

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL MODELAMIENTO TRIDIMENSIONAL DE
EDIFICACIONES POSTENSADAS ANALIZADAS MEDIANTE EL METODO DE
ELEMENTOS FINITOS**

ANDERSON JULIAN MUÑETON HERNANDEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL MODELAMIENTO TRIDIMENSIONAL DE
EDIFICACIONES POSTENSADAS ANALIZADAS MEDIANTE EL METODO DE
ELEMENTOS FINITOS**

ANDERSON JULIAN MUÑETON HERNANDEZ

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

Director:

ALVARO VIVIESCAS JAIMES

Ingeniero Civil, PhD

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo esta dedica a todas las personas que intervinieron directa o indirectamente en mi formación profesional, en especial a mi señora madre por todo el apoyo brindado, a la empresa PRETCON S.A.S por darme la oportunidad de crecer profesionalmente, al profesor Álvaro Viviescas por toda la colaboración prestada durante mi formación profesional. También quiero destacar todo el apoyo prestado por parte de mis compañeros de trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA LOSAS POSTENSADA	15
1.1.1 Geometría y sección de concreto	15
1.1.2 Losa plana maciza	16
1.1.3 Análisis de vibración	18
1.1.4 Perfil y fuerza del tendón	19
1.1.5 Chequeo de esfuerzos	19
1.1.6 Chequeo de deflexiones	20
1.1.7 Verificación de pérdidas	21
1.1.8 Chequeo de acero adherido a flexión	21
1.1.9 Verificación de diseño a cortante	23
1.1.10 Chequeo de la zona de anclajes	25
2. ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA PRÁCTICA PROFESIONAL	27
2.1 ENTRENAMIENTO EN MANEJO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES:	27
2.2 CAPACITACIÓN EN CÓDIGOS Y REQUERIMIENTOS EXIGIDOS EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS POSTENSADAS	28
2.3 APOYO AL DISEÑO DE LOSAS POSTENSADAS:	28
2.4 SUPERVISIONES TÉCNICAS A OBRA:	32
3. APORTES	37
3.1 ANÁLISIS DE RENDIMIENTO EN COSTO DE ESTRUCTURAS POSTENSADAS VERSUS ESTRUCTURAS DE CONCRETO TRADICIONAL	37
3.1.1 Caso de studio	38

3.2 METODOLOGÍA PARA REALIZAR EL ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS POSTENSADAS.	45
4. LECCIONES APRENDIDAS	47
5. CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Principios de diseño de concreto pretensado	14
Figura 2. Procedimiento de diseño para losas de concreto postensado	15
Figura 3. Formas de una losa plana	16
Figura 4. Viga banda y losa	17
Figura 5. Losa nervada en una dirección	18
Figura 6. Losa nervada en dos direcciones	18
Figura 7. Efecto de un tendón inclinado en la fuerza córtate efectiva	24
Figura 8. Detalle típico de refuerzo a punzonamiento de acuerdo con el ACI 318	25
Figura 9. Distribución de carga concentrada en la zona de anclajes	26
Figura 10. Modelo Tridimensional	29
Figura 11. Chequeo de esfuerzos	29
Figura 12. Superficie de contorno para el análisis de deflexiones	29
Figura 13. Discretización de la losa	30
Figura 14. Distribución de cables	30
Figura 15. Superficie de contorno para el análisis de deflexiones	31
Figura 16. Modelo Tridimensional	31
Figura 17. Distribución de cables	31
Figura 18. Superficie de contorno para el análisis de deflexiones	32
Figura 19. Armado de losa plana	32
Figura 20. Detalle punto de salida de los cables	33
Figura 21. Detalle de refuerzo a flexión y punzonamiento	33
Figura 22. Detalle típico de abertura de losas	33
Figura 23. Proceso de tensionamiento	34
Figura 24. Colocación del postensado en los sótanos de Green Gold	34
Figura 25. Proceso de armado de las vigas en el piso 39 de Green Gold	34

Figura 26. Supervisión realiza al tensionamiento del piso 39 de Green Gold	35
Figura 27. Detalle de caja de tensionamiento	35
Figura 28. Colocación del postensado y fundida de los parqueaderos de Rosario Condominio II	36
Figura 29. Hormigos armado vs Concreto postensado	37
Figura 30. Utilización y rotación de encofrado losa tradicional aligerada	40
Figura 31. Utilización y rotación de encofrado sistema postensado	42
Figura 32. Comparación en costo de losas de hormigón armado vs concreto postensado	44

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Esfuerzos admisibles de acuerdo a la NSR-10	20

RESUMEN

TÍTULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL MODELAMIENTO TRIDIMENSIONAL DE EDIFICACIONES POSTENSADAS ANALIZADAS MEDIANTE EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS

AUTOR: ANDERSON JULIAN MUÑETON HERNANDEZ**

PALABRAS CLAVE: concreto postensado, precompresión, deflexión, esfuerzos, elementos finitos.

Práctica realizada en PRETCON S.A.S en Bucaramanga, Santander, Colombia. Empresa con una vasta presencia en todo el territorio colombiano, la cual brinda el servicio de diseño postensado, asistencia en la elección de los esquemas estructurales, presupuesto y detallado tanto del acero postensado como del acero adherido. Esta experiencia tuvo una duración de cuatro (4) meses, durante los cuales el estudiante se desempeñó como auxiliar de ingeniería y de diseño estructural. Como sus principales funciones se encontraba el modelamiento de losas postensadas en el paquete de software que ofrece la compañía ADAPT los cuales son ADAPT-PT, ADAPT-BUILDER, ADAPT-EDGE, el análisis de los resultados obtenidos como lo son el chequeo de esfuerzos, el análisis de deflexiones, la revisión del acero adherido a flexión, el chequeo del refuerzo a cortante y la supervisión técnica en obra que consistió en revisar las cantidades de acero, los respectivos detalles para el buen funcionamiento de la estructura como son el detalle de cajas de tensionamiento, de las zonas de anclajes, detalle de las juntas de construcción, detalle de la unión de losas y muros de contención, el proceso de tensionamiento y la toma de elongaciones en obra para determinar la fuerza que ejerce el cable al concreto. Otro de los componentes importantes de esta práctica fue el trabajo en equipo que se realizó con las partes que intervienen en un proyecto, como lo son los dueños, el arquitecto y el encargado del diseño sísmico, con el fin de desarrollar y concluir el proyecto en cuestión, con una solución económica y viable.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Viviescas Jaimes. Ingeniero Civil, Phd

ABSTRACT

TITLE: BUSINESS PRACTICE BUILDING THREE DIMENSIONAL MODELING postensadas REVIEW BY FINITE ELEMENT METHOD^{*}

AUTHOR: ANDERSON JULIAN MUÑETON HERNANDEZ^{**}

KEY WORDS: post-tensioned concrete, pre-compression, deflection, stress, finite elements.

The internship performed in PRETCON S.A.S in Bucaramanga, Santander, Colombia. Company with extensive presence all over Colombia, which offers the service of post-tensioning design, assistance in choosing the structural outlines, budget and shopdrawings for the bonded post-tensioning steel and mild steel. This experience lasted four (4) months, which the student served as assistant engineering and structural designer. As his main functions were: modeling post-tensioned slabs in the software package offered by the company ADAPT which are ADAPT-PT, ADAPT-BUILDER, ADAPT-EDGE, analysis of the results such as checking stressing, analysis of deflections, the review adhered to steel bending, shear reinforcement checkup and technical supervision work was to review the quantities of steel, the relevant details for the proper functioning of the structure as are the details of banks tightening, anchorage areas, details of construction joints, detail of the union of slabs and retaining walls, the process of tensioning and making elongations on site to determine the force exerted by the cable to the concrete.. Another important component of this internship was the teamwork that took place with the parties involved in the project, such as owners, architect and manager of seismic design in order to develop and complete of the project with an economical and viable solution.

* Paper grade

** Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Civil Engineering. head teacher: Álvaro Viviescas Jaimes. Civil Engineer, Phd

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la construcción está enfocada en la optimización de los costos de manera responsable, lo cual lleva a buscar tecnologías que permitan lograr este objetivo, razón por la cual se viene dando un aumento en el uso del concreto postensado en el país, esta técnica logra una eficiencia económica y brinda ventajas estructurales frente al sistema tradicional. PRETCON S.A.S es una de las principales compañías del país en el diseño, colocación, reparación y soporte técnico de hormigón postensado.

