

**INCIDENCIA DE LA INVERSIÓN DE ESFUERZOS EN LOSAS DE CONCRETO
POST- TENSADO SOPORTADA CON MUROS DE CARGA**

**DIEGO FELIPE SERRANO VILLABONA
NICOLÁS MORENO YAÑEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

**INCIDENCIA DE LA INVERSIÓN DE ESFUERZOS EN LOSAS DE CONCRETO
POST- TENSADO SOPORTADA CON MUROS DE CARGA**

**DIEGO FELIPE SERRANO VILLABONA
NICOLÁS MORENO YAÑEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Civil**

**Director:
Ph. D. Ricardo Alfredo Cruz Hernández**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
NOMENCLATURA.....	14
1. MARCO TEORICO	15
1.1 SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	15
1.2 INTERACCIÓN MURO LOSA	17
1.3 CONCRETO PRESFORZADO.....	17
1.4 ESFUERZOS ADMISIBLES	18
2. INTERACCIÓN MURO-LOSA ANTE LA ACCIÓN DE CARGAS VERTICALES	19
2.1 GENERALIDADES.....	19
2.2 CÁLCULO DE ESFUERZOS.....	24
2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	25
3. INTERACCIÓN MUROS LOSA ANTE CARGAS HORIZONTALES	35
3.1 GENERALIDADES	35
3.2 ANÁLISIS SÍSMICO	38
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFIA.....	46
ANEXOS	47

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Sistemas Estructurales de Resistencia Sísmica	15
Fig. 2 Losa post-tensada soportada sobre muros.....	20
Fig. 3 Luces 5: 2,5: 5 Metros	20
Fig. 4 Luces 2,5: 5: 5 Metros	20
Fig. 5 Luces 1: 5: 5 Metros	21
Fig. 6 Combinaciones de Carga.....	22
Fig. 7 Perfiles de Cables.....	23
Fig. 8 Diagramas de momentos	25
Fig. 9 Esfuerzos del concreto en transferencia.....	26
Fig. 10 Esfuerzos del concreto en cargas de "Servicio 1"	27
Fig. 11 Esfuerzos del concreto en cargas de "Servicio 2" (A-D) Y "Servicio 3" (E-H)	28
Fig. 12 Esfuerzos del concreto en cargas de "Servicio 4"	29
Fig. 13 Esfuerzos del concreto en cargas de "Servicio 5" (A-D) Y "Servicio 6" (E- H)	30
Fig. 14 Esfuerzos en el concreto para una luz de 1 (Voladizo), 5, 5 metros	31
Fig. 15 Esfuerzos en el concreto para una luz de 2.5, 5, 5 metros	32
Fig. 16 Esfuerzos en el concreto para una luz de 5, 2.5, 5 metros	33
Fig. 17 Vista en Planta y tridimensional	35
Fig. 18 Perfil de los tendones (a) bandas, (b) uniformes	37
Fig. 19 Comparación Derivas.....	40
Fig. 20 Modos de vibración	41
Fig. 21 Esfuerzos debidos a cargas horizontales en dirección X	42
Fig. 22 Esfuerzos debidos a cargas horizontales en dirección Y	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Esfuerzos admisibles en concreto en transferencia.....	18
Tabla 2 Esfuerzos admisibles en concreto en servicio	18
Tabla 3 Esfuerzos limites en concreto presforzado	18
Tabla 4 Esfuerzos limites en acero de presfuerzo	19
Tabla 5 Combinaciones de Carga.....	21
Tabla 6 Propiedades de los materiales	22
Tabla 7 Perfiles de Cable.....	23
Tabla 8 Parámetros de Tensionamiento	23
Tabla 9 Propiedades del Strip de Diseño.....	24
Tabla 10 <i>Strips</i> de Diseño.....	24
Tabla 11 Combinaciones de Carga.....	36
Tabla 12 Propiedades de los materiales.....	37
Tabla 13 Parámetros de Tensionamiento	37
Tabla 14 Análisis sísmico	39

LISTA DE ANEXO

Anexo 1. Pérdidas de Presforzado	47
----------------------------------	----

RESUMEN

TÍTULO: INCIDENCIA DE LA INVERSIÓN DE ESFUERZOS EN LOSAS DE CONCRETO POST- TENSADO SOPORTADA CON MUROS DE CARGA¹

AUTORES²:

MORENO YAÑEZ, Nicolás

SERRANO VILLABONA, Diego Felipe

PALABRAS CLAVES: Inversión de esfuerzos, concreto post-tensado, concreto pre-esforzado, muros de carga, losa post-tensada

En las últimas décadas, la sociedad ha demandado edificaciones que ofrezcan ventajas arquitectónicas, estructurales y constructivas, de aquí uno de los sistemas estructurales que se ha resaltado es la losa plana soportada con muros de carga. Recientemente gracias al concreto post-tensado, ha sido posible optimizar aún más los espacios a un menor costo estructural, al permitir disminuir o eliminar los esfuerzos a tensión en el concreto.

Una de las ventajas que ofrece, es mejorar la respuesta dinámica de la estructura, que aunque la losa post-tensada no hace parte del sistema de resistencia sísmica y sólo actúa como un diafragma, su rigidez puede ser significativa en dicha respuesta, no obstante debido a la acción de fuerzas sísmicas los muros transmiten desplazamientos y momentos a la losa, que pueden causar o no una inversión de esfuerzos, de la misma manera, esta inversión puede ser causada por condiciones de servicio, que aunque deben ser chequeadas por el diseñador, hay situaciones de carga atípicas probables, las cuales lleven a la losa a sobrepasar sus estados límites.

A través de modelos estáticos lineales se verificará la factibilidad de esta inversión de esfuerzos, al cambiar la distribución de cargas verticales en diversas situaciones de apoyo y de luz, e introduciendo fuerzas sísmicas para verificar si se continúan dentro de los estados límites en condiciones de servicio.

¹ Proyecto de Grado

²Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández.

ABSTRACT

TÍTULO: INCIDENCE OF STRAIN INVERSION IN POST-TENSIONED SLABS SUPPORTED WITH SHEAR WALLS³

AUTHORS⁴:

MORENO YAÑEZ, Nicolás

SERRANO VILLABONA, Diego Felipe

KEY WORDS: Strain inversion, Post-tensioned concrete, prestressed concrete, shear wall, Post-tensioned slab

In last decades, the society has demand buildings that offer several advantages such as architectural, structural and constructive, and the flat slab system supported with shear walls, has been adopted for many designers. Recently the post-tensioned concrete is able to optimize even more the architecture layout, decreasing or eliminating the tension strain in concrete.

One of these advantages is improving the dynamic response of structure, although the post tension slab are referred to as “non-participating” systems or rigid diaphragm, its flexural stiffness may have a significant influence. When subjected to earthquake ground motions the slab undergoes lateral deformations and moments that may cause a strain inversion, in the same way, any service condition may cause a strain inversion, even if all the service stages should be check by the designer there is some strange stage, that may cause a reversal.

To enforce the viability of the strain inversion, it has been performed static linear models, changing the vertical load distribution, in different support and span condition, and introducing earthquake forces to check stresses in service condition.

³ Grade Work

⁴ Universidad Industrial de Santander, of Physical-Mechanical Engineers ,Faculty of Civil Engineering. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, han sido construidos muchos edificios de apartamentos y oficinas de losas planas soportadas sobre muros de carga, ofreciendo distintas ventajas como bajo costo, rapidez y facilidad de construcción, proporcionando una distribución arquitectónica en planta más flexible. Particularmente las losas de concreto postensado son muy eficientes, controlando las deflexiones y fisuraciones, consumiendo menores cantidades de refuerzo pasivo, y permitiendo menores relaciones de luz-espesor; lo cual significa la disminución de alturas de entrepiso y de masa de la edificación, lo que al final conlleva a menores fuerzas sísmicas, mejor control de derivas y de refuerzo para los elementos sismo resistentes. La rigidez de esta losa puede jugar un papel importante en la respuesta dinámica de la edificación⁵, lo que en el caso del concreto postensado brindaría mayores rigideces al considerar una sección no fisurada.

Sin embargo esta losa no hace parte del sistema de resistencia sísmica y sólo actúa como un diafragma que conecta todos los muros de carga, pero que al ser sometida a movimientos sísmicos, los muros pueden transmitir desplazamientos, giros y momentos a la losa causando posibles inversiones de esfuerzo⁶.

Otras de las posibles causas de inversión, son debidas a simplemente el cambio de la distribución de cargas verticales, que al verse afectada por la distribución de luces y la rigidez de los apoyos podría generar un cambio en la dirección de momento causando o no que se superen los estados límites con los que se diseñó.

A través de modelos estáticos lineales se verificará la factibilidad de esta inversión de esfuerzos, al cambiar la distribución de cargas verticales, e introduciendo

⁵Efficient seismic analysis of high-rise building structures with the effects of floor slabs - Lee, Fon-Guenn; Kim, Hyun-Su; Chun, Min Hah

⁶ Cyclic behaviour of interior post-tensioned flat plate connections – S.W. Han, S. H. Kee, T. H.-K. Kang, S.-S. Ha, J. W. Wallace and L-H. Lee

fuerzas sísmicas para verificar si se encuentra dentro de los estados límites en condiciones de servicio.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la incidencia de la inversión de esfuerzos en losas de concreto post-tensado soportada en muros de carga

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la interacción muro – losa para cargas verticales y horizontales.
- Evaluar la respuesta de la losa y la influencia del pre-esfuerzo ante dicha interacción
- Observar la respuesta de la estructura al variar la rigidez de los muros y las clases de pre-esfuerzo
- Comprobar experimentalmente la inversión de esfuerzos debido a la asimetría de cargas verticales.

NOMENCLATURA

k	Coeficiente de Wobble o de fricción
$\Delta\sigma_{ae}$	Pérdidas producidos por el acortamiento elástico del concreto
SH	Shrinkage, retracción de fraguado del concreto
δ	Asentamiento de cuña
CRc	Creep, Flujo plástico del concreto
Crs	Relajación en el acero de presfuerzo
Ct	Coeficiente utilizado para calcular el período de la estructura.
Ec	Módulo de elasticidad del concreto
Eci	Módulo de elasticidad del concreto al momento de tensionamiento
Esp	Módulo de elasticidad del acero de presfuerzo
f'c	Resistencia a la compresión del concreto
f'ci	Resistencia a la compresión del concreto al momento del presfuerzo inicial
fpj	Esfuerzo debido a la fuerza de gato de presforzado
fpu	Resistencia a la tracción del acero de presforzado
fpy	Resistencia a la fluencia del acero
Ig	Momento de inercia centroidal de la sección bruta del elemento
Sa	Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un período de vibración dado
T	Periodo de Vibración del sistema elástico
Vd	Constante sísmico en la base, para las fuerzas sísmicas producidas por el método de la fuerza horizontal equivalente
μ	Coeficiente de fricción por curvatura
ξ	Eficiencia de la sección

1. MARCO TEORICO

1.1 SISTEMAS ESTRUCTURALES⁷.

Se reconocen cuatro tipos generales de sistemas estructurales de resistencia sísmica, cada uno de ellos se subdivide según los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía del material estructural empleado. Los sistemas estructurales de resistencia sísmica que reconoce la Norma Sismo Resistente Colombiana son los siguientes:

Fig. 1 Sistemas Estructurales de Resistencia Sísmica

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE RESISTENCIA SÍSMICA			
SISTEMA		CARGAS VERTICALES	FUERZAS HORIZONTALES
MUROS DE CARGA			
COMBINADO			
PÓRTICO			
DUAL			

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Apéndice I Figura 4

⁷Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Apéndice I

1.1.1 Sistemas de muros de carga Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.

1.1.2 Sistema de pórtico Es un sistema estructural que tiene un pórtico estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

1.1.3 Sistema dual Es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Para que el sistema estructural se pueda clasificar como sistema dual se deben cumplir los siguientes requisitos:

El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales.

Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales, con el pórtico resistente a momentos, pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales, o de los pórticos con diagonales, pueden ser menor del 75 por ciento del cortante sísmico en la base.

1.1.4 Sistema combinado Es un sistema estructural en el cual las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales o las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual.

1.2 INTERACCIÓN MURO LOSA

El sistema estructural compuesto únicamente por muros de concreto reforzado y losas, recientemente ha sido adoptado para la construcción de edificaciones de gran altura. Software comercial tal como ETABS y RC BUILDING, comúnmente usado para el análisis de edificios de gran altura, asume un diafragma rígido para las losas de entre-piso. La rigidez a la flexión de las losas usualmente es ignorada en este análisis. Asumir esto puede ser razonable para el análisis de estructuras aporticadas. Sin embargo en edificaciones de gran altura, las losas de entre-piso pueden tener una influencia significativa en la respuesta lateral de las estructuras. Si la rigidez a flexión de las losas de entre-piso en las estructuras es totalmente ignorada, la rigidez lateral puede ser subestimada significativamente. En realidad, la sección fisurada de una losa determinara el aporte de su rigidez a la flexión que será incluida en el análisis⁸. Ahora en el caso de losas postensadas, su sección fisurada en condiciones de servicio puede ser significativamente menor o nula lo cual el aporte a la rigidez lateral es mayor, pero a su vez al considerar un nodo rígido implica en transmisión de momentos sísmicos a la losa que eventualmente generaría una inversión de esfuerzo.

1.3 CONCRETO PRESFORZADO

El Concreto Presforzado consiste en crear deliberadamente esfuerzos permanentes en un elemento estructural para mejorar su comportamiento de servicio y aumentar su resistencia. Los elementos que se utilizan van desde una vigueta hasta trabes para puentes de grandes claros, con aplicaciones tan variadas como durmientes para vías de ferrocarril, tanques de almacenamiento y rehabilitación de estructuras dañadas por sismo, entre otras. Gracias a dicho pre-esfuerzo es posible producir esfuerzos a compresión que al sumarse a los de a los de flexo-compresión producidos por las cargas gravitacionales se disminuyen o

⁸ Efficient seismic analysis of high-rise building structures with the effects of floor slabs - Lee, Fon-Guenn; Kim, Hyun-Su; Chun, Min Hah

eliminan tracciones, así mismo controla fisuras y deformaciones lográndose así diseños más eficientes que el concreto reforzado con acero pasivo.

1.4 ESFUERZOS ADMISIBLES

Tabla 1 Esfuerzos admisibles en concreto en transferencia

Compresión	$0.6 \cdot F_{ci}$
Tensión	$0.25 \cdot (F_{ci})^{0.5}$
Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente C.18.4.1	

Tabla 2 Esfuerzos admisibles en concreto en servicio

Compresión	$0.45 \cdot F_{ci}$
Tensión	$0.62 \cdot (F_{ci})^{0.5}$
Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente C.18.4.1	

Tabla 3 Esfuerzos limites en concreto presforzado

Mínimo Presfuerzo	Máximo Presfuerzo	
0.9 Mpa	3.5 Mpa	$F'_c/10$
Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente C.18.12.4, C.21.5.2.5		

Tabla 4 Esfuerzos limites en acero de presfuerzo

Tensionamiento	Transferencia
$0.94 \cdot f_{py}$	$0.82 \cdot f_{py}$
$0.8 \cdot f_{pu}$	$0.74 \cdot f_{pu}$
Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente C.18.5.1	

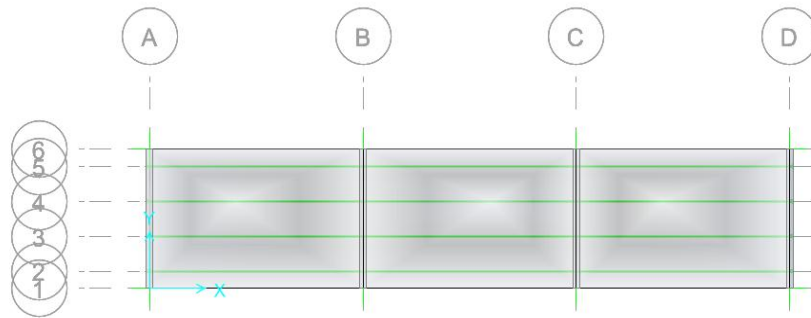
2. INTERACCIÓN MURO-LOSA ANTE LA ACCIÓN DE CARGAS VERTICALES

Mediante el modelamiento en elementos finitos y obtención de esfuerzos en franjas de diseño; se estudió el efecto que tienen los diferentes tipos de apoyo en una losa de concreto postensada ante los diferentes estados de carga y así mismo el efecto que se puede tener al presentarse asimetría en sus luces.

2.1 GENERALIDADES

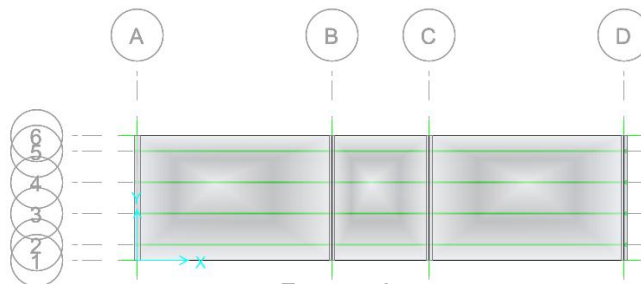
Se plantea una losa de 150mm de espesor y 2.2m de ancho con 3 luces de 5m apoyada sobre muros de 120,150 y 200 mm de espesor (Fig. 2 Losa post-tensada soportada sobre muros., así mismo soportada en apoyos teóricos: simplemente apoyada y con restricción al giro en su dirección principal; para así estudiar el efecto que puede tener la losa postensada con un presfuerzo de aproximadamente 1MPa efectivo ante la variación de las cargas en cada una de las luces.

Fig. 2 Losa post-tensada soportada sobre muros.



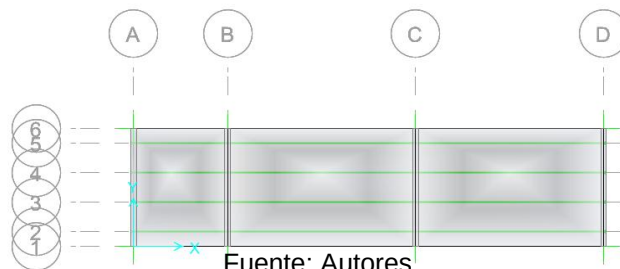
Cómo prueba adicional se modeló la losa postensada de 150mm apoyada sobre muros de 150mm de espesor pero esta vez variando la distribución de luces: (Fig. 3 Luces 5: 2,5: 5 Metros),(Fig. 4 Luces 2,5: 5: 5 Metros), (Fig. 5 Luces 1: 5: 5 Metros) siendo este ultimo un voladizo de 1m sometienolas a las mismas combinaciones de carga mencionadas en la Tabla 5 Combinaciones de Carga

Fig. 3 Luces 5: 2,5: 5 Metros



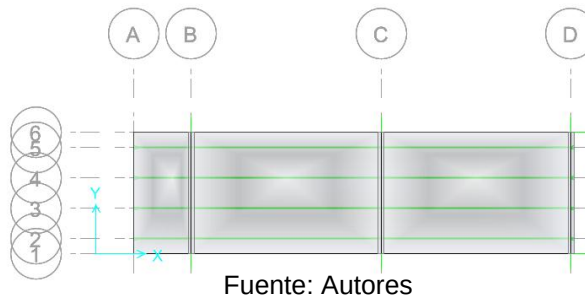
Fuente: Autores

Fig. 4 Luces 2,5: 5: 5 Metros



Fuente: Autores

Fig. 5 Luces 1: 5: 5 Metros

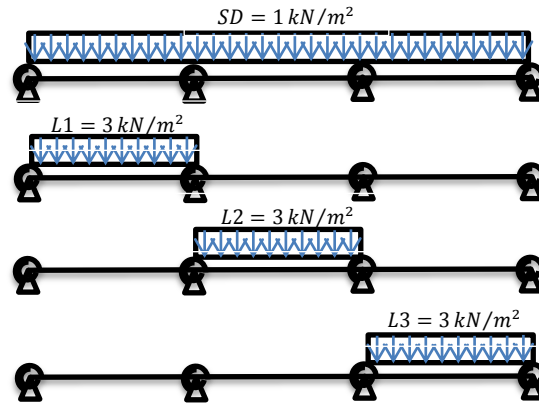


2.1.1 Cargas Y Combinaciones Se está aplicando una carga muerta adicional al peso propio de $SD = 1 \text{ kN/m}^2$ y 3 cargas vivas en cada una de las luces de $L1 = L2 = L3 = 5 \text{ kN/m}^2$ (Fig. 6). Las cargas vivas se calculan de forma independiente para combinarlas más fácilmente por el método de superposición de efectos

Tabla 5 Combinaciones de Carga

Combinación	Peso prop (D)	SD	L1	L2	L3	PT
transferencia	1	0	0	0	0	1*
a						
serv 1	1	1	1	1	1	1
serv 2	1	1	1	0	0	1
serv 3	1	1	0	1	0	1
serv 4	1	1	0	0	0	1
serv 5	1	1	1	1	0	1
serv 6	1	1	1	0	1	1
serv 7	1	1	0	1	1	1
*Considerando sólo pérdidas iniciales						
Fuente: Autores						

Fig. 6 Combinaciones de Carga



Fuente: Autores

2.1.2 Materiales Las propiedades de los materiales se obtuvieron a partir de literatura y de datos proporcionados por los fabricantes cómo los describen la tabla a continuación.

Tabla 6 Propiedades de los materiales

características del concreto				características del Acero PT		
f'_{ci} [MPa]	E_{ci} [MPa]	f'_c [MPa]	E_c [MPa]	f_{pu} [MPa]	F_{py} [MPa]	E_{sp} [MPa]
21	21538	28	24870	1860	1674	197000

Fuente: Autores

2.1.3 Presfuerzo En los modelos descritos anteriormente se han colocado 4 cables no adheridos de 12.7mm de diámetro (1/2") a una separación de 800mm, a

máximo perfil tomando un recubrimiento tanto inferior como superior de 17.3mm (Tabla 7.), aplicando esfuerzos de tensionamiento sólo en el extremos sobre el eje D y asumiendo las pérdidas descritas en la Tabla 8.

