

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LOSAS
POSTENSADAS CON RAMPA EN SÓTANOS, SISTEMA
ADHERIDO**

CASO: EDIFICIO DE OFICINAS CAMINOS DEL INCA 390

Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil, que presenta el
bachiller:

José Luis Tipacti Huamaní

ASESOR: Ing. Iván Enrique Bragagnini Rodríguez

Lima, Noviembre del 2018

DEDICATORIA

A Dios.

Por regalarme el tiempo necesario para lograr éste objetivo.

A mi Madre.

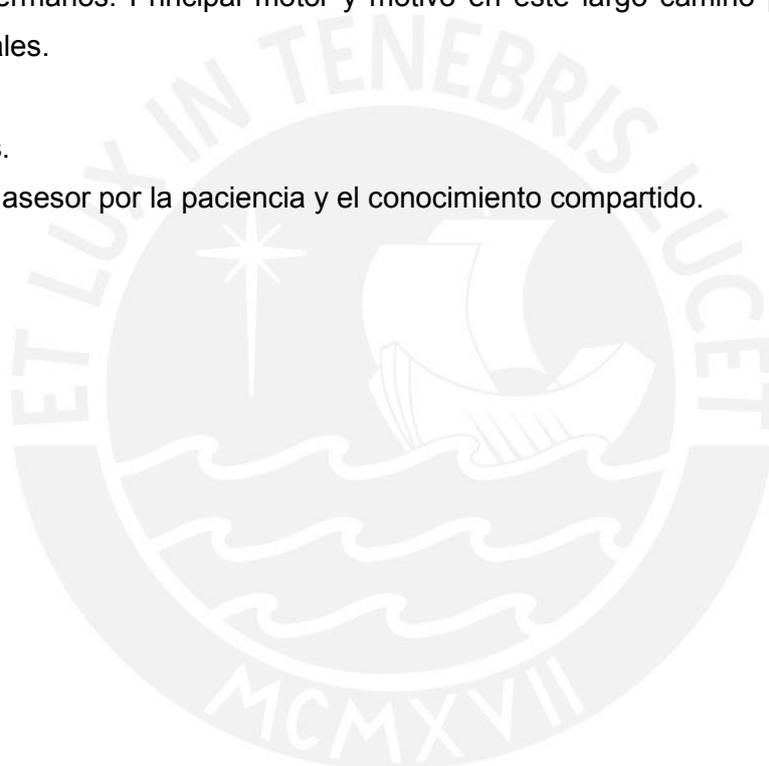
Martina Sabina por todo el apoyo brindado y sus sabios consejos para encaminar el rumbo de mi vida.

A mi Familia.

Esposa, hijos, hermanos. Principal motor y motivo en éste largo camino para alcanzar mis metas profesionales.

A mis Profesores.

En especial a mi asesor por la paciencia y el conocimiento compartido.



RESUMEN

El desarrollo tecnológico alcanzado en la industria de la construcción ofrece una gran variedad de recursos para la mejora de los procesos constructivos; al respecto, se tratará el sistema de losas postensadas debido a que es una solución que ofrece grandes ventajas en tiempo y productividad en comparación con elementos horizontales tradicionales, esto para proyectos que requieren desarrollar luces amplias y que además presentan restricciones de altura.

La presente tesis centra su atención en el desarrollo del procedimiento constructivo de losas postensadas en su variante de sistema adherido, tanto para losas planas como aquellas que presentan pendiente para rampa; visto que son elementos empleados cada vez con mayor frecuencia en nuestro medio para la construcción de edificios para oficinas y estacionamientos.

En el primer capítulo se presenta una breve introducción al estado actual de desarrollo del sistema de losas postensadas, para luego tratar en el segundo capítulo los dos tipos de losas postensadas ofrecidas en el mercado. En el tercer capítulo se desarrolla una presentación del proyecto Caminos del Inca 390, donde se realizó la construcción de losas postensadas objeto de éste estudio; así como, la organización del staff designado para la dirección de la construcción. A continuación, en el capítulo cuatro se realiza una evaluación técnica y económica sobre el empleo de losas postensadas en contraste con losas tradicionales que muestra las ventajas de éste sistema frente a otros sistemas equivalentes de techado.

En el capítulo cinco se desarrolla de manera detallada el procedimiento constructivo de losas postensadas no adheridas durante sus diferentes etapas de construcción, con ésta información proponemos en el capítulo seis el control de calidad correspondiente para obtener un producto adecuado. En el capítulo siete se lista algunos problemas identificados durante el proceso de construcción de losas postensadas con interpretación de su origen y con propuestas de solución en cada caso. En ésta línea se presenta en el capítulo ocho los procedimientos de reparación y refuerzo de acuerdo a como se planteó su ejecución en el edificio Caminos del Inca 390, con la finalidad que sirva de marco de referencia para requerimientos similares en proyectos futuros.

Para finalizar se presentan en el capítulo nueve las conclusiones obtenidas del análisis realizado y las recomendaciones más relevantes del estudio.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Metodología.....	4
CAPÍTULO 2: DEFINICIÓN Y TIPOS DE SISTEMA PREESFORZADO.....	6
2.1 Definición del sistema preesforzado.....	6
2.2 Tipos de preesfuerzo: Pretensado y Postensado.....	7
2.2.1 Postensado.....	7
2.2.2 Pretensado.....	7
2.3 Tipos de Postensado.....	8
2.3.1 Losa Postensada No Adherida.....	8
2.3.1.1 Materiales que componen el sistema LPT – NA.....	8
2.3.1.2 Equipos que componen el sistema LPT – NA.....	10
2.3.2 Losas postensadas adheridas.....	11
2.3.2.1 Materiales que componen el sistema LPT – A.....	11
2.3.2.2 Equipos que componen el sistema LPT – A.....	13
CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS Y ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO.....	15
3.1 Memoria descriptiva del proyecto.....	15
3.1.1 Características arquitectónicas.....	15
3.1.2 Características estructurales.....	18
3.1.3 Especificaciones técnicas.....	20
3.2 Organigrama del Staff del proyecto.....	20
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN DEL USO DEL SISTEMA.....	22
4.1 Análisis FODA del sistema de losas postensadas no adheridas.....	22
4.2 Análisis económico del sistema LPT-NA vs. otros sistemas constructivos de losas.....	23
4.2.1 Análisis de precios unitarios.....	23
4.2.2 Costo de partidas.....	25
4.3 Definición de uso de losa postensada en el proyecto.....	26
CAPÍTULO 5: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LOSAS POSTENSADAS ADHERIDAS.....	27
5.1 Proyecto de construcción de losas postensadas para el proyecto Caminos del Inca 390.....	27
5.2 Control de materiales y equipos.....	28
5.3 Encofrado.....	30
5.3.1 Sectorización del proyecto.....	31

5.3.1.1 Encofrado de losa sector A.....	33
5.3.1.2 Encofrado de losa sector B.....	35
5.4 Colocación de acero.....	40
5.5 Colocación de cables postensados.....	41
5.5.1 Recomendaciones generales.....	41
5.5.2 Procedimiento de instalación.....	41
5.6 Inspección de la losa antes del vaciado.....	44
5.7 Colocación de concreto.....	45
5.8 Preparación para el tensado.....	47
5.9 Tensado de cables.....	48
5.10 Inyección de lechada de cemento.....	50
5.10.1 Generalidades.....	50
5.10.2 Procedimiento de inyección.....	52
CAPÍTULO 6: CONTROL DE CALIDAD EN LPT-NA.....	54
6.1 Desarrollo de Matriz de puntos de inspección (MPI).....	54
6.2 Protocolos de control.....	56
CAPÍTULO 7: PROBLEMAS POTENCIALES IDENTIFICADOS.....	57
7.1 Generalidades.....	57
7.2 Problemas identificados en el proceso constructivo.....	58
7.2.1 Fisuras.....	58
7.2.2 Definición de eje de corte para ubicar zona de anclaje.....	60
7.2.3 Deflexiones inmediatas.....	60
7.2.4 Colocación de cables de tensado.....	61
7.2.5 Cables de tensado de corta longitud.....	62
CAPÍTULO 8: PROCEDIMIENTOS DE REPARACIÓN Y REFUERZO	
DE LOSAS POSTENSADAS NO ADHERIDAS.....	64
8.1 Diferencia entre reparación y refuerzo.....	64
8.2 Procedimiento de reparación.....	64
8.3 Procedimiento de refuerzo.....	65
CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
9.1 Conclusiones.....	67
9.2 Recomendaciones.....	68
CAPÍTULO 10: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Balance de cargas.....	6
Figura 2. Esquema básico de instalación de sistema postensado.....	7
Figura 3. Figura estado de deformaciones para losas postensadas no adheridas.....	8
Figura 4. Composición de cable postensado no adherido, rollo de cable.....	9
Figura 5. Anclajes encapsulados.....	9
Figura 6. Tipos de sillas.....	10
Figura 7. Bomba de inyección.....	10
Figura 8. Gato hidráulico.....	10
Figura 9. Figura estado de deformaciones para losas postensadas adheridas.....	11
Figura 10. Cable postensado adherido luego de instalación e inyección.....	11
Figura 11. Corte y sección de ductos corrugados sistema no adherido.....	12
Figura 12. Cuñas, anclajes y acople de sistema.....	12
Figura 13. Equipo de tensado acoplado bomba y gato hidráulico.....	13
Figura 14. Equipo de inyección.....	13
Figura 15. Vista de fachada comercial.....	15
Figura 16. Planta de distribución de sótanos.	16
Figura 17. Planta de distribución de torre de oficinas.	17
Figura 18. Corte de distribución de ambientes.....	18
Figura 19. Organigrama del Staff del proyecto.....	21
Figura 20. Análisis FODA del empleo del sistema LPT-NA.....	22
Figura 21. Cuadro comparativo costo de losas.....	26
Figura 22. Plano de ubicación de ejes de tensado.....	28
Figura 23. Esquema de ubicación y giro de grúa.....	29
Figura 24. Proceso de telescopaje de grúa.....	30
Figura 25. Sectorización del proyecto.....	32
Figura 26. Esquema de soporte vertical de losas.....	33
Figura 27. Esquema de encofrado contacto con losas y friso.....	34
Figura 28. Encofrado horizontal techo Sótano 4, Sector A.....	34
Figura 29. Sistema de soporte vertical para encofrado, Sector B.....	36
Figura 30. Desarrollo de rampa con ayuda de programa CIVIL 3D.....	36
Figura 31. Sistema de soporte vertical para encofrado, Sector B.....	37
Figura 32. Elevación de pendiente interior de rampa en zona curva.....	38
Figura 33. Ubicación de cotas de acuerdo a seccionamiento de rampa.....	39
Figura 34. Ejecución de encofrado en zona de rampa.....	39
Figura 35. Colocación de malla de acero de refuerzo.....	40
Figura 36. Imágenes del proceso de colocación de perfiles laterales.....	42

Figura 37. Imágenes del proceso de colocación de sillas.	43
Figura 38. Imágenes del proceso de revisión de losa antes del vaciado.....	44
Figura 39. Imágenes del proceso de limpieza de losas.....	45
Figura 40. Imágenes del proceso de vaciado de concreto.....	46
Figura 41. Proceso de liberación de los puntos de anclaje.....	47
Figura 42. Marcado de cables postensado para verificar elongación.....	49
Figura 43. Procedimiento de inyección.....	53
Figura 44. Fisuras presentadas en losas de sótano del proyecto.....	59
Figura 45. Proceso de control de deflexiones en etapa previa al tensado.....	61
Figura 46. Instalaciones eléctricas y pases sanitarios en losas postensadas.....	62
Figura 47. Proceso de empalme de cables postensado usando cajuelas.....	63
Figura 48. Proceso de apertura de vano en losa postensada.....	66



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas del proyecto.....	20
Tabla 2. Cuadro de análisis de precios unitarios.....	23
Tabla 3. Tablas de análisis de costo de partidas involucradas.....	25
Tabla 4. Matriz de puntos de inspección obra Caminos del Inca 390.....	55
Tabla 5. Protocolo de control obra Caminos del Inca 390.....	56



CAPÍTULO 1

Generalidades.

1.1 Introducción.

El uso de concreto en tiempos modernos se remonta a mediados del siglo XVIII, cuando en 1760 John Smeaton empleó una mezcla de piedra caliza y arcilla que daba lugar a un material hidráulico resistente al agua. En 1824, Joseph Aspdin elaboró cemento con esa mezcla aglomerada, la misma que se parecía a las piedras que se encontraban en la isla de Portland en Inglaterra, lo que motivó a llamarlo Cemento Portland. Inicialmente la mezcla se calentaba en exceso y se endurecía, por lo que se tornaba inútil, hasta que en 1845 I. C. Johnson descubrió que al pulverizar dicho material presentaba las mejores características aglomerantes, éste material es conocido Clinker (Harmsen, 2017).

Durante las primeras décadas del siglo XIX con el concreto simple producto de la mezcla del Clinker, agua y agregados, se fabricaron elementos que permitieron solucionar problemas de infraestructura de la época. Éste material presentaba buenas características de durabilidad y resistencia a la compresión, superior a la mayoría de materiales empleados en construcción pero cuya capacidad de resistir tracciones era muy pobre. La limitación para emplear concreto simple en la construcción de elementos horizontales es una de sus mayores debilidades, debido a que es necesario contar con secciones de dimensiones muy grandes en cuyo caso el peso propio resultante lo hace poco viable (Harmsen, 2017).

Con el objetivo de reducir las secciones de concreto simple, se incluyó en el diseño varillas de acero en ciertas zonas para mejorar su capacidad de tomar esfuerzos a tracción. Éste proceso dio como resultado el concepto de concreto reforzado o concreto armado, el cual mejoró notablemente la capacidad de éstas secciones reforzadas de resistir tanto cargas propias como cargas externas, por consiguiente se redujo el tamaño y peso de las secciones de los elementos estructurales. No obstante, para que el acero desarrolle su potencial de

absorber esfuerzos de tracción es necesario que en la sección de concreto se produzca el estado de agrietamiento, en cuyo caso se presentan otras limitaciones tanto estéticas como de durabilidad. A pesar que las secciones en éste último caso se reducen en tamaño y peso resta aún un enorme potencial de capacidad para resistir esfuerzos no aprovechada, sobre todo en el concreto.

Posteriormente, como parte de iniciativas para mejorar el comportamiento de las secciones de concreto armado se propuso un procedimiento de esfuerzo en el acero previo a la colocación de concreto en la sección, proceso conocido como preesfuerzo. En éste proceso se somete al acero a esfuerzos de tensión, la que a su vez por adherencia y rugosidad transmite esfuerzos de compresión en el concreto antes de recibir cualquier carga externa, el resultado es una mejora importante en su resistencia en conjunto. Con ello es posible reducir en mayor medida las secciones de los elementos y por consiguiente optimizar la cantidad de materiales empleados; asimismo, permite controlar de mejor manera el estado de agrietamiento del concreto.

Los primeros intentos para preesforzar elementos se remontan a 1872, cuando el Ing. norteamericano P.H. Jackson (Billington, 2004), insertó varillas de acero en unidades de albañilería, debido a lo cual obtuvo una patente por postensado. Ésta iniciativa fue continuada por el Ing. Alemán C.W. que también obtuvo una patente en Alemania por el uso de losas pretensadas con cable metálico; en ambos casos los resultados de la aplicación de los conceptos no lograron los resultados deseados por el empleo de concreto de baja resistencia, debido a las grandes deformaciones por flujo plástico y contracción que presentaba el concreto; así como, la baja resistencia del acero (Aalami, 2014).

Se considera como padre del concreto preesforzado al francés Eugene Freyssinet debido en los años siguientes, específicamente en 1940 aplicó de manera práctica el concepto de precomprimir el acero en la sección de concreto armado, mediante el sistema Freyssinet que empleaba un anclaje cónico para 12 cables de alta resistencia y que en conjunto con la

invención de equipo pretensado, pudo obtener resultados importantes con el concepto desarrollado (Aalami, 2014).

Con respecto al desarrollo actual de la industria del postensado, haremos referencia a un país donde ha logrado un gran desarrollo como Estados Unidos, donde los primeros edificios construidos con este sistema remontan a mediados del 1950; desde esa época hasta la actualidad se calcula que se han construido en dicho país más de 50,000 edificios empleando el sistema postensado; el mismo que resulta en una cantidad que supera los 460 millones de m² de losa con éste sistema, cantidad que a primera instancia puede sonar muy grande; sin embargo, representa sólo una décima de la industria en dicho país (Bondy, 2014).

El sistema postensado a pesar de haber sido introducido en el Perú hace algunas décadas no ha logrado el nivel de desarrollo ni el grado de penetración que ha alcanzado en otras latitudes; como por ejemplo, salvando las distancias, en el mercado norteamericano. Los motivos que podemos identificar son diversos entre los que podemos mencionar la muy escasa oferta educativa de cursos de diseño especializados en la materia; así como, la poca difusión del sistema en nuestra industria por parte de entidades tanto privadas como estatales. Éstos motivos sumados a la poca capacitación del personal técnico y obrero que interviene en los proyectos han resultado en que éste sistema de construcción no haya logrado desarrollar su potencial en nuestro país.

Es motivo de éste estudio ayudar a difundir las ventajas del sistema postensado para que pueda ser utilizada cada vez con mayor frecuencia debido a las grandes ventajas que ofrece con respecto a otros sistemas constructivos que se detallarán en los subsiguientes capítulos.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general:

El objetivo de la presente tesis es mostrar un panorama general sobre los conceptos y procedimientos para la construcción de losas postensadas con el sistema de tendones adheridos en sótanos, con el fin de identificar y resolver algunos obstáculos potenciales de éste sistema; de esta manera, se busca obtener resultados óptimos durante su construcción desde los puntos de vista de costo, plazo, calidad y sostenibilidad ambiental. Como referencia práctica se presentan los procedimientos para la construcción de losas postensadas en el Edificio Caminos del Inca 390.

1.2.2 Objetivos específicos:

A continuación se mencionarán los objetivos específicos más resaltantes de la presente tesis:

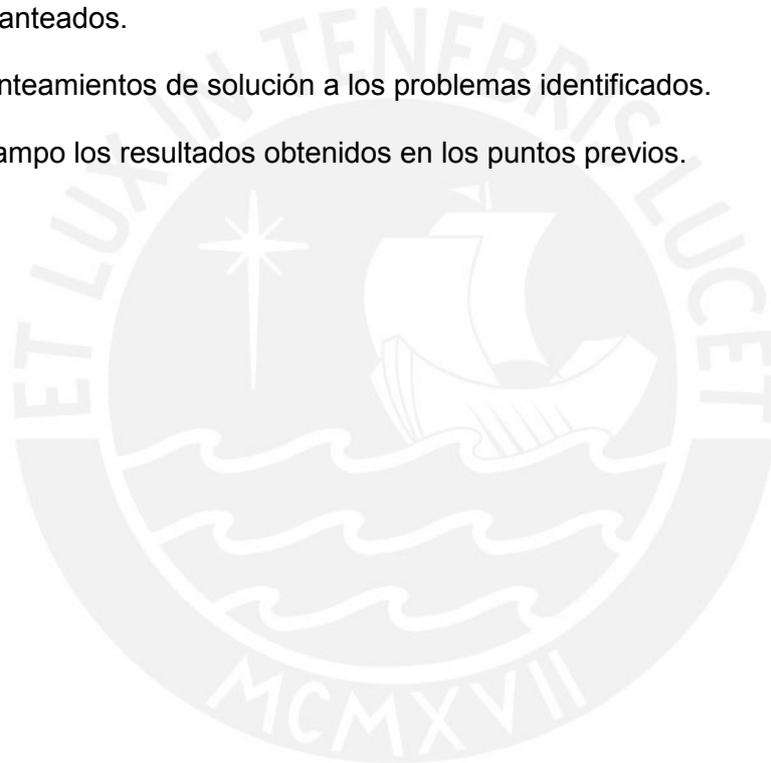
- Conocer los sistemas de construcción en losas postensadas, tanto el sistema adherido como el no adherido; así como, sus ventajas y desventajas.
- Comparar desde un punto de vista económico el sistema de losas postensadas no adheridas contrastándolo con sistemas constructivos tradicionales para losas.
- Controlar los principales aspectos de calidad que afectan la construcción de losas postensadas no adheridas a fin de obtener un producto de adecuada calidad.
- Proponer procedimientos de refuerzo y/o reparación en caso de presentarse alguna contingencia durante el proceso de construcción de losas postensadas.

