

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Diseño de losas postensadas y del proceso constructivo para un edificio comercial-residencial de cuatro pisos en la ciudad de Guayaquil-Ecuador

INGE-2547

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

PRESENTADO POR:

De La Puerta Quiroz Jorge Luis

Merchán Moncayo Emily Victoria

AÑO:

2024

GUAYAQUIL – ECUADOR

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado principalmente a Dios, debido a que me ha llenado de bendiciones durante todo el proceso de la carrera universitaria. A mis padres, los cuales han sido el pilar fundamental para ser el futuro profesional con excelentes valores; además por su apoyo incondicional, motivación y sacrificio en todo momento. A mis hermanos, los cuales me brindan la fortaleza para seguir siendo un ejemplo por reflejar. A mi familia, que siempre me brindó su apoyo y confianza en todos los ámbitos. Una dedicación especial a mi tía Miriam De La Puerta, la cual me cuida desde del cielo y siempre se encontró orgullosa de mis logros. A mis profesores y mentores, por ser una guía y ofrecer sus conocimientos para completar una excelente formación académica. A mis amigos, por su amistad, compañía y estar presente en todas las vicisitudes de la vida.

Jorge Luis De La Puerta Quiroz

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mis padres, por su apoyo, amor y sacrificio a lo largo de todas las etapas de mi vida. A mis hermanos, quienes han guía fundamental en mi vida. A mi familia, de quienes siempre contaré con su apoyo y comprensión. A mis amigos, por su amistad, colaboración y siempre estar a mi lado en los momentos buenos y difíciles. A nuestros profesores, por compartir todos sus conocimientos a lo largo de la carrera. A Dios, por ser parte esencial y conducirnos al bien.

Emily Victoria Merchán Moncayo

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, los cuales han sido la fuente primordial para culminar mi carrera; sus consejos, motivación y enseñanzas han sido la clave que me han llevado adelante en todo momento. A Dios quien me ha orientado y me ha brindado las fortalezas necesarias para alcanzar los diferentes objetivos. Al Ing. Pedro Rojas M.Sc., Ph.D, por su paciencia, enseñanzas y motivación durante la carrera universitaria y el proceso de investigación. A la futura ingeniera Emily Merchán, por su incansable esfuerzo durante el desarrollo de este trabajo. A los futuros ingenieros Jorge Villón, Jorge Sinche, María José Moyano y Eduardo Sánchez, por su apoyo incondicional durante toda la carrera universitaria.

Jorge Luis De La Puerta Quiroz

Agradecimientos

Agradezco enormemente a mis padres por su apoyo, amor y sacrificio a lo largo de mi etapa académica. A mis amigos, por su amistad, por siempre confiar en mí y acompañarme a lo largo de mi vida estudiantil. Al Ing. Pedro Rojas M.Sc., Ph.D. por su guía, paciencia y valiosos consejos durante todo el proceso de investigación. Al futuro ingeniero Iván Vega, por ser mi amigo y compañero en toda la carrera. Al futuro ingeniero Jorge De La Puerta por su arduo trabajo en el desarrollo de este proyecto. A Dios por darme la fortaleza para superar todas las dificultades presentadas en el proyecto.

Emily Victoria Merchán Moncayo

Declaratoria Expresa

Nosotros **Jorge Luis De La Puerta Quiroz** y **Emily Victoria Merchán Moncayo** acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 25 de septiembre del 2024.



Firmado electrónicamente por:
**JORGE LUIS DE LA
PUERTA QUIROZ**

Jorge Luis De La Puerta Quiroz



Firmado electrónicamente por:
**EMILY VICTORIA
MERCHAN MONCAYO**

Emily Victoria Merchán Moncayo

Evaluadores



Firmado electrónicamente por:
**INGRID TATIANA ORTA
ZAMBRANO**

MSc. Ingrid Tatiana Orta Zambrano

Profesor de Materia



Firmado electrónicamente por:
**PEDRO PABLO ROJAS
CRUZ**

PhD. Pedro Pablo Rojas Cruz

Tutor de proyecto

Resumen

Este trabajo es referente sobre el uso de losas postensadas en un edificio en Guayaquil, destacando la expansión de la industria de la construcción con nuevas tecnologías. Como las losas postensadas, que pueden reducir costos entre un 12% y 27% en comparación con las losas convencionales. A pesar de que este sistema es común en países desarrollados, no se ha implementado en Guayaquil hasta el momento. Este proyecto integrador propone el diseño de un edificio de cuatro pisos en la avenida Francisco de Orellana utilizando el sistema postensado. El diseño se basa en el Post Tensioning Manual y el Código ACI 319. Debido al uso del sistema postensado, el espesor de la losa se reducirá a 13 cm. El diseño incluye una losa con hormigón de $350 \frac{kg}{cm^2}$, torones de $\frac{1}{2}$ pulgada con separación de 75 cm, los cuales conservan una trayectoria mediante alzas plásticas. Además, acero corrugado de 12mm de diámetro en la dirección principal, así como también acero de 8mm de diámetro en la transversal para complementar el sistema. Las losas postensadas, ofrecen ventajas como menor cantidad de material, reducción de tiempo de construcción, menor impacto ambiental, y una reducción de costos del 9.55%. No obstante, este proyecto tiene un bajo nivel de contaminación.

Palabras claves: Nuevas tecnologías, Sistema constructivo, tiempo de construcción, Código ACI 319, Manual de postensado.

Abstract

This work is based on the use of post-tensioned slabs in a building in Guayaquil, highlighting the expansion of the construction industry with new technologies. Post-tensioned slabs, for example, can reduce costs by 12% to 27% compared to conventional slabs. Although this system is common in developed countries, it has not been implemented in Guayaquil yet. This integrative project proposes the design of a four-story building on Francisco de Orellana Avenue using the post-tensioning system. The design is based on the Post Tensioning Manual and the ACI 319 Code. Due to the use of post-tensioning system, the slab thickness will be reduced to 13 cm. The design includes a slab with 350 kg/cm² concrete, ½-inch strands spaced 75 cm apart, which follow a trajectory maintained by plastic chairs. Additionally, 12mm diameter deformed bars are used in the main direction, as well as 8mm diameter steel in the transverse direction to complement the system. Post-tensioned slabs offer advantages such as less material usage, reduced construction time, a lower environmental impact, and a 9.55% cost reduction. However, this project maintains a low level of pollution.

Keywords: New technologies, constructive system, construction time, ACI 319 Code, Post tension Manual.

Índice general

Resumen	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	V
Simbologías	VI
Índice de figuras.....	XI
Índice de tablas	XII
Capítulo 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Descripción del problema.....	3
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
Capítulo 2	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1 Revisión Literaria	7
2.1.1 Marco Teórico	7
2.1.2 Estudio de caso.....	16
2.2 Área de estudio	18
2.3 Trabajo de campo y laboratorio	19
2.3.1 Estudio de suelo	19
2.4 Análisis de datos	20
2.4.1 Análisis geológico	20
2.4.2 Análisis referente al suelo	21
2.4.3 Fases del proyecto.....	24
2.5 Análisis de alternativas	25
2.5.1 Alternativa #1: Losa aligerada	26
2.5.2 Alternativa #2: Losa postensada	28
2.6 Selección de alternativa más optima	31
Capítulo 3	33
3. ESTRUCTURAL	34
3.1 Diseño y especificaciones para losa aligerada.....	34

3.1.1	Predimensionamiento de elementos.....	34
3.1.2	Peso de la losa aligerada	38
3.1.3	Estimación de cargas.....	41
3.1.4	Diseño estructural – Losa aligerada	44
3.2	Diseño y especificaciones para losa postensada.....	52
3.2.1	Predimensionamiento de elementos.....	52
3.2.2	Peso de la losa postensada	53
3.2.3	Estimación de cargas.....	53
3.2.4	Modelamiento estructural	56
3.2.5	Detalle del acero de presfuerzo y refuerzo.....	63
3.3	Especificaciones técnicas.....	85
Capítulo 4	.....	100
4.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	101
4.1	Descripción del proyecto.....	101
4.2	Línea de base ambiental.....	102
4.3	Actividades del proyecto	103
4.4	Identificación de impactos ambientales.....	106
4.5	Medidas de mitigación	110
Capítulo 5	.....	112
5.	PRESUPUESTO	113
5.1	Estructura desglosada del trabajo	113
5.2	Rubros y análisis de precios unitarios	114
5.3	Descripción de cantidades de obra	118
5.4	Valoración integral del costo del proyecto.....	119
5.5	Cronograma de obra.....	123
5.6.1	Sistema constructivo	123
5.6.2	Cronograma.....	126
Capítulo 6	.....	110
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
6.1	Conclusiones.....	111
6.2	Recomendaciones.....	112
Referencias	.....	114
Anexos	.....	117

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PTI	Post Tensioning Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
ACI	American Concrete Institute
NEC	Normas Ecuatorianas de la Construcción
APUs	Análisis de Precios Unitarios
HDPE	Polietileno de alta densidad
PP	Polipropileno
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
SPT	Standard Penetration Test
DPT	Dynamic Probing Test
VST	Vane Shear Test
CPT	Cone Penetration Test
PGA	Peak Ground Acceleration
pH	Potencial de hidrógeno
SAP2000	Structural Analysis Program 2000
CO ₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
NO	Óxido de nitrógeno
LCA	Life Cycle Analysis

Simbologías

<i>cm</i>	Centímetros
<i>mm</i>	Milímetros
<i>m</i>	Metros
<i>kg</i>	Kilogramos
<i>cm²</i>	Centímetros cuadrados
<i>m³</i>	Metros cúbicos
<i>kg/cm²</i>	Kilogramos por centímetros cuadrados
<i>kg/m²</i>	Kilogramos por metros cúbicos
<i>kg/m³</i>	Kilogramos por metros cúbicos
<i>ton/m²</i>	Toneladas por metro cuadrado
<i>ton * m</i>	Toneladas metros
<i>e</i>	Espesor de losa aligerada
<i>L</i>	Longitud promedio de la losa
<i>Luz_p</i>	Luz promedio
<i>H</i>	Altura de la losa
<i>A_g</i>	Área tributaria de las columnas
<i>P_{serv}</i>	Carga de servicio
<i>f'_c</i>	Resistencia a la compresión del hormigón
<i>V_c</i>	Volumen de capa de compresión
<i>h_c</i>	Espesor de capa de compresión
<i>W_c</i>	Peso de la capa de compresión
<i>V_n</i>	Volumen de nervaduras de losa aligerada
<i>b_n</i>	Ancho de nervaduras

h_n	Altura de nervaduras
d_{e-e}	Distancia centro a centro de nervaduras
$V_{n-total}$	Volumen de nervaduras en 1m ²
W_n	Peso propio de las nervaduras
γ_c	Densidad del hormigón
V_b	Volumen del bloque alivianado
b_b	Ancho del bloque alivianado
h_b	Altura del bloque alivianado
e_b	Espesor del bloque alivianado
w_b	Peso propio del bloque alivianado
γ_b	Densidad del bloque alivianado
W_b	Peso total de bloques alivianados
W_{mam}	Peso propio de mampostería
γ_h	Densidad del bloque de concreto
W_{inst}	Peso por presencia de instalaciones
D	Carga muerta
L	Carga viva
A_t	Área tributaria del nervio
W_u	Carga total final mayorada
rec	Recubrimiento de la viga
$\emptyset v$	Acero de estribo de vigas
d	Peralte efectivo
A_{smin}	Acero mínimo
f_y	Resistencia a la fluencia del acero
b_w	Base de la viga

b	Base de la viga
a	Profundidad del bloque de compresión
A_s	Acero de refuerzo
M_u	Momento ultimo
A_{st}	Acero requerido
ρ	Cuantía de acero
e	Espesor de losa de compresión
r	Relación luz/profundidad
L_{prom}	Luz libre promedio para losa postensada
h	Espesor de losa postensada
W_{PPL}	Peso propio de la losa
γ_h	Peso unitario del hormigón
V_t	Volumen de acero de presfuerzo
A_{to}	Área del acero de presfuerzo
L_t	Longitud del acero de presfuerzo
P_t	Peso del acero de presfuerzo
γ_t	Densidad del acero de presfuerzo
W_t	Carga adicional impuesta a la losa debido al acero de presfuerzo
A_l	Área de la losa
CMf	Carga muerta mayorada
CM	Carga muerta no mayorada
CVf	Carga viva mayorada
CV	Carga viva no mayorada
CTf	Carga mayorada total

CT	Carga no mayorada total
W_{bal}	Carga equilibrada
Wd	Carga muerta por metro lineal
$Factor_e$	Factor equilibrio
M_{eqX}	Momento de equilibrio para el apoyo X
M_X	Momento de carga muerta del apoyo X
Wl	Carga viva por metro lineal
δ_{ext}	Flexión en los extremos de la losa
rec_{sup}	Recubrimiento superior en la losa
rec_{inf}	Recubrimiento inferior en la losa
δ_{int}	Flexión en los tramos interno de la losa
$rec_{inf_{int}}$	Recubrimiento inferior interno de la losa
F_{t-ext}	Fuerza externa del tendón
F_{t-int}	Fuerza interna del tendón
$Min V_{net}$	Valor mínimo de la fuerza cortante neta
V_{net}	Fuerza cortante neta
Luz	Distancia entre apoyos
$V_c/3$	Tercio del cortante neto
$ancho_c$	Ancho de la columna
S	Módulo de la sección
$Ancho_L$	Ancho libre de la losa
F_{ext}	Fuerza de pretensado exterior
F_{int}	Fuerza de pretensado interior
ε	Excentricidad
Fe_{ext}	Momento primario en el exterior de la losa

$F_{e_{int}}$	Momento primario en el interior de la losa
f_{py}	Esfuerzo de fluencia del acero de presfuerzo
f_{pu}	Esfuerzo ultimo de tracción del acero de presfuerzo
σ_{max}	Esfuerzo máximo en los anclajes
f_{se}	Esfuerzo efectivo por perdida de presfuerzo
F_{e_t}	Esfuerzo efectivo del tendón
A	Área nominal de un torón de ½ pulg
ρ_e	Relación de presfuerzo en el extremo de la losa
f_{ps}	Esfuerzo último del tendón
ρ_i	Relación de presfuerzo en el interior de la losa
F_{pse}	Fuerza del tendón
A_s	Área de acero de refuerzo
$A_{s,proporcionado}$	Área de acero proporcionado de refuerzo
T_u	Fuerza total ultima de pretensado
M_{req}	Momento requerido
M_{prop}	Momento proporcionado
V_{req}	Resistencia al cortante requerido
M_{u-ext}	Momento último en el extremo de la losa
ϕV_{prop}	Resistencia al cortante proporcionado
E_c	Módulo de elasticidad del hormigón
I	Momento de inercia de la losa
Δ_i	Deflexión inmediata

Índice de figuras

Figura 2.1 Componentes del sistema postensado no adherido	9
Figura 2.2 Sistema de postensado no adherido en sitio.....	10
Figura 2.3 Componentes del sistema postensado adherido	10
Figura 2.4 Sistema postensado adherido en sitio.....	11
Figura 2.5 Sistema de postensado exterior	12
Figura 2.6 Costo total de las losas	14
Figura 2.7 Edificio Northland Executive Office Center en Bloomington, Minnesota	17
Figura 2.8 Ubicación del terreno, coordenadas UTM: 17M 622677 9760111	18
Figura 2.9 Medidas preliminares del terreno.....	19
Figura 2.10 Implantación del edificio por diseñar	26
Figura 3.1 Espesor de la losa aligerada.....	35
Figura 3.2 Dimensiones de las vigas para los pisos del edificio.....	36
Figura 3.3 Sección transversal para las columnas del 1er y 2do piso.....	37
Figura 3.4 Sección transversal para las columnas del 3er y 4to piso.....	37
Figura 3.5 Configuración de la sección transversal de la losa aligerada.....	38
Figura 3.6 Graficas de momento y cortante para la losa aligerada.....	46
Figura 3.7 Momento máximo negativo en la losa aligerada	46
Figura 3.8 Momento máximo positivo en la losa	46
Figura 3.9 Cortante máximo para la losa aligerada	47
Figura 3.10 Modelado de la losa.....	58
Figura 3.11 Modelado de apoyos de la viga con sus respectivas cargas muertas no mayoradas.....	59
Figura 3.12 Momentos positivos y negativos a lo largo de la viga modelada – Cargas muertas.....	59
Figura 3.13 Valores de momentos más detallados	60
Figura 3.14 Modelado de apoyos de la viga con sus respectivas cargas vivas no mayoradas.	62
Figura 3.15 Momentos positivos y negativos a lo largo de la viga modelada – Cargas vivas.....	63
Figura 4.1. Formato de la matriz de Leopold.....	107
Figura 4.2. Matriz de Leopold.....	107
Figura 4.3. Matriz de Impacto Ambiental.....	109
Figura 5.1 Estructura Desglose de Trabajo (EDT) del proyecto	113
Figura 5.2 Formato utilizado para el APU de cada rubro	117
Figura 5.3 Plantilla para cuantificación del acero de columnas	119
Figura 5.4 Presupuesto referencial de proyecto	120
Figura 5.5. Evaluación integral del coste entre losa postensada y convencional.	123
Figura 5.6 Evaluación integral del coste entre losa postensada y convencional.....	123
Figura 5.7. Trayectoria del torón	126
Figura 5.8 Cronograma de actividades	110

