

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**APLICACIÓN DEL SISTEMA POSTENSADO EN LOSAS DE  
CONCRETO ARMADO EN EL PROYECTO: EDIFICIO  
CORPORATIVO GYM**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**YULIANA EDITH TORRES LUJÁN**

**Lima-Perú**

**2015**

## **Dedicatoria**

La presente investigación se la dedico a mi familia.

A mis padres y hermanos por su apoyo y confianza en todo lo necesario para cumplir mis objetivos como persona y estudiante.

A mis padres por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor.

	<b>Págs.</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN... ..</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO I: ANTECEDENTES.....</b>	<b>7</b>
1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	7
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	8
1.3 ALCANCES DEL PROYECTO.....	11
1.4 EVALUACIÓN DEL USO DEL SISTEMA POSTENSADO EN EL PROYECTO .....	14
<b>CAPÍTULO II: IMPLEMENTACIÓN DEL USO DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS EN OBRA.....</b>	<b>17</b>
2.1. USO DEL SISTEMA POSTENSADO EN EDIFICACIONES EN EL PERÚ	17
2.2. SISTEMA POSTENSADO EN LOSAS DE CONCRETO ARMADO .....	19
2.3. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	27
2.4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA POSTENSADO.....	32
<b>CAPÍTULO III: PLANEAMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA DE LOSASPOSTENSADAS.....</b>	<b>47</b>
3.1. SECTORIZACIÓN DE LOSAS POSTENSADAS .....	47
3.2. LOOKAHEAD Y TREN DE ACTIVIDADES .....	48
3.3. RATIOS DE PRODUCTIVIDAD: ACERO, ENCOFRADO Y CONCRETO.	49
3.4. COMPARACIÓN DE PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADA CON EL SISTEMA CONVENCIONAL .....	57
3.5 ANÁLISIS DE AHORRO EN TIEMPO USANDO EL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS.....	58
<b>CAPÍTULO IV: ANALISIS DE COSTO DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS RESPECTO A LAS LOSAS MACIZAS TRADICIONALES.....</b>	<b>59</b>
4.3. EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES DE MAYOR INCIDENCIA .....	59
4.4. COSTOS DE LAS ACTIVIDADES DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS.....	63

4.5. COMPARATIVO DE COSTOS DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS CON EL SISTEMA TRADICIONAL .....	64
4.6. GRÁFICAS Y ANÁLISIS DE AHORRO.....	65
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	71
5.2 RECOMENDACIONES .....	72
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

## RESUMEN

Debido a la necesidad de grandes luces en los sótanos, que faciliten la circulación de los carros en estacionamientos, tener la altura libre mínima de 2.10m según requerimientos de Reglamento Nacional de Edificaciones, se opta por un sistema postensado en losas, que permita un ahorro en la excavación, tener mayores distancias entre columnas, eliminar vigas, mejorar la productividad y reducir costos.

En este informe se dará a conocer la implementación del sistema postensado en losas de concreto armado, evaluando y analizando la productividad, costos, a través de comparaciones de este sistema respecto al sistema de losas macizas tradicionales para un proyecto de oficinas en Lima, en la etapa de subestructura (sótanos), Se proporcionarán las ventajas y desventajas del uso de este sistema y para qué casos es conveniente utilizarlo, aprovechando el ahorro en costos y mejorando la productividad de la obra.

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Págs.</b>
Figura Nº 1: Plano de ubicación del Edificio.....	7
Figura Nº 2: Vistas desde el interior del terreno .....	8
Figura Nº 3: Frontis de la Edificación .....	9
Figura Nº 4: Cronograma de obra .....	11
Figura Nº 5: EDT del proyecto (Estructura detallada del Trabajo).....	13
Figura Nº 6: Análisis de Pareto-Distribución de costos en sótanos .....	14
Figura Nº 7: Elevación de estacionamientos .....	15
Figura Nº 8: Alturas que cumplen con diseño y norma.....	16
Figura Nº 9: Alturas que cumplen con diseño pero no norma.....	16
Figura Nº 10: Altura final usando postensado .....	16
Figura Nº 11: Vista en planta de la rampa.....	17
Figura Nº 12: Planta de la losa postensada .....	19
Figura Nº 13: Distribución de esfuerzos a través de una sección de concreto preesforzada excéntricamente .....	20
Figura Nº 14: Viga de concreto .....	21
Figura Nº 15: Sistema adherido del postensado .....	22
Figura Nº 16: Anclaje encapsulado en polietileno de alta densidad con tapón hermético engrasado para tendones No Adheridos.....	23
Figura Nº 17: Viga preesforzada .....	25
Figura Nº 18: Momentos flexionantes a lo largo de vigas presforzadas simplemente apoyadas .....	26
Figura Nº 19: Esfuerzos al centro de luz .....	27
Figura Nº 20: Diagrama de flujo del proceso de vaciado de concreto premezclado .....	32
Figura Nº 21: Colocación de trazo de tendones .....	35
Figura Nº 22: Colocación de tendones.....	39
Figura Nº 23: Colocación de acero de refuerzo.....	39
Figura Nº 24: Vaciado de concreto.....	40
Figura Nº 25: Tensado de tendones.....	45
Figura Nº 26: Sectorización de losas postensadas .....	47

Figura N° 27: Lookahead de 4 semanas .....	48
Figura N° 28: Lookahead de 4 semanas .....	49
Figura N° 29: Gráfico ratio de acero .....	50
Figura N° 30: Metrado de acero horizontal .....	50
Figura N° 31: Gráfico ratio de encofrado .....	51
Figura N° 32: Gráfico ratio de concreto .....	53
Figura N° 33: Gráfico ratio de instalación de tendones .....	54
Figura N° 34: Gráfico ratio de tensado .....	55
Figura N° 35: Gráfico ratio de inyección .....	56
Figura N° 36: Comparación de partidas de sistemas de losas macizas y sistemas de losas postensadas .....	57
Figura N° 37: Actividades relacionadas directamente .....	59
Figura N° 38: Plano tradicional de estructuras .....	59
Figura N° 39: Plano de postensado .....	60
Figura N° 40: Curva de variación de costos .....	70
Figura N° 41: Curva de ahorro .....	70

## INTRODUCCIÓN

El auge de la construcción en nuestro país ha sido uno de los factores que ha incentivado a las empresas relacionadas con la ingeniería y la construcción, a desarrollar nuevos procesos constructivos que mejoren cada vez más la eficiencia de diversos proyectos, optimizando de esta manera una serie de recursos como materiales, mano de obra y equipos, reduciendo el tiempo de ejecución.

El concreto postensado se ha convertido en una alternativa interesante para optimizar procesos constructivos aplicados a diferentes tipos de estructuras de concreto armado. En nuestro país es utilizado en la construcción de puentes y losas.

Los edificios que más se construyen son para uso de oficinas y vivienda. En ambos casos la cantidad de estacionamientos que requieren se incrementan de acuerdo a la demanda de vehículos particulares. El aumento de estos vehículos del 2007 al 2012 fue de 50%, es por ello que actualmente se construye mayor número de sótanos en los edificios para satisfacer la demanda de estacionamientos.

Éste documento tiene la finalidad de dar a conocer las ventajas de aplicar el sistema postensado en estructuras de concreto armado, y su aplicación en el sótano del Proyecto: Edificio Corporativo GyM, donde se obtuvieron buenos resultados económicos y ahorro en tiempo, además se optimizó el proceso constructivo integrándolo a los trenes de trabajo.

Dentro de los objetivos específicos se tiene:

- Estudiar los beneficios de la utilización de este nuevo sistema de postensado respecto a tiempos y costos.
- Estudiar y evaluar la productividad de la losa postensada en su proceso constructivo
- Estudiar y analizar el ahorro económico respecto a un sistema de concreto reforzado tradicional.
- Estudiar el impacto de la utilización de este sistema en obra.



## CAPITULO I: ANTECEDENTES

### 1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El cliente, la Holding Graña y Montero S.A.A. representada por su Inmobiliaria Viva GyM S.A. adquiere el terreno ubicado en la Av. Petit Thouars N° 4951 – 4957, del distrito de Miraflores, provincia de Lima, departamento de Lima (Figura 1), en las siguientes condiciones:



Figura 1: Plano de ubicación del Edificio

(Proyecto: Edificio Corporativo – GyM-) Fuente: Imagen Google Maps

- Edificación existente de 2 pisos en el frontis del terreno.
- Edificación existente de 1 piso en el frontis del terreno que viene a ser la subestación N° 41 perteneciente a Luz Del Sur.
- El área era usado como grifo.

Para la compra del terreno (área que no comprendía la subestación) se consideró realizar una compra posterior del área de la subestación a Luz Del Sur y únicamente realizar una demolición del mismo. Luz Del Sur no tenía intención de vender el terreno y dejar de suministrar energía a una zona de Miraflores, por tal motivo se tuvo que llegar a un acuerdo entre Viva GyM y Luz Del Sur que consiste en acondicionar un ambiente definitivo ubicado en el sótano 1 del edificio a construir para que Luz Del Sur traslade la subestación, el costo del servicio de traslado será asumido por Graña y Montero S.A.A. y bordea el 15% del costo por la compra del terreno y el 3% del presupuesto contractual del edificio.

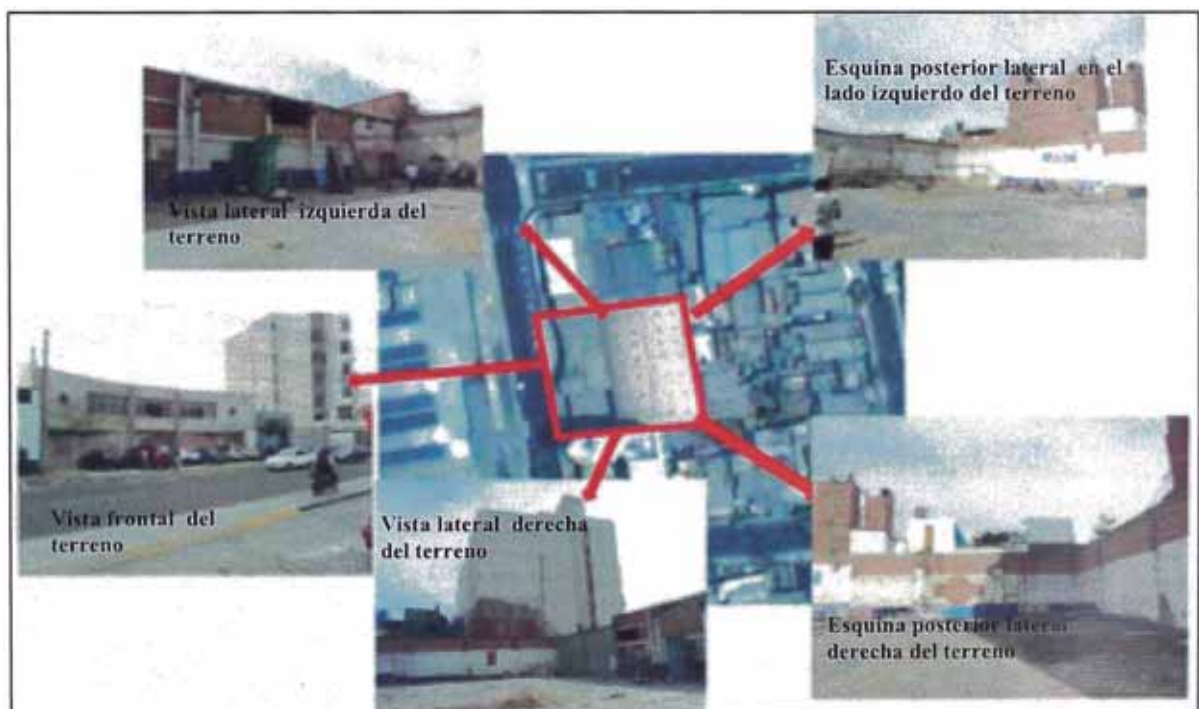


Figura 2: Vistas desde el interior del terreno

Fuente: Fotografías propias/Imagen Google Maps

## 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “Edificio Corporativo GyM” consiste en la construcción de un edificio para oficinas de uso exclusivo para las empresas del Grupo Graña y Montero, la construcción pretende iniciarse con la reubicación de la sub estación N° 41 de Luz del Sur mediante pilotes excavados y aplicando el concepto Top Down para suspenderla e iniciar la excavación masiva y estabilización de taludes mediante muros anclados.

La construcción del edificio consta de 4 sótanos más 1 nivel de cisternas haciendo uso de losas postensadas y concreto armado, la colocación de deslizadores (debajo de la zapata del ascensor) y aisladores sísmicos en el nivel  $\pm 0.00$  para aislar la estructura del sótano y la estructura de la torre que consta de 7 pisos más un nivel de azotea haciendo uso de prelosa, concreto armado y escaleras prefabricadas (Figura 3).



*Figura 3: Frontis de la Edificación*

*Fuente: Modelo BIM GYM*

### **a. Ubicación**

Av. Petit Thouars N° 4951 – 4957, del distrito de Miraflores, Provincia y Departamento de Lima.

### **b. Datos técnicos**

- Área del terreno: 1,698.75 m<sup>2</sup>.
- Área techada: 17,233 m<sup>2</sup>

### **c. Plazo de Ejecución**

12.5 meses de ejecución de obra que se computará al momento de ocurrir el último de los siguientes eventos:

- Firma del contrato.
- Notificación del concesionario al constructor para el inicio a los trabajos de construcción.
- La entrega del inmueble por parte del concesionario.
- Estudio de suelos definitivo.
- Proyecto definitivo.
- Remoción por parte de Luz del Sur de la sub estación ubicada dentro del terreno de Obra.
- Acuerdos de reubicación de los vecinos colindantes que se verían afectados como consecuencias de la ejecución de la obra.

### **d. Principales hitos**

- Acuerdos de reubicación con vecinos.
- Remoción de Sub estación.
- Inicio de obra.
- Colocación de aisladores sísmicos.
- Entrega de obra.



2. Sótanos
  - 2.1. Excavación y estabilización.
  - 2.2. Estructura de concreto armado
  - 2.3. Instalaciones
  - 2.4. Acabados
3. Torre
  - 3.1. Estructura de concreto armado.
  - 3.2. Instalaciones.
  - 3.3. Acabados
  - 3.4. Fachada
4. Obras provisionales
  - 4.1. Obras preliminares.
  - 4.2. Servicios generales
  - 4.3. Campamentos.
  - 4.4. Equipos.

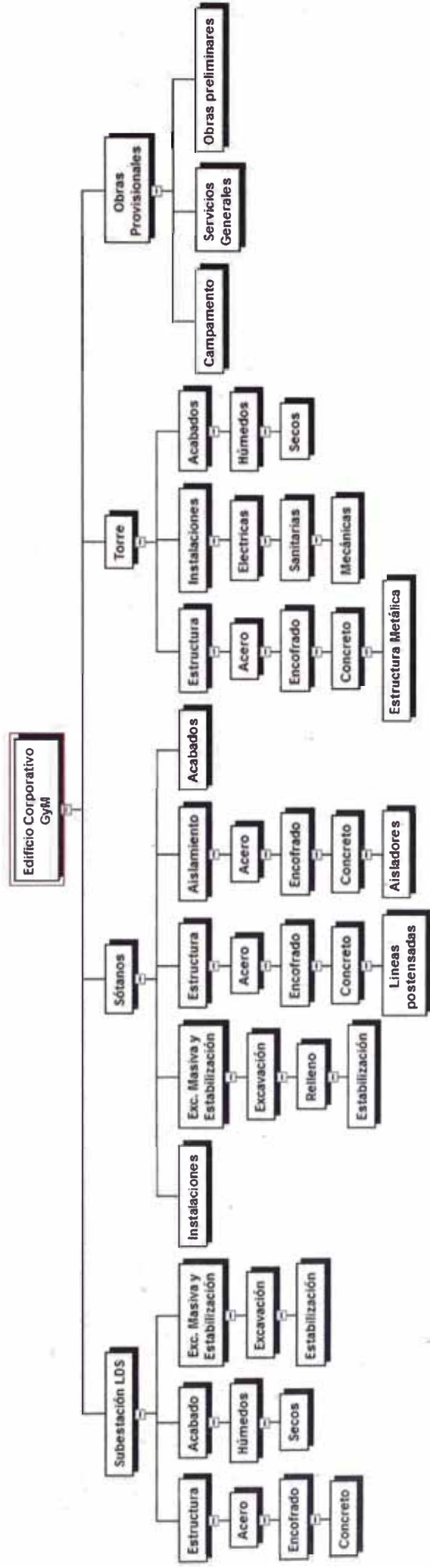


Figura 5: EDT del proyecto (Estructura detallada del Trabajo) -Fuente: Proyecto Edificio Corporativo Gym

## 1.4. EVALUACIÓN DEL USO DEL SISTEMA POSTENSADO EN EL PROYECTO

Con la ayuda del análisis de Pareto y su gráfica se observa cuáles son las actividades más incidentes en el costo de un proyecto de oficinas en la etapa de sótanos.

1. Anclajes de muros
2. Concreto premezclado
3. Acero
4. Excavación masiva
5. Encofrado y desencofrado

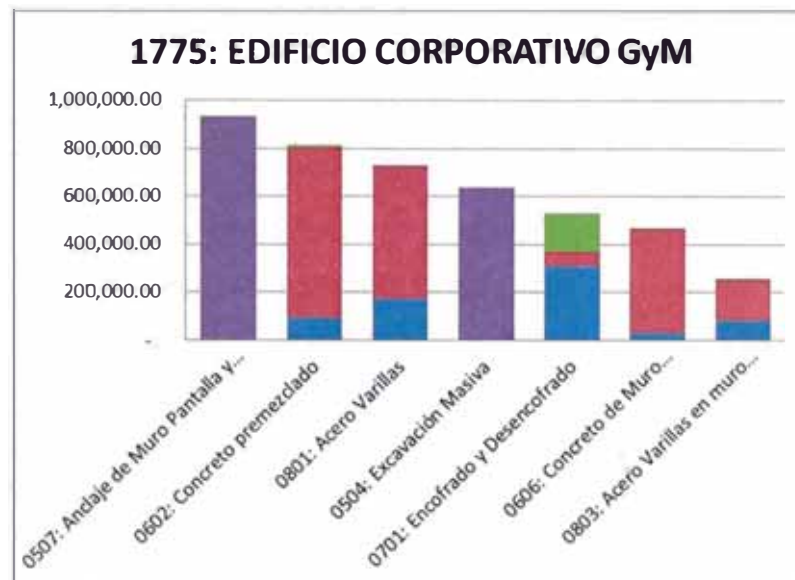


Figura 6: Análisis de Pareto-Distribución de costos en sótanos-Fuente Propia

Los costos de estas actividades están en función a la profundidad de excavación a realizar, entonces, si hay una modificación de la profundidad de excavación para una misma área habrá una variación del costo ( $\Delta$ Costo), entonces ¿se podrá reducir la profundidad sin afectar el alcance contractual del proyecto?