1.3 Metodología.

La metodología propuesta para elaborar éste trabajo fue la siguiente:

- Recopilar información respecto al sistema de construcción de losas postensadas.
- Revisar la información técnica del proyecto Caminos del Inca 390.
- Desarrollar los procedimientos constructivos que componen el proceso de losas postensadas en el sistema adherido, para el proyecto en evaluación.

- Contrastar y evaluar con normas nacionales vigentes; normas técnicas internaciones como el American Concrete Institute (ACI) 318; asimismo el empleo de guías de buenas prácticas de proveedores especializados de nuestro medio.
- Elaborar matriz de puntos de inspección del procedimiento de construcción, en el que se identificarán a primera instancia los puntos de control más relevantes.
- Desarrollar e implementar protocolos para garantizar el adecuado control de los procesos involucrados en la construcción de losas postensadas.
- Identificar problemas presentados en el proceso constructivo de acuerdo a los puntos de inspección planteados.
- Proponer planteamientos de solución a los problemas identificados.
- Evaluar en campo los resultados obtenidos en los puntos previos.



CAPÍTULO 2

Definición y tipos del sistema preesforzado.

2.1. Definición del sistema preesforzado.

Eugene Freyssinet, gestor principal del concepto de preesfuerzo, definió el preesforzado de la siguiente manera: “Presforzar una estructura es crear artificialmente en ella, antes de la aplicación de las cargas externas o simultáneamente con ellas, unas tensiones permanentes que superpuestas a las debidas a las cargas exteriores hagan que las tensiones totales, en todos los puntos de la estructura y para todas las hipótesis de carga, permanezcan dentro de las tensiones admisibles que puede soportar indefinidamente el material de la estructura”. (Hill, 1978)

Estos conceptos a pesar que datan de hace varias décadas aún se mantienen vigentes y son la base del diseño de los sistemas pretensado y postensado empleados actualmente, en la que podemos inferir concepciones similares y que se diferencian básicamente por el momento en que se aplica la fuerza de preesfuerzo en el cable de acero con referencia a la colocación del concreto en una estructura predeterminada.

La figura 1 muestra el principal instrumento de diseño propuesto por T.Y. Lin (Lin, 1963) a través del concepto de “balance de cargas”, en esta forma básica las cargas balanceadas permitían a los ingenieros ver los efectos del postensado como una reducción en el diseño de la carga muerta resultante a la losa, que es una condición de diseño que los ingenieros diseñadores pudieron entender y emplear para sus diseños.

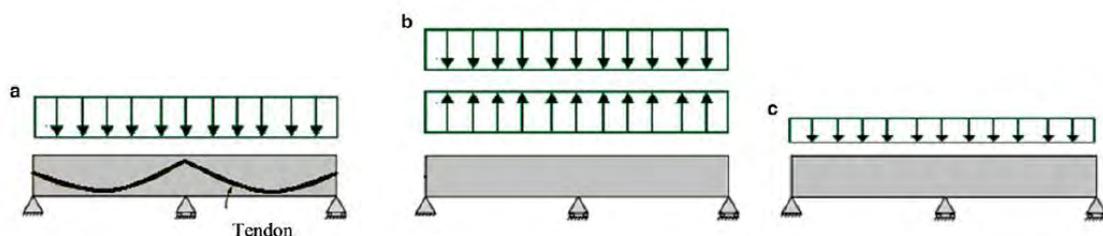


Figura 1. Balance de cargas. (a) con tendón, (b) sin tendón, (c) equivalencia. (Fuente Gales, 2014).

2.2. Tipos de preesfuerzo: Pretensado y Postensado.

Como hemos mencionado previamente, el instante de la aplicación de la fuerza de preesfuerzo determina su clasificación; estas fuerzas generan en ellas un estado de esfuerzos diferentes en cada caso.

Se puede indicar como dato curioso que la aplicación de los sistemas postensados fueron empleados con anterioridad al desarrollo de la tecnología del pretensado (Aalami, 2014). Detallamos éstos conceptos a continuación:

2.2.1. Postensado. En éste caso la fuerza de preesfuerzo en el acero se aplica *después* del vaciado de concreto, el esfuerzo aplicado se transmite al concreto mediante anclajes y cuñas en los extremos. El diferencial de deformaciones entre el cable y el concreto depende del tipo de postensado empleado, se distinguen actualmente dos variantes: losa postensada no adherida y losa postensada adherida (LPT-A).

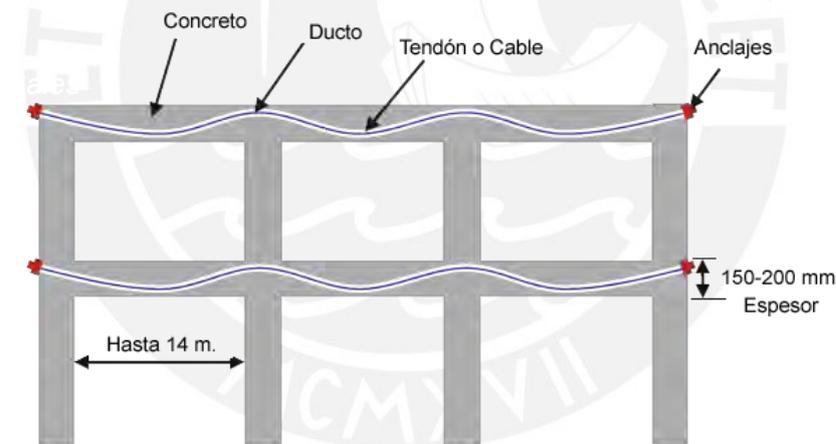


Figura 2. Esquema básico de instalación de sistema postensado (Fuente Gales, 2014).

2.2.2. Pretensado. En éste caso la fuerza de preesfuerzo en el acero se aplica *antes* del vaciado de concreto, el esfuerzo aplicado se transmite directamente por adherencia de los cables de acero al concreto. El diferencial de deformaciones entre el cable y el concreto se mantienen constantes.

2.3. Tipos de Postensado.

2.3.1. Losa Postensada No Adherida.

Las losa postensada no adherida (LPT–NA) es una variante de postensado de losa, que se caracteriza debido a que en su proceso constructivo y vida útil el cable que transmite el preesfuerzo siempre se mantiene independiente al concreto de la losa debido al recubrimiento por una capa de grasa intermedia y cobertura de polietileno externo. Con respecto a su deformación, ésta no aumenta más allá de la precompresión en sus secciones transversales.

En la figura 3 se presenta diagrama de la deformación obtenida.



Figura 3. Figura estado de deformaciones para losas postensadas no adheridas (Fuente VSL, 2016).

2.3.1.1. Materiales que componen el sistema LPT - NA

a) Los Torones.

Se componen de 7 cables de alta resistencia conformados en frío, uno de ellos es cable principal es el que define el eje del torón y los otros 6 envuelven de manera helicoidal éste cable de eje generando un elemento compuesto, se asume una respuesta mecánica única. Los elementos que componen el torón para sistemas LPT-NA las que se muestran en la figura 4 y son los siguientes:

- i. Forro de polietileno. De 1mm de espesor es la primera capa de cobertura exterior del elemento compuesto que entra en contacto.
- ii. Grasa. Es la segunda capa de cobertura de que inhibe y controla la corrosión de los cables y que además permite el movimiento relativo entre los cables del torón y el forro de polietileno.

- iii. Cables de alta resistencia. La resistencia de los cables son los que definen el comportamiento mecánico del torón.

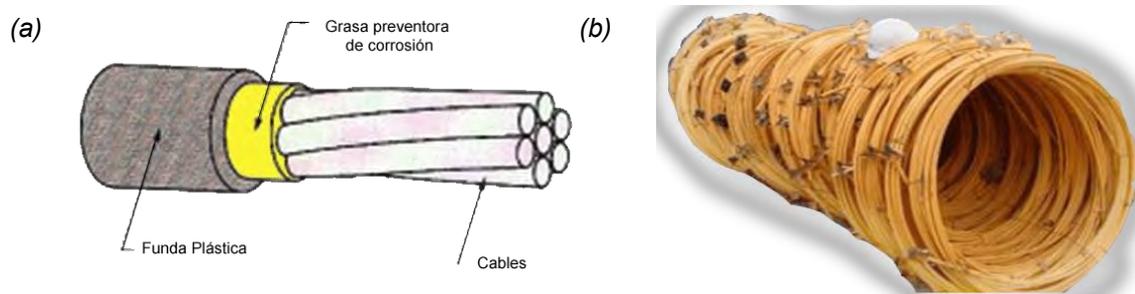


Figura.4. (a) Composición de cable postensado no adherido, (b) Rollo de cable (Fuente VSL, 2016).

b) Anclajes y cuñas.

Los anclajes y cuñas dependen del sistema y de la patente empleada en, para el sistema de losa postensada no adherida se emplean anclajes encapsulados, como las mostradas en la figura 5.



Figura 5. Anclajes encapsulados (Fuente VSL, 2016).

c) Sillas de soporte.

Las sillas de soporte son elementos de acero liso y se utilizan para asegurar la altura de colocación del cable, éstas se apoyan sobre la base de encofrado. Para evitar el proceso de corrosión del acero se adhiere a la base un forro de polietileno, ya que estará en contacto directo con la superficie inferior de la losa, como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Tipos de sillas (Fuente VSL, 2016).

2.3.1.2. Equipos que componen el sistema LPT – NA.

a) Bombas de inyección.

Cumple la función de bombear el aceite hidráulico hacia el gato para generar la fuerza de tensado correspondiente, se muestra el equipo en la figura 7.



Figura 7. Bomba de inyección (Fuente propia).

b) Gato hidráulico.

Equipo complementario que trabaja en conjunto con la bomba de inyección y es el encargado de transmitir la presión hidráulica hacia los torones, como se muestra en la figura 8



Figura 8. Gato hidráulico (Fuente propia).

2.3.2. Losas postensadas adheridas.

La losa postensada adherida (LPT – A) es una variante de postensado de losa, que se caracteriza porque en su proceso constructivo el cable que genera el preesfuerzo es colocado en ductos que pueden ser metálicos o PVC; posteriormente del proceso de tensado es adherido al concreto que lo rodea mediante un mortero de inyección que está compuesto por grouting con suspensión de cemento. Con respecto a su deformación, ésta no aumenta más allá de la precompresión en sus secciones transversales.

En la figura 9 se presenta diagrama de la deformación obtenida.

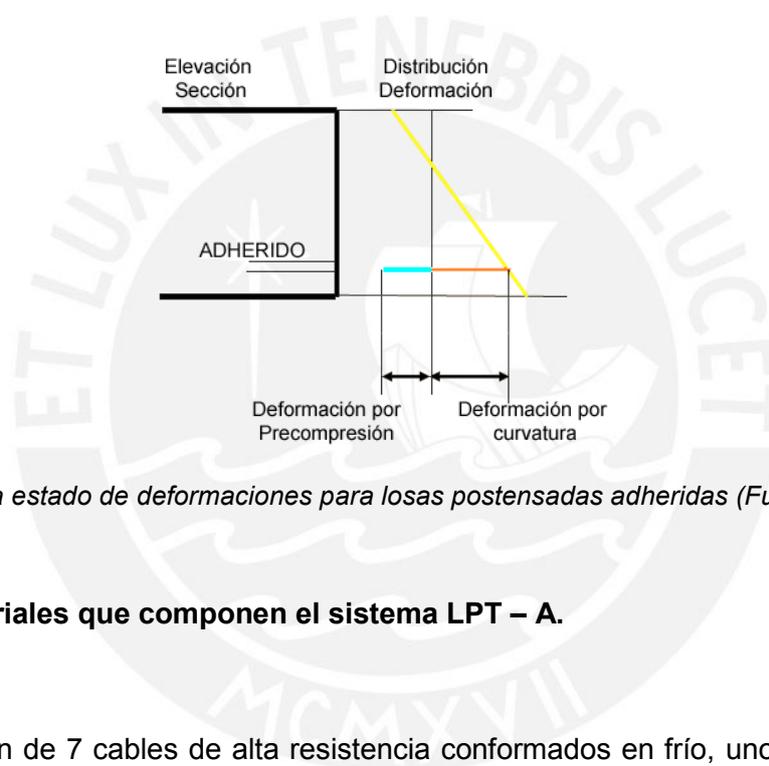


Figura 9. Figura estado de deformaciones para losas postensadas adheridas (Fuente VSL, 2016).

2.3.2.1. Materiales que componen el sistema LPT – A.

a) Los Torones.

Se componen de 7 cables de alta resistencia conformados en frío, uno de ellos es cable principal es el que define el eje del torón y los otros 6 envuelven de manera helicoidal éste cable de eje generando un elemento compuesto, se asume una respuesta mecánica única.



Figura 10. – Cable postensado adherido luego de instalación e inyección (Fuente VSL, 2016).

c) Ductos corrugados.

Son tuberías corrugadas que forman el conducto por donde se colocará los cables, presentan una superficie anillos cada 1" que tienen la función de generar fricción de tipo mecánico con el concreto que lo rodea.

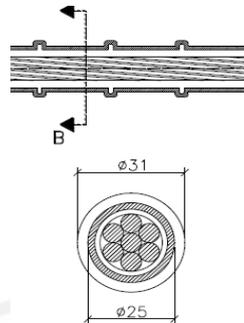


Figura 11. Corte y sección de ductos corrugados sistema no adherido (Fuente VSL, 2016).

d) Anclajes estándar y tipo H, y cuñas

Para el sistema adherido se emplean anclajes fijos (estándar) y móviles (tipo H), ambos elementos se encuentran embebidos en concreto por lo que no son necesarios elementos encapsulados como el sistema no adherido.



Figura 12. Cuñas, anclajes y acople de sistema (Fuente VSL, 2016).

e) Sillas de soporte.

Las sillas de soporte son elementos de acero liso o corrugado y se utilizan para asegurar la altura de colocación del cable, éstas se apoyan sobre la base de encofrado. Para evitar el proceso de corrosión del acero se adhiere a la base un forro de polietileno, ya que estará en contacto directo con la superficie inferior de la losa.

2.3.2.2. Equipos que componen el sistema LPT-A.

a) Bombas de inyección.

Cumple la función de bombear el aceite hidráulico hacia el gato para generar la fuerza de tensado correspondiente.

b) Gato hidráulico.

Equipo complementario que trabaja en conjunto con la bomba de inyección y se encarga de transmitir la presión hidráulica hacia los torones, ver figura 2.13.



Figura 13. Equipo de tensado acoplado bomba y gato hidráulico (Fuente propia).

c) Equipo de inyección.

Sistema compuesto por una mezcladora-batidora y una bomba de inyección, se utiliza para el proceso final de inyección de lechada de cemento.



Figura 14. Equipo de inyección (Fuente propia).

Este sistema se ha empezado a utilizar en los últimos años en proyectos peruanos (Brito, 2018). Con la sectorización adecuada, el plazo de ejecución se reduce en comparación del pórtico de concreto armado debido a la posibilidad de tensar los cables 3 ó 4 días después del vaciado empleando el concreto adecuado, quedando la estructura autoportante, con la posibilidad de continuar el proceso constructivo en las plantas superiores (Brito, 2018; Lainez-Lozada, 2002). Otra ventaja, en caso de usarse en cimientos, es que el producto de la excavación es mínimo, y se tiene una mayor capacidad de carga, y una durabilidad mucho mayor que la losa sólida convencional (Ingeniería Real, 2018).



CAPÍTULO 3

Características del proyecto.

3.1. Memoria descriptiva del proyecto.

3.1.1. Características arquitectónicas.



El Edificio Caminos del Inca 390 es un edificio de oficinas ubicado en la Av. Caminos del Inca cruce con la calle Brea y Pariñas, pertenece al distrito de Santiago de Surco, provincia y departamento de Lima.

La construcción del edificio se desarrolla en un terreno de 624.80m², con un área construida de 10,367.00m², su altura total es de 39.00 m. divididos en 13 pisos, 7 sótanos y una azotea.

El proyecto busca atender la necesidad de espacios para desarrollar actividades tanto empresariales como profesionales en la zona sur de nuestra capital.

Figura 15. Vista de fachada comercial (Fuente propia).

Distribución.

Sótano 8: En éste nivel se ubica el cuarto de máquinas que es el ambiente donde se ubican las bombas del edificio, cuyo objetivo es atender las demandas de agua, desagüe y suministro de agua contraincendio. En este mismo nivel se ubican las cisternas que almacenan el agua cuyas capacidades oscilan son las siguientes: agua consumo doméstico - 15m³ y agua contraincendio - 45 m³.

Sótano 7 al Sótano 1: A los sótanos del edificio se accede directamente de la calle a través de una rampa vehicular ubicada en la calle Brea y Pariñas. El sótano 1 tiene una capacidad para 17 autos, en 8 estacionamientos dobles, y 1 estacionamiento simple. Del sótano 2 al Sótano 7 se tiene una capacidad para 18 autos, en 9 estacionamientos dobles por cada nivel. La cantidad de sótanos viene definido por requerimientos normativos debido a la cantidad de oficinas desarrolladas en los pisos superiores, de allí la necesidad de profundizar la construcción.

