



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Uso de la losa postensada y su comportamiento estructural en el
sótano del hotel la paz, miraflores, lima – Perú – 2017

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Maturano Arteaga Victor Hugo

ASESOR:

Mg. Félix Delgado Ramírez

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Edificaciones Especiales

Lima – Perú

2017

PÁGINA DE JURADO

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

A mi familia.

AGRADECIMIENTO

A Dios y mi familia.

El autor.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Victor Hugo Manturano Arteaga, identificado con DNI N° 45156908 y en efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 07 de Setiembre del 2017

Victor Hugo Manturano Arteaga.
Dni: 45156908

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “USO DE LA LOSA POSTENSADA Y SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL EN EL SÓTANO DEL HOTEL LA PAZ, MIRAFLORES, LIMA – PERÚ – 2017”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Civil.

A continuación se describe los capítulos del contenido.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Tiene el mismo contenido y estructura que el plan de tesis, pero de forma más amplia y elaborada.

CAPÍTULO II

HIPÓTESIS Y VARIABLES

(Investigaciones cuantitativas) Tiene el mismo contenido y estructura que el plan de tesis, con la excepción de las investigaciones técnicas en las que se detallan las características del prototipo, técnica, procedimiento, etc., que se propone. En el caso de las investigaciones cualitativas, se prescinde este capítulo, por eso a partir de aquí éstos no se enumeran.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Tiene el mismo contenido y estructura que el plan de tesis. Adicionalmente, en la sección de ANEXOS se adjunta un ejemplar de cada instrumento y se detallan los procedimientos y resultados de su validación (de acuerdo a los criterios de validación requeridos, en dependencia del tipo de estudio).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Este capítulo es el más importante de la tesis. Para la presentación de los datos se usarán tablas y figuras. La información no debe repetirse, es decir: cada resultado se presenta en el texto, tabla o figura, pero solo en uno de ellos. Deben destacarse solo los aspectos más relevantes. Por su contenido, los resultados incluyen los datos obtenidos en el estudio, que contribuyen a dar respuesta a los problemas y objetivos de la investigación.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

En la discusión se analizan, comparan e interpretan los resultados, en correspondencia con las bases teóricas establecidas, los criterios del autor y los de otros autores. Debe hacerse hincapié en aquellos aspectos nuevos e importantes del estudio. No se deben repetir, de forma detallada, los datos y otras informaciones ya incluidas en los apartados de introducción y resultados.

CONCLUSIONES

Deben ser específicas, concretas y relacionadas de manera directa con los problemas, objetivos y las hipótesis planteados, así como derivarse únicamente de los resultados y su discusión. No deben ser resumen ni copia de los resultados. En los casos que se considere pertinente, pueden formar parte de la discusión.

RECOMENDACIONES

Deben referirse a las sugerencias del autor acerca de las posibilidades de aplicación práctica de los resultados, la profundización del estudio o la realización de otras investigaciones, producto de nuevas interrogantes que han surgido durante el trabajo. Deben estar directamente relacionadas con las conclusiones y ser breves y concisas.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Se detallan todas y únicamente las referencias bibliográficas o hemerográficas (impresas o electrónicas) que aparezcan en el cuerpo del proyecto, de acuerdo a las normas que correspondan a la disciplina.

ANEXOS

Colocar los documentos que complementan el cuerpo de la tesis y que se relacionan, directamente con la investigación.

El autor

INDICE

Página de jurado	I
Dedicatoria	II
Agradecimiento	III
Declaratoria de autenticidad	IIIV
Presentación	V
Resumen	XII
Abstract	XIII
1 Introducción	14
1.1 Realidad problemática.	14
1.2 Trabajos previos	15
1.2.1 Antecedentes nacionales	15
1.2.2 Antecedentes internacionales	17
1.3 Teorías relacionadas al tema	19
1.3.1 Comportamiento estructural	23
Losas Postensadas	25
1.3.2 Comportamiento estructural	30
1.4 Formulación del problema	32
1.4.1 Problema general	32
1.4.2 Problemas específicos	33
1.5 Justificación del estudio	33
1.5.1 Justificación teórica	34
1.5.2 Justificación social	34
1.5.3 Justificación económica	34
1.5.4 Justificación práctica	35

1.5.5	Justificación metodológica	35
1.6	Hipótesis	35
1.6.1	Hipótesis general	35
1.6.2	Hipótesis específicas	36
1.7	Objetivos	36
1.7.1	Objetivo general	36
1.7.2	Objetivos específicos	36
2	Método	36
2.1	Diseño de investigación	36
2.1.1	Tipo de diseño	37
2.1.2	Nivel de investigación	37
2.1.3	Diseño de investigación	37
2.2	Operación de variables	37
2.3	Población y muestra	38
2.3.1	Población:	38
2.3.2	Unidad de análisis	39
2.3.3	Muestra	39
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	39
2.4.1	Técnicas	39
2.4.2	Instrumento	39
2.5	Métodos de análisis de datos	39
2.6	Aspectos éticos	40
3	Análisis y resultados	40
3.1.1	Efecto de las dimensiones de la losa en el postensado	41
3.1.2	Diseño de losa maciza unidireccional en concreto armado	56
3.1.3	Diseño de losa con 15 cm de espesor	56

3.1.4	Diseño de losa con 10cm de espesor	63
3.1.5	Diseño de losa de 10cm con postensado	65
3.2	Efecto de las dimensiones en el postensado	70
3.3	Comportamiento de losa de 10m de luz	71
3.4	Diseño en concreto armado	71
3.5	Diseño en concreto presforzado	74
3.5.1	Losa postensada de 20cm	74
3.5.2	Losa postensada de 12.5 cm	82
3.6	El flujo plástico en el comportamiento de las losas postensadas	87
3.6.1	Efecto del agrietamiento en estructuras	87
3.6.2	Deflexiones instantaneas	87
3.6.3	Deflexiones diferidas	88
3.6.4	Losa de concreto armado 20cm	93
3.6.5	Efecto agrietamiento en las deflexiones	93
3.6.6	Efecto del creep y el shrinkage en las deflexiones	96
3.6.7	Losa postensada 20cm	97
4	Discusión	101
4.1	Efecto de las dimensiones de la losa en el postensado	101
4.2	El postensado en losas unidireccionales	102
4.3	El flujo plástico en el comportamiento de losas postensadas	104
VI.	Recomendaciones	107
VII.	Referencias bibliográficas	109
Anexos		112

RESUMEN

En esta tesis tuvo como título “Uso de la losa postensada y su comportamiento estructural en el sótano del hotel la paz, miraflores, lima – Perú – 2017”. Cuyo objetivo general fue evaluar el comportamiento estructural de losas postensadas siendo **BASILO**, 2015 quien fundamenta la teoría la losa postensada basada en el análisis de sus : Características: Presfuerzo, Flujo plástico. Para el comportamiento estructural, Crainic y Munteanu (2012) propone al respecto de “Seismic Performance of Concrete Building la evaluación de la Deformación, grietas y el Esfuerzos de flexión.

La metodología utilizada fue tipo aplicativo, de nivel descriptivo explicativo, de diseño no experimental. La población, fueron las obras de edificaciones con características iguales y similares para sótanos. La muestra se tomó es la estructura del sótano del Hotel La Paz, Miraflores, Lima, Perú.

El trabajo permitió concluir que el postensado en losas de sótano, tiene un efecto benéfico en el comportamiento estructural de este tipo de elementos, específicamente el postensado disminuye las deflexiones y el número de grietas presentes en las losas, así mismo se encontró que la aplicación del postensado en losas, permite disminuir el espesor de las losas, sin comprometer su comportamiento bajo cargas de servicio ni su capacidad de resistencia.

ABSTRACT

This thesis was titled as, "Use of the post-tensioned slab and its structural behavior in the basement of La Paz hotel, Miraflores, Lima - Peru - 2017". Its general objective was to evaluate the structural behavior of post-tensioned slabs, being BASILO (2015), who bases the theory on post-tensioned slabs, based on the analysis of its most important parameters: Prestrain and Plastic flow (Creep). For the structural behavior, Crainic and Munteanu (2012), proposes in this respect in "Seismic Performance of Concrete Building", the evaluation of Deformations, cracks and Bending Efforts.

The methodology used was an application type, descriptive descriptive level, non-experimental design. The population was assumed as building works with similar characteristics for basements of interest. However, this work, the sample taken was the basement structure of the Hotel La Paz, Miraflores, Lima, Peru.

The work allowed concluding that post-tensioning in reinforcement concrete slabs has a beneficial effect on the structural behavior of this type of elements, specifically, it was observed that the post-tensioning decreases the deflections and the number of cracks present in the slabs, likewise it was found that the application of the post-tensioning in slabs, allows to reduce the thickness of the slabs, without compromising their behavior under service loads or their resistance capacity.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.

El uso del postensado en la construcción de losas ha sido aceptado y adoptado exitosamente desde hace unas décadas en varios países de todo el mundo, siendo Estados Unidos el pionero en el uso de estos sistemas en las losas con H. Jackson en el año de 1886 (Escamilla C. y Rodríguez M. "El postensado en la edificación" 2010 p.5). Actualmente el comportamiento del sistema postensado para edificaciones es muy conocido y existen capítulos especialmente dedicados a ellos en varios reglamentos internacionales.

En el Perú, la normatividad vigente respecto al diseño de estructuras postensadas puede ser encontrada en norma E060 (Diseño de estructuras de concreto armado), la citada norma reglamenta las condiciones mínimas para el diseño de elementos de concreto armado y le dedica apenas un capítulo al diseño de estructuras postensadas, por lo que podemos decir que la información contenida ahí es aún insuficiente, por tanto el diseño de estructuras postensadas debe ser complementada con información externa, principalmente normas internacionales. De lo anterior podemos decir que el comportamiento estructural de estas estructuras es aún poco conocido en el país.

En la ciudad de Lima se han desarrollado muchos proyectos inmobiliarios que han hecho uso de las losas postensadas, como el edificio Lima Central Tower, Edificio Pardo y Aliaga, Edificio Empresarial Moore, entre otros (Blanco Blasco, Antonio "Conceptos de diseño de estructuras sismoresistentes con elementos postensados en el Peru", 2016), en el desarrollo de estos proyectos se pudieron observar las ventajas del uso de losas postensadas, especialmente en los sótanos, ventajas como la reducción de la altura de entrepiso, la reducción del peralte de las losas entre otras.

Uno de los proyectos inmobiliarios más importantes realizados en la ciudad de Lima, específicamente en el distrito de Miraflores, es el hotel La

Paz, esta estructura cuenta en la actualidad con siete sótanos en los que se usaron losas postensadas con sistema no adherido, en este trabajo se pretende hacer un estudio del comportamiento estructural de las losas postensadas usadas para desarrollar el mencionado proyecto, arrojando más luces sobre el uso de este tipo de estructuras en edificaciones.

La presente investigación contribuirá, con una metodología para la evaluación del comportamiento estructural de losas postensadas, con este fin se hará uso de herramientas computacionales y modelos numéricos más difundidos en el Perú.

1.2 TRABAJOS PREVIOS

1.2.1 Antecedentes nacionales

Velarde y Portocarrero, 2013, p. 58, en el trabajo “Aplicación del sistema postensado en losas de concreto armado”, tesis para optar el título de ingeniero civil en la Universidad de Ciencias Aplicadas, cuyo diseño de estudio es experimental y **método** de estudio cuantitativo, menciona que el concreto postensado ha logrado convertirse en una alternativa interesante para optimizar procesos constructivos aplicados a diferentes tipos de estructuras en concreto armado.

Concluyendo que:

- Se tiene que efectuar un análisis técnico económico antes de decidir adoptar un sistema postensado, influyen factores como posición de instalaciones y alturas de entrepiso (p.85).

Gatica V., 2005, p. 75, afirmó en: “Estudio comparativo entre losa tradicional de hormigón armado y losa postensada con adherencia” tesis para optar el título de ingeniero civil universidad austral de Chile, facultad de ciencias de la ingeniería 2005, cuyo **diseño** de estudio es experimental

y **método** de estudio cuantitativo, demuestra las ventajas del sistema de losas postensadas.

Concluyendo que:

- La reducción de plazos de ejecución de la obra gruesa gracias a la utilización de hormigón con resistencias altas a poco tiempo de secado, lo que permite descimbrados mucho más tempranos.
- Reducción de espesor, cantidad de armadura pasiva y, en general, de peso propio respecto del concreto armado, lo cual permite el aumento de la longitud de las luces.
- Estructuras ligeras que permiten disminuir la altura del edificio, reducir las cargas de fundación y aumentar las luces.
- Soluciones estructurales con bajos requerimientos de mantención. (p.121)

Saltarini K., 2005, p.85, afirmó en: "Sistema de losas postensadas para fundaciones en arcillas expansivas" tesis para optar el título de ingeniero civil universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, facultad de ciencias de la ingeniería 2005, cuyo diseño de estudio es experimental y **método** de estudio cuantitativo, afirma que los sistemas de losas postensadas, han tenido una amplia difusión en estados unidos, como consecuencia de la búsqueda de alternativas de fundación sobre este tipo de suelos.

Concluyendo que se:

- El sistema de losas postensadas sobre arcillas expansivas, tiene grandes ventajas técnicas y económicas, si bien su utilización está limitada por las variables que fundamentan su diseño, esta debe ser considerada como una alternativa concreta, y aplicable, dentro de las ya conocidas en nuestro país. De todas maneras se espera un incremento de su utilización, una vez que el sistema sea mayormente difundido. (p.5)

1.2.2 Antecedentes internacionales

Montaño L., 2008, p.55, afirmó en: “Diseño y aplicación de sistemas de postensado de losas con tendones no adheridos en estructuras de uso habitacional y comercial” tesis para optar el título de ingeniero civil universidad Andrés Bello, facultad de ciencias de la ingeniería 2008, cuyo **diseño** de estudio es experimental y **método** de estudio cuantitativo, define que el postensado de losas es una alternativa eficaz y a bajo costo y que es nuevo en nuestro medio.

Concluyendo que:

- Haciendo una comparación de costos entre una losa postensada de concreto armado en dos direcciones y la losa originalmente diseñada originalmente para la construcción del edificio “Venus” con concreto armado se prevee una reducción en el costo de la losa de un 14% (Montaño, 2006).
- Se reduce la altura de entrepiso en un 50%. Es decir 20 centímetros en cada losa, lo que lleva a una reducción en la altura del edificio de 2.40m.
- Una vez diseñada esta losa alcanzamos a ver que al no tener vigas, los espacios son mucho más limpios y estéticos logrando así con una de las ventajas del uso de las losas postensadas.(p.14)

Bravo M., 2013,p.32, afirmó en: “Diseño de losas postensadas en edificaciones, con aplicación al caso del edificio parque tecnológico de la universidad de cuenca” tesis para optar el título de ingeniero civil universidad andrés bello, facultad de ciencias de la ingeniería 2013, cuyo **diseño** de estudio es experimental y **método** de estudio cuantitativo, nos dice que para probar las bondades que ofrece el postensado en losas de edificaciones, se ha escogido a manera de ejemplo realizar un rediseño de las losas de la edificación del parque tecnológico de la universidad de cuenca, que presenta características específicas para la aplicación de esta técnica.

Concluyendo lo siguiente:

- En la propuesta del rediseño conveniente mantener las dimensiones geométricas tanto de las vigas como de las viguetas planteadas en el diseño original del parque tecnológico, debido a que del análisis realizado se obtiene un mejor comportamiento en la condición original, que el que se obtiene reduciendo la altura de las vigas.
- El tiempo de apuntalamiento y encofrado de las losas se reduce en un 40%, debido a que después del tensado de los cables se puede iniciar las labores de desapuntalamiento y desencofrado, esta condición favorece mucho a la ejecución de esta obra ya que por su forma es probable que los cofres sean fabricados específicamente para el proyecto. (p.91-92)

Quilumba V. (2015), afirmó en: “Análisis y diseño de losa de hormigón armado con elementos postensados” tesis para optar el título de ingeniero civil universidad técnica de Ambato, facultad de ciencias de la ingeniería 2015, cuyo **diseño** de estudio es experimental y **método** de estudio cuantitativo, nos dice que en el área de ingeniería civil, el postensado en losas es un sistema recientemente aplicado a día de hoy. Debido al crecimiento del país en los últimos años, el sector constructor ha experimentado, nuevas formas y técnicas de construcción (p.31).

Concluyendo que:

- Se ha diagnosticado bibliográficamente diferencias teóricas en la aplicación de fórmulas analíticas en el proceso de cálculo de una losa de hormigón con elementos postensados, con el de una losa tradicional de hormigón armado.
- Con la aplicación de la filosofía del preesfuerzo, se dará una solución a la nueva tendencia de proyectos de ingeniería contemporánea. (p.272-274)

1.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

1.3.1 LOSA POSTENSADA

SALINAS 2015 p15; En su exposición titulada “estructuras postensadas”, define el postensado como:

“La técnica de reforzar concreto sometiéndolo a pre compresión, para que este aumente su resistencia a la tracción. Aquí es donde se colocan estratégicamente cables de alta resistencia tensados dentro del elemento antes que este se someta a cargas, esta técnica permite que se logran elementos más delgados. Mediante este proceso se resuelve la debilidad natural del concreto a los esfuerzos de tracción producidos por las cargas contrarrestándolos”. (p.90)

Esta referencia la utilizaremos para llevar el enfoque de la definición acerca de las losas postensadas aplicadas en el Perú con las características de fabricación e importación internacional.

Según el **ACI 318 – 18.12.1** 2011; afirma que el uso del método de análisis del pórtico equivalente o de pautas de diseño más precisos, es necesario para determinar momentos flectores y fuerzas cortantes, tanto de servicio como riesgo en sistemas de losas preesforzadas. El método de análisis del pórtico equivalente ha dado a ver, que en ensayos de grandes modelos estructurales, que predice satisfactoriamente los momentos flectores y fuerzas cortantes en sistemas de losas preesforzadas.

La norma ACI siempre es un referente importante para el diseño de concreto armado presforzado, en el caso del postensado nos brindara información normada de cómo proceder para la toma de decisiones para un buen diseño.

ASTM A416M 2016; (“American Society of Testing Materials”), las características del cable para el tensado son las siguientes:

Diámetro 0.5”

- Área: 99.00mm²
- Peso: 775kg/1,000ml
- Fpk(Carga de rotura): 183.7 KN
- Fuerza de Tensado (75%): 137.8 KN

Diámetro 0.6”

- Área: 139.40mm²
- Peso: 1094kg/1,000ml
- Fpk(Carga de rotura): 260.7 KN
- Fuerza de Tensado (75%): 195.5 KN

La norma ASTM también es importante ya que nos da los valores en KN (Kilo-Newton) de las fuerza de tensado que depende de la carga de rotura y su valor máximo para obtener el óptimo de tensado y así tener la máxima resistencia.

Freyre, 2016 ; nos da las ventajas en el procedimiento constructivo del sistema postensado son:

“Lo primero que hace el constructor es colocar el fierro y el encofrado. Frecuentemente cuando son vigas nos tienen que dejar una cara libre para colocar los cables. Para esta obra también hemos sugerido que nos dejen las dos caras libres ya que la viga es muy ancha, entonces el encargado con el brazo extendido no llega hasta el fondo de la viga, por lo que hay que abrir las dos tapas para que pueda colocar el cable en todo lo largo” (p.46)

Además añadió lo siguiente:

Uno no puede colocar el concreto al azar, eso debe estar planificado, porque luego se debe tensar. El anclaje debe estar correctamente colocado. En este caso tensamos todo desde el friso, porque el cable

escapa por ahí, entonces se coloca una plataforma de friso tensando desde el borde del edificio, pero si se hubiese que tensar desde la placa, tendría que picar la placa para meter el gato y tensar, debiendo vaciar todo. (p.46)

Para después concluir lo siguiente acerca del sistema de losas postensadas:

“El sistema postensado consiste en colocar un cable que puede ser previamente engrasado y plastificado similar al de las vigas o desnudo en un ducto, que luego del vaciado de concreto es tensado. El cable tiene la particularidad que tiene una curva, que le da la característica de ir a favor del diagrama de momento flector de la estructura. A la hora que es tensado, va a ayudar a la estructura ganar resistencia” (p.46)



Figura 1-1: Sistema postensado en el CC Mega plaza obra realizada por VSL Perú, Revista Constructivo Agosto 2016.

BASILO, 2015; menciona el sistema postensado como el método donde la fuerza de tracción es aplicada en el momento que el concreto tiene la resistencia ideal, los cables son colocados en conductos y después de ser cortados los cables, estos conductos son inyectados con Grouting. Este método tiene la ventaja de que los cables adquieren la características de ser curvos. (p.15)

EL Comportamiento de elementos de concreto armado preesforzado, antes y después de aplicar las cargas exteriores REQUIERE DE :

- A los elementos PRESFORZADOS, son sometidos a distintos estados de esfuerzos mientras es realizada su fabricación y al aplicárseles cargas exteriores. La secuencia de esos estados serán mostrados someramente en más adelante, considerando elementos pretensados con refuerzo asimétrico. (p.18)
- B.ANCLAJES Y CONECTORES EN EL SISTEMA DE POSTENSADO .Los anclajes y conectores utilizados en tendones adheridos y no adheridos desarrollaran en no menos de 95 % de fpu. Cuando se haga su estudio bajo condiciones de no adheridos sin que excedan la deformación prevista. Para los tendones adheridos, los anclajes y conectores serán colocados de manera que fpu se alcance el 100% en las secciones críticas, después que el acero de presfuerzo esté adherido al elemento. Los conectores serán colocados en las zonas aprobadas por el especialista facultado para diseñar y ser depositados en cajas lo suficientemente largas para lograr los movimientos necesarios. (p.22)

En el caso de elementos no adheridos sometidos a cargas repetitivas, debe prestarse atención especial a la posibilidad de fatigas en los anclajes y conectores Los anclajes, conectores y dispositivos auxiliares de anclaje deben estar protegidos permanentemente contra la corrosión.

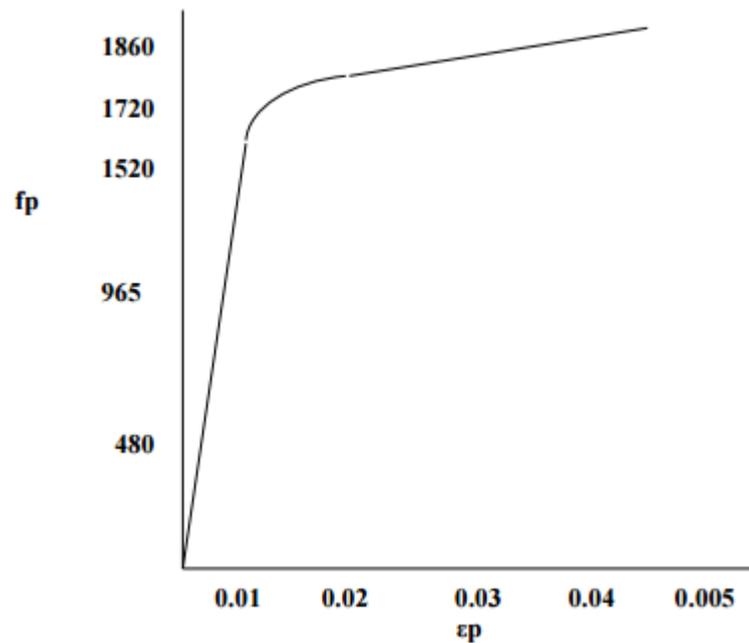


Figura 1-2: Grafico esfuerzo-deformación de un cable N°7 y alambre 270K, Basilo J, Concreto Estructural Presforzado.

REINOSO Y RODRÍGUEZ, 2012; sostienen que la gran parte de los elementos presforzados son fabricados en serie dentro de plantas con instalaciones normadas, donde se logra el reciclaje de moldes metálicos o de concreto y se realiza el presforzado en una sola operación de varios elementos. Los elementos pretensados más comunes son viguetas, losas y gradas, destinados a edificios, puentes, gimnasios y estadios en el mayor de los casos. El curado de dichos elementos se hace con vapor de agua tapandose con lonas. La función del presfuerzo en el concreto es interna esto se debe a que el anclaje se realiza por adherencia. (p. 32).

1.3.1 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

La variable dependiente o segunda variable usada en esta investigación es el comportamiento estructural, para la definición de esta variable se ha hecho la revisión de la literatura correspondiente de la que se han tomado las siguientes definiciones de este:

Crainic y Munteanu definen en “Seismic Performance of Concrete Building” el concepto de comportamiento estructural así:

“El comportamiento estructural es la forma como responde toda una estructura en términos de desplazamientos y deformaciones, ante la aplicación de fuerzas externas; las relaciones matemáticas existentes entre las fuerzas generalizadas y los desplazamientos generalizados son conocidas usualmente como relaciones constitutivas de la estructura.”

Jose Benjumea y Gustavo Chio mencionan en “Comportamiento estructural y criterios de diseño de puentes extradados: visión general y estado del arte”, definen el comportamiento de una estructura como:

“El comportamiento estructural es la manera como responde una estructura ante la aplicación de determinadas cargas, es respuesta en general viene dada en términos de desplazamientos, velocidades, aceleraciones y fuerzas internas”

El Dr. Roberto Meli Piralla menciona en el trabajo “Mampostería Estructural La práctica, la investigación y el comportamiento sísmico observado en México” define el comportamiento estructural como:

“La respuesta de una estructura en términos de desplazamientos, definiendo los sistemas estructurales como frágiles y dúctiles, dependiendo si su capacidad de deformación supera o no cierto nivel de deformación”

De las definiciones anteriores vemos que el comportamiento estructural es una variable compleja ya que tiene más de una dimensión, en este

trabajo asumimos que las dimensiones de estas variable son las deflexiones, la distribución de fuerza momentos flectores y la distribución de fuerzas cortantes.

Las deflexiones son importantes en el desarrollo de este trabajo puesto que nos permiten evaluar el nivel de respuesta de unas losas frente a las cargas aplicadas, además nos permite evaluar si las losas se comportaran adecuadamente en condiciones de servicio, asimismo resultara un indicador importante a la hora de evaluar las ventajas del presforzado en la reducción de las deflexiones.

La distribución de momentos flectores y fuerzas cortantes en la losa nos permite evaluar el efecto del agrietamiento y el flujo plástico en la losa, ya que debido a estos parámetros la inercia efectiva de las losas se verá afectada seriamente.

LOSAS POSTENSADAS

Dimensiones

- **DIMENSIONAMIENTO DE LOSAS POSTENSADAS CON CABLES NO ADHERIDOS**

CASABONNE R. “Uso de Pretensado en Edificaciones”

El espesor económico de una losa depende de la distancia entre sus apoyos, de la sobrecarga de uso y de la dimensión de los capiteleso del ancho de las bandas

- **PRESFUERZO**

QUILUMBA V. 2015, Para el realizar el análisis del comportamiento de un elemento preesforzado se han realizado los siguientes conceptos principales: (p.5)

- El preesfuerzo hara que el concreto se vuelva un elemento elástico.
- El concreto preesforzado es una combinación de concreto y acero idéntica al concreto reforzado.
- El preesfuerzo dotado a un elemento estructural de concreto logrará un balance de cargas.