Se debe tener en cuenta los siguientes requerimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) para la reducción de la profundidad de excavación en un proyecto de oficinas con 4 sótanos.



1. La profundidad de excavación es la suma de alturas de cada nivel del sótano.

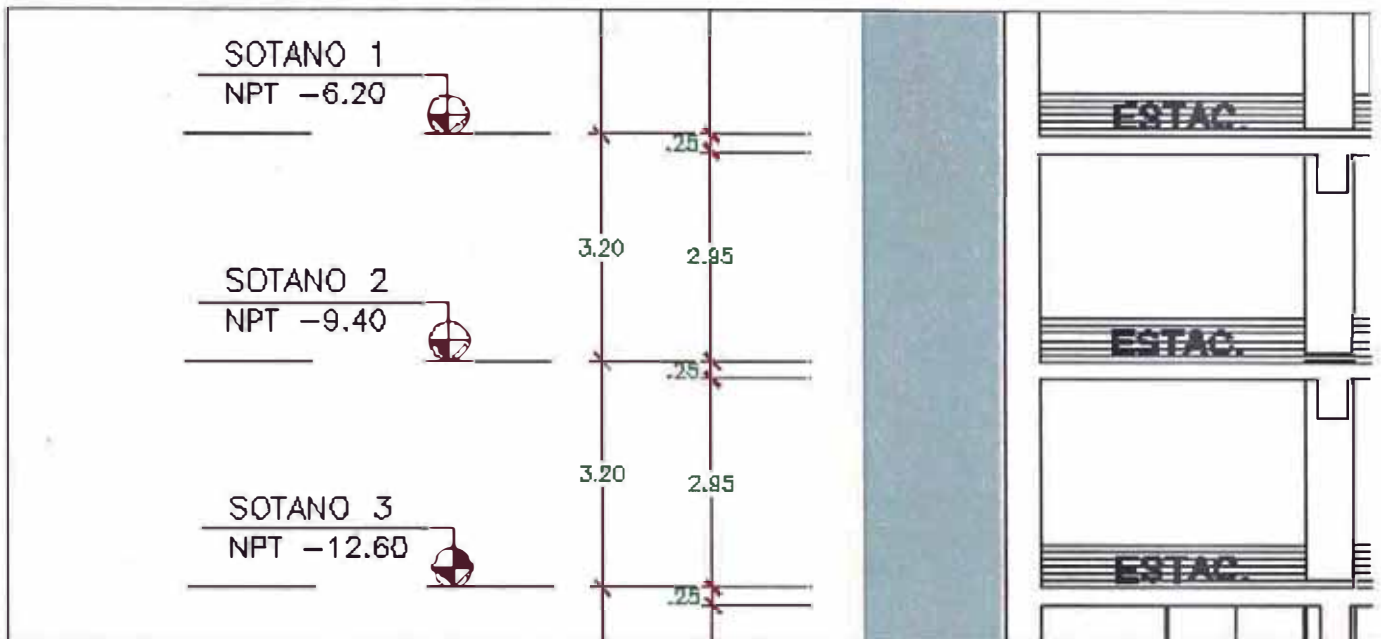


Figura.7 Elevación de estacionamientos Fuente: Planos de arquitectura del proyecto

2. La altura mínima entre fondo de losa y piso terminado debe ser 2.30m (RNE, CAPITULO IV, Artículo 22).
3. Las vigas y dinteles, deberán estar a una altura mínima de 2.10m sobre el piso terminado (RNE, CAPITULO IV, Artículo 24).
4. La altura libre mínima de un espacio de estacionamiento es de 2.10m (RNE, CAPITULO XI, Artículo 65).

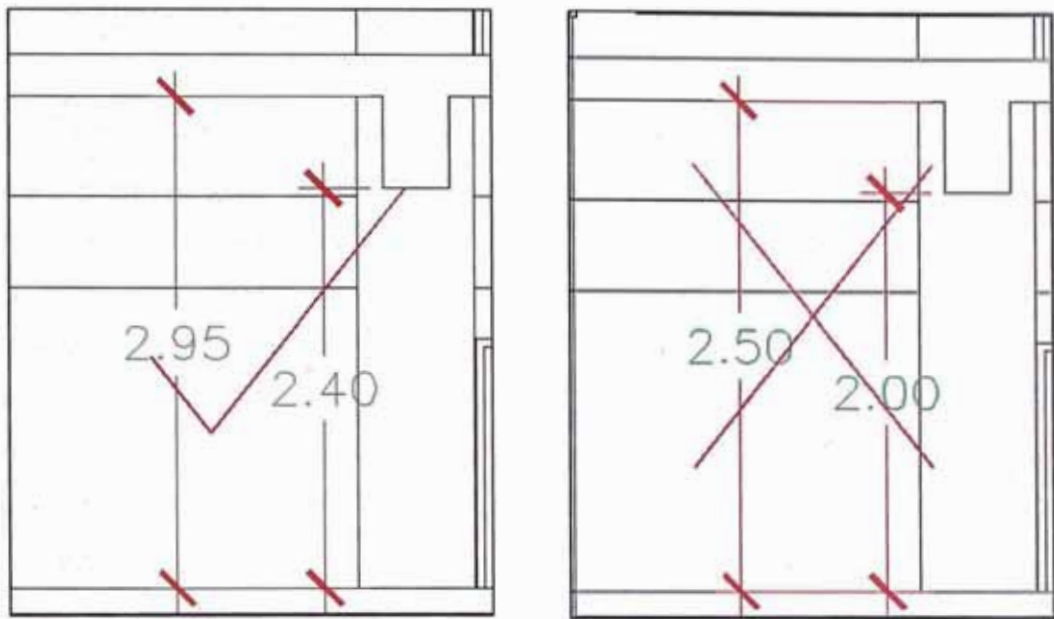


Fig.8 Alturas que cumplen diseño y norma Fig.9 Alturas que cumple diseño pero no norma  
Fuente: Planos de arquitectura del proyecto

5. Para reducir la profundidad de excavación se tiene que reducir la altura entre cada piso sin incumplir la norma, lograr este objetivo implica optar por lo mostrado en la fig.4 omitiendo la viga estructural.

**El uso de postensado nos ayuda a lograr este objetivo**

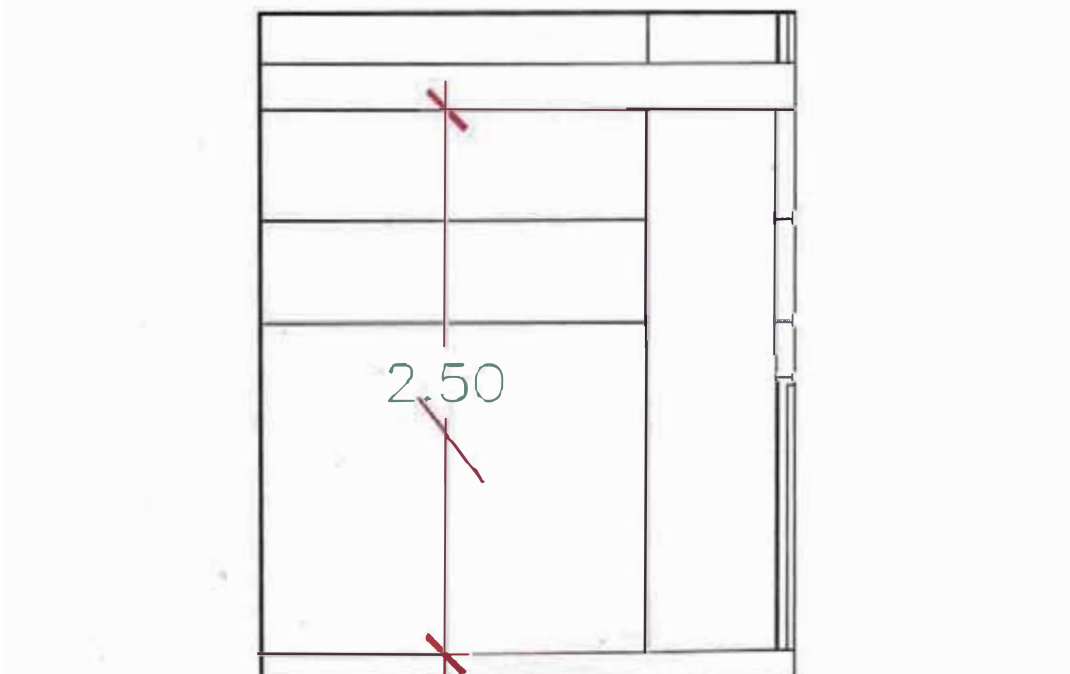


Fig. 10 Altura final usando postensado  
Fuente: Planos de arquitectura del proyecto

## CAPITULO II: IMPLEMENTACIÓN DEL USO DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS EN OBRA

### 2.1. USO DEL SISTEMA POSTENSADO EN EDIFICIOS EN EL PERÚ

Cada vez es más frecuente en el Perú el uso de losas y vigas postensadas debido a los aportes que brinda este diseño en temas de: mayor espaciamiento entre apoyos, mayor capacidad de carga, menores dimensiones de los elementos y reducción de la cuantía de acero. El sector comercial actual es el principal impulsor en el uso de este diseño debido a las características de sus locales y almacenes, buscando principalmente mayor área libre entre apoyos y así conseguir un diseño más eficiente para los usos requeridos.

- **Obra: Clínica Delgado-Lima**

El proyecto CLINICA DELGADO consiste en la construcción de un edificio de 10 pisos y otro de 4, además de 5 sótanos.

Inicialmente las rampas de acceso vehicular consistían en placas colaborantes de 15 cm de espesor apoyadas sobre perfiles metálicos tipo W22X55, y estos a su vez apoyados en placas de concreto armado.

La altura de entre piso para los sótanos 5, 4,3 de 3.1m y de 4.25m para el sótano 2.

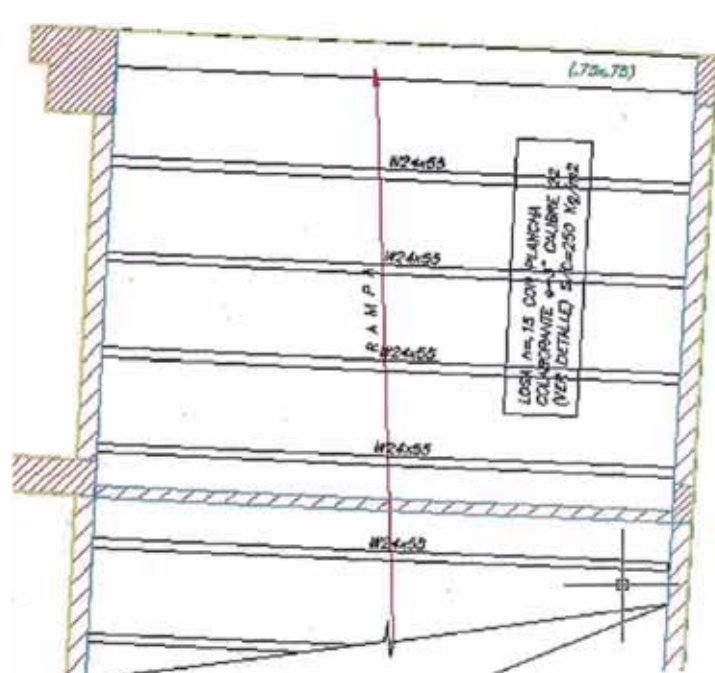


Figura 11: Vista en planta de la rampa -Fuente: Planos de arquitectura del proyecto

Para poder instalar las vigas metálicas W24X55, hubiera sido necesario fijar las planchas metálicas en las placas de concreto, luego montar las vigas metálicas, colocar la plancha colaborante y finalmente instalar el acero para realizar el vaciado del concreto.

Para este caso en particular se debió haber vaciado el 100% de las placas de concreto para que se apoyen las vigas metálicas, lo que hubiera significado que esta actividad se convirtiese en la ruta crítica del proyecto, sin mencionar que se hubiese necesitado mano de obra calificada para realizar los trabajos de soldadura y tener disponibilidad de equipos de izaje para montar las vigas.

#### Propuesta

Se realizó el diseño de losa postensada para las rampas, con lo cual se obtuvo lo siguiente:

- El espesor de la losa aumentó a 30cm.
- Se incrementó el refuerzo de la losa a varillas de  $\frac{1}{2}$ "@ 30cm y en los apoyos varillas de  $\frac{1}{2}$ "@ 7.5cm.
- La resistencia del concreto se incrementó a 350kg/cm<sup>2</sup>

En el caso aplicativo se corroboraron lo siguientes hechos luego de la culminación de las rampas postensadas:

- El costo final fue 55% menos que el sistema de losas con plancha colaborante y vigas metálicas.
- Se utilizaron menos recursos en que en una losa colaborante.
- Con lo cual se puede afirmar que el sistema postensado es una buena opción para reemplazar losas colaborantes apoyadas en vigas metálicas.

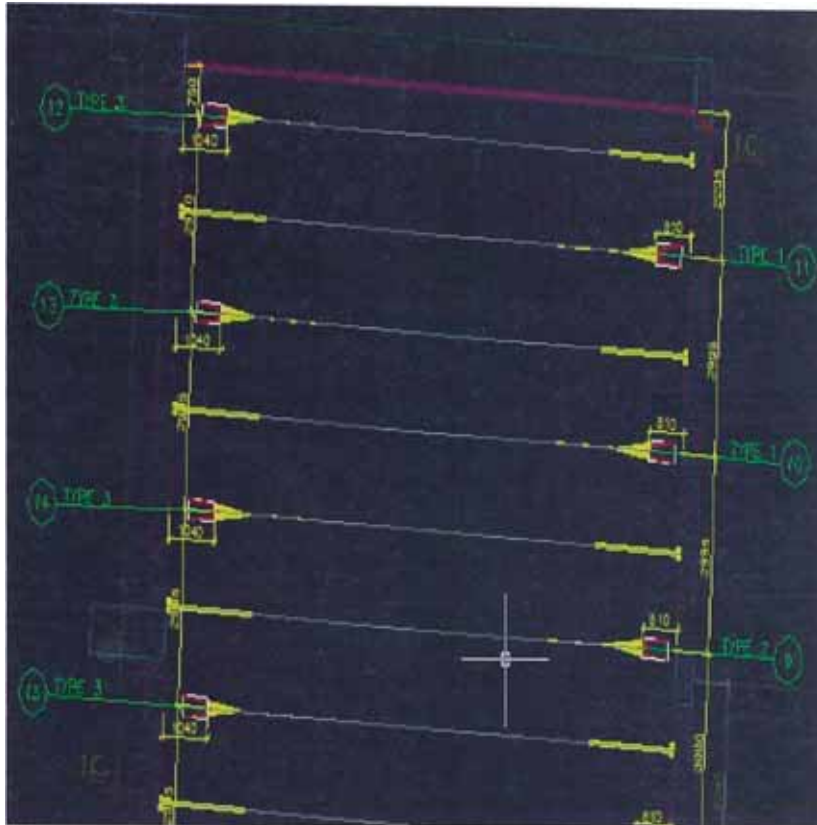


Figura 12: Planta de la losa postensada -Fuente: Planos de arquitectura del proyecto.

## 2.2. SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS EN CONCRETO ARMADO

### 2.2.1. Marco Teórico

El ACI propone la siguiente definición:

Concreto preesforzado: Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes debido a cargas externas dadas se equilibran hasta un grado deseado.

Dos conceptos o características diferentes pueden ser aplicados para explicar y analizar el comportamiento básico del concreto preesforzado. Es importante que el diseñador entienda los dos:

**Primer concepto:** Preesforzar para mejorar el comportamiento elástico del concreto. Este concepto trata al concreto como un material elástico y probablemente es todavía el criterio de diseño más común entre ingenieros.

El concreto es comprimido (generalmente por medio de acero con tensión elevada) de tal forma que sea capaz de resistir los esfuerzos de tensión.

Desde este punto de vista el concreto está sujeto a dos sistemas de fuerzas: preesfuerzo interno y carga externa, con los esfuerzos de tensión debido a la carga externa contrarrestados por los esfuerzos de compresión debido al preesfuerzo. Similarmente, el agrietamiento del concreto debido a la carga es contrarrestado por la precompresión producida por los tendones. Mientras que no haya grietas, los esfuerzos, deformaciones y deflexiones del concreto debido a los dos sistemas de fuerzas pueden ser considerados por separado y superpuestos si es necesario.

En su forma más simple, consideremos una viga rectangular con carga externa y preesforzada por un tendón colocado excéntricamente con respecto al centroide del elemento (Figura 1).