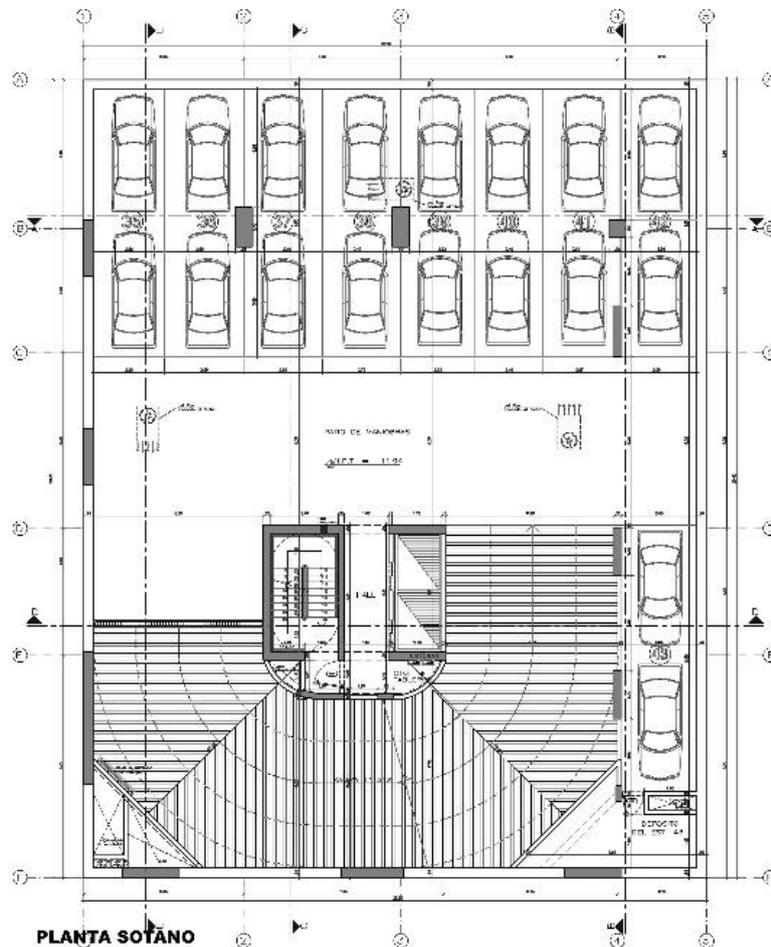


Figura 16. Planta de distribución de sótanos (Fuente propia).

Piso Superiores del 1° al 13°: En el primer nivel se encuentra la recepción y el hall de recepción del edificio. Desde el hall se accede a 3 ascensores y se accede hacia las dos escaleras de evacuación que se conectan a través de un corredor que da acceso a los ductos de servicios del edificio.

Los pisos desde el 2° al 13° son típicos y en ellas se desarrollan 48 oficinas con la siguiente distribución en el piso típico: 4 oficinas que cuentan con baños diferenciados para hombres y mujeres. Cuyas áreas techadas son: Oficina 1: 101.00 m², Oficina 2: 115.00 m², Oficina 3: 77.00 m² y Oficina 4: 98.00 m²

Finalmente la azotea se ubica nivel +39.00m en donde se ubica un área de mesas comedor con mesas, kitchenette, terraza, jardín, un deposito, servicios sanitarios para trabajadores, servicios sanitarios para discapacitados, y un patio de servicio para los equipos de aire acondicionado, con un área ocupada de 444.30 m².

El acceso es a través de 3 ascensores, y 2 escaleras presurizadas. El esquema se muestra en la fig. 17.

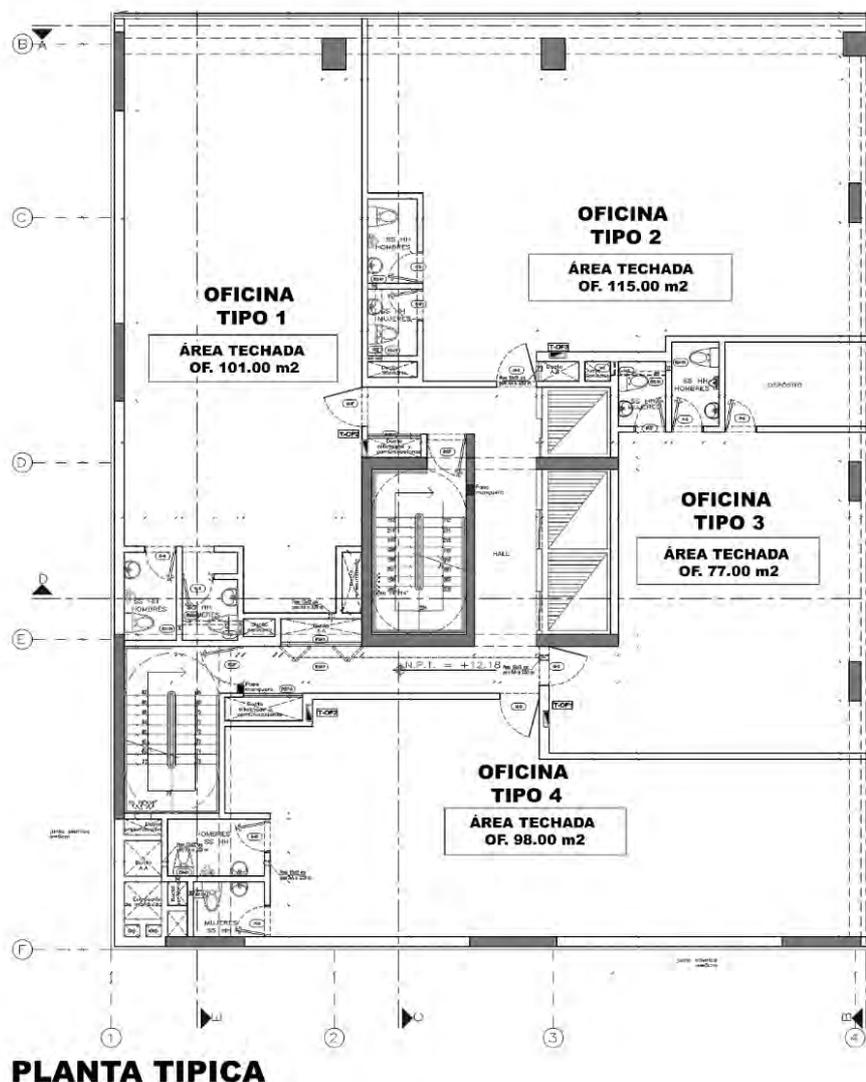


Figura 17. Planta de distribución de torre de oficinas (Fuente propia).

Composición de niveles.

La figura 18 muestra a través de un plano de corte la distribución de ambientes del Edificio Caminos del Inca 390.

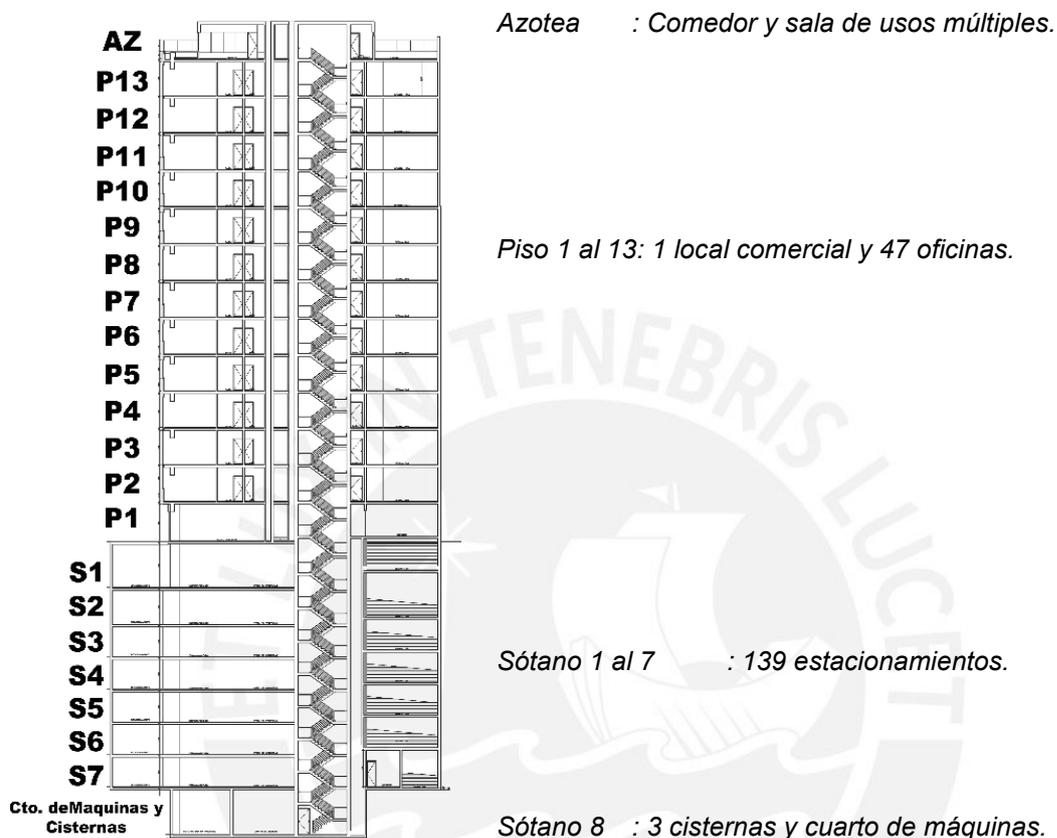


Figura 18. Corte de distribución de ambientes (Fuente propia).

3.1.2. Características estructurales.

Estructura portante de cargas verticales y sísmicas.

La estructura portante consiste en muros de corte y columnas de concreto armado de 20, 25, 30 y 60 cms. de espesor en la dirección X-X y en la dirección Y-Y.

TECHOS. En los sótanos y pisos típicos los techos son losas macizas postensadas en sistema adherido en dos direcciones de 18cm de espesor, la toma de decisión del uso de éste sistema constructivo se detallará en el capítulo posterior. Por otro lado, se estudiarán sólo las losas ubicadas en los sótanos en las que se incluyen rampas de acceso con el mismo espesor de 18cms.

Cargas de gravedad.

Para las cargas de gravedad se empleó la norma técnica de edificaciones E-020, de acuerdo a ésta norma se toman en cuenta las cargas muertas y las cargas vivas. Las cargas muertas incluyen el peso de todos los materiales que conforman la losa y los materiales que se incluyen en el proceso de postensado. Las cargas vivas se refieren al peso de los tabiques móviles, debido a que la naturaleza de un edificio de oficinas la distribución interna final es propensa a sufrir modificaciones.

Cargas sísmicas.

Para evaluar los efectos de las cargas sísmicas sobre la edificación se ha considerado los siguientes parámetros. Según la norma E-030 podemos indicar lo siguiente:

Factor de zona: La Zona 1 por lo que el factor a considerar es $Z = 0.45$.

Factor de suelo: el suelo se clasifica como tipo S1 y le corresponde un factor de suelo de $S = 1.0$ y un período predominante de vibración de $T_p = 0.4$ seg y $T_I = 2.5$ seg.

Factor de uso: Por tratarse de un edificio de oficinas, la edificación en cuestión clasifica como de categoría C (edificaciones comunes) y le corresponde un factor de uso $U = 1.0$.

Factor de reducción sísmica: Al ser una edificación irregular con un sistema de muros de concreto armado en ambas direcciones se consideró un factor R de 4.5 para ambas direcciones de análisis.

Peso: Al clasificarse las edificaciones como de categoría C al peso considerado para el análisis es el debido a carga muerta más 25% del peso debido a carga viva.

3.1.3. Especificaciones técnicas del proyecto.

Las resistencias de diseño consideradas para el proyecto se detallan en la tabla 3.1 mostrada a continuación:

Tabla 1. Especificaciones técnicas del proyecto (Fuente propia).

ESPECIFICACIONES TECNICAS		
PROYECTO: CAMINOS DEL INCA 390		
ITEM	DESCRIPCION	RESISTENCIA
1.00	CONCRETO: Resistencia a la compresión del concreto - 28 días (f 'c)	
1.01	Columnas y placas (Sótanos hasta el 6° piso)	f 'c = 280 Kg / cm ²
1.02	Columnas y placas (7° piso hasta el 14° piso)	f 'c = 280 Kg / cm ²
1.03	Muros de sótanos	f 'c = 280 Kg / cm ²
1.04	Vigas	f 'c = 280 Kg / cm ²
1.05	Losas postensadas en Sótano	f 'c = 280 Kg / cm ²
1.06	Losas postensadas en Torre	f 'c = 350 Kg / cm ²
2.01	ACERO: Resistencia a la fluencia (F 'y)	
2.02	Acero corrugado convencional	F 'y = 4,200 Kg / cm ²
2.03	Acero para cable postensado	F 'y = 17,000 Kg / cm ²

3.2. Organigrama del Staff del proyecto.

La organización del equipo para la construcción del proyecto se implementó de acuerdo a los lineamientos de la gerencia de la empresa constructora, con el fin de lograr una adecuada gestión y control de obra. Debemos indicar que las áreas que componen ésta organización pueden ser objeto de modificaciones en función de los objetivos específicos de cada organización; es factible añadir o suprimir algunas áreas tomando en cuenta la inversión destinada para los gastos generales del proyecto. La reducción de alguna dependencia puede derivar en una gestión de obra deficiente o un grado de calidad no adecuado; en contraparte, añadir mayores dependencias o dotarlas de mayores recursos humanos y tecnológicos, debe redundar en mejores resultados operativos. Es responsabilidad de la alta gerencia evaluar minuciosamente la línea de balance entre la inversión realizada y su impacto en el costo directo, a fin de obtener una adecuada rentabilidad al final de la ejecución del proyecto.

La figura 19 muestra el organigrama implementado para la construcción del Edificio de Oficinas Caminos del Inca 390.

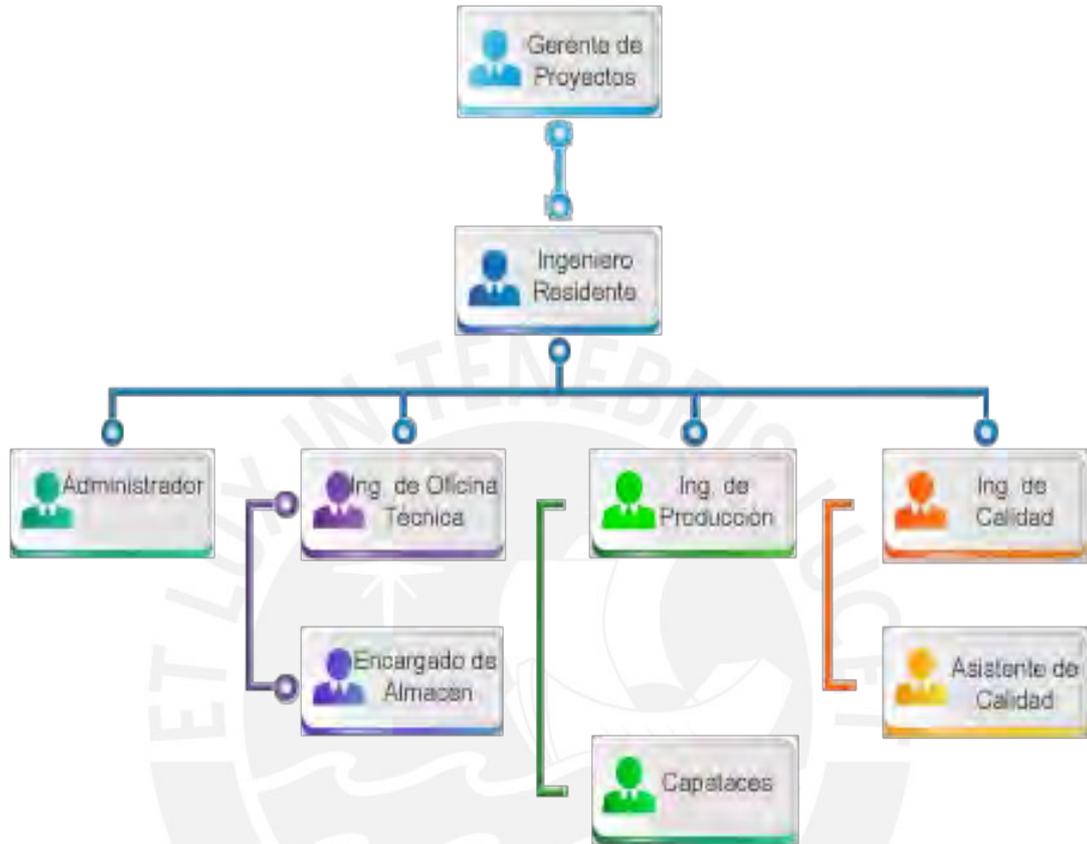


Figura 19. Organigrama del Staff del proyecto (Fuente propia).

CAPÍTULO 4

Evaluación de uso del sistema.

4.1. Análisis FODA del sistema de losas postensadas no adheridas.

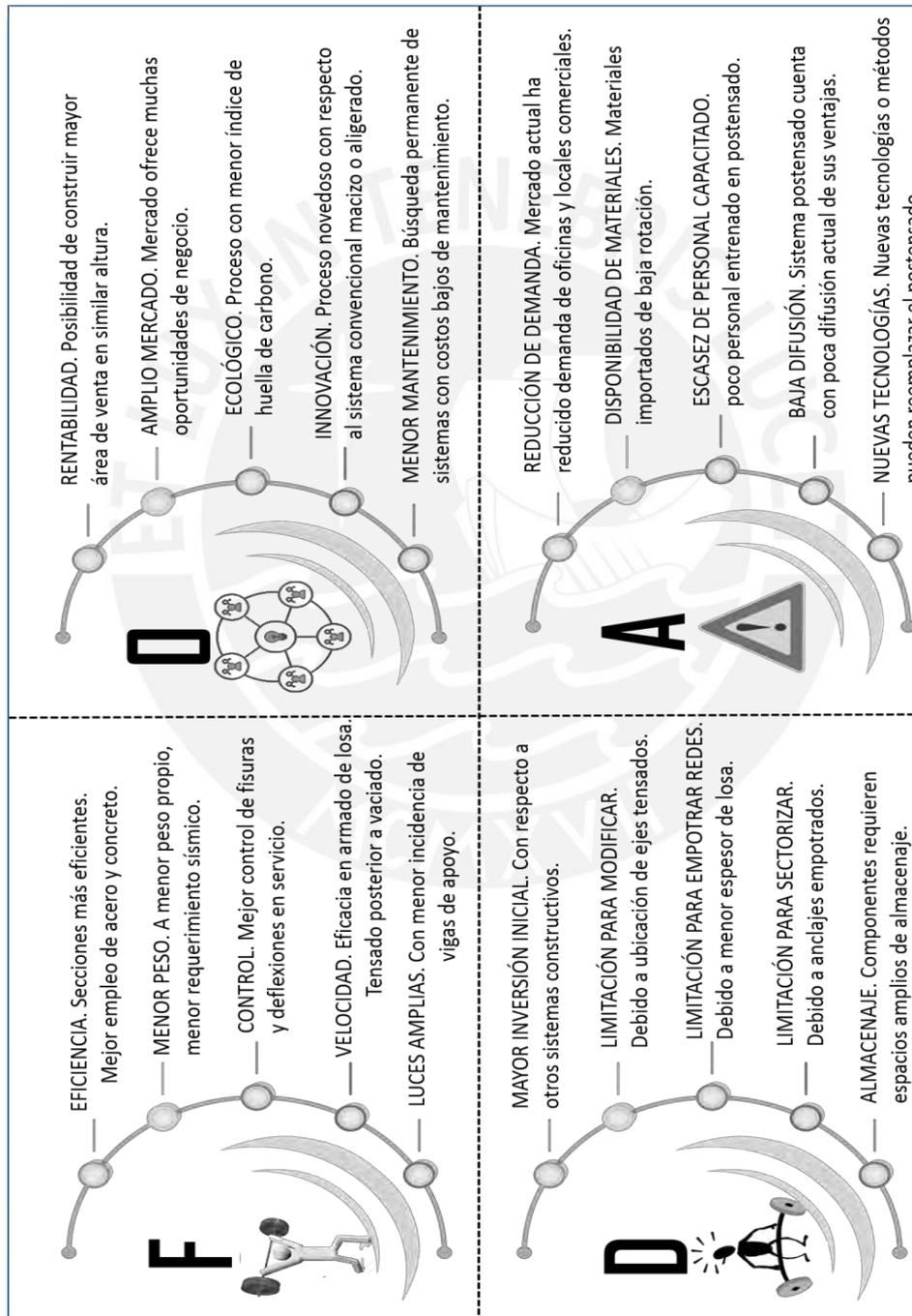


Figura 20. Análisis FODA del empleo del sistema LPT-NA (Fuente propia).