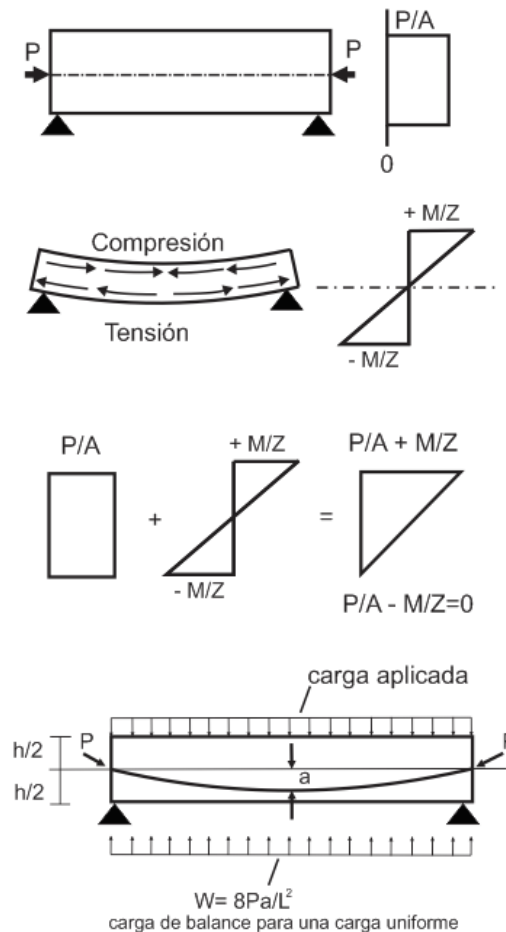
Por medio del convenio establecido entre la Universidad Industrial de Santander y PRETCON S.A.S para la realización de prácticas empresariales, la empresa busca capacitar profesionales con los conocimientos técnicos y relaciones interpersonales para posicionar la empresa a nivel nacional.

Mediante esta práctica se realizó la colaboración directa en las áreas de diseño de estructuras, diseño de sistemas postensados, programación de procesos de materiales para estructuras, programación de actividades en obra, programación de compra de materiales, revisión de inventarios, revisión de planos, actas de corte de avance, manejo del personal de obra y asistencia a los comités y reuniones técnicas de obra requerida por los contratantes de las obras y demás actividades correspondientes a labores realizadas por la empresa. Lo anterior constituye las diferentes etapas del desarrollo de cuatro meses de prácticas.

1. MARCO TEÓRICO

El concreto pretensado puede definirse como un tipo de hormigón armado en el cual cierta cantidad de acero ha sido pretensada para que actúe contra el concreto e induzca acciones internas de tal magnitud y distribución que se genere en el material resultante un sistema de tensiones internas autoequilibrante, y Las acciones resultantes de la aplicación de cargas externas son equilibradas en forma parcial o total con la precompresión (Figura 1).

Figura 1. Principios de diseño de concreto pretensado

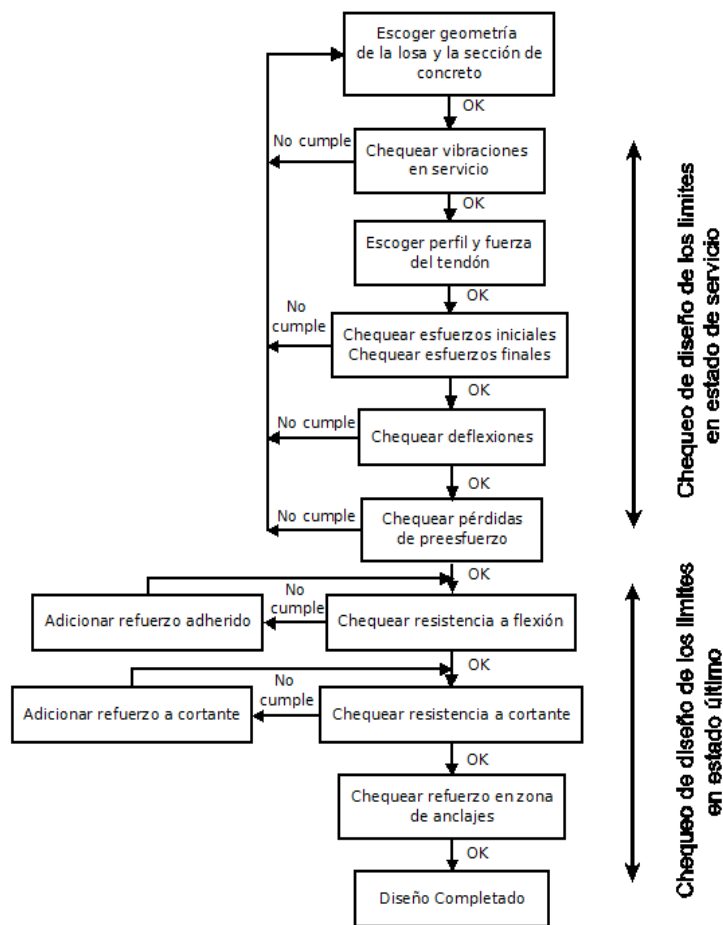


Fuente: STEVENSON A M; Post-tensioned concrete floors in multi-story buildings; British Cement Association Publication.

1.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA LOSAS POSTENSADA

A la hora de diseñar losas postensadas hay que seguir la secuencia mostrada en el diagrama de flujo:

Figura 2. Procedimiento de diseño para losas de concreto postensado



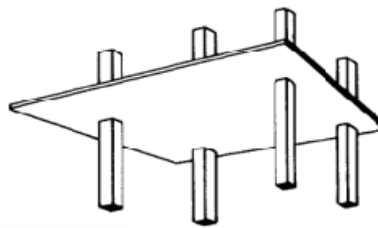
1.1.1 Geometría y sección de concreto. Al momento de escoger la tipología de losa hay que tener en cuenta los siguientes tipos de losas:

1.1.2 Losa plana maciza

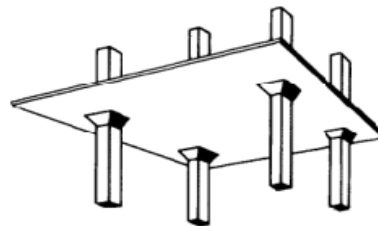
Luces: 6 hasta 13 metros.

Un diseño postensado eficiente se puede lograr con una losa plana maciza (Figura 3), es ideal para la construcción de edificios donde hay una cuadrícula regular de columnas. El espesor de una losa plana se controla normalmente por los requisitos de deflexión o por la capacidad de punzonamiento alrededor de la columna. El postensado mejora el control de las deflexiones y mejora la capacidad de corte. Este último se puede aumentar aún más con la introducción de shearheads acero dentro del espesor de la losa (Figura 3 (a)), column heads (Figura 3 (b)), o drop panels (Figura 3 (c)).

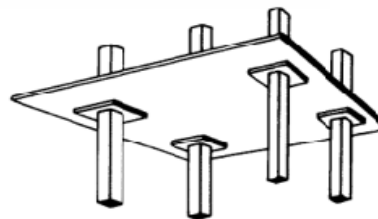
Figura 3. Formas de una losa plana



a) Losa maciza plana



b) Losa maciza plana con *columns heads*



c) Losa maciza plana con *drop panels*

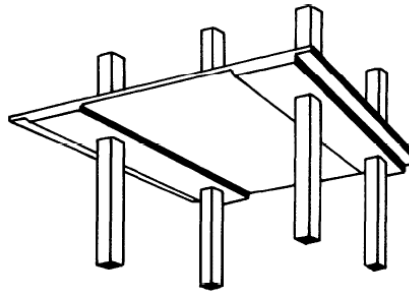
Fuente: STEVENSON A M; Post-tensioned concrete floors in multi-story buildings; British Cement Association Publication.

1.1.2.1 Vigas banda y losa:

Luces: vigas 8 a 20 metros, losas de 7 a 10 metros.

En la construcción moderna, donde hay generalmente un requisito para reducir al mínimo la altura de los elementos, el uso de, vigas banda anchas y de poca altura (Figura 4) es común. Las vigas sirven de apoyo a la losa en una dirección y transfieren las cargas a las columnas.¹

Figura 4. Viga banda y losa



Fuente: STEVENSON A M; Post-tensioned concrete floors in multi-story buildings; British Cement Association Publication.

1.1.2.2 Losa nervada:

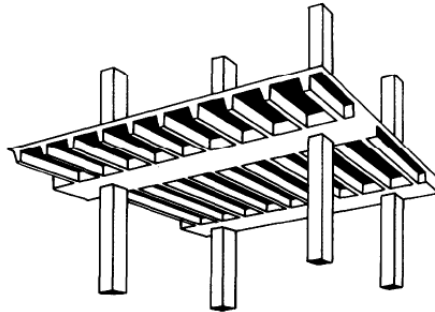
Luces: 8 hasta 18 metros

Para luces más grandes el peso de una losa maciza añade costos a la estructura y la cimentación. Mediante el uso de una losa nervada, (Figura 5), que reduce el peso propio, se pueden construir grandes luces económicamente. Para tramos largos bidireccionales, forjados reticulares (Figura 6) dan una opción muy eficiente en cuanto material y son capaces de soportar cargas altas.²

¹ STEVENSON A M; Post-tensioned concrete floors in multi-story buildings; British Cement Association Publication.