Tabla 7 Perfiles de Cable

Posición del tendón	Ubicación al CG del tendón a base
Apoyos exteriores (anclajes)	75mm
Apoyos interiores	120mm
Luces interiores	30mm
Fuente: Autores	

Fig. 7 Perfiles de Cables

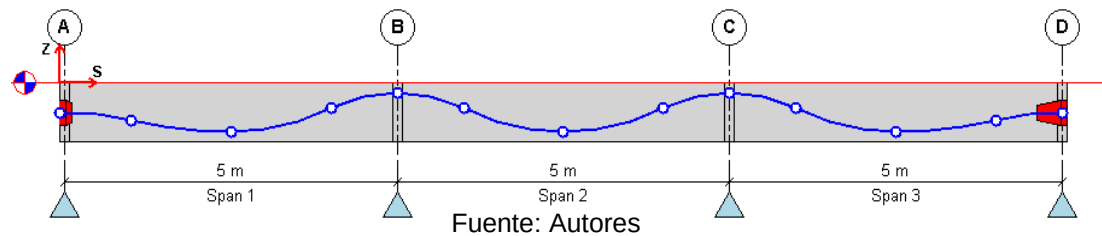


Tabla 8 Parámetros de Tensionamiento⁹

Tensionamiento		Pérdidas iniciales				Pérdidas a largo plazo		
fpj	Fpj	k	μ	δ	$\Delta\sigma_{ae}$	SH	CRc	CRs
1400 MPa	138 KN	0.001/ m	0.06	6 mm	8.00 MPa	28.00 MPa	32.00 MPa	50.0 0 MPa
Fuente: Autores								

⁹ Siguiendo recomendaciones de *Design of prestressed Concrete flat slabs*” Joint Structural Division of the South African Institution of Civil Engineering and the Institution of Structural Engineers, *Requirements for prestressed concrete AASTHO, Post-tensioned Concrete Floors-Design Handbook-The Concrete Society*

2.2 CÁLCULO DE ESFUERZOS

Para el cálculo de esfuerzos se han utilizado *strips* de diseño de ancho 800mm es decir la aferencia de cada cable (Tabla 7), de los cuales se puede computar los momentos producidos por las cargas impuestas y los efectos del presfuerzo en forma de momentos balanceados.

Tabla 9 Propiedades del *Strip* de Diseño

Área	1.20E+05 mm ²
$y_t = y_c$	75 mm
Inercia	2.25E+08 mm ⁴
$S_t = S_c$	3.00E+06 mm ³
ξ	0.333

Fuente: Autores

Tabla 10 *Strips* de Diseño

Dimensiones		Acero de Postensado	
Ancho	800 mm	Díámetro	12.7 mm
Espesor	150 mm	Área	98.71 mm ²

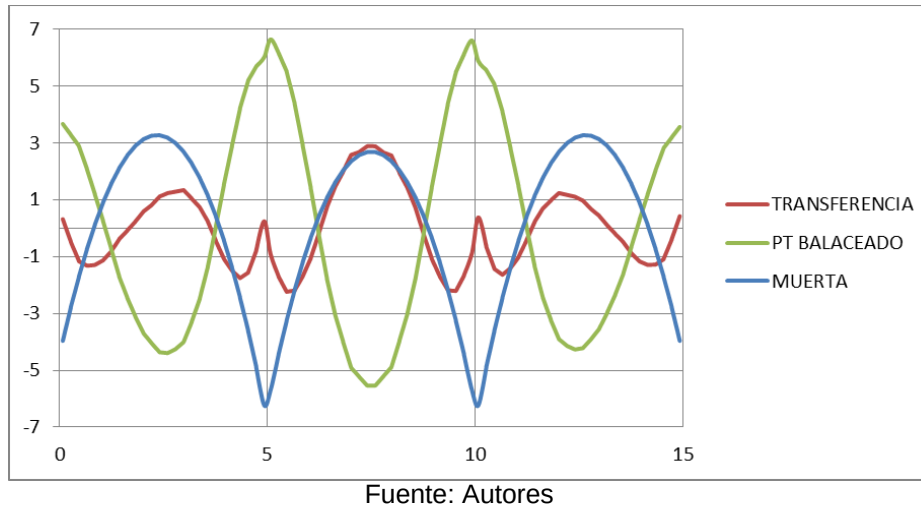
Fuente: Autores

Los momentos obtenidos para cada uno de los casos de cargas se combinan por el método de superposición de efectos, como se observa en la Fig. 8 dónde se muestra los momentos producidos por las cargas muertas, balanceadas y su resultante (Transferencia).

Los momentos son divididos entre el módulo de sección S del *strip* para obtener los esfuerzos en la fibra extrema superior e inferior producidos por las cargas de

servicio y de balance según sea la combinación para luego sumarle algebraicamente el esfuerzo a compresión producido por el tensionamiento.

Fig. 8 Diagramas de momentos

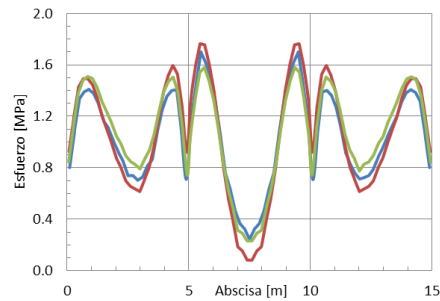


2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

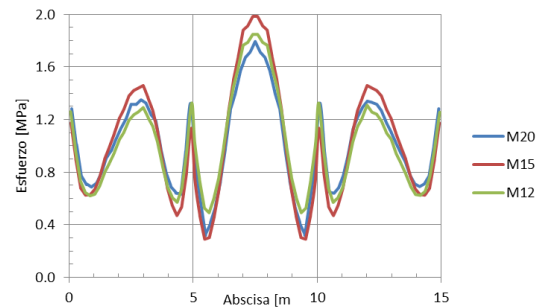
2.3.1 Efecto de la rigidez del apoyo Se compararon los esfuerzos producidos en la fibra extrema superior e inferior para cada una de las combinaciones en los diferentes espesores de muros y para los apoyos teóricos que se supusieron verificando que se encuentren en los estados límites.

Fig. 9 Esfuerzos del concreto en transferencia

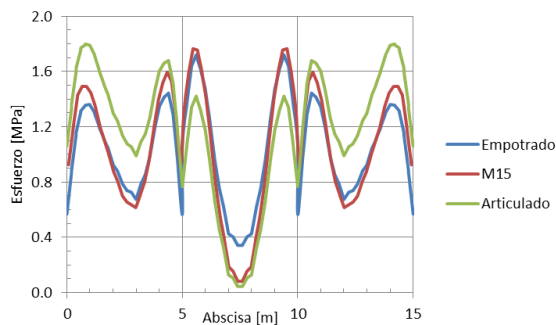
A) Fibra Extrema Superior



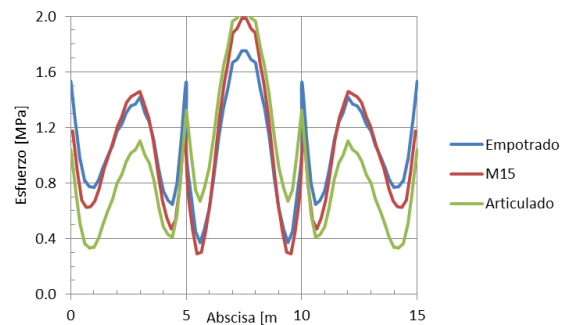
B) Fibra Extrema Inferior



C) Fibra Extrema Superior



D) Fibra Extrema Inferior

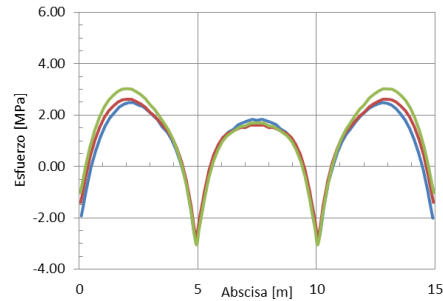


Fuente: Autores

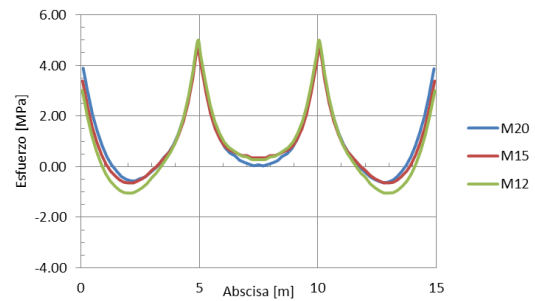
Las gráficas A y B de la Fig. 9 pueden parecer erráticas ya que no se ve una relación proporcional al espesor del muro, pero en realidad la distribución de momentos se ve afectada por estos que al combinarlas con la precompresión efectiva muestra esta relación; los momentos debido las cargas verticales en los apoyos aumenta al aumentar el espesor ya que al ser más rígidos restringen más el giro y producen mayores momentos mientras que la precompresión efectiva en el concreto disminuye al aumentar el espesor.

Fig. 10 Esfuerzos del concreto en cargas de "Servicio 1"

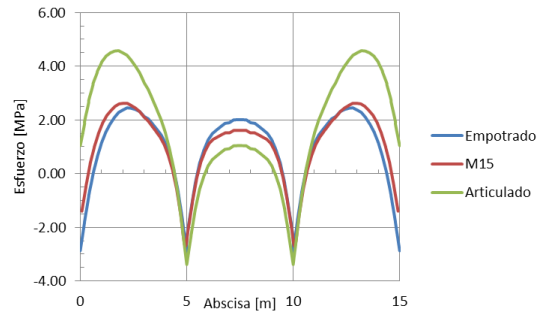
A) Fibra Extrema Superior



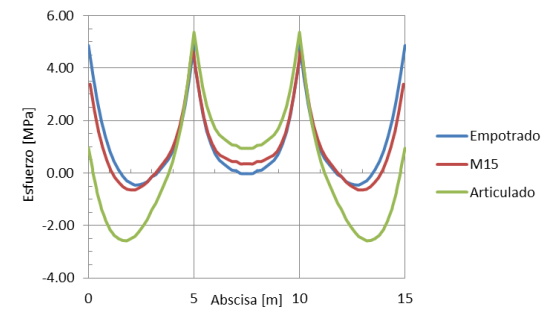
B) Fibra Extrema Inferior



C) Fibra Extrema Superior



D) Fibra Extrema Inferior

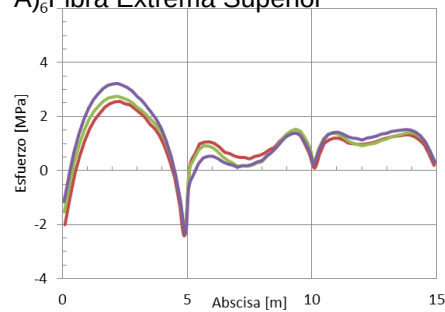


Fuente: Autores

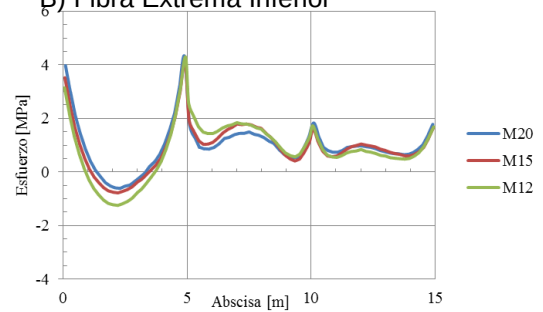
Como es de esperarse, tanto en el estado de transferencia como en el de servicio al aumentar la rigidez del muro muestra tensiones más grandes en la fibra extrema superior de los apoyos o en el caso del articulado compresiones (Fig. 10 (C)) así mismo en la fibra extrema inferior en la mitad de luz muestra tensiones más grandes al disminuir la rigidez del muro (Fig. 10 (D)); lo cual indica que el diseño en condiciones ideales no se debe sesgar a un apoyo empotrado o articulado, si no considerar el peor caso posible de ambas, sobre todo cuando se están limitando las tensiones en un presfuerzo clase U.