4.2. Análisis económico del sistema LPT-NA vs. otros sistemas constructivos de losas.

En éste acápite presentaremos un breve análisis del empleo del sistema de losas postensadas no adheridas desde el punto de vista económico frente a sistemas de techado de mayor difusión en nuestro mercado.

Dentro de las consideraciones para elegir sistemas de techado equivalentes con la cual comparar, hemos tomado como referencia sistemas de coberturas que puedan cubrir luces de aproximadamente 8 m. que son luces promedios requeridas en el proyecto Edificio Caminos del Inca 390.

Iniciaremos con la presentación de los Análisis de Precio Unitario (APU) de las diversas partidas que componen los sistemas constructivos que queremos comparar, tomando en cuenta las características propias de cada partida.

4.2.1. Análisis de precios unitarios.

Para obtener el costo de las partidas que deseamos comparar, iniciaremos con la elaboración de los análisis de precio unitario de las diversas partidas que componen la estructura de costos de los elementos que deseamos comparar.

Las consideraciones para los análisis de costos son los siguientes: para la mano de obra los precios de hora hombre por cada especialidad son referidos a la tabla salarial publicado por la federación de trabajadores de construcción civil y válidos hasta Junio 2018; para los materiales como el acero, concreto premezclado, servicio de bombeo, entre otros, han sido cotizados y actualizados a Abril del 2018; con respecto a las herramientas se ha asumido como 5% sobre el monto de mano.

Tabla 2. Cuadro de costos unitarios (Fuente propia).

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	PARCIAL
A	CONCRETO F'c = 280 kg/cm2						S/, 321.04
		UNIDAD	m3	REND.:	32.00	m3/día	
1.00	MANO DE OBRA						35.76
1.01	CAPATAZ	HH	0.70	0.19	26.30	4.89	
1.02	OPERARIO	HH	2.00	0.53	20.30	10.78	
1.03	OFICIAL	HH	1.00	0.27	16.40	4.36	
1.04	AYUDANTE	HH	4.00	1.06	14.80	15.73	
2.00	MATERIALES						283.50
2.01	CONCRETO PREMEZCLADO F'C=280 KG/CM2	M3	-	1.05	235.00	246.75	
2.02	SERVICIO DE BOMBEO	M3	-	1.05	35.00	36.75	
3.00	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						1.79
	HERRAMIENTAS MANUALES	% M.O.	-	5%	35.76	1.79	

B		CONCRETO F'c = 350 kg/cm2		UNIDAD	m3	REND.:	32.00	m3/dia	S/. 355.69
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL		PARCIAL	
1.00	MANO DE OBRA							35.76	
1.01	CAPATAZ	HH	0.70	0.19	26.30	4.89			
1.02	OPERARIO	HH	2.00	0.53	20.30	10.78			
1.03	OFICIAL	HH	1.00	0.27	16.40	4.36			
1.04	AYUDANTE	HH	4.00	1.06	14.80	15.73			
2.00	MATERIALES							318.15	
2.01	CONCRETO PREMEZCLADO F'C=350 KG/CM2	M3	-	1.05	268.00	281.40			
2.02	SERVICIO DE BOMBEO	M3	-	1.05	35.00	36.75			
3.00	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS							1.79	
	HERRAMIENTAS MANUALES	% M.O.	-	5%	35.76	1.79			

C		ENCOFRADO DE LOSA ALIGERADA CON MADERA H=0.30		UNIDAD	m3	REND.:	10.00	kg/dia	S/. 78.33
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL		PARCIAL	
1.00	MANO DE OBRA							34.31	
	CAPATAZ	HH	0.20	0.17	26.30	4.47			
	OPERARIO	HH	1.00	0.85	20.30	17.26			
	AYUDANTE	HH	1.00	0.85	14.80	12.58			
2.00	MATERIALES							42.30	
	ALAMBRE RECOCIDO N° 8	KG	-	0.50	2.97	1.49			
	CLAVOS CON CABEZA PARA MADERA	KG	-	0.10	2.97	0.30			
	MADERA PARA ENCOFRADO	P3	-	1.40	4.20	5.88			
	APUNTALAMIENTO METÁLICO	M2	-	1.05	3.85	4.04			
	LADRILLO H=0.25	UND	-	8.50	3.60	30.60			
3.00	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS							1.72	
	HERRAMIENTAS MANUALES	% M.O.	-	5%	34.31	1.72			

D		ENCOFRADO DE LOSA MACIZA CON MADERA		UNIDAD	m3	REND.:	15.00	kg/dia	S/. 35.72
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL		PARCIAL	
1.00	MANO DE OBRA							22.87	
	CAPATAZ	HH	0.20	0.11	26.30	2.98			
	OPERARIO	HH	1.00	0.57	20.30	11.50			
	AYUDANTE	HH	1.00	0.57	14.80	8.39			
2.00	MATERIALES							11.70	
	ALAMBRE RECOCIDO N° 8	KG	-	0.50	2.97	1.49			
	CLAVOS CON CABEZA PARA MADERA	KG	-	0.10	2.97	0.30			
	MADERA PARA ENCOFRADO	P3	-	1.40	4.20	5.88			
	APUNTALAMIENTO METÁLICO	M2	-	1.05	3.85	4.04			
3.00	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS							1.14	
	HERRAMIENTAS MANUALES	% M.O.	-	5%	22.87	1.14			

E		COLOCACION DE ACERO CONVENCIONAL		UNIDAD	m3	REND.:	300.00	kg/dia	S/. 3.96
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL		PARCIAL	
1.00	MANO DE OBRA							1.11	
	CAPATAZ	HH	0.10	0.00	26.30	0.07			
	OPERARIO	HH	1.00	0.03	20.30	0.58			
	OFICIAL	HH	1.00	0.03	16.40	0.46			
2.00	MATERIALES							2.79	
	ACERO CORRUGADO fy = 4200 kg/cm2 GRADO 60	KG	-	1.10	2.34	2.57			
	ALAMBRE RECOCIDO N° 16	KG	-	0.06	3.65	0.22			
3.00	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS							0.06	
	HERRAMIENTAS MANUALES	% MO	-	5%	1.11	0.06			

4.2.2. Costo de partidas.

Con los precios unitarios desarrollados en el acápite previo, procederemos a desarrollar los costos de cada partida con la finalidad de compararlas. En cada caso, las cantidades de materiales que forman parte del cálculo del costo total de la partida dependen de su geometría y diseño; por otro lado, los subcontratos han sido cotizados por empresas especialistas tanto para postensado como sistemas prefabricados como el caso de losas pretensadas.

El precio de cada sistema no se define solo por su costo específico sino también por la incidencia de los elementos necesarios para construirlos; por ejemplo, para construir losas aligeradas o losas macizas convencionales la incidencia de vigas peraltadas será mayor con relación al sistema postensado. No es alcance de éste estudio desarrollar la incidencia de vigas de manera cuantitativa, será suficiente alcance mencionarla de manera cualitativa, y plantear la posibilidad de desarrollar mayores estudios al respecto desarrollando diseños alternativos para poder realizar una evaluación completa del sistema de soporte horizontal.

Tabla 3. Tablas de análisis de costo de partidas involucradas (Fuente propia).

I LOSA ALIGERADA H = 0.30m						
ITEM	PARTIDA	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUBTOTAL	TOTAL
1.00	CONCRETO f'c = 280 kg/cm ²	m ³	0.17	321.04	52.97	
2.00	ENCOFRADO INC. LADRILLO	m ²	1.00	78.33	78.33	
3.00	ACERO F'y = 4,200 Kg/cm ²	kg	7.20	3.96	28.53	S/. 159.83

II LOSA MACIZA H = 0.25m						
ITEM	PARTIDA	UND	CANTIDAD	P.U.	SUBTOTAL	TOTAL
1.00	CONCRETO f'c = 280 kg/cm ²	m ³	0.25	321.04	80.26	
2.00	ENCOFRADO DE LOSA MACIZA CON MADERA	m ²	1.00	35.72	35.72	
3.00	ACERO F'y = 4,200 Kg/cm ²	kg	16.00	3.96	63.41	S/. 179.39

III LOSA POSTENSADO NO ADHERIDO H = 0.18m						
ITEM	PARTIDA	UND	CANTIDAD	P.U.	SUBTOTAL	TOTAL
1.00	CONCRETO f'c = 280 kg/cm ²	m ³	0.18	355.69	64.02	
2.00	ENCOFRADO	m ²	1.00	35.72	35.72	
3.00	ACERO F'y = 4,200 Kg/cm ²	kg	8.60	3.96	34.08	
4.00	SISTEMA POSTENSADO NO ADHERIDO	m ²	1.00	47.50	47.50	S/. 181.33

IV LOSA POSTENSADO ADHERIDO H = 0.18m						
ITEM	PARTIDA	UND	CANTIDAD	P.U.	SUBTOTAL	TOTAL
1.00	CONCRETO f'c = 350 kg/cm ²	m ³	0.18	355.69	64.02	
2.00	ENCOFRADO DE LOSA MACIZA CON MADERA	m ²	1.00	35.72	35.72	
3.00	ACERO F'y = 4,200 Kg/cm ²	kg	8.60	3.96	34.08	
4.00	SISTEMA POSTENSADO ADHERIDO	m ²	1.00	51.75	51.75	S/. 185.58

V LOSA COLABORANTE H = 0.15m						
ITEM	PARTIDA	UND	CANTIDAD	P.U.	SUBTOTAL	TOTAL
1.00	CONCRETO $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	m3	0.13	321.04	41.74	
2.00	ACERO $F'y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$	kg	8.60	3.96	34.08	
3.00	LOSA COLABORANTE H = 0.15m INCLUYE CONECTORES	m2	1.00	21.00	21.00	
4.00	VIGAS METALICAS SECUNDARIAS	Kg	12.00	9.00	108.00	S/. 204.82

4.3 Definición de uso de losa postensada en el proyecto.

“En construcciones contemporáneas menos es más” (Gales, 2014). Es una frase que resume en buena medida lo que significa el uso del sistema de losas postensadas, y el motivo principal por el que se decidió su empleo en el proyecto.

Tal como se ha mostrado en capítulos previos de las bondades que ofrece el sistema de losas postensadas tales como: optimización de recursos, menor índice de huella de carbono, menores requerimientos sísmicos a la estructura, mayor velocidad de construcción, costo de inversión aceptable, posibilidad para construir un nivel adicional, etc. Son algunos de las principales razones por lo que se tomó la decisión de ejecutar el proyecto con éste sistema constructivo.

La figura 21 muestra el cuadro de costo de losas evaluadas para el proyecto.



Figura 21. Cuadro comparativo costo de losas (Fuente propia).

CAPÍTULO 5

Procedimiento constructivo LPT - NA.

5.1. Proyecto de construcción de losas postensadas para el Edificio Caminos del Inca 390.

De acuerdo a la concepción de diseño, se propone para los elementos estructurales horizontales del Edificio Caminos del Inca 390 el empleo de losas postensadas en dos sentidos. Para ello se plantea el uso de cables postensados concentrados en bandas a modo de reemplazo de vigas en los ejes principales de soporte de losas y cables uniformes como elementos complementarios perpendiculares a los ejes principales de soporte.

Las bandas se refieren a las concentraciones de 5 o más cables para postensado, los mismos que son equivalentes a un eje de estructura estándar tipo viga, aunque en caso del diseño postensado se desarrolla un peralte nulo con respecto al espesor de la losa. Por otro lado, como complemento al eje de estructura de bandas se propone el empleo de cables que reciben el nombre de uniformes, estos cables acompañarán en el sentido perpendicular al eje de cables de bandas a los ejes de estructuración otorgándole a las losas la característica de losas en dos sentidos. En la figura 5.1 se puede apreciar la ubicación de los elementos tipo bandas ubicados en los ejes 2, 3 y 4, y que se desarrollan entre los ejes A y D; por otro lado, los elementos tipo uniforme se muestran de manera continua paralelos a los ejes del A al E y de manera radial en el sector de rampa.

En un sentido práctico y en sentido de transmitir una similitud con el diseño convencional, podemos hacer una analogía entre el diseño convencional y el diseño postensado de la siguiente manera: las vigas peraltadas son reemplazadas por ejes de bandas, y las vigas chatas son reemplazadas por ejes de uniformes.

En la figura 22 se puede apreciar la ubicación de los ejes de ubicación de los cables postensados, tanto los ejes de bandas en sentido vertical como los ejes de uniforme en sentido horizontal.

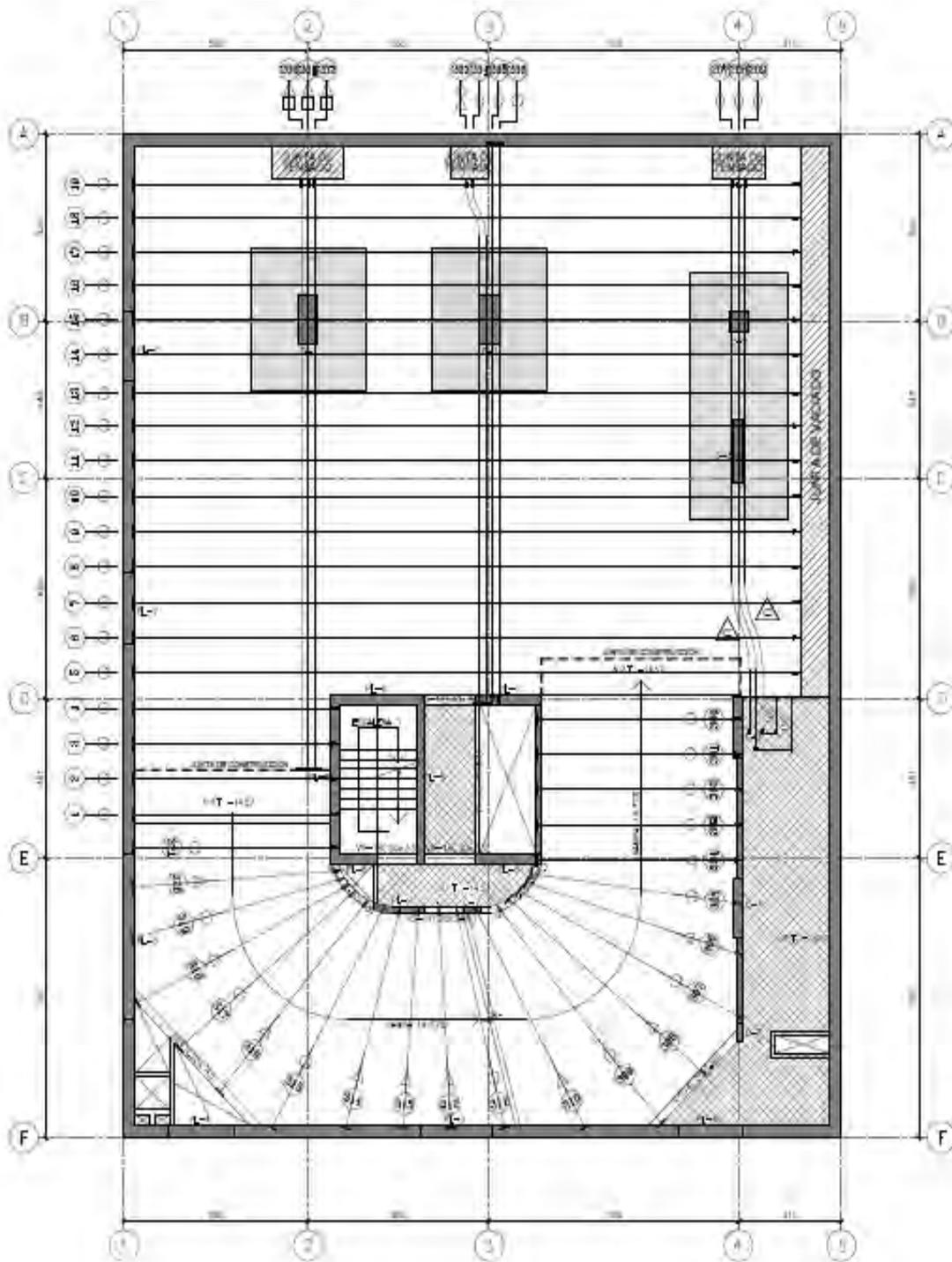


Figura 22. Plano de ubicación de ejes de tensado (Fuente propia).

5.2. Control de materiales y equipos.

El procedimiento constructivo adecuado de losas postensadas debe iniciar con una correcta recepción de materiales debido a que este paso es vital para garantizar la integridad de los materiales que componen el sistema, en éste sentido es altamente recomendable proveer al

proyecto con al menos un equipo de izaje mecánico tipo grúa, con capacidad suficiente para el transporte vertical y horizontal de los materiales. De darse la posibilidad de contar con la grúa, se recomienda como complemento equipar con accesorios tipo eslingas de nylon durante las maniobras de traslado, para evitar dañar la funda plástica que vienen con los cables. Para el proyecto Caminos del Inca 390 se tuvo la posibilidad de usar una grúa ubicada en la zona céntrica del edificio.