- **FLUJO PLASTICO**

NILSON A. 1990 “Diseño de Estructuras de Concreto Preesforzado” El flujo plástico se relaciona con la cantidad de armadura y de las dimensiones del elemento. Las dimensiones del elemento actuan en dos sentidos. El primero tiene que ver con el grado del esfuerzo, si el elemento tiene dimensiones mayores que las necesarias por resistencia, el esfuerzo aplicado será bajo y consecutivamente también el creep. Por otro lado la influencia de las características físicas y forma del elemento puede ser representada por la relación del área superficial y el volumen del elemento. Cuanto mayor sea esta cifra mayor será el creep y la retracción que experimenta el elemento. (p.39)

- **DISMINUCIÓN DE TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN**

RAMOS, 2013, Sostiene las siguientes ventajas del sistema postensado, esto implica una reducción del tiempo de construcción con respecto al sistema de Vigas peraltadas y columnas.

- VENTAJAS DEL CONCRETO POSTENSADO

Aprovechamiento de la sección de concreto

CONCRETO ARMADO: Se aprovecha sólo la zona que trabaja a compresión sobre el eje neutro.

CONCRETO POSTENSADO: Se aprovecha toda la sección haciéndole trabajar íntegramente a compresión. (p.25)

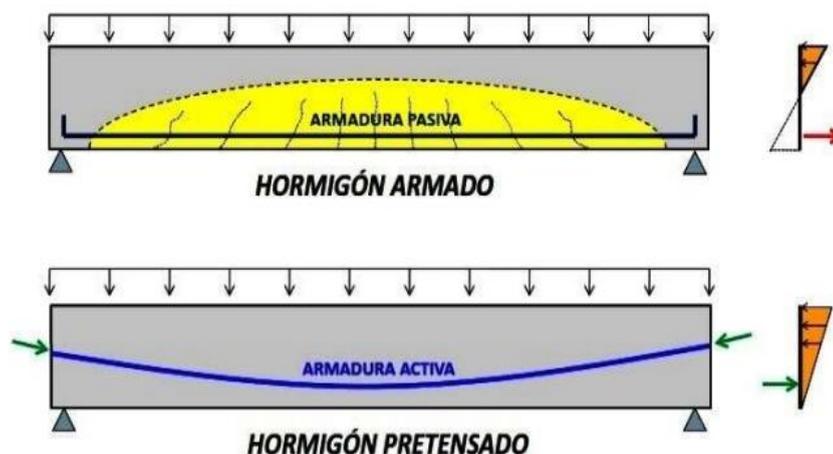


Figura 1-3: Diapositiva 63 Estructuras Postensadas

Aprovechamiento de la sección del concreto postensado, Rojas,
2016

- DURABILIDAD. SISTEMAS DE PROTECCIÓN

“LOSAS POSTESADAS EN EDIFICACIÓN”, **ARROYO J. 2011**, La resistencia a ser quebrado de una estructura, o de un elemento estructural como el postensado, es la capacidad de mantener las sus características mecánicas, de función o aspecto definido en el proyecto a realizarse, para un periodo determinado de tiempo, sin

ser necesario realizar operaciones de mantenimiento y refuerzo no tomadas en cuenta.

- DISMINUCIÓN DEL PESO DE LA CONSTRUCCIÓN

(**RAMOS**, 2002) sostiene las siguientes ventajas del sistema postensado, esto implica una reducción del peso de la estructura con respecto al sistema de Vigas peraltadas y columnas.

- TENDONES ADHERENTES Y NO ADHERENTES

“LOSAS POSTESADAS EN EDIFICACIÓN”, **ARROYO J. 2011**, El uso de cables adherentes o no adherentes sigue la regla de un criterio de diseño que de ejecución. Desde el punto de vista de la dureza del propio cable, ambos están protegidos contra la corrosión y son igual de vitales.

Peso total del conjunto de estructuras.

CONCRETO ARMADO: En función del peralte se estima mayor número de pilares o columnas lo que conlleva zapatas de mayor dimensión, luego el volumen de estructuras es mayor.

CONCRETO POSTENSADO: En función del menor peralte las estructuras son aligeradas en su peso y se puede colocar menos apoyos o columnas más esbeltas que redundan en menor volumen de obras. (p.32)



Figura 1-4 : Menor Peso total del conjunto de estructuras,
Diapositiva 70 Estructuras Postensadas, Rojas, 2016.

- MEJORA DE FLEXIBILIDAD ARQUITECTÓNICA

Longitud de la estructura sobre apoyos.

CONCRETO ARMADO: Las luces grandes son limitativas porque se debe salvar con estructuras muy pesadas o usando varios apoyos.

CONCRETO POSTENSADO: Se utiliza para salvar grandes luces con el menor número de apoyos intermedios, esto facilita la flexibilidad arquitectónica. (p.36)



Figura 1-5: Mayor Longitud de la estructura sobre apoyos,
Diapositiva 68 Estructuras Postensadas, Rojas, 2016

1.3.2 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

- ESTABILIDAD

QUILUMBA V. 2015 esta se ve relacionada con el peligro de movimiento no natural del edificio en su totalidad. Debe estar bien equilibrado. Cuando un viento actúa sobre un edificio de gran altura y éste no está adecuadamente en contacto en la tierra o equilibrado por su peso propio, puede volcarse sin que sufra corte. (p.16)

- DEFORMACION EN LOSAS POSTENSADAS (Debido al peso Propio y efecto de la Fuerza Postensora)

ROJAS, 2016 nos plantea la problemática en dos partes:

- En la actualidad en el Perú, pese a ser uno de los pioneros y aún después del tiempo transcurrido no se conoce mucho de este tema y en nuestro medio es muy escasa la bibliografía relacionada al diseño de concreto postensado.
- No existe ningún tipo de libro o revista respecto a la instalación y procedimientos en obra de los elementos del concreto postensado. (p.40)

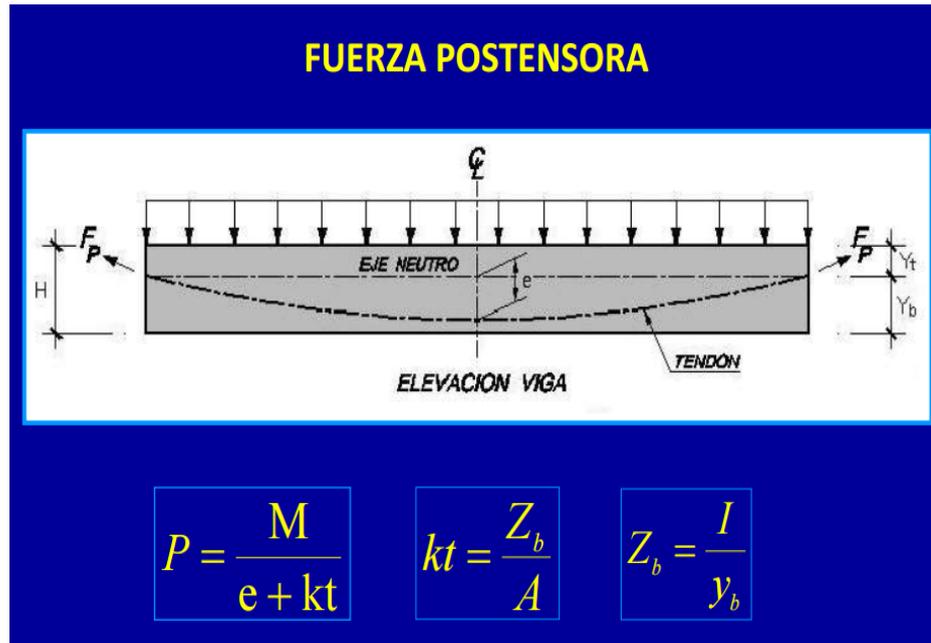


Figura 1-6: Descripción de la fuerza postensora, Diapositiva 22
Estructuras Postensadas, Rojas, 2016

Sostiene también que las losas postensadas deben ser:

- Permanentes.
 - En dirección contraria a las que les causarán las cargas de servicio.
 - De magnitud restringida, de modo que la resultante de los esfuerzo no supere a los que la estructura pueda resistir.
 - El concreto presforzado tiene un refuerzo activo. (p.37)
- GRIETAS EN LOSAS POSTENSADAS (Debido al Efecto del Postensado).

CONCRETO ARMADO: Las fisuras que se generan permiten el ingreso de oxígeno que al llegar al acero inicia la corrosión.

CONCRETO POSTENSADO: Trabaja a compresión por lo tanto evita la fisuración por lo que el acero en general se ve protegido de la corrosión.

Losas impermeables

CONCRETO ARMADO: El concreto fisurado permite las filtraciones de líquidos. CONCRETO POSTENSADO: Debido a que el postensado anula las fisuras, se evitan las filtraciones de líquidos. (p.37)

- ANCLAJES

Son la parte terminal del tendón y son capaces de soportar el tendón en su estado de deformación y así transmitir la carga de los tendones a la estructura.

- ESFUERZOS DE FLEXIÓN EN LOSAS POSTENSADAS (Debido a La sobrecarga y peso propio).

La revista Constructivo en su artículo: “Revisión en las prácticas de diseño de losas postensadas (2016)”, nos hace presente lo siguiente:

Efectos del postensado en la estructura

“Para las mismas luces entre apoyos, las losas postensadas son entre 20% a 30% más delgadas que las losas de concreto armado. Esta reducción de espesor de la losa provoca un ahorro de material y una reducción en el peso propio de toda la construcción, lo cual es sumamente crítico para el diseño en zonas sísmicas. (p.36)

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1 PROBLEMA GENERAL

- ¿Cómo influye el uso del postensado en el comportamiento estructural de las losas ubicadas en el sótano del hotel la paz, Miraflores - lima - 2017?

1.4.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo influyen las dimensiones de la losa postensada en el comportamiento estructural del sótano del hotel la paz, Miraflores - Lima - 2017?
- ¿Qué efecto tiene el nivel del presfuerzo aplicado en losa postensadas sobre el comportamiento estructural en el sótano del hotel la paz, Miraflores - Lima - 2017?
- ¿Cómo influye el flujo plástico en el comportamiento estructural de las losas postensadas de los sótanos del hotel la paz, Miraflores - lima - 2017?

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Según Valderrama (2015), la justificación teórica “se refiere a la inquietud que surge en el investigador por profundizar en uno o varios enfoques teóricos que tratan el problema que se explica” (p. 140).

1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Según Valderrama (2015), la justificación teórica “se refiere a la inquietud que surge en el investigador por profundizar en uno o varios enfoques teóricos que tratan el problema que se explica” (p. 140).

Es ese sentido que se facilita la difusión de las teorías de Velarde y Portocarrero al respecto de Losas Postensadas así también Montaña L. para efectos de Comportamiento Estructural al considerarse los autores idóneos para la fundamentación del estudio dados los aportes de medición pertinentes en características de Salinas en Losas Postensadas y Crainic y Munteanu (2012), en el Comportamiento Estructural

1.5.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Según Valderrama (2015), la justificación social “se refiere a la inquietud que surge en el investigador sobre la repercusión y su beneficio a la sociedad mencionada” (p. 140).

Uso de la losa postensada y su comportamiento estructural en el sótano del hotel la paz, miraflores, lima – Perú – 2017

La investigación si bien es cierto reduce costos, insumos y materiales el efecto no es lesivo para la calidad de la infraestructura, garantizando el cumplimiento de los estándares de la normatividad técnica en construcción se facilita la actividad laboral operativa, el esfuerzo físico además es menor

1.5.3 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Según Valderrama (2015), la justificación económica “se refiere a la ventaja de reducir las desventajas, lo que como consecuencia traerá una reducción de costos o tiempo al ejecutarse en la práctica la hipótesis de la investigación” (p. 141).

El uso de las losas postensadas permite reducir los peraltes de estas permitiéndonos en general losas más livianas y posibilitando ganar algunos pisos en altura, lo que tiene repercusión directa en el costo del proyecto.

1.5.4 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Para Valderrama (2015), en la justificación práctica “Se manifiesta el interés del investigador por acrecentar sus conocimientos, obtener el título académico, si es el caso, para contribuir a la solución de problemas concretos que afectan a las organizaciones empresariales, públicas o privadas” (p. 141).

En la industria de la construcción hace uso de sistemas de losas postensadas, sin embargo, no existen suficientes trabajos de investigación al respecto, por tanto, este trabajo generará información útil para el diseño y construcción de losas postensadas en el Perú.

1.5.5 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Valderrama (2015), indica respecto a la justificación metodológica que “hace alusión al uso de metodologías y técnicas específicas que han de servir de aporte para el estudio de problemas similares al investigado” (p. 140).

La investigación generará guías de análisis y evaluación del comportamiento de losas postensadas, que serán útiles para ingenieros residentes, supervisores y proyectistas

1.6 HIPÓTESIS

1.6.1 HIPÓTESIS GENERAL

Si hay postensado en las losas de sótanos del Hotel La Paz, estas tendrán un comportamiento estructural adecuado, permitiendo reducir los espesores de losas, deflexiones elásticas y deflexiones diferidas.

1.6.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El postensado mejora el comportamiento estructural en losas de grandes luces.
- La aplicación del presfuerzo parcial permite el uso de menores espesores de losas postensadas.
- Las deflexiones dependientes del tiempo de la losa postensada, dependen directamente del flujo plástico en el sótano del hotel la paz, Miraflores - lima - 2017.

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el comportamiento estructural de losas postensadas ubicadas en el hotel La Paz, Miraflores, Lima 2017.

1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el nivel de incidencia de las dimensiones de la losa postensada en su comportamiento estructural, en el sótano del hotel la paz, Miraflores - lima - 2017.
- Evaluar el efecto del postensado en el espesor de las losas de sótano en el Hotel La Paz, Miraflores, Lima, 2017.
- Evaluar el efecto del flujo plástico sobre el comportamiento estructural en el sótano del hotel la paz, Miraflores – lima - 2017

2 MÉTODO

2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

“Estudio de los métodos, su desarrollo, explicación y justificación. Su finalidad es comprender el proceso de investigación y no los resultados de la misma. [...]” (MAYA, 2014 pág. 13).

Es por lo expuesto líneas anteriores que podemos subdividir la metodología en:

2.1.1 Tipo de Diseño

Investigación Aplicada, “El principal objetivo está basado en poder solucionar problemas prácticos, con un margen de generalización limitado. De este modo genera pocos aportes al conocimiento científico desde un punto de vista teórico”. (**SANDNES** 2003 p.24).

El presente trabajo usara los conocimientos de la losa postensada y los aplicara para resolver la complejidad de contrastación con normas internacionales.

2.1.2 Nivel de Investigación

Nivel Explicativo, “Es la que tiene relación de causalidad, no sólo busca describir o llegar a un problema, sino que también intenta encontrar las causas del mismo. Puede apoyarse de diseños experimentales y no experimentales”. (**BORJA** 2010: p.15).

La relación es causal; ya que intenta acercarse al problema de la poca accesibilidad al diseño de losas postensadas mediante la contrastación y validez del diseño estructural de la losa postensada.

2.1.3 Diseño de Investigación

Diseño No Experimental, "La investigación no experimental es cualquier investigación en la que las variables actúan independientemente, ósea que no pueden ser manipuladas ni asignar aleatoriamente a los sujetos o a las condiciones". **KERLINGER** (1979, p. 116).

Es describir sus variables y analiza sus incidencias de las mismas.

2.2 OPERACIÓN DE VARIABLES

Se adjunta en el ANEXO N^o 1

2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Weiers (2006), es “el conjunto de todos los elementos posibles que en teoría pueden observarse o medirse; en ocasiones se denomina universo” (p. 139)

Este contexto es el que él investigador ha tomado en consideración para la elección tanto de la población como de la muestra.

2.3.1 POBLACIÓN:

Los siguientes proyectos han utilizado el sistema de losas postensadas en su diseño estructural, lo cual nos sirve como referencia para las conclusiones finales de la presente investigación.

- Edificio Veramar – Miraflores – Sistema Postensado, V&V – Bravo Contratistas Generales S.A.C.
- Edificio Las Terrazas De Pardo – Miraflores - V&V – Bravo Contratistas Generales S.A.C.
- Edificio Prisma Bussines Tower – Magdalena - V&V – Bravo Contratistas Generales S.A.C.
- Edificio Vento – Pueblo Libre - V&V – Bravo Contratistas Generales S.A.C.
- Edificio Vision Tower – Miraflores - V&V – Bravo Contratistas Generales S.A.C.
- Edificio Vertice – Jesus Maria - V&V – Bravo Contratistas Generales S.A.C.
- Edificio De Oficinas Del Park I – Miraflores - V&V – Bravo Contratistas Generales S.A.C.
- Edificio De Oficinas Del Park li – Miraflores - V&V – Bravo Contratistas Generales S.A.C.
- Edificio De Oficinas Platinum – Surquillo, Miraflores - Edificio De Oficinas Del Park I – Miraflores - V&V – Bravo Contratistas Generales S.A.C.

2.3.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

- El Hotel La Paz, Miraflores, Lima, Perú, 2017.

2.3.3 MUESTRA

Hernández, Fernández, y Baptista (2010) indican que “Es en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” (p.150).

- La muestra es la estructura del sótano del Hotel La Paz, Miraflores, Lima, Perú, 2017.

2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

2.4.1 TECNICAS

- Modelamiento numérico.
- Interpretación de resultado.

2.4.2 INSTRUMENTO

- Resultados de laboratorio.
- Fichas de observación
- Software de análisis no lineal.

2.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

Método Inductivo, que radica en el carácter empírico de este método, la secuencia seguida en este proceso de investigación se resume en estos puntos (Wolfe, 1924, Pág. 450):

1. Se realiza una observación y registro de los hechos.

2. Se procede a hacer el análisis de lo observado, y se establece como conclusión las definiciones claras de cada uno de los conceptos analizados.
3. Se realiza la clasificación de los elementos anteriores.
4. Se formula las proposiciones científicas o enunciados globales, inferidos del proceso de investigación que se realizó.

2.6 ASPECTOS ÉTICOS

Se anexa el documento en el ANEXO N^o 3

3 ANALISIS Y RESULTADOS

Las losas son elementos horizontales con dos dimensiones muy superiores a la tercera dimensión, y en general puede decirse que las cargas aplicadas en la losa son cargas transversales al plano del elemento. Las losas transmiten las cargas aplicadas a través de la capacidad del elemento a resistir acciones de flexión en un plano perpendicular al plano del elemento, puede decirse que las cargas aplicadas en la losa son transmitidas también mediante el mecanismo de transmisión de fuerzas cortantes.

En general se sabe que el comportamiento a flexión de las losas dependerá de la rigidez a la flexión del elemento en una dirección y en la dirección perpendicular, en especial sabemos que si una losa tiene una relación de aspecto mayor a dos, sabemos que la rigidez de la losa en la dirección corta es más mayor que la rigidez de la losa en la dirección de mayor luz, en específico sabemos que la rigidez de una losa es inversamente proporcional al cuadrado de la luz, es decir que en el caso de una losa con relación de aspecto igual a dos, es decir que si la longitud de la dirección corta es L , la longitud de la dirección larga es igual a $2L$; entonces la rigidez de la losa en dirección corta será 4 veces la rigidez de la losa en la dirección larga.

3.1.1 EFECTO DE LAS DIMENSIONES DE LA LOSA EN EL POSTENSADO

El diseño de losas postensadas en general se hace teniendo en cuenta la distribución de momentos flectores en el elemento ante diferentes casos de carga aplicados, estos casos pueden ser por ejemplo casos de carga muerta, casos de carga viva, cargas puntuales, cargas variables, etc.; por tanto es importante realizar un estudio adecuado de la aplicación de las cargas gravitacionales y su efecto en la distribución de momentos flectores, fuerzas cortantes, deformaciones, etc.

Es importante notar que la distribución de momentos flectores en general dependen de las condiciones de apoyo en las que se sustentan las losas, es decir que la distribución de momentos flectores será diferente si se trata de una losa apoyada en sus cuatro bordes, o se trata de una losa apoyada en tres de sus bordes, o cualquier forma de apoyo que en general le provea de las condiciones de apoyo requeridos para la estabilidad.

En la actualidad existen esencialmente dos maneras para la evaluación de la distribución de fuerzas internas en losas, la primera forma está basada en análisis numéricos y experimentales de las cuales se han deducido reglas empíricas de diseño, uno de los métodos más conocidos y difundidos en el medio es el método de diseño presentado en el código de diseño ACI 318, presentada también en el código de diseño peruano para el diseño en concreto armado E060; este método en general trata de determinar la distribución de momentos flectores asumiendo un comportamiento de flexión similar a las vigas, los momentos internos se calculan en función de las cargas aplicadas a losa y coeficientes que dependen de las condiciones de borde en las losas.

La segunda manera consiste en la aplicación del método del elementos finito para poder modelar adecuadamente el comportamiento mecánico a flexión y a cortante, este método tiene la capacidad de adaptarse adecuadamente a muchos tipos de condiciones de apoyo, incluyendo las formas más complejas, como condiciones de apoyo circulares e

irregulares, además es posible modelar con muy poco esfuerzo aberturas sobre el elemento.

Empezaremos el análisis del efecto de las dimensiones en planta sobre el comportamiento mecánico de las losas analizando diferentes casos de losas, en especial las dimensiones de la losa, el número de vanos del sistema de pisos y considerando diversas condiciones de contorno.

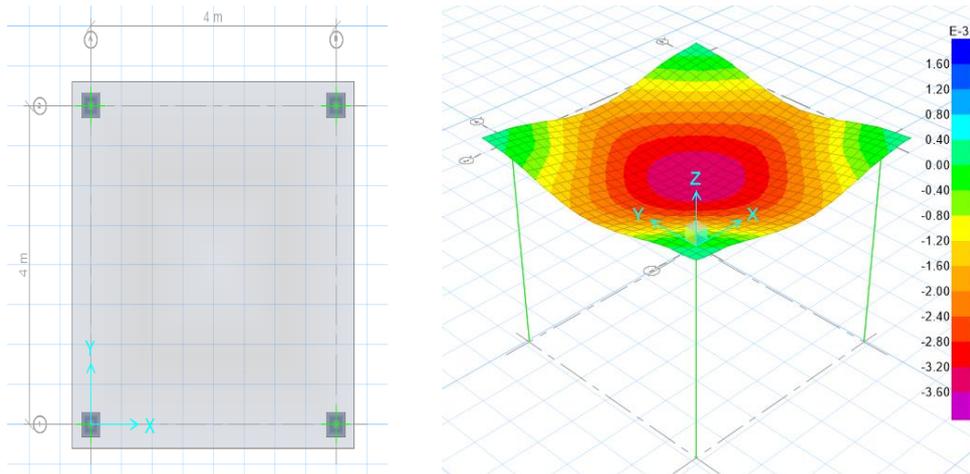


Figura 3-1: Losa cuadrada de un solo vano de cuatro metros de longitud y

El primer modelo analizado consiste en una losa cuadrada de cuatro metros de lado con un espesor de 10cm, sin vigas de contorno y apoyado directamente en columnas cuadradas de 0.30mx0.30m, como se muestra en la Figura 3-1, las cargas gravitacionales aplicadas, en el caso de cargas muertas fueron de 250 kg/m² y representan típicamente el peso de los acabados y el peso de la tabiquería móvil considerada por la norma de cargas peruana (E020); mientras que la carga viva aplicada fue 400 kg/m² y representan en general cargas vivas aplicadas en almacenes y lugares de uso similares (Norma de cargas E020).

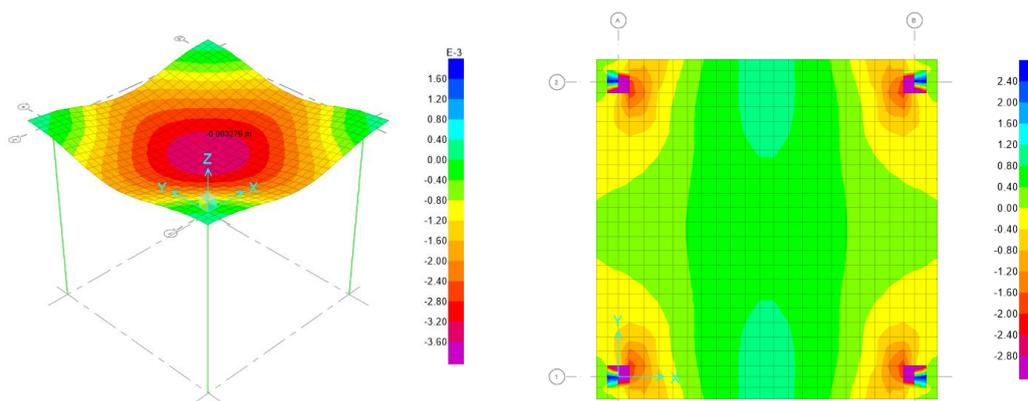


Figura 3-2: Deformada bajo cargas vivas y diagrama de momentos M11, por cargas de servicio, Fuente: Propia.

Los resultados presentados en esta sección y en las secciones restantes se obtuvieron mediante el uso del programa SAFE 12.3.1, en específico mediante la aplicación de elementos finitos SHELL y PLATE contenidos en la librería del programa; es importante aclarar que los elementos SHELL son elementos finitos que en la gran mayoría de aplicaciones son elementos rectangulares de cuatro nodos con seis grados de libertad por nodo, aunque también es posible definir elementos finitos Shell de tres nodos, tres grados de libertad traslacionales y tres grados de libertad rotacionales, estas características le confieren a los elementos Shell la capacidad de representar diferentes tipos de elementos estructurales, tales como muros, losas y cascaras.

En la librería del SAFE 12.3.1 también aparecen los elementos PLATE que son elementos finitos obtenidos como casos particulares de los elementos Shell, estos elementos poseen como grados de libertad los dos grados contenidos en el plano del elementos y un grado de libertad traslacional perpendicular al plano del elemento, es decir es un elemento finito con tres grados de libertad por nodo, este hecho provoca que un elemento PLATE quede definido por 12 grados de libertad por elemento, lo que a su vez provoca que la matriz de rigidez del elemento contenga 144 elementos, esto por supuesto reduce grandemente el esfuerzo de cómputo y el tiempo requerido para la solución de los sistemas de ecuaciones generados para la solución del problema.

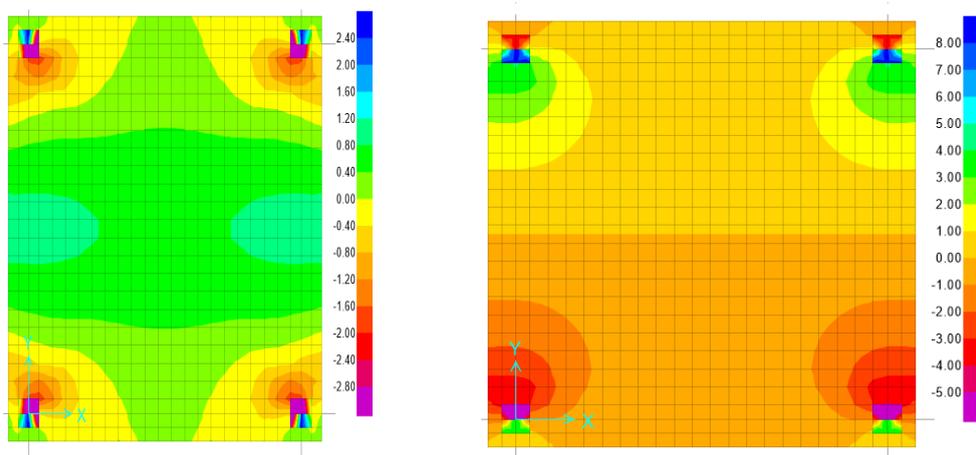


Figura 3-3: Distribución de momentos unitarios M22 y distribución de fuerzas cortantes por unidad de longitud en losa de un vano, Fuente: Propia.