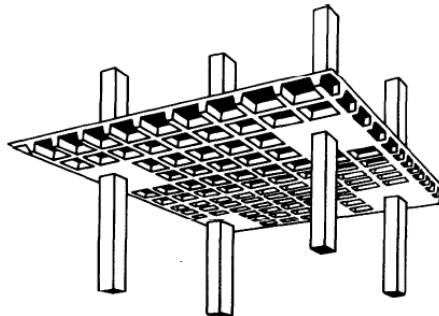
² Ibid

Figura 5. Losa nervada en una dirección



Fuente: STEVENSON A M; Post-tensioned concrete floors in multi-story buildings; British Cement Association Publication.

Figura 6. Losa nervada en dos direcciones



Fuente: STEVENSON A M; Post-tensioned concrete floors in multi-story buildings; British Cement Association Publication.

1.1.3 Análisis de vibración. La preocupación por los problemas de vibración tradicionalmente se ha centrado en losas ligeras tales como las de la madera o las de Steel Deck. En los últimos años, sin embargo, se ha vuelto cada vez más claro que las vibraciones también pueden ser un criterio de diseño importante en losas de hormigón, particularmente aquellas con tramos largos y altas relaciones de esbeltez. El problema más común es la irritación o molestia a los ocupantes del edificio causados por las vibraciones generadas debido a el tránsito de personas.

Cabe destacar que la gran mayoría de losas postensadas no dan lugar a problemas de vibración y que, en general, el rendimiento de vibración de estos pisos es mucho mejor que la de otros tipos de construcción. No obstante, como las losas post-tensadas aumentan la esbeltez en la construcción, la importancia de la

vibración aumenta. Es, por lo tanto, recomendado realizar algunos chequeos de orden de magnitud simple en la etapa de diseño, con un análisis más detallado llevado a cabo sólo si las sencillas comprobaciones sugieren que puede haber un problema.³

1.1.4 Perfil y fuerza del tendón. El perfil se establece basándose en el tipo y la distribución de la carga y teniendo en cuenta el recubrimiento mínimo requerido para la resistencia al fuego y para la protección contra la corrosión. El espaciamiento entre los tendones debe ser suficiente para permitir la fácil colocación del hormigón.

La fuerza se calcula de acuerdo a requisitos mínimos exigidos por las normativas teniendo en cuenta el concepto de la precompresión que se define como la fuerza de postensado total dividida por el área de la sección transversal bruta normal a la fuerza. ACI 318 05/08 requiere un mínimo de 125 psi (0.85 MPa) de precompresión efectiva después de todas las pérdidas de pretensado.⁴

1.1.5 Chequeo de esfuerzos. Los elementos preesforzados a flexión deben clasificarse como Clase U (no fisurado), Clase T (transición entre fisurado y no fisurado) o Clase C (fisurado) en función de f_t , correspondiente al esfuerzo calculado en la fibra extrema en tracción en la zona precomprimida en tracción, calculada para cargas de servicio, de la siguiente forma:

$$(a) \text{ Clase U: } f_t \leq 0.62 \overline{f'_c} \quad (1)$$

$$(b) \text{ Clase T: } 0.62 \overline{f'_c} < f_t \leq 1.0 \overline{f'_c} \quad (2)$$

$$(c) \text{ Clase C: } f_t > 1.0 \overline{f'_c} \quad (3)$$

³ KHAN SAMI, Williams Martin; Post-tensioned Concrete Floors; Butterworth-Heinemann Ltd; 1995.

⁴ American Concrete Institute, ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural concrete

Los sistemas de losas preesforzadas en dos direcciones deben ser diseñadas como Clase U con $f_t \leq 0.50 \sqrt{f'_c}$.

Las losas y vigas postensadas se asumen según recomendación de la NSR-10 como clase U o Clase T ya que estas se analizan como secciones no fisuradas.

En el momento de verificar esfuerzos hay que tener en cuenta tanto los esfuerzos iniciales que se dan inmediatamente después de la aplicación de la fuerza por medio del gato hidráulico, y los esfuerzos bajo las cargas de servicio (después de ocurrir todas las pérdidas). Los límites de esfuerzos bajo cargas de servicio tanto a tensión como a compresión se calculan de manera diferente en las vigas y las losas, en la siguiente tabla se resumen los límites de esfuerzos exigidos por la norma colombiana sismo resistente NSR-10.⁵

Tabla 1. Esfuerzos admisibles de acuerdo a la NSR-10

ESTADO	COMPRESIÓN	TENSIÓN
INICIAL	$0.6 f'_{ci}$	$0.25 \sqrt{f'_{ci}}$
SERVICIO LOSAS	$0.45 f'_c$	$0.5 \sqrt{f'_c}$
SERVICIO VIGAS	$0.6 f'_c$	$0.62 \sqrt{f'_c}$

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente; NSR-10; 2010

1.1.6 Chequeo de deflexiones. Las deformaciones de los elementos postensados tienden a ser pequeñas ya que bajo las cargas de servicio son generalmente “uncracked”, es decir, sin fisuras; y son mucho más rígidos que los elementos no preesforzados con la misma sección transversal. Además, la fuerza de postensado induce deflexiones en una dirección opuesta a las producidas por las cargas externas. Por lo tanto, la deflexión final es una función del perfil del tendón y la magnitud de la tensión. Reconociendo este hecho, la norma NSR-10 no especifica

⁵ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente; NSR-10; 2010

los requisitos mínimos de deflexiones para los elementos postensados. Sin embargo, las proporciones sugeridas en la tabla C.9.5 (b) de la NSR-10 pueden ser utilizadas como una guía para establecer la profundidad de los elementos continuos de flexión.

1.1.7 Verificación de pérdidas. Para encontrar la fuerza efectiva que ejercen los tendones hay que tener en cuenta que inmediatamente después de soltar el gato hidráulico la fuerza es menor que la fuerza inicial proporcionada por el equipo de tensionamiento, esto se debe a las pérdidas a corto y largo plazo que se producirán debido a diferentes factores mencionados en la NSR-10 como: el asentamiento del acero de preesforzado durante la transferencia, el acortamiento elástico del concreto, el flujo plástico del concreto, la retracción del concreto, las pérdidas por fricción debido a la curvatura.⁶

La mayoría de los ingenieros diseñan con las fuerzas efectivas finales (las fuerzas de postensado considerando todas las pérdidas de pretensado). La fuerza efectiva de un tendón es una función de un número de parámetros, incluyendo el perfil del tendón, ciertas propiedades del hormigón, y el medio ambiente.

1.1.8 Chequeo de acero adherido a flexión. El procedimiento general para calcular la cuantía necesaria de acero adherido para resistir a flexión que debe llevar a una losa postensada es el siguiente:

1. Revisar la cuantía mínima exigida por las normativas:

Para losas en una dirección la NSR-10 requiere el siguiente As mínimo:

$$\text{As min} = 0.004A_c t \quad (4)$$

⁶ Ibid

Donde A_{ct} es el área de la porción de la sección transversal entre la cara de tracción en flexión y el centro de gravedad de la sección bruta.

El refuerzo adherido requerido debe estar distribuido de manera uniforme sobre la zona de tracción precomprimida y tan cerca como sea posible de la fibra extrema en tracción.

Para losas en dos direcciones se deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:

No se debe requerir refuerzo adherido en las zonas de momento positivo donde f_t , el esfuerzo de tracción en la fibra extrema en tracción de la zona de tracción precomprimida al nivel de cargas de servicio, (después de considerar todas las pérdidas de preesforzado) no excede $0.17 \overline{f'_c}$.

En zonas de momento positivo donde el esfuerzo de tracción calculado en el concreto bajo carga de servicio excede $0.17 \overline{f'_c}$, el área mínima del refuerzo adherido debe calcularse mediante:

$$A_{s \min} = \frac{N_c}{0.5 F_y} \quad (5)$$

En zonas de momento negativo sobre las columnas de apoyo, el área mínima del refuerzo adherido, A_s , en la parte superior de la losa en cada dirección debe calcularse mediante:

$$A_{s \min} = 0.00075 A_{cf} \quad (6)$$

Donde A_{cf} es la mayor área de la sección transversal bruta de las franjas viga-losa en los dos pórticos equivalentes ortogonales que se intersectan en la columna en una losa en dos direcciones.