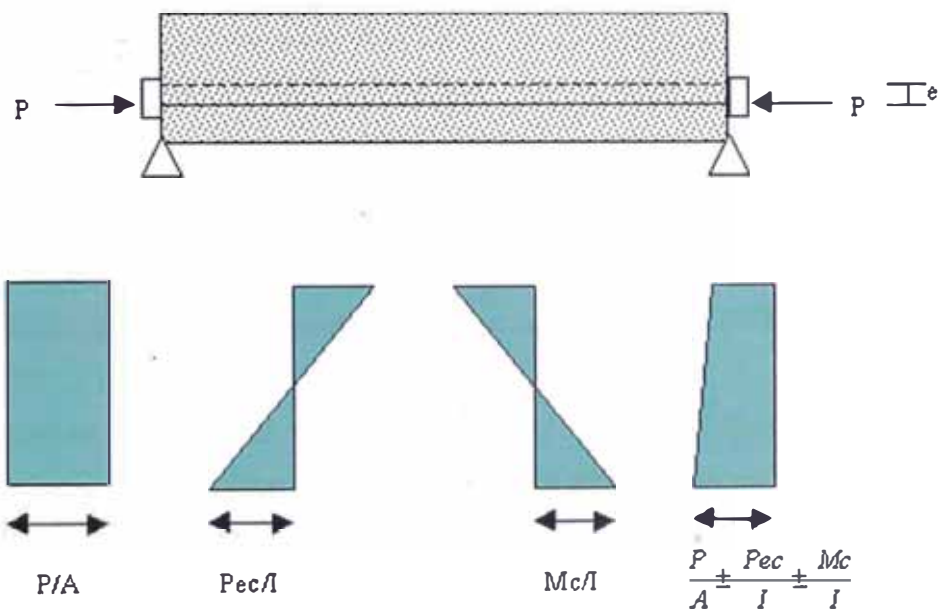


Figura 13: Distribución de esfuerzos a través de una sección de concreto preesforzada excéntricamente

Fuente: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2012/01/pretensar-para-mejorar-el.html#more>.

**Leyenda:**

P=Fuerza

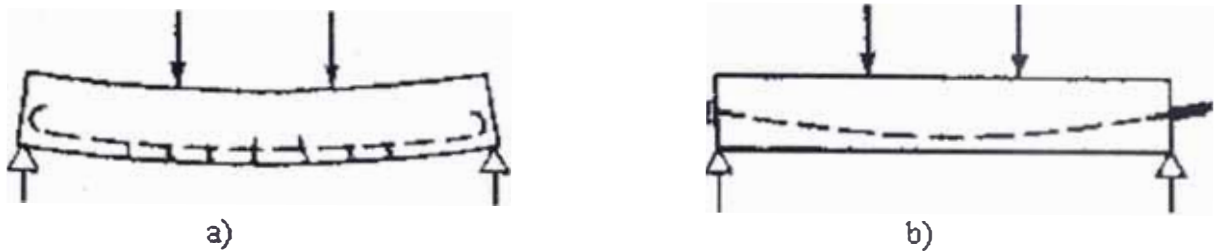
A=Área

I=Inercia

M=Momento

e= distancia excéntrica

**Segundo concepto:** Preesforzar para aumentar la resistencia última del elemento. Este concepto es considerar al concreto preesforzado como una combinación de acero y concreto, similar al concreto reforzado, con acero tomando tensión y concreto tomando compresión de tal manera que los dos materiales formen un par resistente contra el momento externo (Figura 2).



- a) Simplemente reforzada - grietas y deflexiones excesivas  
b) Presforzada - sin grietas y con pequeñas deflexiones

*Figura 14: Viga de Concreto.*

Existen dos sistemas de postensado que se utilizan: el sistema Adherido y el No Adherido.

**El sistema adherido del postensado:** se logra a través de toda la longitud del torón

Inyectándole una lechada de cemento de alta resistencia “grout cementicio”. La adherencia entre el torón y la losa se logra a través de un ducto después de la inyección de la lechada de grout. Con esto se garantiza la adherencia entre el acero y el concreto. Este sistema además utiliza torones con multicables lo que proporciona alta capacidad de resistencia a grandes cargas.

Los componentes principales de este sistema son:

- Sistema de anclaje multicable.
- Ducto corrugado.
- Accesorios de inyección
- Cuñas
- Cajuelas dejadas en el concreto para el tensado, etc.

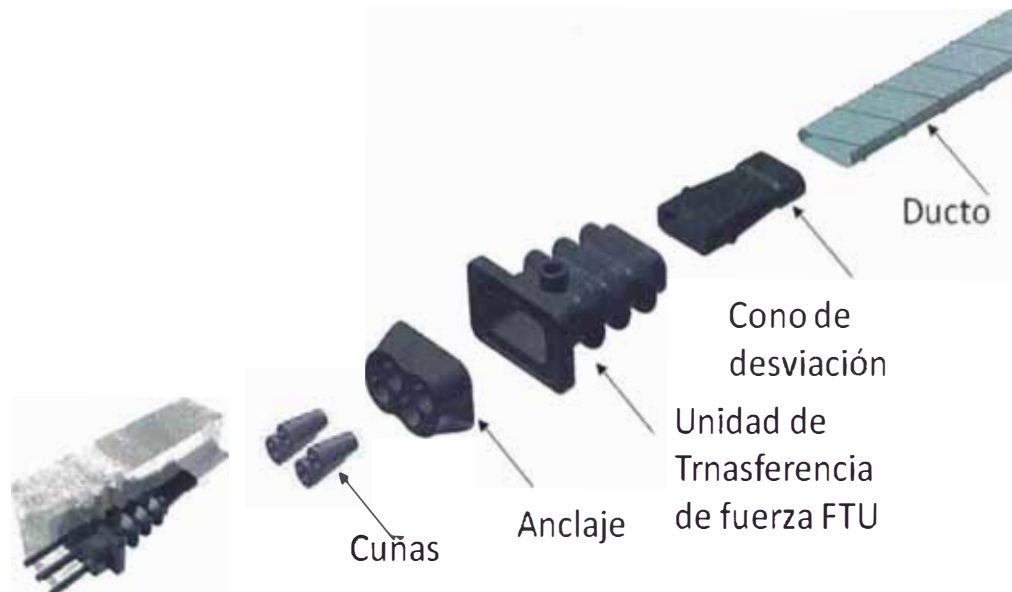


Figura 15: Sistema adherido del postensado-Fuente: <http://www.cclint.com/es/concreto-post-tensado/losas-de-concreto-postensado>

### Ventajas de los sistemas Adheridos

- Mayor resistencia última, mayor ductilidad
- Materiales más baratos.
- Daños accidentales no afectan a todo el tendón
- Requiere menor refuerzo común adicional.
- Permite una fácil remodelación y demolición.



**El sistema no adherido del postensado:** se logra a través de toda la longitud del torón simple protegido con una grasa anticorrosiva y encapsulado con un protector extruido sobre el cable, Las fuerzas de pre-tensado son transmitidas a la estructura por los anclajes localizados a los extremos de los torones.

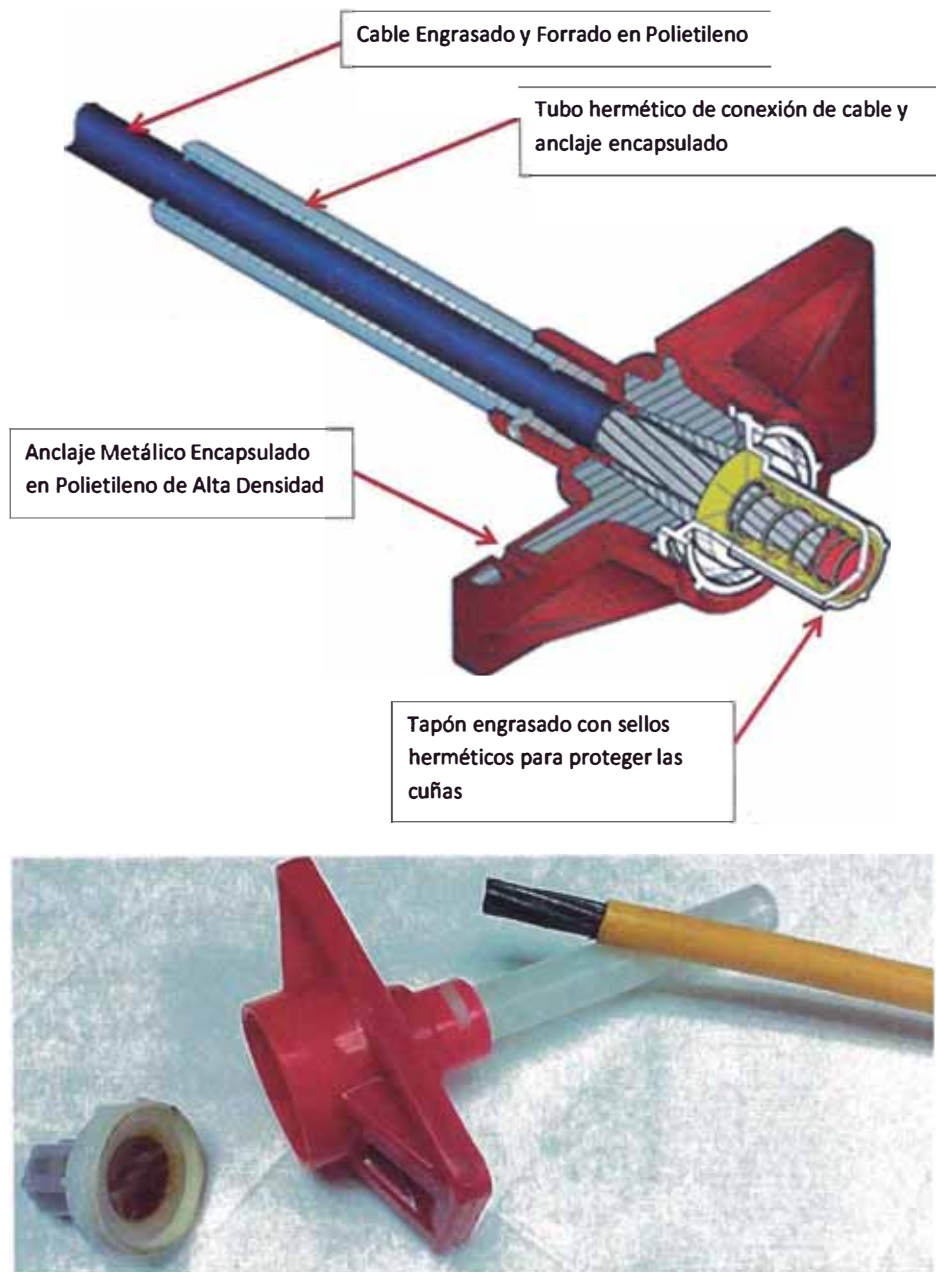


Figura 16: Anclaje Encapsulado en polietileno de Alta densidad con tapón hermético engrasado para tendones No Adheridos.

## **Ventajas del Sistema No Adherido**

- Rápido de instalar y fácil de maniobrar horizontalmente.
- No requiere inyección de lechada de cemento.
- Bajas pérdidas por fricción
- Incrementa la excentricidad

### **2.2.2. Análisis del comportamiento estructural de las losas postensadas**

El empleo del postensado nos ayuda a aumentar la capacidad resistente de las losas que permite aumentar las luces y reducir el número de elementos verticales en la estructura. En consecuencia se produce un ahorro de materiales y una notable mejora arquitectónica por la posibilidad de disponer mayor superficie útil y más facilidad para distribuirla, ya que se obtendrán grandes espacios que podrán ser adaptados posteriormente según necesidades del propietario.

También el empleo del postensado nos permite reducir aproximadamente hasta un 30% el peralte de la losa en comparación con una solución tradicional de losa armada sin tener que disminuir su capacidad, esto significa también una buena reducción de cantidad de materiales, por lo tanto una reducción en el peso de la estructura que nos permitirá a su vez un ahorro en la cimentación y menor carga horizontal debido a sismos.

Además de la reducción de peralte y aprovechamiento de grandes luces, también podemos decir que hay reducción en el acero de refuerzo normal necesario en una estructura, con ello también proporcionamos menor peso en la estructura.

Otra de las razones y una de las más importantes por la que es empleado el postensado es el poder de controlar las flechas o deflexiones de la estructura, ya que al momento de tensar los cables obtendremos contra-flechas, lo cual nos ayuda porque cuando la estructura se encuentre con todas las cargas actuantes, la flecha se reducirá hasta obtener un valor mínimo cercano a cero, a diferencia de una viga reforzada en donde la flecha y el agrietamiento son mayores.

Para entender más a detalle el criterio para el análisis de las losas postensadas, considere una viga simplemente apoyada como se muestra en la siguiente figura.

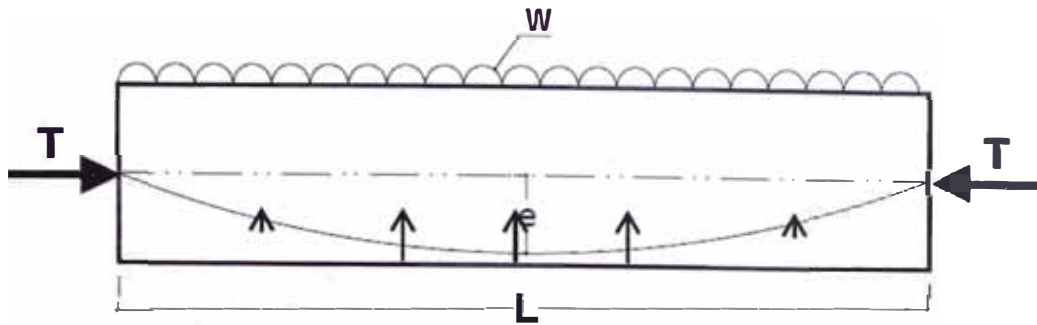


Figura 17: Viga presforzada

La curvatura del cable induce una fuerza ascendente de valor constante,  $W$ . Si planteamos el equilibrio de momentos tenemos:

$$T(e) = \frac{wl^2}{8}$$

El cortante inducido para esta fuerza vertical toma el valor

$$V = \frac{wl}{2}$$

Tanto el momento como la fuerza cortante actúan en sentido contrario a las acciones gravitatorias.

El criterio de diseño para valores de sobrecarga habituales, es compensar las cargas permanentes, por lo que para este estado de cargas, la viga no tendría ninguna deformación y esfuerzo, salvo en las caras de anclajes que presentan esfuerzos de compresión.

Cuando la viga o losa es hiperestática, se adoptan dos parábolas como trazado del cable. Una primera parábola ascendente y una segunda (sobre apoyos) descendente.

Para poder entrar al análisis de las losas es necesario comprender como trabajan estructuralmente estos elementos, por lo cual es necesario conocer la filosofía del presfuerzo y cómo podríamos representarlo, en realidad no existe una definición exacta del presfuerzo pero se explica con el siguiente concepto:

Es la creación, generación o producción de esfuerzos permanentes en un material, con el objeto de mejorar su comportamiento y resistencia, bajo diversas condiciones de servicio. El presfuerzo es una técnica general que se puede aplicar a casi cualquier material como el acero, madera, concreto.

En la figura 18 se muestran los diagramas de momentos debidos a carga vertical,  $W$ , y a la fuerza del presfuerzo  $P$ , para una viga simplemente apoyada. La carga vertical y la fuerza del presfuerzo son las mismas para las tres vigas, sin embargo, los diagramas de momento debidos a las distintas condiciones de la fuerza del presfuerzo difieren en sí.

1. La viga I tiene presfuerzo axial, es decir, el centro de gravedad de los torones se encuentra en el eje neutro de la sección. El presfuerzo así colocado no provoca ningún momento en la sección por lo que desde este punto de vista no hay ventajas al colocar presfuerzo axial.
2. En la viga II, se puede observar como el presfuerzo produce un diagrama de momento constante a lo largo del elemento debido a que la trayectoria de la fuerza  $P$  es recta y horizontal, pero esta aplicada con una excentricidad,  $e$ . Con esto se logra contrarrestar el momento máximo al centro de la luz provocado por la carga vertical. Sin embargo, en los extremos de la viga II el momento provocado por el presfuerzo resulta excesivo ya que no existe momento por cargas verticales que disminuya su acción. En este caso un diseño adecuado deberá corregir este exceso de momento.
3. Por último, en la viga III podemos comentar que actúa como una viga postensada ya que tiene una distribución de momentos debida al presfuerzo similar al diagrama que provoca la carga vertical; el presfuerzo, con excentricidad pequeña en los extremos y máxima al centro de la luz, contrarresta eficientemente el efecto de las cargas en cada sección de la viga.

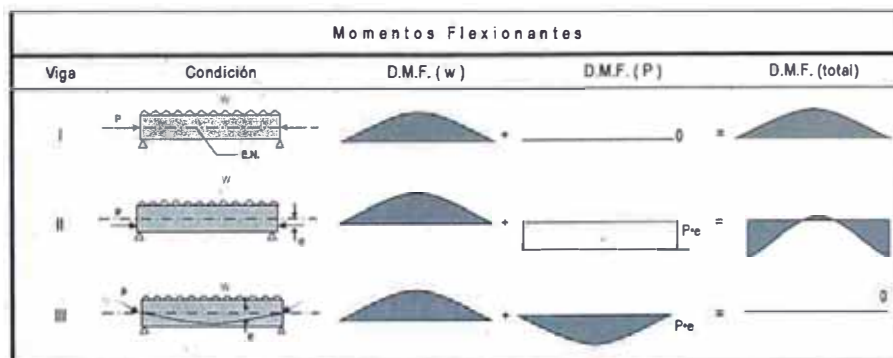


Figura 18: Momentos flexionantes a lo largo de vigas presforzadas simplemente apoyadas

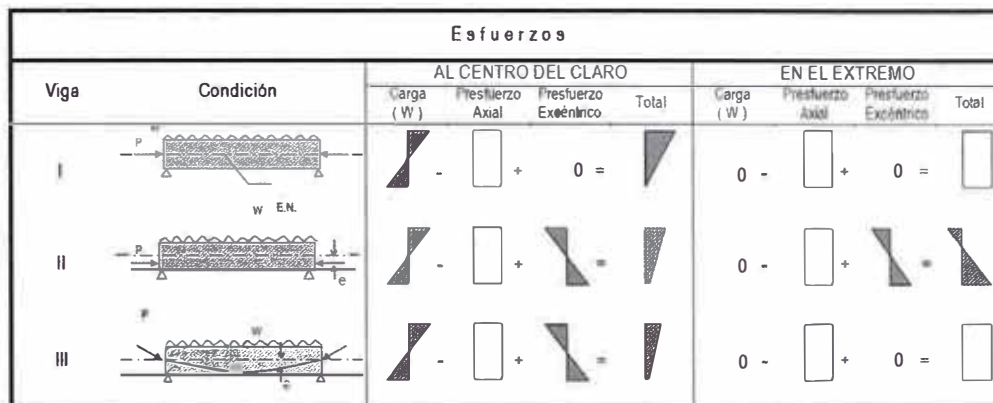


Figura 19: Esfuerzos al centro de la luz y en los extremos de vigas apoyadas con y sin excentricidad

Es así como podemos explicar un poco de lo que es el presfuerzo y cómo repercute en el comportamiento estructural.