Fig. 11 Esfuerzos del concreto en cargas de "Servicio 2" (A-D) Y "Servicio 3" (E-H)

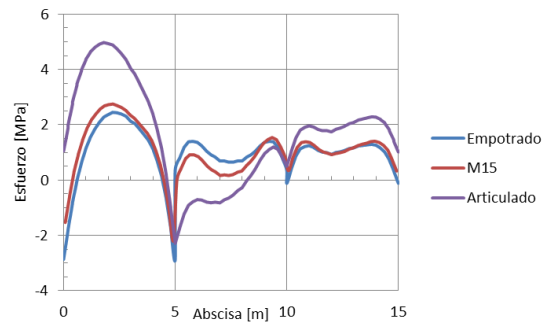
A) Fibra Extrema Superior



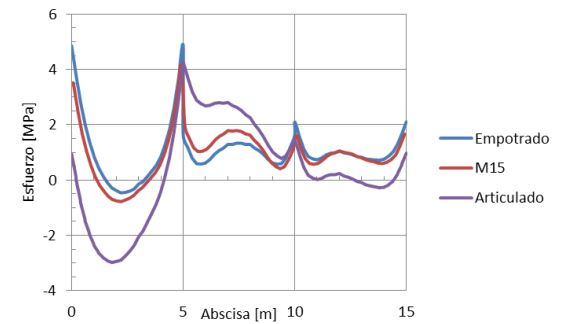
B) Fibra Extrema Inferior



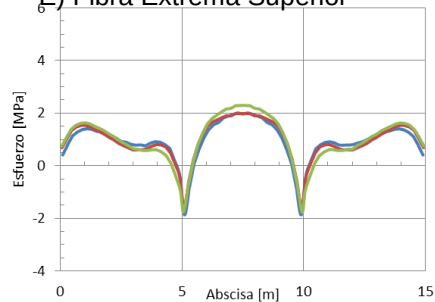
C) Fibra Extrema Superior



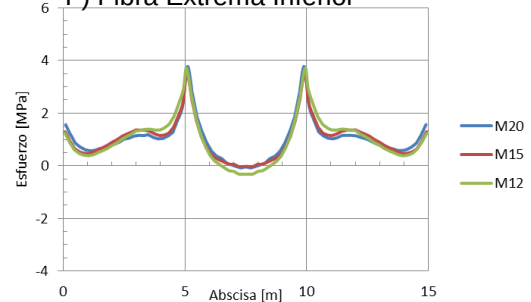
D) Fibra Extrema Inferior



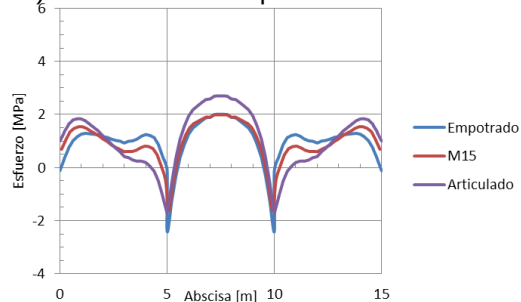
E) Fibra Extrema Superior



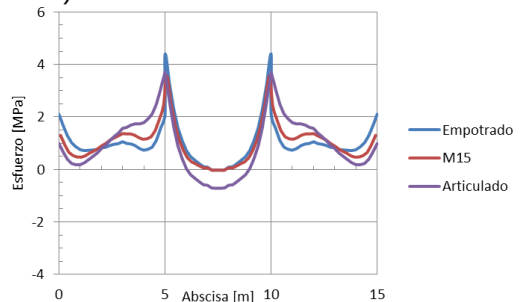
F) Fibra Extrema Inferior



G) Fibra Extrema Superior



H) Fibra Extrema Inferior

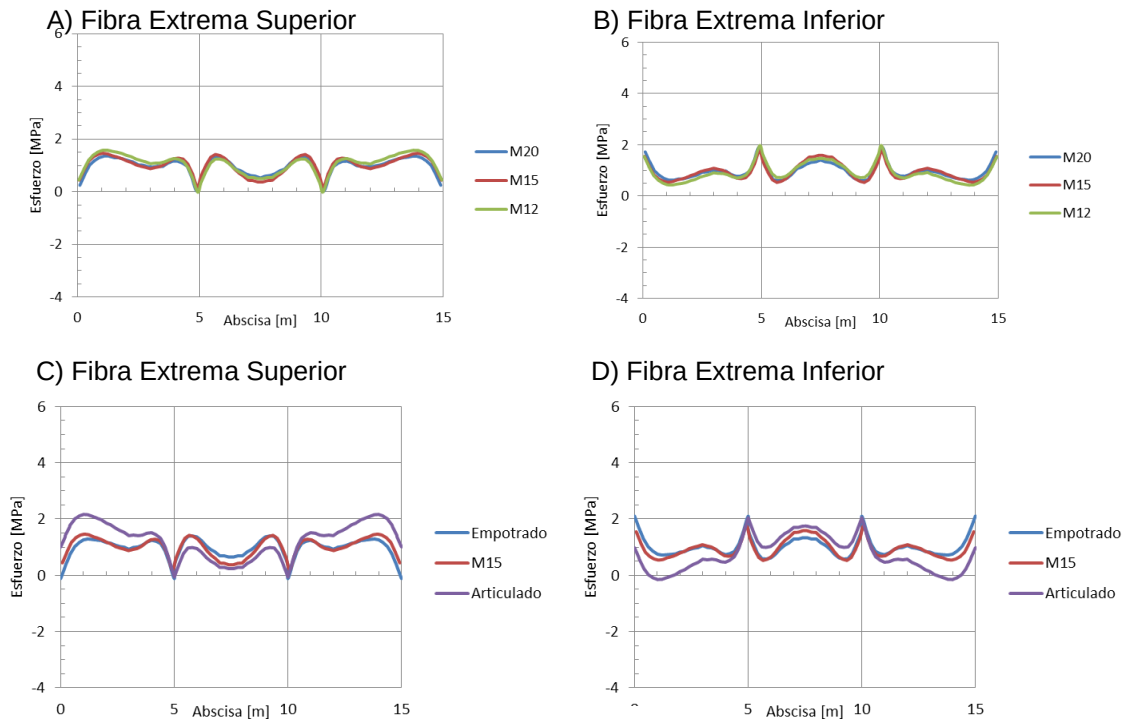


Fuente: Autores

En la condición de servicio 2 se puede observar que se produce una inversión de esfuerzos en la fibra superior de la cara derecha del segundo apoyo y en el centro de la luz, (Fig. 11(A) y (C)); pasando de tensiones a compresiones, mientras que en la condición de servicio 3 se produce en las luces exteriores (Fig. 11 (E) y (G)) siendo de menores proporciones a las de servicio 2.

Se puede apreciar una mayor de distribución de momentos cuándo el muro es más delgado o cuándo se simula un apoyo articulado.

Fig. 12 Esfuerzos del concreto en cargas de "Servicio 4"



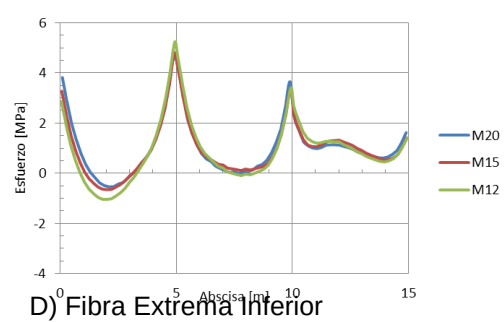
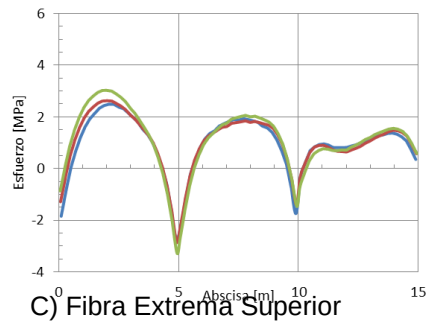
Fuente: Autores

En esta condición de servicio; sin cargas vivas, muestra como desaparecen las tensiones en los apoyos, trabajando casi toda la sección a compresión.

Fig. 13 Esfuerzos del concreto en cargas de "Servicio 5" (A-D) Y "Servicio 6" (E-H)

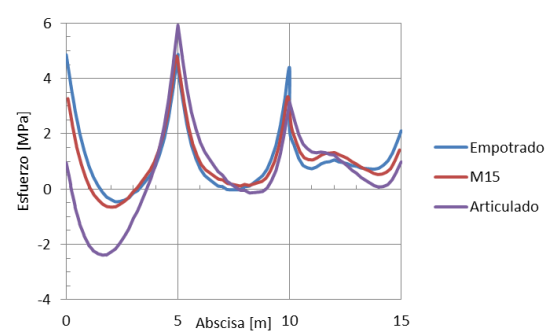
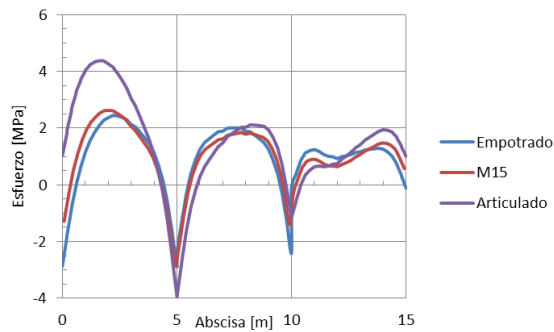
A) Fibra Extrema Superior

B) Fibra Extrema Inferior



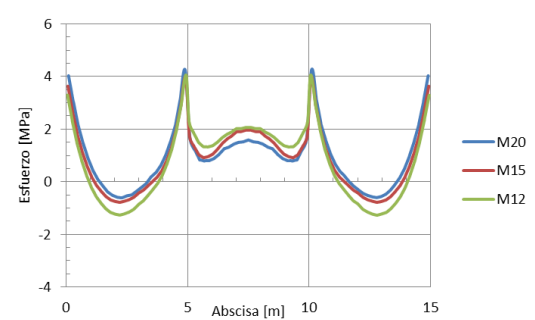
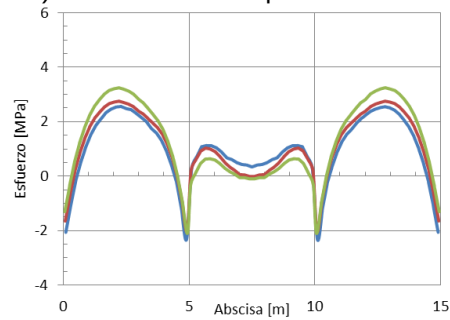
C) Fibra Extrema Superior

D) Fibra Extrema Inferior



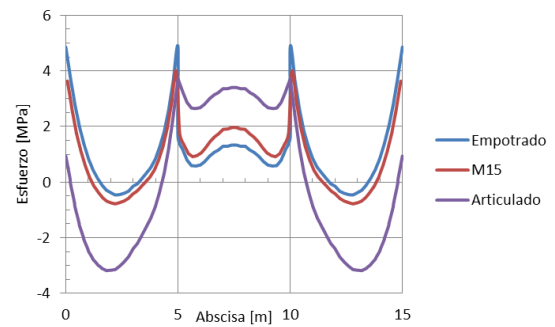
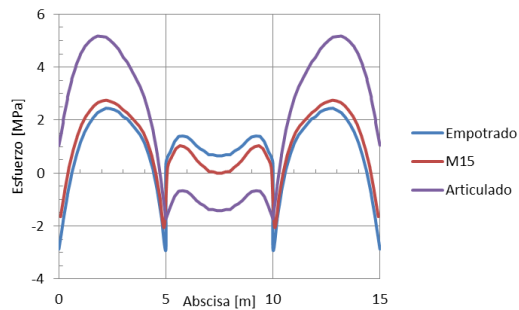
E) Fibra Extrema Superior