Índice de tablas

Tabla 2.1 Costo total de las losas.....	14
Tabla 2.2. Parámetros del suelo	23
Tabla 2.3. Rúbrica para la evaluación de alternativas	31
Tabla 3.1 Cargas muertas involucradas en los pisos 1, 2 y 3.....	43
Tabla 3.2 Cargas muertas involucradas en el piso 4.....	43
Tabla 3.3 Clasificación de la carga viva según el tipo de edificación.....	43
Tabla 3.4 Carga viva para cada piso del edificio.	44
Tabla 3.5 Resumen de datos más relevantes obtenidos en el programa SAP2000	47
Tabla 3.6 Relación luz/profundidad de diferentes sistemas de piso.....	52
Tabla 3.7 Cargas muertas del edificio.....	55
Tabla 3.8 Cargas vivas del edificio	56
Tabla 3.9 Momento máximo negativo por carga muerta ($Ton \times m$).	60
Tabla 3.10 Momento máximo negativo por carga viva ($Ton \times m$).....	63
Tabla 3.11 Calculo de esfuerzos en la parte superior de la losa.....	67
Tabla 3.12 Momentos de equilibrio secundario en los apoyos.....	69
Tabla 3.13 Momentos de diseño proyectados.	70
Tabla 3.14 Propiedades de algunos cables de presfuerzo.....	71
Tabla 3.15 Esfuerzos máximos de tracción clasificado por etapas y ubicación.	71
Tabla 3.16 Propiedades de los tendones resistencia de tracción 270 ksi.	72
Tabla 4.1. Actividades del proceso constructivo de la losa postensada.....	104
Tabla 4.2. Valores de clasificación para impactos positivos.....	108
Tabla 4.3. Valores de clasificación para impactos negativos.....	108
Tabla 4.4. Escala de valoración de impacto ambiental	108
Tabla 4.5. Medidas de mitigación en cada fase del proyecto	111
Tabla 5.1 Rubros considerados dentro del presupuesto.....	116
Tabla 5.2. Evaluación del sistema de losas convencionales.	121
Tabla 5.3. Evaluación del sistema de losas postensadas.	122

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La industria de la construcción está en constante evolución, no solo en términos de procesos constructivos, sino también mediante el desarrollo de nuevas metodologías para el diseño de varios elementos estructurales que son esenciales para una edificación. Es así como se crean las losas formando superficies horizontales con el objetivo de tener un cubrimiento de protección contra condiciones ambientales. Las primeras losas se trataron de piedras planas o tablas, y pronto se comenzó a utilizar concreto romano. Sin embargo, se buscaba obtener resistencia y durabilidad. Es por esto por lo que el desarrollo del cemento y el acero hizo posible que para la segunda mitad siglo XIX, el concreto armado fuera inventado teniendo mejores características al ser más económico y resistente al fuego (Moussard et al., 2017).

No obstante, las losas macizas de concreto armado presentaban ciertas desventajas como mayor peso y mucho más uso de material. Las losas aligeradas parten como una solución ante estas desventajas ya que al utilizar bloques de alivianamiento mejoran la capacidad estructural reduciendo la cantidad de material, peso estructural y mejora el comportamiento sísmico (Wight & MacGregor, 2012)

Las losas postensadas ofrecen mejoras significativas en eficiencia y durabilidad. La técnica de postensado se originó a partir de la patente del ingeniero estadounidense P. H. Jackson en 1886. Él fue el promotor de un método para unir varillas de acero en estructuras de piedra artificial y arcos de concreto utilizados como losas de piso (De Jesús & Sánchez, 2009).

En 1923, el ingeniero civil estructural francés Eugene Freyssinet perfeccionó esta técnica al patentar el concreto postensado. Su enfoque se basó en el uso de acero de alta resistencia combinado con concreto de alta calidad, proponiendo que esta nueva forma de construcción sería altamente útil. Sin embargo, su idea no fue inicialmente aceptada por la comunidad ingenieril de la época. La técnica ganó reconocimiento y se adoptó ampliamente después de la Segunda Guerra

Mundial, debido a la necesidad urgente de reparar y reconstruir infraestructuras viales como puentes en Europa (Cross, 2007).

En Ecuador, el sistema postensado se introdujo como una alternativa constructiva y se ha utilizado predominantemente en grandes infraestructuras, como puentes y edificios de gran altura. Su implementación ha demostrado ser efectiva y conveniente ya que permite reducir la cantidad de material utilizado y tiempo de ejecución en comparación con otros sistemas constructivos. Adicionalmente, este sistema ha aumentado la resistencia de la estructura, sin llegar a comprometer su integridad.

1.2 Descripción del problema

En la actualidad, en algunos países el uso de losas convencionales como la nervada y la maciza han sido reemplazadas por las losas postensadas. En varios países se han acogido a este sistema estructural por los grandes beneficios económicos y de tiempo que brinda al momento de realizar el diseño de edificios medianos y altos. No obstante, se debe de tener un método constructivo claro para su implementación. Sin embargo, en Guayaquil y en casi todo el Ecuador, este sistema no se lo emplea en el ámbito constructivo, por lo que presenta falencias tanto en el diseño estructural como la logística del proceso constructivo. En consecuencia, se plantea un desafío significativo en la industria de la ingeniería civil en la región.

Es pertinente que el país comience a adaptarse con la implementación de este tipo de losas, debido a que actualmente se presentan limitantes al momento de realizar su diseño como el uso de recursos y materiales para la fabricación de dicho sistema. Además, se debe de tener en cuenta, que la aplicación de las losas postensadas implica la optimización de tiempos y costos en la construcción de edificaciones de tamaño medio y grande. Momentáneamente el país no goza de dichos beneficios constructivos por la ausencia de conocimiento de este tema.

Por otra parte, las empresas constructoras extranjeras que desean invertir en el país presentan la limitante con respecto al diseño de las losas postensadas. En muchas edificaciones de gran envergadura que se construyen en otros países utilizan losas postensadas por los beneficios

que estas aportan. Por lo cual es indispensable que Guayaquil y el resto del Ecuador, comience a pensar a sistemas innovadores referente a la construcción.

Por lo tanto, este trabajo se encuentra enfocado en la implementación de losas postensadas para un edificio residencial-comercial de 4 pisos, en lo que concierne a su diseño estructural y su método constructivo. Además, se tiene previsto verificar los beneficios de este sistema sobre las losas convencionales. Adicionalmente, este trabajo trata de promover que los futuros ingenieros civiles comiencen a implementar este sistema en edificios medianos y altos.

Por último, el Ing. José Barros es la persona que se encuentra dando seguimiento y constatando los avances del proyecto. El Ing. Barros ha cumplido cargos importantes como diseñador y fiscalizador en la ciudad de Guayaquil, por lo cual su vasta experiencia ha sido un factor fundamental para proponer este nuevo sistema de losas en la ciudad y todo el país.

1.3 Justificación

Actualmente el país se encuentra aplicando un sistema de losas convencionales donde se abarca las losas nervadas y macizas de una o dos direcciones. Sin embargo, aún no existe un método constructivo establecido para la aplicación de losas postensadas, las cuales implican varios beneficios económicos y de tiempo. Por lo cual es pertinente comenzar a aplicar dicho sistema, y que los futuros ingenieros civiles se encuentren más familiarizados en dicho tema.

Ecuador al no presentar un extenso conocimiento del diseño y método constructivo, no se encuentra preparado en su totalidad para enfrentar estos retos ingenieriles. Además, no se puede mantener distante a la realidad y las nuevas tecnologías que son aplicadas comúnmente en países desarrollados. Cabe mencionar que, mediante un estudio comparativo de una edificación efectuado en la ciudad de Quito entre losas postensadas y losas convencionales, se realizó la comparación entre la cantidad de materiales y los costos. Se logró comprobar que, al momento de utilizar losas postensadas, se ahorra entre un 12% hasta un 27% en comparación con las losas convencionales, contando con una diferencia de aproximadamente 200 mil dólares (Arias-Salazar & Naranjo-Bustos, 2022).

Por motivos económicos, la mayoría de las empresas constructoras extranjeras prefieren la utilización de losas postensadas en sus proyectos. Por lo tanto, al momento de realizar el caso de estudio para nuevos proyectos y elaborar la debida planificación, se proyectan y enfocan en la utilización de losas postensadas. Esto tiene el propósito de optimizar recursos como: materiales, costos y el tiempo de construcción. Por los motivos antes mencionados, es oportuno que Guayaquil y Ecuador, comiencen a proyectarse en el futuro y pasen de diseñar losas convencionales a diseñar losas postensadas. Cabe recordar que dicho sistema es conveniente para edificios medianos y altos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un diseño de losas postensadas y un proceso constructivo para edificios de tamaño medio en Guayaquil-Ecuador, mediante la normativa vigente y haciendo uso de recursos locales para la optimización de tiempos y costos de obra.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar losas postensadas y convencionales para un edificio de uso residencial-comercial de cuatro pisos ubicado en la av. Francisco de Orellana.
- Comparar los procesos constructivos entre la losa postensada y la losa convencional considerando la infraestructura local tales como disponibilidad de materiales, capacidad de mano de obra y regulaciones nacionales para la construcción de edificios.
- Desarrollar el presupuesto referencial entre la losa postensada y convencional para la edificación que se diseñará.

Capítulo 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Revisión Literaria

2.1.1 Marco Teórico

Las losas son uno de los elementos estructurales más comunes en la construcción pues permiten crear divisiones verticales como entrepisos o techos para una edificación, se apoyan en las columnas, vigas o muros. Su función principal es transmitir todas las cargas gravitacionales como carga viva, carga muerta y peso propio a los apoyos. Estas cargas a su vez se transmitirán directamente hacia la cimentación, esto permite que se forme un diafragma con alta rigidez.

Además, se deben considerar en mayor parte las cargas verticales debido a que estas provocan que se generen momentos flexionantes llegando a causar deformaciones o vibraciones. Es por este motivo que las losas deben contar con un espesor y refuerzo considerable que permita definir una buena rigidez del sistema. Esto garantiza que, al momento de realizar los diseños estructurales, estos puedan ser capaces de soportar fallos por flexión, corte o torsión con el objetivo de evitar el colapso de todo el sistema (García, 2017).

Sin embargo, el uso de grandes espesores en la losa se convierte en un factor perjudicial para las edificaciones debido a que existe un mayor peso, lo cual aumenta las cargas sobre los elementos estructurales y las cimentaciones. El consumo de material es mucho mayor, lo que provoca un incremento en los costos de los materiales y un amplio tiempo de construcción al tener mayores dimensiones de hormigón aumentando el tiempo de fraguado (Ching, 2014).

Estéticamente el uso de grandes espesores limita la configuración de espacios y diseños arquitectónicos al necesitar la presencia de más elementos estructurales de apoyo como las columnas. Ergonómicamente puede llegar a presentar una menor eficiencia térmica dando como resultado un aumento en los costos al tener que implementar un sistema de climatización para mejorar la comodidad de los usuarios (Ching, 2014).

Partiendo de estos aspectos negativos y con la idea de mejorar la construcción, el principio de losas aligeradas empezó a ser aplicado a inicios del siglo XX como un método constructivo. En este enfoque, se elimina una porción de concreto del medio de una losa, que no realiza ninguna función estructural con el objetivo de reducir el peso propio estructural. Experimentalmente, se ha comprobado que las losas aligeradas son capaces de controlar y resistir esfuerzo de compresión y tensión. Además, puede llegar a reducir tanto el peso propio como el espesor de la losa en un 20%; también el costo de la losa disminuye en un 57% debido a que se utiliza menos cantidad de acero y concreto con respecto a las losas macizas (Reddy & Narendar, 2020).

De igual forma como las losas macizas, algunas de las desventajas que presentan las losas aligeradas, a pesar de ser una buena alternativa para reducir peso y costos constructivos, es la poca capacidad de carga que presentan. Por lo cual puede llegar a limitar su uso en estructura donde se requiere soportar grandes cargas.

La complejidad al tener que colocar los elementos aligerantes puede llegar a provocar un incremento inicial en los costos, debido a la necesidad de contar con una mayor precisión en la ejecución generando a su vez un aumento en los tiempos construcción. Estructuralmente puede resultar comprometida la integridad de la losa en caso de realizar nuevas modificaciones o perforaciones para instalaciones adicionales que anteriormente no estaban previstas. Ergonómicamente presentan una menor inercia térmica resultando en una menor capacidad para regular las temperaturas interiores afectando la eficiencia energética de la edificación, también presentan un menor aislamiento acústico llegando a registrar inconvenientes en la comodidad de los usuarios (Mays, 1992).

Teniendo estas desventajas presentes, desde el siglo XX se comenzaron a adoptar nuevas técnicas. El presfuerzo en las losas postensadas permite reducir estas desventajas debido a que en este sistema se le aplica un esfuerzo intencional al elemento para que su comportamiento elástico mejore y a su vez aumente la resistencia última a compresión bajo las condiciones de servicio. Por lo

antes mencionado, la capacidad de carga en una losa con sistema postensado incrementa en grandes magnitudes.

Para la aplicación de presfuerzo, se tiene presente 2 tipos de acero; los alambres redondos, que están regidos por la normativa ASTM A-421 y se trata de un alambre sin revestimientos que se fabrica en caliente hasta obtener su producto final. Por otra parte, se tienen los torones que están regidos por la normativa ASTM A-416 y comprende un cable trenzado sin revestimiento formado por alambres en forma de espiral torcido de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable. Dicho trenzado se lo realiza con ayuda de 7 alambres y se fabrica en 2 grados, 250 y 270 (Martínez & Tavera, 2019).

Según el Instituto de Postensado (2006), existen 3 tipos de sistemas. El primero es el sistema de postensado de tendones no adheridos que consiste típicamente en hebras individuales que están recubiertas con un revestimiento inhibidor de corrosión y protegidas por una funda plástica extruida. Esta configuración permite que la hebra se mueva dentro de esta y, a la par, previene la entrada de agua. Las hebras están ancladas al concreto utilizando anclajes de hierro dúctil y cuñas de acero endurecido. El tendón es sostenido por sillas y soportes a lo largo de su longitud para mantener el perfil deseado. Las Figuras 2.1 y 2.2 presentan el sistema de postensado no adherido.

Figura 2.1 Componentes del sistema postensado no adherido



Figura 2.2 Sistema de postensado no adherido en sitio



Nota. Las Figuras 2.1 y 2.2 fueron obtenidas de Ergon Infra (2018).

El segundo sistema de postensado es el de tendones adheridos que consiste en tendones con múltiples cordones o barras. Estos se colocan en conductos de acero galvanizado corrugado, polietileno de alta densidad (HDPE) o polipropileno (PP). Dependiendo de las condiciones del sitio y del sistema utilizado, los cordones pueden instalarse antes de que se coloque el concreto o los conductos pueden instalarse sin los cordones. Los cordones luego se tiran o empujan a través de los conductos. Una vez que el concreto ha endurecido, los tendones se tensan y los conductos se llenan con lechada. Además, se proporcionan entradas y salidas en puntos altos/bajos para asegurar que la lechada llene completamente los conductos. Las Figuras 2.3 y 2.4 presentan el sistema de postensado adherido.

