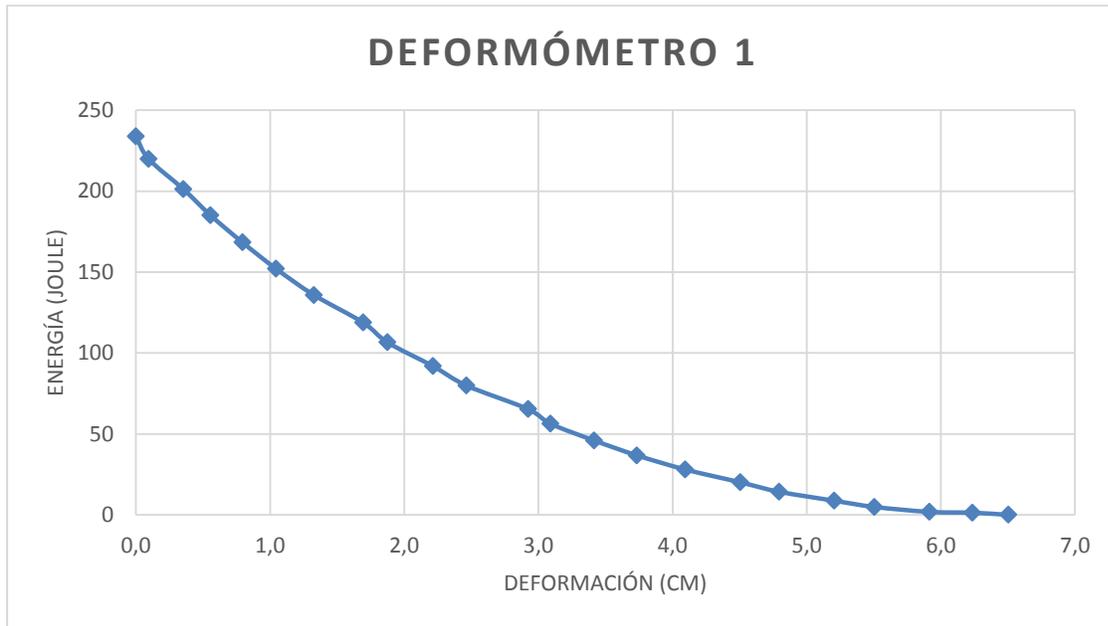
Tabla XI. Datos de diseño para descarga de energía y Linealización de deflexión (Descarga de Losa en punto de fluencia más 30 %)