F) Fibra Extrema Inferior



G) Fibra Extrema Superior

H) Fibra Extrema Inferior



Fuente: Autores

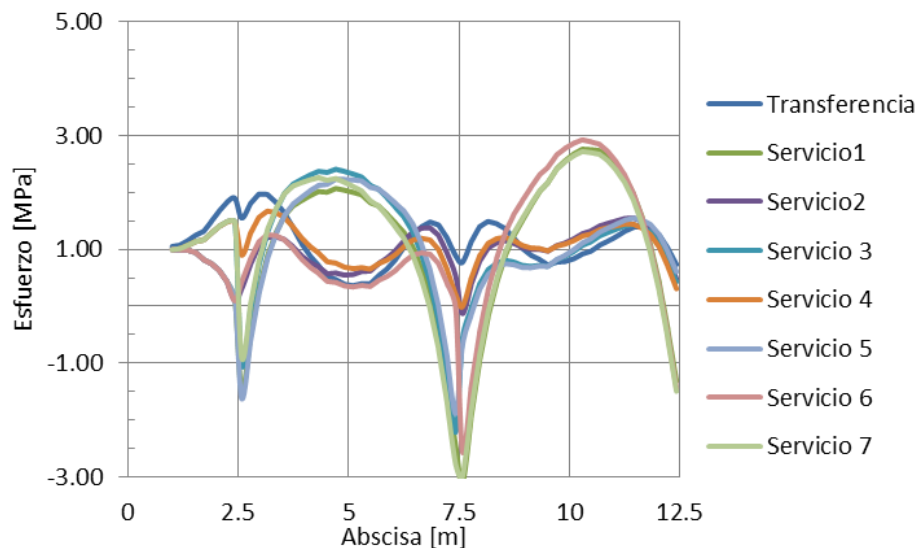
En la fibra extrema superior del segundo apoyo (Fig. 13 (C)) se produce una falla a tensión cuándo la losa se considera articulada, al igual que en la fibra extrema inferior de la primera luz (Fig. 13 (H)) aunque estas no son producto de una inversión son producto del sobreesfuerzo causado por la distribución de cargas y la consideración del apoyo.

2.3.2 Efecto de la asimetría en las luces Se computaron los esfuerzos que producen cada una de las combinaciones de carga, para verificar la distribución de momentos en la losa y la consecuencia que tiene la distribución de momentos de una luz grande contra una más chica

En la (Fig. 14) muestra cómo en el apoyo de un voladizo, el efecto del cable puede producir una inversión, que al combinarse con la ausencia de carga en el mismo lleva a tensiones la fibra inferior.

Fig. 14 Esfuerzos en el concreto para una luz de 1 (Voladizo), 5, 5 metros

A) Fibra extrema Superior



B) Fibra extrema Inferior

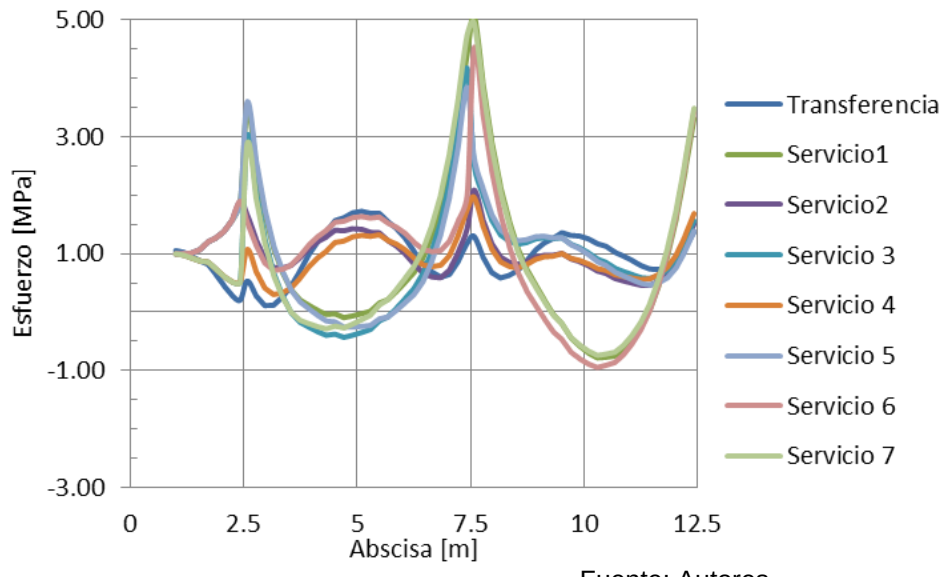
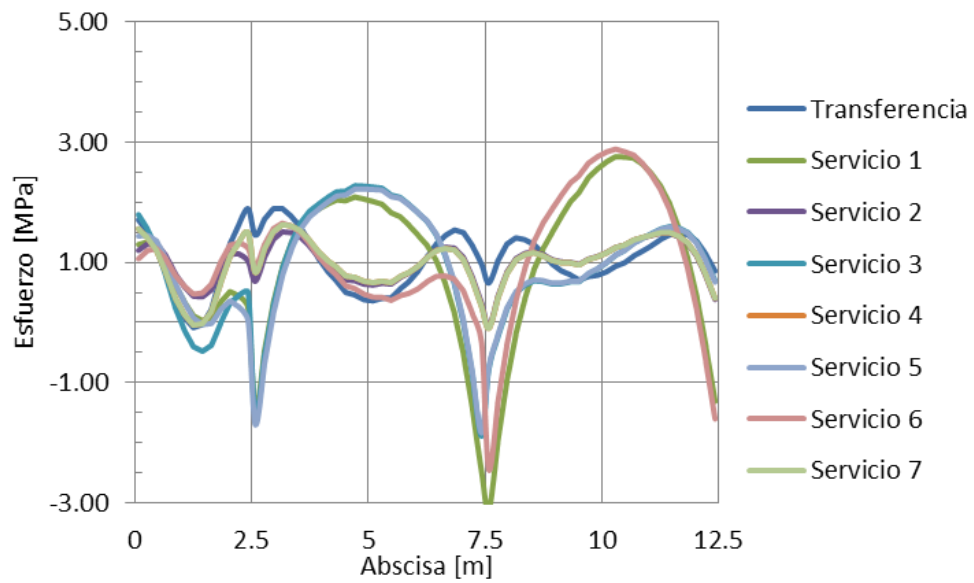


Fig. 15 Esfuerzos en el concreto para una luz de 2.5, 5, 5 metros

A) Fibra Extrema Superior



B) Fibra extrema Inferior

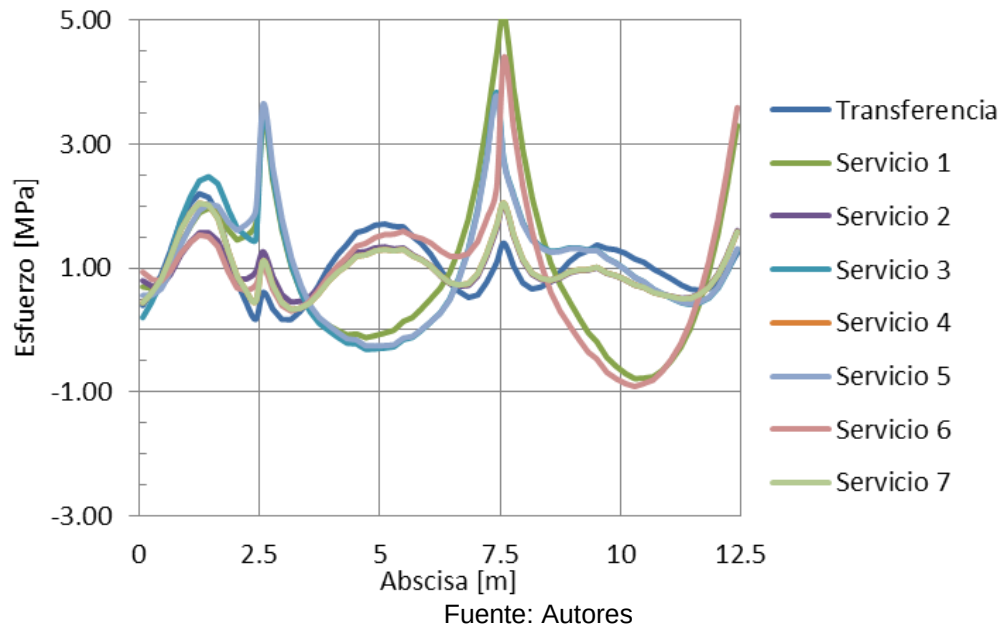
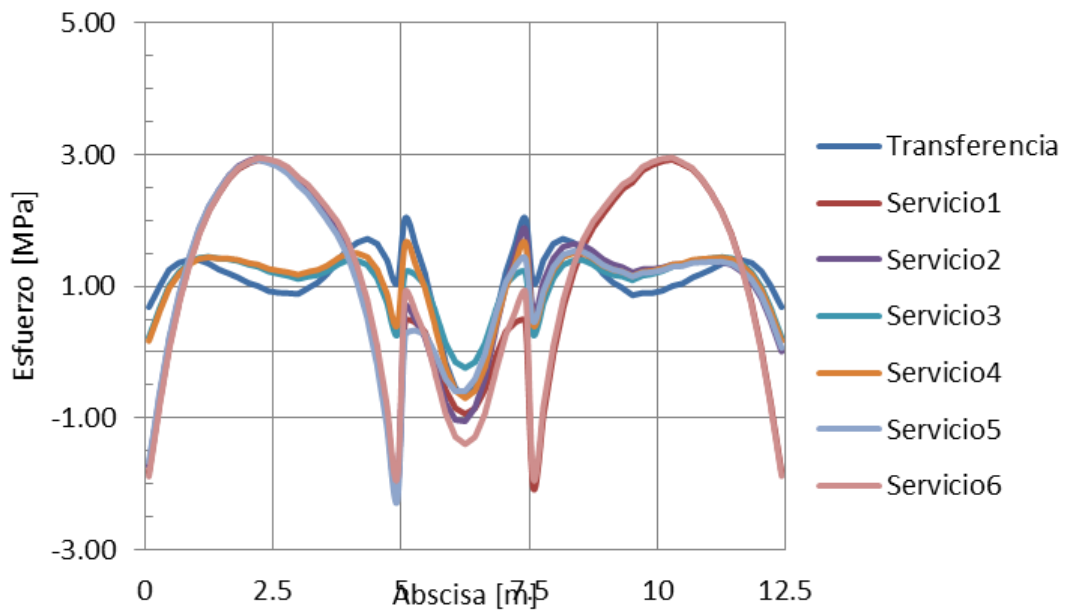
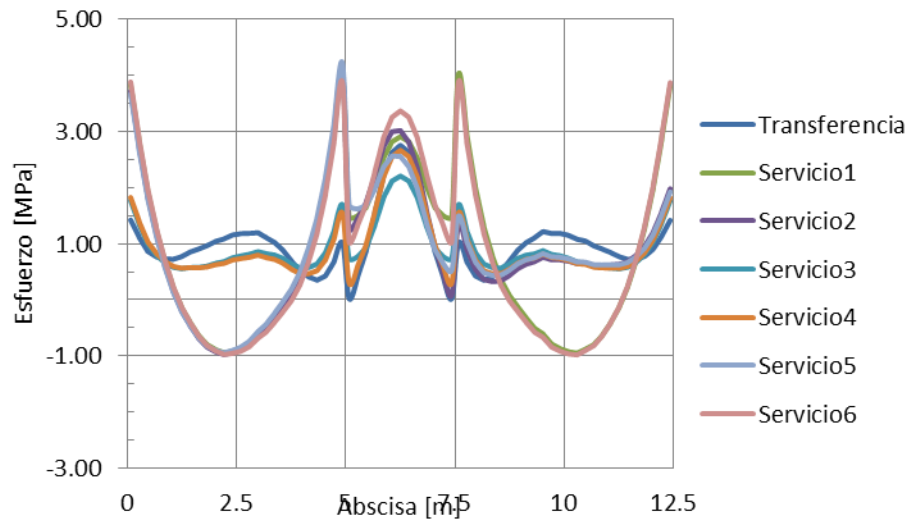


Fig. 16 Esfuerzos en el concreto para una luz de 5, 2.5, 5 metros

A) Fibra Extrema Superior



B) Fibra Extrema Inferior



Fuente: Autores

Principalmente se puede ver el efecto que tienen las luces grandes sobre las luces pequeñas que al sumarles el presfuerzo y el momento de balance que produce la excentricidad del cable tiende a levantar esa pequeña luz, produciendo así una inversión que en las condiciones planteadas no sobrepasa los estados límites.