El modelo presentado en la Figura 3-1 se obtuvo usando elementos PLATE, esto como se mencionó en las líneas anteriores nos provee la ventaja de reducir los grados de libertad presentes en la estructura y por tanto reducir los tiempo de computo, en la misma figura se muestran la deformada obtenida de la aplicación de la cargas muertas (250 kg/m^2), del grafico presentado podemos ver que la deformada máxima obtenida fue de 4.35 mm y se presentó en el centro de luz de la losa, en la Figura 3-2 se presenta la deformada debida a las cargas vivas (400 kg/m^2), de este grafico se ve que la deformada debida a las cargas vivas aplicadas en la losa fue de 3.54 mm y se obtuvo en el centro de luz; los resultados reportados en el programa parecen estar de acuerdo al sentido común ya que como se esperaba las deformadas máximas fueron obtenidas al centro de luz de la losa.

De los resultados obtenidos podemos ver que la deformada elásticas debida a la aplicación de las cargas de servicio resultaría ser la suma de las deformaciones debidas a la aplicación de las cargas muertas y de las deformaciones obtenidas debido a las deformaciones obtenidas debido a la aplicaciones las cargas vivas, por tanto en el caso analizado podemos decir que la deformación en cargas de servicio fue de 7.90 mm , un valor que está muy cerca de los 8 mm , en este trabajo las deformaciones serán aceptadas tratando de valorar los órdenes de las magnitudes obtenidas, cumpliendo con esta idea diremos que la losa

analizada tendrá una deformación elástica en cargas de servicio de 8mm o que el orden de las deformaciones elásticas en la losa analizada es 8mm.

Es importante aclarar en este punto que las deformaciones elásticas son consideradas dentro de la literatura técnica como deformaciones instantáneas, es decir ocurren como efecto inmediato de la aplicación de las cargas aplicadas, en el caso analizado podemos decir que la losa experimentara una deformación de 4.35 mm cuando se coloquen los acabados y la tabiquería móvil esté operativa; mientras que las deformaciones adicionales por carga viva probablemente no ocurrirán inmediatamente sino en el instante en que las cargas vivas sean totales, debe quedar claro que este hecho podría no ocurrir inmediatamente a la puesta en servicio de la estructura ya que probablemente no se aplicaran el 100% de la carga viva de diseño, sin embargo debe quedar claro también que existe gran probabilidad que la losa trabaje en algún instante al 100% de la carga muerta y viva, es en este instante que la deformación elástica de losa alcance los 8mm bajo cargas de servicio.

En general en losas postensadas y losas de concreto armado las deformaciones elásticas tienen en poco efecto en la deformación total, en realidad la mayor parte de las deformaciones transversales ocurren debidos al flujo plástico del concreto, a las deformaciones por contracción y en losas postensadas debidos al relajamiento del acero de presfuerzo, por tanto el cálculo de las deflexiones esperadas debe considerar el efecto de estos fenómenos.

Aunque como se mencionó en las líneas anteriores el cálculo del efecto de los parámetros mencionados es responsable de gran parte de las deformaciones totales, a las que se llamará de aquí en adelante deflexiones diferidas, distintas normativas de diseño en concreto armado y postensado, como es el caso de la norma E060 (Diseño en concreto armado), brinda métodos empíricos y prácticos para la estimación de las deflexiones diferidas en términos de las deflexiones

elásticas, retomaremos esta discusión en secciones posteriores de este trabajo.

Además de las deformaciones transversales máximas, es importante tomar en cuenta la distribución de momentos debidos a carga muerta y carga viva, en especial para el diseño de elementos de postensado y elementos de concreto armado, tomando esto en consideración podemos observar los resultados mostrados en la Figura 3-2, en la que se muestran la distribución de momentos debidos a las cargas muertas, de este resultado podemos ver que el momento máximo positivo M_{11} obtenido fue de 0.50 ton.m y se encontró ubicado aproximadamente al centro de luz de la losa, mientras que el momento máximo negativo fue de 1.50 ton.m y fue obtenido en la cara de las columnas cuadradas que sirven apoyo.

De manera similar podemos observar que en la Figura 3-3 se muestran la distribución de momentos M_{22} y la distribución de fuerzas cortantes unitarias V_{13} contenidas en el plano 13 del elemento analizado, un equivalente de las fuerzas cortantes en vigas, podemos ver que el momento máximo positivo M_{22} fue de 0.5 ton.m, mientras que el momento negativo máximo M_{22} obtenido fue de 1.50 ton.m, obtenido en la cara de las columnas que sirven de apoyo a las losas estudiadas, como primera conclusión podemos ver que debido a la doble simetría de la losa los momentos M_{22} y M_{11} coincidieron en puntos correspondientes.

La Figura 3-3 revela que en el caso de losas apoyadas directamente en columnas, la distribución de cortantes genera concentraciones en los puntos de apoyo es decir en las columnas del sistema estructural, obteniendo valores de 2.45 ton en los apoyos de la losa, mientras que el valor del cortante en el centro de la losa resultó ser cero, nuevamente estos resultados parecen estar de acuerdo con lo obtenido de la aplicación de la teoría de vigas de Euler-Bernoulli en la que se predicen cortantes cero en el centro de luz de vigas cargadas uniformemente.

La distribución de cortantes mostrada en la Figura 3-3 sugiere que si se desea superar cortantes inducidos en la losa cerca de las columnas, una manera práctica y sencilla sería ensanchar las zonas cercanas a las columnas de apoyo de las losas, de hecho esta es la práctica usual en la ingeniería cuando se desea superar fuerzas cortantes inducidas en apoyos puntuales, a este tipo de elementos se le denomina usualmente ábacos.

El segundo caso analizado es una losa de dos vanos en dirección x y en dirección y con longitudes de vanos de cuatro metros, es decir las dimensiones de las losas que cubren los vanos coinciden con los de la losa del primer caso, este hecho nos permitirá evaluar el efecto del número de vanos en la respuesta estructural, el nivel de cargas muertas considerado fue de 250 kg/m^2 , debidos al igual que en el caso anterior, a los acabados y la tabiquería móvil, mientras que en el caso de cargas vivas las cargas aplicadas fueron de 400 kg/m^2 , con las mismas consideraciones del primer modelo, el modelo considerado se muestra en la

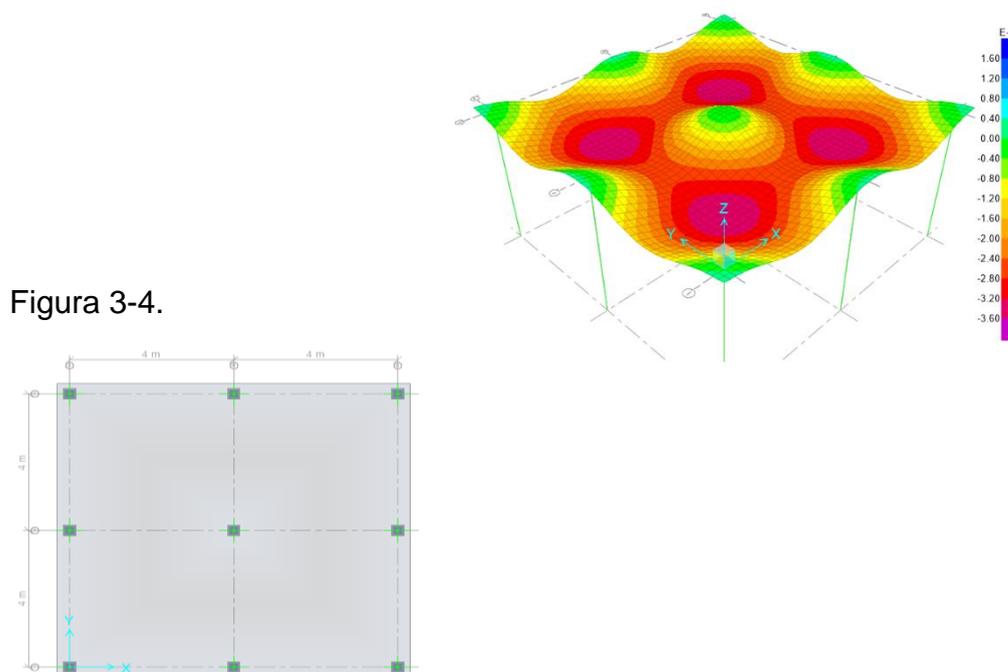


Figura 3-4.

Figura 3-4: Losa cuadrada de dos vanos en x e y , de cuatro metros de longitud y deformada debido a cargas muertas. Fuente: Propia.

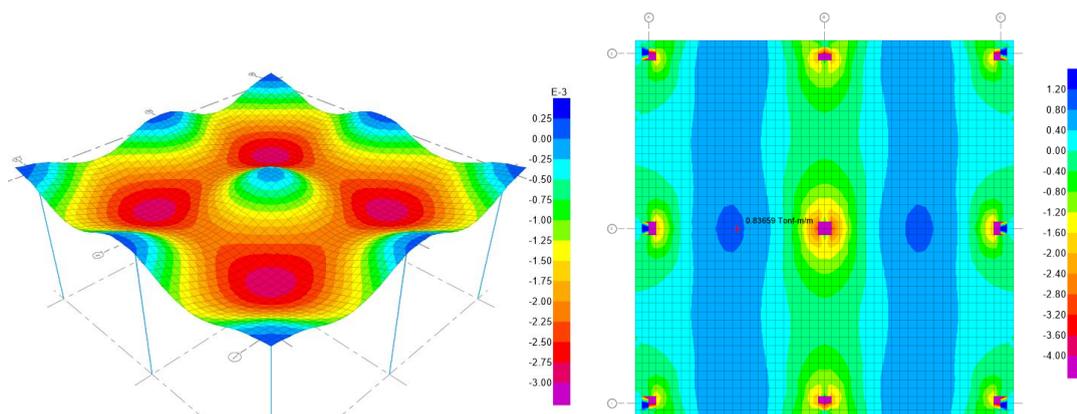


Figura 3-5: Deformada bajo cargas vivas y diagrama de momentos M11, por cargas de servicio en modelo de dos vanos en x e y. Fuente: Propia.

Al igual que el primer caso analizado los resultados de esta parte fueron obtenidos de la aplicación del programa SAFE V12.3.2, en específico mediante la utilización del elemento PLATE. La deformada obtenida se muestra en la

Figura 3-4, de este grafico podemos ver que la deformación máxima al centro de las luces de las losas fue de 3.55 mm debido a las cargas muertas, mientras que las deformaciones máximas obtenidas debido a las cargas vivas fueron de 2.90 mm.

En este caso podemos afirmar que la deformación transversal máxima bajo cargas de servicio es del orden de 6.5 mm, como se puede ver de este resultado la deformación máxima bajo cargas de servicio en el caso de losas con dos vanos en x y dos vanos en y resulto ser menor que la deformación máxima bajo las mismas condiciones en una losa de un solo vano en x e y.

En la se presenta la distribución de momentos M11 flectores debidos a las cargas muertas, de estos resultados podemos ver que el momento máximo positivo de 0.48 ton.m se obtuvo aproximadamente en el centro de luz de los vanos respectivos, mientras que el momento máximo negativo de 2 ton.m se obtuvo en la cara de la columna respectiva.

El tercer modelo considerado en este trabajo consta de tres vanos de 4m en el eje x y tres vanos de 4m en el eje y, como se muestras en la Figura 3-6, el espesor de las losas fue igual al espesor considerado en los casos 1 y 2, esto debido a que las longitudes de los vanos fueron coincidentes en todos los casos analizados; las cargas muertas aplicadas debidos a los acabados y a la tabiquería móvil fue de 250 kg/m², mientras que las cargas vivas aplicadas a las losa fue de 400 kg/m².

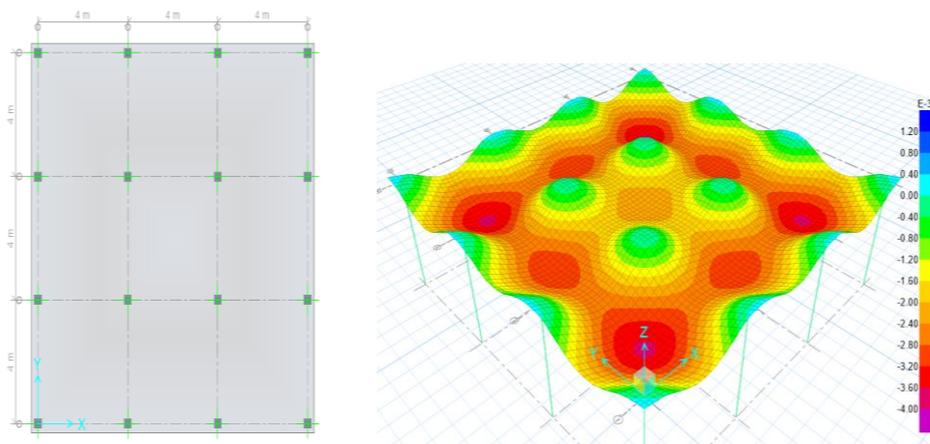


Figura 3-6: Losa cuadrada de tres vanos en x e y, de cuatro metros de longitud y deformada debido a cargas muertas. Fuente: Propia.

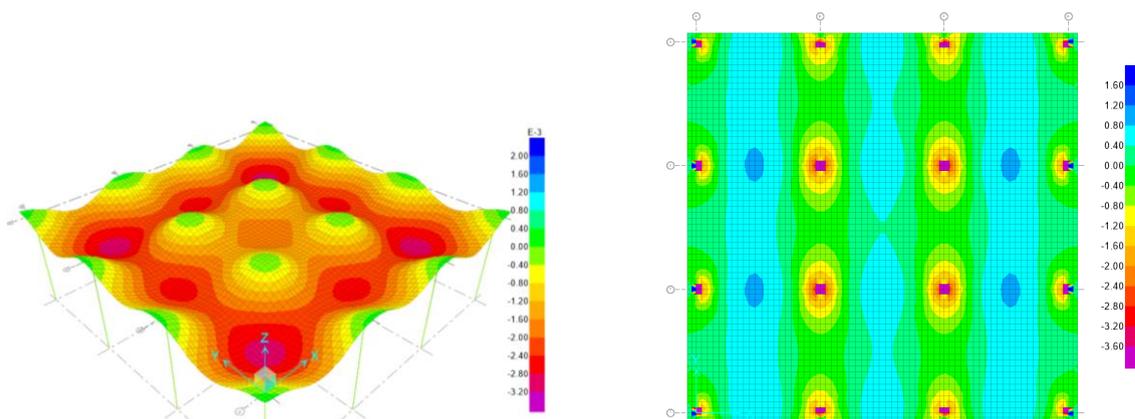


Figura 3-7: Deformada bajo cargas vivas y diagrama de momentos M11, por cargas de servicio en modelo de tres vanos en x e y.

Fuente: Propia.

La deformada obtenida debido a las cargas muertas (peso propio de la losa +acabados + tabiquería móvil) se muestra en la Figura 3-6, de este grafico podemos observar que la deformación máxima alcanzada por la losa debido a cargas gravitacionales fue de 3.70 mm, mientras que la deformación máxima obtenida a partir de las cargas vivas se muestran en la Figura 3-7, de este grafico vemos que la deflexión máxima obtenida se dio aproximadamente en el centro de los vanos estudiados y fue de 3.0 mm.

De estos resultados vemos que la deformación esperada por cargas de servicio fue de 6.70 mm, un valor que está dentro del orden de la deformada calculada en el caso anterior 6.4 mm y que en general resulta inferior a la deflexión máxima obtenida del caso de una losa de un solo vano en x e y.

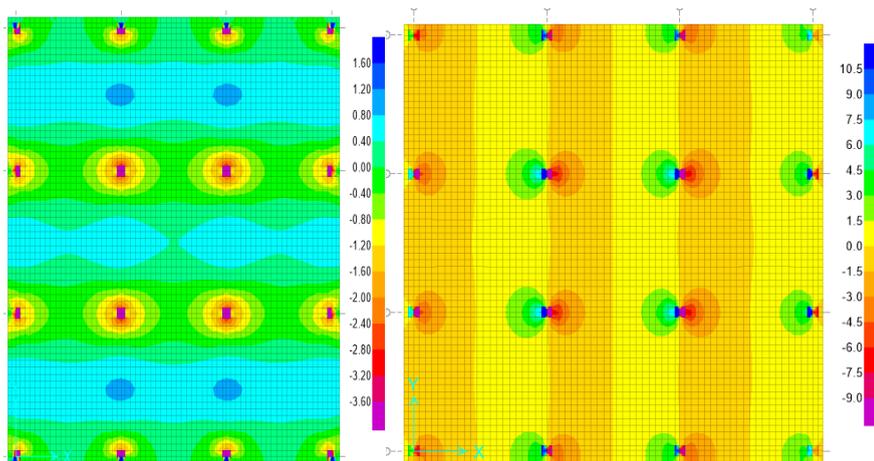


Figura 3-8: Distribución de momentos M22 y fuerzas cortantes V23 debidos a las cargas en servicio (D+L). Fuente: Propia.

En la Figura 3-7 se muestra la distribución de momentos flectores M11 debidos a las cargas en servicio aplicadas a la losa, de este diagrama podemos ver que el momento máximo positivo M11 se obtuvo al centro de luz de cada vano y fue de aproximadamente 0.90 ton.m, mientras que el momento negativo máximo se obtuvo en las caras de las columnas que sirven de apoyo y sus valores fueron de aproximadamente 3.50 ton.m, como se puede observar en la Figura 3-8.

Un resultado interesante es el estudio de la distribución de fuerzas cortantes en la losa, el resultado obtenido para los cortantes V23 se muestra en la Figura 3-8, de este gráfico podemos ver que en general la distribución de fuerzas cortantes fue aproximadamente uniforme excepto en las zonas cercanas a las columnas en las que observa concentración de esfuerzos, es precisamente en estas zonas donde el esfuerzo cortante tomó su mayor valor de 7.85 ton.

De los resultados anteriores vemos que la distribución de esfuerzos de corte sobre la losa en general presenta valores elevados cerca de las columnas, mientras que las cortantes lejos de los apoyos resulta un problema de poca importancia, podemos concluir que el uso de ábacos podría ser requerido dependiendo del nivel de fuerzas cortantes.

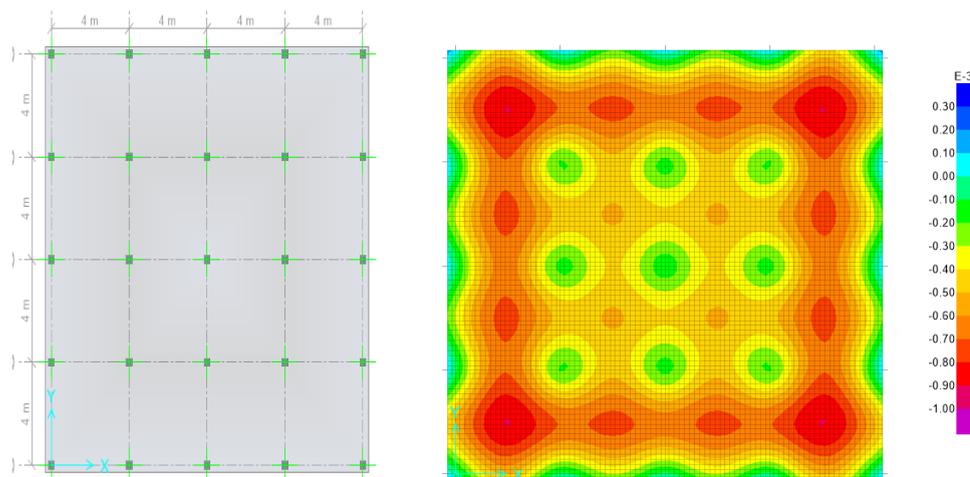


Figura 3-9: Losa cuadrada de cuatro vanos en x e y, de cuatro metros de longitud y deformada debido a cargas muertas. Fuente: Propia.

En la Figura 3-9 se presenta el cuarto modelo estudiado consistente en una estructura de cuatro vanos en x e y de 4m de longitud, por tanto esencialmente las dimensiones de la losa y su espesor se han mantenido constantes; las cargas aplicadas fueron de 250 kg/m², que al igual que los casos anteriores represento la carga de los acabados y la tabiquería móvil, mientras que los 400 kg/m² representaron las cargas vivas correspondientes a zonas de almacén, que en general representan uno de los usos con mayor demanda de cargas gravitacionales.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3-9, en este se muestran la planta típica del sistemas de losas usados en este caso, así como los resultados de la deformada debidos a los casos de carga muerta; podemos ver de esta figura que la deformada por cargas gravitacionales fue de 2.50 mm y se obtuvo aproximadamente al centro de luz de las losas ubicadas en los extremos de la estructura, en el caso de las cargas vivas la deformación máxima obtenida fue de 3mm y al igual que en el caso anterior se obtuvo en las losas que cubren los extremos de la estructura estudiada.

En cuanto a la deformación unitaria obtenida debido a la aplicación de las cargas en servicio (D+L), se puede ver claramente que este valor

es del orden de los 5.50 mm, al comparar este valor con los obtenidos de los modelos anteriores vemos que resultad ligeramente menor; es importante notar que en general las deflexiones por cargas de servicio tienden a disminuir en función del número de losas actuantes monolíticamente para soportar en conjunto un conjunto de cargas gravitacionales.

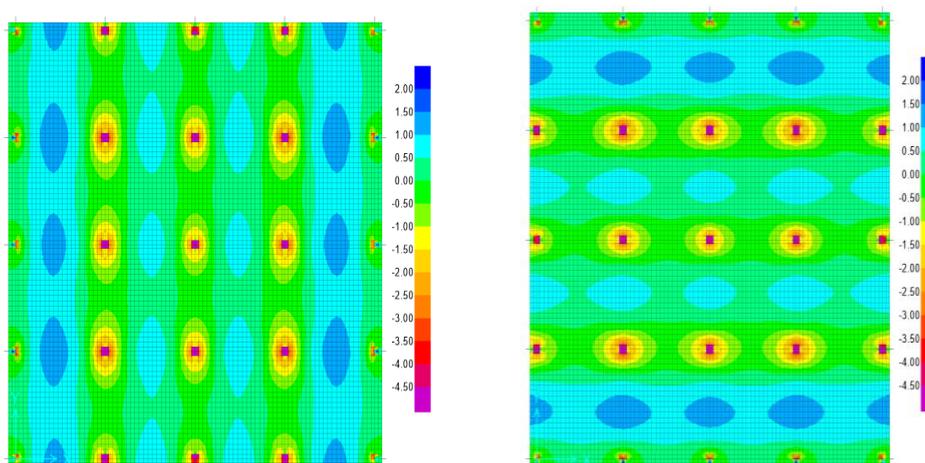


Figura 3-10: Diagrama de momentos M11 y M22. Fuente: Propia.

La distribución de los momentos M11 y M22 se presentan en la Figura 3-10, de estos gráficos vemos que el momento máximo M11 obtenido fue de 0.75 ton.m, mientras que el momento M11 máximo negativo obtenido fue de 3.0 ton.m, es importante notar que estos resultados fueron obtenidos cerca del centro de luz de los vanos exteriores y en la cara de columna respectivamente. Es interesante notar que los valores obtenidos en este caso resultaron ser valores menores a los obtenidos en el caso de la estructura de tres vanos en x e y; de estos resultados vemos que mientras más paños tenga un sistema de losas en general las fuerzas internas tienden a ser menores, es decir el comportamiento mecánico tiende a mejorar.

En la Figura 3-10 se muestran la distribución de momentos M22 a lo largo de la losa, en general estos valores tendrán valores idénticos a

los del diagrama M11, en las posiciones equivalentes, este hecho es posible gracias a la doble simetría del modelo elegido.

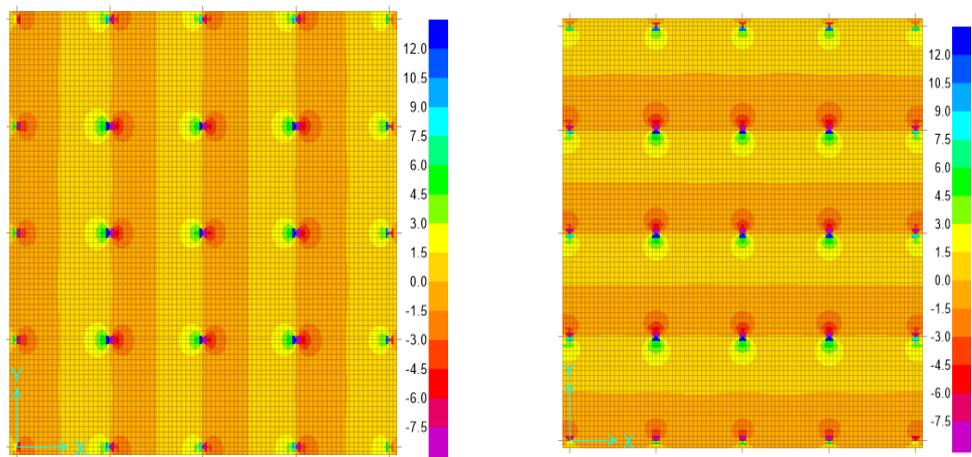


Figura 3-11: Distribución de fuerzas cortantes V13 y V23 sobre la losa, debidos a las cargas en servicio. Fuente: Propia.

Finalmente es importante estudiar la distribución de cortantes a lo largo de las losa, como se muestra en la Figura 3-11, de esta vemos que la cortante tiende a acumularse en la zona de columnas.

POSTENSADO EN LOSAS UNIDIRECCIONALES

Las losas unidireccionales son aquellas losas que presentan el predominio de rigidez de una dirección sobre otra, debido a este hecho la distribución de fuerzas internas tiende a tener predominio en la dirección de ^{mayor} rigidez o en la dirección más corta. El predominio de la rigidez en la dirección corta de la losa provoca que los momentos flectores sean significativamente mayores en esta dirección, esto no implica que existan momentos en la dirección más larga simplemente implica que los momentos existentes en la dirección más larga son pocos considerables respecto de lo ocurrido en la otra dirección.

El hecho de tener losas con una rigidez predominante en una dirección nos brinda la posibilidad de realizar armados en una sola dirección, el armado en la dirección perpendicular resulta ser pequeño, este es el caso de las losas macizas unidireccionales, losas aligeradas unidireccionales, losas postensadas unidireccionales, losas nervadas unidireccionales.

En el diseño de losas unidireccionales se debe tener en cuenta las condiciones de servicio de la losa y los criterios de resistencia, usualmente es el criterio de las condiciones de servicio el criterio dominante a la hora de elegir el espesor de la losa, mientras que es el criterio de resistencia el que determinara la cantidad de acero y su distribución en la losa (ACI 318 2014).

De entre los criterios más conocidos para el dimensionamiento del espesor de las losas unidireccionales tenemos el criterio de usar un peralte que represente una pequeña fracción de la luz de la losa, usualmente en el caso de losas macizas este es $L/30$, mientras que en el caso de losas aligeradas este valor llega a ser de $L/25$. Como se mencionó antes estos valores toman en cuenta el hecho de que las losas en condiciones de servicio deben de presentar condiciones de operatividad totales, es decir bajo cargas de servicio las losas deben mantenerse totalmente horizontales o presentar deflexiones tan pequeñas que no resulten en la incomodidad de los usuarios.

En teoría siempre sería posible el uso de peraltes más pequeños con un aumento significativo del acero de refuerzo, sin embargo esto tiene un límite práctico, ya que si la losa llega a tener un peralte demasiado pequeño este podría exhibir

deflexiones considerables en cargas de servicio si ver afectada la resistencia de la losa.