Figura 2.3 Componentes del sistema postensado adherido

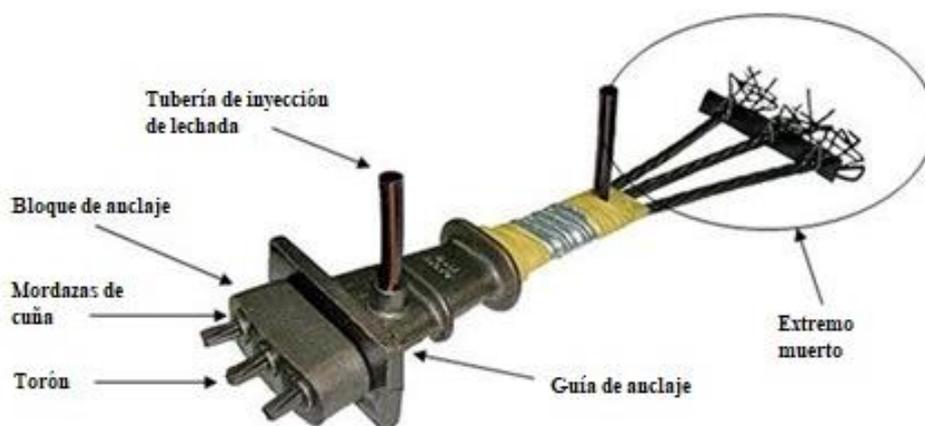
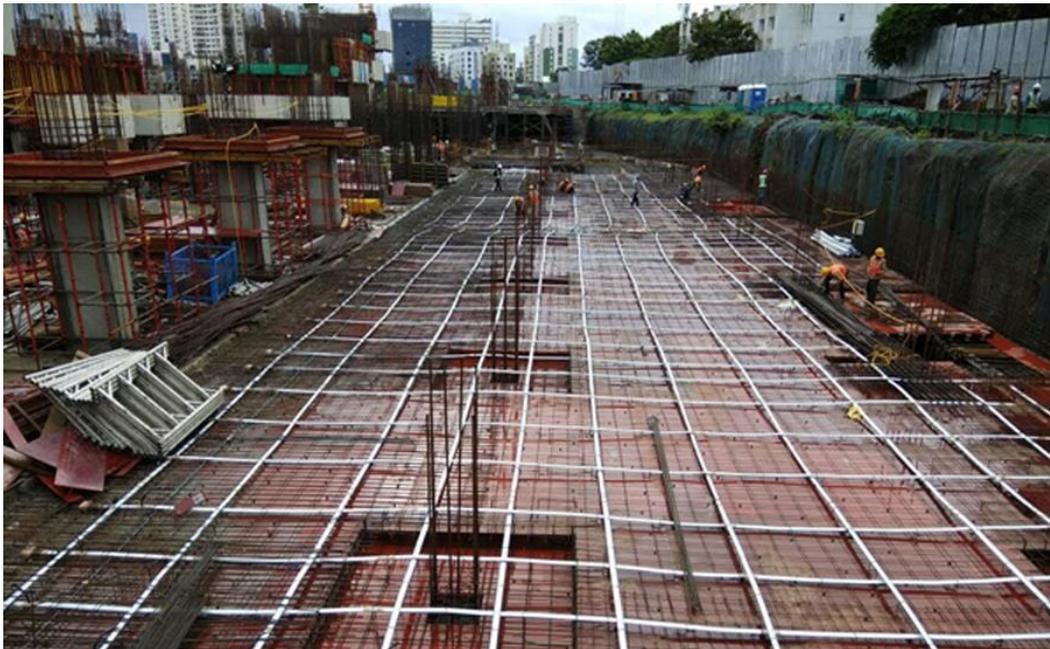


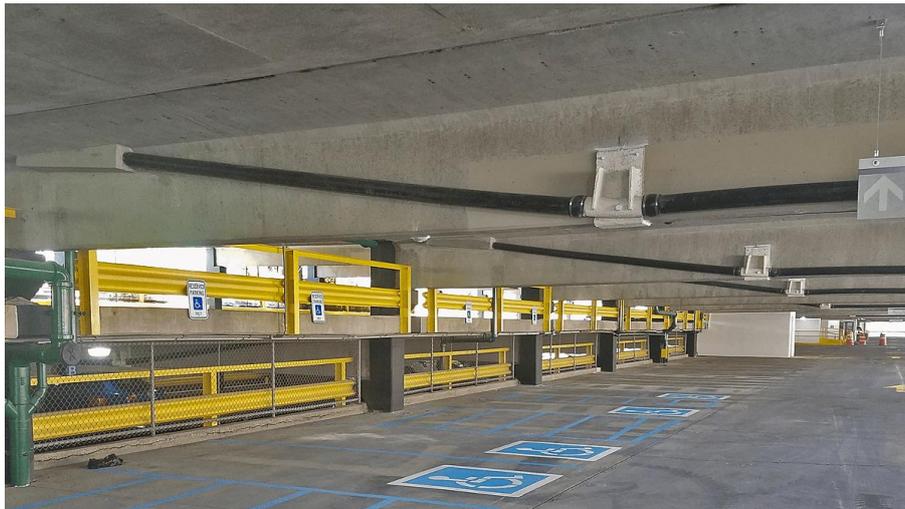
Figura 2.4 Sistema postensado adherido en sitio



Nota. Las Figuras 2.3 y 2.4 fueron obtenidas de Ergon Infra (2018)

Por último, según el mismo Instituto de Postensado, el tercer sistema es el de postensado externo de tendones. Consiste en la instalación fuera del elemento estructural de concreto, excepto en los puntos de anclaje y desviación. Los tendones externos pueden ser rectos entre anclajes o pueden pasar a través de bloques desviadores para crear un perfil arqueado. Los tendones están engrasados y envueltos en plástico (como en un tendón típico de una sola hebra no adherida), o encerrado en un conducto que posteriormente se llena con lechada. Este sistema permite que se dé un movimiento relativo entre el tendón y el elemento al que está sujeto. Adicionalmente, suele ser considerado no adherido en la práctica. La Figura 2.5 presenta el sistema de postensado exterior.

Figura 2.5 Sistema de postensado exterior



Nota. La Figura 2.5 fue obtenida de Structural Group (2024)

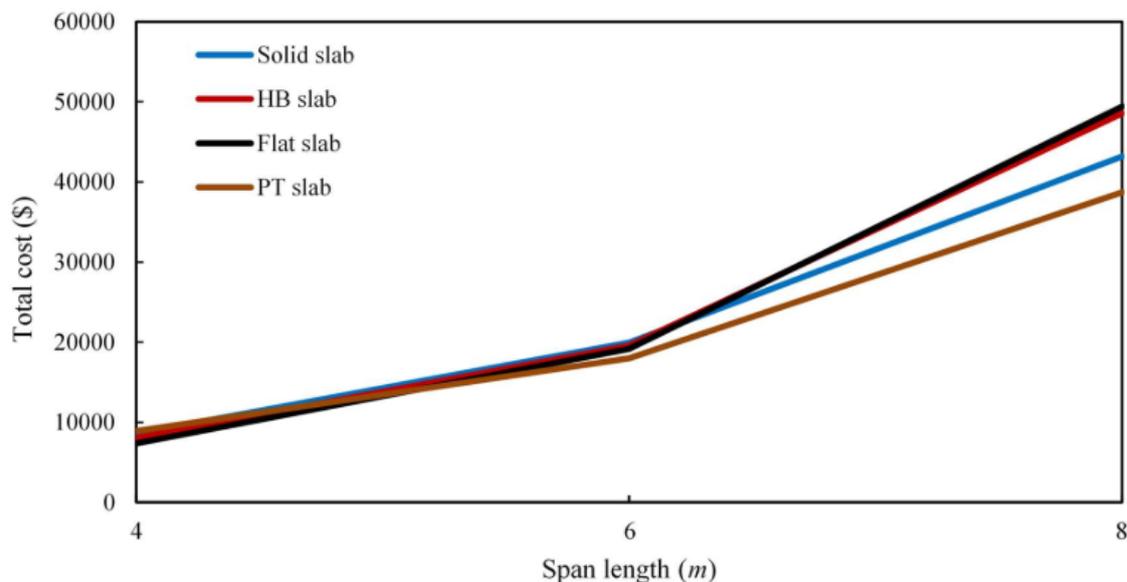
Por otra parte, se debe tener en cuenta que existen 2 tipos de sistemas de anclajes para las losas postensadas. En primer lugar, se encuentra el sistema monocordón, que este a su vez cuenta con 2 tipos de anclaje: el anclaje SN, que emplea una superficie de soporte integral que consta de una pieza de fundición y un par de cuñas, mientras que el anclaje T se usa en conjunto con una placa de soporte de acero, una cabeza de anclaje fundida y un par de cuñas, diseñadas especialmente para el caso que se lo requiera.

Estos tipos de anclaje se diferencian en sus aplicaciones y la presencia de una placa que permite eliminar los refuerzos cuando se necesita espaciamiento en el elemento a postensar. El sistema multicordón cuenta con 7 tipos de anclajes según indica la VSL Corporation (1982):

- Anclaje E: compuesto por una cabeza de anclaje, cuñas y una placa de soporte con trompeta.
- Anclaje EC: consiste en una placa de soporte integral en donde se incorpora una brida intermedia y una trompeta. Se diferencia del anclaje E por la forma de transmisión de carga en el que se reduce el área de apoyo de anclaje, permitiendo acceder a un espacio cuando este es limitado.

- Anclaje de extremo fijo H: ancla los extremos de los cables para asegurar que la fuerza de postensado sea transmitida al concreto mediante la unión a lo largo de la longitud expuesta, cordones y mediante la forma de bulbo en sus extremos.
- Anclaje de extremo fijo L: consta de un tubo rígido en forma de U de sección semicircular que describe un arco de 180°. Esto permite que el cable llegue a las proximidades de su punto de partida tomando en cuenta que se debe proporcionar un refuerzo nominal para evitar el agrietamiento del concreto.
- Anclaje de acoplador K: permite que se dé la conexión cordón nuevo-cordón colocado de ser el caso o de requerir una mayor longitud del cable.
- Anclaje de tensión central Z: que consta de un bloque prismático que contiene orificios por donde pasarán los hilos de los extremos del tendón.
- Anclaje de tensado SO: comúnmente utilizado para tendones inyectados colocados en un revestimiento plano.

Según Ahmad et al. (2023), en el artículo “Comparación de losas postensadas, macizas, de bloque hueco y planas en términos de economía considerando diferentes longitudes de luz” mencionan que al tomar en cuenta todos los costos de material utilizado, para luces superiores a 6 m, la losa postensada es la mejor opción en cuanto a aspectos económicos a pesar de requerir más hormigón y contar con un coste extra por el uso de tendones. Para luces de 6 metros, se llega a ahorrar alrededor del 10%, 6% y 6% del costo total en comparación con las losas sólidas, aligeradas y planas, respectivamente. Finalmente, las losas postensadas requieren menos barras de concreto y acero en losas con luces de 8 m que otras losas, lo que las convierte en la opción más rentable con ahorros del 10%, 20% y 22% en comparación con las losas sólidas, aligeradas y planas, respectivamente. La Figura 2.6 presenta el costo de las losas versus la luz mientras la tabla 1 presenta el costo detallado de las losas.

Figura 2.6 Costo total de las losas

Nota. Los datos fueron adquiridos de Ahmad et al. (2023).

Tabla 2.1 Costo total de las losas

Slab	Span Length (m)	Cost (\$)					Total Cost
		Concrete	Steel	Blocks	Tendons	Formwork	
Solid	4	4982.4	1922.5	-	-	1660.8	8565.6
	6	11275.2	4920	-	-	3758.4	19953.6
	8	23788.8	11480	-	-	7929.6	43198.4
HB	4	3679.2	2808	350	-	1226.4	8063.6
	6	8569.2	6968	790	-	2856.4	19183.6
	8	21772.8	18672	880	-	7257.6	48582.4
Flat	4	4561.92	1280	-	-	1520.64	7362.56
	6	11070.72	4400	-	-	3690.24	19160.96
	8	28412.64	11528	-	-	9470.88	49411.52
PT	4	4561.92	536	-	2304	1520.64	8922.56
	6	8997.12	824	-	5184	2999.04	18004.16
	8	20118.24	2656	-	9216	6706.08	38696.32

Nota. Los datos fueron adquiridos de Ahmad et al. (2023).

Por otra parte, dentro del análisis de las diferentes losas, se debe tener en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible que tienen que cumplir. En primera instancia, las nuevas tecnologías incitan a todas las empresas a adaptarse a nuevos sistemas de construcción. Por lo cual,

con respecto al Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (ODS 9), se busca implementar nuevos sistemas de construcción, con la finalidad de que los edificios tengan otro tipo de diseño, el cual sea accesible para el país. Además de que estos nuevos sistemas conlleven a beneficios económicos, sociales y ambientales (ONU, 2023).

Por consiguiente, el objetivo mencionado en el apartado anterior se encuentra íntimamente ligado con el ODS 11. Debido, a que parte de la innovación que tiene una ciudad a nivel arquitectónico e ingenieril, se encuentra inmiscuido la sostenibilidad. Además, la finalidad de implementar un tipo de losa diferente es acarrear ventajas como el ahorro de materiales, la disminución del CO₂, entre otros (ONU, 2023).

En un planeta donde el nivel poblacional va aumentando a medida que transcurre el tiempo es meritorio crear planes a futuro para que la innovación se combine con la sostenibilidad. No obstante, el área de la construcción produce contaminación, al provocar polvo durante la construcción, el smog producido por el transporte de materiales, entre otros. Por lo cual, es indispensable diseñar un sistema que reduzca los factores antes mencionados. Adicionalmente, acotando la aseveración del crecimiento poblacional, actualmente Guayaquil es la ciudad del Ecuador con más habitantes, aproximadamente 2.7 millones (Primicias, 2022).

Por lo cual, en un futuro tendrá que existir una ampliación a nivel de infraestructuras de gran envergadura, tal es el caso de los edificios que se están construyendo en la periferia del Puerto Santa Ana. Por lo tanto, es pertinente que el país incluya nuevos sistemas estructurales, los cuales no solamente aportarán un beneficio económico para la ciudad o el empresario; sino que las construcciones tendrán un menor impacto ambiental. No obstante, entre las ventajas, se encuentra la mitigación de enfermedades respiratorias producidas por el polvo y otros factores.

2.1.2 Estudio de caso

El Northland Executive Office Center es un complejo de oficinas situado en Bloomington, Minnesota, construido por la compañía United Properties. La demanda de espacio de oficina en el área de Minneapolis había sido alta durante varios años, y la construcción de este proyecto comenzó en 1980 debido a los altos intereses que llegaron hasta el 20 por ciento. Este centro fue uno de los pocos proyectos nuevos iniciados ese año. Se distinguió por ser uno de los primeros en ser construido después de un período en el que casi no se habían desarrollado nuevos espacios de oficinas.

El centro se construyó en un terreno de 12 acres y comprende dos torres de oficinas con siete pisos cada una, proporcionando un total de 200,000 pies cuadrados (18,600 metros cuadrados aproximadamente) de espacio de oficina necesario para satisfacer la demanda en los suburbios de Minneapolis. Los desarrolladores lograron mantener los aumentos de costos en menos del 2 por ciento del costo total, evitando así un aumento significativo de los costos duros.

Durante la licitación inicial del proyecto, los planos de alcance indicaban una estructura de acero estructural. Sin embargo, la VSL Corporation propuso un diseño postensado tanto para la losa de estacionamiento por su durabilidad y resistencia al agua, como para la estructura principal para reducir costos y acelerar la construcción. Esta propuesta ofrecía varias ventajas: permitía comenzar la construcción inmediatamente sin esperar la fabricación del acero estructural; el diseño postensado permitía losas más grandes y menores cargas de columnas, haciendo que el edificio fuera relativamente libre de columnas; y la base rígida inferior y la velocidad de construcción hicieron factible el proyecto a pesar de la alta tasa de interés.

El diseño postensado fue finalmente el ganador, con VSL Corporation proporcionando un paquete de construcción que incluía material de refuerzo, material de postensado y asistencia en el diseño. Todos los suministros y servicios de diseño para la estructura de hormigón in situ fueron locales, lo que permitió avanzar rápidamente con buena coordinación entre todas las partes

involucradas. Los planos de diseño y los dibujos de taller se enviaron y aprobaron rápidamente, manteniendo a las fuerzas de campo en el cronograma.

En este proyecto, la coordinación con la secuencia de vertido de hormigón fue clave para la instalación eficiente. Dado que existían dos torres, se proporcionaron dos niveles completos de encofrado. Mientras se instalaba el acero en una torre, las columnas se vertían en el nivel de parqueamiento de la otra torre junto con la instalación del encofrado. La secuencia de vertido en el Northland Center permitió verter un nivel completo de una torre, aproximadamente 400 yardas cúbicas de concreto (305 metros cúbicos aproximadamente) en un solo día. El nivel estaba listo para el tensado dos días después del vertido, momento en el cual se retiraba y reciclaba el encofrado. Se completaba un piso típico cada semana, y para la finalización del proyecto, se habían terminado dos pisos cada dos semanas.

Este proyecto es un ejemplo de la eficacia y eficiencia del uso de tecnología postensada en la construcción de grandes edificios comerciales, demostrando cómo la innovación en métodos de construcción puede superar desafíos económicos y logísticos. La Figura 2.7 presenta una vista del edificio Northland Executive Office Center.

Figura 2.7 Edificio Northland Executive Office Center en Bloomington, Minnesota



Nota. La Figura 2.7 obtenida de LoopNet (2024)

2.2 Área de estudio

En primer lugar, se analizaron varias propuestas de terrenos ubicados en la ciudad de Guayaquil. Dichos sitios debían de tener varios requisitos para ser factible y realizar la implantación del edificio. En primera instancia y como punto importante, tiene que ser un lugar que sea concurrido y tenga fácil acceso, así mismo que brinde la seguridad necesaria para el establecimiento, esto se debe a que la infraestructura será de tipo residencial-comercial. Adicionalmente, el terreno debe de ser amplio, con la facilidad de que no existan inconvenientes con los linderos y que el edificio no sea adosado con otras viviendas aledañas.

Mediante los factores antes mencionados, y analizando las diferentes propuestas, además de diálogos con el cliente y el propietario del terreno, finalmente se plantea la propuesta de realizar el edificio en la periferia de la avenida Francisco de Orellana. Por lo que dicha zona cuenta con un flujo considerable tanto vehicular como de personas, este es un componente fundamental para brindar viabilidad al proyecto. Del mismo modo, se comprobó que la ubicación proyectada a continuación es factible para la ejecución del proyecto. La Figura 2.8 presenta la ubicación georreferenciada del terreno.