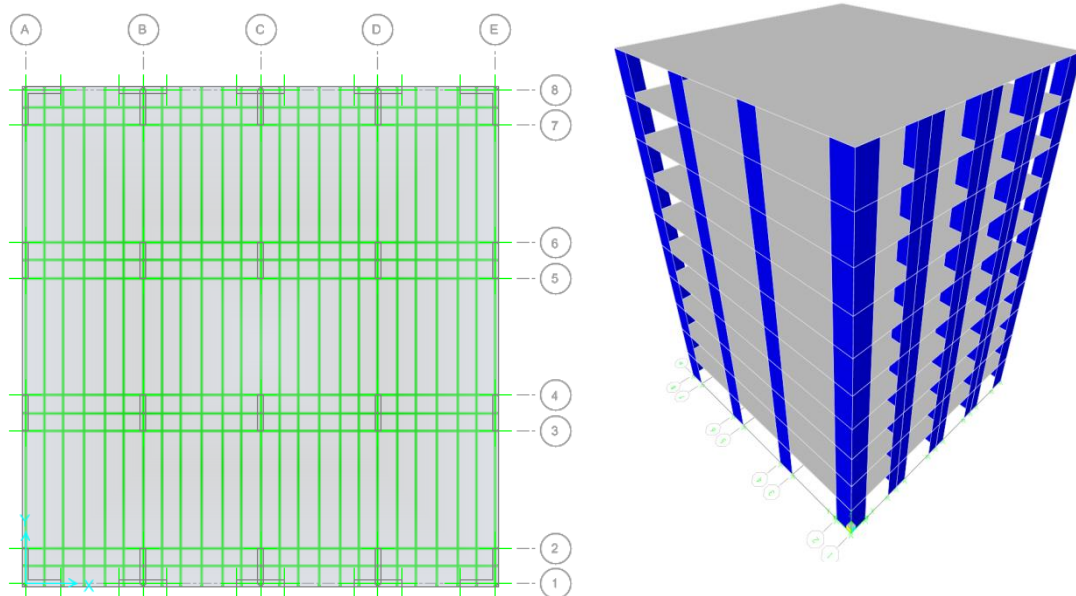
3. INTERACCIÓN MUROS LOSA ANTE CARGAS HORIZONTALES

Mediante el modelamiento tridimensional de una estructura, se estudió el efecto y la importancia que tiene la losa ante la respuesta dinámica de la propia estructura, y a su vez, la incidencia que puede tener dicha fuerza sísmica en la losa considerando una unión rígida entre el muro y la losa

3.1 GENERALIDADES

Se muestra un sistema estructural típico de una losa post-tensada armada en dos direcciones de 10 pisos (Fig. 17), soportado sobre muros estructurales, sometida ante cargas horizontales que en este caso son cargas de sismo en una zona de riesgo sísmico alto como Bucaramanga.

Fig. 17 Vista en Planta y tridimensional



Fuente: Autores

3.1.1 Cargas y combinaciones Se está aplicando una carga muerta adicional al peso propio de $SD = 1 \text{ kN/m}^2$, carga viva $L = 3 \text{ kN/m}^2$ y cargas de sismo en cada uno de los muros resultado del análisis sísmico E .

Se combinarán de la siguiente manera para su estudio en condiciones de servicio. (Todas las cargas sísmicas han sido divididas entre el coeficiente de disipación de energía $R=0.5$).¹⁰

Tabla 11 Combinaciones de Carga

Combinación	Peso propio (D)	SD	L	E	PT
transferencia	1	0	0	0	1*
serv 1	1	1	1	0	1
serv 2	1	1	1	0.7	1
serv 3	1	1	0	0.7	1

*considerando sólo pérdidas iniciales

3.1.2 Materiales Las propiedades de los materiales se obtuvieron a partir de literatura y de datos proporcionados por los fabricantes como los describen la tabla a continuación.

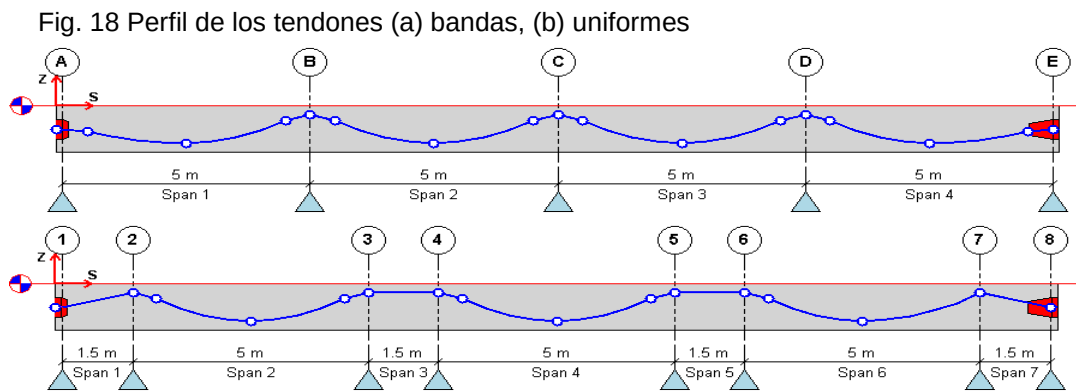
¹⁰Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente , Tabla A-3.1

Tabla 12 Propiedades de los materiales

características del concreto				características del Acero PT		
f'_{ci} [MPa]	E_{ci} [MPa]	f'_c [MPa]	E_c [MPa]	f_{pu} [MPa]	F_{py} [MPa]	E_s [MPa]
21	21538	28	24870	1860	1674	197000

Fuente: Autores

3.1.3 Presfuerzo La losa se encuentra postensada en dos direcciones con tendones distribuidos cada 800mm en la dirección de arriba abajo (Fig. 18 (B)), con 8 tendones bandeados en las apoyos centrales (ejes 3-4, 5-6) y 6 tendones bandeados en los apoyos exteriores (1-2, 7-8) (Fig.18 (A))



Fuente: Autores

Tabla 13 Parámetros de Tensionamiento

Tensionamiento		Pérdidas iniciales				Pérdidas a largo plazo		
f_{pj}	F_{pj}	k	μ	δ	$\Delta\sigma_{ae}$	SH	CRc	CRs
1400	138	0.001/m	0.06	6	8.00	28.00	32.00	50.00
MPa	KN			mm	MPa	MPa	MPa	MPa

Fuente: Autores

3.2 ANÁLISIS SÍSMICO

Para la representación de los movimientos sísmicos de diseño se usó el método de fuerza horizontal equivalente¹¹ y el método análisis dinámico elástico espectral;¹²

Para el método de Fuerza horizontal equivalente se obtuvieron los periodos fundamentales en cada dirección del análisis modal y se compararon con los máximos permitidos, se calculó el cortante sísmico en la base y así mismo las fuerzas sísmicas en cada piso, entre tanto para el método dinámico se compararon los cortantes sísmicos con los obtenidos en el método de Fuerza Horizontal y se corrigieron llevándolos a 80% de la misma.

Dicho análisis sísmico se desarrolló modificando la inercia efectiva de la losa, simulando así la rigidez en cada una de las posibles clases de presfuerzo; clase U, no fisurado (100% I_g), clase T, transición entre fisurado y no fisurado (70% I_g), y clase C, fisurado (25% I_g), y el uso de sólo un diafragma rígido sin aporte a la rigidez lateral.

¹¹Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, capítulo A-4

¹²Según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, capítulo A-5

Tabla 14 Análisis sísmico

PERIODOS			DINÁMICO ESPECTRAL	
	X	Y	X	Y
Ct	0.082	0.086	Vd	7063.81 KN
α	1	1	Porcentaje	79.1 %
Cu	1.285	1.285	corrección	1.14
Ta	2.46 s	2.57 s		1.15
Tmax	3.17 s	3.31 s		
FUERZA HORIZONTAL				
T	1.44 s	1.37 s		
Sa	0.32	0.34		
M	288 Ton	288 Ton		
Vs		9524.59		
	8932.9 KN	KN		
K	1.47	1.43		

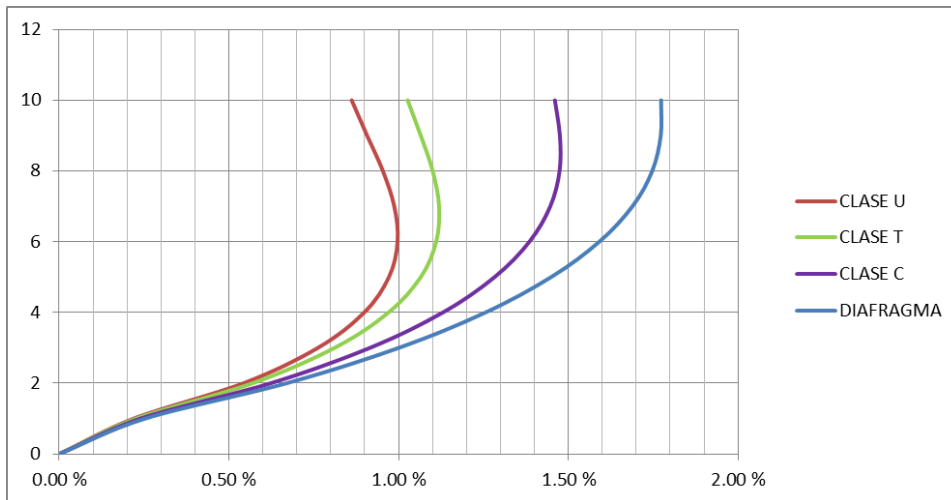
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de definir todos los elementos para la realización del análisis estructural se marcan dos puntos importantes: el qué importancia tiene la losa en el comportamiento global de la estructura y que efecto tiene la estructura en la misma losa.

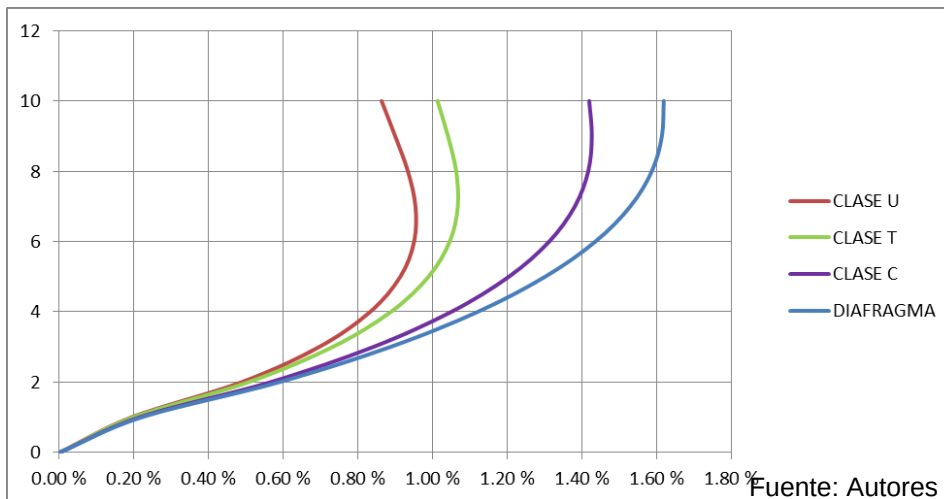
3.3.1 Efecto de la rigidez de la losa en la respuesta estructural Se compararon las derivas producidas en las dos direcciones producidas por el método de análisis dinámico elástico espectral, sólo se graficaron estas, ya que la tendencia se mantenía con respecto a la de fuerza horizontal equivalente y como era de esperarse este último presenta derivas más grandes.