El refuerzo adherido requerido debe distribuirse entre líneas que están 1.5h fuera de las caras opuestas de la columna de apoyo. Deben colocarse por lo menos 4 barras o alambres en cada dirección. El espaciamiento del refuerzo adherido no debe exceder de 300mm.

2. Después de cumplir los requisitos mínimos se analiza el A_s requerido para la combinación de carga última y se agrega la cantidad de acero necesario para resistir el momento generado por la combinación de carga última.

3. Por último se deben cumplir las siguientes disposiciones en cuanto a la longitud del refuerzo:

En zonas de momento positivo, la longitud mínima del refuerzo adherido debe ser $1/3$ de la luz libre, y estar centrada en la zona de momento positivo.

En zonas de momento negativo, el refuerzo adherido debe prolongarse $1/6$ de la luz libre a cada lado del apoyo.⁷

1.1.9 Verificación de diseño a cortante. La falla de losas a cortante es un criterio de resistencia última, que normalmente se comprueba después de que el diseño a flexión está completo. En las vigas, y en losas en una dirección entre vigas o muros, los esfuerzos cortantes excesivos dan lugar a la formación de grietas de tensión diagonal. En losas planas, el cortante de punzonamiento falla alrededor de una columna o bajo una muy grande carga concentrada, estas son las principales preocupaciones. En la práctica, el punzonamiento es el criterio más importante; en losas en una dirección el cortante es raramente crítico en el diseño.

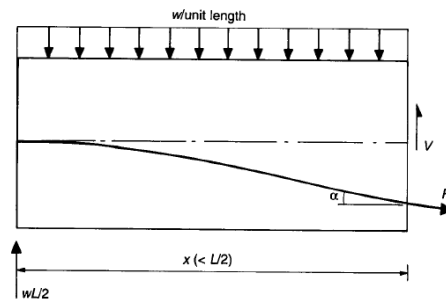
Una diferencia importante entre el hormigón pretensado y reforzado es que la componente vertical de la fuerza de pretensado, en casi todos los casos, se oponen al cortante debido a las cargas aplicadas, reduciendo así la fuerza de

⁷ Ibid

cortante que va a soportar la sección de hormigón. Por ejemplo, la figura 7 muestra las fuerzas que actúan sobre una sección de una viga simplemente apoyada bajo carga uniforme. El cortante resultante en la cara derecha es:

$$V = - (wL/2) + wx + P \sin (\alpha) \quad (7)$$

Figura 7. Efecto de un tendón inclinado en la fuerza córtate efectiva



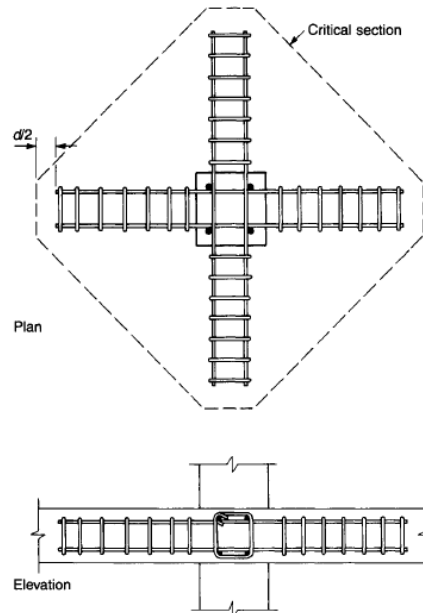
Fuente: KHAN SAMI, Williams Martin; Post-tensioned Concrete Floors; Butterworth-Heinemann Ltd; 1995.

La magnitud de esta fuerza es menor que el valor en ausencia de la tensión previa, siempre y cuando el tendón está en pendiente hacia abajo, sin embargo, tanto la precompresión media y la inclinación de los tendones son bastante bajos, por lo que la contribución de la tensión previa a la resistencia al corte es pequeña.⁸

El procedimiento normal para el diseño a cortante es comparar la capacidad de la sección de hormigón, incluyendo las barras de refuerzo y los tendones de pretensado, con la fuerza de cortante máxima aplicada, incluyendo los factores de carga de última. Los valores de los factores de carga recomendados por la NSR-10, Si la capacidad es adecuada entonces no se requiere ninguna acción adicional. Si la fuerza de cortante aplicada es excesiva entonces cierta capacidad adicional debe ser proporcionado, ya sea por inclusión de refuerzo de corte (Figura 8) o mediante el aumento de la sección transversal.

⁸ KHAN SAMI, Williams Martin. Op. Cit.

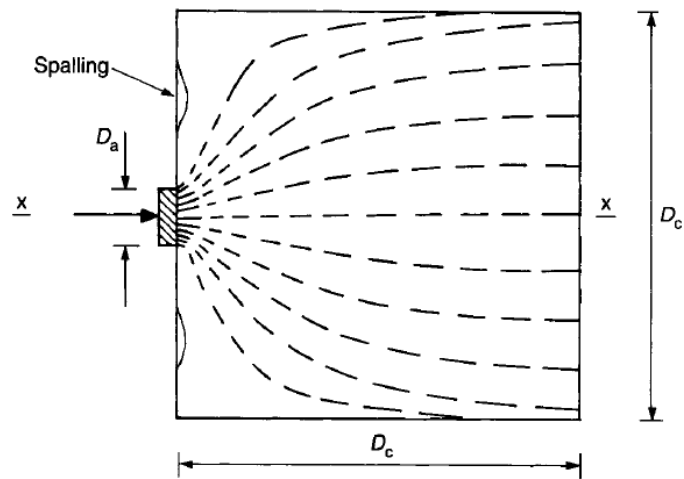
Figura 8. Detalle típico de refuerzo a punzonamiento de acuerdo con el ACI 318



Fuente: KHAN SAMI, Williams Martin; Post-tensioned Concrete Floors; Butterworth-Heinemann Ltd; 1995.

1.1.10 Chequeo de la zona de anclajes. El pretensado se aplica al hormigón a través de un conjunto de anclaje, que normalmente consiste en una fundición de acero. El área de soporte del anclaje es sólo una pequeña proporción de la superficie de concreto asociado con un anclaje. La fuerza de pretensado, se concentró en el área de apoyo, se extiende a través del hormigón, y puede ser considerado para ser distribuido uniformemente sobre la sección de hormigón a una distancia adecuada desde el anclaje (Figura 9).

Figura 9. Distribución de carga concentrada en la zona de anclajes



Fuente: KHAN SAMI, Williams Martin; Post-tensioned Concrete Floors; Butterworth-Heinemann Ltd; 1995.

Debido a los esfuerzos generados en las zonas de anclajes se han realizado diversos estudios que han estandarizado el refuerzo en la zona de anclajes para contrarrestar los efectos producidos a la hora de aplicar la carga al concreto.⁹

⁹ Ibid

2. ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA PRÁCTICA PROFESIONAL

La práctica profesional en PRETCON SAS se realizó con un énfasis en el diseño de edificaciones postensadas, alimentada con visitas a obra enfocadas en la supervisión técnica y con el apoyo del tutor por parte de la empresa.

En un primer momento se realizó la inducción a la empresa y a las tareas a ejercer por parte de los profesionales de PRETCON SAS, en segundo lugar se inició la formación referente al software utilizado por parte de la empresa para realizar los diferentes diseños que ofrece en su cartera de servicios, simultáneamente se realizó la capacitación en los diferentes códigos y requerimientos que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar estructuras postensadas, en una tercera fase se empezó con el diseño de las losas postensadas y por último se realizaron las supervisiones técnicas a obra.

2.1 ENTRENAMIENTO EN MANEJO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES:

Esta fase consistió en la lectura de manuales y realización de ejemplos con el debido acompañamiento de personal calificado en el uso de programas como: ADAPT-PT, ADAPT-EDGE, ADAPT-BUILDER, DC-CAD, ETABS. Estas herramientas permiten realizar despieces de vigas, modelos sísmicos, modelos lineales de vigas postensadas, modelos tridimensionales de losas postensadas analizados mediante elementos finitos.

2.2 CAPACITACIÓN EN CÓDIGOS Y REQUERIMIENTOS EXIGIDOS EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS POSTENSADAS

Esta etapa estuvo enfocada en conocer los diferentes códigos que brindan pautas a seguir cuando se diseñan estructuras postensadas. Destacando principalmente el PTI (POST-TENSIONING INSTITUTE), ACI 318-08 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE), NSR-10 (Reglamento colombiano de normas sismos resistentes). El aprendizaje y la puesta en práctica de los criterios exigidos por los códigos mencionados anteriormente estuvo acompañado por el tutor asignado en la empresa para cumplir este objetivo, parte de estos criterios son mencionados en el marco teórico del presente artículo.