3.1.2 DISEÑO DE LOSA MACIZA UNIDIRECCIONAL EN CONCRETO ARMADO

En esta sección se evaluará el impacto del presfuerzo en el diseño de losas macizas unidireccionales, el primer diseño tomara en cuenta los criterios convencionales para la estimación del espesor de la losa, el segundo diseño reducirá a 7.5 cm el espesor de la losa, el objetivo de esto es mostrar las limitaciones del concreto armado para proveer losas con menores espesores y que cumplan con los requerimientos de serviciabilidad.

3.1.3 DISEÑO DE LOSA CON 15 CM DE ESPESOR

En esta sección realizaremos el análisis y diseño de la losa mostrada en la Figura 3-12, esta tiene 12m de largo y 4m de ancho, diseñaremos esta losa considerando una losa maciza en concreto armado, para el diseño tendremos en cuenta los requisitos de serviciabilidad y de resistencia, el peralte de la losa se obtuvo considerando los ratios mencionados en la sección anterior, en este caso el peralte se obtuvo como $L/30$ obteniendo un valor de 13.3 cm, con fines prácticos se optó por el uso de una losa de 15cm de peralte.

En cuanto a la calidad del concreto usado para el diseño se consideró un concreto con una resistencia a la compresión nominal de $f'c=350 \text{ kgf/cm}^2$, mientras que el esfuerzo de fluencia nominal del acero usado en la losa fue de $f_y=4200 \text{ kgf/cm}^2$, en el análisis se usaron elementos finitos Shell, estos elementos finitos tienen seis grados de libertad por nodo, por tanto

representan adecuadamente el caso de las losas macizas, para el análisis y el diseño se usó el programa SAFE v12.3.1.

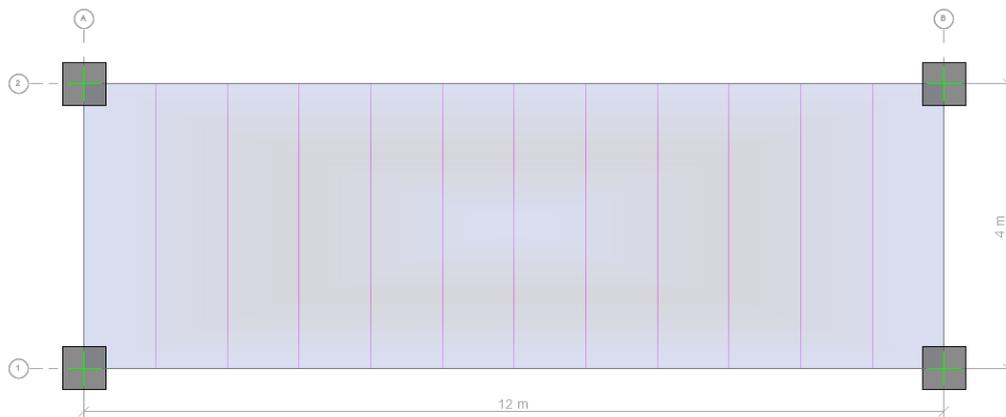


Figura 3-12: Geometría en planta de la losa 4mx15m. Fuente: Propia.

Las cargas aplicadas sobre la losa fueron de 250 kg/m^2 y 300 kg/m^2 estas correspondieron a los casos de cargas muertas y vivas respectivamente, es importante aclarar que el peso propio de la losa no está incluido en las cargas correspondiente a cargas muertas, el peso propio de la losa puede obtenerse manualmente al multiplicar el volumen de un metro cuadrado de la losa por el peso específico del concreto, el peso específico del concreto armado se tomó como 2400 kg/m^3 , en todos los casos, en la Figura 3-13 se muestran las cargas aplicadas a la losa.

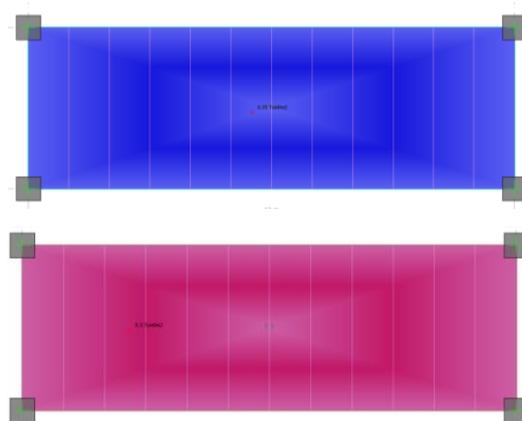


Figura 3-13: Carga muerta y viva aplicada a la losa analizada, con valores de 250 kg/m^2 y 300 kg/m^2 respectivamente. Fuente: Propia.

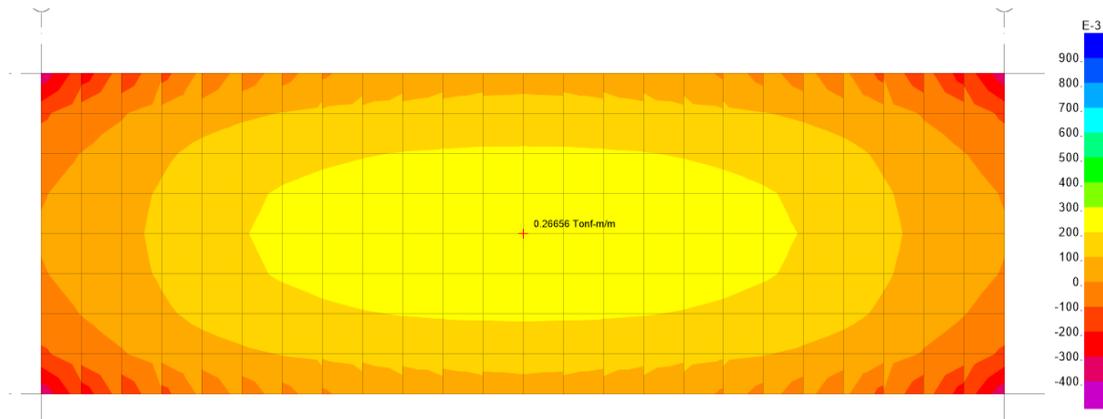


Figura 3-14: Distribución de momentos M11 obtenidos por carga muerta.

Fuente: Propia.

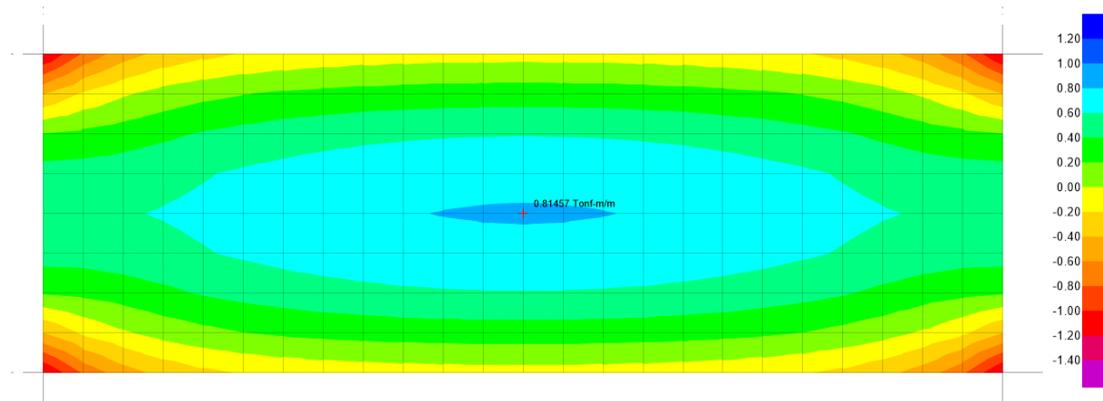


Figura 3-15: Distribución de momentos M22 obtenidos por carga muerta.

Fuente: Propia.

Los resultados obtenidos del análisis se muestran en la Figura 3-14 y Figura 3-15, de estos podemos ver que el momento M11 máximo obtenido fue de 0.27 ton.m, mientras que el momento M22 máximo obtenido fue de 0.82 ton.m, de estos valores podemos ver que el momento máximo en la dirección corta fue cuatro veces el momento en la dirección larga, queda claro que existe un claro predominio del comportamiento en la dirección corta.

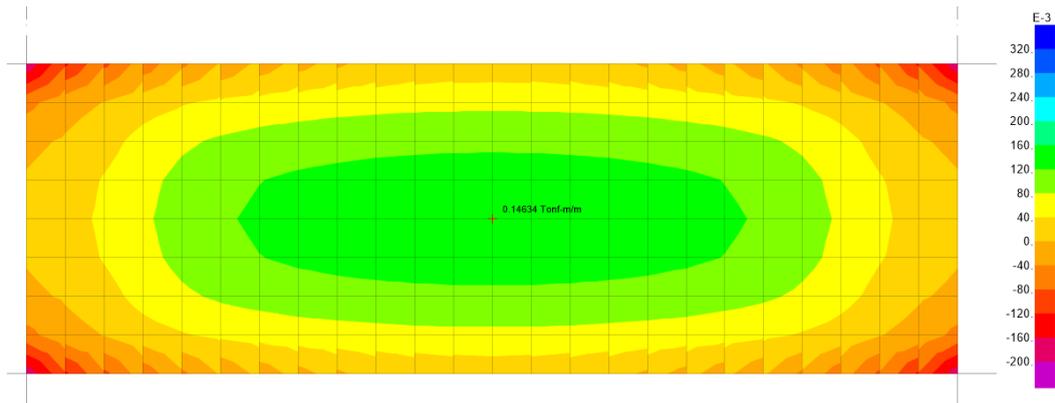


Figura 3-16: Distribución de momentos M11 debidos a las cargas vivas.

Fuente: Propia.

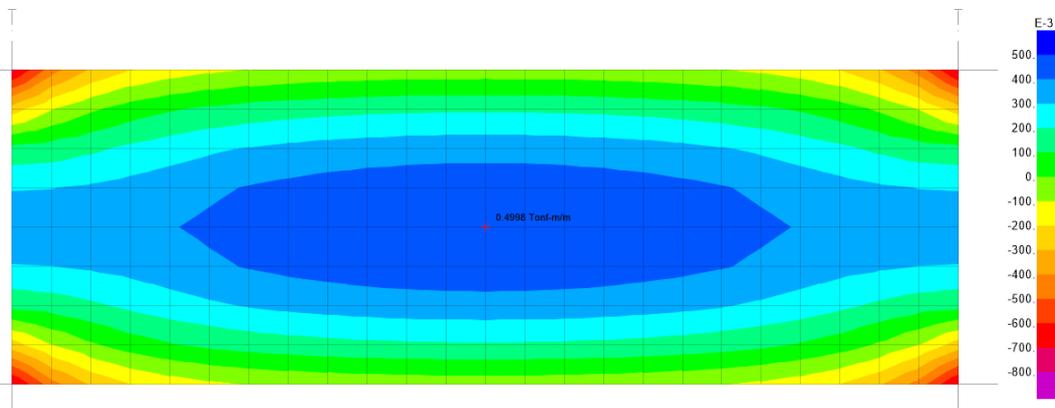


Figura 3-17: Distribución de momentos M22 debidos a las cargas vivas aplicadas en la losa. Fuente: Propia.

Resultados similares pueden ser observado en la Figura 3-16 y en la Figura 3-17, para el caso de las cargas vivas aplicadas en la losa, de estos vemos que de la distribución de momentos M11, el máximo fue de 0.15 ton.m, mientras que de la distribución de momentos M22 el máximo obtenido fue de 0.50 ton.m, notando que este valor es caso cuatro veces el anterior, con lo que volvemos a notar un predominio de la dirección corta.

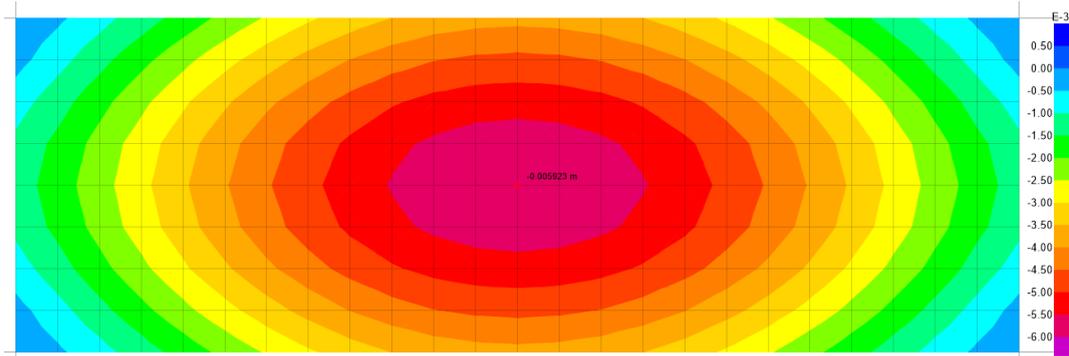


Figura 3-18: Deflexiones elásticas debidas a la carga muerta. Fuente:
Propia

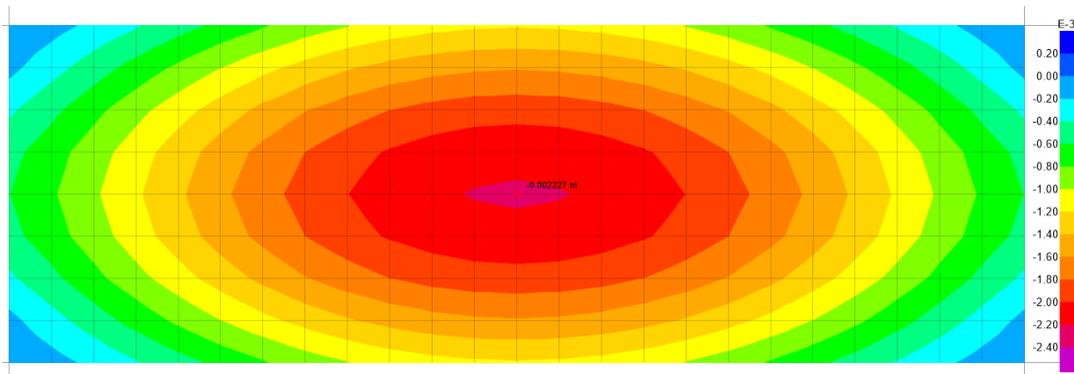


Figura 3-19: Deflexiones elásticas debidas a las cargas vivas. . Fuente:
Propia.

El cálculo de las deflexiones elásticas es un parámetro importante a la hora de evaluar el desempeño de la losa ante cargas de servicio, si estas deflexiones están dentro del margen permitido por la norma ACI 318 o sus equivalentes en la normativa peruana E030 daremos por satisfecho el diseño, de lo contrario se deberá incrementar el peralte de la losa a la cantidad requerida.

Teniendo en mente la premisa anterior vemos que la deflexión máxima fue 6mm en en el caso de cargas muertas más el peso propio de la losa, mientras que las deflexiones máximas fueron de 2.2 mm en el caso de las cargas vivas aplicadas en la losa. De estos valores vemos que las deflexiones máximas en servicio fueron de 8.2 mm, debemos recordar que este valor está siendo

calculado para el caso de una losa de 15 cm de espesor, debe quedar claro que si el peralte fuera menor este valor se incrementaría, y si el peralte de la losa fuera mayor la deflexión máxima sería menor.

El cálculo de las deflexiones mostrado en el párrafo anterior es el cálculo de las deflexiones elásticas instantáneas, esto significa que estas deflexiones ocurrirán en la losa al instante en el que se aplican las cargas gravitacionales, sin embargo debido al flujo plástico del concreto estas deflexiones en general tienden a incrementarse con el tiempo, siendo estas deflexiones llamadas deflexiones diferidas, las deflexiones totales ocurridas en la losa serán la suma de las deflexiones elásticas considerando las cargas permanentes más una fracción de la carga viva y las deflexiones diferidas debidas al flujo plástico del concreto.

La norma de E060 de concreto armado en acápite 9.6.2.5 dice textualmente: “A menos que se haga un análisis más completo, la deflexión diferida o adicional en el tiempo, resultante del flujo plástico del concreto y de la retracción de los elementos en flexión, podrá estimarse multiplicando la deflexión inmediata causada por las cargas sostenidas (carga muerta y la porción de carga viva que se prevé actuará permanentemente) por el factor $\lambda\Delta$ ”

$$\lambda\Delta = \frac{\xi}{1 + 50\rho'}$$

En la expresión mostrada ξ es un parámetro que depende del tiempo y por tanto está relacionada con las propiedades del concreto, mientras que ρ' es la cuantía del refuerzo longitudinal en compresión obtenida en las secciones

de control respectivas dadas por la norma mencionada, un resumen de estos criterios se muestra a continuación:

5 años o más.....	2,0
12 meses.....	1,4
6 meses.....	1,2
3 meses.....	1,0

Si se desea evaluar la evolución en el tiempo de este parámetro puede hacerse uso del grafico mostrado en la Figura 3-20, en este grafico se presentan los valores de los factores dependientes del tiempo como una función de la duración de las cargas.

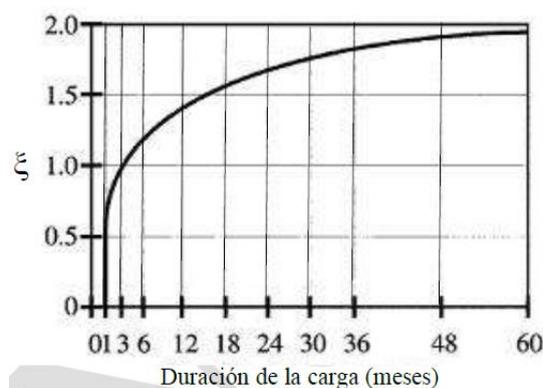


Figura 3-20: Factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas (Tomado de la norma E060 concreto armado).

Tomando en consideración los lineamientos presentados en la norma E060, y tomando en cuenta que en este punto aún no se ha llegado al diseño de los refuerzos de las losas, haremos una estimación de la deflexión diferida suponiendo una cuantía mínima de 0.0018 y un factor dependiente del tiempo igual a dos, entonces tenemos que:

$$\lambda\Delta = 1.83$$

El resultado obtenido nos dice que la deflexión diferida es 1.83 veces la deflexión elástica de la losa, por tanto es de esperar que la deflexión en la losa considerando el efecto del flujo plástico sea de 23.20 mm, aunque en este punto debemos recalcar que este cálculo se ha hecho considerando una cuantía de refuerzo supuesta, en las secciones correspondientes recalcularemos este valor con la cuantía de refuerzo longitudinal obtenida.

El diseño de la losa se ha hecho siguiendo las recomendaciones dadas por la norma E060, las combinaciones de carga usadas para el análisis incluyeron la cargas muertas y las cargas vivas, los resultados del diseño del refuerzo principal se muestran en la Figura 3-21, de este resultado vemos que la cantidad de acero requerido en la franja central fue de 5.8 cm² en una franja de un metro de longitud.

Mientras que las franjas cercanas a los apoyos tienen un requerimiento de 5 cm² de acero en una franja de un metro de ancho de longitud, los números mencionados pueden traducirse en equivalentes en varillas de acero, en específico el requerimiento de varillas de acero de en la franja central será de Φ 1/2" espaciados cada 20cm, mientras que el requerimiento de acero en las franjas extremas es de Φ 1/2" @ 25 cm, en la dirección perpendicular sólo fue necesario usar varillas de 3/8" @ 20 cm

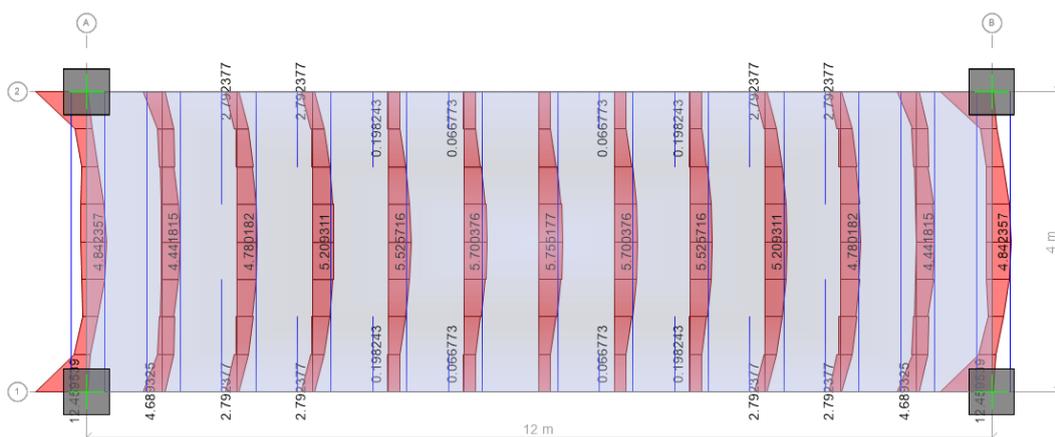


Figura 3-21: Diagrama de momentos flectores en franjas de un metro en losa de 15 cm de espesor. . Fuente: Propia

3.1.4 DISEÑO DE LOSA CON 10CM DE ESPESOR

En esta sección se ha realizado el diseño de la losa anterior considerando un espesor de la losa inferior al requerido por consideraciones de servicio, para el diseño de esta losa se han considerado las mismas condiciones que en el diseño de la losa anterior, es decir los niveles de cargas aplicados en la losa y las condiciones de borde son los mismos.

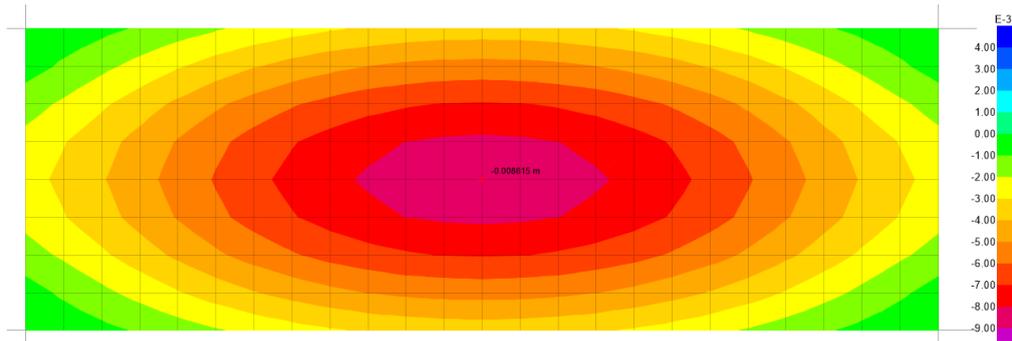


Figura 3-22: Deformaciones instantáneas obtenidas en la losa de 10cm, debidas a las cargas muertas. . Fuente: Propia

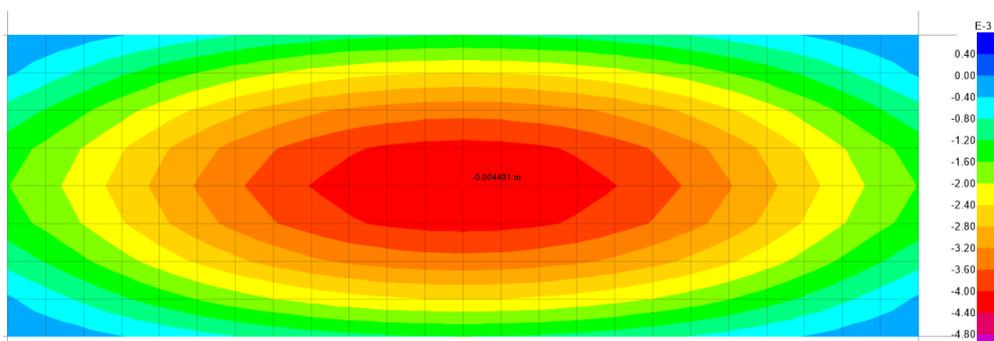


Figura 3-23: Deformaciones instantáneas obtenidas en la losa de 10cm, debidas a las cargas vivas. . Fuente: Propia

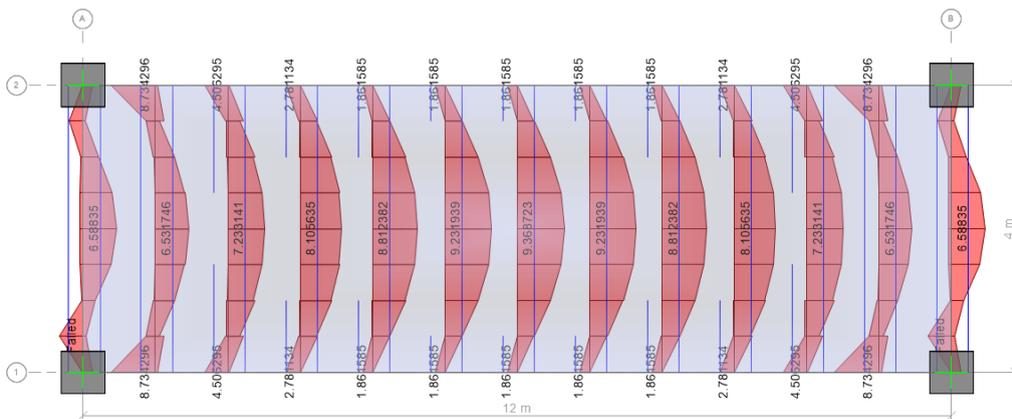


Figura 3-24: Diagrama de momentos flectores en franjas de un metro en losa de 10 cm de espesor. Fuente: Propia

Las deflexiones instantáneas obtenidas en la losa debidas a las cargas gravitacionales se muestran en la Figura 3-23 y Figura 3-24, de estas vemos que la deflexión máxima fue de 8.62 mm para el caso de las cargas

mueras, mientras que la deflexión máxima debido a las cargas vivas fue de 4.40mm. De estos resultados vemos que la deflexión elástica máxima debidos a las cargas en servicio fue de 13 mm, además haciendo el cálculo de las deflexiones diferidas obtenemos que las deflexiones máximas fueron de 39 mm.

El diseño de las losas se hizo por el método de resistencias, para esto se usaron los factores de amplificación de cargas y factores de reducción de resistencias de acuerdo con las normativas vigentes, los resultados del diseño se muestran en la Figura 3-24, de este podemos ver que la cantidad de acero requerido en la franja central de la losa fue de 9.5cm^2 distribuidos en una franja de un metro de longitud, mientras que el acero requerido en las franjas externas fue de 7.5 cm^2 distribuido en una franja de un metro de ancho.

Los resultados expresados como áreas distribuidas en franjas de ancho unitario pueden ser expresadas como varillas de un ciertos diámetros espaciadas adecuadamente, en específico el refuerzo longitudinal en la franja central sería de $\Phi 1/2" @ 12.5\text{ cm}$, mientras que el refuerzo en la franja externa sería de $\Phi 1/2" @ 15\text{ cm}$.

Como se mencionó anteriormente una de las formas de diseño de losas unidireccionales se hace idealizando la losa como una viga con un ancho de un metro y el peralte de la losa, en general este método nos da resultados conservadores, en el caso del presente trabajo se está haciendo uso del método del elemento finito, en específico se está haciendo uso de los elementos Shell, este método nos permite hacer cálculos más detallados y nos permite obtener la variación de los esfuerzos y por tanto la variación de cortantes y momentos flectores, esta es la razón por la que obtenemos diferentes resultados de refuerzo en las franjas centrales y franjas externas.

3.1.5 DISEÑO DE LOSA DE 10CM CON POSTENSADO

En esta sección se hará el diseño de la losa estudiada usando la técnica del postensado, para esto se ha usado una losa con un peralte de 10 cm, la resistencia nominal del concreto es de $f'c=350\text{kg/cm}^2$, el esfuerzo de

fluencia del acero de refuerzo fue de $f_y=4200\text{kg/cm}^2$, y el esfuerzo de fluencia del acero de presfuerzo fue de $f_{py}=18900\text{kg/cm}^2$.