Fig. 19 Comparación Derivas

A) Dirección X



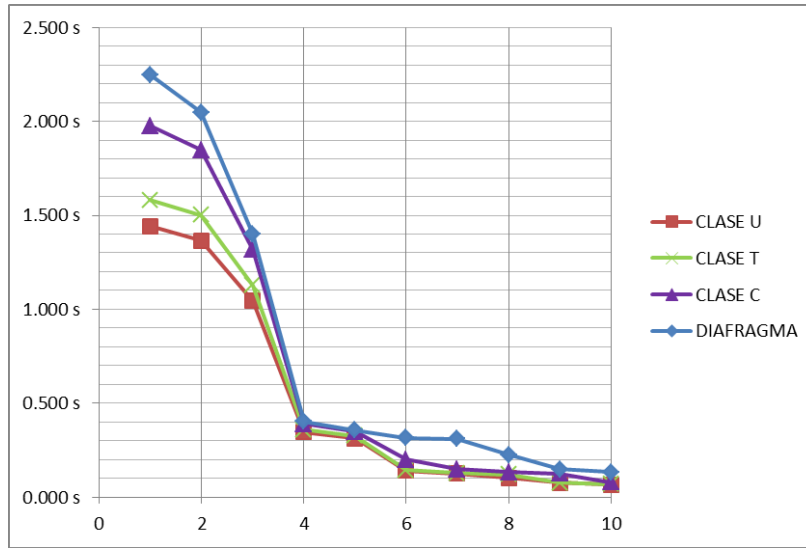
B) Dirección Y



Fuente: Autores

Se puede observar que a medida que la rigidez de la losa se aumenta, la deriva máxima se presenta a mitad de altura de la edificación, a diferencia del modelo con sólo el diafragma, lo cual demuestra el comportamiento típico de los muros de carga. De la misma manera se comparan los modos de vibración en los cuales se muestra la influencia de la rigidez de la losa en el periodo de vibración.

Fig. 20 Modos de vibración



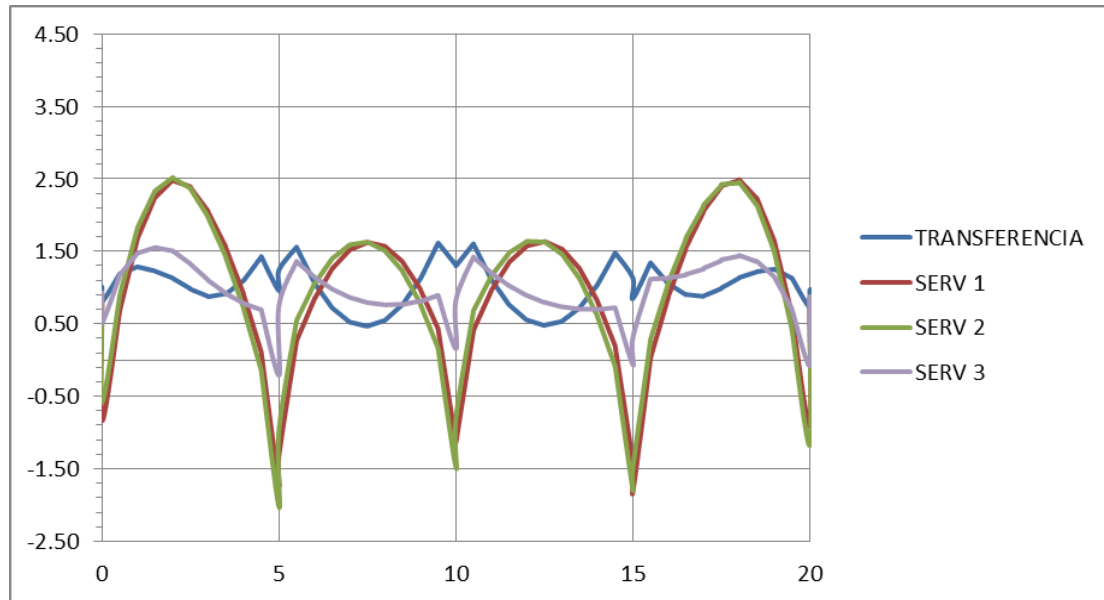
Fuente: Autores

3.3.1 Efectos sísmicos en la losa Al considerar un nodo rígido entre la losa y el muro, este nos puede transmitir momentos sísmicos a la losa. Para estudiar este efecto, se verificaron los esfuerzos en las diferentes combinaciones de servicio obteniendo los momentos de cada una de los casos de carga mediante *strips* de diseño.

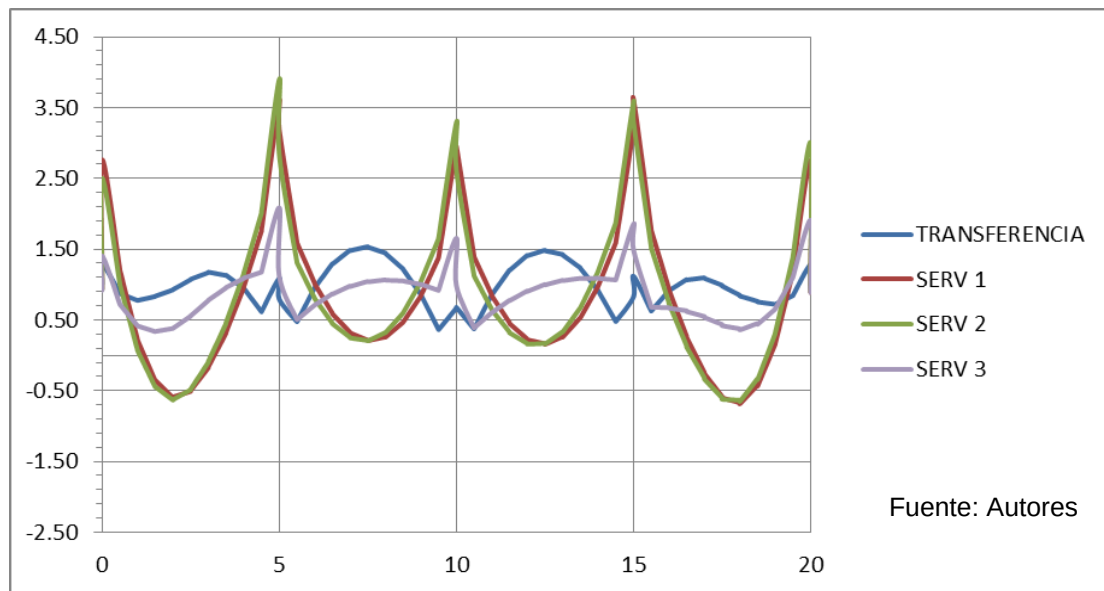
3.3.1.1 Dirección X (bandas) En un *strip* de 6.5m de ancho (Aferencia de un apoyo central) con 8 tendones se logra una precompresión efectiva de 0.97MPa se obtuvieron las siguientes distribuciones de esfuerzos.

Fig. 21 Esfuerzos debidos a cargas horizontales en dirección X

A) fibra extrema superior



B) Fibra extrema inferior



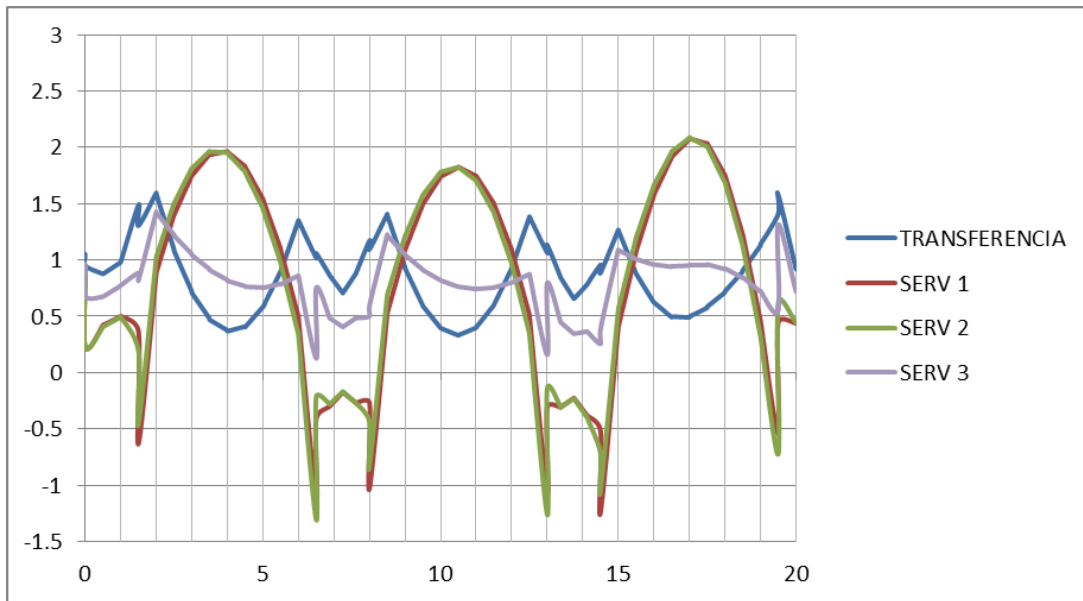
Fuente: Autores

Aunque el efecto de la fuerza sísmica en combinación con las demás cargas de servicio (*SERV 2*) no se diferencia a la de servicio vertical (*SERV 1*), se puede apreciar que el sismo sólo con la presencia de las cargas muertas (*SERV 3*) presenta una inversión de esfuerzos hacia los apoyos mostrando esfuerzos

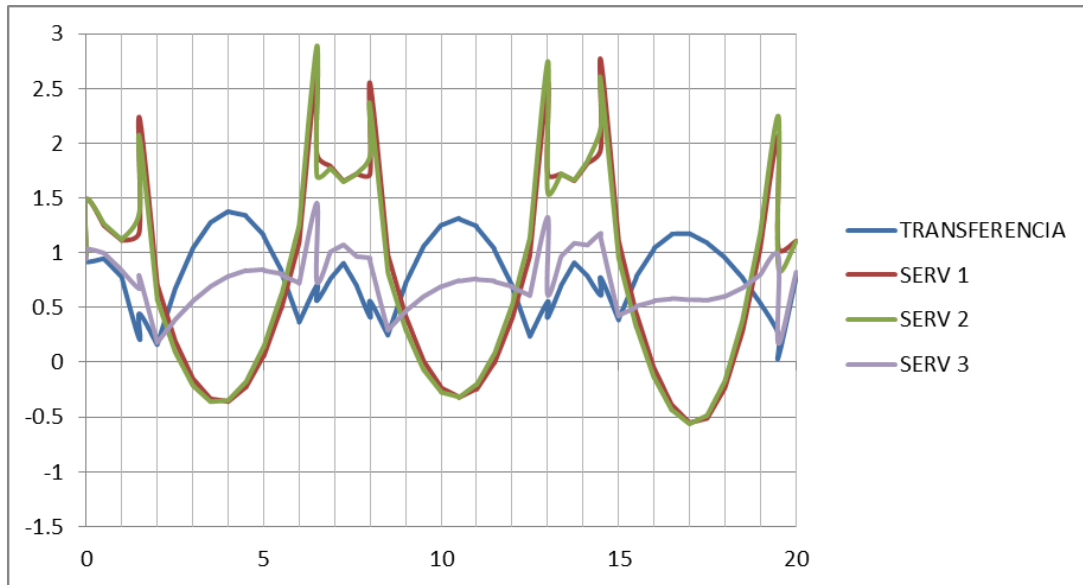
negativos en una cara y positivos en la otra, sin que se superen los estado límites de servicio.