14/01/2016	Fuerza		Lectura						Desplazamiento						Energía						
	Carga (kg)	KN	mm			mm			plg		DEF 1	DEF 2		DEF 3		Julias 1	Julias 2	Julias 3	Prom (1-3)		
	3309.7	32.501254	7	8	6.5	7	8	51.5	6	7	45.0	7.065	0.0	7.515	0	6.45	0	233.830305	248.723955	213.47565	0
	3154.9	30.981118	6	7	97.0	7	8	40.0	6	7	41.0	6.97	0.1	7.4	0.115	6.41	0.04	219.89653	233.4626	202.22909	0.0675
	2997.9	29.439378	6	7	71.0	7	8	11.0	6	7	31.0	6.71	0.4	7.11	0.405	6.31	0.14	201.15909	213.15069	189.16749	0.2475
	2844.5	27.93299	6	7	51.0	6	7	89.0	6	7	24.0	6.51	0.6	6.89	0.625	6.24	0.21	185.17695	195.98605	177.4968	0.3825
	2684.1	26.357862	6	7	27.0	6	7	64.0	6	7	15.0	6.27	0.8	6.64	0.875	6.15	0.30	168.29307	178.22424	165.07215	0.5475
	2525.3	24.798446	6	7	2.0	6	7	34.0	6	7	6.0	6.02	1.0	6.34	1.175	6.06	0.39	152.02306	160.10402	153.03318	0.7175
	2367	23.24394	5	6	73.8	6	7	4.0	5	6	96.0	5.738	1.3	6.04	1.475	5.96	0.49	135.81846	142.9668	141.0732	0.9085
	2211.4	21.715948	5	6	37.0	5	6	70.0	5	6	86.0	5.37	1.7	5.7	1.815	5.86	0.59	118.75218	126.0498	129.58804	1.1425
	2053.3	20.163406	5	6	19.0	5	6	44.0	5	6	76.0	5.19	1.9	5.44	2.075	5.76	0.69	106.56627	111.69952	118.27008	1.2825
	1894.1	18.600062	4	5	85.0	5	6	6.0	5	6	64.0	4.85	2.2	5.06	2.455	5.64	0.81	91.86385	95.84146	106.82724	1.5125
	1735.7	17.044574	4	5	60.0	4	5	78.0	5	6	55.0	4.6	2.5	4.78	2.735	5.55	0.9	79.8422	82.96646	96.33135	1.6825
	1576.7	15.483194	4	5	14.0	4	5	40.0	5	6	42.0	4.14	2.9	4.4	3.115	5.42	1.03	65.27538	69.3748	85.45714	1.9775
	1416.7	13.911994	3	4	97.5	4	5	11.0	5	6	32.0	3.975	3.1	4.11	3.405	5.32	1.13	56.313825	58.22637	75.36844	2.11
	1259.3	12.366326	3	4	65.0	3	4	75.0	5	6	20.0	3.65	3.4	3.75	3.765	5.2	1.25	45.96445	47.22375	65.4836	2.3325
	1102.8	10.829496	3	4	33.0	3	4	39.0	5	6	8.0	3.33	3.7	3.39	4.125	5.08	1.37	36.72324	37.38492	56.02224	2.5525
	943	9.26026	2	3	97.0	2	4	99.0	4	5	95.0	2.97	4.1	2.99	4.525	4.95	1.50	28.0071	28.1957	46.6785	2.7975
	784.8	7.706736	2	3	56.0	2	3	53.0	4	5	81.0	2.56	4.5	2.53	4.985	4.81	1.64	20.09088	19.85544	37.74888	3.0725
	627.8	6.164996	2	3	27.0	2	3	20.0	4	5	70.0	2.27	4.8	2.2	5.315	4.7	1.75	14.25106	13.8116	29.5066	3.2725
100%	469	4.60558	1	2	86.0	1	2	72.0	4	5	55.0	1.86	5.2	1.72	5.795	4.55	1.90	8.7234	8.0668	21.3395	3.5525
15 min	312.5	3.06875	1	2	56.0	1	2	41.0	4	5	45.0	1.56	5.5	1.41	6.105	4.45	2.00	4.875	4.40625	13.90625	3.7525
	158.7	1.558434	1	2	15.0	0	1	92.0	4	5	29.0	1.15	5.9	0.92	6.595	4.29	2.16	1.82505	1.46004	6.80823	4.0375
	158.7	1.558434	0	1	83.0	0	1	55.0	4	5	16.0	0.83	6.2	0.55	6.965	4.16	2.29	1.31721	0.87285	6.60192	4.2625
	0	0	0	1	56.0	0	1	28.0	4	5	7.0	0.56	6.5	0.28	7.235	4.07	2.38	0	0	0	4.4425