Figura 2.8 Ubicación del terreno, coordenadas UTM: 17M 622677 9760111

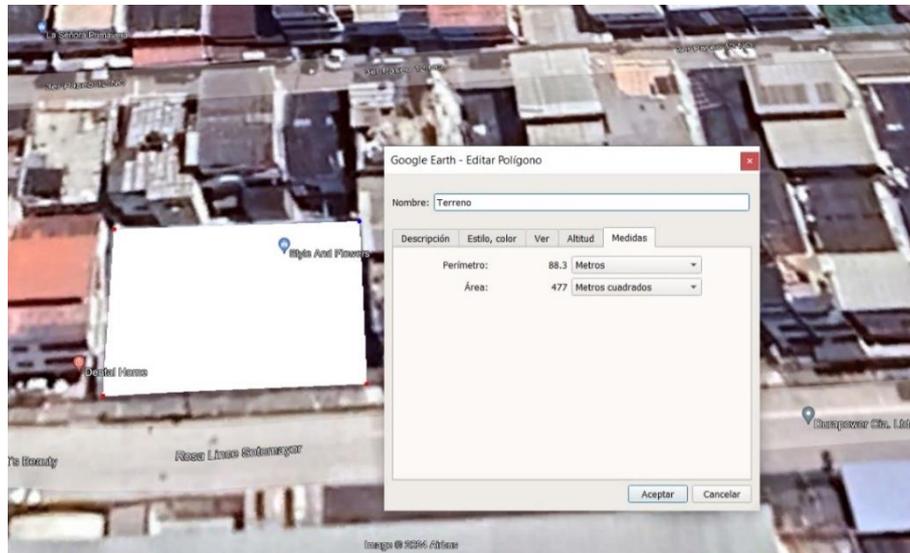


Nota. La ilustración fue obtenida mediante la herramienta de Google Earth

Dicho terreno cuenta con un área de 496 m^2 , donde los linderos este y oeste tienen una longitud de 17.85 metros, mientras que los linderos norte y sur tienen una longitud de 27.79 metros.

No obstante, los datos específicos fueron obtenidos mediante la página virtual de catastro de la municipalidad de Guayaquil. Adicionalmente, dicho terreno se desglosa de tres predios pertenecientes al mismo propietario. La Figura 2.9 presenta las medidas preliminares del terreno.

Figura 2.9 Medidas preliminares del terreno



Nota. La ilustración fue obtenida mediante la herramienta de Google Earth

Por otra parte, la ubicación es propicia por las dificultades que se pueden presentar. Cabe mencionar que un proyecto con estos alcances no solamente presentará beneficios, sino que estará presentes imitantes con respecto a la construcción (transporte, materiales, mano de obra); por lo cual, el lugar y el proyecto son los adecuados para analizar el proceso constructivo en su totalidad.

2.3 Trabajo de campo y laboratorio

2.3.1 Estudio de suelo

Un estudio de suelo es importante al tratarse de un país con antecedentes de actividad sísmica considerable; por lo cual, al momento de diseñar un edificio se tiene que plantear las cargas que esta estructura va a transferir al terreno para conocer a ciencia cierta como se manejará la cimentación del edificio. En la mayoría de los casos, con la finalidad de fortalecer la cimentación, antes de realizar el diseño, se coloca una capa de mejoramiento.

Debido a que Ecuador se encuentra dentro del cinturón del fuego, junto con otros países de América y Oceanía que están ubicados en las costas del océano Pacífico, presenta el constante riesgo de tener sismos de considerables. Por lo tanto, es importante, en primer lugar, considerar un análisis sismo-resistente dentro del diseño. No obstante, una construcción de edificios medianos y altos tienen que ser fortificadas desde los cimientos para prevenir riesgo por el movimiento de la tierra y su influencia con el tipo de suelo existente.

Por lo cual, el cliente proporcionó los datos necesarios para el análisis del suelo. Los documentos utilizados para el avance del proyecto fueron: en primer lugar, la Microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil, elaborada por el Ing. MSc. Xavier Vera, mediante una investigación publicada en cooperación con la Universidad Católica Santiago de Guayaquil. Dicho documento se logró evidenciar las fallas geológicas que podrían afectar a la ciudad y el tipo de suelo dividido por zonas. Además, se cuenta con un estudio de suelo, realizado por el Ing. Iván Merchán, en un predio aledaño al que se tiene previsto realizar la construcción, dicha información es relevante al momento de comparar resultados con la zonificación y contemplar un resultado más exacto.

2.4 Análisis de datos

2.4.1 Análisis geológico

Se conoce que los eventos sísmicos son producidos por el movimiento de placas tectónicas. Por el país pasan la placa de Nazca y la placa Sudamericana, las cuales debido a su movimiento producen sismos leves o catastróficos. Además, estos fenómenos naturales no pueden predecirse, ni el lugar, hora o magnitud, por lo cual el Ecuador tiene que poseer estructuras sísmicamente resistentes. No obstante, además de las placas tectónicas existen fallas geológicas las cuales consiste en la ruptura de la corteza y debido a su desplazamiento se producen sismos. Actualmente, Guayaquil presenta 21 fallas geológicas activas, entre las más destacadas se encuentran:

- Falla de Puná.
- Falla del Golfo de Guayaquil.

- Falla de Chongón-Colonche.
- Falla del Estero Salado.

Las fallas mencionadas pertenecen a diferentes sistemas, y cada una se expanden por varios kilómetros. No todas las fallas producen movimientos telúricos considerables, todo va depende del movimiento que produzcan y su profundidad. Por lo cual, si la ruptura geológica se encuentra a mayor profundidad equivale a un aumento de la concentración de energía y por lo cual su liberación puede acarrear graves consecuencias. Por lo tanto, de acuerdo con las fallas antes mencionadas, solamente la falla de Puná, del Estero Salado y del Golfo de Guayaquil, son las más activas. No obstante, las dos primeras fallas no presentan un considerable peligro debido a que su desplazamiento máximo es aproximadamente 0.5 mm/año; mientras que la falla del Golfo de Guayaquil es más peligrosa porque tiene un desplazamiento de 7 mm/año, lo cual puede provocar sismos considerables (Geoestudios S.A., 2015).

2.4.2 Análisis referente al suelo

Al momento de realizar un estudio de suelo para detallar la cimentación que tendrá el edificio se tendrá que remitir a la norma ecuatoriana NEC-15. Esta norma detalla los principales ensayos y sondeos que se tienen que realizar para asegurarse de que los parámetros como la resistencia al esfuerzo cortante, el nivel freático y el tipo de suelo, sean los correctos.

Por otro lado, los ensayos realizados tanto en la zonificación sísmica como por estudio particular del Ing. Merchán se asocian con los indicados en la normativa antes mencionada. Entre las pruebas de suelo principales se encuentra: Ensayo de penetración estándar (SPT), ensayo de cono dinámico (DPT), ensayo de veleta de campo (VST), ensayo de cono estático eléctrico (CPT), entre otros. Dichos sondeos y ensayos fueron realizados acorde a la norma NEC-15 y asociados con el tipo de construcción de este trabajo. Debido a que la edificación tendrá 4 niveles la construcción será de clasificación media, por lo cual, la profundidad mínima que se realizó el sondeo fue de 15 metros mientras que la cantidad mínima de sondeos registrado fue de 4 (NEC, 2016).

Mediante la zonificación sísmica realizada por la empresa “Geoestudios”, fundada por el Ing. Xavier Vera, se conoció el tipo de suelo que existe en las diferentes zonas de la ciudad de Guayaquil. Además, se obtuvo información sísmica del lugar. Debido a que Guayaquil se encuentra colindante con el río Guayas, el terreno se verá afectado por dicha condición. A través de los ensayos de laboratorio y campo mencionado anteriormente, y un análisis minucioso, se llevó a cabo una clasificación designada desde D1 hasta D4, dependiendo la zona y el tipo de suelo. Por lo tanto, mediante varios sondeos realizados por zonas periféricas pero cercanas del lugar donde se tiene planteado realizar la construcción, se comprobó que, en la zona norte de Guayaquil, predomina la presencia de suelo tipo D3 y zona deltaico estuarino (GEOESTUDIOS S.A, 2011).

Las zonas deltaicas estuarinos corresponden al área que tiene como límites afluentes de agua, tanto ríos como océanos. Estos lugares presentan varias dificultades para las construcciones civiles, debido a que el terreno presenta muchas limitantes, entre las cuales se encuentra la erosión del suelo. No obstante, el mayor problema se engloba en el asentamiento, debido a que la zona al momento de encontrarse cerca de brazos de agua, van a tener menor capacidad de carga, referente al suelo génesis (Cendrero et al., 2005).

Por otro lado, la empresa “Geoestudios”, además de proporcionar los datos antes mencionados, también realizó un estudio sísmico, donde considerando la localización del terreno se tiene la aceleración significativa del suelo o PGA_{suelo} es de 0.41, el cual es un valor de alto peligro al momento de producirse un sismo. Por lo cual, debido al movimiento telúrico del suelo, se tiene que diseñar la infraestructura con la finalidad de que resista al menos una fuerza horizontal equivalente al 41% del peso de la estructura, por lo tanto, la cimentación es fundamental. Por otro lado, considerando el estudio de suelo de la empresa mencionada, se obtuvo datos de que en la zona de estudio existe la presencia de suelo tipo arcilla de alta plasticidad (CH) (Vera et al., 2005).

Mediante la segunda fase del estudio geotécnico realizado por el Ing. Xavier Vera, se detallaron algunos parámetros importantes para considerar dentro del estudio de suelo como la

sensitividad de la arcilla, limite líquido y el potencial de hidrogeno. La Tabla 2 presenta los valores correspondientes a los parámetros del suelo:

Tabla 2.2. *Parámetros del suelo*

Parámetros del suelo			
Zona	Sensitividad	Limite líquido	PH
Norte de Guayaquil	4.5	60%	7.8

Nota. Los datos fueron adquiridos del estudio realizado por la empresa "Geoestudios"

Los valores detallados en la Tabla 2 corresponden a un promedio de los resultados obtenidos mediante los diferentes sondeos en la zona norte de la ciudad. Se indica un valor de sensitividad de la arcilla de 4.5, lo cual es un gran problema, debido a que este factor indica que la resistencia al corte que tiene el suelo va a disminuir conforme se altere su estructura. Así mismo, se presenta un valor de limite liquido del 60% se asocia con un suelo de alta plasticidad; mientras que un pH de 7.8 se refiere a que es ligeramente alcalino. Este último factor se lo tiene que vincular con el tipo de material que se utilizará para la cimentación, caso contrario, puede provocar factores negativos. Por lo tanto, con los parámetros descritos, el suelo que existe en la zona norte de la ciudad de Guayaquil presenta propiedades poco favorables para la construcción de edificios de gran envergadura (Vera et al., 2005).

Por otra parte, mediante un estudio de suelo realizado por el Ing. Vicente León en un predio aledaño a donde se tiene previsto realizar la construcción del edificio de cuatro pisos, se obtuvo información específica de las condiciones del suelo. En este estudio, se verificó, mediante sondeos, que el nivel freático se encuentra a 60 cm desde el nivel de bordillo. Dicha distancia no es extraordinaria debido a que cerca del lugar se encuentra un brazo de agua. Esta problemática ocurre en casi todo Guayaquil, y en otras ciudades como Samborondón y Daule (León, 2015).

Adicionalmente con respecto al material presente al momento de los sondeos, se tiene que en el primer metro de excavación existe la presencia de cascajo no compactado, mientras que hasta los 2.5 metros se evidenció arcilla vercosa. Desde el nivel mencionado anteriormente hasta los 15

metros de profundidad existe la presencia de arcilla verdosa con arena blanda. Por último, la capacidad admisible que se calculó mediante los diferentes parámetros calculados corresponde a $2.87 \text{ Ton}/\text{m}^2$ (León, 2015).

Por lo tanto, considerando el análisis geológico que conlleva las diferentes fallas activas que pueden afectar a la ciudad de Guayaquil, y del mismo modo, a causa del tipo de suelo arcilloso que existe y los parámetros asociados con aquello. Es recomendable realizar un mejoramiento de suelo, con la finalidad de aumentar la resistencia admisible de carga, y así mitigar efectos a consecuencia de movimientos telúricos. No obstante, la distancia y el tipo de suelo que se vaya a reemplazar debe de estar asociado con el tipo de cimentación que se vaya a planificar, con la finalidad de que el material a utilizar no sea afectado por la alcalinidad del sector.

2.4.3 Fases del proyecto

Para el desarrollo de este proyecto, diseño de losas postensadas y proceso constructivo para edificaciones de tamaño medio en Guayaquil, en primera instancia, es importante mencionar que es de tipo no experimental y longitudinal. Se basa en la recopilación de información y datos que una vez adquirida no será manipulada o modificada. Además, tiene la finalidad de conocer los beneficios y las ventajas del uso de un sistema de diseño y construcción de losas poco implementado en la construcción ecuatoriana.

Fase I: Investigación

Esta etapa inicia con la recopilación de información y datos relevantes necesarios para el proyecto. Se estudian diferentes bibliografías que permitirán definir y entender sobre el tema del proyecto. Además, se toma en cuenta normativas de diseño y de construcción que permitirán conocer las diferentes configuraciones estructurales para optar por la más idónea. En consecuencia, se realiza la redacción del planteamiento, descripción del alcance y objetivos del proyecto.

Fase II: Ejecución

En esta fase, se realiza el diseño estructural partiendo de los planos arquitectónicos y un predimensionamiento de los elementos estructurales. Una vez completada esta parte, se dibujan los elementos en un programa estructural, ETABS. En este software se definen materiales, secciones, niveles y se asignan cargas para obtener los resultados proporcionados por el programa, y tomando en consideración el “Post Tensioning Manual” del Instituto del Postensado en conjunto con el código ACI 319.

Posteriormente, se consideró el diseño estructural de una losa convencional aligerada realizado por el Tinoco y Ormaza en el año 2022. Por lo cual, entre los datos fundamentales para llevar a cabo este proyecto se obtuvo información del armado estructural del edificio y su presupuesto. Además, mediante estos datos se realizará la debida comparación con la losa postensada. Por consiguiente, se diseña estructuralmente la losa postensada manualmente para poder desarrollar un programa, el cual permitirá obtener los resultados de una manera mucho más rápida y sencilla de interpretar.

Fase III: Análisis

En esta etapa, se definirá el presupuesto, el análisis de precios unitarios (APUs) y el tiempo de construcción de los diferentes tipos de losa tomando en cuenta los procesos constructivos con el objetivo de implementarlos en el contexto ecuatoriano. Finalmente, se comparan los procesos constructivos, los costos y el tiempo de construcción entre las losas proporcionando una visión clara de la eficiencia y viabilidad teniendo presente el cuidado del medio ambiente y la sostenibilidad.

2.5 Análisis de alternativas

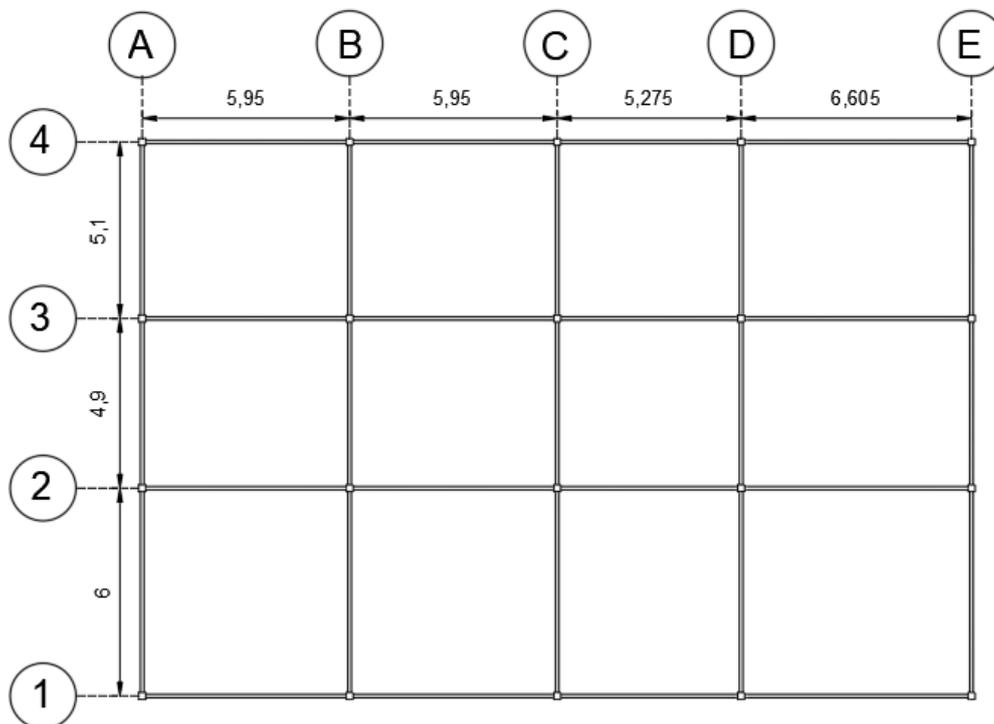
Con la finalidad de realizar un análisis minucioso tanto del método constructivo como del diseño de los diferentes sistemas, se proponen dos alternativas: en primer lugar, se considerará el armado estructural de una losa convencional aligerada propuesta por el Ing. Tinoco. Sin embargo, se realizarán pequeñas modificaciones en lo que respecta a las dimensiones de la losa. Actualmente dicho sistema predomina en las construcciones efectuadas en el país. Mientras que, por otra parte,

se diseñará un sistema de losas postensadas considerando que se trata de una losa en una dirección. Se plantean estas opciones con la finalidad de conocer cuál es el método constructivo que brinda más beneficio y se acopla mejor en la ciudad de Guayaquil.