3.3.1.2 Dirección Y (uniformes) En un *strip* de 5m de ancho (Aferencia de un apoyo central) con 6 tendones distribuidos cada 0.8m se logra una precompresión efectiva de 0.93MPa en dónde se obtuvieron las siguientes distribuciones de esfuerzos.

Fig. 22 Esfuerzos debidos a cargas horizontales en dirección Y
A) Fibra extrema superior



B) Fibra extrema inferior



De la misma manera el efecto sísmico no se distingue del efecto producido por las cargas verticales, pero este efecto sería más evidente si el sismo no se dividiera entre el coeficiente de disipación de energía R , para poder entrar a diseñar en el rango elástico lineal. Para resultados más certeros sería necesario analizar este tipo de estructuras en el rango inelástico no lineal en un método de capacidad

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se determinó que la influencia de la rigidez del muro sobre la placa no puede ser ignorada en un análisis de cargas verticales, y la rigidez de la losa es significativa para resistir los efectos de las cargas ambientales

Se evaluó que el espesor del apoyo influye en la distribución de momentos en la losa y mejora su respuesta ante cualquier asimetría, siendo esta relación inversa, dado que a menor espesor del muro se presenta una mejor distribución de momentos.

Se observó que la rigidez de la losa en función del tipo de presfuerzo tiene una relación directa en las derivas y que esta se vuelve más significativa al disminuir la rigidez de los muros.

Se comprobó que la distribución de las cargas verticales puede presentar una inversión de esfuerzos de tracción a compresión, lo cual, no emporra las condiciones a las que fueron diseñadas.

Para estudiar más profundamente el efecto sísmico que tiene el muro ante la losa se recomienda hacer un análisis inelástico no lineal, en un método de capacidad.

BIBLIOGRAFIA

Cyclic behaviour of interior post-tensioned flat plate connections – S.W. Han, S. H. Kee, T. H.-K. Kang, S.-S. Ha, J. W. Wallace and L-H. Lee

Design of prestressed Concrete flat slabs” Joint Structural Division of the South African Institution of Civil Engineering and the Institution of Structural Engineers, Requirements for prestressed concrete AASTHO, Post-tensioned Concrete Floors-Design Handbook-The Concrete Society

Efficient seismic analysis of high-rise building structures with the effects of floor slabs - Lee, Fon-Guenn; Kim, Hyun-Su; Chun, Min Hah

Incidencia de la Resistencia del concreto en las estructuras postensadas sometidas a flexión, Jairo Antonio Rivera Carvajal, Universidad industrial de Santander

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Apéndice I

Post-tensioned Concrete Floors – Design Handbook, the Concrete Society, 1994

ANEXOS

PERDIDAS DE PRESFORZADO

Acero		Concretos		Tensionamiento		PT Strip de diseño	
TIPO	GR 270	f'ci	21 MPa	f _{pj}	1400 MPa	Cantidad	1
f _{pu}	1860 MPa	f'c	28 MPa	F _{pj}	138 KN	diametro	12,7 mm
f _{py}	1674 MPa	E _{ci}	21538 MPa			Área	98,71 mm ²
E _{sp}	197000 MPa	E _c	24870 MPa				

PERDIDAS POR FRICCIÓN Y CURVATURA

FRICCIÓN	
k	0,001
μ	0,06

$$Px = Pj * e^{-(\kappa l + \mu * \alpha)}$$

PERDIDAS POR ASENTAMIENTO DE CUÑA

Asentamiento cuña δ	
δ	6 mm
X _{o global}	9565 mm
P _{xo}	131,54 KN

$$x_0 = \sqrt{\frac{\delta}{l} * \frac{Eps}{2 * \Delta p / Asp}}$$

ACORTAMINETO ELASTICO DEL CONCRETO

MOMENTO NEGATIVO		MOMENTO POSITIVO	
f top	1,98 MPa	f top	0,29 MPa
f bot	0,08 MPa	f bot	1,77 MPa
d _p	120 mm	d _p	30 mm
f cir	1,60 MPa	f cir	1,47 MPa
Δσ _{ae}	7,33 MPa	Δσ _{ae}	6,72 MPa
Δσ _{ae}	0,07 KN	Δσ _{ae}	0,07 KN

$$\Delta \sigma_{ae} = 0.5 E_{sp} \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

F_{cir}= Esfuerzo en el concreto en el centro de gravedad del acero de presfuerzo , debido a la fuerza de presfuerzo y a la carga muerta de la sección inmediatamente despues de la

RETRACCIÓN DE FRAGUADO DEL CONCRETO

HUMEDAD	
HR	80,0%
SH	28,00 MPa
SH	2,76 KN

$$SH = 0.80(1190 - 10.5 * HR)$$

FLUJO PLÁSTICO DEL CONCRETO

MOMENTO NEGATIVO		MOMENTO POSITIVO	
f top	1,98 MPa	f top	0,29 MPa
f bot	0,08 MPa	f bot	1,77 MPa
f top	-3,02 MPa	f top	0,58 MPa
f bot	3,02 MPa	f bot	-0,58 MPa
dp	120 mm	dp	30 mm
f cir	1,60 MPa	f cir	1,47 MPa
f cds	-1,81 MPa	f cir	-0,35 MPa
CRC	31,93 MPa	CRC	20,07 MPa
CRC	3,15 KN	CRC	1,98 KN

$$CRc = 12 f_{cir} - 7 f_{cds}$$

Fcir= Esfuerzo en el concreto en el centro de gravedad del acero de presfuerzo , debido a la fuerza de presfuerzo y a la carga muerta de la sección inmediatamente despues de la

Fcds= Esfuerzo en el concreto en el centro de gravedad del acero de presfuerzo , las cargas muerta adicionales .

RELAJACIÓN DE ACERO DE PRESFUERZO

RELAJACIÓN	
1000 hour relaxation	2,5%
factor de relajación	1,5
perdida de fuerza	3,75%
CRs	50,39 MPa
CRs	4,97 KN

TODAS LAS PERDIDAS A LARGO PLAZO

PERDIDAS	
ESFUERZO	110,32 MPa
FUERZA	10,89 KN

posición X	posición Y	Angulo	Longitud	F fricción	F curvatura	F iniciales	%iniciales	Fe	% diferidas
0 mm	75 mm	0,0000 rad	100 mm	138,19 KN	131,54 KN	131,47 KN	4,87%	120,58 KN	8,28%
100 mm	75 mm	0,0090 rad	500 mm	138,05 KN	138,05 KN	137,98 KN	0,16%	127,09 KN	7,89%
600 mm	71 mm	0,0270 rad	500 mm	137,76 KN	137,76 KN	137,68 KN	0,37%	126,79 KN	7,91%
1100 mm	57 mm	0,0300 rad	500 mm	137,44 KN	137,44 KN	137,37 KN	0,60%	126,48 KN	7,93%
1600 mm	42 mm	0,0180 rad	500 mm	137,22 KN	137,22 KN	137,15 KN	0,76%	126,26 KN	7,94%
2100 mm	33 mm	0,0060 rad	500 mm	137,11 KN	131,54 KN	131,47 KN	4,87%	120,58 KN	8,28%
2600 mm	30 mm	0,0120 rad	500 mm	136,94 KN	136,94 KN	136,87 KN	0,96%	125,98 KN	7,96%
3100 mm	36 mm	0,0360 rad	500 mm	136,58 KN	136,58 KN	136,50 KN	1,22%	125,61 KN	7,98%
3600 mm	54 mm	0,0599 rad	499 mm	136,02 KN	136,02 KN	135,94 KN	1,63%	125,05 KN	8,01%
4100 mm	84 mm	0,0539 rad	499 mm	135,51 KN	135,51 KN	135,44 KN	2,00%	124,55 KN	8,04%
4600 mm	111 mm	0,0180 rad	500 mm	135,30 KN	135,30 KN	135,22 KN	2,15%	124,33 KN	8,05%
5100 mm	120 mm	0,0180 rad	500 mm	135,08 KN	135,08 KN	135,01 KN	2,30%	124,12 KN	8,07%
5600 mm	111 mm	0,0539 rad	499 mm	134,58 KN	134,58 KN	134,51 KN	2,67%	123,62 KN	8,10%
6100 mm	84 mm	0,0599 rad	499 mm	134,03 KN	134,03 KN	133,96 KN	3,07%	123,07 KN	8,13%
6600 mm	54 mm	0,0360 rad	500 mm	133,67 KN	133,67 KN	133,60 KN	3,32%	122,71 KN	8,15%
7100 mm	36 mm	0,0120 rad	500 mm	133,51 KN	133,51 KN	133,44 KN	3,44%	122,55 KN	8,16%
7600 mm	30 mm	0,0120 rad	500 mm	133,35 KN	133,35 KN	133,27 KN	3,56%	122,38 KN	8,17%
8100 mm	36 mm	0,0360 rad	500 mm	132,99 KN	132,99 KN	132,92 KN	3,82%	122,03 KN	8,19%
8600 mm	54 mm	0,0599 rad	499 mm	132,45 KN	132,45 KN	132,38 KN	4,21%	121,49 KN	8,23%
9100 mm	84 mm	0,0539 rad	499 mm	131,96 KN	131,96 KN	131,88 KN	4,57%	120,99 KN	8,26%
9600 mm	111 mm	0,0180 rad	500 mm	131,75 KN	131,75 KN	131,67 KN	4,72%	120,78 KN	8,27%
10100 mm	120 mm	0,0180 rad	500 mm	131,54 KN	131,54 KN	131,47 KN	4,87%	120,58 KN	8,28%
10600 mm	111 mm	0,0539 rad	499 mm	131,05 KN	131,05 KN	130,98 KN	5,22%	120,09 KN	8,31%
11100 mm	84 mm	0,0599 rad	499 mm	130,51 KN	130,51 KN	130,44 KN	5,61%	119,55 KN	8,35%
11600 mm	54 mm	0,0360 rad	500 mm	130,17 KN	130,17 KN	130,09 KN	5,86%	119,20 KN	8,37%
12100 mm	36 mm	0,0120 rad	500 mm	130,01 KN	130,01 KN	129,93 KN	5,98%	119,04 KN	8,38%
12600 mm	30 mm	0,0060 rad	500 mm	129,90 KN	129,90 KN	129,82 KN	6,06%	118,93 KN	8,39%
13100 mm	33 mm	0,0180 rad	500 mm	129,69 KN	129,69 KN	129,62 KN	6,21%	118,73 KN	8,40%
13600 mm	42 mm	0,0300 rad	500 mm	129,39 KN	129,39 KN	129,32 KN	6,42%	118,43 KN	8,42%
14100 mm	57 mm	0,0270 rad	500 mm	129,12 KN	129,12 KN	129,05 KN	6,62%	118,16 KN	8,44%
14600 mm	71 mm	0,0090 rad	500 mm	128,99 KN	128,99 KN	128,91 KN	6,72%	118,02 KN	8,45%
15100 mm	75 mm	0,0050 rad	15100 mm	127,02 KN	127,02 KN	126,94 KN	8,14%	116,05 KN	8,58%