### 2.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Dentro de la metodología de trabajo se debe hacer una trazabilidad de las actividades, considerando los materiales, equipos, responsable de cada actividad en el caso del Proyecto Edificio Corporativo se subcontrató el trabajo de instalación de ductos a la empresa CCL Perú.

- Descarga de Materiales de PT
- Pre-fabricación de Tendones
- Instalación del Juego de Anclajes
- Instalación de Tendones
- Operaciones de Tensado
- Operaciones de Inyección de Mortero
- Control de Calidad 40
- Seguridad en Obra 44
- Protocolo de Liberación 45

## 2.3.1 Instalación de Tendones

### 2.3.1.1 Materiales:

- Ductos corrugados galvanizados
- Tubos plásticos de inyección
- Sillas plásticas de ventilación
- Sillas de acero para ductos
- Cinta denso
- Cinta de alta adhéncia
- Pintura en spray ( 2 colores)

### 2.3.1.2 Herramientas

- Entornillador
- Taladro
- Caladora manual

### 2.3.1.3 Procedimiento de instalación de tendones

- Marcar los ejes de los tendones; luego marcar la posición de las sillas de apoyo con spray en el encofrado de acuerdo a los planos, la pintura dejará una marca en la viga después de desencofrada.
- Los ductos de 6m son colocados sobre el encofrado del fondo de viga, se usa una abrazadera para unir ductos adyacentes. La abrazadera es fijada con una cinta adhesiva del alta resistencia formado de esta manera una conexión rígida entre las uniones. La junta de esta manera queda sellada asegurando su rigidez contra el ingreso de cualquier partícula
- antes o durante la colocación de concreto.
- Empujar los tendones fabricados dentro del ducto hasta que sobresalga del anclaje. La longitud del borde muerto será entre 1.2 y 1.3 y asegurar que en el borde vivo sobresalgan lo suficiente como para colocar los anclajes y realizar la operación de tensado.
- Fijar las sillas de acero al acero de la viga, en las posiciones marcadas en el encofrado de la sección transversal de la viga.
- Empujar el ducto dentro del cono de desviación plástico en el borde vivo y usar cinta para sellar la junta.

- Empujar el ducto dentro del cono de desviación plástico en el borde vivo y usar cinta para sellar la junta.
- Sellar la parte final del ducto en el borde muerto con cinta denso para prevenir que no ingrese el concreto en el ducto.

## **2.3.2 Tensado de Tendones**

### **2.3.2.1 Materiales:**

- CCL-Cabezas de anclaje
- CCL-Cuñas
- Bomba de tensado
- Gata de tensado
- Pintura spray

### **2.3.2.2 Herramientas**

- Tubo de acero
- Wincha metálica

### **2.3.2.3 Procedimiento de tensado de tendones**

- Después del vaciado, retirar el encofrado de la sección transversal de la viga para permitir la instalación de las cabezas de anclajes y cuñas.
- Retirar el casetón de piliestireno usando una barra de acero.
- Colocar las cabezas de anclajes en la unidad de anclaje insertando los tendones dentro de los orificios de la cabeza de anclaje CCL.
- Colocar las cuñas en cada toron y fijarlas en el orificio usando un tubo de acero
- Pintar con spray una línea una línea de referencia en los torones que sobresalen de la sección transversal de la viga para medir la elongación después del tensado y compáralo con la medida teórica
- Aplicar la gata de tensado en cada tendón hasta llegar a la fuerza de diseño en una operación cuidadosa. Realizar esta operación desde el tendón central hacia afuera simétricamente.
- Asegurar cada tendón después de ser tensado y anotar la nueva medida que sobresale. La extensión lograda es anotada así como la diferencia entre la inicial y final.
- Enviar las anotaciones de tensado para aprobación previo al corte de los torones e inyección.

### **2.3.3 Operaciones de inyección**

#### **2.3.3.1 Materiales:**

- CCL-Bomba de inyección
- Mortero con aditivo de no contracción
- Cemento Portland
- Agua limpia

#### **2.3.3.2 Herramientas**

- Compresor de aire
- Moladora
- Discos para cortar acero
- Cilindros de 50Gl para llenar agua
- Entomillador

#### **2.3.3.3 Procedimiento de operación de inyección.**

- Cortar los torones dejando 2cm desde el borde de las cuñas, usando la moladora
- Llenar los orificios de los anclajes con mortero aditivado de no contracción y curar
- Inyectar agua a los ductos y luego drenarlos con aire comprimido
- Colocar la máquina de inyección cerca a la viga y calibrar la medida de agua en el tanque
- Apilar bolsas de cemento fresco cerca a la máquina de inyección
- Disponer de 8 cilindros de agua limpia de 50Gl cerca a la máquina de inyección
- Añadir el volumen necesario de agua a la mezcladora asegurándose de que no se forme grumos en la mezcla
- Mezclar el mortero por un mínimo de 2 minutos hasta obtener consistencia uniforme
- Empezar a bombear y descargar el mortero a través de la manguera de inyección hasta obtener una buena consistencia
- Conectar la manguera de inyección en el orificio de ingreso y empezar a bombear.



## **2.3.4 Control de calidad**

### **2.3.4.1 Aprobación de vaciado**

- Supervisar la instalación de los trabajos de instalación de postensado de acuerdo a los planos de obra aprobados
- Inspeccionar la viga después de finalizar los trabajos de instalación
- Inspeccionar la viga después a solicitud del supervisor de CCL y luego emitir el checklist de control de calidad
- Llevar a cabo los trabajos pendientes especificados en el checklist autorizado por la supervisión
- Enviar a las oficinas de CCL el checklist firmado por el supervisor de CCL y Contratista Principal después de completar los trabajos pendientes.
- Emitir la aprobación de vaciado al recibir el checklist firmado
- Enviar la aprobación de vaciado a la supervisión
- Emitir la aprobación final

### **2.3.4.2 Aprobación de tensado**

- Después del vaciado, retirar el encofrado de la sección transversal de la viga para permitir los trabajos de preparación de tensado.
- Proceder con los trabajos de preparación de tensado
- Proceder con la operación de tensado cuando el concreto alcance 25MPa y anotar las elongaciones usando el formato de resultado de tensado
- Verificar los resultados recibidos del equipo de obra y emitir la aprobación de tensado al contratista principal
- Entregar la aprobación de tensado a la supervisión.
- Emitir la aprobación final de tensado

## 2.4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA POSTENSADO

### 2.4.1. Diagrama de flujo

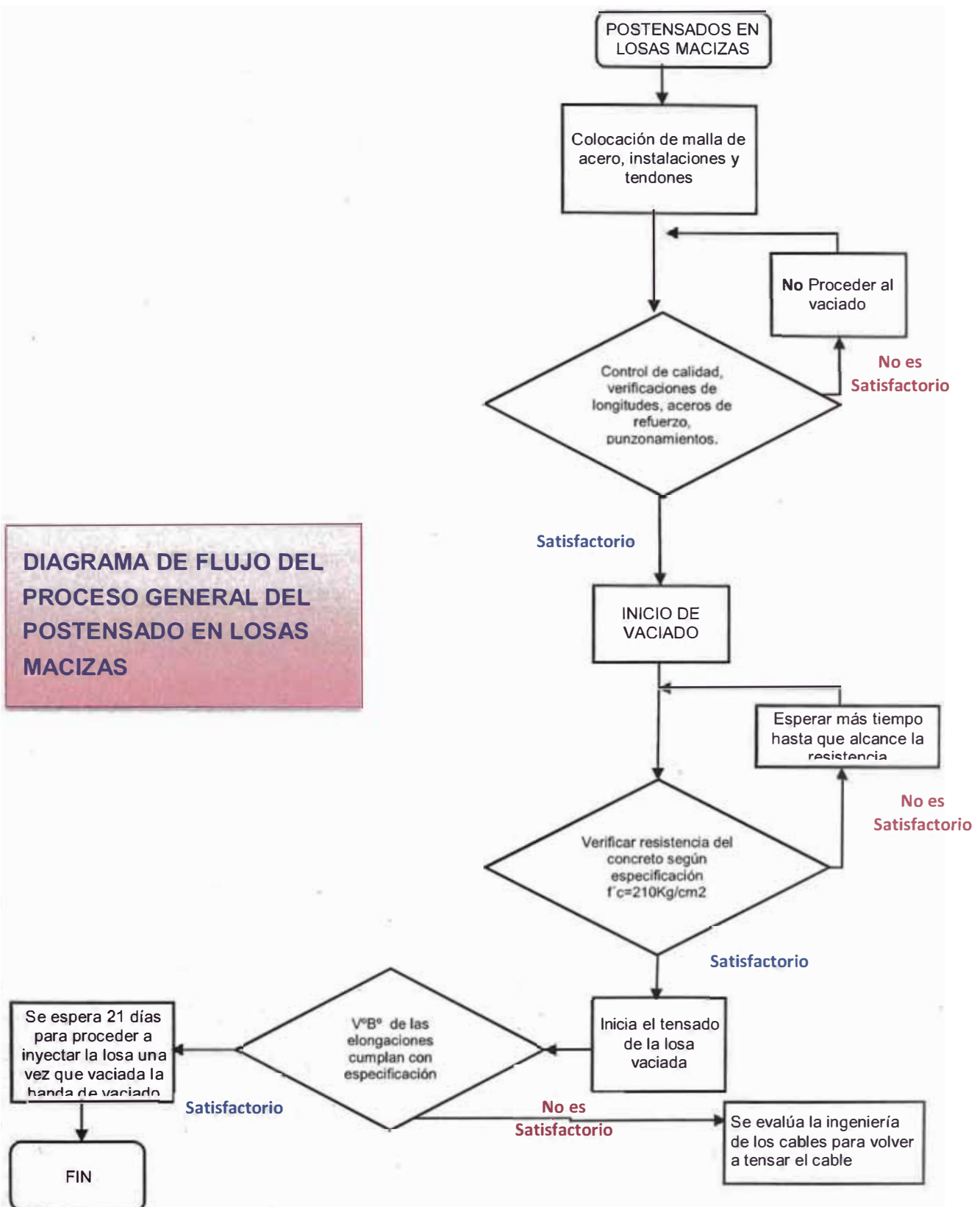


Figura 20: Diagrama de Flujo del proceso general del vaciado de concreto premezclado-

Fuente propia

## 2.4.2. Procedimiento de instalación de ductos en losas postensadas

### 2.4.2.1 Descarga y manipuleo ( Bobinas y torones, ductos y anclajes)

#### **Bobinas y Torones**

- Las bobinas son bien empaquetadas y despachadas a obra en camiones.
- Asegurar que la grúa que descargue las bobinas tenga la suficiente capacidad de carga para tomar el peso de la mismas (3Tn.).
- Descargar cuidadosamente las bobinas usando eslingas en vez de cadenas para evitar dañar los torones.
- Durante el almacenaje asegurar de no colocar más de dos bobinas una encima de otra y que las parihuelas de madera estén bajo las bobinas y así evitar el contacto con el suelo.
- Una vez descargadas y almacenadas las bobinas serán cubiertas con una manta plástica para protegerlas de la corrosión.

#### **Ductos**

- Ductos corrugados galvanizados de 6m son enviados a obra en camiones.
- Descargar cuidadosamente los ductos usando eslingas en vez de cadenas para evitar daños.
- Durante el almacenaje evitar el contacto con el suelo colocando parihuelas de madera o similares.
- Asegurarse de que los ductos en los apoyos tienen estén separados cada 2.5m para evitar la flexión y permanente deformación.
- Una vez que todos los ductos han sido descargados y almacenados deben ser cubiertos con una funda plástica para protección contra la corrosión.

#### **Anclajes**

- Los anclajes vienen en cajas y son enviados a la obra en camiones.
- Asegurar que la grúa que descargue los anclajes tenga la suficiente capacidad de carga para tomar el peso de las mismas.
- Descargar cuidadosamente los anclajes usando eslingas en vez de cadenas para evitar daños.

- Una vez descargadas y almacenadas los anclajes serán cubiertos con una manta plástica para protegerlos de la corrosión.
- Las cabezas de anclajes vienen en cajas y son enviados a la obra en camiones.
- Asegurar que la grúa que descargue los anclajes tenga la suficiente capacidad de carga para tomar el peso de las mismas.
- Descargar cuidadosamente los anclajes usando eslingas en vez de cadenas para evitar daños.
- Una vez descargadas y almacenadas los anclajes serán cubiertos con una manta plástica para protegerlos de la corrosión.

Notas:

Las bobinas pueden ser almacenadas en el exterior.

Los ductos pueden ser almacenadas en el exterior.

Los anclajes pueden ser almacenadas en el exterior.

Las cabezas de anclajes y cuñas deben ser almacenadas al interior.

Los equipos de CCL deben ser almacenados al interior.

#### 2.4.2.2 Instalación de tendones

La instalación de los tendones es un proceso que, si es realizado con el debido cuidado y dedicación, dará como resultado una correcta realización del sistema y por ende la aplicación de la fuerza de pretensado.

- **Instalación de los Tendones en Losas**

El procedimiento de trabajo a seguir en la instalación de tendones en losas postensadas con torones adheridos de  $\varnothing 0.5"$  es la siguiente:

- 1.- El encofrado, incluyendo encofrados de las caras, deberá estar terminado antes de empezar con el proceso de la instalación. Todas las mangas mecánicas y también los elementos embebidos que requieren una posición exacta en la estructura deberán ser instalados antes que los tendones; sin embargo, no se deberá instalar ningún ducto eléctrico que quedará embebido en la losa antes de instalar los tendones.

Es aceptable mover la ubicación de un tendón o anclaje a fin de evitar conflictos con las mangas, tubos y otros embebidos ubicados en lugares críticos previendo que la altura vertical del tendón y/o del anclaje no sean alterados. Desviaciones horizontales de hasta 20 cm son aceptables siempre que el desplazamiento resulte una transición suave.

2. Realizar el trazo de distribución de los tendones en el encofrado de acuerdo al plano de detalle de postensado marcando la ubicación exacta de cada tendón. La marca deberá indicar el número de tendones en cada grupo y la identificación de cada uno.

Deberá usarse un sistema de códigos de numeración, colores o marca de longitud exacta. También se debe marcar el encofrado con la ubicación de las barras de soporte y la altura de las sillas de soporte requeridas en cada ubicación.

3. Marcar el borde del encofrado con la ubicación exacta, tanto horizontal como vertical, del centro de cada grupo de tendones y designar el número de anclajes incluidos en el grupo.



*Figura 21: Colocación de trazo de tendones- Fuente: Fotografía propia*

4. Donde está ubicado el borde vivo, se debe perforar un hueco en el encofrado lateral (friso) para cada anclaje, la marca colocada indicará el eje de la localización del grupo en ese punto.  
Para los tendones uniformes, se debe indicar el eje de los anclajes horizontales. En el caso de las losas, la ubicación vertical de los anclajes será a la mitad de la losa.
5. En el borde vivo, se instala una combinación de anclaje y formador de cajuela (casetón) de 10cm (4") de largo, que van asegurados al encofrado.
6. Se debe instalar el acero de refuerzo requerido para las losas incluyendo los tendones de postensado.
7. Durante los pasos 4, 5 y 6, se instala cualquier acero de refuerzo inferior requerido para las losas y bandas, los mismos que deben estar sobre soportes a la altura indicada en los planos a fin de mantener el recubrimiento apropiado.
8. Instalar la barra inferior de refuerzo en todas las ubicaciones de anclajes alrededor del perímetro del vaciado.  
Típicamente, para losas, la barra de refuerzo será una barra de 1/2" en la parte superior y una barra de 1/2" en la parte inferior de cada tendón.
9. Instalar todas las barras de soporte ubicadas debajo de los tendones.
10. Se comienza la instalación de los tendones de postensado poniendo los tendones uniformes que están directamente en las líneas centrales de las columnas. Se debe tener cuidado al desenrollar los tendones. Una vez que los alambres que sujetan el rollo han sido cortados, el rollo de tendones se abrirá como un resorte.
11. Luego se instalan todos los tendones de banda, incluyendo cualquier tendón adicional.
12. Completar la instalación colocando lo que queda de los tendones uniformes incluyendo cualquier adicional.
13. Los tendones pueden ser instalados en diferentes configuraciones.
  - a). Tensado de ambos extremos:
  - b). Tensado de un solo extremo:
  - c). Tensado en una junta de construcción:

Puede haber varias ubicaciones intermedias de anclaje, dependiendo del número de vaciados donde el tendón será tensado. La configuración del tipo a) y c) no se llegó a usar en la obra de la referencia pues todos los tendones fueron tensados por un solo extremo sin el uso de anclajes intermedios.

14. Una vez que todos los tendones han sido puestos a través de los anclajes, se empezará a poner los tendones en su posición final comenzando con los tendones de banda. El agrupamiento es mostrado en el plano pero no más de 4 tendones deberán ser puestos en un solo grupo. Los grupos son puestos a 30 cm (12") entre centros y deberán ser paralelos entre ellos. Del ancho de la banda dependerá el número de grupos de tendones en la banda. Habrá típicamente un número impar de grupos a fin de que cuando se instalen, el grupo del centro este directamente sobre el eje de la columna con un número igual de grupos a cada lado. Comenzar posicionando los anclajes del lado fijo o muerto y trabajar hacia el lado móvil o de tensado. Los anclajes del lado muerto deberán ser puestos 4 a 5 cm dentro de los bordes del encofrado. Para losas, asegúrese que los grupos son amarrados planos a las barras de soporte con cada tendón, uno al lado del otro. Los grupos de tendones son asegurados a las barras de soporte con alambre, y estas barras son posicionadas verticalmente con la silla de soporte de altura correcta puesta debajo de cada paquete de tendones. Mantenga los tendones lo más derechos posible entre anclajes. Son inevitables pequeñas desviaciones para pasar aberturas; sin embargo, cualquier desviación horizontal en el paso proyectado del tendón entre anclajes, aumenta la fricción y crea mayores pérdidas que lo esperado, resultando menores medidas de elongación del tendón.
  