2.3 APOYO AL DISEÑO DE LOSAS POSTENSADAS:

Durante esta fase de la práctica se realizaron modelos tridimensionales de losas postensadas, las cuales se analizaron mediante el método de elementos finitos verificando que cumpliera: los requisitos de esfuerzos tanto en la fibra a compresión como a tensión, las deflexiones tanto para cargas de servicio como a largo plazo. Adicionalmente se chequeo el acero adherido necesario para el buen funcionamiento de las losas postensadas.

A continuación se hace una descripción de las obras en las cuales se participó activamente en la parte del diseño:

- **ZENTRY:** esta obra se localiza en la ciudad de Bucaramanga, actualmente se encuentra haciendo los trabajos de cimentación. En las siguientes figuras se evidencia el modelo y las superficies de contorno para ser analizadas de un sótano de este edificio.

Figura 10. Modelo Tridimensional

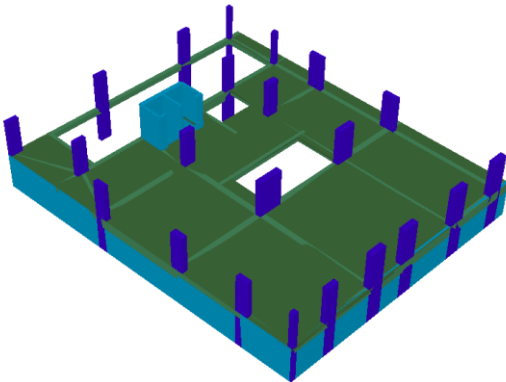


Figura 11. Chequeo de esfuerzos

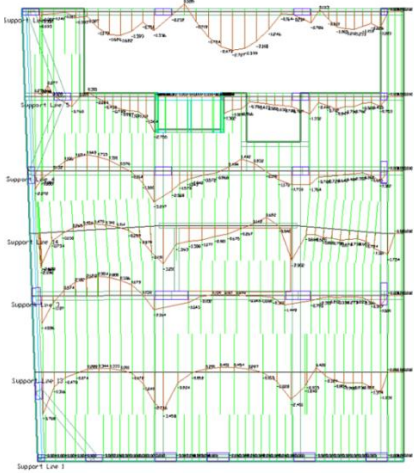
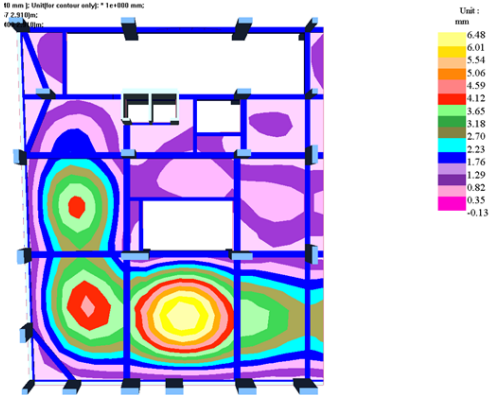


Figura 12. Superficie de contorno para el análisis de deflexiones



- ROSARIO CONDOMINIO II: esta obra se ubica en el municipio de Floridablanca, actualmente se encuentra en construcción. En las siguientes figuras se evidencia el modelo y las superficies de contorno para ser analizadas de un sótano de este edificio.

Figura 13. Discretización de la losa

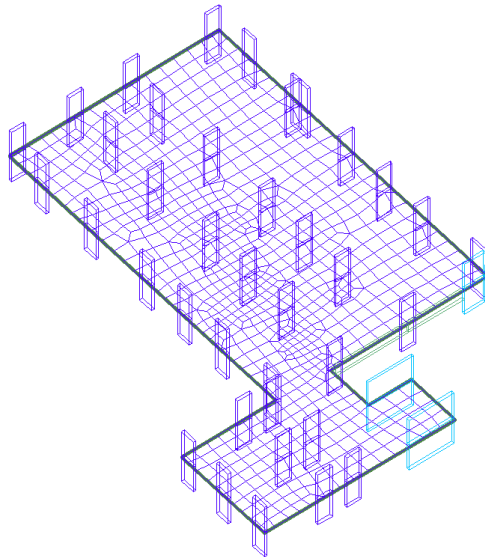


Figura 14. Distribución de cables

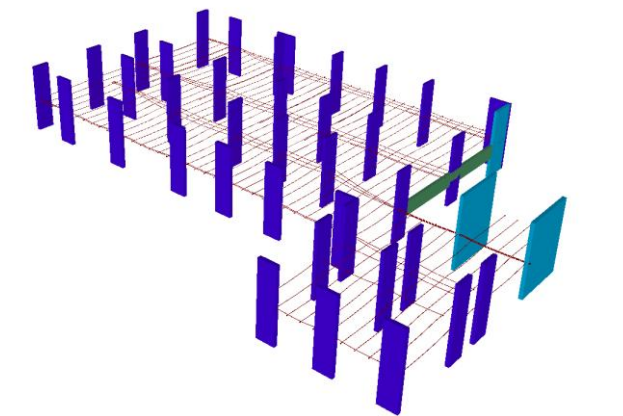
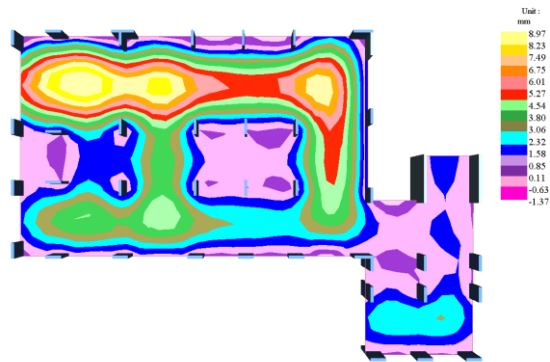


Figura 15. Superficie de contorno para el análisis de deflexiones



- DOMINIQ: está ubicada en la ciudad de Bucaramanga, actualmente se encuentra en construcción. En las siguientes figuras se evidencia el modelo y las superficies de contorno para ser analizadas de un sótano de este edificio.

Figura 16. Modelo Tridimensional

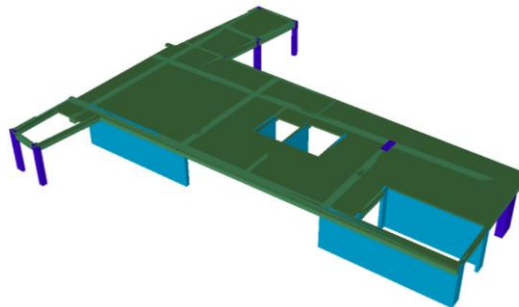


Figura 17. Distribución de cables

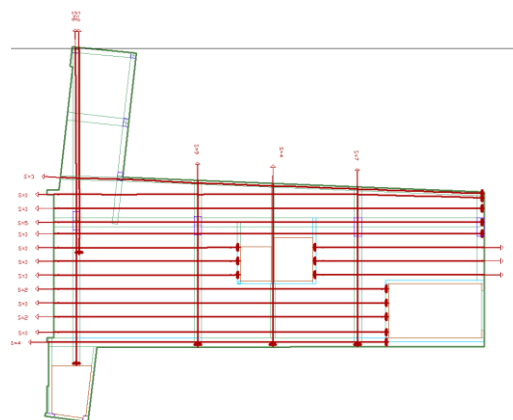
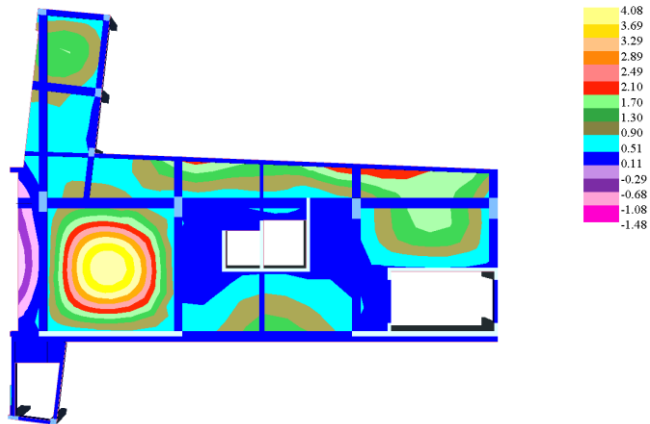


Figura 18. Superficie de contorno para el análisis de deflexiones



2.4 SUPERVISIONES TÉCNICAS A OBRA:

Las visitas a obra tuvieron como objetivo revisar: las cantidades de cable, la altura de los perfiles, las cantidades de acero adherido de la losa, el refuerzo requerido por punzonamiento, el refuerzo en la zona de los anclajes, los detalles de vacíos y juntas de construcción. Además se realizó supervisión en los procesos de tensionamiento. En la siguiente recopilación fotográfica se muestra la evidencia de las revisiones técnicas realizadas a las diferentes obras durante la práctica.