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

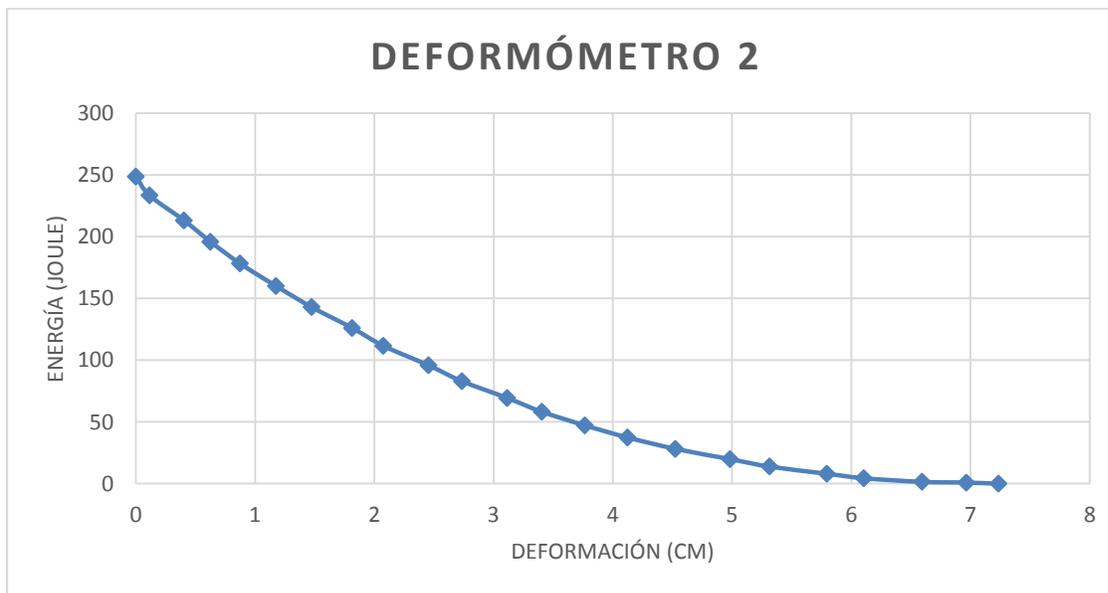
Cada una de las descargas de energía y Linealización de deflexión de la losa de diseño en el punto de fluencia más 30 % se grafican. Se verifica la absorción de energía que tiene al momento en que se le realiza la descarga donde se convierte en resistencia regresando a su estado normal.

Figura 74. **Gráfica de Absorción Energía (izquierda)**



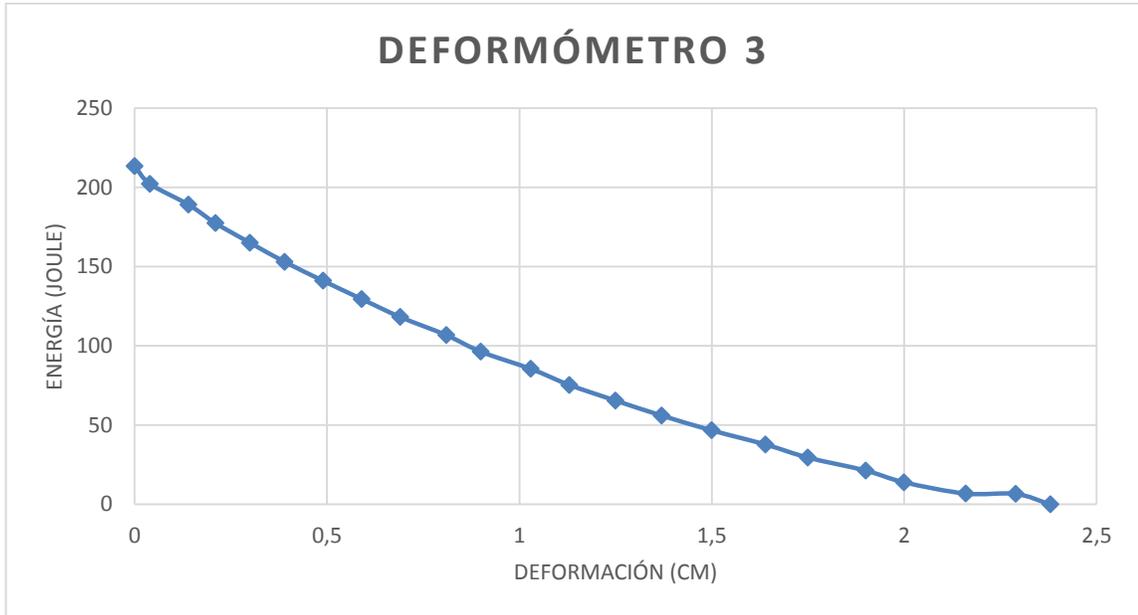
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 75. **Gráfica de Absorción Energía (centro)**