15. Luego se debe poner los tendones uniformemente distribuidos en su agrupación apropiada. La agrupación también debe ser mostrada en los planos de detalles de postensado. Deberá ponerse en un solo grupo no más de 4 tendones, incluyendo tendones añadidos. Los grupos son puestos aproximadamente a 1m (39") centrados y podrán ser abiertos a un máximo de 1.40m (55") para evitar roturas y penetraciones en la losa. Comenzar posicionando los anclajes de lados muertos y trabajar hacia el lado del

tensado. Asegúrese que los grupos están amarrados planos a las barras de soporte con cada tendón, lado a lado, sin cruces. Los grupos de tendones son asegurados a las barras de soporte con alambre y las barras de soporte son posicionadas verticalmente con la silla de soporte de altura correcta puesta debajo de cada paquete de tendones. Amarrar la silla y el tendón a la barra de soporte con un solo amarre. Mantener los paquetes de tendones lo más derechos posible entre anclajes. El grupo de tendones uniformes sobre la línea central de la columna (puesto primero en el paso #9) será amarrado directamente al lado inferior del grupo central de tendones de banda donde ellos intersectan a la línea central de la columna.

16. Una vez que los tendones han sido puestos y asegurados en ambas direcciones, se deberá inspeccionar los tendones por si hubiera cualquier daño a los ductos metálicos y repararlo si fuera necesario.
17. Inspeccionar el ensamblaje de todos los anclajes de tensado. El insertar el tendón en el anclaje puede causar que éste se afloje. Reajustar el ensamblaje si fuera necesario.
18. Poner el acero superior centrado sobre las columnas, primero las barras que son paralelas a los tendones uniformes, en las columnas interiores, debido al perfil de los tendones de banda, para que un recubrimiento apropiado de concreto pueda mantenerse sobre la parte superior del refuerzo. Luego ponga las barras que son paralelas a la dirección del tendón de banda.  
Solo habrá dos capas de refuerzo, no cuatro, en la parte superior de las columnas interiores. La capa superior será los tendones de banda y el fierro que es paralelo a éstos. La segunda capa es el grupo de tendones uniformes sobre la línea central de la columna y el fierro que es paralelo a los tendones uniformes.
19. Ponga la barra de refuerzo superior en los anclajes y asegure ambas barras en su ubicación apropiada.  
Instale cualquier acero de refuerzo adicional requerido por los planos estructurales.





*Figura 22: Colocación de tendones- Fuente: Fotografía propia*

#### **2.4.2.3 Colocación de acero de refuerzo**

**El proceso de colocación de acero de refuerzo es el siguiente:**

- Colocación de malla inferior
- Colocación de tendones e instalaciones
- Colocación de malla superior y refuerzo por punzonamiento.

Se puede apreciar gran cantidad de acero de refuerzo en zona alrededor de columnas por fallas de punzonamiento, se cuenta con un espesor de losa de 20cm, se debe asegurar los aceros cumplan con recubrimiento y cuantía requerida según planos, adjuntados en anexos.



*Figura 23: Colocación de acero de refuerzo- Fuente: Fotografía propia*

#### 2.4.2.4 Vaciado de concreto.

En el proceso de vaciado se hizo utilizando un brazo hormigonador



Figura 24: Vaciado de concreto- Fuente: Fotografía propia

- **Inspección antes y durante del vaciado de concreto**

Una vez instalados todos los tendones, es necesario realizar la inspección respectiva junto con el Ingeniero de la Supervisión antes del vaciado de concreto. Para ello es necesario tener en cuenta lo siguiente:

1. Verificar que estén todos los anclajes móviles o bordes vivos debidamente asegurados y adjuntos a todos los bordes del encofrado (frisos o tapas de vigas).
2. Asegurarse de que haya una longitud de cable apropiada más allá del borde del encofrado a fin de instalar el gato para el tensado, 35cm (14").
3. Verificar y corregir los puntos altos y bajos de los tendones, que son por lo general los que son más difíciles de colocar.
4. Inspeccionar la colocación de los soportes con las alturas correctas y las ubicaciones apropiadas de acuerdo a lo que indican los Planos de Detalles del Postensado, pues si esto es así se podrá ver como los perfiles de los tendones se ven suaves entre el punto alto y el punto bajo del tendón. En la zona de los anclajes de deberá tener especial

cuidado con la colocación de los tendones para no tener quiebres excesivos.

5. Así mismo se deberá revisar si los tendones tienen desviaciones horizontales excesivas entre los anclajes, o si no están de acuerdo a los detalles de agrupamiento de los anclajes.
6. Verificar si es correcta la luz entre los tendones y otras aberturas.
7. Lo más importante es verificar, y si es posible dos veces, si se han instalado todos los tendones en la cantidad indicada en los planos.
8. La colocación de las barras de refuerzo de las zonas de anclajes, también debe ser verificada.
9. Se deberá verificar si se ha colocado correctamente el fierro de refuerzo normal y adicional, el número de barras en cada lugar y la longitud de las mismas.

En el momento del vaciado de concreto, hay que tener en consideración algunos aspectos que son fundamentales para evitar problemas futuros, como son principalmente:

1. Deberá tenerse especial cuidado en el vibrado del concreto especialmente en las zonas donde haya bastante concentración de fierro, y sobre todo en la zona de los anclajes, ya que si no es así podrían producirse cangrejas en las que el anclaje podría correrse pudiendo incluso hasta romperse el torón.
2. En todo vaciado de elementos en los que hayan tendones, deberá estar presente el personal encargado del postensado para controlar, o reparar en caso sea necesario si es que ocurriera algún problema que tenga que ser reparado en el momento y con rapidez.
3. El Ing. Supervisor deberá verificar que el concreto usado no tenga aditivos en base a cloruros, pues estos no deben ser usados en ninguna estructura que tenga acero de preesfuerzo.

#### 2.4.2.5 Tensado de tendones

La calidad de la operación del tensado y los resultados obtenidos dependen de que se realice una preparación apropiada de los tendones para esta operación. Este procedimiento debe ejecutarse de preferencia antes del día de la operación de tensado. Si se presta atención a estos detalles se obtendrá una eficiente (rápida) operación y los resultados de elongaciones serán consistentes con los valores calculados.

1. Los encofrados de los bordes en todas las ubicaciones donde existan anclajes móviles o bordes vivos deberán ser removidos, de preferencia la mañana siguiente al vaciado, o cuando el concreto haya llegado a una dureza apropiada que no resulte en daño cuando se retiren los encofrados.
2. Es recomendable desencofrar los costados de las vigas para revisar si es que hay alguna cangrejera de consideración que necesite ser reparada antes de la operación de tensado.
3. Se debe remover los formadores de cajuelas (casetón).
4. Inspeccionar la cavidad de cuñas para asegurar que está libre y limpia de toda pasta de cemento o de otra materia extraña.
5. Instale cuñas de dos piezas en todos los anclajes de tensado. Esto se hace con una herramienta especial de asentamiento de cuñas para asegurar que estén asentadas correctamente.
6. A una distancia constante desde el borde del concreto, se deja con un marcador especial una marca permanente con pintura spray en la parte superior del cable.
7. Verificar el equipo para asegurarse que ha sido limpiado después de la última operación de tensado.
8. Los cables de extensión de corriente usados, deberán ser de suficiente tamaño para dar energía eléctrica a la bomba de 30 amperios.

- **Operaciones y Control del Tensado.**

Luego que todas las pruebas del concreto han confirmado que la resistencia inicial del concreto requerida para el tensado ha sido obtenida, que usualmente es 80% de la resistencia de diseño de concreto para 28 días, se puede iniciar el tensado o la resistencia mínima que indique el Proyectista.

La operación de tensado es delicada y peligrosa por lo que deberá ser llevada a cabo por personal especializado a fin de evitar problemas que podrían ser difíciles o hasta imposibles de reparar.

Cuando se trabaja en niveles elevados, se deberá prever que el equipo vaya a ser asegurado a un objeto fijo, como por ejemplo a una columna, usando un cable de seguridad para prevenir que el equipo sea proyectado fuera de la viga en el caso de que un tendón fallara durante la operación de tensado. Está de más decir que el personal encargado de estas tareas igualmente tiene que estar con todos los implementos de seguridad, sobre todo con cinturones de seguridad tipo arnés.

A continuación se describen las operaciones de tensado y el control necesario que se debe llevar de las mismas:

1. Antes de empezar el tensado se debe verificar que los anclajes de tensado estén limpios y con sus respectivas cuñas, los tendones deben estar marcados con la pintura spray, y el equipo de tensado (bomba y gato) debe estar en perfectas condiciones de funcionamiento.
2. Se posiciona el gato en la cola de tensado del torón y se empuja hacia delante hasta que la nariz esté en contacto con la cara del anclaje.
3. Luego se conecta la bomba y se inicia la tensión estirando el tendón a la presión correspondiente indicada en los planos. Esta será leída en el manómetro de la bomba.
4. La fuerza de tensado en el Gato no deberá excederse del 80% de la Resistencia de tensión Ultima Garantizada) o Esfuerzo de Rotura (fpu) del acero de pretensar.

5. Una vez llegada a la presión indicada se embute la cuñas automáticamente activando el retorno del gato o si se desea se puede acuñar con otra bomba manual independiente, claro que éste último será más lento pero más exacto. El embutimiento de las cuñas hace que el tendón quede anclado. En este tipo de torones el embutimiento de las cuñas varía entre 4 a 12mm, siendo el más común de 6mm.
6. Después de retornar el gato, éste se retira y se procede a realizar la medición colocando el mismo marcador que se usó al hacer la señal con la pintura en spray. Esta medida de la variación de la marca representa el alargamiento o estiramiento del torón. Normalmente se saca el promedio de los alargamientos correspondientes a un elemento y se verifica que esté dentro del rango de 10% si los tendones son menores a 25m y 7% si los tendones son mayores o iguales a 25m, del alargamiento estimado previamente en los cálculos. Si en caso de que el alargamiento estuviera por debajo de este rango, es factible retensar los tendones que han dado menor alargamiento llegando hasta el 80% de su Carga de Rotura, pero se recomienda no hacer esta operación por más de tres veces pues podría correrse el riesgo de que patinen o fallen las cuñas y generarían problemas mayores. Si aun así no dieran los alargamientos, se debe estudiar minuciosamente las causas que lo originan pues pueden ser muchas, empezando desde los procedimientos constructivos seguidos hasta los cálculos realizados previos al tensado, lo cual debe ser informado al proyectista para ver la solución más adecuada.
7. La secuencia de tensado para las losas, mostrada en los planos del proyecto es la siguiente:
  - a).Tendones uniformemente distribuidos.
  - b).Tendones de franjas y bandas.
  - c). Tendones en vigas.



*Figura 25: Tensado de tendones- Fuente: Fotografía propia*

- **Sellado de Bordes Vivos.**

Luego del tensado y la aprobación por parte de la supervisión se efectuará el corte de los extremos de tensado con equipo de corte (amoladora), equipo de oxiacetileno o de corte hidráulico.

Es esencial que todos los anclajes extremos expuestos y/o cables sean protegidos por algún medio adecuado, tal como revestimiento epóxico, pintura base de asfalto, mastic y/o revestimiento de concreto. Si es requerido un grout o concreto expansivo, el aditivo debe ser compatible con el acero de pretensar. Se debe colocar el revestimiento de concreto con tan bajo slump como sea posible, para evitar excesiva contracción. No se debe usar Cloruro de Calcio como aditivo para proteger los extremos de tensado.

Si se especifica para los anclajes móviles o bordes vivos el Sistema Encapsulado el cual proporciona mayor protección contra la corrosión, se deberán usar los anclajes encapsulados que están forrados con polietileno de alta densidad que le proveen una completa protección contra la corrosión, además están provistos de una capucha engrasada que se coloca en el extremo de tensado que ya fue cortado y sobre la capucha se le sella también con mortero epóxido o un concreto expansivo. Este sistema se usa preferentemente en construcciones muy cercanas al mar y en medios muy agresivos.

### 2.4.2.6 Inyectado de losas

#### 1 Preparación para el Inyectado.

La calidad del proceso de inyectado y los resultados obtenidos dependen de que se realizó una eficiente y apropiada instalación de los tendones para esta operación. Si se presta atención a estos detalles se obtendrá una eficiente (rápida) operación.

Pasos previos fundamentales para el inicio del inyectado:

- La losa se debe encontrar tensada al 100%.
- Vaciado al 100% de bandas y de cajas de tensado.
- Borde de Losa y/o ductos Sellados.

#### 2 Operación para el Inyectado.

- Antes de empezar el Inyectado, se debe realizar el proceso de purgado en tendones para eliminar residuos dentro de los ductos por medio de una compresora otorgada por el cliente.
- Se posiciona la mezcladora en el nivel y sector a inyectar, para luego retirar la cinta shurtape del extremo superior de las magueras ubicadas en anclajes.
- Se procede a realizar la mezcla (lechada) de proporción agua/cemento de 0.45 respecto a su volumen.
- Se introduce la punta de la manguera de la mezcladora en una manguera de inyección y se inicia la labor de inyectado del tendón hasta observar que por el otro extremo sale la lechada (manguera de ventilación), este proceso se repetirá en cada tendón.
- Finalmente, se corta los tubos al momento que la Losa y/o Viga, se encuentra inyectada al 100%.
- La Lechada agua/cemento, deberá alcanzar la resistencia de 280 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días luego de haber sido inyectada la Losa y/o Viga.



## CAPITULO III: PLANEAMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS

### 3.1 SECTORIZACIÓN DE LOSAS POSTENSADAS

El planeamiento de las losas postensadas es de 4 sectores

Elementos verticales: 1 día

Elementos horizontales: 3 días

Las Consideraciones del tren de trabajo son las siguientes:

#### 1. Elementos Verticales:

- Prearmado de acero + conectores mecánicos
- Sistema de encofrado VARIO(Prearmado)
- Metrados mínimos en concreto

#### 2. Elementos horizontales

- Ratios/Rendimientos de acero considerando el refuerzo por punzonamiento.
- Sistema de encofrado similar al de la losa maciza (Sistema de vigas MULTIFLEX)
- Volúmenes grandes de concreto (uso de brazo hormigonador)



Figura 26: Sectorización de losas postensadas-Fuente: Planos de sectorización Proyecto

Cada sector de la losa postensada estaba dividida por bandas de vaciado de 1 metro de ancho, que eran vaciadas a los 28 días de haber vaciado el concreto, con el objetivo de que el concreto llegue a su resistencia máxima y lograr se contraiga en este tiempo, evitando problemas de fisuración, ya que los vaciados eran aproximadamente de 400m<sup>2</sup> por sector, áreas bastantes grandes que por la temperatura interna de concreto va a contraerse y generar fisuras considerables en la losa.

Para las fisuras no se consideraron juntas de contracción, únicamente las bandas de vaciado que al cumplir sus 28 días eran vaciados considerando un detalle de acero de refuerzo indicado en los planos.

El tensado de las losas a los 3 días que el concreto cumpla con su resistencia de 210Kg/cm<sup>2</sup>, se realizaba para iniciar el reapuntalamiento al 100% de la losa, y también para que se pueda vaciar la losa encima de este sector.

El desencofrado total de la losa se inicia una vez tensada dos losas encima del mismo sector, de esta forma se rotaba el material de encofrado (puntales).

### 3.2 LOOKAHEAD Y TREN DE ACTIVIDADES

En el proyecto Edificio Corporativo se aplicó como metodología de planificación, realizar un Lookahead de proyección a 4 semanas, y estableciendo fechas de las actividades que son parte del tren de actividades, tanto de elementos verticales como horizontales, Ejemplo: S4-1; Se refiere a sótano 4 sector 1.

Metodología que se actualizaba semanalmente para establecer el cumplimiento de la semana y causas de no cumplimiento

GESTION DE PROYECTOS LOOKAHEAD 4 SEMANAS				REVISION: 1						
CODIGO DE PROYECTO 1775				Pagina: 1						
NOMBRE DE PROYECTO NUEVO EDIFICIO CORPORATIVO GRAÑA Y MONTERO - PETIT				SEMANA 9						
Partida de Control	Descripción de la Actividad	Und	Cuadrilla	L	M	W	J	V	S	D
				25-feb	26-feb	27-feb	28-feb	01-mar	02-mar	03-mar
<b>ESTRUCTURAS</b>										
<b>Sótanos</b>										
<b>Verticales</b>										
	Acero	kg	Acero	S4.1	S4.2	S4.3	S4.4	S3.1		
	Encofrado	m <sup>2</sup>	Encofrado	S4.1	S4.2	S4.3	S4.4	S3.1		
	Concreto	m <sup>3</sup>	Concreto	S4.1	S4.2	S4.3	S4.4	S3.1		
<b>Horizontales</b>										
	Fondo de losa	m <sup>2</sup>	Encofrado		S4.1	S4.2	S4.3	S4.4		
	Acero en losa	kg	Acero			S4.1	S4.2	S4.3		
	Instalaciones	gbl	Instalaciones			S4.1	S4.2	S4.3		
	Concreto de losa	m <sup>2</sup>	Concreto				S4.1	S4.2		
	Tensado	Glb	CCL							

Figura 27: Lookahead de 4 semanas-Fuente: Proyecto Edificio Corporativo

El Tiempo de ejecución de los sótanos se observa en el siguiente cronograma de obra, de avance de 1 sótano por semana, los cuatro sótanos se realizaron en 4 semanas equivalente a 1 mes de 18/03/2013 hasta el 10/04/2013.