- CAMINOS DE PROVIDENZA: Esta obra está ubicada en la ciudad de Bucaramanga, la tipología de placa utilizada es losa plana.

Figura 19. Armado de losa plana

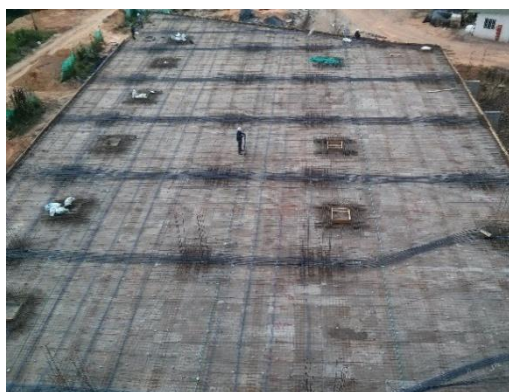


Figura 20. Detalle punto de salida de los cables



Figura 21. Detalle de refuerzo a flexión y punzonamiento



Figura 22. Detalle típico de abertura de losas



Figura 23. Proceso de tensionamiento



- GREEN GOLD: se encuentra ubicada en la ciudad de Bucaramanga, la tipología utilizada es losa plana con vigas. La supervisión a esta obra se realizó tanto en la torre de vivienda la cual cuenta con 39 pisos, como con la torre de oficinas en la cual actualmente se encuentran trabajando en los sótanos.

Figura 24. Colocación del postensado en los sótanos de Green Gold



Figura 25. Proceso de armado de las vigas en el piso 39 de Green Gold



Figura 26. Supervisión realiza al tensionamiento del piso 39 de Green Gold



- ROSARIO CONDOMINIO II: Esta obra se ubica en municipio de Floridablanca, la tipología de placa utilizada es losa plana

Figura 27. Detalle de caja de tensionamiento



El detalle mencionado en la figura 28 se utiliza cuando por disposiciones del terreno no se puede tensionar en el borde de losa como se hace normalmente.

Figura 28. Colocación del postensado y fundida de los parqueaderos de Rosario Condominio II



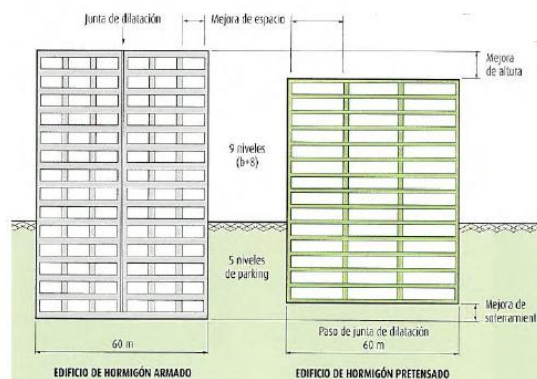
3. APORTES

3.1 ANÁLISIS DE RENDIMIENTO EN COSTO DE ESTRUCTURAS POSTENSADAS VERSUS ESTRUCTURAS DE CONCRETO TRADICIONAL

Al analizar la economía relativa de un edificio con losas postensadas frente a uno de concreto reforzado siempre se deben tener en cuenta los siguientes factores: Cantidades relativas de materiales incluyendo formaleta, concreto, refuerzo adherido y postensado. Otros factores como la velocidad de la construcción, los costes de cimentación, etc. también deben incluirse en el análisis de los costos.

La reducción de los espesores de losas es una de las ventajas más importantes que ofrece este sistema, debido a que se van a construir edificios con la misma cantidad de pisos que uno de concreto reforzado pero reduciendo la altura total de la edificación (Figura 19), esto da como resultado un ahorro en los costos tanto de fachada como de cimentación ya que se va a contar con una estructura más liviana.

Figura 29. Hormigos armado vs Concreto postensado



Fuente: ORTS Francisco; Aplicación del Hormigón Postensado en Edificación [Tesis de maestría]. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. 2009-2010

La reducción de costos y la velocidad de construcción están fuertemente ligados en el entorno de la construcción actualmente. El factor clave en la velocidad de construcción de un edificio postensado está en el uso adecuado y la reutilización del encofrado. El postensado permite la pronta recuperación de la formaleta debido al tensionamiento temprano de los tendones. El sistema de cables en la losa es usualmente tensionado a los 3 días de fundida la losa cuando se alcanza una resistencia mínima a la compresión de 21 MPa.

3.1.1 Caso de estudio. Un ejemplo extraído del artículo Edificaciones en concreto postensado: “competitividad en costos” que pertenece a la edición N°96 de la revista Noticreto, nos muestra la comparación de un ciclo de construcción de un piso típico en un edificio de parqueaderos tanto en concreto reforzado, como con la utilización de losas postensadas. También se hace una evaluación de costos de los dos sistemas de construcción.¹⁰

3.1.1.1 Estructura tradicional en pórtico: Edificio de 5 pisos, para parqueaderos de condominio. Estructura tradicional en pórtico. Las dimensiones de los elementos estructurales obedecen a requerimientos de cargas de gravedad y sismo. Dimensiones de la planta estructural típica (excluida área de rampa): 73.65 m x 15.30 m. Capacidad portante del terreno en suelo duro: 40 ton /m²

Datos De la estructura tradicional: Capacidad del edificio: 270 puestos de parqueo, incluidos los ubicados en cubierta. Sistema estructural: Pórtico especial, resistente a momento, DES. Separación entre ejes de columnas (típica): 8.00m. Losa típica aligerada con casetón de madera y fibra, plana, con torta inferior de concreto, a fin de evitar acumulación de gases, espesor 0.40m. Dimensiones de vigas: 0.40m x 0.40m; 0.40m x 0.50m. Resistencia de diseño del concreto: $f'c= 21\text{MPa}$. Losa maciza en área de ascensor y cubierta de escaleras. Resistencia de diseño del concreto: $f'c= 21\text{ MPa}$. Dimensiones columnas: 0.50m x 0.50m.

¹⁰ OTERO PINEDO, Adrian; Edificaciones en concreto postensado: “competitividad en costos”; Revista Noticreto N°96; Octubre de 2009; pp 26-34.

Resistencia de diseño del concreto: $f'c= 21$ MPa. Cimentación: Según cargas y capacidad portante. Vigas de amarre sección: 0.40m x 0.40m y 0.30m x 0.40m. Longitud vigas amarre: 527m. Altura de la edificación: 14.30m, a partir de la cota superior de cimentación.¹¹

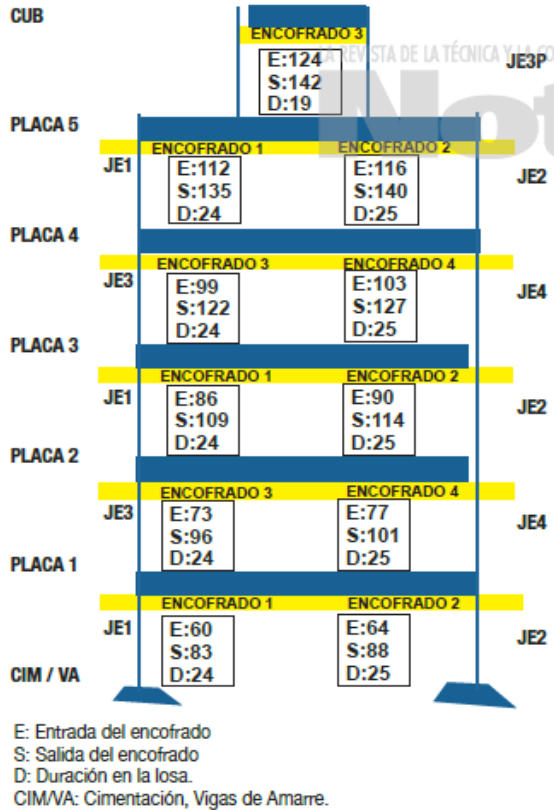
Dado el conocimiento tan popularizado del sistema tradicional, no se da mayor explicación sobre el proceso y la secuencia constructiva. Una vez se ha preparado el encofrado, se procede al amarre de refuerzos de vigas y viguetas, la colocación de la malla de refuerzo y fundida de la torta inferior, la colocación de los casetones de aligeramiento, trabajos paralelos de instalaciones sanitarias y eléctricas, colocación de malla superior y fundida de la losa propiamente dicha. El encofrado puede retirarse entre los 12 y los 14 días después de fundida la losa, dejando un apuntalamiento secundario. Se presenta un diagrama de actividades para una losa típica. El plazo estimado para la construcción de la estructura y el uso de los recursos, según cronograma de actividades es:¹²

- Plazo de construcción de losa: 65 días hábiles (76 días calendario).
- Plazo de construcción estructura y retiro de encofrados: 142 días (166 días calendario).
- Recurso encofrado de losas, 4 juegos, c/u de 600m².
- Total 2400 m² de tableros metálicos manoportables.