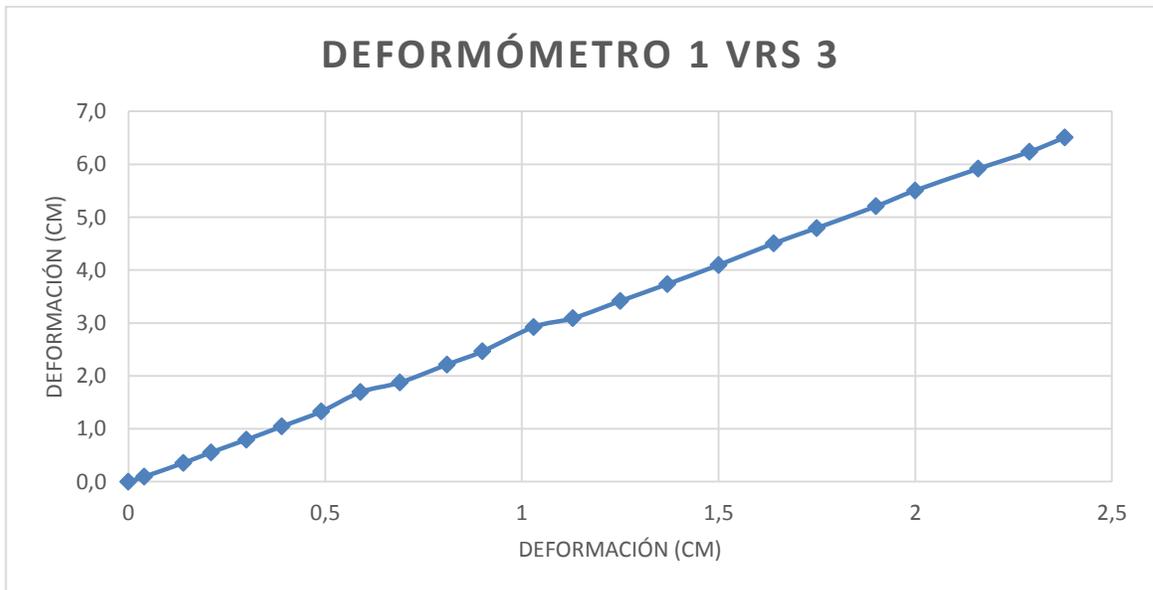
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 76. **Gráfica de Absorción Energía (derecha)**



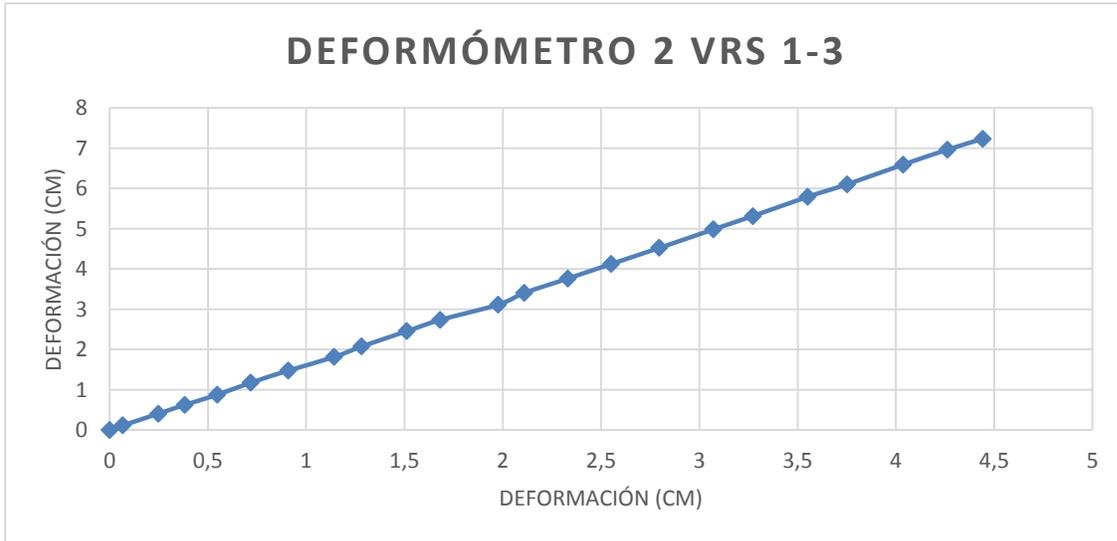
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 77. **Gráfica de Absorción Energía Linealización (Externos)**