GyM		REGISTRO														REVISIÓN					
		GESTIÓN DE PROYECTOS														12/09/2014					
		LOOKAHEAD														PÁGINA:					
CÓDIGO DEL PROYECTO:		ÁREA:				UBICACIÓN:															
1775		PRODUCCION				MIRAFLORES															
NOMBRE DEL PROYECTO:		CLIENTE:				JORNADA (LUNES - VIERNES):					JORNADA (SÁBADO):										
NUEVO EDIFICIO CORPORATIVO GRAÑA Y MONTERO - PETIT THOUARS		GRAÑA Y MONTERO S.A.A.				11.5 horas					7.5 horas										
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	UND	CUADRILLA	SEMANA 12					SEMANA 13			SEMANA 14					SEMANA 15				
				18-mar	19-mar	20-mar	21-mar	22-mar	25-mar	26-mar	27-mar	01-abr	02-abr	03-abr	04-abr	05-abr	08-abr	09-abr	10-abr	11-abr	12-abr
				L	M	X	J	V	L	M	X	L	M	X	J	V	L	M	X	J	V
<b>SOTANOS - LOSAS POSTENSADAS</b>																					
<b>Verticales</b>																					
	Acero de Columnas - Placas	kg	Acero	\$4.1	\$4.2	\$4.3	\$4.4	\$3.1	\$3.2	\$3.3	\$3.4	\$2.1	\$2.2	\$2.3	\$2.4	\$1.1	\$1.2	\$1.3	\$1.4		
	Encofrado de Columnas - Placas	m <sup>2</sup>	Encofrado	35.4	187.6	27.1	40.4	121.4	118.4	55.5	56.1	121.4	118.4	53.5	56.1	210.4	176.3	117.6	101.8		
	Concreto de Columnas - Placas	m <sup>3</sup>	Concreto	1.4	7.1	1.1	1.2	1.1	1.4	1.4	1.1	1.1	1.4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1		
<b>Horizontales</b>																					
	Fondo de losa postensada	m <sup>2</sup>	Encofrado	110.0	401.3	461.0	388.5	380.5	401.3	461.0	388.5	380.5	401.3	461.0	388.5	380.5	400.0	450.0	350.0	388.5	
	Acero de Losa Postensada	kg	Acero	1,252.5	1,142.2	1,171.1	1,174.9	1,142.2	1,142.2	1,142.2	1,142.2	1,142.2	1,142.2	1,142.2	1,142.2	1,142.2	1,142.2	1,142.2	1,142.2	1,142.2	
	Colocación de torones	m <sup>2</sup>	DCL	242.1	401.3	461.0	388.5	380.5	401.3	461.0	388.5	380.5	401.3	461.0	388.5	380.5	320.5	461.0	388.5		
	Instalaciones	m <sup>2</sup>	Instalaciones	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	
	Concreto	m <sup>3</sup>	Concreto	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	

Figura 28: Lookahead de 4 semanas-Fuente: Proyecto Edificio Corporativo

### 3.3 RATIOS DE PRODUCTIVIDAD: ACERO, ENCOFRADO Y CONCRETO

- Ratios de acero:

Considerar Ratio meta= 0.042

#### Semana 12

ACERO HABILITACIÓN	14,233.25
ACERO COLOCACIÓN	16,119.81
HH	978.00
RATIO	0.061
CONSUMO	15,181.080
% DESPERDICIO	6.7%

#### Semana 13

ACERO HABILITACIÓN	13,329.06
ACERO COLOCACIÓN	19,147.54
HH	693.00
RATIO	0.036
CONSUMO	14,279.310
% DESPERDICIO	7.1%

#### Semana 14

ACERO HABILITACIÓN	24,542.82
ACERO COLOCACIÓN	23,586.59
HH	1,185.00
RATIO	0.050
CONSUMO	25,615.41
% DESPERDICIO	4.4%

**Semana 15**

ACERO HABILITACIÓN	23,733.86
ACERO COLOCACIÓN	20,217.70
HH	1,100.00
RATIO	0.054
CONSUMO	25,190.04
% DESPERDICIO	6.1%

**Semana 16**

ACERO HABILITACIÓN	14,784.34
ACERO COLOCACIÓN	8,965.62
HH	517.00
RATIO	0.058
CONSUMO	15,610.36
% DESPERDICIO	5.6%

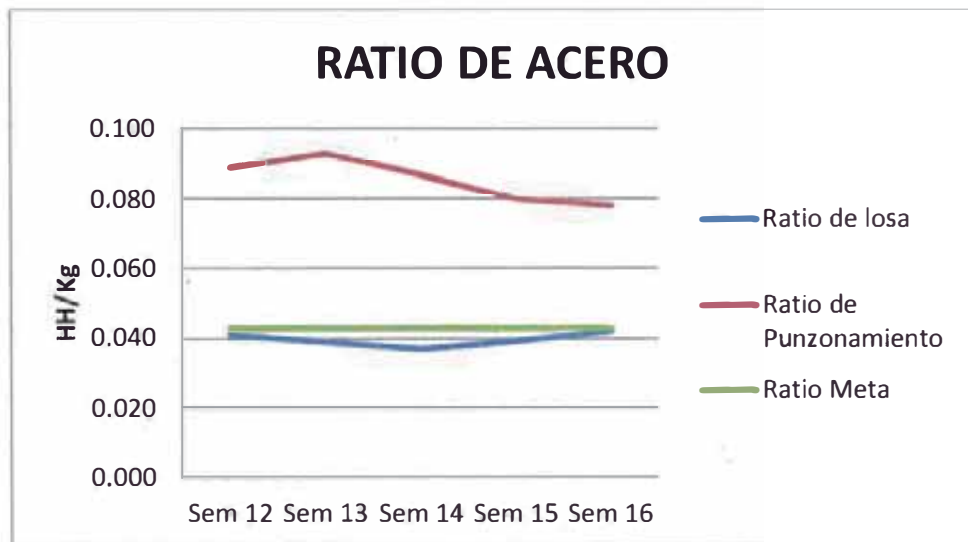


Figura 29: Gráfico Ratio de acero-Fuente Propia

**METRADO DE ACERO HORIZONTAL**

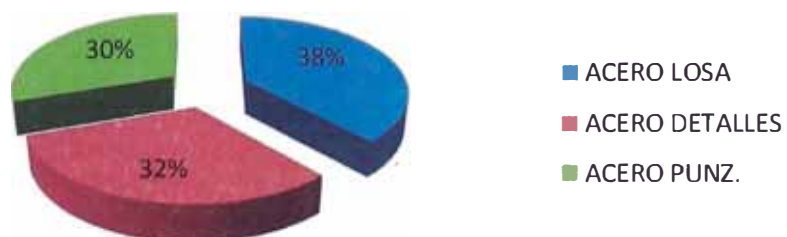


Figura 30: Metrado de acero horizontal- Fuente Propia

- **Ratios de encofrado:**

**Semana 12**

ENCOFRADO HORIZONTALES	910.98
HH	623
RATIO	0.68
RATIO META	0.4

**Semana 13**

ENCOFRADO HORIZONTALES	774.01
HH	480
RATIO	0.62
RATIO META	0.4

**Semana 14**

ENCOFRADO HORIZONTALES	623.00
HH	287.78
RATIO	0.46
RATIO META	0.40

**Semana 15**

ENCOFRADO HZTAL.	1551.15
HH	640
RATIO	0.41
RATIO META	0.4

**Semana 16**

ENCOFRADO HZTAL	619.88
HH	343.50
RATIO	0.55
RATIO META	0.40

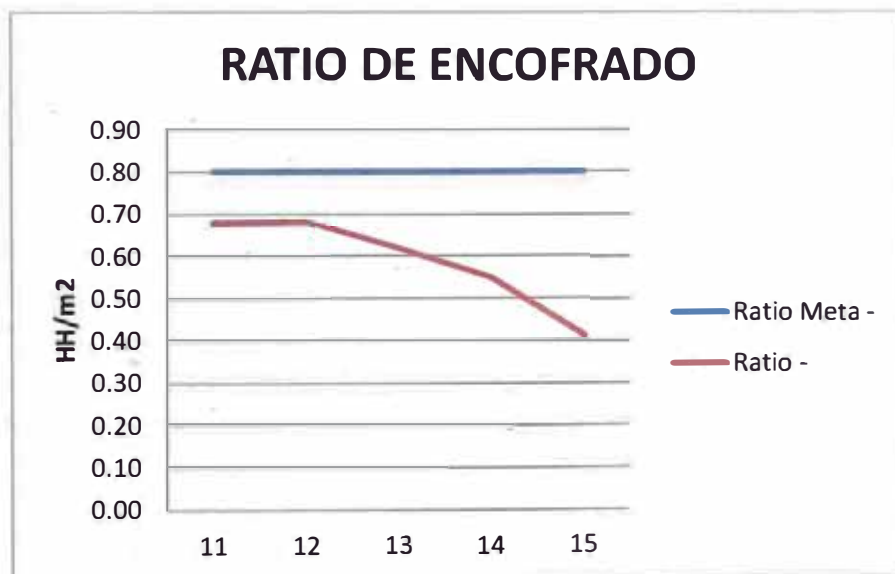


Figura 31: Gráfico Ratio de encofrado -Fuente Propia

- **Ratios de concreto:**

**Semana 12**

<b>CONCRETO</b>	
<b>HH</b>	162.50
<b>RATIO</b>	0.75
<b>RATIO META</b>	1.00
<b>VOLUMEN REAL (m<sup>3</sup>)</b>	216.57
<b>VOLUMEN PEDIDO (m<sup>3</sup>)</b>	248.00
<b>DESPERDICIO</b>	14.51%
<b>DESPERDICIO META</b>	0.05

**Semana 13**

<b>CONCRETO</b>	113.41
<b>HH</b>	114.00
<b>RATIO</b>	1.01
<b>RATIO META</b>	1.00
<b>VOLUMEN REAL</b>	113.41
<b>VOLUMEN PEDIDO</b>	124.50
<b>DESPERDICIO</b>	10.00%
<b>DESPERDICIO META</b>	0.05

**Semana 14**

<b>CONCRETO</b>	307.91
<b>HH</b>	112.00
<b>RATIO</b>	0.36
<b>RATIO META</b>	1.00
<b>VOLUMEN REAL</b>	307.91
<b>VOLUMEN PEDIDO</b>	322.00
<b>DESPERDICIO</b>	5.00%
<b>DESPERDICIO META</b>	0.05

**Semana 15**

<b>CONCRETO</b>	295.35
<b>HH</b>	191.00
<b>RATIO</b>	0.65
<b>RATIO META</b>	1.00
<b>VOLUMEN REAL</b>	295.35
<b>VOLUMEN PEDIDO</b>	315.50
<b>DESPERDICIO</b>	7.00%
<b>DESPERDICIO META</b>	0.05

**Semana 16**

<b>CONCRETO</b>	229.39
<b>HH</b>	138.50
<b>RATIO</b>	0.60
<b>RATIO META</b>	1.00
<b>VOLUMEN REAL</b>	229.39
<b>VOLUMEN PEDIDO</b>	244.00
<b>DESPERDICIO</b>	6.00%
<b>DESPERDICIO META</b>	0.05

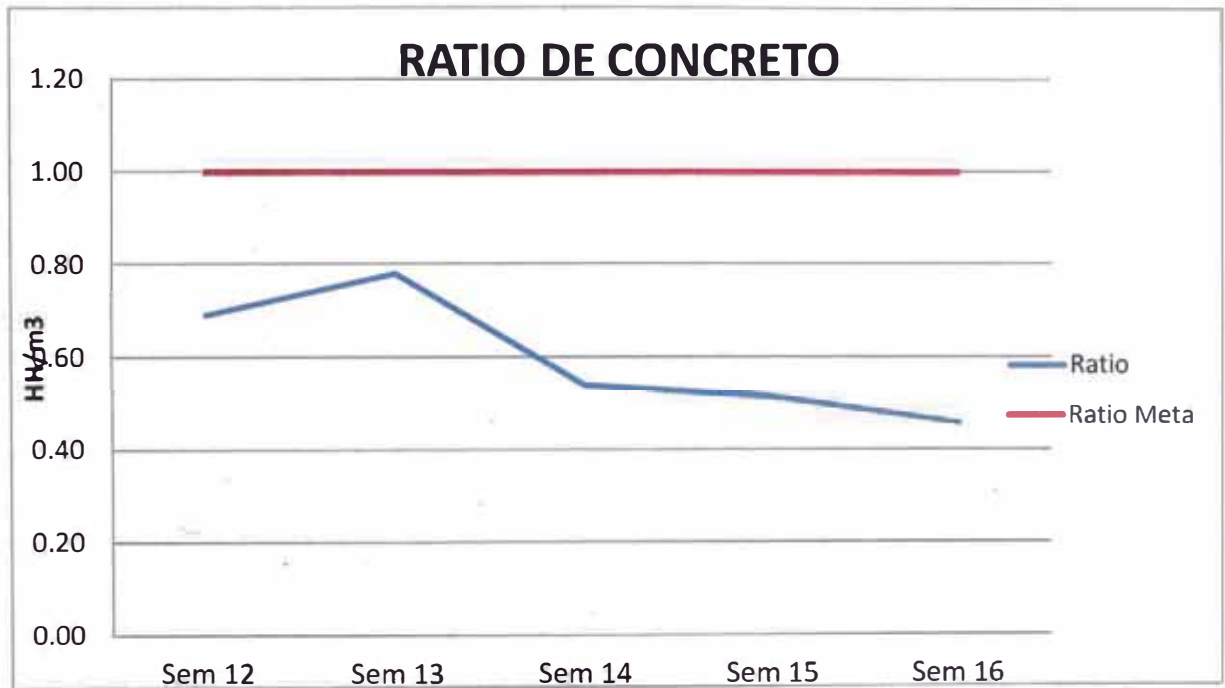


Figura 32: Gráfico Ratio de concreto-Fuente Propia

- Ratios de instalación de tendones

ITEM	RUBRO	RENDIMIENTO (M2/HH)
1	INSTALACIÓN	4.5

SECTOR	AREA (M2)	PORCENTAJE DE AVANCE (%)	TOTAL DE TRABAJADORES	HORAS TRABAJADAS	RENDIMIENTO (M2/HH)
SECTOR 1	490	100%	11	8.5	5.24
SECTOR 2	390	100%	11	8.5	4.17
SECTOR 3	360	100%	9	8.5	4.71
SECTOR 4	490	100%	11	8.5	5.24
SECTOR 5	360	100%	10	8.5	4.24
SECTOR 6	380	60%	12	5.0	3.80

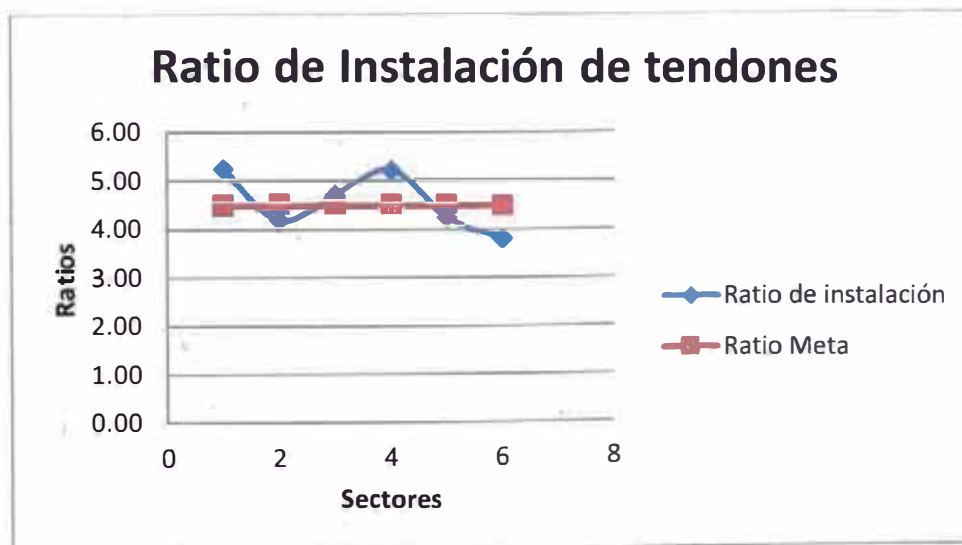


Figura 33: Gráfico Ratio de instalación de tendones-Fuente Propia



- **Ratios de tensado.**

ITEM	RUBRO	RENDIMIENTO (M2/HH)
1	TENSADO	15.7

SECTOR	AREA (M2)	PORCENTAJE DE AVANCE (%)	TOTAL DE TRABAJADORES	HORAS TRABAJADAS	RENDIMIENTO (M2/HH)
SECTOR 1	470	100%	3	8.5	18.43
SECTOR 2	460	100%	3	8.5	18.04
SECTOR 3	490	100%	3	8.5	19.22
SECTOR 4	390	100%	3	8.5	15.29
SECTOR 5	360	100%	3	8.5	14.12
SECTOR 6	490	30%	3	5.0	9.80

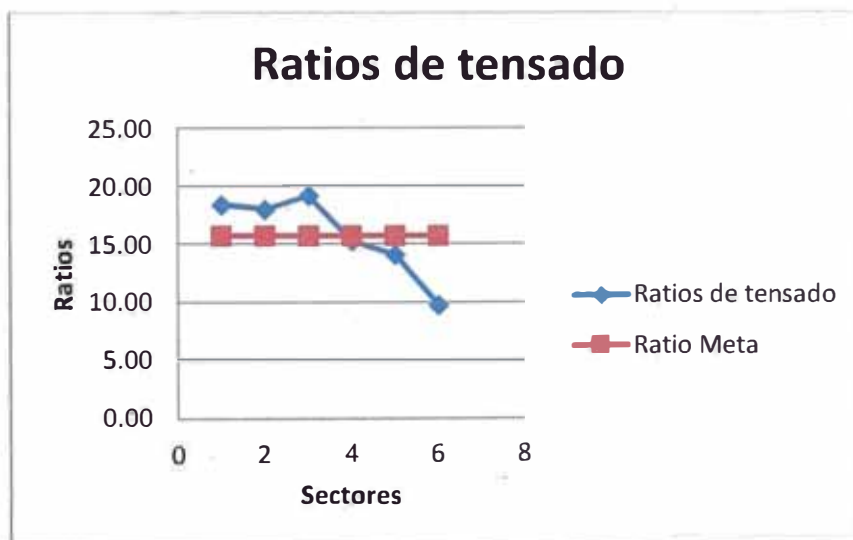


Figura 34: Gráfico Ratio de tensado-Fuente Propia

• **Ratios de Inyección.**

ITEM	RUBRO	RENDIMIENTO (M2/HH)
1	INYECCIÓN	23.5

SECTOR	AREA (M2)	PORCENTAJE DE AVANCE (%)	TOTAL DE TRABAJADORES	HORAS TRABAJADAS	RENDIMIENTO (M2/HH)
SECTOR 1	835	100%	4	8.5	24.56
SECTOR 2	815	100%	4	8.5	23.97
SECTOR 3	800	100%	4	8.5	23.53
SECTOR 4	780	100%	4	8.5	22.94
SECTOR 5	795	100%	4	8.5	23.38
SECTOR 6	475	100%	4	5.0	23.75

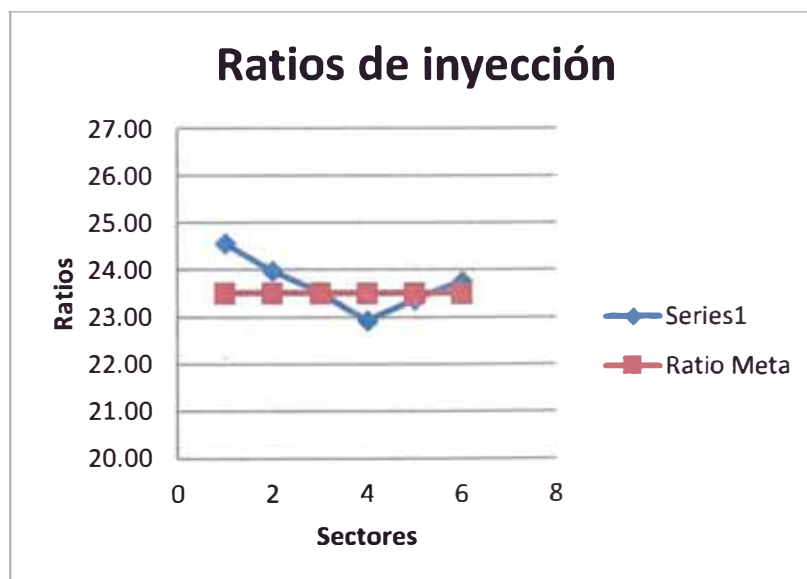


Figura 35: Gráfico Ratio de inyección-Fuente Propia

### 3.4 ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS EN COMPARACIÓN CON EL SISTEMA CONVENCIONAL

Las partidas por sistema de losas macizas frente al sistema de losas postensadas.