La distribución de los tendones en planta se muestra en la Figura 3-25, en estas se colocaron tendones en franjas de diseño de un metro de un ancho, el perfil vertical de los tendones colocados se muestra en la Figura 3-26.

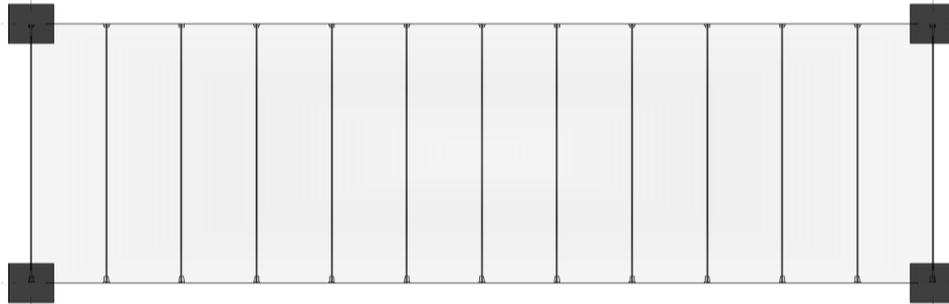


Figura 3-25: Disposición en planta de los tendones colocados en la losa analizada. Fuente: Propia.

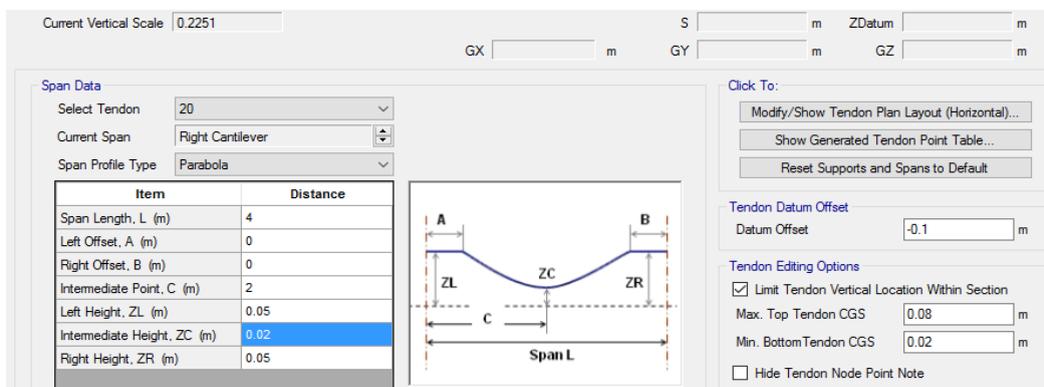
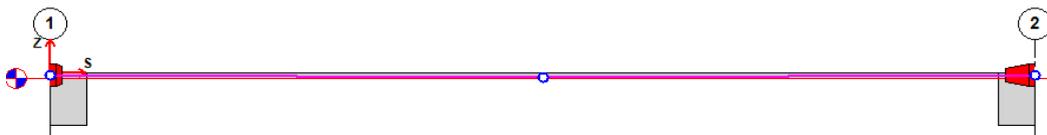


Figura 3-26: Disposición vertical de los tendones colocados en las losas macizas unidireccionales. Fuente: Propia.

La disposición del perfil vertical del tendón tomo como base un perfil parabólico, la posición del tendón de los extremos coincidió con eje centroidal de la losa, mientras que la posición del tendón al centro de la luz tuvo una excentricidad negativa de 3cm. La disposición propuesta

Para el diseño de esta losa se usaron torones de ϕ 1/2" de diámetro con un área de la sección transversal de 0.99cm^2 , el nivel de presfuerzo aplicado fue de 15173.4 kg/cm^2 por cada torón y se aplicó desde uno de los extremos. Para estas condiciones se observó que el uso de un solo torón por ducto resulta ineficiente, por tanto se consideró el uso de dos torones por ducto, es importante tener presente estos datos en la discusión siguiente.

Los resultados en términos de deformaciones inducidas por el presfuerzo en la losa se muestran en la Figura 3-27, específicamente en esta figura se muestran las deformaciones inducidas por el presfuerzo inicial aplicado en la losa es decir aquel en el que no se han considerado las pérdidas de presfuerzo dependientes del tiempo. La deflexión máxima obtenida fue 3.2 mm contrarios a la dirección de la aceleración de la gravedad, la deflexión máxima bajo cargas de servicio (D+L+Pi) fue de 6.1 mm al centro de la losa, es interesante notar que este valor resultó ser aproximadamente la mitad de la deflexión elástica de la losa en el caso que esa se hubiese diseñado en concreto armado.

De estos resultados vemos que en general el presfuerzo aplicado a la losa mediante el estiramiento de los cables de acero introduce mejoras notables en el comportamiento bajo cargas de servicio, una de esas mejoras está claro en la disminución de las deflexión elásticas, como se mencionó en párrafos anteriores se ha considerado el uso de dos torones por ducto por tanto se espera que si se aumenta el número de torones se pueden introducir mejoras significativas en el comportamiento bajo cargas de servicio.

Es importante notar que aunque el nivel de presfuerzo se puede incrementar al aumentar el número de torones colocados en la losa, en general esto tendrá limitaciones prácticas, en específico la aplicación de un elevado nivel de presfuerzo en el concreto podría inducir la aparición de grietas en ciertas zonas, en especial teniendo en consideración que la aplicación del presfuerzo en general se hace en momentos en que el concreto aun no alcanzó su resistencia a la compresión especificada, por tanto en el diseño de losas postensadas en general se deben evaluar los esfuerzo de compresión y tensión inducidos en la losa por la aplicación del presfuerzo y estas revisiones

deben hacerse considerando las propiedades del concreto en el momento en que se desarrollan estas actividades.

En el diseño de losas postensadas es importante tener presente las etapas constructivas de esta, el primer paso en la construcción de las losas postensadas consiste en el vaciado de la losa propiamente, para esto ya se deben haber colocado los refuerzos convencionales requeridos, si los hubiera, y los ductos por donde se harán pasar los torones, una vez vaciada la losa se debe esperar un cierto número de días hasta que la losa adquiera cierto nivel de resistencia, en la generalidad de los casos no es posible esperar los 28 días requeridos para que la losa alcance su resistencia total, es usual que el tensado se haga a los tres días de vaciada la losa, instante en el que la resistencia nominal de la losa no ha alcanzado la resistencia nominal a compresión esperada, por tanto la losa tendrá una capacidad de resistir esfuerzo de tensión y compresión menores a las que tendría si hubiese alcanzado su resistencias esperada.

La aplicación de las cargas previstas no ocurre de una vez, al momento del tensado de la losa usualmente la losa se encuentra sometida únicamente a su peso propio y a un muy bajo nivel de la carga muerta y viva considerada, por tanto en el diseño de elementos de concreto postensado deben evaluarse los esfuerzos inducidos considerando solamente la acción del peso propio y las fuerzas del presforzado inicial.

Después del postensado es de esperar que sobre la losa empiecen a actuar parte de las cargas muertas y vivas consideradas en el diseño, usualmente esto ocurrirá antes de que se den las pérdidas de presfuerzo dependientes del tiempo, por tanto es otro de los estados en los que deben verificarse los esfuerzos inducidos en las losas.

Finalmente cuando hayan ocurrido las pérdidas de presfuerzo dependientes del tiempo, las cargas muertas actuantes serán las previstas en el diseño y la losa se encontrará sujeta permanentemente a una fracción de la carga viva, al igual que en los casos anteriores en estas etapa deberá verificarse que los esfuerzos inducidos por el presforzado no superen los niveles permitidos por la normativa vigente.

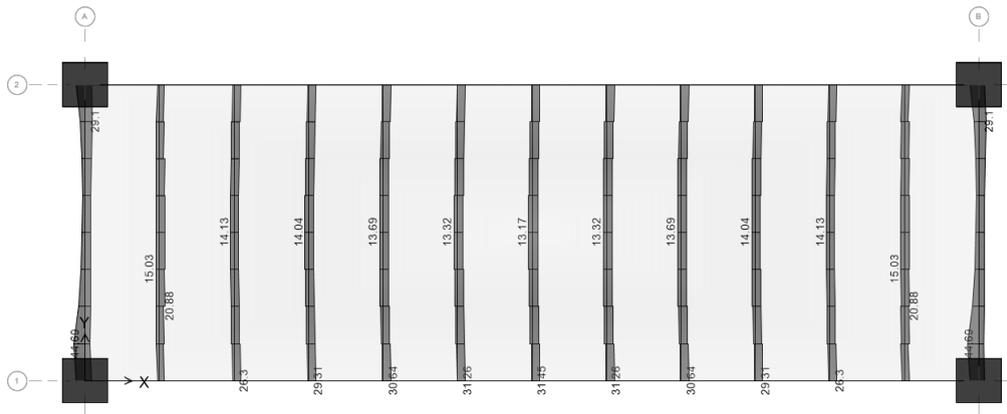


Figura 3-29: Esfuerzos de tensión inducidos en el concreto debido al presfuerzo inicial. Fuente: Propia.

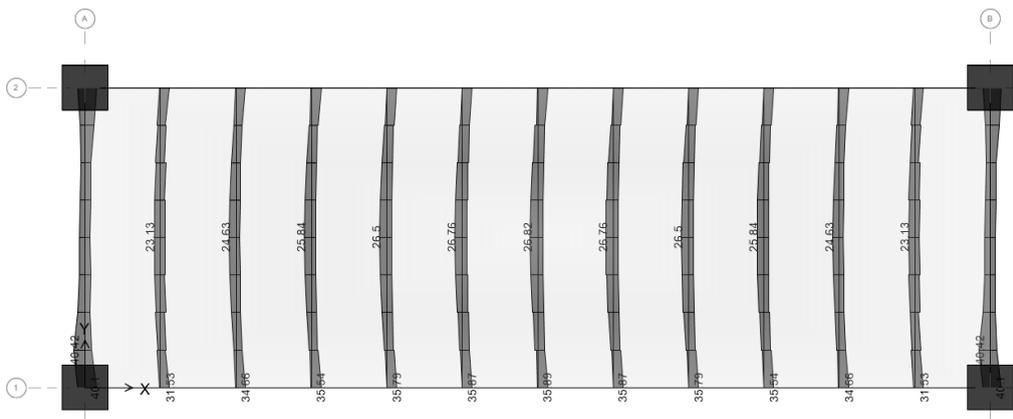


Figura 3-30: Esfuerzos de tensión inducidos en el concreto ocurridos luego de las pérdidas de presfuerzo dependientes del tiempo. Fuente: Propia.

3.2 EFECTO DE LAS DIMENSIONES EN EL POSTENSADO

En esta sección se estudia el efecto que tienen las dimensiones predominantes de la losa (dimensiones en planta) en el comportamiento estructural de losas postensadas, además estos resultados serán comparados con el comportamiento obtenido en losas diseñadas en concreto armado, veremos que en general el uso del presfuerzo en losas de concreto mejora sustancialmente el comportamiento de las losas bajo cargas de servicio, en específico permite la reducción de los espesores de losas, manteniendo niveles de deflexión aceptables.

3.3 COMPORTAMIENTO DE LOSA DE 10m DE LUZ

El siguiente caso consiste en dimensionar una losa de concreto, que deba cubrir una luz de 10 m en ambas direcciones, la primera parte del análisis consiste en analizar y diseñar esta estructura en concreto armado es decir usando como materiales el concreto y el acero de refuerzo convencional, la segunda parte de este estudio debe dimensionar la misma estructura usando el concreto, acero de refuerzo convencional y el acero de prefuerzo, finalmente se deben evaluar las ventajas de un sistema frente a otro.

3.4 DISEÑO EN CONCRETO ARMADO

Para el diseño de la losa se supone que la losa estará apoyada en sus cuatro bordes por vigas dimensionadas adecuadamente, en este caso se usó para el dimensionamiento de las vigas el criterio de que el peralte debe ser un doceavo de la luz que cubre, debe quedar claro que en los análisis presentados se ha obviado el diseño de las vigas, ya que no forma parte de los objetivos de esta sección, acorde con estos comentarios se ha usado una viga con un peralte de 85 cm.

Para el dimensionamiento de losas macizas en dos direcciones usaremos el criterio comúnmente usado en la práctica profesional de la ingeniería estructural que dice que el peralte de una losa maciza en dos direcciones debe ser igual $P/180$, donde P es el perímetro de la losa, existe también un criterio adicional que dice que el peralte de una losa diseñada en concreto armado debe ser $L/40$, donde L es la máxima luz de losa, usando estos criterios se ha elegido un peralte de 20 cm.

En cuanto a los materiales usados para el diseño de la losa, se ha usado al concreto de peso normal, con una resistencia especificada a la compresión

de 420 kg/cm^2 , mientras que el acero de refuerzo convencional usado serán las varillas corrugadas con esfuerzo de fluencia de 4200 kg/cm^2 .

El modelo usado para el análisis y el diseño de la losa de concreto arando consistió en el uso de una losa de concreto apoyada en sus cuatro bordes con vigas peraltadas, a su vez estas se encuentran apoyadas en columnas de las dimensiones requeridas; para tomar en cuenta la rigidez de las columnas se han usado columnas empotradas en la parte superior e inferior de estas, como se muestra en la Figura 3-31.

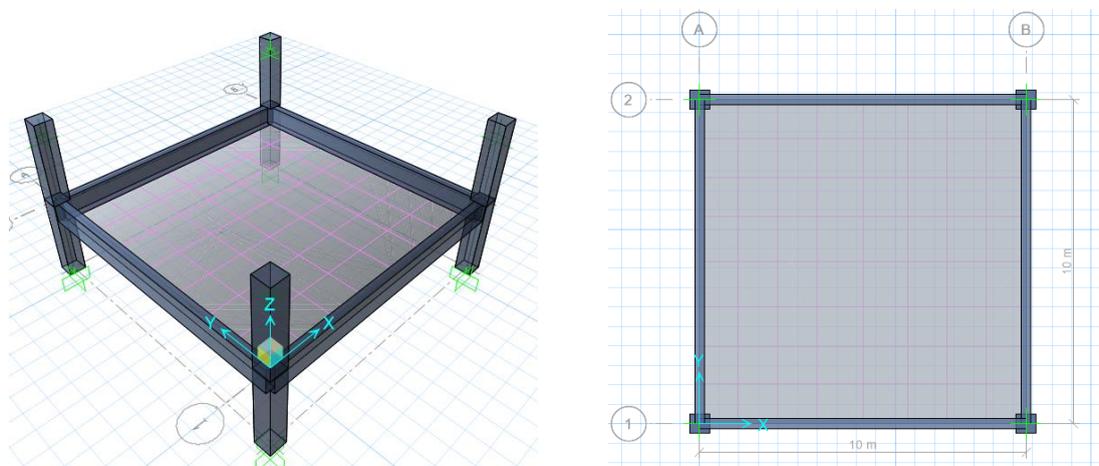


Figura 3-31: Vista tridimensional y dimensiones en planta de losa con 10 m de luz. Fuente: Propia.

Las cargas aplicadas a la losa fueron únicamente cargas gravitacionales, en específico se aplicaron cargas muertas que representan el peso de los acabados y el peso de la tabiquería móvil, mientras que las cargas vivas aplicadas hacen referencia al uso típico dado en oficinas, en este caso los valores aplicados para las cargas muertas y vivas fueron de 250 kg/m^2 y 250 kg/m^2 ; es importante aclarar que el peso propio no se encuentra metrado en los valores dados previamente el peso propio de la losa es incluido usualmente en los casos de análisis definidos por los programas usados.

El análisis se realizó a través del software de análisis no lineal SAFE, los resultados de los refuerzos obtenidos se muestran en la Figura 3-32, de

estos resultados podemos ver que la cantidad de refuerzo horizontal requerido al centro de luz en la dirección x fue de 9.02 cm^2 lo que equivale a usar varillas de $1/2''$ espaciadas cada 14 cm ; la cantidad de refuerzo de acero longitudinal en la dirección y fue de 9.8 cm^2 , lo que equivale a usar aceros de $1/2''$ cada 12.5 cm , con el objetivo de facilitar el armado de la losa se usaron varillas de $1/2''$ cada 12.5 cm en ambas direcciones. Finalmente el refuerzo de acero positivo usado fue de $1/2''$ espaciados cada 32.5 cm .

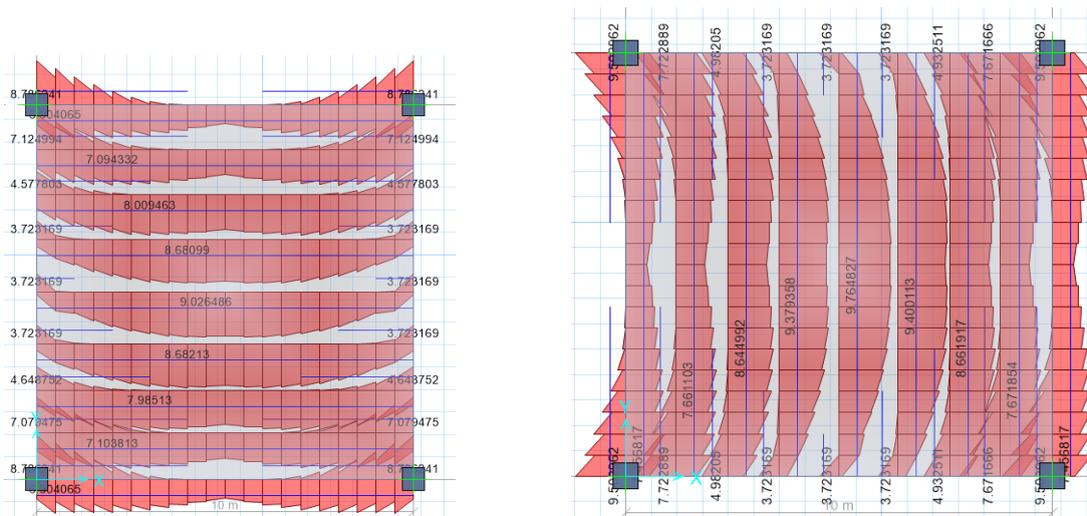


Figura 3-32: Acero de acero de refuerzo requerido por metro lineal en ambas direcciones. Fuente: Propia.

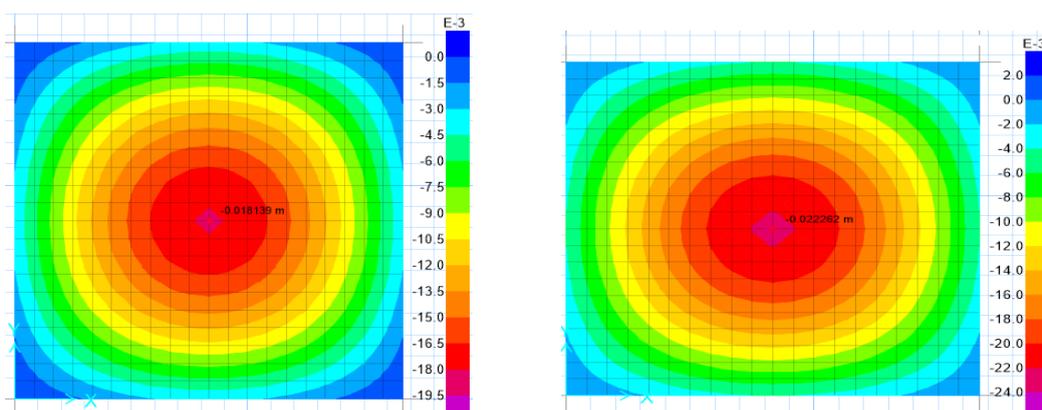


Figura 3-33: Deformaciones máximas obtenidas considerando peso propio, prefuerzo, carga viva sostenida y total.

Las deflexiones obtenidas del análisis elástico considerando el peso propio, las cargas muertas totales, el veinticinco por ciento de la carga vivas y el total de las cargas vivas se muestra en la Figura 3-33, la deflexión máxima

en el primer caso fue de 1.80 cm, mientras que en el segundo caso la deflexión máxima fue de 2.30 cm.

3.5 DISEÑO EN CONCRETO PRESFORZADO

En esta sección se muestran los detalles del diseño de la losa con sistemas postensados, en primer lugar se procedió a usar un peralte idéntico al usado en la sección anterior, es decir como primer caso se usó un peralte de 20 cm, el segundo caso tuvo como objetivo usar el menor espesor posible para la losa postensada, en este caso se obtuvo que para las dimensiones en planta de la losa un espesor de 12.5 cm sería el mínimo razonable.

3.5.1 LOSA POSTENSADA DE 20cm

En el primer caso analizado se supuso un peralte de la losa de 20cm, los materiales usados para el diseño de la losa fueron concretos de peso normal con una resistencia especificada a la compresión de 420 kg/cm², acero de refuerzo convencional con un esfuerzo de fluencia de 4200 kg/cm² y acero de presfuerzo grado 270 ksi.

Los diámetros de las varillas de acero de refuerzo convencional usados en este trabajo serán de 3/8", 1/2" y 3/4", con áreas de sección transversal de 0.71 cm², 1.27 cm² y 1.98cm², respectivamente, además los diámetros de los torones más usados son los de 3/8" y 1/2", con áreas de sección transversal de y 0.91 cm², respectivamente.

El modelo usado para llevar a cabo el análisis y el diseño de la losa postensada se muestra en la Figura 3-34, de este gráfico podemos ver que se han considerado las columnas superiores e inferiores para poder modelar el efecto de la rigidez de estas en el comportamiento de la estructura, en la misma figura se puede apreciar la suposición en planta de los tendones de presfuerzo, como se ve se consideró una disposición regular de los tendones.

Se usó una parábola para el perfil vertical del tendón usado para el postensado, esta se dispuso de tal manera que su vértice inferior coincidiera con el punto de mayor excentricidad y que este ubicada al

centro de luz, mientras que los extremos coincidieron con el eje centroidal de la sección de la losa, un esquema del perfil del tendón usado típicamente para el ingreso de las características geométricas más importantes del tendón se muestra en la Figura 3-35.

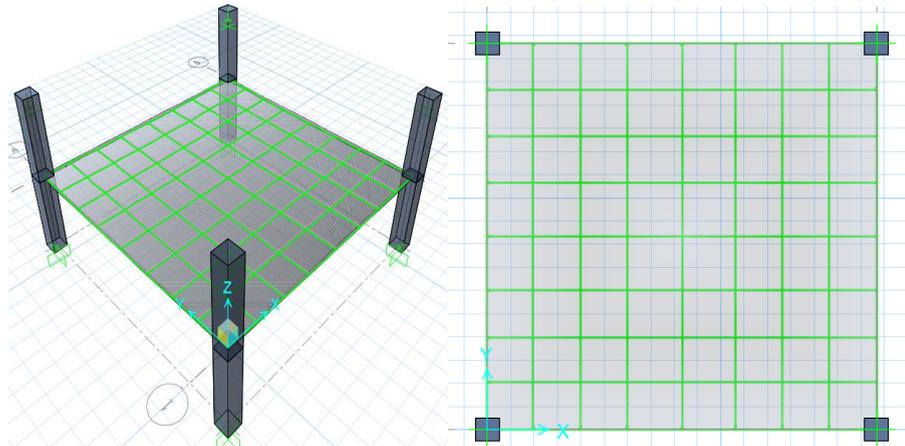


Figura 3-34: Modelo de losa con sistema postensado en ambas direcciones. Fuente: Propia.

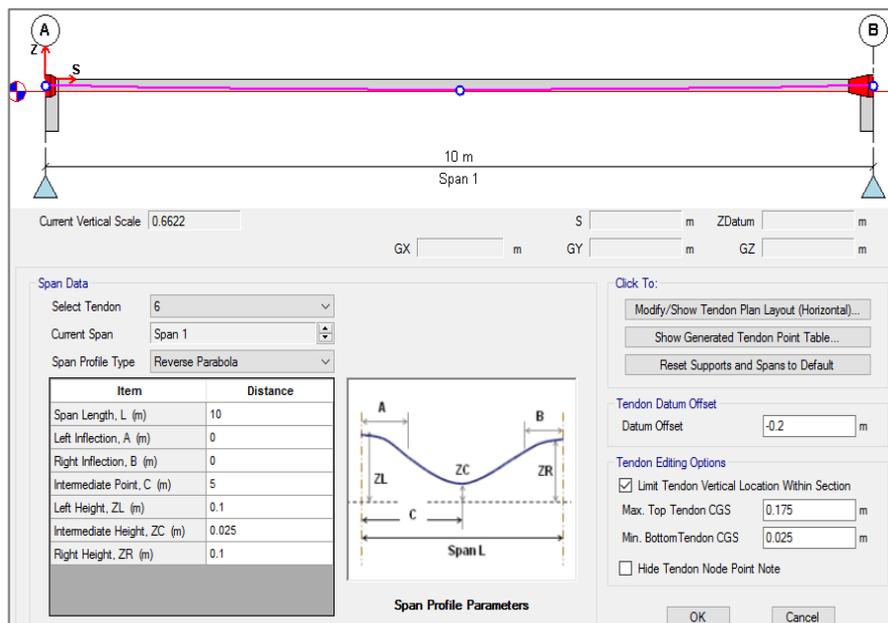


Figura 3-35: Perfil vertical parabólico del cable de presforzado. Fuente: Propia.

Es importante aclarar que el método más comúnmente usado para la determinación de la fuerza de presfuerzo requerida en un cable y por tanto la determinación del número de torones requeridos por ducto

depende principalmente de las cargas que el sistemas postensado deberá equilibrar o balancear, por ejemplo si se requieren balancear solamente los esfuerzos inducidos de la aplicación del peso propio, entonces deberá aplicarse un fuerza de tensado tal que contrarreste el diagrama de momentos generados por el peso propio, sin embargo si se tienen que balancear además los esfuerzos debidos a la aplicación del peso muerto y una fracción de la carga viva o carga viva sostenida; entonces la fuerza de tensado deberá incrementarse notablemente.

Se debe tener en cuenta que los niveles de esfuerzos aplicados a la losa y al acero de presfuerzo siempre deberán mantenerse dentro de los límites tolerables por la normativa vigente, y estos límites deberán verificarse en todas las etapas constructivas de la estructura, esto quiere decir que se deben verificar que los esfuerzos en el concreto y el acero se encuentre dentro de los límites permisibles durante el procedimiento de aplicación del presfuerzo a los torones, inmediatamente después a la transferencia de esfuerzos, bajo la aplicación de una fracción de las cargas vivas y después de la perdida de presfuerzo debido a las pérdidas dependientes del tiempo.

Según el capítulo 18 de la norma peruana de diseño en concreto armado, específicamente el ítem 16.4 “Requisitos de servicio-elementos sometidos a flexión”, dice que los esfuerzos de compresión máximos en la losa inmediatamente después de la transferencia del presforzado deberán ser de $0.60f'_{ci}$, donde f'_{ci} es la resistencia especificada a la compresión a la edad en que el concreto es presforzado, este valor es usualmente el 70% de la resistencia especificada a la compresión del concreto (f'_{c}), en nuestro caso tendríamos un valor de 294 kg/cm^2 , lo que nos daría un límite superior a esfuerzos de compresión de 176.4 kg/cm^2 . El mismo ítem nos dice que el esfuerzo máximo en tensión deberán ser $0.8\sqrt{f'_{ci}}$ (kg/cm^2) o de $1.6\sqrt{f'_{ci}}$ (kg/cm^2) en los apoyos simples, estas expresiones nos dan 13.7 kg/cm^2 y 27.5 kg/cm^2 respectivamente.