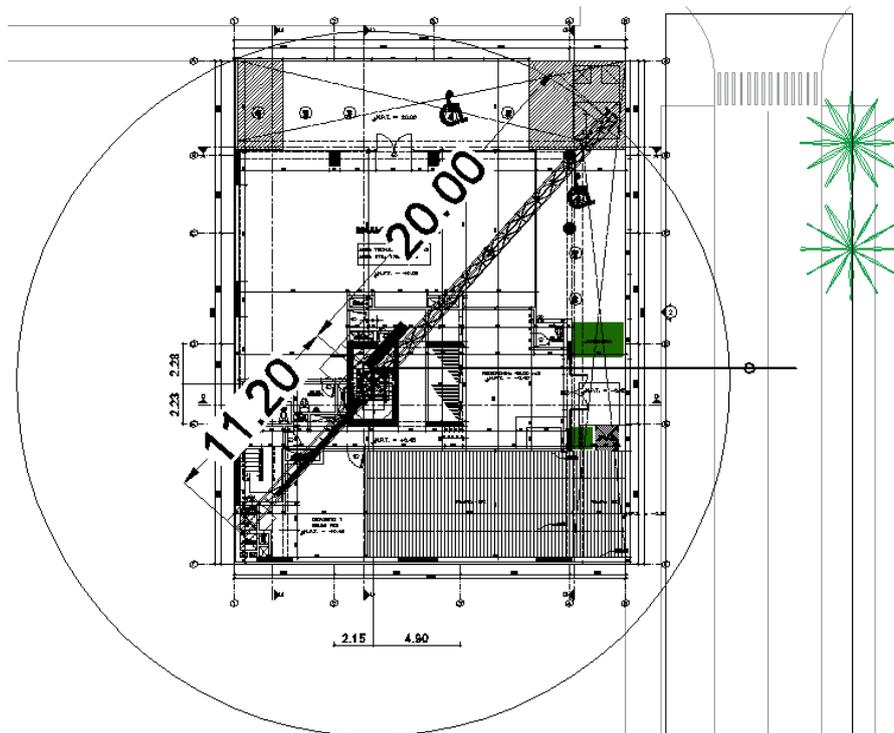
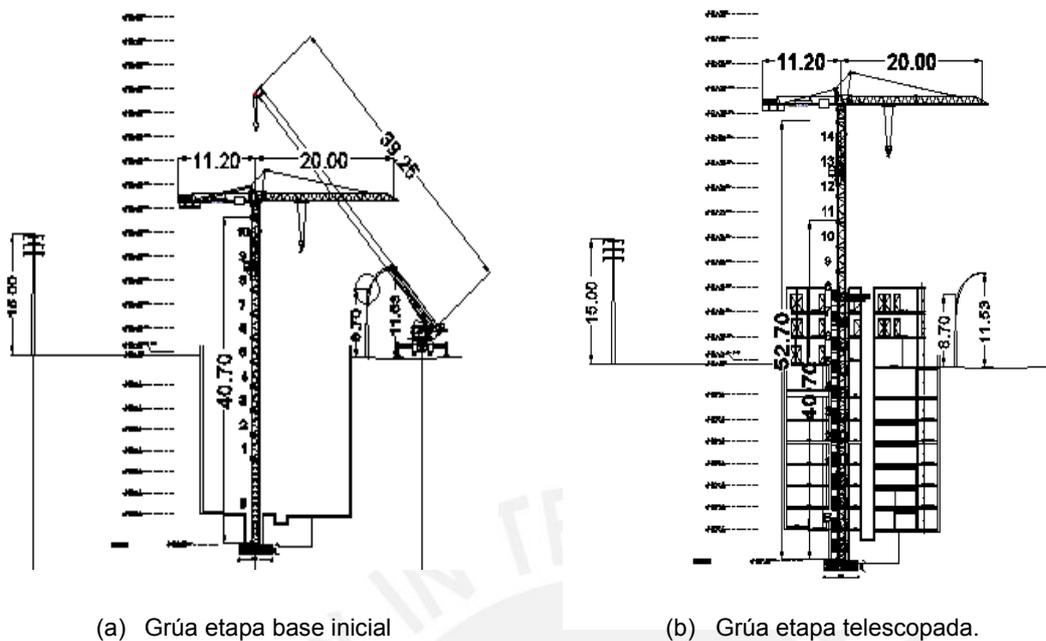


Figura 23. Esquema de ubicación y giro de grúa (Fuente propia).

Como se aprecia en la figura 23 se decidió por el uso de una grúa torre *telescopante*, la ubicación del equipo fue fijado en la zona de la escalera para aprovechar la zapata existente y evitar sobrecostos al construir una zapata individual para dicho equipo. Por otro lado, se muestra como la grúa realizó el proceso de telescopaje, así se puede apreciar en la figura 24a la posición inicial y en la posición 24b la segunda etapa del proceso de telescopaje.



(a) Grúa etapa base inicial

(b) Grúa etapa telescopada.

Figura 24. Proceso de telescopaje de grúa (Figura propia).

El proceso de descarga debe ser realizado lo más cerca posible del área de almacenaje para evitar movimientos excesivos de los materiales, de lo contrario, se incrementa la probabilidad de daño de la funda o componentes del sistema. Asimismo, los cables, cuñas y anclajes deben almacenarse en áreas donde se encuentren seguros y sin exposición a la intemperie.

Con respecto a los equipos de tensado se debe asegurar que tanto el gato hidráulico como el manómetro se descarguen como unidad, debido a que éstos son calibrados y certificados de esa manera.

5.3. Encofrado.

La partida de encofrado del proyecto constituye una de las partidas más sensibles del proceso constructivo, puesto que define las características geométricas de los elementos que conforman el sistema estructural del edificio, tomando en cuenta que las consideraciones de diseño se basan en gran medida en su geometría es fundamental ser muy cuidadosos en la

elección del sistema de encofrado y los materiales que lo componen, para garantizar las hipótesis de diseño.

En consecuencia, es imperativo asignar el tiempo suficiente para elegir el material más adecuado que conformará el encofrado del proyecto. En el mercado actual contamos con diversas opciones, para los fines de éste estudio sólo atenderemos el desarrollo de encofrado de elementos horizontales y los clasificaremos en los siguientes grupos:

Soporte vertical y vigas secundarias:	Metálico manuable.
	Metálico con equipo de izaje.
Soporte de contacto horizontal :	Madera
	Paneles aglomerados
	Metálico manuable.
	Metálico con equipo de izaje.

5.3.1. Sectorización del proyecto.

Una adecuada selección del sistema de encofrado es un factor externo que nos garantiza un buen punto de referencia a fin de optimizar la productividad de la partida de encofrado; sin embargo, no es el único factor que determina la obtención de buenos resultados. Debemos considerar además como factor interno las características del proyecto, consecuentemente sectorizar parcelas de trabajo adecuadas es una tarea muy importante a fin lograr un adecuado balance de recursos tanto humanos como materiales.

En los últimos años, muchas empresas constructoras peruanas están usando el sistema del último planificador mediante planificaciones colaborativas con todos los especialistas (Brioso et al., 2018; Brioso y Humero, 2016). Como consecuencia de ello, se intenta diseñar un tren de actividades diario en la fase de estructuras, sectorizando los encofrados en áreas pequeñas que puedan ser ejecutadas por las cuadrillas en un día de trabajo (Brioso et al., 2017; Brioso 2017). Se pretende mantener los flujos de producción constantes, disminuir los plazos,

tener la menor cantidad de pérdidas y planificar y controlar la seguridad de manera óptima (Brioso, 2013; Brioso et al., 2017). Sin embargo, en el sistema postensado no adherido tener sectorizaciones pequeñas es complicado de implementar, siendo conveniente tomar mayores áreas y un mayor número de días.

Debido a que el sistema postensado no adherido requiere del vaciado de las áreas donde se ubican los elementos de anclaje para tensado, la sectorización en parcelas muy pequeñas fue descartada debido a que impactaba en un mayor tiempo en el ciclo de vaciado de losas. Por tal motivo, procedimos a sectorizar el área de sótanos en sólo dos sectores: sector A (55%) y sector B (45%), de los porcentajes mencionados la condición principal es que tuvieran áreas equivalentes en cada sector. A continuación mostramos en la figura 25 la sectorización final del piso típico del proyecto:

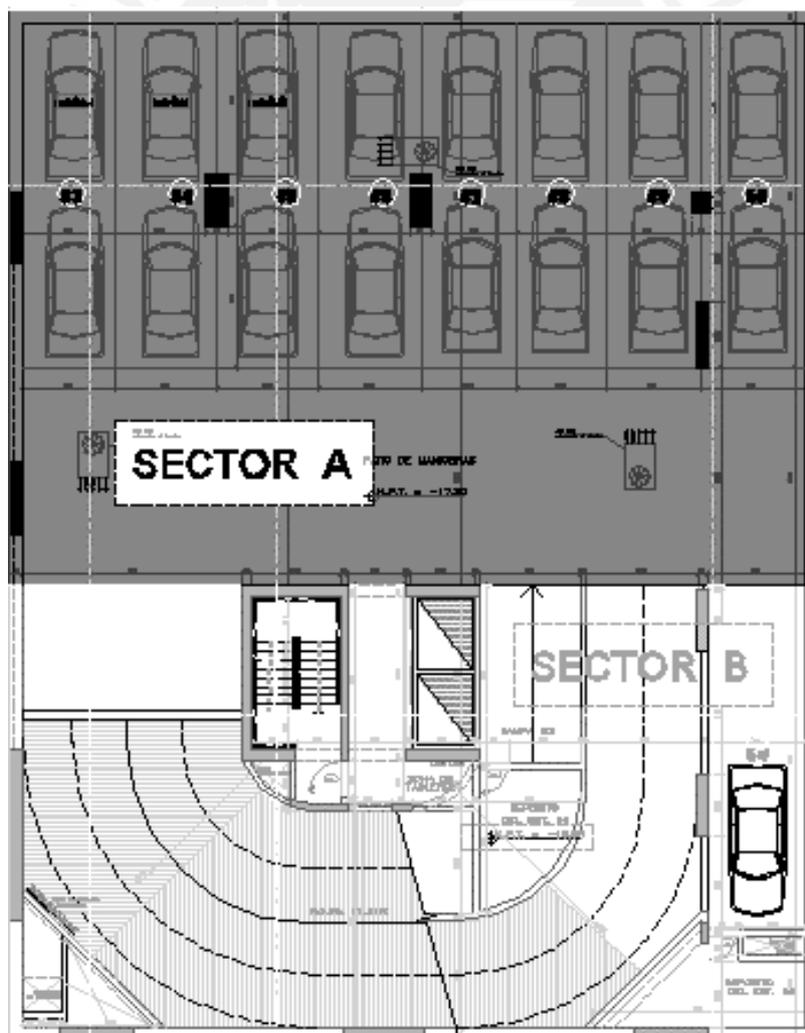


Figura 25. Sectorización del proyecto (Fuente propia).

5.3.1.1. Encofrado de losa sector A.

El sector A del área de losa de los sótanos lo componen en su totalidad por áreas planas que comprenderán los futuros estacionamientos; así como, el área de tránsito vehicular. Al tratarse de zonas totalmente planas el equipo y material de encofrado para los elementos horizontales se definió de la siguiente manera:

Sistema de soporte.

Para el sistema de soporte se definió el empleo de un sistema de apuntalamiento metálico de la marca Unispan, éste sistema de encofrado viene conformados por los siguientes elementos:

- **Soporte vertical:** Conformado por encofrado tipo catre, compuestos por puntales, arriostres y accesorios.
- **Soporte horizontal:** Conformado por vigas secundarias compuestas por perfilería metálica para viguetas y como complemento vigas soleras de madera, ambas con sección de 4" de altura y anchos variables. Las vigas de madera permiten clavar los paneles contra el elemento de soporte para evitar movimiento relativo entre ellos. La figura 26 muestra el conjunto de soporte tanto vertical como horizontal.

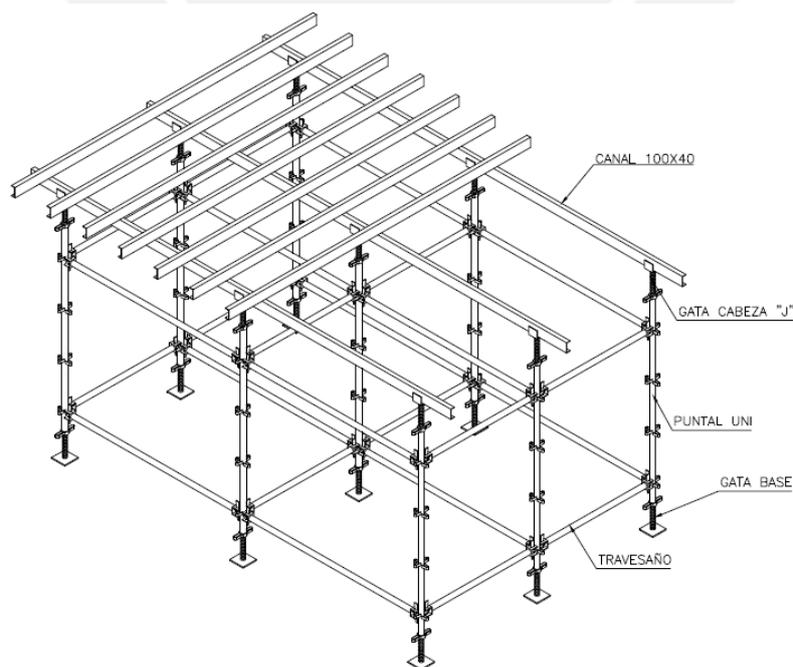


Figura 26. Esquema de soporte vertical de losas (Fuente propia).

- Superficie de contacto para losas y capiteles:** Se eligió el empleo de paneles aglomerados fenólicos de 18mm; debido a su inmediata disposición en el mercado, conocimiento de su manipulación por parte del personal, la flexibilidad que presenta frente a las opciones metálicas y porque con el mantenimiento adecuado y correcto uso de desmoldante permite obtener una superficie terminada de concreto aceptable. En la figura 27 se puede apreciar el esquema de armado y los elementos componentes del sistema de encofrado, por otro lado en la figura 28 se puede apreciar el proceso de encofrado finalizado del sector A.

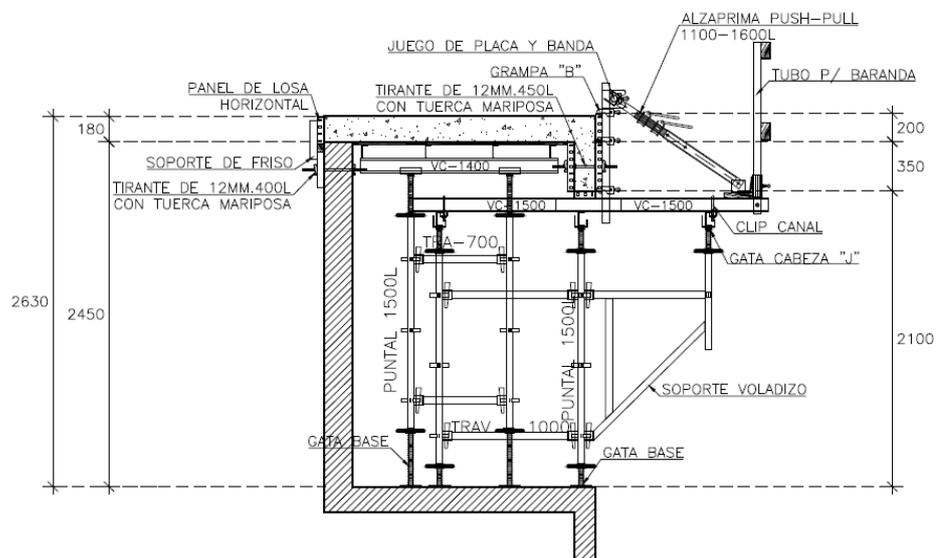


Figura 27. Esquema de encofrado contacto con losas y friso (Fuente propia).

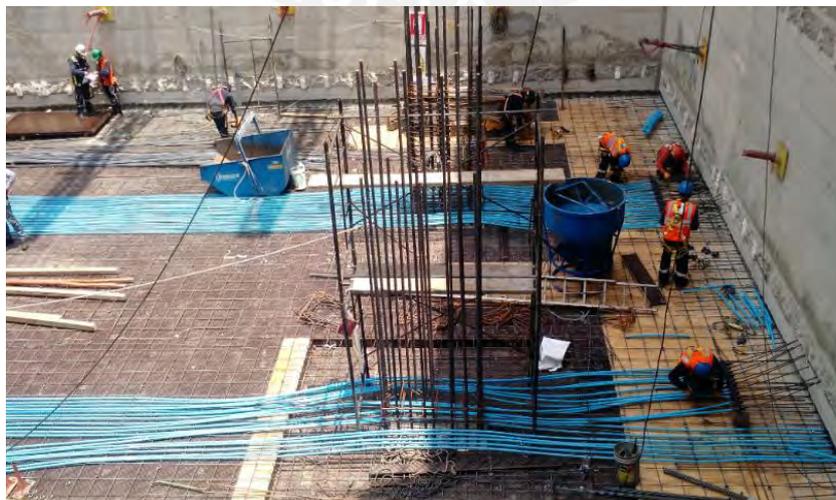


Figura 28. Encofrado horizontal techo Sótano 4 - Sector A (Fuente propia).

5.3.1.2. Encofrado con pendiente para rampa, Sector B.

El sector B del área de losa de los sótanos lo componen en su mayoría losas con pendiente para rampa, las mismas que tienen como principal función comunicar el ingreso vehicular del edificio con los diferentes niveles a lo largo de los siete sótanos que componen el edificio. Por tratarse de zonas con pendiente continua y forma semicircular el equipo y material de encofrado para los elementos horizontales se definió de acuerdo a las características del elemento:

Sistema de soporte.

Para el sistema de soporte se eligió el empleo de un sistema de apuntalamiento metálico de la marca UNISPAN. Los que vienen conformados por los siguientes elementos:

- **Soporte vertical:** En éste caso se emplearon puntales individuales arriostrados con elementos complementarios; debido a que el cambio constante del nivel de base en el apuntalamiento de losa para rampa no permitía el armado de elementos tipo catre, dado que se necesita de superficies planas para que el sistema tipo catre funcione.
- **Soporte horizontal:** Conformado por vigas secundarias del tipo vigas soleras de madera con una sección de 3" de ancho por 4" de altura. Tomando en cuenta el tipo de desarrollo de rampa se optó por el uso vigas de madera en su totalidad para poder asegurar los paneles contra las soleras y de ésta manera evitar movimientos relativos, y dado que los elementos que se fabricaba para desarrollar la rampa contaban con formas relativamente pequeñas e irregulares para cumplir con el diferencial de cambio de pendiente y la forma semicircular
- **Superficie de contacto para losas y capiteles:** Se optó por emplear paneles aglomerados fenólicos de 18mm; ya que se considera las mismas ventajas que ofrecen el sistema de encofrado utilizado para el sector A del edificio; aunque en mayor virtud, debido a que éste sector presenta una forma helicoidal, y en nuestro caso los paneles fenólicos ofrecía una solución viable en cuanto a tiempo de fabricación y economía.

La figura 29 muestra el esquema de armada de losas en el sector B, en los que se puede apreciar los puntales soportados de manera independiente, a diferencia del sector A en el que se agrupaban varios postes y funcionaban como una sola unidad.



Figura 29. Sistema de soporte vertical para encofrado – Sector B (Fuente Unispan).

Como se ha indicado previamente el sector B presenta una forma irregular debido a sus características de pendiente y forma semicircular, motivos por los que fue necesario el empleo de un programa de cómputo para calcular las coordenadas de base, y de ésta manera lograr la forma requerida de las rampas. El programa de cómputo empleado para el desarrollo de las coordenadas fue CIVIL 3D, programa que entregaba el desarrollo de la curvatura y en el que fue posible realizar modificaciones de las variables que forman parte de la rampa hasta lograr la forma requerida por el planteamiento arquitectónico del proyecto. La figura 30 muestra una de las vistas del proceso de configuración de rampa entregadas por el programa CIVIL 3D.

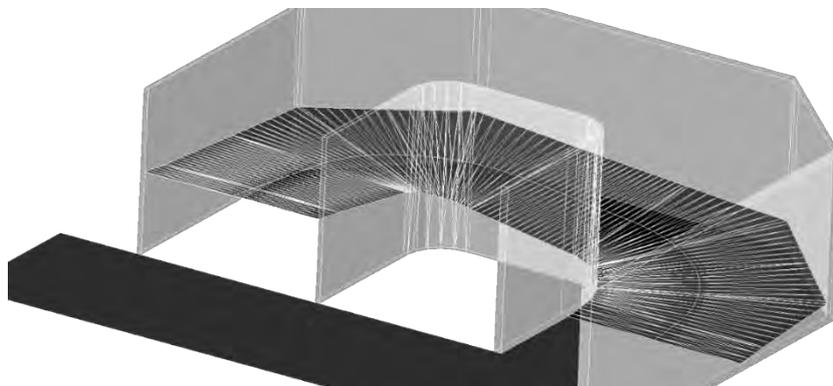


Figura 30. Desarrollo de rampa con ayuda de programa CIVIL 3D, Sector B (Fuente propia).