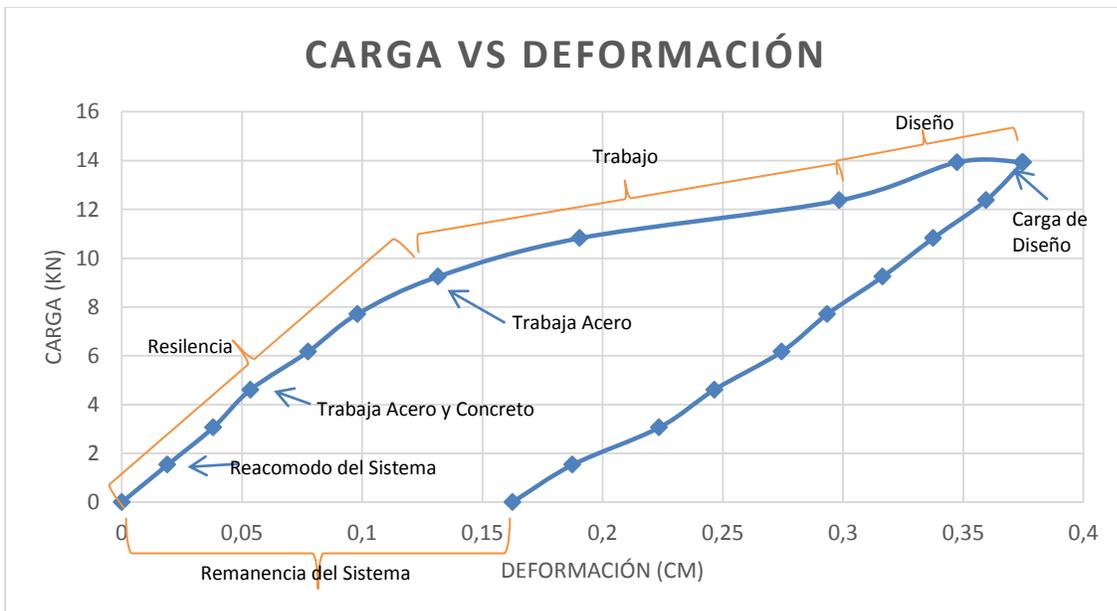
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

**Figura 78. Gráfica de Absorción Energía Linealización
(Externos con Centro)**



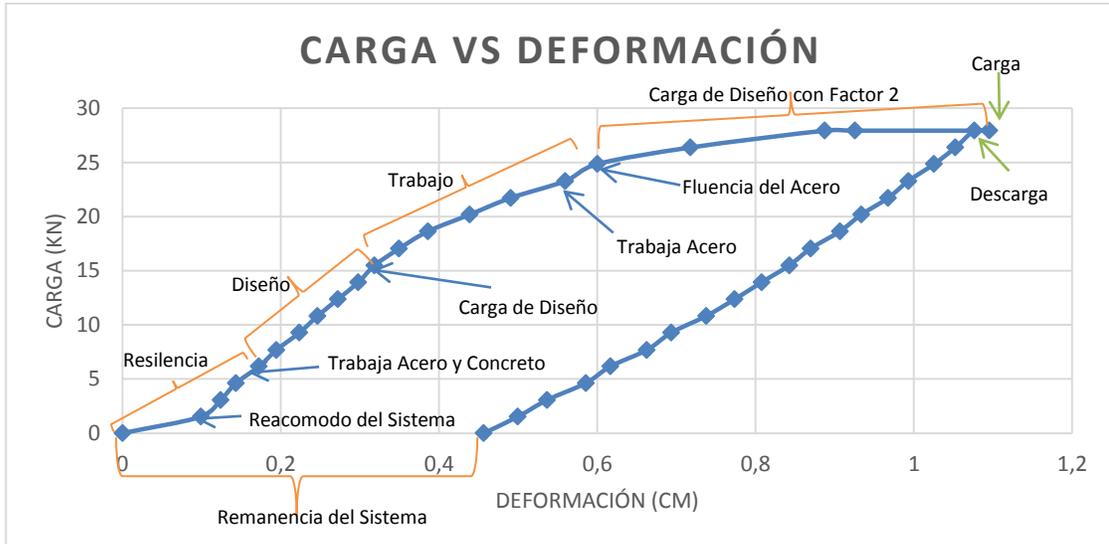
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 79. Carga de Diseño (Centro)