El ítem 18.4.2 de la citada norma nos brinda los límites máximos de esfuerzos de compresión debidos al presforzado y a las cargas sostenidas en el tiempo como $0.45f'c$, mientras que el límite de esfuerzos de compresión debidos al presfuerzo y al total de las cargas es de $0.60 f'c$, aplicando estas recomendaciones en el caso analizado tendríamos que estos límites son 189 kg/cm^2 y 252 kg/cm^2 respectivamente, debe quedar claro que estos límites son aplicables una vez que han ocurrido las pérdidas dependientes del tiempo en el acero.

El ítem 18.5 de la misma norma nos provee de los límites máximos de esfuerzos a los que se deben someter los cables de presforzado, en específico vemos que el esfuerzo aplicado en un torón debido a la acción del gato debe ser como máximo el $0.97f_{py}$, pero no debe ser mayor que $0.80f_{pu}$ y el máximo valor recomendado por el fabricante, de manera análoga se no dice que el esfuerzo máximo en el tendón después de la transferencia no debe superar a $0.82 f_{py}$ ni $0.74 f_{pu}$, en este caso tendríamos que el esfuerzo máximo inducido en el torón por el gato debe ser de 15186 kg/cm^2 , mientras que el esfuerzo máximo inducido en los torones inmediatamente después de la transferencia debe ser de 14000 kg/cm^2 .

Con base en las consideraciones hechas líneas arriba se procedió a determinar la cantidad de torones requeridos en cada tendón de presforzado, como se explicó antes, el procedimiento es determinar la fuerza de presforzado requerida para el balanceo de ciertos niveles de presfuerzo, una vez determinado dicho nivel de fuerza se escoge un diámetro de torón y se calcula el número de torones requeridos para la obtención de la fuerza deseada, en este caso se usaron torones de $1/2''$ y el número de torones requeridos en dirección x e y fue de dos por cada torón, excepto en los tendones centrales en los que se requirieron de tres torones cada uno.

Para llevar a cabo los cálculos requeridos se usó el programa de análisis no lineal SAFE, entre otras ventajas mencionadas

anteriormente este programa es capaz de mostrar los resultados obtenidos de manera gráfica, específicamente en la Figura 3-36 se muestran los ratios de demanda de esfuerzos de tensión y capacidad obtenidos en la losa inmediatamente después de la transferencia de esfuerzo y de la aplicación del peso propio de la losa, como vemos de estos gráficos en ningún caso se superó el límite de esfuerzos de tensión requeridos por la normatividad vigente.

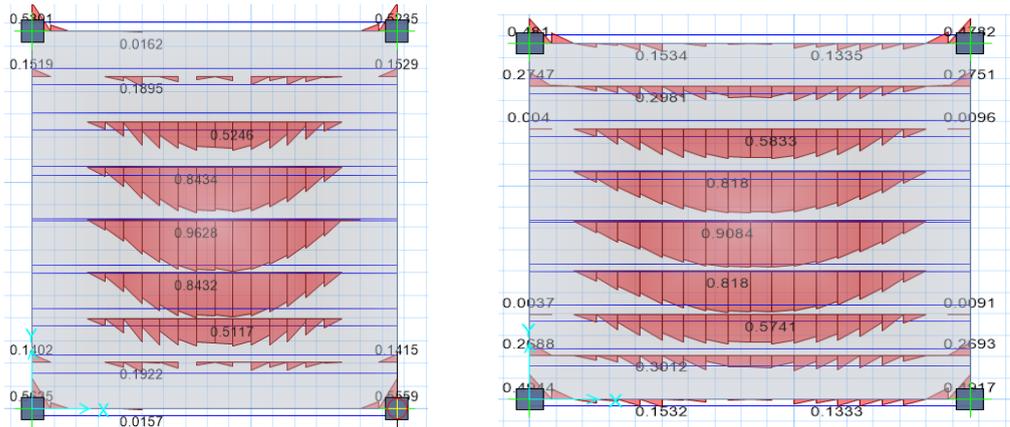


Figura 3-36: a) Esfuerzos de tensión en el concreto en la transferencia de esfuerzos, b) esfuerzos de tensión en el concreto considerando la totalidad de cargas vivas. Fuente: Propia.

En la Figura 3-37 se muestran los ratios de esfuerzos de tensión y capacidad en dirección x en la losa después de ocurridas las pérdidas de prefuerzo dependientes del tiempo y de la aplicación de las cargas vivas sostenidas, finalmente en el mismo grafico se muestran también los esfuerzos de compresión inducidos en la losa debidos a la aplicación del prefuerzo en el que se han considerado las pérdidas de prefuerzo dependientes del tiempo y de la aplicación de las cargas vivas sostenidas.

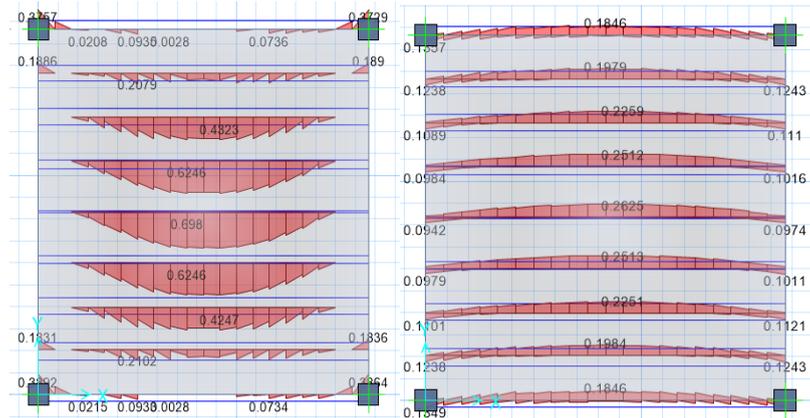


Figura 3-37: a) Esfuerzos de tensión en el concreto considerando las pérdidas dependientes del tiempo y la carga viva sostenida, b) esfuerzos de compresión en el concreto. Fuente: Propia.

En la se muestran los ratios de esfuerzos de tensión en la dirección y, el primer grafico muestra los esfuerzo de tensión ocurridos después de la transferencia y de la aplicación del peso propio de la losa, mientras que la segunda figura muestran los ratios demanda capacidad después de ocurridas las pérdidas de presfuerzo y debidas a la aplicación de la totalidad de las cargas en servicio.

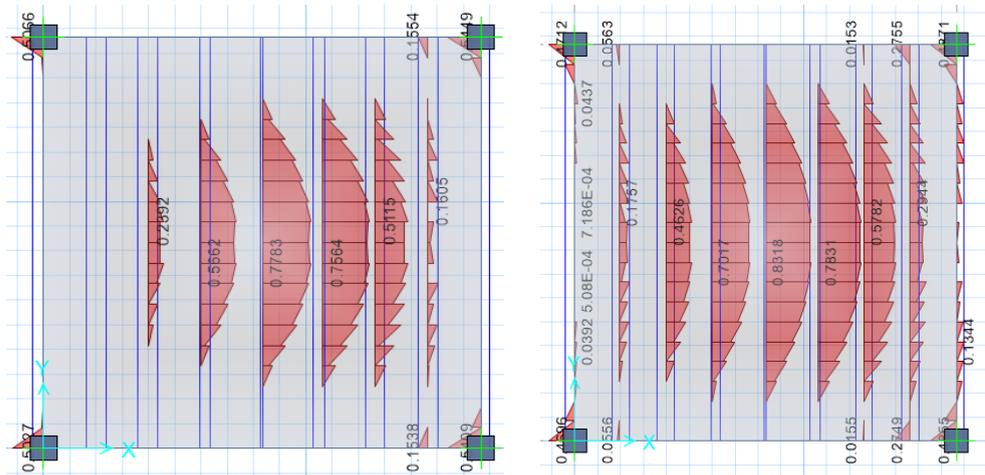


Figura 3-38: Esfuerzos de tensión en el concreto en la dirección Y, a) en la transferencia de esfuerzos, b) considerando las cargas vivas totales. Fuente: Propia.

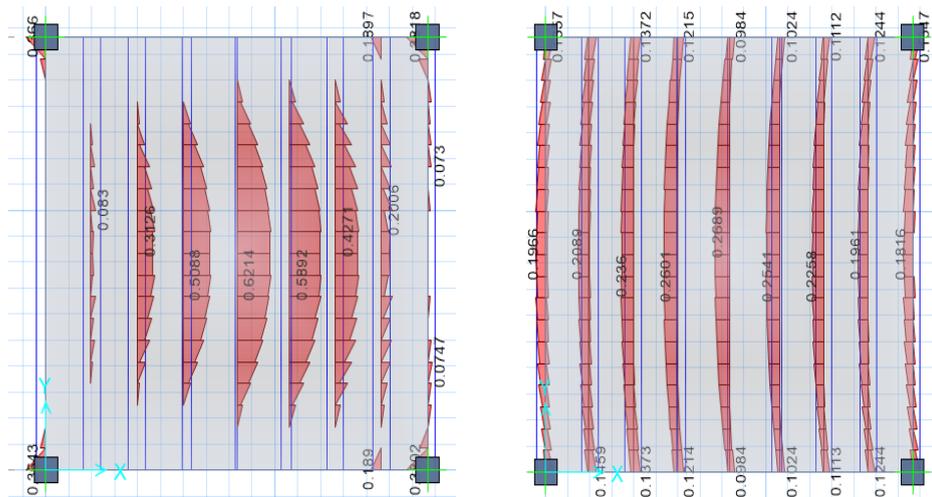


Figura 3-39: Esfuerzos presentes en el concreto en el eje Y, considerando las pérdidas de presfuerzo dependientes del tiempo y la fracción de carga viva permanente, a) esfuerzos de compresión, b) esfuerzos de tensión. Fuente: Propia.

En la Figura 3-39 se muestran los esfuerzos de tensión ocurridos en la losa en la dirección y debidos a la aplicación del presfuerzo una vez ocurridas las perdidas dependientes del tiempo y aplicadas las cargas vivas sostenidas, en la mismas figura se muestran los esfuerzos de compresión obtenidos del estado mencionado, como vemos los números inferiores a la unidad nos muestran que la demanda resulta ser bastante inferior a la capacidad de la losa para resistir esfuerzos de tensión y compresión.

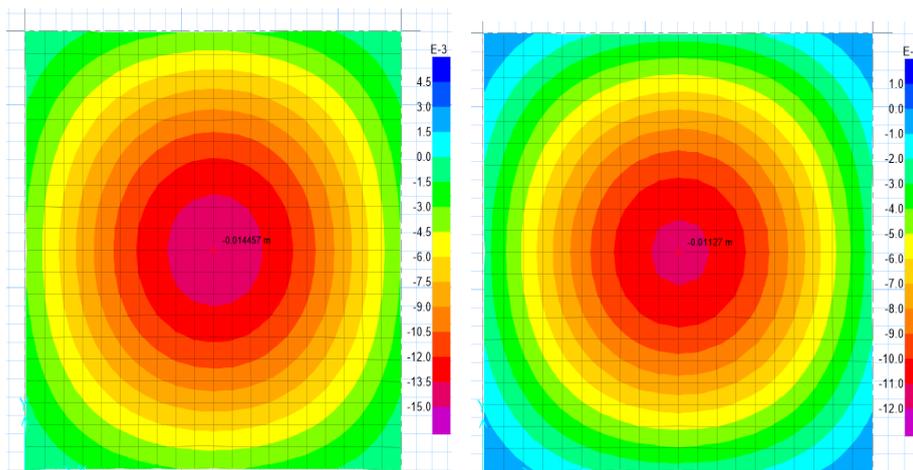


Figura 3-40: Deflexiones obtenidas del análisis lineal considerando las cargas muertas, las cargas vivas, el presfuerzo en la transferencia y el presfuerzo después de las pérdidas dependientes del tiempo. Fuente: Propia.

En la Figura 3-40 se muestran las deflexiones obtenidas de un análisis lineal considerando dos casos, el primer caso incorpora la aplicación del peso propio, la carga muerta y el presfuerzo inmediatamente después de la transferencia, obteniendo un valor de 1 mm, mientras que el segundo caso incorpora el peso propio, la carga muerta, la totalidad de la carga viva y el presfuerzo después de ocurridas las pérdidas de presfuerzo, obtenido un valor de 1.50 cm.

Podemos mencionar en este punto que la aplicación del presfuerzo en la losa disminuyó notablemente el valor de la deflexión elástica de la losa ya que la deflexión máxima encontrada de la aplicación del presfuerzo fue de 1.50 cm mientras que la deflexión máxima encontrada en la losa con el mismo espesor pero si presfuerzo fue de 2.2 cm, es decir se obtuvo una reducción del 30% en la deflexión elástica.

Las normas de diseño como la E060 (Diseño en concreto armado) o la norma americana ACI 318, brindan recomendaciones para el diseño de losas postensadas bajo cargas de servicio y en condiciones últimas, de hecho el cálculo del presfuerzo y el número de torones requeridos en general se basan en condiciones de servicio, sin embargo también es

requerido que la resistencia de las losas cumpla con los requisitos de resistencia establecidos en las normas mencionadas, ante este hecho cuando el acero de presfuerzo colocado en la losa no es suficiente para proporcionar la resistencia requerida es posible agregar refuerzo ordinario para alcanzar la resistencia requerida.

En la se muestra la cantidad de refuerzo de acero convencional requerido para poder cumplir con los requisitos de resistencia establecidos por la normatividad vigente, en general si el diseño de los tendones ha sido realizado adecuadamente las cantidades de acero no presforzado son en general pequeñas, como n este ejemplo en el que vemos que las cantidades de acero de refuerzo convencional son de $5 \text{ cm}^2/\text{m}$ en la franja central en el eje x, mientras que en la franja central en el eje y este valor fue de $4.2 \text{ cm}^2/\text{m}$, estos valores equivalen a usar varillas de acero no presforzadas de $1/2''$ espaciadas cada 25 cm en la dirección x e y.

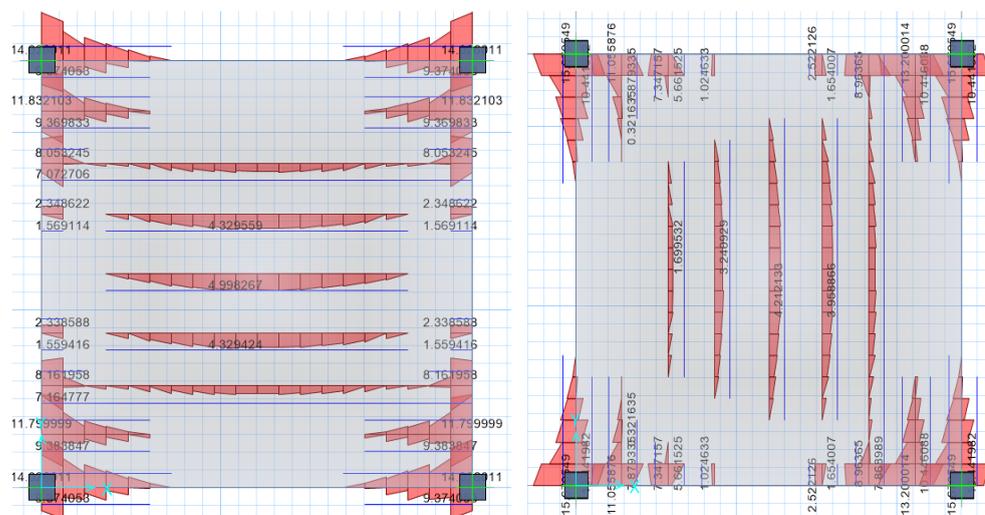


Figura 3-41: Refuerzo de acero convencional requerido. Fuente: Propia.

3.5.2 LOSA POSTENSADA DE 12.5 cm

Con el fin de optimizar el uso de los materiales usados en el diseño de las losas se decidió disminuir el espesor de la losa, queda claro que al disminuir el espesor de la losa los esfuerzos de compresión y tensión

dentro de esta se incrementaron notablemente, debido a esto fue necesario incrementar la fuerza de postensado.

En la Figura 3-42 se muestran las dimensiones en planta de la losa, así como el modelo usado a lo largo de este trabajo que toma en cuenta la rigidez de las columnas y su interacción con las vigas y las losas, como se puede ver de esta figura se mantuvo la disposición espacial de los tendones usados en el análisis, sin embargo en este caso se disminuyó el espesor de la losa.

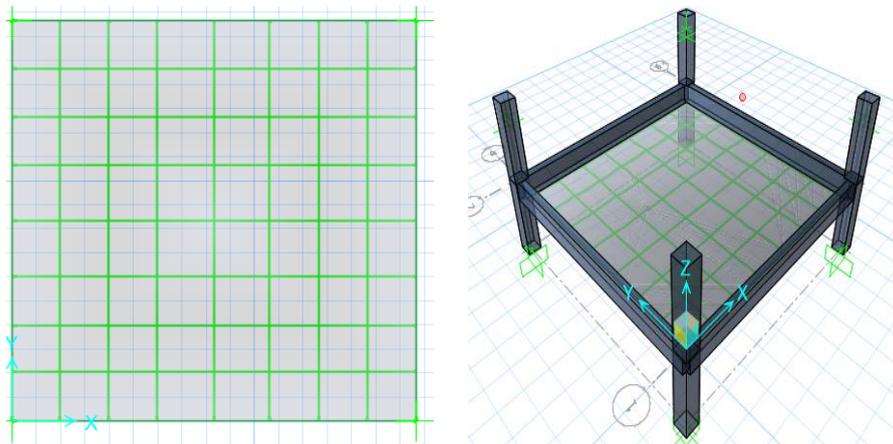


Figura 3-42: Vista en planta y tridimensional de losa postensada de 12.5 cm. Fuente: Propia.

Los materiales usados para el diseño fueron concretos de peso normal con una resistencia a la compresión especificada de 420 kg/cm^2 , acero de refuerzo convencional con un esfuerzo de fluencia de 4200 kg/cm^2 y acero de presfuerzo con un esfuerzo de fluencia de 18900 kg/cm^2 .

Las cargas aplicadas fueron cargas muertas de 250 kg/m^2 , que representaron la acción de los acabados y la tabiquería móvil, cargas vivas de 250 kg/m^2 , representativas de las cargas encontradas en edificaciones con uso de oficinas, y las cargas inducidas debidas al presfuerzo del concreto.

El perfil vertical de los tendones usados en el postensado se muestra en la Figura 3-43, como podemos ver de este grafico el perfil es parabólico, los diámetros de los torones usados para el análisis y el diseño fue de $1/2''$ con un área de sección transversal de 0.987 cm^2 , con el

extremo inferior del perfil ubicado en el centro de la luz; en el caso de la losa de 12.5 cm de espesor se requirieron mayor número de cables de presfuerzo, en específico el número de cables de presfuerzo requeridos en el tendón central en la dirección x e y fue de 8, en los tendones restantes se usaron 4 cables por tendón.

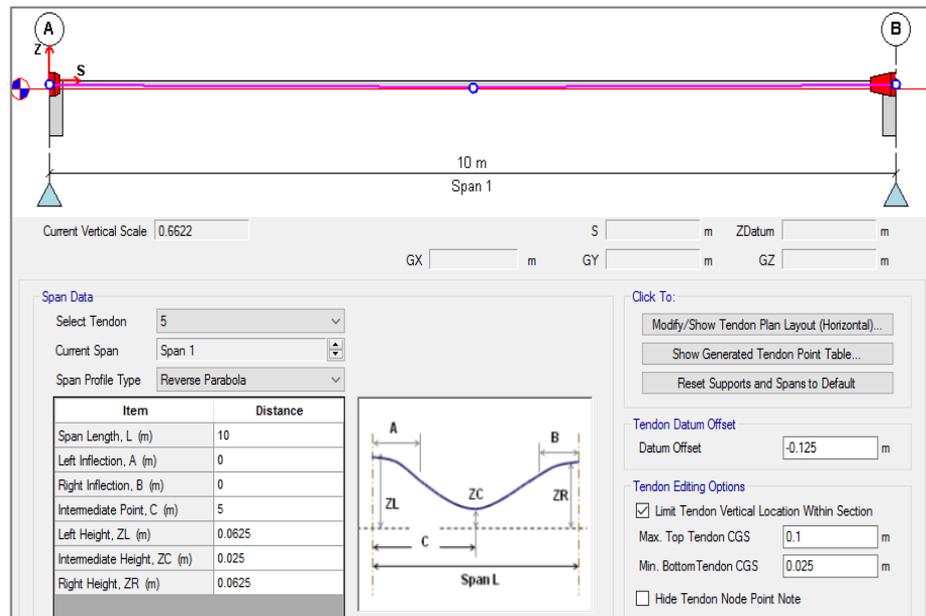


Figura 3-43: Vista en elevación del perfil del tendón embebido en la losa. Fuente: Propia.

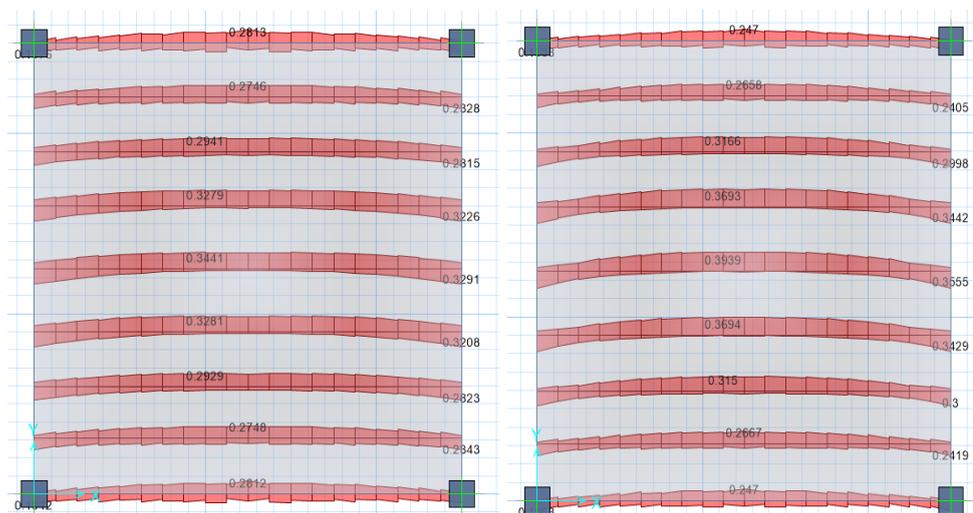


Figura 3-44: Ratios de esfuerzos de compresión en el eje x, a) debidos a la aplicación del peso propio, cargas muertas y el presfuerzo en la transferencia, b) debidos a la aplicación del peso

propio, cargas muertas, cargas vivas y el presfuerzo en la transferencia. Fuente: Propia.

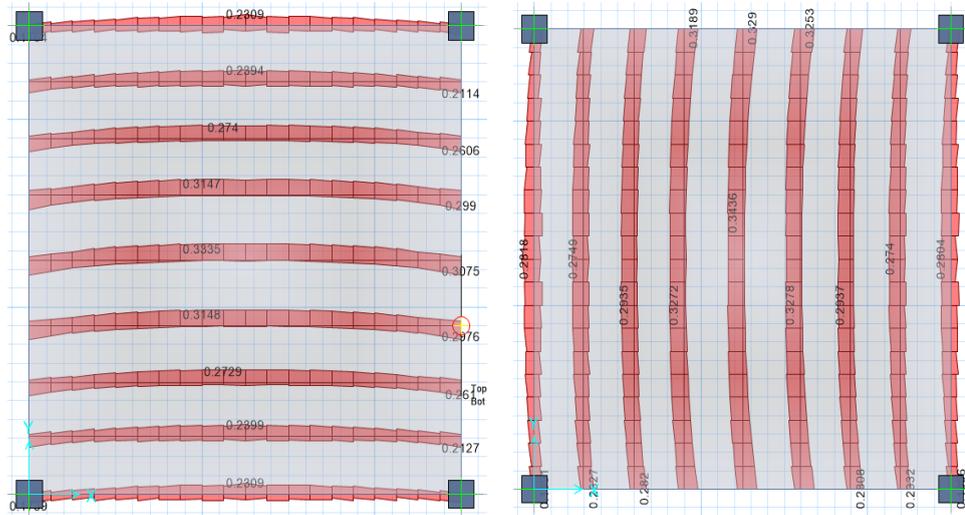


Figura 3-45: Ratios de esfuerzos de compresión a) en el eje x y debidos a las cargas muertas, carga viva permanente y presfuerzo después de ocurridas las perdidas dependientes del tiempo. Fuente: Propia.

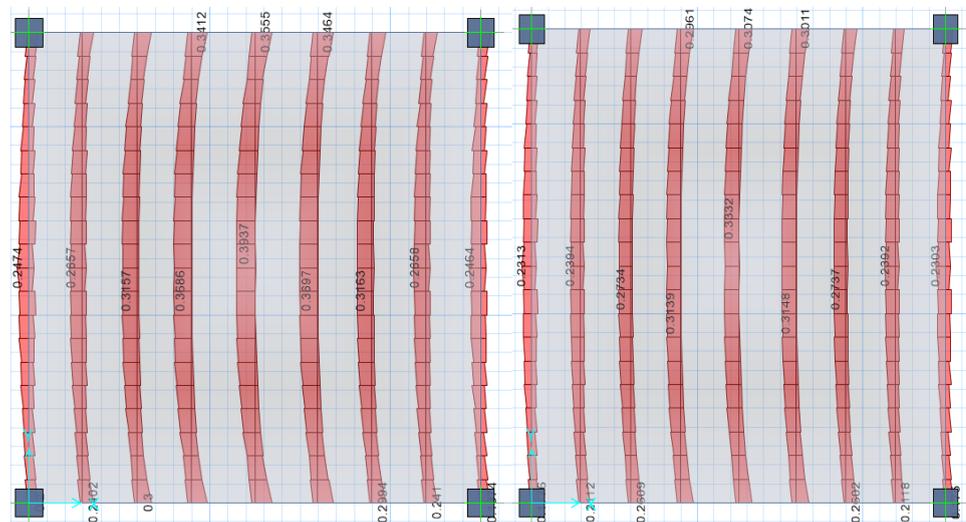


Figura 3-46: Esfuerzos de compresión en la losa debidos a los casos a) D+Po y b) D+L+Po. Fuente: Propia.

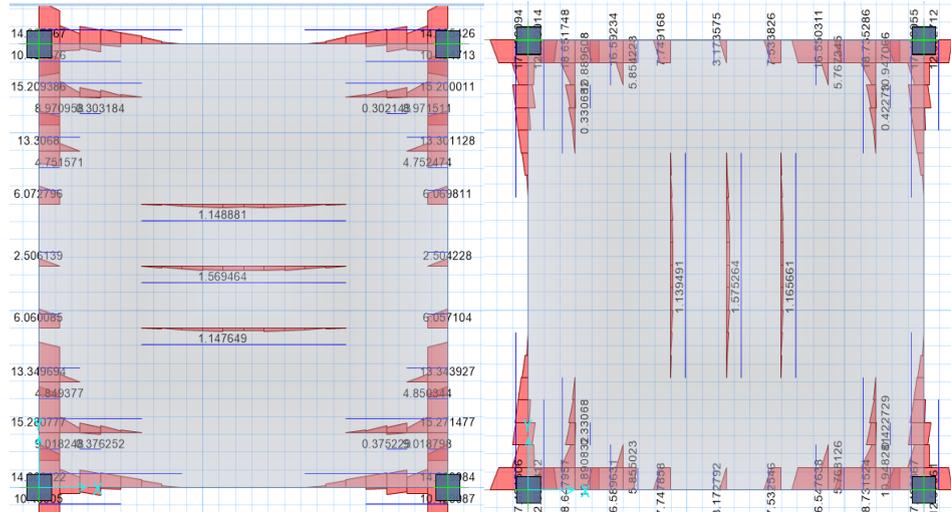


Figura 3-47: Refuerzos longitudinales requeridos por resistencia en la losa, en los ejes x e y. Fuente: Propia.