Éste tipo de encofrado presenta un reto para su desarrollo debido a que además de presentar incremento constante de la pendiente y de su forma semicircular, requiere definir un peralte interno que varía de sección a sección con la finalidad de reducir las fuerzas centrífugas durante la marcha del vehículo sobre la rampa, y de ésta manera lograr un manejo adecuado por parte del usuario final, con lo cual nos referimos a 3 variables que cambian constantemente y las cuales se deben monitorear de manera adecuada a fin que los operarios carpinteros puedan construir y entregar las condiciones necesarias para posteriormente colocar los cables postensados de la rampa.

Por el motivo descrito anteriormente se eligió realizar un seccionamiento de la rampa en longitudes diferenciales de 10 cms, ésta elección nos permitió definir secciones de medidas razonables y que nos permiten obtener las coordenadas de base de cada sección y traducirlas en elementos que podía ser moldeados por los operarios carpinteros y con la guía de un topógrafo definir las cotas en los muros perimétricos de la rampa que sirvan de referencia para la colocación de los puntales a fin de unir las piezas seccionadas. En la figura 31 se puede ver como la rampa fue seccionada en elementos con distancias definidas de 10 cms cada una.

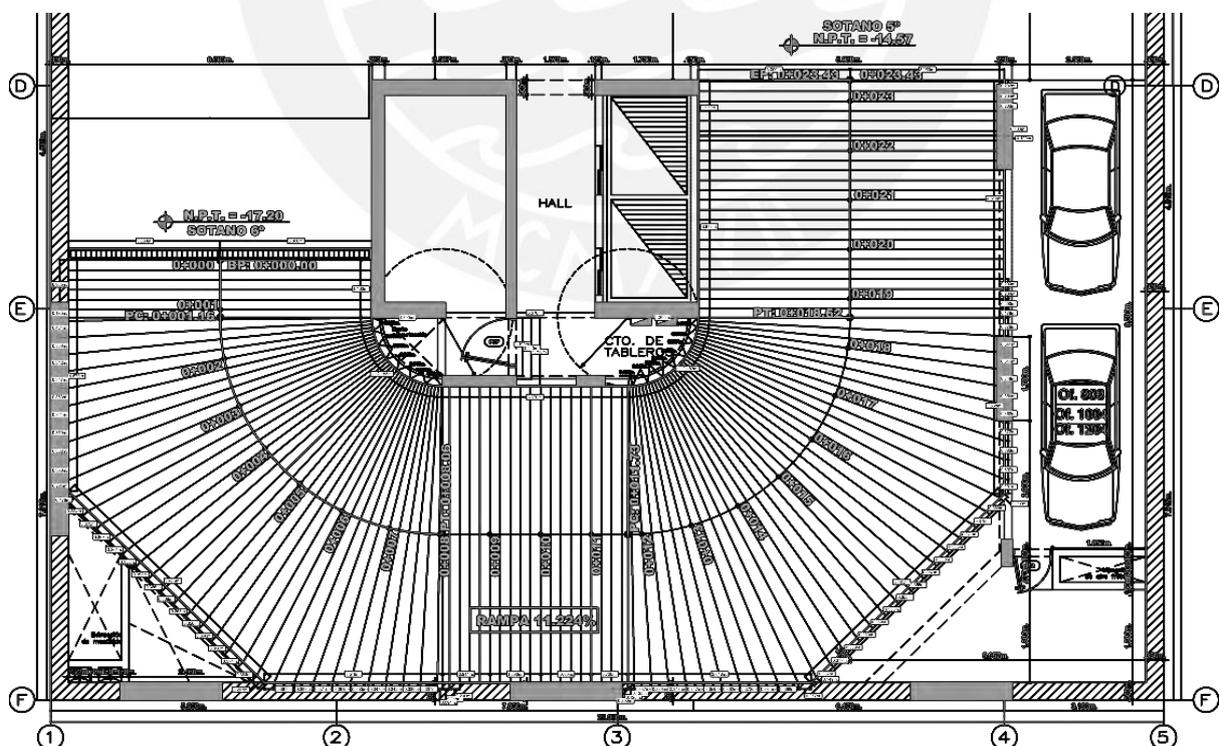


Figura 31. Sistema de soporte vertical para encofrado – Sector B (Fuente propia).

Con la ayuda del programa de computación CIVIL 3D y de acuerdo a las variables indicadas nos fue posible obtener las coordenadas habiendo definido el peralte interior de la rampa, podemos inferir que la zona inicial, la zona intermedia y la zona final de la rampa la pendiente interna debe ser de 0° dado que son sectores que conectan con la zona de estacionamiento; sin embargo, en las zonas curvada la pendiente debía incrementarse a fin de cumplir con la necesidad de reducir las fuerzas centrífugas durante el tránsito vehicular, y de esta manera transmitir confort a los usuarios de los estacionamientos del edificio. La figura 32 muestra la variación de las pendientes interiores a lo largo de la rampa entre sótanos colindantes.

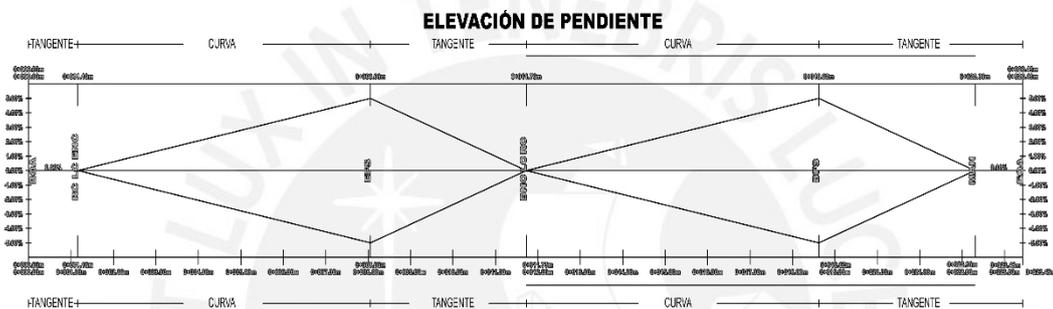


Figura 32. Elevación de pendiente interior de rampa en zona curva (Fuente propia).

A continuación y para poder traducir la información desarrollada en el software en datos que pudiesen ser procesados por el personal a cargo del armado del encofrado de base de la rampa, se procedió con la generación de secciones acotadas a lo largo del ancho de la rampa de 6 metros, la misma que se seccionaron en 12 partes iguales con anchos de 50cms cada uno y en las que se anotaba la cota de fondo de la rampa. Con ésta información y el apoyo de elementos de trazo topográfico, los carpinteros procedían a fabricar los elementos de encofrado de rampa a partir de los paneles fenólicos cortados de tal manera que pudiesen ser unidos de manera continua y a su vez respetando los niveles de fondo indicados en las secciones entregadas. En la figura 33a se pueden apreciar la sección ubicada a 8.60 metros sobre el inicio de la rampa en un sótano típico y en la figura 33b se puede apreciar otra sección ubicada a 11.00 metros sobre el inicio de la rampa.

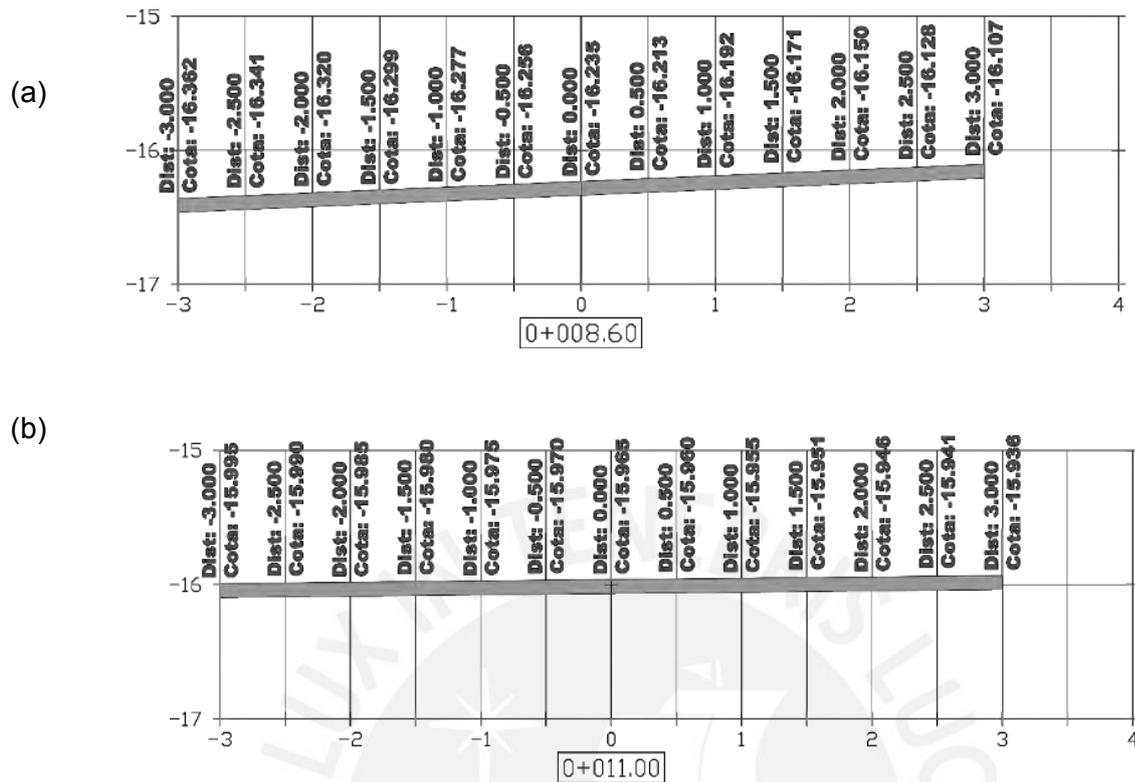


Figura 33. Ubicación de cotas de acuerdo a seccionamiento de rampa (Fuente propia).

Finalmente y luego de un proceso que se repetía en cada sección de la rampa se obtuvo el fondo necesario para continuar con el proceso de armado de la losa de rampa. La figura 34 muestra la etapa de finalización del armado de rampa del Sector B.



Figura 34. Ejecución de encofrado en zona de rampa (Fuente propia).

5.4. Colocación de acero de refuerzo.

El sistema de losas postensadas no requiere de malla de refuerzo de acero para controlar la retracción o agrietamiento propios del concreto, debido a que la precompresión impuesta por los tendones y que es rápidamente repartido a través de la losa desde los anclajes, es todo lo que necesita la estructura para prevenir agrietamiento proveniente de los cambios de tamaño o temperatura del elemento. (Aalami, 2014).

Por otro lado, los códigos de construcción como el ACI-318 o los códigos europeos no indican la obligatoriedad del uso de acero mínimo de refuerzo en sistemas de losas postensadas, como si lo hacen para los elementos de concreto armado. En todo caso se sugiere emplear una malla mínima de acero para controlar la retracción de los elementos de concreto; aunque éste punto queda a criterio del diseñador.

Para el caso del proyecto Caminos del Inca 390, se recomendó colocar una malla de acero convencional con una malla de 8 mm cada 25cm, mostrada en la figura 35. Luego del armado del encofrado de losa, se recomienda iniciar con la colocación de ésta malla, la misma que brindará una superficie sobre la que se desarrollarán las catenarias del sistema de losas postensadas.



Figura 35. Colocación de malla de acero de refuerzo (Fuente propia).

5.5. Colocación de cables postensados sistema adherido.

5.5.1. Recomendaciones generales.

Dado que en los acápite previos se ha introducido a los procedimientos preliminares que componen el sistema de losas postensadas, y que a la vez también intervienen en procedimientos tradicionales de losa como: logística, encofrado y acero convencional. En éste acápite iniciaremos con los procedimientos que conforman el sistema de losas postensadas propiamente dichas, por lo que es importante iniciar con algunas recomendaciones generales como los detallados a continuación:

- Antes de iniciar cualquier trabajo, el encargado de la obra debe poseer toda la información y los planos necesarios para ello. Ésta información debe ser transmitida de manera adecuada a los capataces de cada cuadrilla.
- En lo posible, el mismo equipo de trabajo deberá instalar y tensar los cables del proyecto completo.
- Se recomienda instalar los ductos y cables del sistema post-tensado antes que el conducto eléctrico y previo al inicio de los trabajos mecánicos. La ubicación de los cables y su perfil deben mantenerse preferentemente a otras especialidades o materiales que deban ser incorporados como la armadura tradicional.
- Muchos cables van despachados en paquetes o zunchos atados, el paquete amarrado es como un resorte enrollado y se desenrolla al cortar las amarras, ya que ésta operación puede resultar peligrosa se deberá tener el cuidado debido al desenrollar el cable.

5.5.2. Procedimiento de instalación.

Inmediatamente después de la colocación de la malla de refuerzo se procede con la instalación de los tendones para postensado. En muchos casos, y debido a la congestión de acero de refuerzo sobre todo en la zona ubicación de columnas la colocación de las hileras de tendones se convierte en una tarea muy complicada.

A continuación debe marcarse en el encofrado de borde el centro de cada cable de acuerdo al proyecto desarrollado. El encofrado de borde también debe mostrar el tamaño del cono en

aquellos lugares donde puedan presentarse conflicto, luego de ello se procede a perforar el encofrado de borde donde los anclajes activos deben ser colocados.

De identificarse obstrucciones éstas deben moverse o desplazar suavemente el anclaje de su posición para evitarlas. Se puede notar que en el proyecto de postensado las dimensiones del equipo son conocidas, aproximadamente 55cm el gato tensor, si identificamos que el tensado no va a poder ser realizado será necesario reubicar los anclajes. En el caso del proyecto Caminos del Inca 390, la ubicación horizontal de cables y anclajes no es crítica y pueden realizarse movimientos en este plano; sin embargo, el perfil vertical es crítico y deberá mantenerse dentro de las tolerancias indicadas en los planos. La figura 36 muestra anclajes en su eje final de instalación.



(a) Proceso de aseguramiento.



(b) Fila de anclajes asegurado.



(c) Anclaje asegurado.

Figura 36. Imágenes del proceso de colocación de perfiles laterales (Fuente propia).

Las sillas individuales son usadas para otorgar a los ejes de postensado la altura necesaria para desarrollar la catenaria, éste procedimiento es uno de los delicados y del que depende en gran medida el buen comportamiento del sistema. Éstos elementos son situados

aproximadamente cada 1m, aunque dependiendo del diseño se puede colocar con espaciamientos menores. Una vez verificada la correcta instalación de los ejes de los cables y su altura correspondiente las piernas de las sillas se deben asegurar correctamente contra la base del encofrado.

Finalmente debemos inspeccionar el perfil del cable y de detectarse algún daño éste debe repararse de manera adecuada; ya sea al ducto, con el objeto de prevenir obstrucciones que impedirían su posterior inyección; o a la funda, evitando el contacto del cable con el concreto que pudiese afectar el libre tránsito del cable en la funda; en ambos casos indicados la reparación se debe realizar empleando cinta para embalaje de manera adecuada. En la figura 37 se puede apreciar el procedimiento de aseguramiento de las sillas con respecto a las tuberías que definen los ejes de tensado de las losas.



(a) Vista general de amarre.



(b) Vista detallada de proceso.

Figura 37. Imágenes del proceso de colocación de sillas (Fuente propia).

5.6. Inspección de la losa antes del vaciado.

La revisión de la losa deberá ser realizada por el Ingeniero Residente del proyecto, en conjunto con el personal responsable de la contrata de suministro e instalación del sistema postensado. El cual dará la partida al vaciado una vez realizada la inspección durante el cual al menos los siguientes puntos deberán ser revisados:

- Verificar que el perfil del cable sea suave y en forma correcta, es decir que el desarrollo de la curva sea en un solo sentido entre puntos de referencia.
- Validar que no existan desviaciones excesivas del cable en la horizontal, respetando las indicaciones dadas o las solicitadas particularmente por supervisión de campo.
- De ser necesario doble validación de que el ducto o la funda plástica no estén dañadas, y si así fuese, éstas deben ser reparadas.
- Verificar que las sillas de apoyo y soportes se encuentren de acuerdo a lo indicado en los planos.
- Validar que los anclajes se encuentren completamente unidos a los conos y que finalmente este conjunto quede protegido de manera adecuada.

Estas revisiones deberán quedar plasmadas en sus respectivos protocolos de inspección, como se muestra en la figura 38. Este registro debe ser firmado por el Residente de obra, además por responsable del área de calidad y por el representante de la empresa contratista del sistema postensado.



Figura 38. Imágenes del proceso de revisión de losa antes del vaciado (Fuente propia).

5.7. Colocación de concreto.

El vaciado no debe iniciar a menos que los cables, soportes y refuerzos tradicionales se encuentren de acuerdo a lo especificado en los planos aprobados correspondientes y revisados de acuerdo al protocolo aprobado, indicado en el acápite anterior.

De haberse superado la etapa de verificación, a continuación se debe programar una limpieza minuciosa de todos los elementos de la losa postensada; para éste fin se debe emplear en una primera etapa una herramienta magnética para poder retirar todos los elementos metálicos como alambres, cables, clavos, etc. remanentes de la instalación. Posteriormente se debe emplear una manguera con aire a alta presión para retirar partículas de polvo y materiales inadecuados para colocación del concreto. Como medida final en climas con temperaturas relativamente altas se recomienda un regado completo de las zonas a vaciar, de ser posible tipo aspersor. En la figura 39 se puede apreciar los diferentes procedimientos de limpieza que pueden emplearse para habilitar las zonas de losa para proceder al vaciado.



Figura 39.- Imágenes del proceso de limpieza de losas (Fuente Aalami, 2016)

El concreto deberá ser colocado de tal manera que asegure la posición de los cables del post-tensado y no altere la posición del refuerzo tradicional. Si los cables se desplazan de su posición original, se deberán regresar a su ubicación inicial nuevamente antes de seguir con el vaciado.

El vibrado del concreto en la zona de anclajes es crítico para prevenir y eliminar cangrejeras y segregación. Debe tomarse las precauciones para el concreto vibrado por debajo de los

anclajes y/o cables, esta recomendación es muy importante en el caso que se presenten paquetes de varios cables en la losa.

- Colocación a través de grúa. El concreto deberá dejarse caer del balde de una altura tal que no produzca el desplazamiento de los cables.
- Colocación por bomba: Las tuberías de la bomba deben ser soportadas por sobre los cables, de ninguna manera descansar sobre ellos. Por ningún motivo se debe descargar el cebo de la bomba sobre la losa. Por último, la manguera de descarga debe ser mantenida en una posición tal que no cause el desplazamiento del sistema post-tensado.
- No apoye los vibradores sobre los cables. Tanto como sea posible, evite el contacto entre la sonda vibradora y los cables durante la colocación y compactación del concreto.

La figura 40 muestra el proceso de colocación de concreto en losas postensadas.



Figura 40. Imágenes del proceso de vaciado de concreto (Fuente propia).

5.8. Preparación para el tensado.

Una vez que haya transcurrido el tiempo adecuado para el que el concreto alcance la resistencia necesaria, el encofrado del borde de la losa debe ser removido para facilitar la extracción del cono plástico y la posterior limpieza de la cavidad donde se colocarán las cuñas; ésta actividad es más sencilla mientras menos edad tenga el concreto. El resto de los encofrados deben permanecer instalados en su posición hasta después realizar el tensado.