La disminución de partidas nos permite tener menos procesos, de alguna manera nos indica que el flujo tiene menos variabilidad y que sea continuo.

SISTEMA LOSAS MACIZAS	SISTEMA POSTENSADO
Apuntalamiento de Losa	Apuntalamiento de Losa
Fondo de Viga	Acero de Losa
Acero de Viga	Instalaciones
Costado de Viga	Concreto
Acero de Losa	
Instalaciones	
Concreto	

36: Comparación de partidas de Sistema de losas macizas y sistema de losas postensadas -  
Fuente Propia

#### **Análisis del sistema de losas postensadas**

Ejecutando el 1er día de programación (Elementos Verticales) sólo tenemos asegurado el 25% de un nivel, con lo que nos restan todas las actividades de los elementos horizontales, (75%), el 2do día tendríamos el sector apuntalado y completaríamos el 50% del nivel.

Para la ejecución del 3er día es donde notamos la complicación por el refuerzo de punzonamiento y dividimos los trabajos en acero: Malla inferior y punzonamiento

El cuarto día con que completaríamos el 100% del nivel, mejoramos el proceso, aumentando el metrado ejecutado al utilizar el brazo hormigonador.

### 3.5 ANÁLISIS DE AHORRO EN TIEMPO USANDO EL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS.

Se evaluará los ahorros en tiempo por cada partida importante y la suma total de todos los días ahorrados según cronogramas de obra:

- **Excavación:**

Ratio de avance: 4000m<sup>3</sup>/semana.

Para un ahorro de:  $A_t \cdot H_{red} = 3040m^3$ .

Se evidencia un Ahorro = 4.5 días.

- **Muros anclados:**

Ratio de avance: 1 anillo (H=3.5m)/ 2semanas

Para un ahorro den altura de  $H_{red}=1.8$  m

Se evidencia un Ahorro = 6.5 días.

- **Columnas y Placas:**

Ratio de avance: 1 sótano (H=3.5m)/ semana

Para un ahorro den altura de  $H_{red}=1.8$  m

Se evidencia un Ahorro = 3 días.

**Por lo tanto:**

Se evidencia un Ahorro total de = 14 días laborales

Considerar plazo total para la construcción de sótanos de 4 meses = 96 días laborables.

% Ahorro en tiempo= 14.5% menos se demoraría en realizar la obra.

## CAPITULO IV: ANALISIS DE COSTOS DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS RESPECTO A LOSAS MACIZAS TRADICIONALES

### 3.1 EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES DE MAYOR INCIDENCIA

Una vez planteada la opción de mejora y tener un sistema que ayude a lograr el objetivo, procedemos a desarrollar la estimación del impacto en el costo de cada actividad relacionada e incidente en el costo total de la obra.

#### 1. Actividades relacionadas

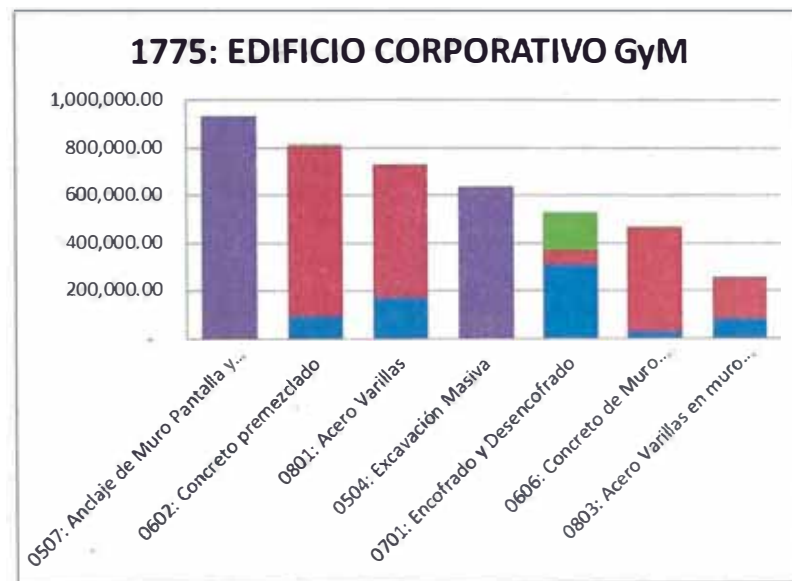


Figura 37: Actividades relacionadas directamente-Fuente Propia

#### 2. Esquema de sistemas tradicionales y propuestos.



Fig. 38: Plano tradicional de estructuras-Fuente: Planos del proyecto.



Fig. 39: Plano de postensado Fuente: Planos del proyecto.

En base a las actividades relacionadas, en resumen se tiene que el costo está conformado por:

$$\text{Costo} = \text{Costo}_{\text{excav.}} + \text{Costo}_{\text{ancla.}} + \text{Costo}_{\text{sist.}} + \text{Costo}_{\text{C}^{\text{A}}} + \text{Otros}$$

- El costo del sistema ( $\text{Costo}_{\text{sist.}}$ ) se refiere al costo de la losa estructural.
- El costo de concreto armado ( $\text{Costo}_{\text{C}^{\text{A}}}$ ) incluye los costos de ejecutar las partidas de columnas, muros y placas.
- El costo de excavación se representaría como:

$$\text{Costo}_{\text{excav.1}} = AT_i * H_{\text{exc.}} * P_{\text{excav.}}$$

- El costo del sistema se representaría como:

$$\text{Costo}_{\text{excav.2}} = 0.9 * N_s * AT_i * P_{\text{sist.}}$$

- Dónde:

$AT_i$  = Área de la losa (m<sup>2</sup>)

$H_{\text{exc.}}$  = Altura de excavación, Profundidad (m)

$P_{\text{excav.}}$  = Precio de excavación (S/. ó USD)

$N_s$  = Número de sótanos con nuevo sistema

$P_{\text{sist.}}$  = Precio del sistema (S/. ó USD / m<sup>2</sup>)

$\text{Costo}_{\text{excav.1}}$  = Costo de excavación

$\text{Costo}_{\text{excav.2}}$  = Costo de excavación del sistema postensado

El factor de 0.9 indica que el área del pos-tensado es el 90% del área del terreno.

Como se mencionó, la profundidad o altura de excavación es la suma de las alturas de cada nivel.

$$H_{excav.} = H_{S1} + H_{S2} + \dots + H_{Sn} = \sum_{i=1}^n H_{Si}$$

La altura de cada nivel se reduce de acuerdo al peralte libre de la viga:

$$H_{red.} = H_f - H_0$$

$H_{S1, S2, S3, \dots, Sn}$  = Altura de excavación de cada nivel

$H_{red}$  = Altura de reducción

$H_f$  = Altura final

$H_0$  = Altura inicial

Con estos planteamientos podemos saber la variación en el costo entre el sistema de losa postensada y tradicional.

$$\begin{aligned} Costo1 - Costo2 = & \\ & = (Costo1_{excav.} + Costo1_{ancla.} \\ & + Costo1_{sist.} + Costo1_{C^{\circ}A^{\circ}} + Otros1) \\ & - (Costo2_{excav.} + Costo2_{ancla.} \\ & + Costo2_{sist.} + Costo2_{C^{\circ}A^{\circ}} + Otros2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Costo = \Delta Costo_{excav.} + \Delta Costo_{sist.} + \Delta Costo_{ancla.} \\ + \Delta Costo_{C^{\circ}A^{\circ}} + \Delta Costo_{otros} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Costo = AT_i * \Delta H_{exc.} * P_{excav.} + 0.9 * N_s \\ * AT_i * \Delta P_{sist.} + \Delta Costo_{ancla.} \\ + \Delta Costo_{C^{\circ}A^{\circ}} + \Delta Costo_{otros} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Costo = AT_i * \sum_{i=1}^n \Delta H_{Si} * P_{excav.} + 0.9 * N_s \\ * AT_i * \Delta P_{sist.} + \Delta Costo_{ancla.} \\ + \Delta Costo_{C^{\circ}A^{\circ}} + \Delta Costo_{otros} \end{aligned}$$

Es lógico pensar que las actividades llamadas "Otros" no son de mucha incidencia y la variación de costo de estas actividades no influye, de esta forma, la variación del costo por un cambio de sistema resultaría de la siguiente manera:

$$\Delta Costo = AT_i * N_s * H_{red.} * P_{excav.} + 0.9 * N_s * AT_i * \Delta P_{sist.} + \Delta Costo_{ancla.} + \Delta Costo_{c^oA^o} + \Delta Costo_{otros}$$

$$\Delta Costo = AT_i * N_s * (H_{red.} * P_{excav.} + 0.9 * \Delta P_{sist.}) + \Delta Costo_{ancla.} + \Delta Costo_{c^oA^o}$$

Para que sea rentable económicamente se debe cumplir lo siguiente:

$$(H_{red.} * P_{excav.} + 0.9 \Delta P_{sist.}) \geq 1$$

$Costo1_{excav}$  = Costo de excavación 1

$Costo2_{excav}$  = Costo de excavación 2

$Costo_{ancl}$  = Costo de anclaje

$Costo_{c^oA^o}$  = Costo de concreto armado

$Costo_{sist}$  = Costo de sistema

$P_{excav.}$  = Precio de excavación (S/. ó USD)

$P_{sist.}$  = Precio de excavación (S/. ó USD)



### 3.2 ANALISIS DE COSTOS DE LAS PARTIDAS DE LOSAS POSTENSADAS

ITEM	CANT	UND	DESCRIPCION	CCL Perú S.A.	
				PU (S/.)	SUBTOTAL (S/.)
1.00	1.00	Glb	Losas postensadas - Suministro de cables, ductos, anclajes y accesorios. - Servicio de postensado, inyección de lechada. - Alquiler de equipos	S/. 339,557.01	S/. 339,557.01
2.00	1,000.00	hh	Instalación de tendones	S/. 15.82	S/. 15,822.00
3.00	954.82	m <sup>3</sup>	Suministro de concreto f'c=280 kg/cm <sup>2</sup>	S/. 266.22	S/. 254,192.18
4.00	377.46	m <sup>3</sup>	Suministro de concreto f'c=350 kg/cm <sup>2</sup>	S/. 304.21	S/. 114,827.46
5.00	1,025.86	hh	Instalación de concreto de losa	S/. 15.82	S/. 16,231.12
6.00	20,220.15	Kg	Suministro de Refuerzo complementario en losas	S/. 2.59	S/. 52,410.63
7.00	2,022.02	Kg	Refuerzo complementario en zona de anclajes y sillas	S/. 2.59	S/. 5,241.06
8.00	889.69	hh	Habilitado y colocación de refuerzo	S/. 15.82	S/. 14,076.62
9.00	250.00	hh	Fijación de ductos, anclajes y roscado de cables	S/. 15.82	S/. 3,955.50
10.00	93.00	bls	Suministro de cemento para inyección de lechada (2.5 kg/m de ducto)	S/. 17.17	S/. 1,596.81
11.00	6,346.86	m <sup>2</sup>	Suministro de encofrado para losas	S/. 17.85	S/. 113,272.41
12.00	14,280.44	hh	Habilitado y colocación de encofrado de losas	S/. 15.82	S/. 225,945.04
<b>TOTAL S/. (SIN IGV)</b>					<b>S/. 1,157,127.84</b>

### 3.3 COMPARATIVO DE COSTOS DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS CON EL SISTEMA TRADICIONAL

Costos de losas con el sistema tradicional de vaciado de losa maciza con espesor de 20cm y hacer el comparativo con la losa del sistema pos-tensado.

CANT	UND	DESCRIPCION	GyM S.A.	
			PU (S/.)	SUBTOTAL (S/.)
54,998.40	Kg	Acero de refuerzo en losas	S/. 2.59	S/. 142,555.86
2,199.94	hh	Habilitado y colocación de refuerzo en losas	S/. 15.82	S/. 34,807.39
648.84	m <sup>3</sup>	Suministro de concreto f'c=280 kg/cm <sup>2</sup> para losas	S/. 266.22	S/. 172,734.24
211.59	m <sup>3</sup>	Suministro de concreto f'c=350 kg/cm <sup>2</sup> para losas	S/. 304.21	S/. 64,366.18
662.53	hh	Instalación de concreto de losa	S/. 15.82	S/. 10,482.51
71.76	m <sup>3</sup>	Suministro de concreto f'c=280 kg/cm <sup>2</sup> para vigas	S/. 266.22	S/. 19,103.95
31.14	m <sup>3</sup>	Suministro de concreto f'c=350 kg/cm <sup>2</sup> para vigas	S/. 304.21	S/. 9,474.29
79.24	hh	Instalación de concreto de vigas	S/. 15.82	S/. 1,253.67
15,260.66	Kg	Acero de refuerzo en vigas	S/. 2.59	S/. 39,555.64
610.43	hh	Habilitado y colocación de refuerzo en vigas	S/. 15.82	S/. 9,658.17
5,736.17	m <sup>2</sup>	Prelosas	S/. 34.29	S/. 196,693.29
5,736.17	m <sup>2</sup>	Puntales para prelosa	S/. 12.00	S/. 68,834.05
343.01	m <sup>2</sup>	Suministro de encofrado para vigas	S/. 17.85	S/. 6,121.76
977.59	hh	Habilitado y colocación de encofrado de vigas	S/. 15.82	S/. 15,467.40
				<b>S/. 791,108.40</b>

Resumen de comparativo del sistema de losas pos tensadas con losas macizas.

SISTEMA	A: LOSAS POSTENSADAS	B: LOSAS NORMALES (VIGAS PERALTADAS)
PROVEEDOR	CCL Perú S.A.	GyM S.A.
MONTO DE PROPUESTA ANTES DEL IGV (USD)	S/. 1,157,127.84	S/. 791,108.40

Se aprecia que el costo del sistema de losas pos tensadas es más caro por 366,018.44 nuevos soles, en el siguiente capítulo se hará el análisis de las losas postensadas como sistema, observando que hay un ahorro por excavación, muros anclados, y por el sistema de las losas postensadas.

### 3.4 ANÁLISIS DE AHORRO DEL SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS

#### Análisis:

Área del terreno: 1689.55 m<sup>2</sup>

Perímetro del terreno: 166.30 m

#### 1. Excavación

$$AHORRO_{EXCAVACIÓN} = AT_i * (H_{red.} * P_{exc.})$$

#### 2. Muros anclados

$$AHORRO_{MUROS ANCLADOS} = PT_i * N_s * H_{red.} * (P_{encofrado} + P_{perfilado} + P_{pañeteo} + P_{acero} * ratio + P_{concreto} * e_{concr.})$$

#### 3. Sistema de losas postensadas

$$AHORRO_{SISTEMA} = N_s * AT_i * (\Delta P_{sist.})$$

#### 4. Columnas y placas

$$AHORRO_{COLUMNAS Y PLACAS} = H_{red.} * (\Delta P_{columnas y placas})$$

### Leyenda

Ns:	Número de sótanos que se usará postensado
Ati:	Area típica de un sótano
Hred.:	Altura reducida por piso postensado (aprox. 0.5 m)
Pexc:	Precio de excavación
$\Delta P_{sist.}$ :	Variación de precio del sistema <-5;-10>
$\Delta P_{Col}$ y placa:	Variación del costo por líneas de anclaje

Se muestra los precios unitarios de las partidas involucradas que por su metrado nos dará el ahorro ganado.