Cabe mencionar, que la dimensión del edificio será la misma, al igual que las losas, el sistema eléctrico e hidráulico. No obstante, el único cambio considerable es el tipo de losas, por lo que, al momento de realizar el presupuesto final, la diferencia económica que resulte de las dos alternativas definirá la mejor propuesta. Del mismo modo, se tiene que tomar en cuenta el método constructivo, tantos sus ventajas como limitaciones.

A continuación, en la Figura 2.10 se detalla las medidas que tendrá el edificio en implantación, tanto de manera longitudinal como transversal, con la finalidad de que ambas alternativas sigan un mismo sistema, y la única diferencia será el tipo de losa que se aplique:

Figura 2.10 *Implantación del edificio por diseñar*



2.5.1 Alternativa #1: Losa aligerada

Como se había mencionado anteriormente, en primer lugar, se considerará el diseño estructural propuesto por Tinoco y Ormaza (2022) de un edificio comercial residencial de 4 pisos,

para el cual se consideró un sistema de losas aligeradas en dos direcciones. Sin embargo, para este proyecto se hará un rediseño de la losa en una dirección. Esto se lo hará con la finalidad de su debida comparación con una losa postensada en una dirección. Este sistema de losa es el más usado como método de construcción en el país por sus ventajas estructurales y económicas; por lo cual, para los diseños estructurales se utilizaron los reglamentos correspondientes como el código ACI-318 y la NEC-15.

Mediante el uso de dichas normas se garantizó el cumplimiento de los requisitos de diseño locales e internacionales de seguridad, considerando tanto las cargas muertas como las cargas vivas; del mismo modo, se consideró el factor de seguridad de diseño para las cargas con el objetivo de asegurar el buen comportamiento estructural.

Así mismo, se consideraron los cálculos pertinentes para el acero de refuerzo mínimo para las losas. Se consideró los diseños a flexión y cortante de la viga. No obstante, la norma también se aplicó para el diseño de las columnas del edificio, asegurando la capacidad de soporte de cargas. En este caso, se consideraron los diseños a flexo compresión, confinamiento y por corte de la columna. Se prestó atención a las debidas deflexiones para evitar problemas funcionales.

Por último, después del diseño estructural, se realizó el debido presupuesto del edificio considerando los valores del mercado ecuatoriano; mismo que será comparado con el presupuesto de la losa postensada. Esto se hizo con el objetivo de seleccionar el sistema con mayor factibilidad de tiempo-costo.

Proceso constructivo

Se describe brevemente el proceso constructivo tomando en cuenta el manual técnico de construcción de una losa aligerada el cual brinda un procedimiento constructivo general sobre las losas aligeradas (Condori, 2021).

Instalación del encofrado En este apartado se realiza el colocado de encofrado metálico o de madera tomando en cuenta el espesor indicado en los planos. Se colocan los puntales locales y

los tablonos en donde se apoyarán los bloques de hormigón. Este paso debe estar culminado para inicial con la losa.

Colocado de elementos de aligerantes Pueden ser casetones de poliestirenos, bloques de plástico, bloques de hormigón según esté indicado en las especificaciones técnicas, estos elementos son unidades con % de vacío y se colocan siguiendo la configuración indicada por los planos. Es importante sellar los extremos de los ladrillos para evitar que el material entre por los vacíos.

Colocado de refuerzo Se coloca la malla electrosoldada y los refuerzos inferiores a lo largo de toda la vigueta tomando en cuenta el espaciado para vinchas y se deben anclar correctamente a las vigas principales en los extremos. Para finalizar este paso, se colocar un refuerzo de temperatura en la dirección perpendicular a las viguetas en todos los paños de la losa.

Hormigonado Antes de realizar el vertido del hormigón, y en caso de utilizar bloques de hormigón, estos deben ser previamente humedecidos, luego durante el vertido del material se inicia desde un extremo por las vigas, seguidos de las viguetas y la loseta superior. Se utiliza un vibrador para eliminar las burbujas de aire y consolidar correctamente el hormigón, de esta manera se consigue una estructura monolítica.

Curado del hormigón Se debe controlar el curado durante 7 días aproximadamente posterior al vertido del material para evitar fisuras y grietas. Se puede utilizar algún curado químico o agua. Cuando se trata de superficies planas, se recomienda el uso de mantas plásticas para contener el agua el mayor tiempo posible.

Retiro del encofrado Previa a la obtención de la resistencia requerida del hormigón se procede a retirar el encofrado, generalmente este procedimiento se realiza a los 21 o 24 días, aproximadamente.

2.5.2 Alternativa #2: Losa postensada

El diseño de la losa postensada también tendrá como documento guía, la norma del ACI-318. Por lo que, será el soporte para el diseño de las columnas, donde se tiene previsto que mantenga las

mismas dimensiones y armado estructural que el caso de la losa aligerada. No obstante, existirá un cambio para el diseño de la losa postensada, debido a que se utilizará el libro “Post-Tensioning Manual”, el cual corresponde a la sexta edición.

Se seleccionó dicha fuente, porque el contenido se centra en elementos postensados. Además, brindan varios ejemplos del diseño estructural de este sistema. Por lo cual, es de gran relevancia conocer el procedimiento completo de este tipo de losas. Adicionalmente, otorga información importante sobre el armado estructural que se deberá tener. Así mismo, detalla la configuración que tendrán los torones con sus respectivos soportes, su resistencia y su ángulo de inclinación.

Por último, debido a que en gran parte del Ecuador no hay una logística implementada para el diseño de losas postensadas, se deberá realizar el diseño estructural juntamente con las especificaciones técnicas de los materiales que existen en el mercado ecuatoriano, como es el caso de los torones. Sin embargo, en Ecuador existen empresas que elaboran elementos pretensados como es el caso de las vigas para los puentes, las cuales se basan en normas internacionales. Esto con la finalidad de asegurar un nivel de seguridad. No obstante, es meritorio, evaluar la capacidad y disponibilidad de los materiales a nivel local como internacional, para la adquisición de los elementos necesarios para el diseño.

Proceso constructivo

El Manual del Instituto del Postensado brinda una idea general del proceso constructivo en sitio de las losas postensadas:

Instalación del encofrado: El encofrado se instala siguiendo las especificaciones detalladas en los planos y en las especificaciones técnicas, considerando la perforación necesaria para la colocación de los elementos de sujeción de los tendones. Es recomendable que el encofrado se extienda más allá del terminal del tendón para permitir el espacio necesario para las operaciones de tensado y acabado.

Colocación del tendón: La colocación del tendón se realiza cuidadosamente, ya sea mediante manipulación mecánica o manual, para evitar daños en el revestimiento. Además, se coloca acero de refuerzo, el cual será esencial para mantener los tendones en su posición final durante el proceso de construcción.

Colocación del hormigón: Antes del vertido, es primordial verificar la alineación horizontal para minimizar las desviaciones horizontales y asegurar un recubrimiento apropiado. Se debe de evitar que el concreto ingrese en las cavidades o elementos de anclaje. El hormigón debe colocarse de tal manera que se conserven las posiciones y las alineaciones de los tendones. Durante el proceso de vibraciones del hormigón, es importante evitar movimientos y asegurar una compactación uniforme. El hormigón debe curarse de acuerdo con el código ACI 318.

Operaciones de tensionado: Todo el equipo de tensado es proporcionado por el fabricante. Una vez que las pruebas de los cilindros curados en campo indiquen una resistencia a la compresión adecuada, generalmente 3000 psi (210 kg/cm²), se puede proceder al tensado de los tendones. El proceso de tensionado debe ser realizado por personal experimentado y se controla de dos maneras: mediante la lectura del manómetro en la bomba y comparando el alargamiento medido después del tensado con el alargamiento teórico del tendón. Es imprescindible seguir las normas de seguridad en la construcción.

Retiro de encofrados y re-apuntalamiento: El encofrado puede retirarse inmediatamente después de la operación del tensado y la revisión de los tendones. Luego del tensado es posible que se necesite volver a apuntalar la losa para evitar sobrecargas durante la construcción posterior.

Protección de los anclajes finales: Las bolsas de anclaje deben de llenarse con lechada no metálica, sin contracción y libre de cloruros tan pronto como sea posible después del tensado, idealmente antes de que se cumplan 10 días. De no ser posible esto, debe aplicarse una protección temporal a los anclajes.

2.6 Selección de alternativa más optima

Al momento de seleccionar la alternativa más optima, se tiene que evaluar varios parámetros, con la finalidad de asegurar un método constructivo factible a nivel económico, logístico y ambiental. No obstante, el sistema de losas postensadas al ser una nueva implementación en la ciudad de Guayaquil puede tener factores desfavorables, pero dichos inconvenientes se pueden mejorar con un plan logístico detallado. Por lo cual, una de las finalidades de este trabajo, es brindar claridad a cualquier detalle inconcluso referente al método constructivo y, del mismo modo aplicar los correctivos adecuados para su implementación.

La tabla de alternativa será utilizada para calificar tanto a las losas postensadas como convencionales. La opción con mayor puntaje será la más factible, por lo cual será la opción principal para ser utilizada como método constructivo en el país. No obstante, como se puede observar, la rúbrica tiene en consideración tres aspectos de gran relevancia dentro del ámbito de construcciones.

Por lo tanto, para evaluar la mejor alternativa se va a considerar la siguiente rubrica que se presenta en la Tabla 3:

Tabla 2.3. Rúbrica para la evaluación de alternativas

Evaluación de alternativas					
Diseño Constructivo	2	4	6	8	10
Transporte de materiales y herramientas					
Accesibilidad de materiales					
Implementación del diseño					
Reciclaje de materiales de obra					
Tiempo de construcción					
Cumplimiento de normativas					
Medio ambiente					
Impacto ambiental					
Reducción de contaminación por construcción					
Costos					
Presupuesto					

En primer lugar, dentro del método constructivo es fundamental conocer las limitantes de cada sistema, como es el caso del transporte, diseño, materiales, tiempo y normativas. Todos estos parámetros deben de cumplirse con cabalidad y tener un plan logístico para que no se presenten inconvenientes ni atrasos durante la obra.

Por otra parte, un punto esencial el cual conlleva al cumplimiento de los ODS es la sección medio ambiental de la obra. Actualmente, el polvo, basura y otros factores asociados con desechos de la construcción pueden acarrear problemas de salud hacia las personas que viven en la periferia de la zona donde se está construyendo. En este proyecto la situación se vuelve compleja al ser un sector transitado por miles de personas diariamente. Por lo cual, es meritorio promover una edificación donde su construcción implique la menor contaminación posible.

Por último, como pilar clave de la evaluación, se consideró el presupuesto de obra, el cual puede variar significativamente dependiendo de la cantidad de pisos que tenga el edificio.

Capítulo 3

3. ESTRUCTURAL

3.1 Diseño y especificaciones para losa aligerada

Mediante el diseño estructural basado en un edificio de 4 pisos propuestos por Tinoco y Ormaza (2022), se extrajo la información fundamental en referencia al armado estructural del edificio. Con la finalidad de realizar la debida comparación con el presupuesto y método constructivo que se diseñará mediante el sistema de losas postensadas. No obstante, se realizó un rediseño en el sistema de losa aligerada, donde para términos del proyecto, se acoplará una losa aligerada en una dirección. Por lo tanto, a continuación, se detallan los elementos más importantes del diseño del edificio mediante losas convencionales aligeradas.

3.1.1 Predimensionamiento de elementos

Losa

En primer lugar, es imprescindible realizar el cálculo del espesor de la losa. Por lo cual, se consideró la longitud promedio de la losa en centímetros. En este caso sería de 594 cm. Por otra parte, se utiliza un factor de 18.5, el cual proviene de investigaciones y ensayos; además es referente para losas con un extremo continuo. Por lo cual, la fórmula que se presenta a continuación para el espesor de la losa aligerada es empírica, pero al mismo tiempo válida para el desarrollo de esta edificación:

$$e = \frac{L}{18.5} \quad (3.1)$$

Donde:

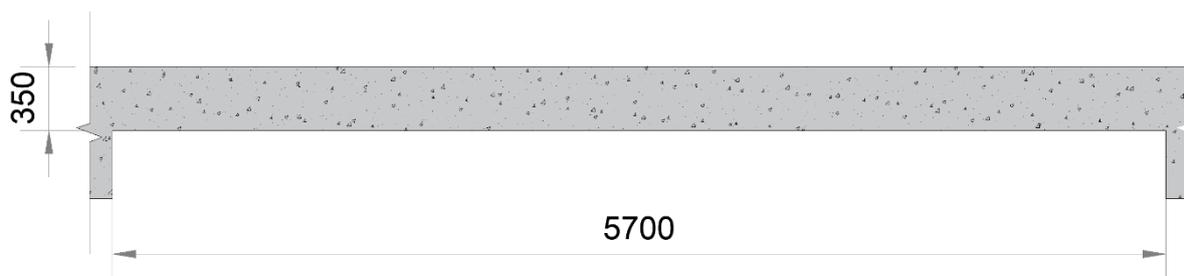
e = Espesor de la losa

L = Longitud promedio de la losa

$$e = \frac{594}{18.5} = 32.10 \text{ cm}$$

En primera instancia, el espesor mínimo que puede tener la losa aligerada es de 32.10 cm. No obstante, por términos constructivos, el espesor definitivo que se escogió para la losa es de 35 cm. La Figura 3.1 presenta el espesor de la losa aligerada en milímetros.

Figura 3.1 Espesor de la losa aligerada



Nota. Dimensión obtenida de espesor para la losa aligerada, las unidades en la Figura 3.1 están en mm.

Vigas

A continuación, se obtuvo el predimensionamiento adecuado de la altura de la viga. Para lo cual, se realizó el promedio de las luces entre apoyos de la viga.

$$Luz_p = \frac{5.95 + 5.95 + 5.275 + 6.605}{4} = 5.94 \text{ m}$$

Mediante, la formula descrita a continuación, se calculó la altura de la viga:

$$H = \frac{Luz_p}{18.5} \quad (3.2)$$

Donde:

H = Altura de la viga

Luz_p = Luz promedio

$$H = \frac{5.94 \text{ m}}{18.5} = 32 \text{ cm}$$

Para una mayor comodidad constructiva se escogieron alturas de 40 cm para los dos primeros pisos. Mientras que para el tercer y cuarto piso se seleccionaron vigas de 35 cm. No obstante, en todos los pisos, se consideró que las vigas tendrán un ancho de 25 cm. Por otra parte, se optó por escoger vigas con mayores dimensiones en las 2 primeras plantas, por cuestiones de carga y debido a que soportan el peso de los demás niveles. La Figura 3.2 presenta las dimensiones de las vigas para los pisos del edificio.

Figura 3.2 Dimensiones de las vigas para los pisos del edificio

Vigas de 3er y 4to piso

Vigas de 1er y 2do piso



Nota. La altura de la viga fue obtenida mediante el cálculo descrito, mientras que el ancho fue propuesto por conocimientos empíricos.

Columnas

Para el predimensionamiento de las columnas se consideró 3 factores: el peso que va a soportar en servicio, la resistencia del concreto y un factor “n” el cual toma en cuenta que las dimensiones de la columna estarán afectadas por los momentos, está siendo considerada con el valor de 0.2. Además, la resistencia del hormigón es de $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

$$A_g = \frac{P_{serv}}{0.2 f'_c} \quad (3.3)$$

En primera instancia, se conoce la carga de servicio, por medio de la Ecuación 3.5 se lo puede determinar:

$$P_{serv} = A_t * q \quad (3.4)$$

$$P_{serv} = 29.77 * 4308$$

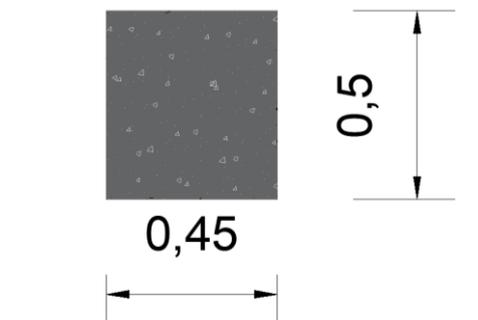
$$P_{serv} = 128249.16 \text{ kg}$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente de la ecuación 4, se obtendrá el área tributaria para las columnas con ayuda de la Ecuación 3.4, la cual será importante para realizar las siguientes configuraciones:

$$A_g = \frac{128249.16 \text{ kg}}{0.2 * 280 \text{ kg/cm}^2} = 2290.11 \text{ cm}^2$$

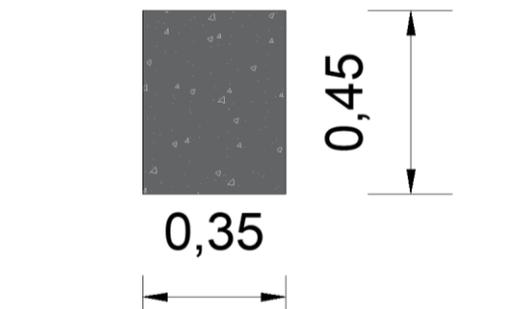
Para los primeros pisos, piso 1 y 2, se empleará un ancho de 45 cm mientras que la altura será de 50 cm. La Figura 3.3 presenta la sección transversal de los pisos mencionados.