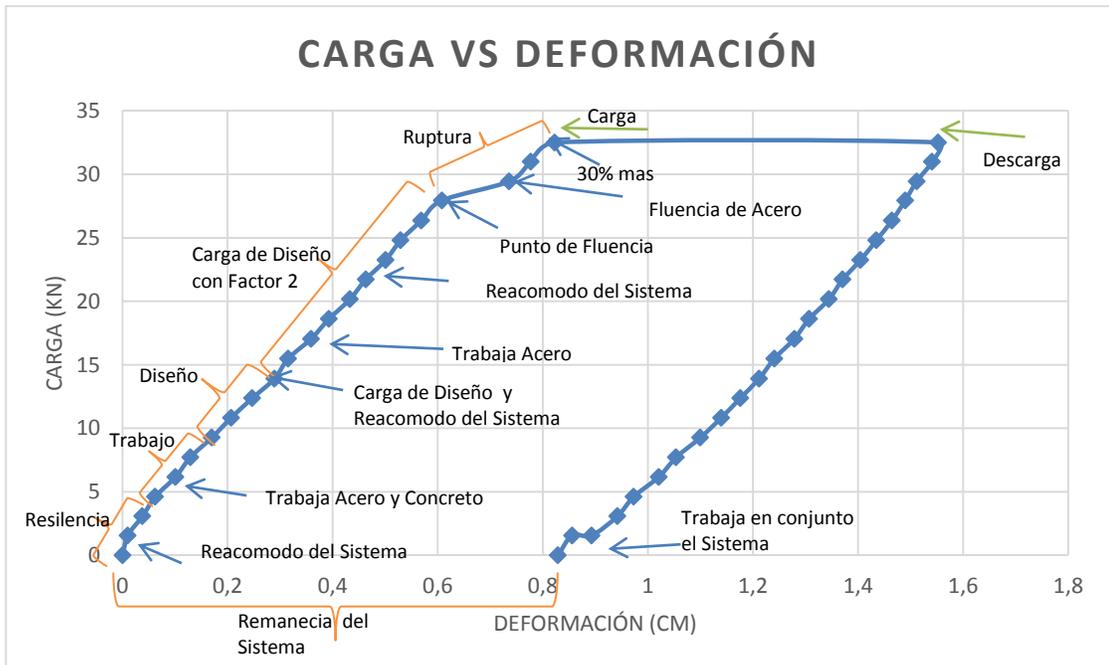
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 80. Carga con Factor 2 (Centro)



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 81. Carga en punto de fluencia más 30 % (Centro)