A continuación se debe verificar la correcta integridad del concreto, en las zonas donde se realizará el proceso de tensado, particularmente a ambos lados del cono y en toda la superficie expuesta. De identificar: grietas, segregación, cangrejas o cualquier otra anomalía se debe paralizar el proceso de tensado y proceder a realizar las reparaciones necesarias. Además, se debe verificar que el cable se encuentre perpendicular al anclaje y que dicho anclaje se encuentre paralelo a la cara del concreto, además que se debe remover el exceso de grasa y cualquier polvo, arena o pasta de concreto que se encuentre en la cola del cable.



Figura 41. Proceso de liberación de los puntos de anclaje (Fuente propia).

5.9. Tensado de cables.

La operación de tensado debe iniciar únicamente cuando los testigos de concreto curados bajo las condiciones de trabajo hayan sido ensayados; en éste caso, la resistencia a la compresión obtenida en éstos ensayos deben encontrarse por encima de la resistencia requerida en el diseño. Estas resistencias de diseño se encuentran indicadas en las especificaciones técnicas del proyecto, para el caso del Edificio Caminos del Inca 390 la resistencia a compresión necesaria para iniciar tensado es de $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$.

Con respecto al equipo de tensado que compone el sistema como la bomba y el gato hidráulico, se debe asegurar que se encuentren limpios especialmente en el área de las cuñas y la nariz del gato; asimismo, se debe verificar que las mangueras entre la bomba, el gato hidráulico y el manómetro se encuentren correctamente instaladas. Es recomendable asegurar los componentes del equipo a elementos fijos a través de seguros que impidan que debido a la presión puedan moverse de su ubicación inicial. Para finalizar con la habilitación del equipamiento se debe validar la calibración del equipo para darle la presión adecuada al cable, presión que no debe ser superada durante toda la operación de tensado.

A continuación se debe tensar los cables según los valores indicados en el proyecto y medir la elongación obtenida, luego comparar la elongación teórica versus la elongación obtenida indicada en los planos. Para ello se debe posicionar el gato sobre el cable a ser tensado y empujarlo hasta que la nariz del gato descansa sobre el anclaje, luego se debe empujar las mordazas hacia adelante para enganchar el cable asegurando que las mordazas están paralelas y que el cable se encuentre en la posición correcta de acuerdo a las mordazas. Durante el proceso se deben generar marcas en el cable como se aprecia en la fig. 5.21, al inicio y luego de finalizar el tensado, el diferencial de las marcas nos indicará la elongación real obtenida en el cable.



Figura 42. Marcado de cables postensado para verificar elongación (Fuente propia).

La medición de la elongación deberá ser lo más escrupulosa posible, consecuentemente éstas deben estar dentro del 7 % por encima o por debajo de los valores indicados en los planos, si los resultados exceden la tolerancia indicada se debe detener el proceso de tensado hasta que identificar y corregir el origen de la distorsión. Es recomendable llevar un registro adecuado de los resultados de todo el proceso de tensado.

Finalmente es importante indicar que el proceso de tensado de cables es uno de los más delicados de todo el procedimiento de construcción de losas postensadas, se debe procurar mantener a personas ajenas al procedimiento fuera del área de influencia. En éste caso se aprecia que el personal asignado a la ejecución del tensado se encuentre correctamente capacitado para prevenir cualquier incidente o accidente durante el desarrollo de las tareas involucradas.

De acuerdo a información obtenida de la empresa VSL Perú, mencionaremos algunas causas de pueden explicar medición de elongaciones erróneas:

- Procedimiento inadecuado de marca en el cable.
- Lectura inadecuada del manómetro.
- Procedimiento de tensado impropio.
- Pérdida de asentamiento excesiva.
- Mal funcionamiento del equipo.
- Fricción excesiva del cable en la losa.
- Colocación inadecuada de las cuñas.

- Desechos o pasta de concreto en la cavidad de asentamiento de las cuñas.
- Mordazas del gato sucias.
- Mordazas en gato no alineadas.
- Excesiva elongación puede reflejar baja fricción o coeficiente de excentricidad o bien sobre-tensado del cable.

5.10. Inyección de lechada de cemento.

5.10.1 Generalidades.

Los principales objetivos del proceso de inyección son disminuir la corrosión del acero de pretensado llenando completamente todas las cavidades con lechada de cemento; así como, lograr una adherencia efectiva entre el acero para pretensado y el concreto.

Como indicación general, todos los productos que serán empleados en la preparación de la lechada de inyección deberán estar libres de cloruros, sulfuros, nitratos, etc. o de cualquier sustancia que pueda provocar algún perjuicio en los cables, en el propio material de inyección o en el concreto de la losa.

Los materiales básicos para la inyección adherente con lechada de cemento son cemento, agua y aditivos, los mismos que detallaremos a continuación:

Materiales.

Cemento: El cemento recomendado para ser utilizado en la confección de la lechada de inyección, debe ser del tipo Cemento Tipo I. Para evitar problemas durante la inyección de la lechada es recomendable no emplear cementos que posean una alta resistencia inicial, debido a que reduce notablemente el tiempo de utilización de la lechada.

Agua: El agua para la lechada no requerirá suministro a altas presiones, pero si con la suficiente abundancia para mantener el ritmo de trabajo y poder efectuar la limpieza de equipos y conductos. Si no se dispone del suministro de agua potable continua, se debe instalar depósitos provisionales alimentados periódicamente de tal forma que siempre se disponga de reserva suficiente para trabajo continuo.

Aditivos: En el mercado se puede encontrar gran variedad de aditivos para preparar lechada de inyección, con la finalidad de lograr un adecuado comportamiento de la mezcla, entre las que podemos mencionar: mejora de la facilidad de colocación, mitigar su tendencia a la decantación, controlar la reducción volumétrica de la lechada y provocar expansiones controladas.

La decisión de emplear determinado aditivo, sus combinaciones y la dosificación de ellos se definirán previamente a las operaciones de inyección, siguiendo siempre las indicaciones del proveedor. Entre los aditivos recomendados podemos mencionar los siguientes tipos:

- a. **Expansor de volumen:** En el mercado es común encontrarlo en su forma de polvo con plastificante. Éste producto es un defloculante que reacciona con el cemento expandiendo las mezclas de concreto, mortero o la pasta de cemento en el momento del fraguado. Se recomienda para rellenar volúmenes o espacios vacíos confinados en ductos para cables post-tensados y pre-tensados, inyecciones de mortero o pasta en roca y para compensar la contracción plástica o de fragua.
- b. **Aditivo plastificante:** En el mercado se puede encontrar comúnmente en su forma líquida y está compuesto principalmente por carboxilatos, que tiene propiedades de reductor de agua de alto rango, y se encuentra formulado específicamente para aumentar el tiempo de trabajabilidad de concretos de baja relación a/c.

Equipamiento.

El equipamiento para la inyección de lechada de cemento consiste en un equipo compuesto por mezcladoras y una bomba de inyección. Estos dos componentes del equipo pueden estar separados o unidos en un mismo conjunto compacto, pero con motores y manejo independientes para poder mantener por un lado la lechada en movimiento y por otro la acción de inyectar mezcla.

5.10.2 Procedimiento de inyección.

La temperatura es un factor importante para conseguir un adecuada protección de los cables con la lechada de cemento, es recomendable ejecutar el procedimiento cuando la temperatura del ambiente y de la estructura sean mayores que 5° C, y menores que 35° C, para lo cual si es necesario, se debe ejecutar por las mañanas o por las noches.

Luego de la correcta aprobación de las elongaciones obtenidas en el proceso de tensado y de haber sellado los nichos de anclaje con mortero rígido de acuerdo a las especificaciones del proyecto, el procedimiento de inyección propiamente dicho inicia con la revisión de ductos postensado y prueba de aire. Es necesario verificar que los ductos que conducirán la lechada de cemento se encuentren libres de polvo, materiales extraños o exceso de agua que pueda modificar la dosificación de la lechada, para éste fin se debe inyectar aire a presión a fin de verificar que los conductos no se encuentren bloqueados, los únicos puntos que pueden conducir el aire es el punto de inyección y el despiche provisto para eliminar el aire del interior. De identificarse algún punto de daño éste deberá repararse inmediatamente antes de iniciar el proceso de inyección.

Por otro lado, luego de haber verificado que los equipos se encuentran aptos para iniciar el procedimiento, éstos deben ubicarse lo más cerca posible de las conexiones a fin de minimizar las pérdidas de presión en las tuberías, en el recipiente de la mezcladora se deben colocar los materiales de acuerdo a la dosificación aprobada por el proyecto para la preparación de la lechada de cemento.

Finalmente luego de verificar las condiciones de temperatura del ambiente y la estructura, la correcta elongación de los cables, la provisión de materiales adecuados y equipamiento. La inyección de lechada de cemento debe iniciarse desde la zona de conductos de menor altura, y ésta debe continuar hasta verificar que ésta fluya por cada despiche con las mismas propiedades con las que se verifican en la mezcladora; es decir, que debe ser homogénea y sin burbujas. Una vez que se determine éstas condiciones en cada punto de salida se debe

proceder con su inmediato cierre hermético, para el cual se procede con el doblar de las puntas de los ductos polietileno y se amarra con alambre.

Deberá disponerse durante todo el proceso de inyectado de polietileno y tarros en la zona de mangueras para inyección y despiche, para evitar que la lechada ensucie la superficie de la losa. Se recomienda realizar el corte de las mangueras de los despiches luego de haber transcurrido a 24 horas después de la operación de inyección, los mismos que deben cortarse al nivel de losa para poder continuar con los acabados del piso. En la figura 5.22 a se puede apreciar el proceso de inyección de lechada, en el que se usa cemento tipo I en conjunto con agua y aditivos que se mezclan en dosificaciones definidas en el equipo de mezclado; y en la figura 5.22 b se muestra la manera de cómo se debe asegurar que la lechada llene las cavidades interiores hasta salir por los despiches de las líneas de inyectado, para el aseguramiento de una correcta protección de los cables que conforman el torón de tensado.



(a) Proceso de inyección de lechada.



(b) Salida de lechada en despiche de la línea

Figura 43. Procedimiento de inyección (Fuente Aalami, 2014).

CAPÍTULO 6

Control de Calidad en LPT - NA.

6.1. Matriz de puntos de control (MPI).

Con el objetivo de abordar el tema de control de calidad iniciaremos con la presentación de conceptos de la calidad que se emplean en la industria como:

- La Calidad de edificación: es el resultado conjunto de concepción y ejecución, del desarrollo armónico entre arte y ciencia-tecnología, arquitectura y construcción. (Merchán, 2000).
- “Sólo se puede mejorar lo que se puede medir”. (Ghio, 2000).

Las empresas de mediana y gran envergadura abordan el tema desde el enfoque de gestión de calidad adecuada en todos los niveles que componen la empresa; tales como: gerencia, administración, logística, operaciones, entre otros. Para implementar la gestión de calidad se suele optar por aplicar métodos y filosofías de gestión altamente probados y homologados, entre los que podemos mencionar, sistema de gestión ISO en sus diversas variantes, el sistema de gestión SGS, la filosofía de gestión PMI, la filosofía Lean Construction, entre otros.

Involucrar a todas las áreas de una empresa en esta decisión, es una difícil tarea que demanda que la alta gerencia tenga un objetivo claro, puesto que los sistemas y filosofías antes mencionados requieren para su implementación y control de una alta inversión de recursos, que en la mayoría de casos son prohibitivos para empresas de menor envergadura.

Para aquellas empresas que cuentan con recursos limitados para poder hacer frente a un éste gran desafío, como lograr la calidad adecuada que permita continuar sus operaciones, se plantea el desarrollo de procedimientos constructivos idóneos que puedan ser controlados a través de formatos tipo, los que denominaremos protocolos.

Desarrollaremos procedimientos que permitan un fácil seguimiento del proceso; así como, identificaremos las principales falencias en que incurre el personal para generar una matriz de puntos de inspección (MPI) que ayude a todos los participantes de la construcción de una edificación realizar sus asignaciones de manera correcta.

Tabla 4. Matriz de puntos de inspección Obra Caminos del Inca 390 (Fuente propia)

MATRIZ DE PUNTOS DE INSPECCIÓN (MPI)									
PROYECTO : CAMINOS DEL INCA 390		UBICACIÓN : UBICACIÓN N° 01		ESPECIALIDAD: ESTRUCTURAS			N° DE REVISIÓN: 01		
ÍTEM	ACTIVIDAD	PUNTOS DE CONTROL (Qué controlar)	DOCUMENTOS DE REFERENCIA (Cómo controlar)	MÉTODO / EQUIPO (Con qué)	FRECUENCIA (Cuándo controlar)	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESPONSABLES (Quién controla)		DOCUMENTO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD
							Ejecuta	Controla	
1.00 LOSAS POSTENSADAS SISTEMA ADHERIDO									
1.01	ADQUISICIÓN DEL CABLE ACERADO Y ACCESORIOS	Grado dimensiones	Por definir	Wincha de mano	Por Lote	De acuerdo a lo indicado por el proveedor	Jefatura de producción	Jefatura de Calidad	Certificado de calidad
1.02	TRAZO Y REPLANTEO DE PUNTOS DE ANCLAJE	Referenciación de BM y Puntos de control	Procedimiento de Control Topográfico	Nivel Óptico Estación Total	De acuerdo a cronograma de Obra	De acuerdo a Especificaciones Técnicas y Planos	Jefatura de Producción	Jefatura de Calidad	Protocolo de reporte topográfico - LPT
1.03	COLOCACIÓN DE CABLEADO	Ubicación de ejes de ubicación de cables	Por definir	Por definir	Por punto de Anclaje	De acuerdo a lo indicado por el proveedor	Jefatura de Producción	Jefatura de Calidad	Protocolo de perforación de anclajes
1.04	TENSADO DE ANCLAJES	Presión del Tensado	Por definir	Por definir	Por punto de Anclaje	De acuerdo a lo indicado por el proveedor	Jefatura de Producción	Jefatura de Calidad	Protocolo de Tensado de Anclajes
1.05	INYECCION DE ANCLAJES POSTENSADOS	Longitud del anclaje / Inyección de lechada	Por definir	Por definir	Por punto de Anclaje	De acuerdo a lo indicado por el proveedor	Jefatura de Producción	Jefatura de Calidad	Protocolo de inyección de anclajes
1.06	POSTERIOR A LA INYECCION DE ANCLAJES POSTENSADOS	Ensayo de Resistencia a la Compresión	Por definir	Por definir	Por punto de Anclaje	De acuerdo a lo indicado por el proveedor	Jefatura de Producción	Jefatura de Calidad	Protocolo de resistencia a la compresión Probetas Cilíndricas de Concreto
1.07	POSTERIOR AL TENSADO DE ANCLAJES	Corte del Cable excedente	Por definir	Por definir	Por punto de Anclaje	De acuerdo a lo indicado por el proveedor	Jefatura de Producción	Jefatura de Calidad	Protocolo de Tensado de Anclajes
ELABORADO		JOSE LUIS TIPACTI HUAMANI - 19987219		FECHA ACTUALIZACIÓN : 30-06-18					

6.2. Protocolos de control.

La Matriz de puntos de inspección nos ofrece una excelente herramienta para identificar los puntos clave de control con el fin de garantizar un adecuado procedimiento constructivo, respetando en todo momento los parámetros adecuados de cada proceso. En ese sentido, los protocolos de control son las herramientas complementarias que nos permiten realizar el control detallado del procedimiento de acuerdo al orden predeterminado y de esta manera validar la participación de los responsables de la ejecución y supervisión. En éste documento también se debe anotar las particularidades que pudieran causar algún tipo de distorsión y que deben servir de retroalimentación para los procesos a futuro. La tabla 6.2 muestra un esquema típico de protocolo que puede ser modificado de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.

Tabla 5: Protocolo de control Obra Caminos del Inca 390 (Fuente propia)

FORMULARIO				
PROTOKOLO DE ENCOFRADO LOSAS POSTENSADAS				
PROYECTO: CAMINOS DEL INCA 390				N° CONSULTIVO: FECHA:
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:				
FUNDAMENTO: UBICACIÓN: COTA/ALTA: EQUIPO DE MEDICIÓN: N° SERIA/ACCESOS: N° DE CERTIFICADO: PLANO DE REFERENCIA:				
El resultado es: Medida: <input type="checkbox"/> Medida: <input type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/>				
Nombre del elemento usado:				
Se ha verificado que el encofrado cumple con:		Alternativas		Observación
		SI	NO	NO
Condiciones de uso				
Ángulos de superficie (ángulos, aceros, mortero resaca)				
Colocación de desmoldantes				
Se verificó dimensiones del encofrado (profundidad)				
Niveles, alfileres, verticalidad y alineación				
Verticalidad de la verticalidad y horizontalidad (nivel del terreno)				
Juntas seguras, juntas, hormigón, según especificaciones				
Falta de juntas de alineamiento o juntas en caso de deflexión				
Colocación de vigas y de vigas de apoyo o estructuras (estructuras aseguradas o vigas, etc.)				
Cilindros o tirantes bien fijados				
Trazo y niveles de la estructura				
Colocación de tacos de concreto, ángulos de alineamiento y aseguramiento de vigas				
Resquebrajamiento				
Conformidad de distribución de equipos y accesorios (hormigón, juntas, alfileres, etc.)				
Como fecha				
humedad en toda la superficie de contacto				
Observaciones generales:				
<input type="checkbox"/> Se sigue plan de ejecución				
ING. ESPECIALISTA		ING. DE CAMPO		JEFE DE CONTROL DE CALIDAD
Nombre:	Nombre:	Nombre:	Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
Assesor:	Asesor:			

CAPÍTULO 7

Problemas potenciales identificados.

7.1. Generalidades.

Para las personas que no están involucradas de manera directa en la industria de la construcción, al observar que continuamente se incrementan la cantidad de fallas en la construcción, pensarían que probablemente va disminuyendo de manera progresiva la capacidad del personal para construir correctamente. Esto no es cierto necesariamente, a pesar que el número de fallas y de problemas en general crece de manera progresiva, la cantidad total de fallas no lo hace de manera proporcional a lo construido.

Juzgar el origen del crecimiento de las fallas en construcción es una tarea complicada debido a las múltiples variables involucradas en la evaluación, la misma que no debe abordarse sin considerar cuidadosamente los siguientes puntos detallados a continuación:

- En la actualidad en la industria de la construcción se produce mucho más de lo que se ha construido en etapas previas.
- Se construye con mayor velocidad, debido a que cada vez los requerimientos del mercado son más exigentes en cuanto a plazos, el éxito o competitividad de muchas empresas depende en gran medida de éste factor.
- Debido al avance tecnológico actual, se llevan a cabo construcciones de mucha más complejidad que en el pasado.
- Aunque los esfuerzos realizados en la formación profesional son de muy buena calidad y muchos de ellos muy meritorios, su intensidad está muy por debajo no sólo de la necesaria para mejorar la calidad de la mano de obra, sino incluso de la imprescindible para mantenerla en su nivel actual, que no es satisfactorio del todo.
- Los planes de estudio universitario y la escasa oferta educativa de calidad, hacen poco probable de proporcionar a la industria de la construcción el número de profesionales bien preparados que ésta industria necesita.

- Frecuentemente aparecen materiales que después de una vida corta, son reemplazados por otros que presentan mayor interés. En medida importante esto impide adquirir una experiencia válida sobre su uso, claro que se mantiene en los técnicos la validez de la experiencia profesional general, pero decrece el valor de la experiencia concreta sobre ciertos materiales y procesos, por su corto período de uso (Calavera, 2005).