Figura 3.3 Sección transversal para las columnas del 1er y 2do piso.



Mientras que, para los demás pisos, piso 3 y 4, se utilizará un ancho de 35 cm mientras que la altura será de 45 cm. La Figura 3.4 presenta la sección transversal de los pisos mencionados.

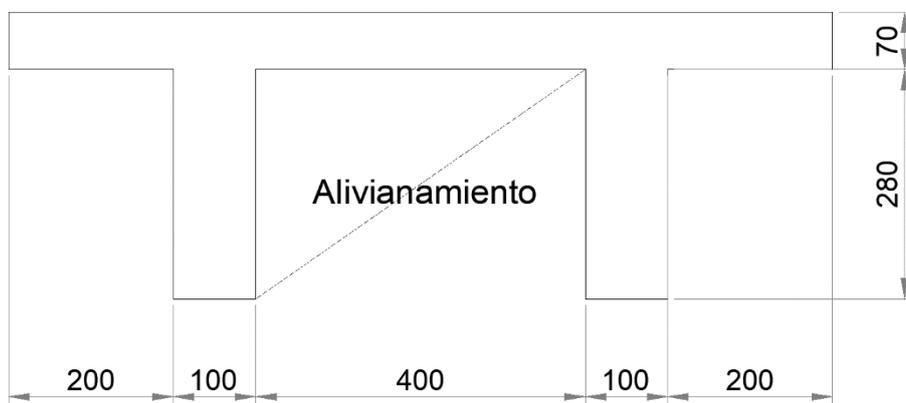
Figura 3.4 Sección transversal para las columnas del 3er y 4to piso.



3.1.2 Peso de la losa aligerada

Para determinar el peso propio de la losa aligerada se consideró que dentro de este sistema se tiene presente el uso de bloques de hormigón alivianado. Sin embargo, para el cálculo exacto también se debe considerar la capa de compresión y las nervaduras de concreto. A continuación, mediante la Figura 3.5 se muestra la configuración que tendrá la losa aligerada con respecto al espesor calculado y el bloque de poliestireno expandido:

Figura 3.5 Configuración de la sección transversal de la losa aligerada.



Nota. Las unidades de las cantidades mostradas en la Figura 3.5 se encuentran en mm.

En primera instancia se calculó el volumen de la capa de compresión por metro cuadrado con el objetivo de obtener su peso, esto se realizó por medio de las Ecuaciones 3.6 y 3.7, respectivamente:

$$V_c = h_c \cdot A \quad (3.5)$$

$$V_c = 0.07 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}^2$$

$$V_c = 0.07 \text{ m}^3$$

$$W_c = V_c \cdot \gamma_c \quad (3.6)$$

$$W_c = 0.07 \text{ m}^3 \cdot 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$W_c = 168 \text{ kg/m}^2$$

En donde:

V_c = Volumen de la capa de compresión por metro cuadrado (m³)

h_c = Espesor de la capa de compresión

W_c = Peso de la capa de compresión

$A = 1 \text{ m}^2$

Así mismo, para determinar el peso de las nervaduras por metro cuadrado se realizó el mismo procedimiento utilizando la Ecuaciones 3.7 y 3.8

$$V_n = b_n \cdot h_n \cdot l_n \quad (3.7)$$

$$V_n = 0.10 \text{ m} \cdot 0.28 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}$$

$$V_n = 0.028 \text{ m}^3$$

En donde:

V_n = Volumen de las nervaduras de la losa aligerada en 1 m²

b_n = Ancho de las nervaduras

h_n = Altura de las nervaduras

$l_n = 1 \text{ m}$

Por medio de la Ecuación 3.8 podemos conocer la cantidad de nervaduras por metro cuadrado:

$$\#n = \frac{1}{d_{e-e}} \quad (3.8)$$

$$\#n = \frac{1}{0.40 \text{ m}}$$

$$\#n = 2$$

En donde:

d_{e-e} = Distancia de eje a eje de las nervaduras

Entonces el valor total de nervaduras ($V_{n-total}$) calculado por medio de la Ecuación 3.9 para el área de 1 metro cuadrado es:

$$V_{n-total} = V_n \cdot \#n \quad (3.9)$$

$$V_{n-total} = 0.028 \text{ m}^3 \cdot 2$$

$$V_{n-total} = 0.056 \text{ m}^3$$

Entonces el peso propio de las nervaduras (W_n) utilizando la Ecuación 3.6 tendría un valor de:

$$W_n = V_{n-total} \cdot \gamma_c$$

$$W_n = 0.056 \text{ m}^3 \cdot 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$W_n = 134 \text{ kg/m}^2$$

Por último, determinamos el peso propio del bloque de hormigón alivianado de la misma manera en la que se determinó para la capa de compresión y las nervaduras. Para la losa alivianada se considerarán las dimensiones del bloque como 0.40m x 0.20m x 0.28m. Por lo que con ayuda de la Ecuación 3.10 se calcula el volumen para el bloque alivianado

$$V_b = b_b \cdot h_b \cdot e_b \quad (3.10)$$

$$V_b = 0.40 \text{ m} \cdot 0.20 \text{ m} \cdot 0.28 \text{ m}$$

$$V_b = 0.0224 \text{ m}^3$$

En donde:

V_b = Volumen de 1 unidad de bloque alivianado

b_b = Ancho del bloque alivianado

h_b = Altura del bloque alivianado

e_b = Espesor del bloque alivianado

Se calcula el peso de los bloques (w_b), el valor para la densidad del bloque alivianado es obtenido por medio de la normativa ecuatoriana de la construcción en el que se menciona que este dato es 850 kg/m³ y utilizando la Ecuación 3.6 se calcula un valor de:

$$w_b = V_b \cdot \gamma_b$$

$$w_b = 0.0224 \text{ m}^3 \cdot 850 \text{ kg/m}^3$$

$$w_b = 19.04 \text{ kg}$$

En donde:

w_b = Peso de un bloque alivianado

γ_b = Densidad del bloque alivianado

Sin embargo, este valor es únicamente para 1 bloque de hormigón por lo que se debe determinar cuántos bloques entran en 1 metro cuadrado, utilizando la Ecuación 3.11 logramos esto.

$$\#b = \frac{1m^2}{0.40m \cdot 0.20m} \quad (3.11)$$

$$\#b = 12.5 \text{ bloques}$$

Por lo tanto, el peso total de los bloques alivianados total (W_b) es de:

$$W_b = w_b \cdot \#b \quad (3.12)$$

$$W_b = 19.04 \text{ kg/m}^2 \cdot 12.5$$

$$W_b = 238 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Finalmente, realizando la suma de los componentes de la losa obtenemos el valor del peso propio para la losa aligerada.

$$W_{LA} = W_c + W_n + W_b \quad (3.13)$$

$$W_{LA} = 168 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 134 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 238 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$W_{LA} = 540 \text{ kg/m}^2$$

3.1.3 Estimación de cargas

Para la estimación de las cargas del edificio, se tomó en cuenta los materiales y las propiedades de los elementos estructurales y no estructurales. El edificio comercial-residencial consta de 4 pisos.

3.1.3.1 Carga muerta

Las cargas muertas representan todas aquellas cargas que se mantendrán y actuarán de forma permanente sobre la estructura como el peso propio de los elementos estructurales y no estructurales.

Vigas

Para la carga muerta generada por los elementos horizontales tales como las vigas se determinan dependiendo de las dimensiones del elemento. Sin embargo, en esta ocasión se toma como referencia un valor aproximado de 200 kg/m^2 en el que se la considerará como una sección estándar.

Mampostería

La carga muerta causada por el peso de las paredes se determina con características como el material de la pared, que se trata de bloques de concreto y el espesor de este. De manera general, para el cálculo estructural se consideró que la mampostería tiene un peso de 200 kg/m^2 .

Instalaciones

El valor de la carga muerta debido a las instalaciones depende del tipo y de la densidad de las instalaciones. Por otro lado, por medio de la normativa se conoce que un valor aproximado es de $W_{inst} = 35 \text{ kg/m}^2$.

Acabados de piso

Además, se debe considerar la carga por parte de los acabados de piso en donde se está tomando en cuenta que el piso tendrá un recubrimiento de cerámica como acabado final, por lo que el peso utilizado es de $W_{ap} = 100 \text{ kg/m}^2$.

Finalmente, se presenta una tabla resumen en donde se podrá visualizar todas las cargas muertas involucradas, sin embargo, estas cargas se utilizarán para las losas de los pisos 1,2 y 3 para garantizar uniformidad mientras que, para la losa del 4to piso, se considerará una menor magnitud de carga muerta para la mampostería debido a que este piso es considerado como de uso de área social abierta sin presencia de paredes. La Tabla 3.1 muestra las cargas muertas involucradas desde el piso 1 hasta el piso 3; mientras que la Tabla 3.2 muestra las cargas muertas para el último piso.

Tabla 3.1 Cargas muertas involucradas en los pisos 1, 2 y 3.

Carga muerta	Magnitud (kg/m²)
Losa	540
Mampostería	200
Instalaciones	35
Acabados de piso	100
Total	875

Nota. Las cargas muertas enlistadas consideran el peso de los materiales que estarán presentes permanentemente.

Tabla 3.2 Cargas muertas involucradas en el piso 4.

Carga muerta	Magnitud (kg/m²)
Losa	540
Mampostería	100
Instalaciones	35
Acabados de piso	100
Total	775

Nota. La magnitud total de carga muerta se diferencia de los otros pisos debido a la poca cantidad de mampostería.

3.1.3.2 Carga viva

Para definir las cargas vivas, se toma como referencia la tabla 9 en el que se detallan las sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas y concentradas de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción para cargas no sísmicas, NEC-SE-CG. A continuación, la Tabla 3.3 proyecta las diferentes cargas vivas según la norma indicada:

Tabla 3.3 Clasificación de la carga viva según el tipo de edificación.

Tipo de edificación	Magnitud (kg/m²)
Vivienda residencial	200
Oficinas	250
Centros comerciales	300 - 500
Salones de eventos	500

Nota. Los valores de carga viva fueron obtenidos por medio de la NEC 2015.

Se definió que, para el edificio el primer y tercer piso serán de uso comercial. Sin embargo, cabe mencionar que el edificio no es un centro comercial, por lo cual se puede tomar como carga referencial a las de oficinas. Además, el segundo piso es para uso residencial y el cuarto piso está destinado para uso como área social.

En la Tabla 3.4, se puede visualizar los valores para cada piso. Se realizó un cambio en la magnitud de carga para el piso destinado para departamentos, esto se hizo con la finalidad de darle homogeneidad a las cargas el edificio. Por otro lado, el último piso, se lo va a destinar como un salón de eventos.

Tabla 3.4 Carga viva para cada piso del edificio.

Nivel del edificio	Magnitud (kg/m^2)
Cuarto piso	400
Tercer piso	250
Segundo piso	250
Primer piso	250

Nota. La tabla presenta los datos de cargas vivas tomando en cuenta la ocupación de cada piso en el edificio.

3.1.4 Diseño estructural – Losa aligerada

Debido a que se realizará un rediseño de la losa, cambiando el sistema de aligerada a postensada, mediante el diseño estructural del edificio el cual fue elaborado por Tinoco y Ormaza (2021), se considerará su proyecto para la evaluación de característica. Además, la comparación a nivel estructural y económica se realizará considerando la información emitida por Tinoco y Ormaza con el diseño de postensado elaborado en este proyecto. Adicionalmente, la comparación del proceso constructivo se lo hará considerando el proceso de losas aligeradas a nivel de Guayaquil, con el proceso de losas postensadas de esta investigación. Por lo tanto, a continuación, se presentan los datos más relevantes del diseño de losas aligeradas elaborado por Tinoco y Ormaza (2021).

3.1.4.1 Diseño de losa

Para el diseño de la losa aligerada en una dirección se deberá considerar tanto la carga muerta como la viva para obtener la respectiva combinación de carga, la cual controlará el diseño. A continuación, se detalla las cargas mayoradas:

Carga muerta mayorada

$$1.2D = 1.2 * 0.875 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$1.2D = 1.05 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Carga viva mayorada

$$1.6L = 1.6 * 0.250 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$1.6L = 0.4 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Carga total mayorada

$$1.2D + 1.6L = 1.45 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Carga final

Mediante el ancho tributario del nervio de 40 cm, se obtiene la siguiente carga final por medio de la Ecuación 3.14:

$$W_u = (1.2D + 1.6L) * A_t \quad (3.14)$$

$$W_u = 1.45 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} * 0.40 \text{ m}$$

$$W_u = 0.58 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Por consiguiente, mediante el software SAP2000 se obtienen los momentos máximos negativos y positivos. Además de los valores de cortante ilustrados en la Figura 3.6. A continuación, en las Figuras 3.7 y 3.8 se detallan los gráficos de momentos máximo negativo y máximo positivo, respectivamente. Así mismo, en la Figura 3.9 se muestra el cortante máximo para la losa. Mediante la Figura 3.6 se muestra el gráfico de momento y cortante de la losa aligerada. No obstante, la Figura 3.7 proyecta el momento máximo negativo, mientras la Figura 3.8 muestra el momento máximo positivo y la Figura 3.9 muestra el cortante máximo:

Figura 3.6 Graficas de momento y cortante para la losa aligerada

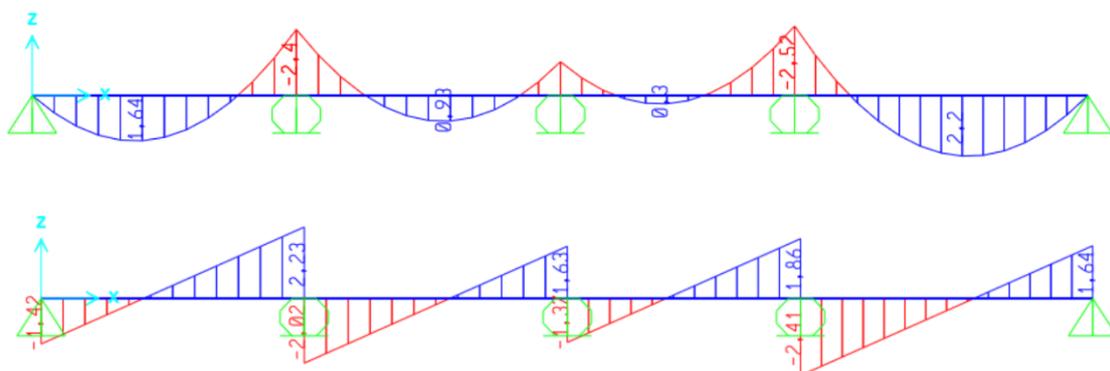


Figura 3.7 Momento máximo negativo en la losa aligerada



Figura 3.8 Momento máximo positivo en la losa

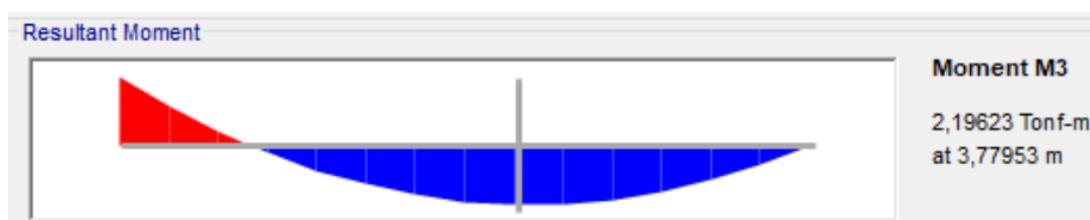
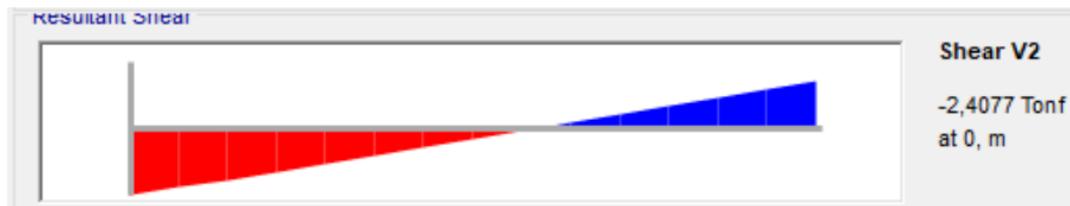


Figura 3.9 Cortante máximo para la losa aligerada



Nota. Los gráficos mostrados en las Figuras 3.6 a 3.9 fueron obtenidos por medio del programa estructural SAP2000.