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

5. COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

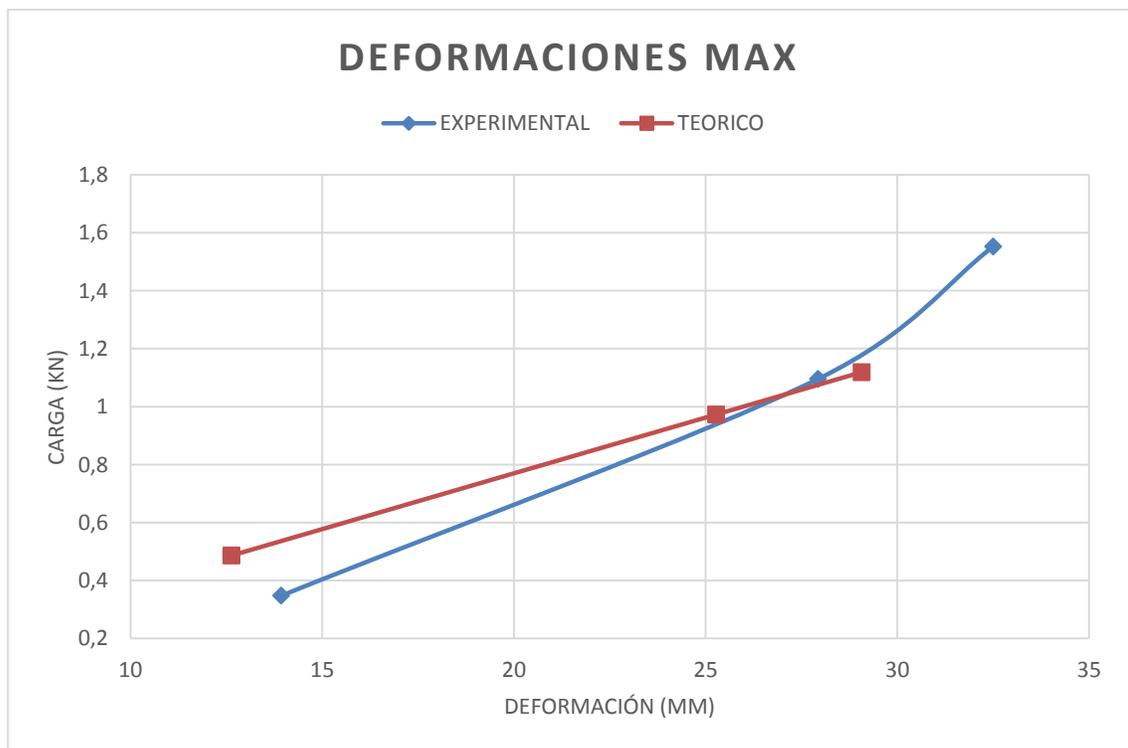
5.1. Comparación del Diseño Estructural y Experimental

Tabla XII. Datos de comparación del diseño estructural y experimenta

Fuerza		Lectura						Desplazamiento		Deformación			
Carga (kg)	KN	mm		mm		plg		DEF 2	DEF 2 CM				
1418.7	13.931634	6	7	92.0	7	8	19.5	2	3	4.5	8.195	3.475	0.3475
2844.5	27.93299	6	7	38.5	7	8	61.0	6	7	18.0	7.61	10.955	1.0955
3309.7	32.501254	7	8	6.5	7	8	51.5	6	7	45	7.515	15.525	1.5525
1287	12.63834												0.486486486
2574	25.27668												0.972972973
2960.1	29.068182												1.118918919

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 82. Gráfica de comparación entre diseño estructural y experimental



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

5.2. Análisis de Resultados

Losa de 3,70 mts

A la altura de 127 kg/m^2 (aprox. 469,2 kg), la losa presenta un acomodo dentro del rango de la deformación permisible, con una deformación de 0,0535 cm y con el factor 2 aproximadamente 0,1435 cm.

A la deformación de 2cm de la losa en el centro (370cm/180) ACI 318-11S TABLA 9,5 (b) L/180. ; lo que indica que la carga de diseño estaría en el orden que corresponde aproximadamente a 330 kg/m^2 .

La forma de las gráficas que no hay variación en las mismas en los deformómetros, indica que tiene el armado necesario para que trabaje dicha losa, el espesor ideal para una losa de esta longitud es de 15 cm.

La losa permanece descargada, luego de las cuales se inició nuevamente con el proceso de carga, con la única diferencia que en este último caso se buscó alcanzar el colapso de la losa y que los incrementos de carga fue factor 2 de la carga de diseño, evento que no ocurrió aun cuando se le aplicó un 30 % de carga adicional sobre la carga de diseño.