De acuerdo a la información mencionada listamos en el acápite siguiente algunos problemas potenciales que se identificaron durante el proceso constructivo de losas postensadas, para que se tomen en cuenta éstos factores y puedan controlarse o eliminar su impacto negativo durante la construcción.

7.2. Problemas identificados en el proceso constructivo.

7.2.1 Fisuras.

Destacamos que la densidad de fisuras detectadas en el proyecto Caminos del Inca 390 es bastante reducida; a pesar de ello, se identificaron en losas de sótanos algunas fisuras principalmente en la zona de las esquinas de la losa próximas a las zonas en contacto con los muros anclados. Esto se puede explicar debido a que la rigidez que transmite los muros debido a su confinamiento no permite que la losa disminuya su volumen; por lo tanto, tiende a fisurarse en las zonas más débiles como son sectores de ductos, esquinas o cambios de sección.

Debido a las características de las fisuras detectadas éstas son atribuibles a la retracción por secado del concreto, el cual consiste en la disminución de volumen que experimenta el concreto endurecido cuando está expuesto al aire con humedad no saturada, originado simultáneamente a reacciones químicas y a la reducción de humedad. Si esta disminución de volumen está restringida, el concreto tiende a fisurarse, que es lo que ocurre en aquellas fisuras que aparecen en las zonas indicadas.

Es importante mencionar que es tarea difícil determinar que la retracción por secado sea el origen de estas fisuras, ya que la observación tardía de fisuras tempranas debidas a retracción plástica, hace que estas sean clasificadas como fisuras de retracción por secado. Las fisuras

por retracción plástica se producen fundamentalmente entre la primera hora y las seis horas a partir de la colocación, especialmente cuando la evaporación del agua exudada es más rápida que la velocidad de acudida del agua de la masa interna a la superficie, frenada por la acción capilar en los poros del concreto.

Pero en este caso la mayoría de las fisuras aparecen después de 12 horas del vaciado, por lo que en este caso se puede descartar que se produzcan debido a la retracción plástica.



(a) Fisura en techo Sótano 2.



(b) Fisura en techo Sótano 3.



(c) Fisura en techo Sótano 4.

Figura 44. Fisuras presentadas en losas de sótano del proyecto (Fuente propia).

Se sabe que en la concepción de losas postensadas, uno de los factores de diseño es la restricción de fisuras en el concreto, a pesar de ello es recomendable atender los siguientes aspectos para colaborar con el mejor control de fisuras. Podemos destacar aspectos como el concreto empleado que generalmente viene especificado por resistencia y por requerimientos necesarios para su correcta colocación; sin embargo, para iguales características de resistencia y colocación, el mercado ofrece concretos con comportamientos completamente

diferentes frente a la retracción. Es recomendable insistir en el empleo de concretos que experimenten menor retracción.

Por otro lado se recomienda disponer una malla correspondiente a la cuantía mínima de acero convencional, ésta medida es aplicable a todas las losas post-tensadas. Por último, se sugiere incluir fibras de polipropileno, a pesar que en éste caso no existe normativa que indique la cantidad mínima para garantizar un buen comportamiento a la fisuras, se aconseja su empleo en concentraciones de 600 – 900 gr/m³. Las medidas recomendadas para incluir malla de acero convencional y fibras de polipropileno no son excluyentes.

7.2.2 Definición de eje de corte para ubicar de zona de anclaje.

En éste capítulo se busca desarrollar la problemática encontrada cuando por necesidad de ubicación de ejes de tensado se produce la aglomeración de puntos de anclaje, en éste momento es adecuado convertir una cajuela para un punto de tensado en un seccionamiento continuo en la losa, con el fin de ubicar el eje de tensado y otorgar practicidad al proceso de encofrado de losas.

Otro punto a mencionar es lo referido a la ubicación, la propuesta inicial de eje de anclaje fue en la parte central de la losa. Al tomar en cuenta el proceso constructivo convencional se identificó que generaría gran congestión y problemas para el normal desarrollo de otras partidas como encofrado de columnas y losas. Por lo que la decisión fue la mejor opción adoptada para la Obra.

7.2.3 Deflexiones inmediatas.

El procedimiento constructivo de losas postensadas aseguran desde su concepción se desarrolle un mejor control de las deflexiones, sin embargo éste comportamiento tiene como punto de partida el momento del tensado de la losa, es decir cuando el concreto ha superado la etapa de maduración hasta lograr la resistencia a la compresión adecuada para proceder con el proceso de tensado. Es válido indicar que podemos identificar un período entre el vaciado, fraguado y tensado, en el cual la losa presenta comportamiento similar a las losas

convencionales en su etapa de endurecimiento, debido a ésta causa la losa se encuentra expuesta al control de deflexión que ofrece el sistema de encofrado utilizado frente al peso propio del elemento.

Otro factor importante a considerar es la sobrecarga a la que está expuesta una losa recién construida debido a la carga de materiales que componen la estructura inmediata superior, en proyectos en los que el área es una limitación los materiales muchas veces deben ser colocados en las áreas recientemente colocadas. Consecuentemente, es vital asegurar un buen control de las deflexiones durante ésta etapa, que viene dado por el control previo al vaciado, control diario de deflexiones y un correcto proceso de desapuntalamiento. Estas 3 etapas de control determinarán la posibilidad de mantener la losa dentro de los parámetros adecuados de deflexión, previo al tensado del elemento, etapa en la que la losa será capaz de resistir éstos requerimientos de forma adecuada.



Figura 45. Proceso de control de deflexiones en etapa previa al tensado (Fuente propia).

7.2.4 Colocación de cables de tensado.

En este acápite se tratará los problemas identificados durante la colocación de cables de tensado, que viene relacionado comúnmente con la interferencia durante compatibilización con otras especialidades como: instalaciones eléctricas, sanitarias y mecánicas.

Para minimizar éste impacto en el proyecto tanto en tiempo como en costo, actualmente se cuentan con potentes herramientas como programas de dibujo y diseño en 3D, y por otro lado

sistemas de gestión como BIM; sin embargo, depende de la organización de la empresa y los alcances del plan de construcción emplear las herramientas adecuadas para mitigar su impacto en el proyecto.

En el proyecto Caminos del Inca, se propuso desde el inicio de la construcción permitir el empotramiento de tuberías eléctricas que no superen las 2" y sólo en sectores que no influyan en los ejes principales de ubicación de ejes de tensado; sin embargo, como el proyecto está supeditado a cambios y modificaciones por parte del cliente, éstos problemas se presentan con relativa frecuencia. En la figura 46 se puede apreciar la colocación de tuberías eléctricas y pases necesarios para instalaciones sanitarias.

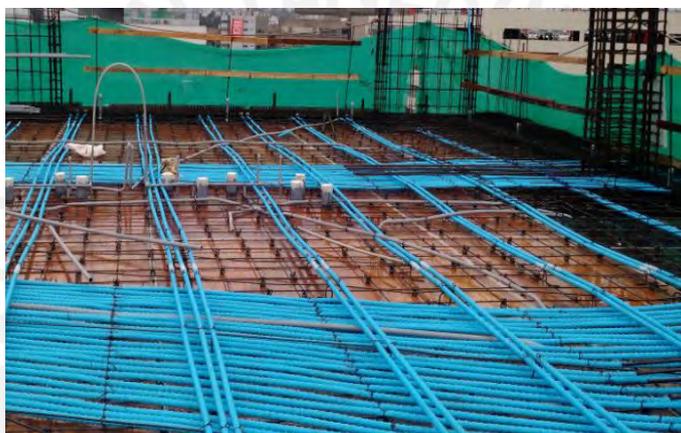


Figura 46. Instalaciones eléctricas y pases sanitarios en losas postensadas (Fuente propia).

7.2.5 Cables de tensado de corta longitud.

En éste acápite se presentará el procedimiento de solución en el caso en el cual se ha identificado un cable tensor con menor longitud del requerido, y por lo tanto fue necesario realizar un empalme de manera adecuada con la finalidad de complementar el eje de tensado indicado en el proyecto.

Durante el proyecto Caminos del Inca 390 nos enfrentamos a 2 eventos en los que se sucedió éste tipo de problemática. El primer evento se presentó cuando el proveedor desde su almacén envió a obra un cable tensor con la longitud de desarrollo menor a lo especificado, al detectarse este problema durante la etapa de revisión de la losa previo a la colocación del concreto es posible corregirlo con la implementación de un punto de tensado central en el eje

del cable añadiendo para ello una cajuela de tensado en la posición adecuada, éste proceso requiere la colocación de dos anclajes perimetrales. Sin embargo, ésta solución no se puede emplear cuando el cable de tensado queda corto posterior al vaciado por algún daño involuntario del cable durante el proceso constructivo. En la figura 47 se puede apreciar la posibilidad de implementar un empalme y la secuencia constructiva para lograr un adecuado estándar.



Figura 47. Proceso de empalme de cables postensado usando cajuelas (Fuente propia).

CAPÍTULO 8

Procedimientos de reparación y refuerzo.

8.1. Diferencia entre reparación y refuerzo.

Aunque la patología de las obras de concreto armado, como estudio de las causas, gravedad y evolución previsible de los defectos presentados por una construcción, es de aplicación válida a toda situación de daño, conviene distinguir bien entre lo que es reparación y refuerzo.

Entendemos por reparación la readquisición por los elementos de la obra dañados, de la capacidad de dichos elementos que tenían antes de producirse el daño, para cumplir su función. Por otro lado, entendemos por refuerzo el incremento de la capacidad que un elemento no dañado tiene para cumplir su función, hasta niveles más altos de dicha capacidad (Calavera, 2005).

Como puntos importantes que debemos considerar y que además están involucrados de manera implícita en nuestros procedimientos podemos mencionar los siguientes:

- El grado de capacitación del personal que interviene en el proceso de reparación y/o refuerzo debe ser el óptimo.
- En todo el proceso de reparación y refuerzo se debe interactuar con equipos multidisciplinares.
- En la mayoría de procedimientos se nota la ausencia de normativa para los procesos de rehabilitación y/o refuerzo.

8.2. Procedimiento de reparación.

Cuando una losa es reforzada con tendones adheridos, los procedimientos para reparar son similares a aquellos empleados para losas reforzadas convencionalmente, y por lo tanto las mismas precauciones deben aplicarse durante su ejecución. El acero postensado está adherido al concreto que lo rodea en la misma manera que lo está el acero de refuerzo convencional; por lo que una vez en servicio, las funciones del acero postensado se parecen

mucho al del acero convencional. Aunque no se debe olvidar que existen algunas importantes diferencias funcionales.

En particular en el estado límite de esfuerzo, los cables de refuerzo postensados son capaces de desarrollar aproximadamente cuatro veces el esfuerzo que los refuerzos convencionales, es por ello que cortar un cable postensado puede ser mucho más perjudicial que cortar una barra de refuerzo convencional.

Adicionalmente, los cables de refuerzo postensado proveen de precompresión local, el mismo que es beneficioso para la mitigación de fisuras, ésta precompresión se pierde si el cable de la sección es removido o dañado; sin embargo, al cortar el cable adherido la contribución original a la precompresión no desaparece por completo. La precompresión de cada cable se encuentra disperso en la losa cuando los cables son esforzados, así que una vez que el tendón es cementado ésta precompresión se asegura en el sistema de losa. Cuando un tendón es cortado, se generará una reducción local en la compresión, sin embargo la compresión proporcionada por el cable remanente se mantendrá. Además, desde ese punto es generalmente más de un cable postensado suministrará compresión complementaria. Como se muestra en la figura 8.1, la compresión perdida en un cable no elimina la compresión suministrada en el piso completo, incluso en las zonas adyacentes al corte (Aalami, 2014).

8.3. Procedimiento de refuerzo.

El procedimiento de refuerzo generalmente consiste en exponer los tendones afectados, cortándolos cuidadosamente; para luego proceder a aplicar re-esfuerzo y finalmente retomando sus puntos de anclaje en la cara del corte. La secuencia del procedimiento de trabajo dependerá del número de tendones que necesiten ser cortados en el sector que requiera ser reparada o de una nueva abertura. Como en toda reparación o rehabilitación de cualquier tipo en sistema de pisos, el trabajo debe ser realizado por un equipo especializado en ésta clase de estructuras.

En el caso de remodelaciones de un sistema de losas postensadas con tendones adheridos tomando en cuenta que en el proyecto contamos con losa postensada en dos direcciones se

presenta un caso particular cuando se necesita aperturar un nuevo espacio para la construcción de por ejemplo una escalera. El procedimiento recomendado es identificar los cables tensados que serán tratados para continuar con el corte y exposición, medir la longitud necesaria para retensar, remover el concreto que debe ser retirado para generar la nueva abertura y volver a anclarlas en los frisos de borde. Éste procedimiento debe ser realizado por una empresa especializada, de preferencia la empresa que realizó el proceso de postensado en primera instancia como se muestra en la figura 49.

(a) Corte y picado,
previo apuntalamiento.



(b) Encofrado y refuerzo
de acero.



Figura 48. Proceso de apertura de vano en losa postensada (Fuente Aalami, 2014).

CAPÍTULO 9

Conclusiones y recomendaciones.

9.1. Conclusiones.

- A partir del análisis económico se puede identificar que la partida de losa postensada es más costosa en comparación a las partidas tradicionales de losa aligerada (15%) o losa maciza (20%) como elemento individual; sin embargo, si se toma en consideración el sistema completo, es decir al incluir en el análisis los elementos estructurales complementarios como vigas y capiteles, el sistema de losas postensadas resulta en un procedimiento más económico para luces mayores a 6m. dada su menor densidad de vigas.
- El sistema de losas postensadas no adheridas, requieren para su construcción de dividir el proyecto en sectores relativamente amplios, como mínimo de 300m². Debido a que es necesario incluir los elementos de anclaje y tensado en el mismo sector de vaciado de concreto, con la finalidad de lograr ciclos adecuados de vaciado.
- El sistema de losas postensadas no adheridas permite realizar el anclaje y tensado posterior a la colocación de concreto al alcanzar la resistencia de diseño, sin restringir la ejecución de la losa inmediata superior; debido a ello es factible mejorar tiempos y volúmenes de construcción en comparación con los sistemas de construcción de losas tradicionales.
- Para proyectos similares al Edificio Caminos del Inca 390 que por disposiciones normativas municipales cuentan con una altura máxima de construcción, el sistema de losas postensadas garantiza la posibilidad de reducir el peralte de secciones de los elementos horizontales y construir un piso adicional. De ésta manera fue posible contar con mayor área útil manteniendo la altura, y por lo tanto el proyecto inmobiliario fue mucho más rentable.
- Las reparaciones o modificaciones en losas postensadas son factibles de realizar a pesar que no existe normativa explícita para ello. Seguir las recomendaciones del diseñador y

contar con personal capacitado son dos puntos necesarios para lograr buenos resultados, de esta manera se otorga al sistema la flexibilidad necesaria para ser tomado como opción principal en la construcción de losas para edificio de oficinas y estacionamientos.

9.2. RECOMENDACIONES.

- En el procedimiento constructivo de losas postensadas es muy recomendable controlar la magnitud de la deflexión inmediata luego de la colocación de concreto dado que es un factor muy sensible, debido a la esbeltez del elemento y la velocidad del procedimiento constructivo actual. Éste factor puede convertirse en un punto crítico sin un adecuado seguimiento, inclusive impedir desarrollar las características inherentes de la losa postensada como control de fisuras y deflexiones posteriores cuando se realice el proceso de tensado.
- Para lograr un producto adecuado con el sistema de losas postensadas es recomendable contar con personal capacitado adecuadamente, dado que la capacitación del personal técnico y obrero para realizar un adecuado control del proceso constructivo de losas postensadas es mayor al requerido para la construcción de losas tradicionales; sin embargo, se debe perder el miedo a pensar que es un proceso muy complicado.
- Evitar realizar modificaciones en la losa postensada, aunque de ser estrictamente necesario se debe consultar con el diseñador y de manera complementaria se recomienda seguir el procedimiento planteado en éste estudio.

CAPÍTULO 10

Referencias bibliográficas.

- Aalami, B. O. (2014). Post-tensioned buildings: design and construction. [California]: PT-Structures.com, 2014.
- Bondy, K. B. (2014). The State of Post-Tensioned Concrete Education. *Concrete International*, 36(10), 33-36.
- Brioso, X. et al. (2018). Using Post-Occupancy Evaluation of Housing Projects to Generate Value for Municipal Governments. *Alexandria Engineering Journal*, 57 (2), pp. 885-896.
- Brioso, X. and Humero, A. (2016). Incorporating Lean Construction agent into the Building Standards Act: the Spanish case study. *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal*, 8 (2016), Issue 1, pp. 1511-1517.
- Brioso, X. (2017). Synergies between Last Planner System and OHSAS 18001 - A general overview. *Building & Management*, 1 (2), pp. 24-35.
- Brioso, X., Murguía, D. & Urbina, A. (2017). Comparing three scheduling methods using BIM models in the Last Planner System. *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal*, 9 (2017), Issue 1, pp. 1604–1614.
- Brioso, X. (2013). Integrando la Gestión de Producción y Seguridad. XII Congreso Latinoamericano de Patología y XIV Congreso de Calidad de la Construcción - CONPAT 2013. Cartagena, Colombia, 30 Sep-4 Oct 2013. Cartagena, Colombia: ALCONPAT Internacional.

- Brito, R. (2018). Control y seguimiento de los procesos constructivos aplicados a losa flotante y losa postensada para un edificio empresarial de oficinas, ubicado en la ciudad de Lima. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Calavera, R. J. (2005). *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado*. Madrid: INTEMAC. Pág. 254. Figura 7-1.1.
- Gales, Jhon (2014). *Structurale Fire Performance of Post-tension*.
- Gallegos, Héctor. (2006) – *La Ingeniería*. 2da. Edición. Lima: GACQ Fondo Editorial.
- Ghio, Castillo Virgilio. (2001). *Productividad en Obras de construcción: Diagnóstico, crítica y propuesta*. Lima: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica.
- Harmsen, T. E. (2017). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial.
- Hill, L. A. (1978). *Fundamentos de diseño estructural: Acero, concreto y madera*. México: Representaciones y Servicios de Ingeniería.
- Ingeniería Real (2018). Disponible en: <https://ingenieriareal.com/proceso-de-instalacion-de-una-losa-postensada/> Visita: 20/02/2018.
- Lainez-Lozada, R. (2002). Optimización en edificaciones mediante el uso de losas y vigas postensadas. *Revista El Ingeniero Civil*. Colegio de Ingenieros del Perú. Enero-Febrero 2002.
- Merchán, Gabaldón Faustino. (2000). *Manual de control total de calidad en la construcción*. Madrid: SL. CEI Inversiones editoriales
- VSL Peru (2016). *Manual de construcción de losas postensadas*.
- American Concrete Institute (ACI) Committee 318. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318–18)*; American Concrete Institute (ACI): Farmington Hills, MI, USA, 2014.

- Euro-International Committee for Concrete (CEB). CEB-FIP Model Code; Thomas Telford Services Ltd.: Lausanne, Switzerland, 1993.
- ISO. (2008). *Sistema de gestión de calidad 9001*. 4ta. edición. Ginebra. ISO copyright office.
- OHSAS 18001:2007. (2007). *Sistemas de seguridad y salud en el trabajo – requisitos*. 1ra. Edición. Madrid: AENOR ediciones.