¹¹ Ibid

¹² Ibid

Figura 30. Utilización y rotación de encofrado losa tradicional aligerada



Fuente: OTERO PINEDO, Adrian; Edificaciones en concreto postensado: “competitividad en costos”; Revista Noticreto N°96; Octubre de 2009; pp 26-34.

3.1.1.2 Estructura con muros, en losa postensada: Estructura con muros, en losa postensada Edificio de 5 pisos, para parqueaderos en condominio. Estructura postensada con tecnología no adherente. Las dimensiones de los elementos estructurales obedecen a requerimientos de cargas de gravedad y sismo. Dimensiones de la planta estructural típica (excluida área de rampa): 69.65m x 15.30m. Cabe aclarar que la menor dimensión de la planta obedece al menor espesor de los elementos de apoyo estructurales (pantallas e= 0.15m, versus columnas b= 0.50m). Capacidad portante del terreno en suelo duro: 40 ton /m².

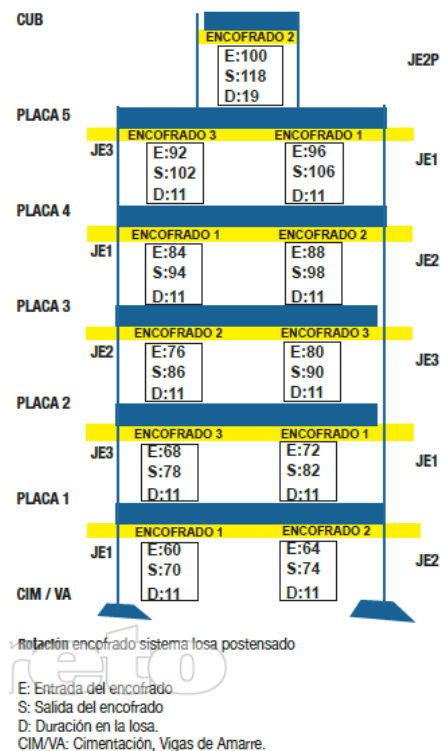
Datos De la estructura Postensada: Capacidad del edificio: 270 puestos de parqueo, incluidos los ubicados en cubierta. Sistema estructural: Pantallas y columnas de concreto, DES. Separación entre ejes de muros de concreto (típica): 7.65m. Losas típicas macizas postensadas de espesor 0.18m. Dimensión de vigas realizadas/descolgadas: 0.25m x 0.50m; 0.25m x 0.30m. Resistencia de diseño $f'c = 24.5$ MPa; Resistencia inicial del concreto, al tensionamiento: $f'ci = 0.75 f'c = 18.4$ MPa. Torones de preesfuerzo, sistema no adherente, engrasados, extruidos, bajo relajamiento, cero esfuerzo residual, diámetro nominal $\frac{1}{2}$ ", $fpu = 1890$ MPa, tensionados a 0.8fpu, cumple la norma ASTM-A416. Organizados longitudinalmente en banda y de forma distribuida transversalmente. Se tensionan cuando el concreto de la losa obtenga la resistencia de diseño inicial, entre las 48 y 72 horas. Losa maciza reforzada en área de ascensores y cubierta de escaleras. Dimensiones de pantallas: 2.00m x 0.15m., 2.00m x 0.25m, 3.05m x 0.15m. Resistencia de diseño del concreto: $f'c = 21$ MPa. Cimentación: Según cargas y capacidad portante. Vigas de amarre sección: 0.40m x 0.40m. Longitud vigas: 235m. Altura de la edificación: 13.20m, a partir de la cota superior de la cimentación.

La secuencia constructiva de una losa postensada permite una mayor reutilización o rotación de los encofrados, dados los ciclos más cortos y el tensionamiento de los torones. El proceso de armado es más rápido, dado la menor cantidad de acero presente y la ausencia de torta de concreto inferior y casetones de aligeramiento. Una vez preparado el encofrado se extiende el refuerzo activo o pasivo inferior, se instalan los torones, se trabaja paralelamente en las instalaciones sanitarias y eléctricas, colocación de refuerzo superior y luego la fundida del concreto. Los torones se tensionan (entre las 48 y 72 horas), una vez el concreto de la losa haya adquirido la resistencia inicial especificada. El encofrado puede retirarse en su totalidad, con recomendación de reinstalar un apuntalamiento secundario.

Se presenta un diagrama de actividades para una losa típica. El plazo estimado para la construcción de la estructura, uso de recursos, según cronograma de actividades es:¹³

- Plazo de construcción de losas: 41 días hábiles (48 días calendario).
- Plazo de construcción estructura y retiro de encofrados: 118 días (138 días calendario).
- Recurso encofrado de losas, 3 juegos, c/u de 550 m2. Total 1650 m2 de tableros metálicos mano portables.
- Recurso encofrado total en las losas del edificio principal (excluye rampas), medido según el programa de utilización: 69.140 m2-día hábiles.

Figura 31. Utilización y rotación de encofrado sistema postensado



Fuente: OTERO PINEDO, Adrian; Edificaciones en concreto postensado: “competitividad en costos”; Revista Noticreto N°96; Octubre de 2009; pp 26-34.

¹³ Ibid

3.1.1.3 Análisis comparativo: A continuación se presenta el análisis de la comparación realizada en el caso de estudio entre la estructura en concreto reforzado convencional y la estructura en concreto postensado.

Comparación económica de los proyectos: De la revisión de los Presupuestos de construcción a costo directo, en base al precio básico de los materiales y la mano de obra, vigentes a Agosto de 2009 y al ciclo de construcción de las losas, se concluye:

La estructura postensada de 5 pisos, evaluada para cargas de parqueadero, con cimentación convencional, con utilización de encofrado metálico mano portable, tiene un costo directo de \$ 200.237 /m², versus \$ 227.977 /m² de la tradicional, con ahorro de \$ 27.740 /m², equivalente al 12.17%, representado en:

Menor consumo de materiales básicos: concretos, refuerzos y mallas.

Menor utilización de encofrados metálicos, por abreviación del ciclo constructivo (menor plazo) y capacidad de la losa para resistir cargas a edad temprana.

Menor área de losas postensadas para la misma capacidad de vehículos.

Menor altura de la edificación, que redundará en el costo de los elementos portantes verticales.

Redefinición del sistema portante y sismoresistente, con disminución en el volumen del concreto y las cuantías del acero de refuerzo de los mismos.

Una reducción significativa en la cuantía del acero de refuerzo activo y/o pasivo y mallas en las placas, al pasar de 21.5 a 7 kg/m² (aproximadamente).

Una reducción en la cuantía del concreto de la placa, al pasar de 0.20 a 0.185 m³/m², incluidos las vigas descolgadas y/o realizadas. Virtualmente se elimina el desperdicio por razones inherentes a los casetones de aligeramiento.

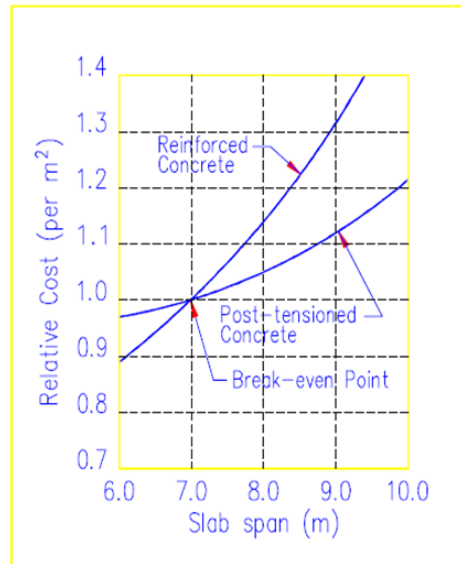
Se eliminan los casetones y la torta inferior, haciendo el proceso de fundida más rápido y controlable.

El plazo de construcción disminuye en 24 días hábiles (28 días calendario), para la edificación de 5 pisos analizada. Esto repercute en los costos indirectos asociados al proyecto.¹⁴

Los resultados obtenidos en el caso de estudio son muy similares a los presentados en algunas obras de la empresa a las cuales se le ha realizado un análisis de viabilidad del concreto postensado frente al concreto tradicional.

No siempre hay tiempo o presupuesto suficiente para llevar a cabo estudios de viabilidad comparativos para todas las soluciones estructurales. Sin embargo, hay algunas pautas útiles que se pueden emplear cuando se consideran las alternativas postensadas. Como puede verse en la figura 23, el post-tensado debe ser considerado como una posible alternativa económica para la mayoría de las estructuras cuando las luces son mayores de 7,0 metros.