Por lo tanto, los datos relevantes obtenidos mediante el software SAP2000 se encuentran en la Tabla 3.5:

Tabla 3.5 Resumen de datos más relevantes obtenidos en el programa SAP2000

Descripción	Unidad	Magnitud
Momento máximo negativo (M_u^-)	Ton*m	-2.52
Momento máximo positivo (M_u^+)	Ton*m	2.20
Cortante máximo (V_u)	Ton	2.41

3.1.4.2 Diseño por flexión

Acero de refuerzo por tracción

Para obtener el acero de refuerzo necesario se calculará el área de refuerzo mínima. Por lo cual, se debe de tener en consideración el peralte efectivo calculado por medio de la Ecuación 3.15:

$$d = e - rec - \frac{\phi v}{2} \quad (3.15)$$

$$d = 35 - 2.50 - \frac{1.2}{2}$$

$$d = 31.90 \text{ cm}$$

A consecuencia, se calcula el acero mínimo de refuerzo mediante la Ecuación 3.16:

Acero mínimo

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{F_y} * b_w * d \quad (3.16)$$

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{4200} * 2 * 10 * 31.90$$

$$A_{s_{min}} = 2.13 \text{ cm}^2$$

Profundidad del bloque de compresión:

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b_w} \quad (3.17)$$

$$a = \frac{2.13 * 4200}{0.85 * 280 * 10}$$

$$a = 3.75 \text{ cm}$$

Acero de refuerzo

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (3.18)$$

$$A_s = \frac{2.52}{0.9 * 4200 * \left(31.90 - \frac{3.75}{2}\right)}$$

$$A_s = 2.22 \text{ cm}^2$$

En base a lo calculado, se va a utilizar varillas de 12 mm, las cuales tienen un área de 1.13 cm^2 . Por lo tanto, se utilizarán 2 varillas, las cuales tendrán un área total de 2.26 cm^2 , la cual es mayor que el acero de refuerzo requerido de 2.22 cm^2 .

Acero de refuerzo por compresión

Se calcula el acero mínimo de refuerzo por compresión mediante la ecuación 3.16:

Acero mínimo

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} * b_w * d$$

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{4200} * 31.90 * 10$$

$$A_{s_{min}} = 1.06 \text{ cm}^2$$

Profundidad del bloque de compresión:

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b}$$

$$a = \frac{1.06 * 4200}{0.85 * 280 * 10}$$

$$a = 0.47 \text{ cm}$$

Acero de refuerzo

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_s = \frac{2.20}{0.9 * 4200 * \left(31.90 - \frac{0.47}{2}\right)}$$

$$A_s = 1.84 \text{ cm}^2$$

En base a lo calculado, se va a utilizar varillas de 12 mm, las cuales tienen un área de 1.13 cm^2 . Por lo tanto, se utilizarán 2 varillas, las cuales tendrán un área total de 2.26 cm^2 , la cual es mayor que el acero de refuerzo requerido de 1.84 cm^2 .

Refuerzo por contracción y temperatura

Acero requerido

$$A_{st} = \rho * e * 1m \quad (3.19)$$

$$A_{st} = 0.0018 * 7\text{cm} * 100 \text{ cm}$$

$$A_{st} = 1.26 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Acero proporcionado

Mediante la utilización de una varilla de 8 mm, se tiene un área de 0.502 cm^2 . Mediante aquello, se colocarán 4 varillas de 8 mm en 1 metro. Adicionalmente, su recubrimiento será de 5 cm con una separación de 30 cm entre varillas. Por lo tanto, el área de acero proporcionado será de $2.52 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$. Mediante la premisa anterior se aprueba el diseño, por lo que la cantidad de acero proporcionado es superior al acero requerido.

3.1.3.3 Diseño de viga

Para el diseño estructural completo de la viga, se consideró la flexión de esta. Por lo cual, se consideró el momento ultimo negativo positivo, con el objetivo de realizar la distribución adecuada del acero de refuerzo. No obstante, se realizó el cálculo del refuerzo para las vigas en el eje A-D y el tramo 1-4. Cada tramo tiene luces diferentes, por lo tanto, la distribución tendrá diferencia en la cantidad de varillas. Por otra parte, los momentos flectores serán mayores en las vigas centrales en comparación a las vías laterales. Mediante las indicaciones detalladas y considerando la información de Tinoco y Ormaza (2022), se tienen los siguientes refuerzos longitudinales para vigas:

Refuerzo para el tramo 1-2

- Para el refuerzo longitudinal inferior se utilizó varillas 3 varillas de 16 mm, tanto en los extremos como en el medio, para proteger los efectos de flexión.
- Para el refuerzo longitudinal superior se utilizó 6 varillas de 16 mm en los extremos para reforzar la viga y proteger los efectos por cortante, mientras que en la mitad del vano se utilizaron 2 varillas de 16 mm.

Refuerzo para el tramo 1-2

- Para el refuerzo longitudinal inferior se utilizó varillas 3 varillas de 16 mm, tanto en los extremos como en el medio del vano, para proteger los efectos de flexión.

- Para el refuerzo longitudinal superior se utilizó 5 varillas de 16 mm en los extremos para reforzar la viga y proteger los efectos por cortante, mientras que en la mitad del vano se utilizaron 2 varillas de 16 mm.

Por último, mediante el cálculo del cortante, se diseñó el acero de refuerzo transversal.

Mediante aquello se colocaron estribos de 10 mm cada 100 mm en la zona crítica de confinamiento, la cual se encuentra en los extremos de la viga. Mientras que, en el centro del vano, entre la zona de confinamiento se utilizaron estribos de 10 mm cada 200 mm.

3.1.4.3 Diseño de columna

Por último, para la columna se implementó un diseño de flexocompresión. Para ello, se calcularon las fuerzas cortantes mayoradas y los momentos máximos mayoradas en el eje x, y. Mediante dichas premisas se obtuvieron las siguientes consideraciones para el armado estructural de la columna:

- Se colocarán 10 varillas corrugadas, las cuales 4 se colocaron en las esquinas con un diámetro de 20 mm; mientras que en el ancho de la columna se colocó 1 varilla superior y una inferior de 18 mm; y en los laterales derecho e izquierdo se colocaron 2 varillas de 18 mm.
- Se colocaron estribos de 10 mm; para los refuerzos laterales se colocó un doble estribo de 10 mm. Adicionalmente, para los refuerzos superior e inferior también se utilizó un estribo de 10 mm.
- Para las zonas de confinamiento de las columnas se colocaron estribos con un espaciamiento de 75 mm. Mientras en la zona intermedia de la columna el espaciamiento de los estribos es cada 100 mm.

Nota: Los elementos estructurales de refuerzo que se calcularon para la losa, viga y columna fueron verificados mediante momentos y cortantes, para corroborar la eficiencia de la vivienda.

3.2 Diseño y especificaciones para losa postensada

3.2.1 Predimensionamiento de elementos

Losa

El diseño de la losa postensada es unidireccional con un sistema de tendones no adheridos. Entonces, para determinar el peso propio de la losa, en primer lugar, se debe conocer el espesor de esta. Se utiliza la Tabla 3.6, obtenida del manual del Instituto del Postensado, que brinda la relación luz/profundidad más económica y un comportamiento estructural favorable dependiendo del tipo de losa:

Tabla 3.6 Relación luz/profundidad de diferentes sistemas de piso.

<i>Sistema de piso</i>	<i>Relación Luz/Profundidad</i>
Losas unidireccionales	48
Losas bidireccionales	45
Losas bidireccionales con panel de caída (panel de caída mínimo al menos L/6 en cada dirección)	50
Losas bidireccionales con vigas bidireccionales	55
Losas de casetón bidireccionales (cuadrícula de 5 pies x 5 pies)	35
Vigas, $b \approx h/3$	20
Vigas, $b \approx 3h$	30
Viguetas unidireccionales	40

Nota. Los datos recopilados de la tabla fueron adquiridos del manual del instituto del postensado.

Para losas unidireccionales, se sugiere una relación luz/profundidad de 48, entonces para conocer el espesor de la losa, se tuvo en consideración el promedio de las luces entre apoyos del edificio que resultó ser de un valor de 5.94 m. Además, en discrepancia con la losa aligerada, para este sistema se utiliza la siguiente ecuación:

$$h = \frac{L_{prom}}{r} \quad (3.20)$$

$$h = \frac{233.86 \text{ pulg}}{48}$$

$$h = 4.87 \text{ pulg} \approx 5 \text{ pulg}$$

Nota: Las unidades para el uso de la ecuación 17 son en sistema inglés, sin embargo, como el proyecto está ubicado en Ecuador, debe realizarse la debida conversión de sistema de unidades.

En donde:

h = Espesor de la losa (m)

L_{prom} = Luz libre promedio de la losa (m)

r = Factor que depende del tipo de losa

Dado dicho valor del espesor es recomendable que el espesor tenga de preferencia un decimal y máximo 2. Además, de que los decimales sean valores múltiplos de 5. Por ende, se tomaría 5 pulg o 12.7 cm como espesor. Sin embargo, como en el país se utiliza el Sistema Internacional de medidas, es recomendable, por razones constructivas de que el espesor definitivo de la losa postensada sea de 13 cm.

$$h = 0.127m \approx 0.13 m$$

3.2.2 Peso de la losa postensada

Se calcula el peso propio de la losa, mediante la misma ecuación que en el caso de la losa aligerada, donde el único cambio se centra en el espesor:

$$W_{PPL} = \gamma_H \cdot h \quad (3.21)$$

$$W_{PPL} = 2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.13 \text{ m}$$

$$W_{PPL} = 312 \text{ kg/m}^2$$

En donde:

W_{PPL} = Peso propio de la losa por unidad de área (kg/m²)

γ_H = Peso unitario del hormigón (kg/m³)

3.2.3 Estimación de cargas

Para la estimación de cargas, se consultó con la normativa NEC con el objetivo de conocer cuál será la carga distribuida por cada elemento estructural que se aplica; del mismo modo se

consideró el manual de “Ideal Alambrec” para obtener la carga emitida por los torones. Por consiguiente, considerando los 4 niveles del edificio, se tienen las siguientes cargas muertas y vivas:

3.2.3.1 Carga muerta

Las cargas muertas en la losa postensada se determinan de manera similar a las de la losa aligerada, con la diferencia de que, en el sistema postensado, no se considera la carga de los bloques alivianados de hormigón. En su lugar, se incluye la carga del acero de refuerzo activo debido a la presencia de los torones.

Acero de presfuerzo

También conocido como acero activo, es un factor importante al momento de estimar las cargas presentes en el elemento estructural. Pese a que su contribución es pequeña en relación con el peso propio del concreto, debe considerarse debido a que afecta las fuerzas internas, al introducir fuerzas de compresión, en los elementos. Además, se modifica la distribución de momentos lo cual puede conducir a experimentar deflexiones a largo plazo.

Adicionalmente, para este cálculo, se consultaron las especificaciones técnicas de la empresa nacional Ideal Alambrec. Se optó por seleccionar torones de $\frac{1}{2}$ ”, los cuales tienen un área aproximada de 0.0001014 m^2 . No obstante, se consideró la colocación de 7 torones por cada ducto; además de que estos tendrán una separación de 1.2 m.

Para el cálculo de la carga muerta del acero de presfuerzo, en primera instancia se calculará el volumen por medio de la siguiente ecuación:

$$V_t = A_{to} \cdot L_t \quad (3.22)$$

$$V_t = (7 * 34 * 0.0001014 \text{ m}^2) \cdot (24 \text{ m})$$

$$V_t = 0.58 \text{ m}^3$$

En donde:

V_t = Volumen del acero de presfuerzo / torón (m3)

A_{to} = Área del acero de presfuerzo / torón (m2)

L_t = Longitud del torón en la losa

Como segundo punto, se calcula el peso del acero con la siguiente ecuación:

$$P_t = V_t \cdot \gamma_t \quad (3.23)$$

$$P_t = 0.58 \cdot 7850$$

$$P_t = 4546.69 \text{ kg}$$

En donde

P_t = Peso del acero de presfuerzo / torón (kg)

γ_t = Densidad del acero de presfuerzo / torón (kg/m³)

Por medio de la siguiente ecuación, se determina el peso del torón

$$W_t = \frac{P_t}{A_l} \quad (3.24)$$

$$W_t = \frac{4546.69}{(23.78 \cdot 16)}$$

$$W_t = 12 \text{ kg/m}^2$$

En donde:

W_t = Carga adicional impuesta a la losa debido a la presencia del torón

A_l = Área de la losa

El peso del acero de presfuerzo fue despreciado debido a que el valor obtenido resulto ser pequeño. En la Tabla 3.7, se detalla resumidamente las cargas muertas que estarán presentes en la losa postensada para todos los pisos del edificio. Esto con el objetivo de obtener un diseño estructural uniforme.

Tabla 3.7 Cargas muertas del edificio.

Elemento estructural	Carga (Kg/m ²)
Losa	312
Mampostería	200
Instalaciones	35
Acabados de piso	100
Total	647

Con la finalidad de tener un valor para facilitar los cálculos y tener mayor simplicidad, se consideró a la carga muerta como 675 kg/m^2 .

3.2.3.2 Carga viva

En la Tabla 3.8, se definió la carga viva para cada nivel de piso según la NEC. No obstante, a continuación, se detalla nuevamente las cargas vivas recordando que los usos para cada piso están destinados a lo mismo que en la losa aligerada:

Tabla 3.8 Cargas vivas del edificio

Nivel del edificio	Carga (Kg/m ²)
Cuarto piso	400
Tercer piso	250
Segundo piso	250
Primer piso	250

3.2.4 Modelamiento estructural

3.2.4.1 Carga muerta mayorada

En el caso de la carga muerta se utiliza un factor de mayoración de 1.2. Por lo cual, la carga muerta mayorada calculada por la Ecuación 3.25 es:

$$CMf = 1.2 * CM \quad (3.25)$$

$$CMf = 1.2 * 675 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CMf = 810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Donde:

CMf = Carga muerta mayorada (kg/m²)

CM = Carga muerta sin mayorar (kg/m²)

3.2.4.2 Carga viva mayorada

En el caso de la carga viva, el factor de mayoración es de 1.6. Por lo tanto, la carga viva mayorada calculado en la Ecuación 3.26 es de:

$$CVf = 1.6 * CV \quad (3.26)$$

$$CVf = 1.6 * 250 \frac{kg}{m^2}$$

$$CVf = 400 \frac{kg}{m^2}$$

Donde:

CVf = Carga viva mayorada (kg/m²)

CV = Carga viva sin mayorar (kg/m²)

3.2.4.3 Carga total

En esta sección se van a calcular la carga total no mayorada y mayorada. En primer lugar, la carga no mayorada es:

$$CT = CM + CV \quad (3.27)$$

$$CT = 675 + 250$$

$$CT = 925 \frac{kg}{m^2}$$

Mientras que la carga mayorada tiene como resultado:

$$CTf = CMf + CVf \quad (3.28)$$

$$CTf = 810 + 400$$

$$CTf = 1210 \frac{kg}{m^2}$$

3.2.4.4 Carga equilibrada

Se considera que el 65% de la carga muerta sin mayorar se encuentra equilibrada por el sistema de postensado. Por lo cual, la carga muerta equilibrada es la siguiente, calculada con la Ecuación 3.29:

$$W_{bal} = 65\% * CM \quad (3.29)$$

$$W_{bal} = 0.65 * 675$$

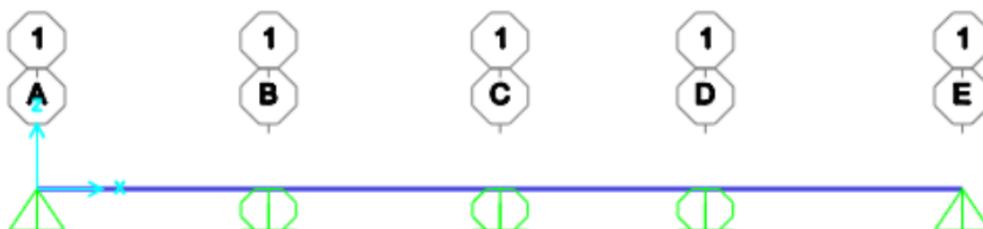
$$W_{bal} = 438.75 \frac{kg}{m^2}$$

Cabe mencionar que dicha carga, será importante en los próximos cálculos, para determinar la fuerza del tendón.