Después de 0,1905 cm de deformación, deja de trabajar en conjunto el sistema y comienza a trabajar el acero hasta 0,3475 cm, después ya comienza a trabajar el acero de la vigueta, al no verificar una gran deformación se carga con factor 2 la losa se obtiene que el acero comienza a ceder de nuevo en 0,4905 cm hasta 0,6 cm, después ya comienza a trabajar el acero de la vigueta. Al no verificar falla de la se descarga y vuelve a carga donde fluye el acero de la carga de diseño se le agrega un 30 % más y se obtiene en la carga

última, una deformación 1,55 cm lo cual indica que la losa es aceptable, según su carga de diseño y su factor de seguridad.

Nota: Se recomienda que el rango entre apoyos para la losa se trabaje:

$$\text{Rango de Apoyos} = \frac{\text{Ancho total de Apoyos}}{\text{Longitud Libre}} \geq 0,095$$

Si el rango de Incertidumbre es $< 0,095$, pero mayor a 0,08 para que trabaje bien el sistema en relación de la longitud de la luz entre apoyos de una losa, pero por debajo de 0,08 el sistema se deflecta demasiado y reduce su capacidad de carga.

CONCLUSIONES

1. La losa fue diseñada para resistir un 33 % en la deflexión de 0,0034 mts, de la carga de diseño 240 kg/m². La deflexión admisible del sistema sería de 0,02 mts por la longitud de la losa que es 3,70 mts y con ella tiene la capacidad de resistir el 67 % más, en la que reporta una deflexión de 0,0155 mts, que puede soportar en la carga última.
2. Se considera el sistema que la vigueta y bovedilla cuando se encuentran empotrados o anclados en el muro o viga de apoyo, ocasionando una mejora en el amarre del sistema losa-muro. Mejorando un 65 % de su eficiencia, por ser un sistema no preesforzado para losas.
3. Se indica que este diseño de losa se considera para losas de luz de 3,70 mts como máximo para aumentar a losas de espesor de 20 cm de espesor.
4. Este diseño de debe trabajar con rigidizantes a 1,5 mts como máximo para rigidizar el sistema y no se defleccione más de lo indicado, según norma.
5. En la losa, dependiendo del apoyo si este está bien construido, no importará que la losa no sea de buena capacidad.

RECOMENDACIONES

1. Realizar armado de losa según diseño para que soporte carga según diseño y no sobrepasar luces para que esta no tenga mayor flecha y falle.
2. Utilizar acero legítimo en área de vigas, rigidizantes y bastones para que este sistema trabaje conforma para que este pueda fluir y que el sistema no colapse súbitamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comité 318. *Requisitos de Reglamento para concreto Estructural* (ACI 318S-11) y comentario. U.S.A: American Concrete Institute, Años 2 002, 2 005, 2 008, 2 011 y 2 015.
2. CORZO, Mario Rodolfo. *Notas de Sabandija de Concreto* ;Notas sobre requerimientos generales para diseño basado en las normas ACI 318-05, UBC-97, IBC-00/03/06, y demás normas internacionales útiles para diseño, Guatemala: Área Limotrofe, El Tercer Nivel Solar. Año 2 014.
3. Cuantías mínimas para elementos de hormigón [en línea]
<http://www.construaprende.com/foros/cuantias-minimas-para-elementos-de-hormigon-vt3501.html> [18 de Marzo de 2 016].
4. HARMSSEN, Teodoro E. *Diseño de estructuras de Concreto Armado*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Año 2 002.
5. Losas prefabricadas, un tabú para la construcción [en línea].
http://www.deguate.com/artman/publish/brconsejos/Losas_prefabricadas_un_tab_para_la_construccion_133.shtml#.WAZzL-jhBdi
[Consulta: 18 de Marzo de 2 015].
6. NILSON, Arthur h. *Diseño de Estructuras de Concreto*. Colombia: Quebecor World Bogotá S.A. Año 2 011.

7. RAMÓN, Ruiz. *Elementos de Concreto Reforzado Conforme al ACI 318-04*. U.S.A: Noruega. 2 006.

8. Sistema de losas pre fabricadas [en línea]
<https://es.scribd.com/doc/71340726/LOSA-PREFABRICADA>
[Consulta: 18 de Marzo de 2 016]