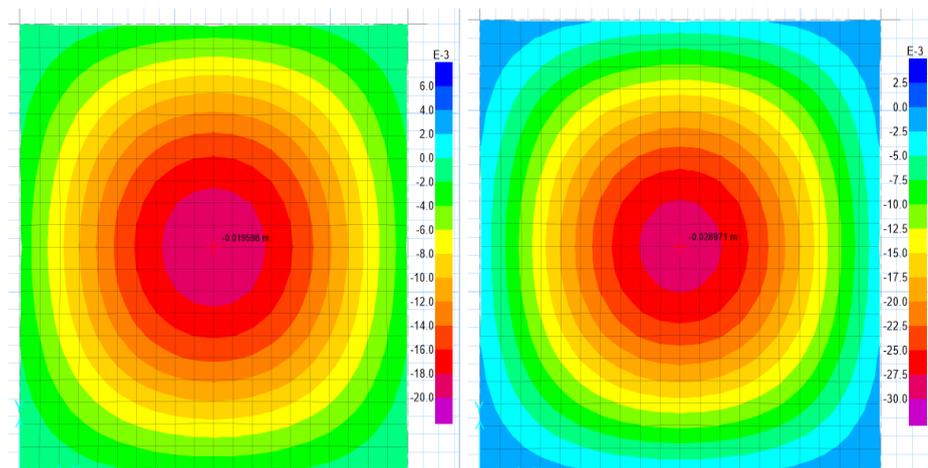


Figura 3-48: Deflexiones elásticas obtenidas en la losa debida a los casos a) $D+0.25L+P_o$ y b) $D+0.25L+P_f$. Fuente: Propia.

3.6 EL FLUJO PLASTICO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS LOSAS POSTENSADAS

En esta sección se evalúa el efecto que tienen el agrietamiento, el flujo plástico y la contracción por fragua en el comportamiento de estructural de las losas postensadas, en específico veremos que cuando se consideran las variables mencionadas existe una redistribución de esfuerzos en la losa y por tanto un incremento de las deflexiones instantáneas y diferidas.

3.6.1 EFECTO DEL AGRIETAMIENTO EN ESTRUCTURAS

Cuando un elemento horizontal de concreto armado se encuentra sometido a cargas transversales a su plano longitudinal, se generan esfuerzos de tensión en la fibra inferior, por tanto el concreto ubicado en esta posición se encontrara sometido a ciertos niveles de tensión, sin embargo se sabe que en general el concreto es un material con poca capacidad ante esfuerzos de tensión, de hecho como regla practica se estima que su resistencia a la tensión es de aproximadamente el 10% de su resistencia a la compresión, por tanto se espera que el concreto se agriete en la zonas que se encuentran sometidas a esfuerzos de tensión.

Cuando se desean evaluar las deflexiones presentes en una viga o una losa es importante tener en cuenta dos conceptos fundamentales, estos son las deflexiones instantáneas y las deflexiones diferidas.

3.6.2 DEFLEXIONES INSTANTANEAS

Las deflexiones instantáneas son aquellas que aparecen como producto de la aplicación de las cargas aplicadas al elemento horizontal, es decir no dependen del tiempo sino de la carga aplicada, y están estrechamente vinculadas a las relaciones existentes entre la carga y la deformación de los materiales presentes en los elementos horizontal.

3.6.3 DEFLEXIONES DIFERIDAS

Son aquellas deflexiones adicionales a las deflexiones elásticas, que aparecen debidas al efecto de las cargas sostenidas en el tiempo y fundamentalmente son debidas a al flujo plástico.

El cálculo de la deflexión instantánea se debe hacer considerando el efecto del agrietamiento en las secciones de concreto analizadas, en este trabajo nos referimos esencialmente a las losas, esto debe hacerse de este modo ya que en la realidad todos los elementos de concreto armado experimentaran ciertos niveles de agrietamiento bajo cargas de servicio.

Es importante entender que el agrietamiento en losas es en general un fenómeno localizado, es decir que el agrietamiento no se presenta de manera uniforme a través del elemento sino que se encontrara localizado en ciertas regiones de la estructura, de hecho en general el agrietamiento será mayor en las zonas en los que los diagramas de momento flector tengan valores mayores.

El agrietamiento de las secciones provocará que sus características mecánicas cambien, en específico el momento de inercia, provocando que las secciones posean menos rigidez a la flexión; por tanto se espera que las deflexiones sean mayores que en losas con las secciones brutas. Los cambios de rigidez provocados por el agrietamiento harán que las fuerza internas se redistribuyan de tal manera que se ajusten a las nuevas rigideces, esta condición siempre será verdadera en estructuras hiperestáticas aunque en estructuras isostáticas el agrietamiento de las secciones no genera ningún cambio en la distribución de los esfuerzos.

Con la finalidad de estudiar el efecto del agrietamiento en el comportamiento estructural de vigas se realizaron dos modelos de una viga empotrada en sus extremos, el primer modelo tenía una sección de $10 \times 60 \text{ cm}^2$ uniforme en toda su longitud, mientras que en el segundo caso se asignó una sección de $10 \times 30 \text{ cm}^2$ en el medio central de la viga, esto último se hizo con la intención de representar las propiedades

de la parte agrietada de la viga. En la Figura 3-49 se muestra el caso mencionado.

La viga fue sometida a un análisis lineal estático con la aplicación de una carga uniformemente distribuida de $2t/m$; como se esperaba la máxima deflexión se obtuvo en el centro de luz de la viga con la sección agrietada, este valor fue de 3.2 mm, mientras que la deflexión en el centro de luz de la viga con secciones sin agrietar fue de 1.6 mm (ver Figura 3-50), como puede verse de estos resultados la deflexión obtenida considerando el agrietamiento de las secciones fue el doble de la viga sin agrietar.

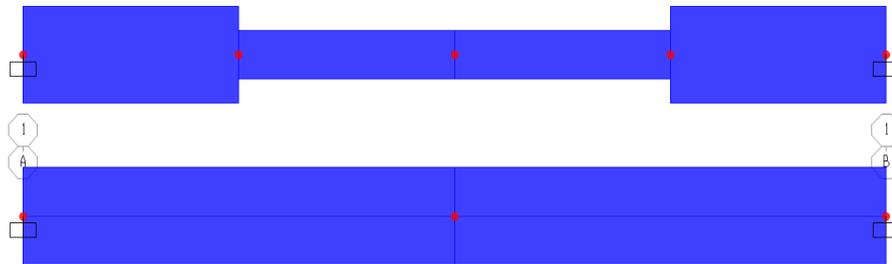


Figura 3-49: Modelo de vigas con secciones reducidas que simulan el agrietamiento. Fuente: Propia.

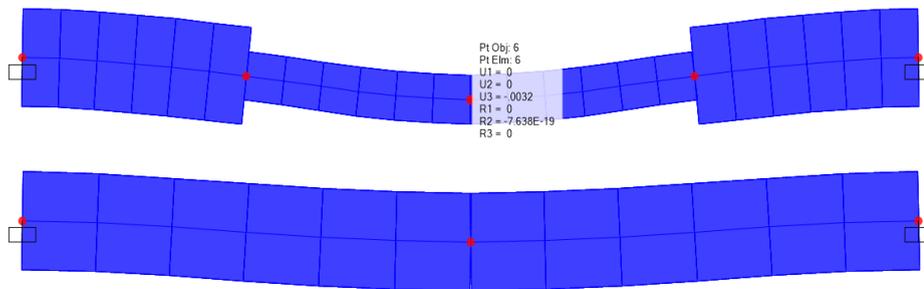


Figura 3-50: Deflexiones en vigas con secciones agrietadas y sin agrietar. Fuente: Propia.

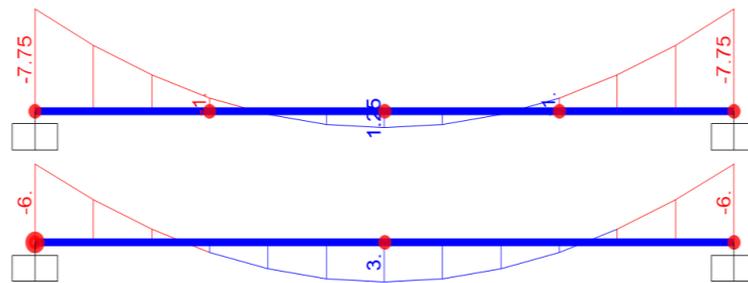


Figura 3-51: Diagrama de momentos flectores en viga agrietada y sin agrietar. Fuente: Propia.

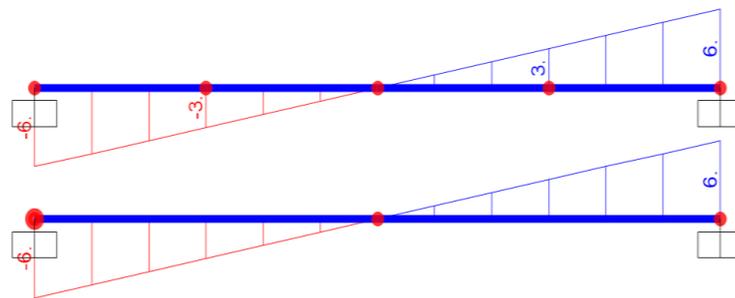


Figura 3-52: Diagrama de fuerzas cortantes en viga agrietada y sin agrietar. Fuente: Propia.

Aunque resulto intuitivo predecir que las deflexiones máximas ocurrirían en la viga con agrietamiento esto mismo no resulta tan intuitivo a la hora de predecir la distribución de esfuerzos dentro de la viga, en específico la distribución de momentos flectores presentes en la viga, este hecho se muestra claramente en la Figura 3-51, en este grafico podemos ver que el momento máximo en la viga sin agrietamiento presente en los apoyos con un valor de 6 t.m, mientras que en la viga agrietada este valor fue de 7.75 t.m, de forma análoga podemos observar que el momento flector en el centro de luz de la viga sin agrietamiento fue de 3 t.m, mientras que este mismo valor en el caso de la viga agrietada fue de 1.25 t.m.

La distribución de fuerzas cortantes en una viga grietada y una sin agrietar fue la misma, como se puede apreciar en la Figura 3-52, de este grafico vemos que la distribución de fuerza cortantes se mantuvo constante en ambos casos.

Los resultados presentados nos muestran claramente que en el caso de vigas agrietadas el momento flector en centro de luz se reduce considerablemente, mientras que el momento flector en los apoyos termina incrementándose, el estudio de este sencillo caso nos permite evaluar con claridad el efecto del agrietamiento en la distribución de momentos flectores y como veremos más adelante estos sencillos resultados nos permiten anticiparnos al comportamiento esperado en el estudio del efecto del agrietamiento de losas en las deflexiones y la distribución de fuerzas internas.

Como resumen de estos resultados podemos decir que en el caso de vigas de un solo paño con empotramiento perfecto, los momentos flectores tienden a disminuir en el centro de luz, es decir en la zona de agrietamiento, mientras que los momentos flectores negativos tienden a incrementarse.

Un segundo caso presentado con las mismas ideas pero considerando una viga continua con tres tramos se muestra en la Figura 3-53, al igual que en el caso anterior se han elaborado dos modelos, uno considerando una sección constante a lo largo de la viga y otra considerando una sección reducida en los medios centrales y los apoyos, esto se hizo con la finalidad de modelar el probable agrietamiento en esas zonas debido a los elevados niveles de momentos flectores.

Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 3-54, de este gráfico podemos ver nuevamente que las deflexiones máximas en la viga agrietada resultaron ser mayores que las deflexiones máximas en la viga sin agrietar, en específico podemos ver que la deflexión máxima en los paños externos fueron de 6mm y 1.7 mm en las vigas agrietadas y sin agrietar respectivamente.

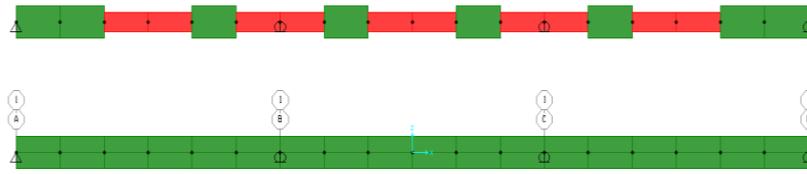


Figura 3-53: Modelo de viga continua con agrietamiento y sin agrietamiento. Fuente: Propia.

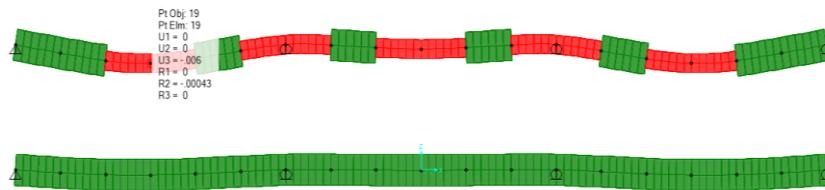


Figura 3-54: Deflexiones obtenidas en modelo de viga continua con agrietamiento y sin agrietamiento. Fuente: Propia.

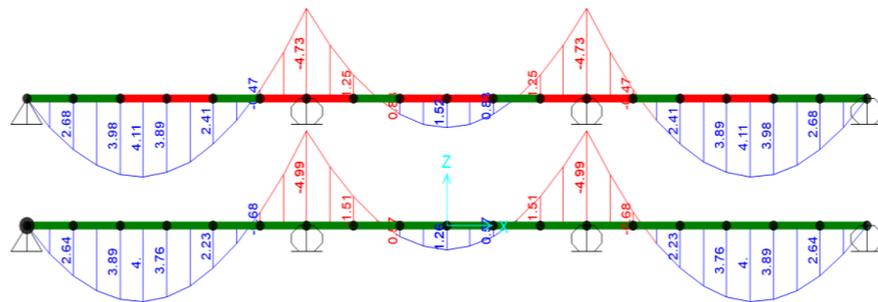


Figura 3-55: Diagrama de momentos flectores en viga continúa con agrietamiento y sin agrietamiento. Fuente: Propia.

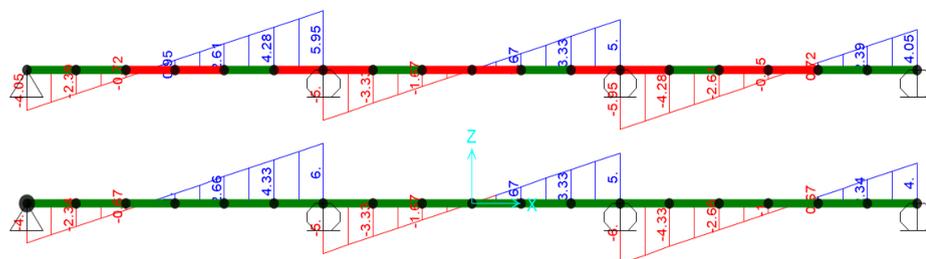


Figura 3-56: Diagrama de momentos flectores en viga continúa con agrietamiento y sin agrietamiento. Fuente: Propia.

La distribución de momentos flectores se muestra en la Figura 3-55, de este gráfico vemos que existe una diferencia importante en la distribución de momentos flectores obtenidos al considerar y no considerar el agrietamiento, vemos por ejemplo que el momento máximo en el centro de luz del paño central de la viga agrietada fue de 1.52 t.m, mientras que este parámetro tuvo un valor de 1.26 t.m en el caso de la viga sin agrietar.

Resultados similares pueden comentarse de otras posiciones importantes del diagrama de momentos flectores, a manera de resumen de las observaciones hechas de los análisis obtenidos podemos ver que en general en el caso de vigas continuas e efecto del agrietamiento tiende a aumentar los momentos positivos, mientras que en estos mismos casos los momentos negativos tienden a disminuir.

Con respecto a las fuerzas cortantes podemos decir a manera de resumen que en general el agrietamiento de las secciones no modifica sustancialmente su configuración inicial, manteniéndose casi constante, este resultado puede verse en la Figura 3-56.

3.6.4 LOSA DE CONCRETO ARMADO 20cm

En esta sección se muestra el efecto del agrietamiento, el flujo plástico y la contracción en el cálculo de las deflexiones y en la distribución de fuerzas internas. Los análisis realizados para la evaluación se hicieron mediante el uso del programa de análisis no lineal SAFE, en este software se llevaron a cabo análisis no lineales que incluyen el efecto del agrietamiento y el flujo plástico.

3.6.5 EFECTO AGRIETAMIENTO EN LAS DEFLEXIONES

En la Figura 3-57 se muestran los resultados de las deflexiones obtenidas al considerar las secciones netas y las secciones agrietadas, de estos resultados vemos que como era de esperarse las deflexiones aumentaron al considerar el efecto del agrietamiento en la modelación

de las losas, en específico vemos que la deflexión máxima de la losa fue de 3.82 cm al considerar el agrietamiento, mientras que esta misma variable tomo el valor de 1.81 cm sino se consideran los efectos del agrietamiento.

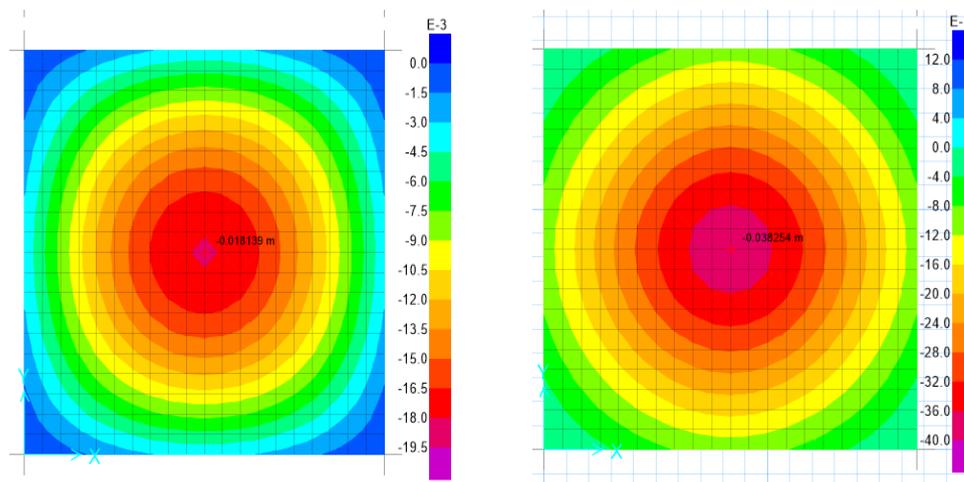


Figura 3-57: Deflexiones obtenidas en losas de 10 m de luz considerando las secciones brutas y considerando el agrietamiento.

Fuente: Propia.

Otra variable a tener en cuenta es la distribución de esfuerzos en la losa debido al agrietamiento de la sección, los resultados obtenidos del análisis no lineal para el caso de momentos M11 se muestran en la Figura 3-58, de este grafico podemos ver que existió una disminución del momento máximo M11 cuando se consideró el agrietamiento, con respecto de los resultados del análisis sin considerar el efecto del agrietamiento, en específico estos valores de fueron de 2.74 t.m y 3.62 t.m, respectivamente.

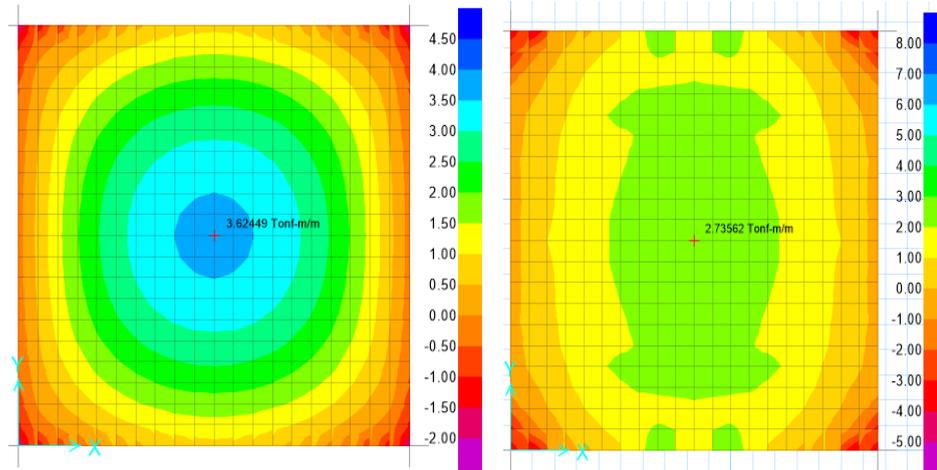


Figura 3-58: Distribución de momentos flectores M11 en losa con secciones brutas y en losa agrietada. Fuente: Propia.

Los resultados obtenidos se condicen con las conclusiones previas obtenidas al estudiar el efecto del agrietamiento en vigas sencillas, en específico el hecho de que el agrietamiento tiende a disminuir la rigidez a flexión de las losas, provocando que el momento en el centro de luz disminuya si se tenemos elementos de un solo paño.

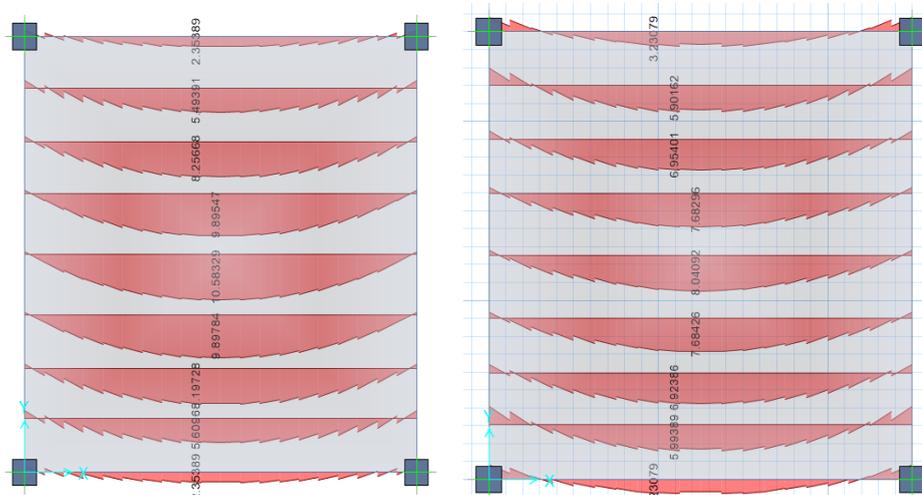


Figura 3-59: Diagrama momentos flectores en franjas predefinidas para la losa sin agrietar y agrietada. Fuente: Propia.

En la Figura 3-59 se muestran los resultados obtenidos al integrar los valores de momentos M11 mostrados en la dentro de las franjas predefinidas por el programa, de estos resultados podemos ver que el

momento máximo en la franja central de la losa con agrietamiento tuvo un valor de 8t.m mientras que en la mismas franja dentro la losa sin agrietamiento este valor fue de 10.60 t.m.

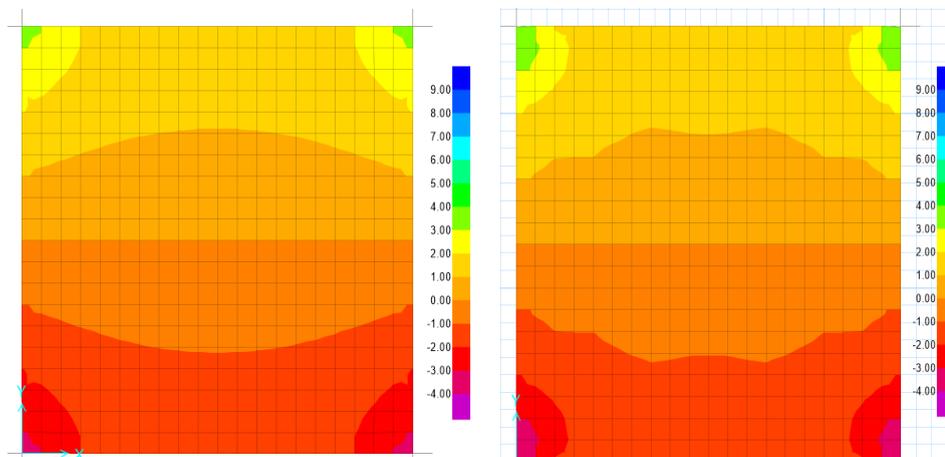


Figura 3-60: Distribución de fuerza cortante en losa sin agrietar y agrietada. Fuente: Propia.

De igual manera se pueden obtener resultados de la distribución de otras fuerzas internas como las fuerzas cortantes V_{13} , los resultados considerando las secciones brutas y agrietadas se muestran en la Figura 3-60, de estos resultados vemos que aunque existen ligeras diferencias entre los valores de V_{13} con secciones brutas y agrietadas en general de estos resultados se puede concluir que el agrietamiento tiene muy poco efecto en la distribución de fuerza cortantes.

3.6.6 EFECTO DEL CREEP Y EL SHRINKAGE EN LAS DEFLEXIONES

Como se sabe el flujo plástico es un fenómeno que consiste en la generación de deformaciones adicionales a las elásticas, como consecuencia de la aplicación de cargas sostenidas por largos periodos de tiempo. La aplicación de tales cargas a elementos de concreto provocara deformaciones adicionales que irán apareciendo en el tiempo, estas deformaciones adicionales provocaran que las deflexiones en las losas se incrementen notablemente.

Los resultados de los análisis realizados se muestran en la Figura 3-61, de estos resultados vemos que la deflexión máxima en la losa, considerando el efecto del flujo plástico y la contracción, fue de 8.80 cm,

como vemos este valor es muy superior al valor elástico sin agrietar de 1.80 cm obtenido en secciones previas o al valor de 3.82 cm obtenido de un análisis no lineal sólo con secciones agrietadas.

De los resultados comentados podemos ver que la deflexión máxima considerando el efecto del flujo plástico y la contracción fue de 2.3 veces el valor obtenido considerando sólo las secciones agrietadas, resulta interesante comparar este valor con el obtenido de un análisis empírico proporcionado por la norma peruana, en específico la norma de concreto armado E060, en el que la relación de las deflexiones diferidas y las deflexiones elásticas considerando el agrietamiento es de aproximadamente 2.5.

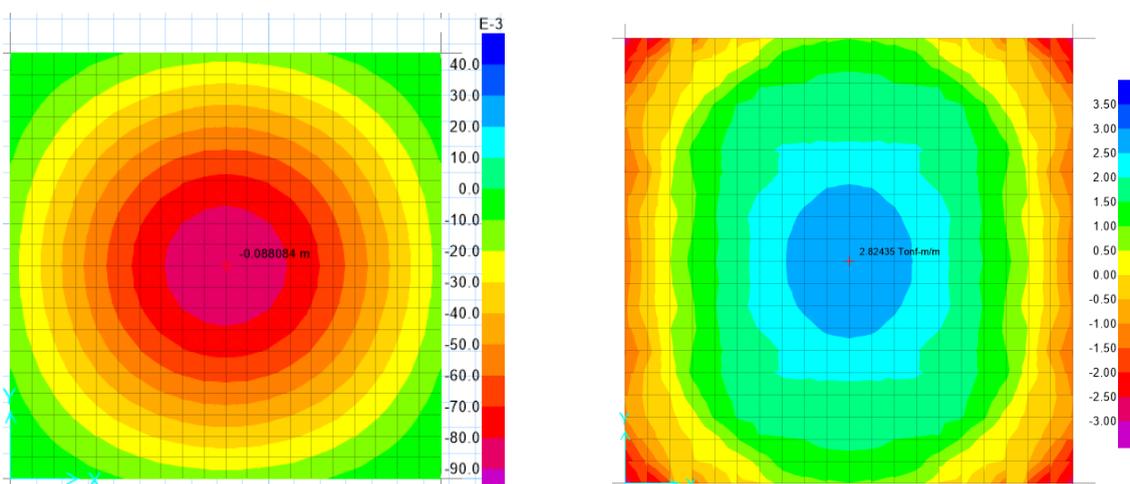


Figura 3-61: Efecto del flujo plástico en las deflexiones y momentos flectores M11. Fuente: Propia.