DESCRIPCION	UNID	USANDO LOSAS POSTENSADAS		
		Metrado	P.U. sin IGV (S/.)	Parcial sin IGV (S/.)
<b>EXCAVACION MASIVA</b>				<b>S/. 618,365.52</b>
Excavación Masiva y eliminación	m3	25,765.23	S/. 24.00	S/. 618,365.52
<b>MURO ANCLADO</b>				<b>S/. 896,392.11</b>
Perfilado de taludes	m2	2,571.10	S/. 8.99	S/. 23,114.19
Pañeteo de taludes	m2	2,571.10	S/. 9.38	S/. 24,116.92
Acero f'y=4200 kg/cm2	kg	70,480.63	S/. 3.94	S/. 277,693.68
Encofrado metálico contraterreno	m2	2,571.10	S/. 55.54	S/. 142,798.89
Concreto f'c=280 kg/cm2	m3	1,148.26	S/. 373.32	S/. 428,668.42
<b>COLUMNAS</b>				<b>S/. 412,077.49</b>
Acero f'y=4200 kg/cm2	kg	75,733.59	S/. 3.68	S/. 278,699.61
Encofrado metálico - Altura simple	m2	895.40	S/. 48.49	S/. 43,417.95
Encofrado metálico - Doble altura	m2	377.77	S/. 53.76	S/. 20,308.92
Concreto f'c=350 kg/cm2	m3	208.38	S/. 334.25	S/. 69,651.02
<b>PLACAS</b>				<b>S/. 55,959.43</b>
Acero f'y=4200 kg/cm2	kg	4,295.76	S/. 3.68	S/. 15,808.40
Encofrado metálico - Altura simple	m2	216.18	S/. 48.49	S/. 10,482.57
Encofrado metálico - Doble altura	m2	309.79	S/. 53.76	S/. 16,654.31
Concreto f'c=280 kg/cm2	m3	42.58	S/. 305.64	S/. 13,014.15
<b>VIGAS</b>				<b>S/. 118,570.44</b>
Acero f'y=4200 kg/cm2	kg	19,441.12	S/. 3.68	S/. 71,543.32
Encofrado metálico - Altura simple	m2	74.10	S/. 48.49	S/. 3,593.11
Encofrado metálico - Doble altura	m2	653.52	S/. 53.76	S/. 35,133.24
Concreto f'c=350 kg/cm2	m3	25.45	S/. 326.16	S/. 8,300.77
<b>LOSA MACIZA (0.20m)</b>				<b>S/. 958,243.99</b>
Acero f'y=4200 kg/cm2	kg	43,811.72	S/. 3.68	S/. 161,227.13
Encofrado metálico - Altura simple (LP)	m2	4,681.67	S/. 50.51	S/. 236,471.15
Concreto f'c=350 kg/cm2	m3	936.33	S/. 326.16	S/. 305,394.70
Postensado	m2	4,681.67	S/. 54.50	S/. 255,151.02

### 1. Excavación

$$AHORRO_{EXCAVACIÓN} = AT_i * (H_{red.} * P_{exc.})$$

<b>Hred</b>	0.00	0.45	0.90	1.35	1.80	2.25	2.70	3.15	3.60	4.05	4.50
<b>Ns</b>	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
<b>AHORRO</b>	S/. -	S/. 18,248.22	S/. 36,496.44	S/. 54,744.66	S/. 72,992.88	S/. 91,241.10	S/. 109,489.32	S/. 127,737.54	S/. 145,985.76	S/. 164,233.98	S/. 182,482.20

Para un Hred: 1.8, Ns=4

Ahorro en excavación = S/. 72,992.88

### 2. Muros anclados

$$AHORRO_{MUROS ANCLADOS} = PT_i * N_s * H_{red.} * (P_{encofrado} + P_{perfilado} + P_{pañeteo} + P_{acero} * ratio + P_{concreto} * e_{concr.})$$

Datos:

Ratio acero: 18.7Kg/m2

Ratio de espesor de concreto: 0.35m3/m2

<b>Hred</b>	0.00	0.45	0.90	1.35	1.80	2.25	2.70	3.15	3.60	4.05	4.50
<b>Ns</b>	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
<b>AHORRO</b>	S/. -	S/. 20,822.84	S/. 83,291.36	S/. 187,405.55	S/. 333,165.42	S/. 520,570.97	S/. 749,622.20	S/. 1,020,319.10	S/. 1,332,661.68	S/. 1,686,649.94	S/. 2,082,283.88

Para un Hred: 1.8, Ns=4

Ahorro en muros anclados = S/. 333,165.42

### 3. Sistema de losas postensadas

$$AHORRO_{SISTEMA} = N_s * AT_i * (\Delta P_{sist.})$$

<b>Hred</b>	0.00	0.45	0.90	1.35	1.80	2.25	2.70	3.15	3.60	4.05	4.50
	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
<b>AHORRO</b>	S/. -	S/. 50,024.54	S/. 100,049.07	S/. 150,073.61	S/. 200,098.15	S/. 250,122.68	S/. 300,147.22	S/. 350,171.76	S/. 400,196.29	S/. 450,220.83	S/. 500,245.37

*Resultados de análisis.*

**LOSAS MACIZAS  
CONVENCIONALES**

<b>VIGAS</b>	Unid.	Cantidad	Precio	S/.
				<b>71,411.62</b>
Acero f'y=4200 kg/cm2	Kg.	4,498.37	S/. 3.27	S/. <b>14,709.66</b>
Encofrado metálico - Altura simple	m <sup>2</sup>	543.95	S/. 48.49	S/. <b>26,375.94</b>
Concreto f'c=280 kg/ cm2	m <sup>3</sup>	102.19	S/. 296.76	S/. <b>30,326.02</b>
<b>LOSA MACIZA (0.20m)</b>				<b>S/.</b> <b>191,855.75</b>
Acero f'y=4200 kg/cm2	Kg.	13,638.62	S/. 3.27	S/. <b>44,598.28</b>
Malla electrosoldada	m <sup>2</sup>	1,422.86	S/. 14.60	S/. <b>20,773.76</b>
Apuntalamiento de prelosas	m <sup>2</sup>	1,422.86	S/. 9.38	S/. <b>13,346.43</b>
Concreto f'c=280 kg/cm2	m <sup>3</sup>	213.43	S/. 296.76	S/. <b>63,337.19</b>
Prelosa	m <sup>2</sup>	1,422.86	S/. 35.00	S/. <b>49,800.10</b>
<b>Total</b>				<b>S/.</b> <b>263,267.37</b>
<b>Precio S/./ m<sup>2</sup></b>				<b>170.96 S/./ m<sup>2</sup></b>

**SISTEMA DE LOSAS POSTENSADAS**

<b>VIGAS</b>	Unid.	Cantidad	Precio	S/.
				<b>3,656.21</b>
Acero f'y=4200 kg/ m <sup>3</sup>	kg	375.78	S/. 3.27	S/. <b>1,228.82</b>
Encofrado metálico - Altura simple	m <sup>2</sup>	24.16	S/. 48.49	S/. <b>1,171.52</b>
Concreto f'c=350 kg/cm2	m <sup>3</sup>	3.85	S/. 326.16	S/. <b>1,255.88</b>
<b>LOSA MACIZA (0.20m)</b>				<b>S/.</b> <b>305,203.61</b>
Acero f'y=4200 kg/cm2	kg	11,400.96	S/. 3.64	S/. <b>41,499.49</b>
Encofrado metálico - Altura simple (LP)	m <sup>2</sup>	1,539.95	S/. 50.51	S/. <b>77,782.87</b>
oncreto f'c=350 kg/cm2	m <sup>3</sup>	307.99	S/. 326.16	S/. <b>100,454.02</b>
Postensado	m <sup>2</sup>	1,539.95	S/. 55.50	S/. <b>85,467.23</b>
<b>Total</b>				<b>S/.</b> <b>308,859.83</b>
<b>Precio /m<sup>2</sup></b>				<b>200.56 S/./ m<sup>2</sup></b>

Por lo tanto:

$$(\Delta P_{sist.}) = -29.61 \text{ s/./ m}^2$$

**Para un Hred: 1.8, Ns=4**

**Ahorro del sistema = S/.** -200,098.15

#### 4. Columnas y placas

$$AHORRO_{COLUMNAS Y PLACAS} = H_{red} * (\Delta P_{Columnas y placas})$$

<b>Hred</b>	0.00	0.45	0.90	1.35	1.80	2.25	2.70	3.15	3.60	4.05	4.50
<b>Ns</b>	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
<b>AHORRO</b>	S/. -	S/. 10,707.59	S/. 21,415.19	S/. 32,122.78	S/. 42,830.37	S/. 53,537.96	S/. 64,245.56	S/. 74,953.15	S/. 85,660.74	S/. 96,368.33	S/. 107,075.93

#### Análisis de ahorro para columnas y placas.

<b>COLUMNAS Y PLACAS</b>	Unid.	Cantidad	Precio	S/.	S/.
Acero f'y=4200 kg/cm2	kg	3,869.78	S/. 3.68	S/.	<b>23,794.65</b>
Encofrado metálico - Altura simple	m²	94.11	S/. 48.49	S/.	<b>4,563.49</b>
Concreto f'c=350 kg/cm2	m³	14.93	S/. 334.25	S/.	<b>4,990.35</b>
				S/.	<b>23,794.65</b>

Por lo tanto:

$$(\Delta P_{Columnas y placas}) = S/. 23,794.65$$

**Para un Hred: 1.8, Ns=4**

**Ahorro en columnas y placas = S/. 42,830.37**

<b>Hred</b>	0.00	0.45	0.90	1.35	1.80	2.25	2.70	3.15	3.60	4.05	4.50
<b>Ns</b>	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
<b>Ahorro de otras actividades</b>	0.00	49,778.65	141,202.98	274,272.99	448,988.67	665,350.03	923,357.07	1,223,009.79	1,564,308.18	1,947,252.25	2,371,842.00
<b>Ahorro por sistema</b>	0.00	-50,024.54	-100,049.07	-150,073.61	-200,098.15	-250,122.68	-300,147.22	-350,171.76	-400,196.29	-450,220.83	-500,245.37
<b>Ahorro total</b>	0.00	-245.89	41,153.91	124,199.38	248,890.52	415,227.35	623,209.85	872,838.03	1,164,111.89	1,497,031.42	1,871,596.63

**Por lo tanto:**

Se evidencia un Ahorro total de = S/. 248,890.52

Considerar presupuesto de obra = S/. 30 000 000

% Ahorro en tiempo= 0.8% menos se costaría en realizar la obra.

**Curva de variación de costos y ahorros del sistema**

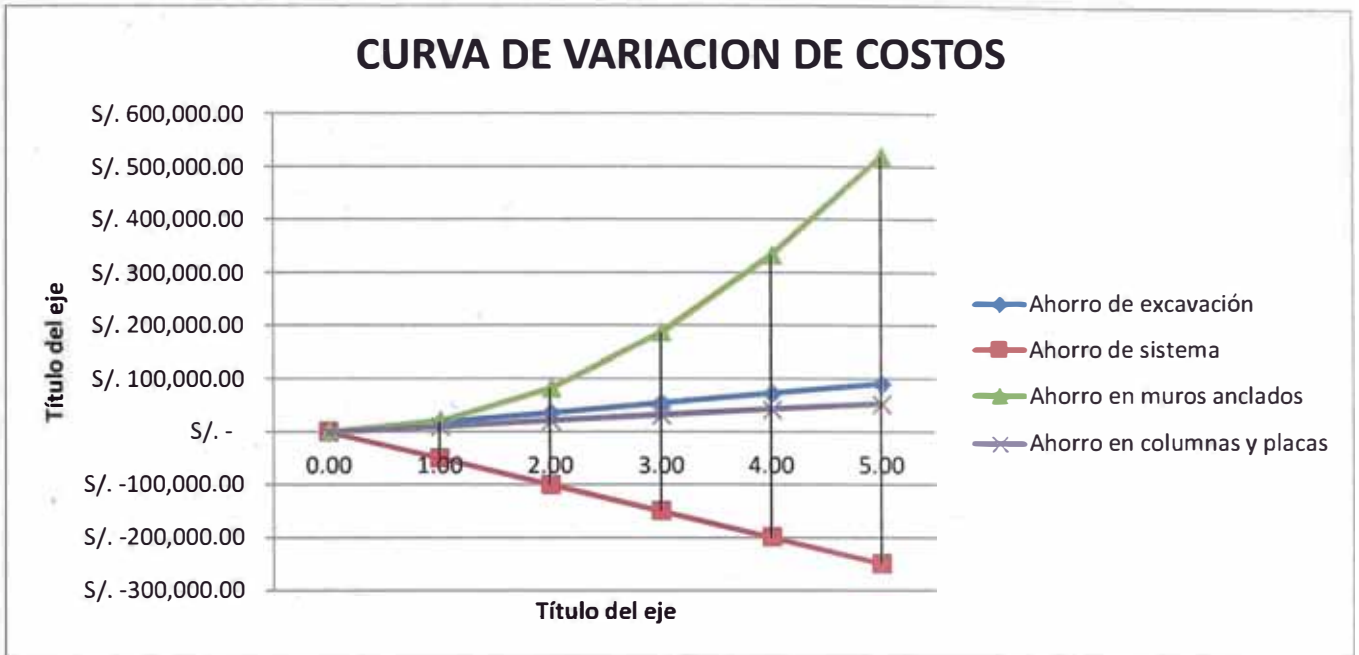


Fig. 40: Curva de variación de costos-Fuente Propia

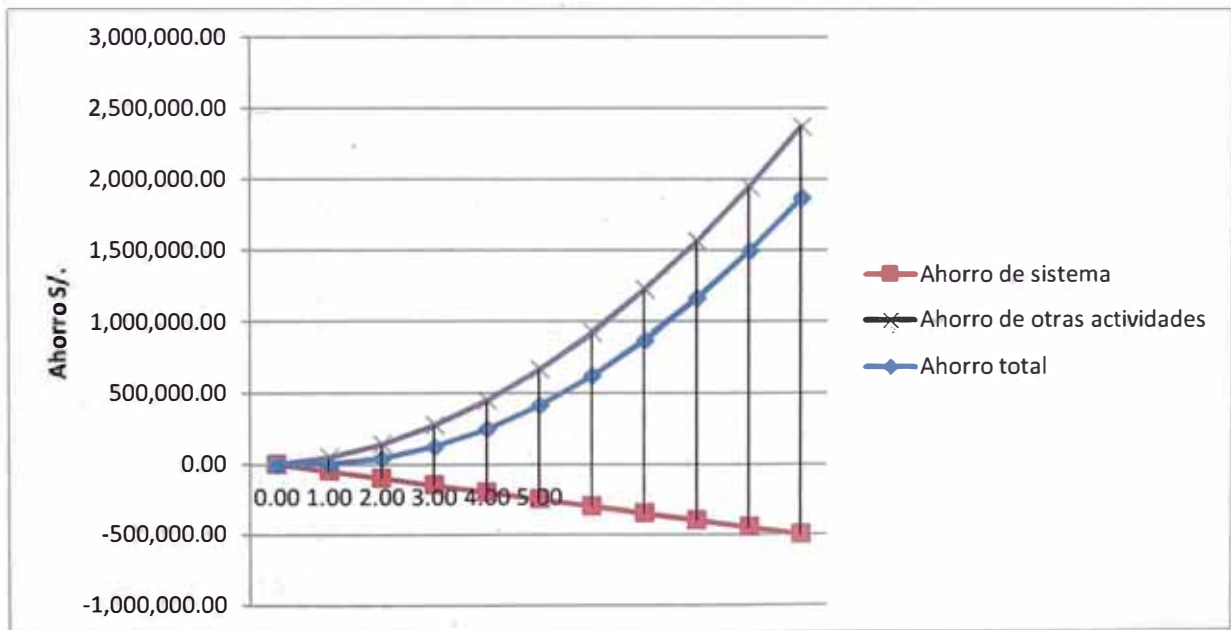


Fig. 41: Curva de ahorro-Fuente Propia



## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES.

- Se concluye según la información indicada en el presente informe, que el sistema de losas postensadas es muy beneficioso para proyectos con gran cantidad de sótanos, ya que el ahorro depende de la altura de excavación principalmente, se debe hacer un análisis de costo/beneficio antes de tomar la decisión de usar este sistemas que tienen muchas ventajas constructivas y arquitectónicas, y a la vez desventajas en el riesgo de poder perforar algún cable en el proceso de construcción de la obra antes de ser inyectados.
- El empleo de losas postensadas permite diseñar losas planas, luces libres más grandes, lo que lleva a una Arquitectura más elegante.
- Se pueden obtener ahorros en la profundidad de excavación y en los muros anclados al disminuir el uso de vigas peraltadas, obteniendo un ahorro total de S/. 248,890.52, 0.82% de ahorro que puede aumentar el margen de 8% del proyecto, en cronograma no hay significativas diferencias, según programación sería igual sistema de losas postensadas y sistema de losas convencionales respecto al vaciado de la losa en sí, pero existe un ahorro en tiempo de excavación y construcción de muros anclados.
- Se evaluó un ahorro de 14 días hábiles en cronograma de obra, al cambiar del sistema tradicional al sistema postensado para el proyecto Edificio Corporativo GyM.
- El sistema postensado es más rentable en proyectos “verticales” que en proyectos “horizontales” ya que el ahorro es por altura y no por m<sup>2</sup> tanto para sótanos y pisos.

### 5.2 RECOMENDACIONES

#### Obras Provisionales:

- Tener un área especialmente para el habilitado del cable postensado.

#### Encofrado:

- Se podría utilizar un capitel en la zona de punzonamiento.

#### Acero:

- Utilizar acero dimensionado para el detalle de refuerzo por punzonamiento en columnas y aseguramiento de desarrollo de tendones.

### **Cable Postensado:**

- Tener especial cuidado con los tendones que pasan por dos sectores, deben ser siempre considerados en el diseño de sectorización para que no impidan el desencofrado.
- Se puede optimizar aún más el sistema de losas postensadas con el uso de capiteles en las columnas, lo que conlleva a diseñar losas con menor espesor (17 cm).

### **Concreto:**

- Si se considera utilizar el capitel es probable que se reduzca el peralte de la losa, esto nos daría metrados menores y consiguientemente menores volúmenes de obras de concreto, menores tiempos de ejecución y menores costos.

### **Instalaciones:**

- Analizar la compatibilización de instalaciones sanitarias, eléctricas, agua contra incendio que por lo general son instalaciones colgadas y ancladas al techo, existe un riesgo de perforar algún tendón, lo cual se debe tener cuidado identificando las líneas donde pasan los cables postensados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cueva Enzo, Post Tensioned Slabs, Lima 2013
- GRAÑA Y MONTERO – CCA. Exposición: Sistema de Losas Postensadas Experiencia Nueva Sede GyM, Lima, Perú 2013.
- Mejía Jorge, Seguimiento de obra, edificio de oficinas, Holanda 100, Providencia, Julio 2009
- Repair and strengthening of concrete structures, Federatio internationale de la precontrainte, USA, 2001.
- Sánchez Moya Victor, Introducción al Postensado, Lima 2006