Figura 32. Comparación en costo de losas de hormigón armado vs concreto postensado



Fuente: Cross Ed, Grad Dip; Post-tensioning in Building Structures

¹⁴ Ibid

3.2 METODOLOGÍA PARA REALIZAR EL ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS POSTENSADAS.

Son muchas las ventajas sísmicas utilizando estructuras de concreto postensado, incluyendo la reducción de las fuerzas sísmicas y los momentos, la disminución de la fisuración en los miembros sometidos a cargas sísmicas, y la reducción de los desplazamientos de sistemas de muros y pórticos.

Si bien el objetivo principal de la construcción de estructuras es soportar las cargas de gravedad, estos sistemas también deben resistir cargas y deformaciones inducidas por eventos sísmicos. La componente horizontal de la respuesta sísmica requiere consideraciones de análisis y diseño separado del diseño de las cargas de gravedad. En esta situación, la componente vertical es típicamente representada por el aumento o la disminución de la carga muerta, lo que produce el máximo efecto. Es común para la construcción de estructuras tener pórticos diseñados para resistir solamente cargas de gravedad en conjunto con pórticos o muros que resisten parte de la carga de gravedad y las cargas laterales. El postensado puede ser una parte de la resistencia de las cargas de gravedad y de las fuerzas laterales inducidas por el sismo¹⁵

- **Aporte del postensado a las cargas de gravedad**

El postensado se utiliza comúnmente en las losas para resistir cargas de servicio donde no hace parte del sistema de resistente sísmica. Pero el postensado mejora el desempeño sísmico por las siguientes razones:¹⁶

Con este sistema se puede reducir el peso en un 30% respecto a los sistemas de losas de concreto no pretensado. Esta reducción de peso se traduce en una reducción de las fuerzas de diseño para el sistema de resistencia de carga lateral.

¹⁵ Post-tensioning manual. Sixth Edition, Post-Tensioning Institute

¹⁶ Ibid

El postensado puede reducir el espesor de las losas y la altura de los entrepisos; esto reduce los momentos de vuelco y el tamaño de los elementos asociados al sistema de resistencia de las fuerzas laterales.

- **Aporte del postensado al sistema de resistencia de Fuerzas Laterales**

El Post-tensado mejora el desempeño sísmico de este sistema por las siguientes razones:¹⁷

Los desplazamientos se reducen después de un terremoto. Debido a que el postensado no adherido rara vez excede de su límite elástico, la estructura vuelve a su posición no deformada después de un evento sísmico.

El postensado reduce las fisuras en los elementos sometidos a cargas sísmicas, lo que reduce la cantidad de reparaciones post-terremoto. En particular, las losas postensadas resisten cargas de diafragma como un sistema elástico con menos agrietamiento de las estructuras de hormigón no pretensado.

Al realizar el diseño sísmico de una edificación postensada con referencia en códigos internacionales como lo son el ACI 318, IBC, y el ASCE nos permiten tener en cuenta las ventajas sísmicas que ofrece una estructura postensada, por ejemplo el límite de derivas se establece en el 2% de la altura del entrepiso en la tabla 12.12-1 del ASCE pero a la vez indica en el numeral 12.7.3 que se deben considerar los efectos de las fisuras en los elementos. Respecto a la fisuración es donde el postensado nos ofrece ventajas ya que el numeral 9.5.4.1 nos permite utilizar la sección de las vigas como no fisuradas, estos criterios no se pueden usar a la hora de hacer un diseño de acuerdo a la NSR-10 ya que este código toma las derivas como 1% pero no consideración los efectos de fisuración en los elementos.

¹⁷ Ibid

4. LECCIONES APRENDIDAS

Algunas de las lecciones aprendidas en la práctica son, la lectura de planos, los conceptos a tener en cuenta a la hora de diseñar losas postensadas, el manejo de los softwares utilizados en la empresa para realizar los diseños, la generación de planos de construcción. Adicionalmente se conocieron todos los procesos que lleva a cabo la colocación del postensado (que va desde el corte del cable, la fabricación de las silletas, el transporte de estos materiales, la colocación en obra, el proceso de limpieza previo al tensionamiento, la toma de elongaciones después del tensionamiento y por último el análisis de los datos obtenidos en campo),

En la parte administrativa se obtuvieron conocimientos importantes como lo son el manejo de las relaciones interpersonales de acuerdo a la interacción que se tiene con las diferentes personas que intervienen en un proyecto y la responsabilidad y cumplimiento que hay que tener a la hora del diseño y la construcción de una edificación.

5. CONCLUSIONES

La modalidad de práctica empresarial como proyecto de grado es muy importante ya que permite desarrollar y complementar todos los conceptos adquiridos en la parte académica, el trabajo en equipo es otro aspecto importante que se mejora en la práctica debido a que un proyecto es desarrollado en conjunto por un grupo de profesionales para lograr cumplir los objetivos planteados.

A la hora de establecer una metodología para el diseño sísmico para estructuras postensadas basados en la NSR-10 se obtuvo como resultado que este tipo de estructuras son analizadas de la misma forma que una estructura en concreto tradicional ya que la NSR-10 no exige considerar los efectos de fisuración, que es de donde se obtienen ventajas con el sistema postensado.

Con el uso de programas que realizan su análisis por medio del método de elementos finitos se obtiene un diseño óptimo para losas planas, tanto en la parte estructural como económica, esto se debe a que este método de análisis ofrece información más completa sobre el comportamiento las losas planas permitiendo una mejor distribución de los tendones lo que conlleva a un diseño óptimo.

Las losas postensadas ofrecen un mejor comportamiento frente a la fisuración, debido a que el preesfuerzo al que son sometidas anulan en forma total o parcial las cargas de servicio a las cuales van a estar sometidas, dando como resultado una estructura más resistente a la corrosión y al fuego a raíz de la ausencia de fisuras.

En la construcción actualmente hay una tendencia a utilizar grandes luces a razón de que ahora hay más énfasis en aprovechar la mayor cantidad de espacio ya que esto permite a los arrendatarios lograr mayores rendimientos a la hora de alquilar.

El postensado es una forma económica de lograr vanos más grandes, se debe considerar a partir de luces de 7.0 metros y como los tramos aumenten también aumentara el ahorro con respecto a una estructura en concreto reforzado.

Al comparar una estructura de concreto postensado frente a una simplemente reforzada desde el punto de vista económico se observa una reducción significativa en los costos al utilizar el hormigón postensado, ya que con este sistema se reducen los espesores de losas, la cantidad de acero disminuye, lo que conlleva a un menor consumo de concreto, reduce la altura total de la edificación la cual va ser más liviana y por lo tanto se reducirá el costo de cimentación, mayores rendimientos debido a una reutilización temprana del encofrado, otro factor que hace que disminuya el costo es la reducción de los costos indirectos debido a que el edificio se construirá en menos tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

AALAMI, Bijon O. y BOMMER, Alan. Design Fundamentals of Post-Tensioned Concrete Floors. Farmington Hills, Post-Tensioning Institute, 1999.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Building Code Requirements for Structural concrete. ACI 318-08. Farmington Hills, 2008.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. ASCE 7-10. Reston, 2010.

BUNGALE, Taranath. Reinforced Concrete Design of Tall Buildings. Boca Raton, FL., Taylor & Francis Group, 2010.

CROSS, Ed. Post-tensioning in Building Structures. Sidney, Post-tensioning institute of Australia limited, 2007.

KHAN, Sami y WILLIAMS, Martin. Post-tensioned Concrete Floors. London, Butterworth-Heinemann Ltd, 1995.

ORTS, Francisco. Aplicación del hormigón postensado en edificación. Tesis de maestría. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia, 2009-2010.

OTERO PINEDO, Adrián. Edificaciones en concreto postensado: “competitividad en costos”. Noticreto. Octubre, 2009. no. 98, p. 26-34.

PAVIC, Aleksandar; REYNOLDS, Paul; WALDRON, Peter y BENNETT, Kevin. Dynamic modelling of post-tensioned concrete floors using finite element analysis. En Finite elements in analysis and design. Abril, 2001. vol. 37, p. 305-323.

PAWAN, Gupta y BARTH, Florian. Post-tensioning manual. Phenix, AZ., Post-Tensioning Institute, 2006.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE NORMAS SISMO RESISTENTES. NSR-10. Bogotá, 2010.

STEVENSON, A. M. Post-tensioned concrete floors in multi-story buildings. En British Cement Association Publication. Febrero, 1994. vol 97, p. 7-27.