El efecto del flujo plástico y la contracción en la distribución de momentos M11 se muestra en la Figura 3-61, de estos valores vemos que el momento máximo aumente de 2.74 t.m a 2.82 t.m, es decir tuvo un incremento del 5%.

3.6.7 LOSA POSTENSADA 20cm

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en las deflexiones y la distribución de fuerzas internas al considerar el agrietamiento, el flujo

plástico del concreto y la contracción en la losa de 20 cm de espesor diseñada con presfuerzos de compresión.

En la Figura 3-62 se muestran los resultados de las deflexiones obtenidas al considerar sólo el agrietamiento y al considerar el efecto del flujo plástico, la contracción y agrietamiento. De estos resultado podemos ver que la deflexión máxima elástica obtenida considerando el agrietamiento fue de 1.12 cm mientras que esta misma variable tuvo un valor de 3.20 cm al considerar además el flujo plástico y la contracción.

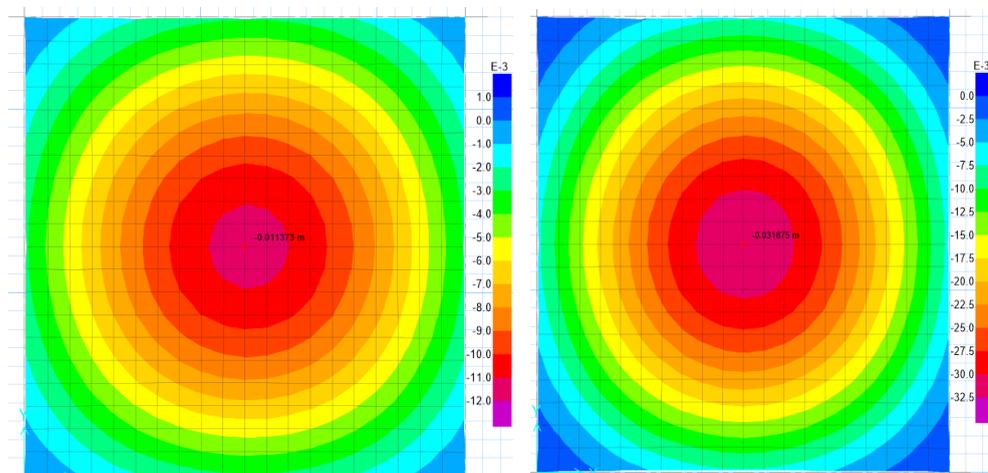


Figura 3-62: Deflexiones obtenidas en losas considerando a) el agrietamiento sin flujo plástico y b) el agrietamiento con flujo plástico.

Fuente: Propia.

Como podemos ver de estos resultados, aunque la losa se diseñó con el mismo espesor que la losa diseñada en concreto armado, las deflexiones diferidas máximas en el caso de elementos con postensado son mucho menores que las deflexiones máximas en el caso convencional, más específicamente las deflexiones diferidas máximas en el caso de losas postensadas resultaron ser aproximadamente las deflexiones diferidas máximas obtenidas en concreto armado.

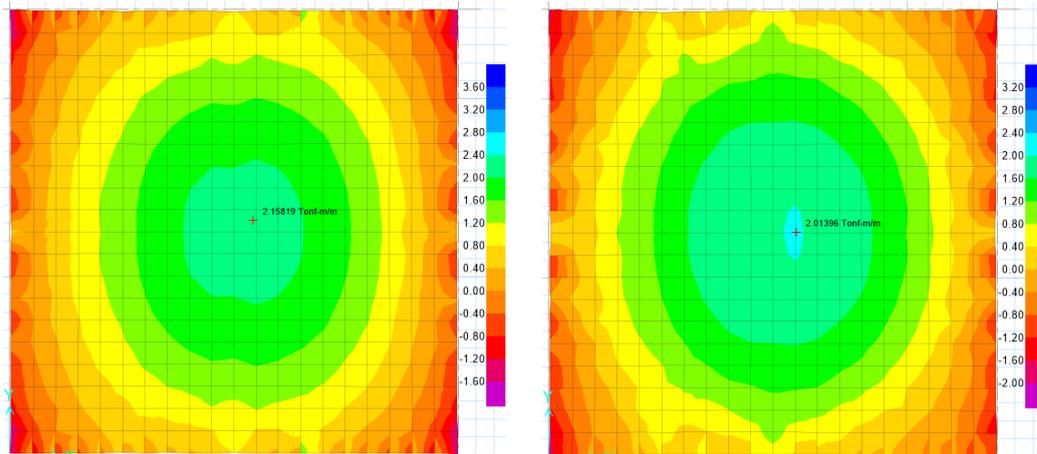


Figura 3-63: Distribución de momentos M11 en la losa considerando a) agrietamiento sin flujo plástico y b) agrietamiento con flujo plástico.

Fuente: Propia.

LOSA POSTENSADA DE 12.5 cm

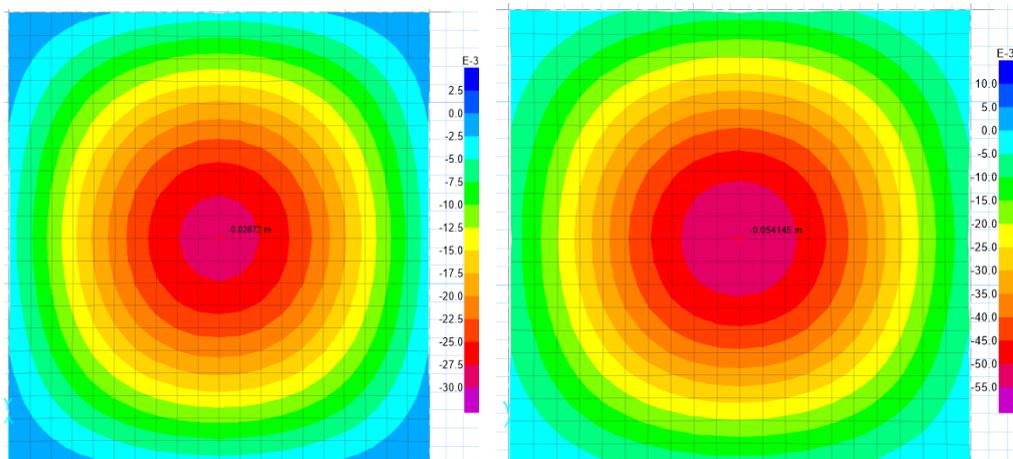


Figura 3-64: Deflexiones obtenidas en losas considerando a) el agrietamiento sin flujo plástico y b) el agrietamiento con flujo plástico.

Fuente: Propia.

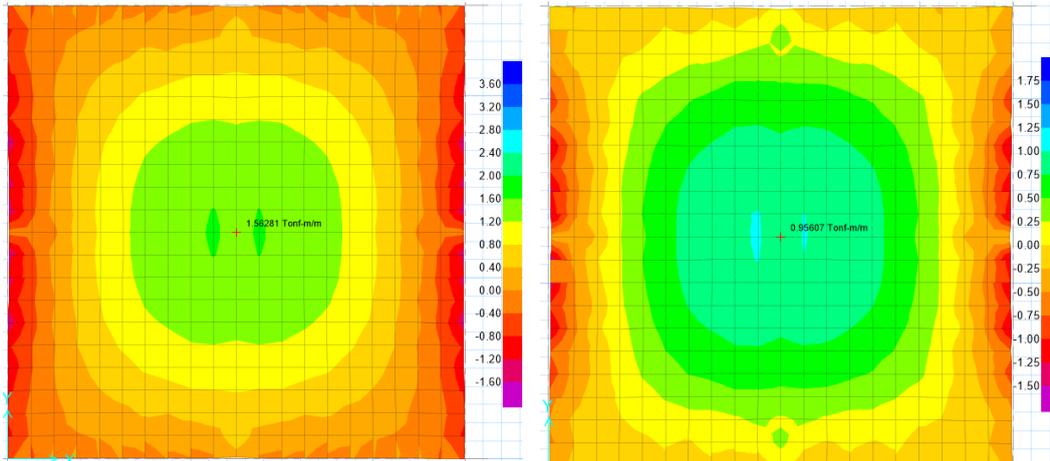


Figura 3-65: Distribución de momentos M11 en la losa considerando a) agrietamiento sin flujo plástico y b) agrietamiento con flujo plástico. Fuente: Propia.

4 DISCUSIÓN

4.1 EFECTO DE LAS DIMENSIONES DE LA LOSA EN EL POSTENSADO

De los resultados observados en el capítulo anterior, se observó que en general la distribución de momentos flectores depende del número de paños presentes en la estructura, además se observó que los resultados se ven muy influenciados por las longitudes de los paños, este hecho está de acuerdo con los resultados de la teoría elástica de las vigas o teoría de Bernoulli, ya que de acuerdo con estos resultados la deflexión es inversamente proporcional al cuadrado de la luz.

Si la losa analizada es de un solo paño, podremos ver que se presentan momentos flectores positivos a lo largo de la losa, por tanto los esfuerzos de tracción se presentan únicamente en la fibra inferior, mientras que los esfuerzos de compresión se presentan únicamente en la fibra superior, estos resultados demuestran que, si se deseara colocar refuerzo longitudinal convencional en la losa, este se podría colocar únicamente en la zona inferior de la losa, en el caso de refuerzo postensado, los tendones deberán tener una curvatura simple, por tanto el proceso constructivo requerido, es en general, más simple, además las pérdidas asociadas a la aplicación del presfuerzo, serán mucho menores a los obtenidos si el perfil presenta doble curvatura.

En el caso de losas con dos paños en la dirección x e y, podemos observar que la distribución de momentos flectores cambia notablemente, ya que debido a la inclusión de nuevas condiciones de borde, tienen lugar la aparición de momentos flectores negativos, estas ocurren en donde existen elementos de transmisión de carga, tales como vigas y columnas, en la mayor parte de los casos analizados, se ha observado que el nivel de momentos flectores negativos, es en general mayor a los momentos flectores positivos, lo que en términos prácticos significa que si desea colocar refuerzo longitudinal, este deberá ser colocado estratégicamente, en la parte inferior, donde se tengan momentos flectores negativos, en la

parte superior, donde se tengan momentos flectores negativos, en el caso de la técnica del postensado, el hecho de tener tanto momentos positivos como negativos, implica el uso de ductos de postensado con doble curvatura, de tal manera que los esfuerzos inducidos por el postensado puedan distribuirse de manera correcta, en los casos requeridos, sin embargo, el uso de ductos con doble curvatura, implica el incremento de la fricción, por tanto en numerosas ocasiones, la existencia de doble curvatura en los ductos de postensado, requiere de la aplicación de dos gatos, uno en cada extremo del cable , de tal manera que la fricción por postensado termine disminuyendo de manera notable.

Es interesante tener siempre en cuenta que la presencia de las fuerzas cortantes son en general más intensas cerca de los apoyos, y esto es válido aun cuando se trata de losas de un solo paño, esta características en general, nos obliga a la colocación de elementos de refuerzo de cortante cerca de las vigas y en el caso de columnas usualmente se usan elementos llamados capiteles.

Comentarios similares pueden hacerse respecto de los casos en los que tenemos un número de paños mayor a dos, tanto para los momentos flectores, como para las fuerzas cortantes.

4.2 EL POSTENSADO EN LOSAS UNIDIRECCIONALES

Como se vio en el capítulo anterior, las losas pueden tener dos comportamientos bajo cargas aplicadas perpendicularmente a su plano, este tipo de comportamiento depende fundamentalmente de la relación de aspecto de la losa en planta, en específico si una losa tiene una relación de aspecto mayor o igual a dos, es el eje con menor longitud, la que terminará absorbiendo gran parte de la demanda por momentos flectores, mientras que el eje con mayor longitud, terminará absorbiendo el momento flector restante, de acuerdo a como se explicó en la sección correspondiente.

Debido a estas importantes características, en la práctica constructiva de las losas, es usual colocar la mayor cantidad de refuerzo en la dirección corta y una cantidad de refuerzo mínimo en la dirección larga, en el caso de la técnica del postensado, sería necesario colocar únicamente tendones de postensado en una dirección, mientras que en la otra dirección bastaría con colocar únicamente el refuerzo mínimo.

Con la finalidad de evaluar las ventajas del postensado y compararlas con el concreto reforzado, se procedió al diseño de una losa, usando concreto reforzado y concreto postensado, en el diseño de este elemento estructural se consideraron los materiales de mayor difusión en la práctica de la ingeniería, específicamente concreto con una resistencia nominal a la compresión $f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$, mientras que el acero de refuerzo longitudinal tuvo un esfuerzo de fluencia nominal de $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ y el esfuerzo de fluencia del torón de presfuerzo fue de $f_{py}=18900 \text{ kg/cm}^2$, además el diámetro del torón de presfuerzo fue de 1/2".

De los resultados obtenidos, se vio que el diseño de una losa de las dimensiones y cargas estudiadas, y considerando los requisitos de servicialidad y resistencia dieron como resultado una losa de 15 cm de espesor, y un refuerzo positivo de 1/2" @20 cm en la franja central, mientras que se requirió de un refuerzo de 1/2" @ 25 cm como refuerzo negativo, en la dirección perpendicular se tuvo un refuerzo mínimo, específicamente 3/8"@25cm, además de este caso, se decidió realizar el diseño de la losa considerando un espesor de 10 cm, esto se hizo con el fin de poder comparar este diseño, con el uso de losas postensada, en el que se usó el mismo espesor, en este caso el refuerzo positivo requerido fue de 1/2"@12.50 cm, mientras que el refuerzo negativo requerido fue de 1/2"@15 cm, de estos resultados podemos ver claramente que al disminuir el espesor de la losa, el requerimiento de acero de refuerzo aumento considerablemente.

Es importante tomar en cuenta que las deflexiones diferidas máximas en el caso de una losa de 15 cm y 10 cm de espesor fueron de 23.20 mm y 39 mm respectivamente, de donde podemos notar que el uso de una losa

con un menor espesor, no sólo requiere de mayor refuerzo, sino que además provoca un incremento del 68% en las deflexiones diferidas.

El uso del postensado en el diseño de losas, reporta ventajas importantes en el comportamiento de estas, como se pudo observar en los reportes dados en las secciones correspondientes, el uso del postensado eliminó la necesidad del refuerzo longitudinal casi en su totalidad, y además se logró reducir notablemente las deflexiones en el centro de la losa, específicamente la máxima deflexión obtenida fue de 6.1 mm, al comparar este resultado con los obtenidos de en el caso de losas de concreto armado, notamos que la aplicación del postensado logró reducir las deflexiones diferidas en un 80%.

4.3 EL FLUJO PLASTICO EN EL COMPORTAMIENTO DE LOSAS POSTENSADAS

El flujo plástico en el concreto es la propiedad por la que el concreto experimenta deformaciones adicionales, debido a la acción de cargas sostenidas en periodos prolongados de tiempo, esta variable se analizó en la sección 4.7, en la que se pudo observar que el agrietamiento tiene como principal efecto la redistribución de momentos flectores, en específico se observó que en el caso de losas de un solo paño, el efecto del agrietamiento provoca un incremento en los momentos flectores en los apoyos, como consecuencia los momentos flectores tienden a tener valores mayores, adicionalmente, debido a la pérdida de rigidez flexional, por el agrietamiento las deflexiones se incrementan.

V. CONCLUSIONES

- El postensado influye directamente el comportamiento estructural de las losas del hotel la Paz, ya que se encontró que tienden a disminuir las deflexiones elásticas y las deflexiones diferidas.
- El postensado aplicado en losas con mayores dimensiones en planta, tiende a ser más efectivo que en losas con menores dimensiones en planta, ya que en el primer caso, el refuerzo pasivo no es muy efectivo para controlar las deflexiones, mientras que en el segundo caso sí.
- El flujo plástico tiene un efecto directo en losas postensadas, ya que de los resultados obtenidos, concluimos que incrementan notablemente las deflexiones, tanto elásticas como diferidas, además provocan una redistribución de los esfuerzos internos, específicamente los momentos flectores.
- La aplicación del postensado, tiende a mejorar notablemente el comportamiento de las losas bajo cargas de servicio, controlando las deflexiones que de otra manera deberían controlarse por medio del peralte de estos elementos, lo que en muchas aplicaciones no es viable.

VI. RECOMENDACIONES

- A los profesionales de la carrera de ingeniería civil y arquitectura. de acuerdo a los resultados de la presente investigación donde se evidencio que las deflexiones son más pequeñas en la losas, se sugiere emplear el postensado en los sótanos de edificaciones que en los otros sistemas al momento de vibrar en un sismo para que
- A las instituciones públicas y privadas que se encuentren en el rubro de la construcción se recomienda el sistema postensado en losas para edificaciones de amplia luces y dimensiones, porque mejora considerablemente el comportamiento estructural ante cualquier evento sísmico.
- A todas las empresas constructoras y otras entidades que tengan que ver con la construcción de obras civiles se propone incrementar notablemente una redistribución de los esfuerzos internos, específicamente de los momentos flectores favoreciendo a un mejor comportamiento estructural antes las cargas estáticas y dinámicas, mostrando unas de las principales recomendaciones gracias al uso de la losa postensada.
- A los contratistas de obra civil se propone la aplicación del postensado, puesto que tiende a mejorar notablemente el comportamiento de las losas bajo cargas de servicio, controlando las deflexiones que de otra manera deberían controlarse por medio del peralte de estos elementos, lo que en muchas aplicaciones no es viable, se recomienda el sistema de postensado para losas, brindando una solución innovadora y resolviendo restricciones.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **AALAMI, B.** (2000). "Structural modeling of post-tensioned members". ACI, Farmington Hills, Mi. USA.
2. **ACI COMMITTEE 318** (2011). "Building code requirements for structural concrete", ACI, Farmington Hills, Mi. USA.
3. **ANGULO MARIO, Eduardo Reinoso** (2012) "Manual De Diseño De Estructuras Prefabricadas Y Presforzadas". México
4. **ARROYO C.** "Losas postensadas en edificación". Colombia
5. **BASILO J. Curbelo.** (2015) "Concreto Estructural Presforzado". Colombia
6. **BLANCO B. ANTONIO** (2012) "Sistema Postensado en el Mall Aventura Plaza – Santa Anita". Colombia
7. **BRAVO M.** (2013). "Diseño De Losas Postensadas En edificaciones, Con Aplicación Al Caso Del Edificio Parque Tecnológico De La Universidad De Cuenca" Santiago. Chile.
8. **CHOPRA A. K.** (2000), "Dynamics of structures", Prentice Hall, USA.
9. **FREYRE, Manuel.** (2016). "Sistema postensado en el CC Megaplaza obra realizada por VSL". Lima. Perú.
10. **GATICA V.** (2005). "Estudio Comparativo Entre Losa Tradicional De Hormigón Armado Y Losa Postensada Con Adherencia". Santiago. Chile
11. **MONTAÑO L.** (2008). "Diseño Y Aplicación De Sistemas De Postensado De Losas Con Tendones No Adheridos En Estructuras De Uso Habitacional Y Comercial" Santiago. Chile.
12. **NAWY C. EDWARD.** (2009). "Prestressed Concrete A Fundamental Approach".
13. **NILSON H. ARTHUR.** (1990) "Diseño de Estructuras de Concreto Preesforzado"
14. "Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto", en Gaceta Oficial del Distrito Federal, sexta época, tomo I, núm. 356, México, 25 de marzo de 1996. Investigación y desarrollo 61concreto y cemento. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE CONEXIONES VOL. 3 Núm. 2 COLUMNA-LOSA POSTENSADA ALIGERADA
15. "Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto", en Gaceta Oficial del Distrito Federal, décima cuarta época, tomo I, núm. 103-Bis, México, 6 de octubre de 2004.
16. "Normas técnicas complementarias para el diseño por sismo", en Gaceta Oficial del Distrito Federal, décima cuarta época, tomo II, núm. 103-Bis, México, 6 de octubre de 2004.
17. "Normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones", en Gaceta Oficial del Distrito Federal, décima cuarta época, tomo II, núm. 103-Bis, México, 6 de octubre de 2004.
18. **PINTO A. (2015).** "Proceso de instalación de una losa postensada". Revista Digital Ingeniería Real, Diseño & Construcción.
19. **QUILUMBA V.** (2015). "Análisis y diseño de losa de hormigón armado con elementos postensados". Ambato. Ecuador.
20. **RAMOS RUGEL, M.** (2013) "Análisis técnico y económico de losas de entrepiso". Piura. Perú.
21. **REINOSO ANGULO, M RODRÍGUEZ R.** (2012) "Manual De Diseño De Estructuras Prefabricadas Y Presforzadas". México

22. **REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318S-05) Y COMENTARIO (ACI 318SR-05) (2015)**
23. **ROJAS ARMAS, WILMER** “Sistemas Especiales de Construcción Perú S.A.” (SECPERU S.A.). Perú
24. **SALINAS. (2015)** “Estructuras postensadas”, Perú
25. **SALTARINI K.** (2005). “Sistema De Losas Postensadas Para Fundaciones En Arcillas Expansivas”. Santiago. Chile
26. **SANCHEZ CARRIÓN S.** (2009). “Análisis y diseño de edificio habitacional a base de losas postenzadas”, México.
27. **VELARDE Y PORTOCARRERO.** (2013). “Aplicación del Sistema Postensado en Losas de Concreto Armado” Lima, Perú.
28. **POSTENSADOS ELEMENTOS.** (11 de Diciembre de 2008). Elementos Postensados. Obtenido de <http://www.vsl.cl/pagepostensados.html>

ANEXOS

DEFINICIÓN NOMINAL	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍTEM	ESCALA
VARIABLE 2:	<p>ARROYO C. “Losas postensadas en edificación”. Colombia Garantizan la transmisión y anclaje de las fuerzas de pretensado, y la durabilidad de los mismos durante toda la vida de servicio de la estructura. Para ello y para satisfacer los distintos condicionantes geométricos y mecánicos existen distintos tipos de anclajes, desde los más habituales con vaina circular, pasando por los planos (vaina plana), acopladores, fijos o flotantes y todo ello para tendones desde un cordón o barra hasta más de treinta cordones. Los elementos tensores principales suelen ser alambres, cordones o barras de acero de alto límite elástico. En los siguientes apartados se van a describir cada uno de los sistemas para cada tipo de elemento tensor, describiendo sus elementos más habituales, los equipos empleados, los sistemas de protección frente a la corrosión y por último, los controles de calidad que se realizan. La durabilidad de una estructura en general, o de un elemento estructural como el postesado en particular, es la capacidad de mantener las cualidades mecánicas, de funcionalidad o aspecto definidas en el proyecto, para un periodo de tiempo determinado, sin que sea necesario realizar operaciones de mantenimiento y refuerzo no previstas. Para el caso particular de los cordones o barras de postesado que nos ocupan, es necesario definir en toda estructura cómo se quiere proteger a los mismos, tanto en su zona libre, como en los anclajes y durante cuánto tiempo.</p>	<p>COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, DEFORMACIÓN, GRIETAS, ESFUERZOS DE FLEXIÓN, MILIMETRO (MM), MILIMETRO (MM), KG/CM2, MODELAMIENTO NÚMÉRICO.</p>	DEFORMACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> MILIMETRO (MM) 	<ul style="list-style-type: none"> No aplica 	<ul style="list-style-type: none"> No aplica
			GRIETAS	<ul style="list-style-type: none"> MILIMETRO (MM) 	<ul style="list-style-type: none"> No aplica 	<ul style="list-style-type: none"> No aplica
			ESFUERZOS DE FLEXIÓN	<ul style="list-style-type: none"> KG/CM2 	<ul style="list-style-type: none"> No aplica 	<ul style="list-style-type: none"> No aplica
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL						

Estudiante: MANTURANO ARTEAGA, Víctor Hugo

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><u>PROBLEMA GENERAL:</u></p> <p>¿Cómo influye el uso del postensado en el comportamiento estructural de las losas ubicadas en el sótano del hotel la paz, Miraflores - lima - 2016?</p> <p><u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</u></p> <p>a. ¿Cómo influyen las dimensiones de la losa postensada en el comportamiento estructural del sótano del hotel la paz, Miraflores -Lima - 2016?</p> <p>b. ¿Qué efecto tiene el nivel del presfuerzo aplicado en losa postensadas sobre el comportamiento estructural en el sótano del hotel la paz, Miraflores - Lima - 2016?</p> <p>c. ¿Cómo influye el flujo plástico en el comportamiento estructural de las losas postensadas de los sótanos del hotel la paz, Miraflores - lima - 2016?</p>	<p><u>OBJETIVO GENERAL:</u></p> <p>Determinar el grado de influencia de la losa postensada con el comportamiento estructural en el sótano del hotel la paz, Miraflores - lima - 2016.</p> <p><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</u></p> <p>a. Determinar el nivel de incidencia de las dimensiones de la losa postensada con su comportamiento estructural en el sótano del hotel la paz, Miraflores - lima - 2016.</p> <p>b. Evaluar el nivel de pres fuerzo aplicado a la losa postensada y su comportamiento estructural en el sótano del hotel la paz, Miraflores - lima - 2016.</p> <p>c. Evaluar el efecto del flujo plástico en el comportamiento estructural de las losas postensadas en el sótano del hotel la paz, Miraflores - lima - 2016.</p>	<p><u>HIPÓTESIS GENERAL:</u></p> <p>Si hay postensado en las losas de sótanos del Hotel La Paz, estas tendrán un comportamiento estructural adecuado, permitiendo reducir los espesores de losas, deflexiones elásticas y deflexiones diferidas.</p> <p><u>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ El postensado mejora el comportamiento estructural en losas de grandes luces. ○ La aplicación del presfuerzo parcial permite el uso de menores espesores de losas postensadas. ○ Las deflexiones dependientes del tiempo de la losa postensada, dependen directamente del flujo plástico en el sótano del hotel la paz, Miraflores - lima - 2016. 	<p><u>VARIABLES DE ESTUDIO</u></p> <p>VARIABLE 1: Losa postensada</p> <p>INDICADORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metros. • Toneladas (t) • Milímetro (mm). • Toneladas <p>VARIABLE 2: Comportamiento Estructural</p> <p>INDICADORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Milímetro (mm). • Milímetro (mm). • Kg/cm2 • Toneladas 	<p>Descriptivo y explicativo</p> <p>Modus Ponendo Ponem (MPP) (X) (P X C Q X)</p> <p>Población:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <pre> graph TD subgraph Poblacion A([Estructuras que utilizan el sistema de Losas Postensadas]) B([Estructuras subterráneas con el sistema de]) end Poblacion -- Muestra --> C([Estructura del sótano del hotel la paz, miraflores - lima - 2016]) </pre> </div>