3.2.4.5 Momentos mediante SAP2000

El cálculo del momento máximo negativo se lo puede obtener a partir de las ecuaciones analíticas y la implementación del método de Cross, para obtener momentos flectores más exactos. Sin embargo, un método mayor efectividad y exactitud es la utilización del Software SAP2000; además de evitar errores por acción humana, tiene una interfaz fácil de manejar. No obstante, antes de utilizar dicha herramienta se debe tener detallado la longitud de las luces de cada viga; así mismo como las diferentes cargas. A continuación, mediante la Figura 3.10 se muestra el modelado de la losa en el SAP2000:

Figura 3.10 Modelado de la losa



Nota. El modelado fue realizado en el programa SAP2000.

Por consiguiente, se procede a obtener los diferentes momentos máximos considerando la carga muerta y la carga viva por separado.

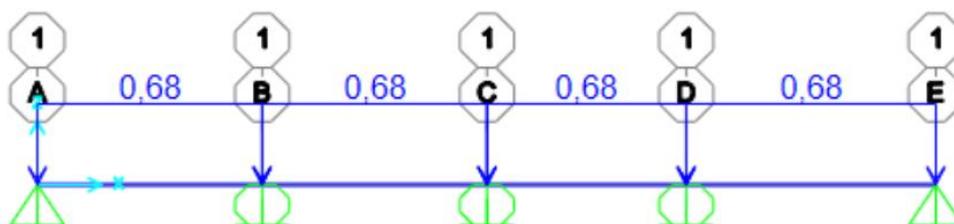
❖ Momento por carga muerta

La carga muerta por metro lineal que se utilizará en el software es de:

$$Wd = 0.675 * \frac{ton}{m}$$

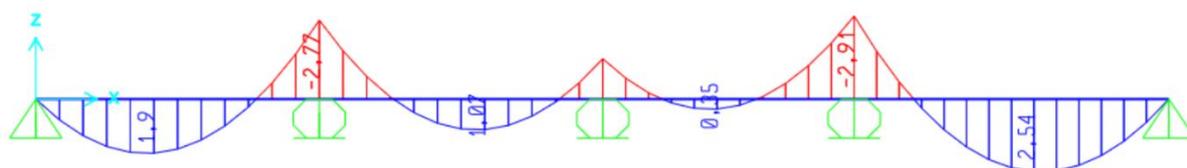
Dando como resultado gráfico de la viga proyectado en la Figura 3.11, con sus apoyos y la respectiva carga muerta, no mayorada.

Figura 3.11 Modelado de apoyos de la viga con sus respectivas cargas muertas no mayoradas.



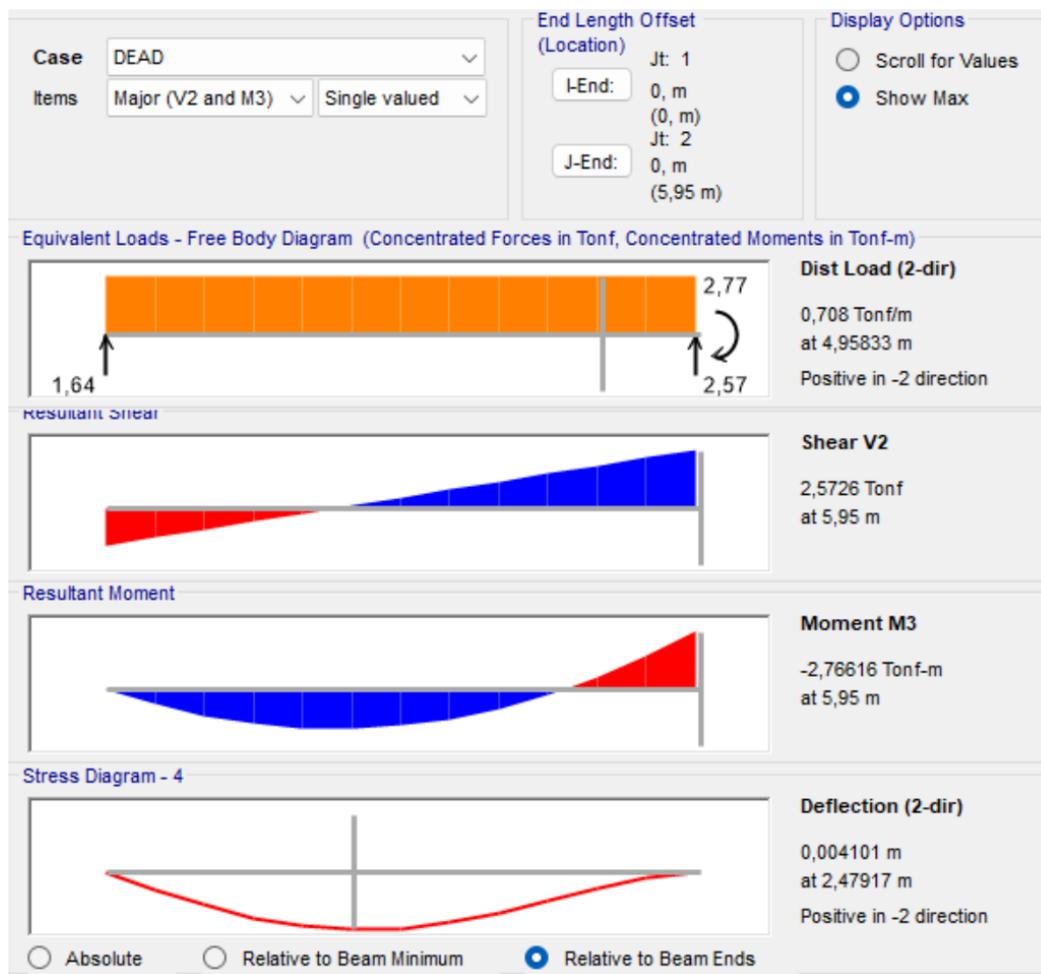
Por lo tanto, se obtiene la Figura 3.12 correspondiente al gráfico de momentos negativos y positivos que proporciona esta herramienta es:

Figura 3.12 Momentos positivos y negativos a lo largo de la viga modelada – Cargas muertas.



De igual manera, el software detalla de manera más precisas dichos valores, como se presenta en la Figura 3.13.

Figura 3.13 Valores de momentos más detallados



Nota. Esta ventana obtenida del programa SAP2000 detalla con precisión los diagramas de fuerzas cortantes, momentos flectores y deflexiones para entender el comportamiento de la viga frente a la aplicación de cargas.

Por lo tanto, mediante la Tabla 3.9 se presentan los momentos máximos negativos por carga muerta no mayorada a lo largo de la viga.

Tabla 3.9 Momento máximo negativo por carga muerta ($Ton \times m$).

Apoyo 1	Apoyo 2	Apoyo 3	Apoyo 4	Apoyo 5
0.00	- 2.77	- 1.41	- 2.91	0.00

Nota. Los datos fueron obtenidos por medio del análisis realizado por el programa de análisis estructural, SAP2000. Las unidades de los valores de la Tabla 3.9 están en $Ton \times m$.

❖ Momento por carga balanceada

Para las cargas y momentos equilibrados, se tiene que considerar el factor de equilibrio que acapara la carga equilibrada y la carga muerta. Además, se considera los momentos por carga muerta resultantes de la Tabla 3.9. A continuación, se detalla el procedimiento:

$$\mathbf{Factor}_e = \frac{W_{bal}}{CM} \quad (3.30)$$

$$Factor_e = \frac{438.75}{675}$$

$$\mathbf{Factor}_e = 0.65$$

Por consiguiente, se aplica el factor con los momentos de carga muerta y se realiza el cálculo en todos los casos con la Ecuación 3.31:

$$\mathbf{M}_{eqX} = -Factor_e * M_X \quad (3.31)$$

En donde:

M_{eqX} = Momento equilibrado para el apoyo X

$Factor_e$ = Factor de equilibrio – 0.65

M_X = Momento de carga muerta del apoyo X

Momento 2:

$$\mathbf{M}_{eq2} = -Factor_e * M_2$$

$$M_{eq2} = -0.65 * (-2.7661)$$

$$\mathbf{M}_{eq2} = 1.7979 \text{ ton} * m$$

Momento 3:

$$\mathbf{M}_{eq3} = -Factor_e * M_3$$

$$M_{eq2} = -0.65 * (-1,4146)$$

$$M_{eq2} = 0.9194 \text{ ton} * m$$

Momento 4:

$$M_{eq4} = -Factor_e * M_4$$

$$M_{eq2} = -0.65 * (-2,9119)$$

$$M_{eq2} = 1.8927 \text{ ton} * m$$

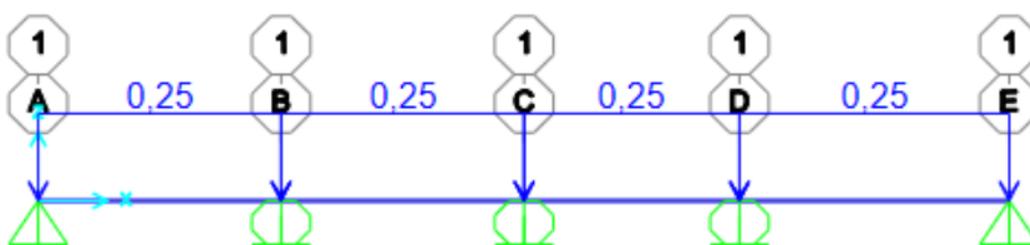
❖ Momento por carga viva

Para este cálculo se utilizarán la misma metodología que se usó para el momento máximo por carga muerta. Al igual que en el procedimiento pasado, las luces serán las mismas. No obstante, la carga viva por metro lineal serán las siguientes:

$$wl = 0.250 * \frac{\text{ton}}{m}$$

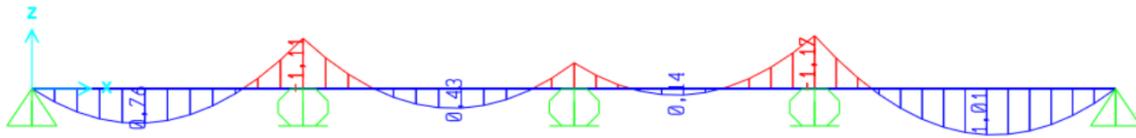
A continuación, en la Figura 3.14 se detalla el gráfico de la viga, con sus apoyos y la respectiva carga viva no mayorada.

Figura 3.14 Modelado de apoyos de la viga con sus respectivas cargas vivas no mayoradas.



Por lo cual, mediante la aplicación de la herramienta SAP2000, se obtiene la Figura 3.15 correspondiente a momentos flectores:

Figura 3.15 Momentos positivos y negativos a lo largo de la viga modelada – Cargas vivas.



Por consiguiente, el software detalla los valores de momentos máximos, que se pueden observar en la Tabla 3.10, realizada en base al diagrama.

Tabla 3.10 Momento máximo negativo por carga viva ($Ton \times m$)

Apoyo 1	Apoyo 2	Apoyo 3	Apoyo 4	Apoyo 5
0	- 1.11	- 0.57	- 1.17	0

Nota. Los datos fueron obtenidos por medio del análisis realizado por el programa de análisis estructural, SAP2000.

3.2.5 Detalle del acero de presfuerzo y refuerzo

3.2.5.1 Fuerza de postensado y el perfil del tendón

➤ Determinar el perfil

Según las normativas estándares, propuestas en Post-Tensioning Manual (2006), se debe tener en consideración las siguientes indicaciones tomando en cuenta la resistencia al fuego de 2 horas:

- El recubrimiento mínimo superior es de 2"
- El recubrimiento mínimo inferior es de 3/4" en el centro de la losa y 1 1/2" en los extremos.

Mediante las indicaciones anteriores se propuso la siguiente distribución para el recubrimiento superior e inferior:

- Recubrimiento superior: 2.25 in = 5.70 cm
- Recubrimiento inferior en el extremo: 1.75 in = 4.50 cm
- Recubrimiento inferior en la losa interior: 1 in = 2.55 cm
- Cabe mencionar que la mitad del espesor de la losa es de 6.5 cm

Por consiguiente, un factor importante para el diseño con respecto a los elementos postensados es la curvatura que toma el tendón, también conocida como flexión. Esto puede verse afectado por cargas muertas como por la longitud de los torones. No obstante, se debe tener en cuenta los valores de flexión debido a que afecta directamente a la fuerza de presfuerzo que se tiene prevista para dichos elementos estructurales. Además, esto influiría en la capacidad de carga que puede soportar la losa. Por lo cual, a continuación, se calculan las deflexiones en los extremos y en los tramos intermedio de la losa:

Flexión en los extremos de la losa:

$$\delta_{ext} = \frac{h}{2} + \frac{(h - rec_{sup})}{2} - rec_{inf} \quad (3.32)$$

$$\delta_{ext} = \frac{13}{2} + \frac{(13 - 5.70)}{2} - 4.50$$

$$\delta_{ext} = 2.40 \text{ cm}$$

Donde:

δ_{ext} = Flexión en el extremo

h = Espesor de la losa

rec_{sup} = Recubrimiento superior

rec_{inf} = Recubrimiento inferior

Flexión en tramos intermedios de la losa:

$$\delta_{int} = h - rec_{sup} - rec_{infint} \quad (3.33)$$

$$\delta_{int} = 13 - 5.70 - 2.55$$

$$\delta_{int} = 4.75 \text{ cm}$$

Donde:

δ_{int} = Flexión en la zona interna

$rec_{inf_{int}}$ = Recubrimiento inferior interno

3.2.5.2 Fuerza del tendón

Como siguiente paso se debe de calcular la fuerza del tendón tanto en los extremos como en las zonas internas de la losa, para aquello se debe de considerar la carga balanceada. Como se mencionó anteriormente, esta equivale al 65% de la carga muerta. A continuación, se detallan los resultados de las fuerzas:

Extremos

$$F_{t-ext} = \frac{W_{bal} * Luz^2}{8 * \delta_{ext}} \quad (3.34)$$

$$F_{t-ext} = \frac{438.75 * 5.94^2}{8 * 0.024}$$

$$F_{t-ext} = 80.63 \frac{ton}{m}$$

$$\frac{F_{t-ext}}{A} = \frac{F_{t-ext}}{h} = \frac{80.63}{0.13} \quad (3.35)$$

$$\frac{F_{t-ext}}{A} = \frac{F_{t-ext}}{h} = 620.23 \frac{ton}{m^2}$$

Interno

$$F_{t-int} = \frac{W_{bal} * Luz^2}{8 * \delta_{int}}$$

$$F_{t-int} = \frac{438.75 * 5.94^2}{8 * 0.0475}$$

$$F_{t-int} = 40.74 \frac{ton}{m}$$

$$\frac{F_{t-int}}{A} = \frac{F_{t-int}}{h} = \frac{40.74}{0.13}$$

$$\frac{F_{t-int}}{A} = \frac{F_{t-int}}{h} = 313.38 \frac{ton}{m^2}$$

3.2.5.3 Combinar momentos y ajustar a la sección crítica

Con el objetivo de hallar el esfuerzo en la parte superior, se realiza la combinación de momentos, considerando las cargas muertas, viva y balanceada. De igual forma, mediante la carga neta se encuentra el valor mínimo de la fuerza cortante neta. A continuación, se utilizó la Ecuación 3.36 para el cálculo del cortante neto mínimo:

$$\mathbf{Min V_{net} = \frac{V_{net} * Luz}{2}} \quad \mathbf{(3.36)}$$

$$Min V_{net} = \frac{486.25 * 5.94}{2}$$

$$\mathbf{Min V_{net} = 1.444 ton}$$

No obstante, para el cálculo del tercio del cortante, se emplea el valor del ancho de la columna. A continuación, se detallan los valores resultantes:

$$\frac{V_c}{3} = V_{net} * \frac{1}{3} * ancho_c \quad \mathbf{(3.37)}$$

$$\frac{V_c}{3} = 1.444 ton * \frac{1}{3} * (0.45 m)$$

$$\frac{V_c}{3} = 0.217 ton * m$$

Donde:

$\frac{V_c}{3}$ = Tercio del cortante neto

V_{net} = Cortante neto

$ancho_c$ = Ancho de la columna

Por consiguiente, se halla el módulo de la sección; con respecto a la Ecuación 3.38:

$$\mathbf{S = \frac{Ancho_L * h^2}{6}} \quad \mathbf{(3.38)}$$

$$S = \frac{(5.94 - 0.45) * (0.13)^2}{6} = 0.015 m^3$$

$$S = \frac{0.015 \text{ m}^3}{5.94 \text{ m}} = 0.003 \frac{\text{m}^3}{\text{m}}$$

Donde:

S = Módulo de la sección

$Ancho_L$ = Ancho libre de la losa

h = Espesor

Por último, se proyecta la Tabla 3.11 que contiene los cálculos respectivos y los valores de los esfuerzos en la parte superior.

Tabla 3.11 *Calculo de esfuerzos en la parte superior de la losa*

Cargas	Magnitudes en kg/m	Momentos ton-m		
		2	3	4
Carga muerta	675	-2.77	-1.42	-2.91
Carga viva	250	-1.11	-0.57	-1.17
Carga balanceada	438.75	1.79	0.92	1.89
Carga neta	-486.25	-2.08	-1.06	-2.18
Min Vnet		1.44		1.44
Vc/3 (ton-m)		0.22		0.22
Momento en la cara (ton-m)		-1.86		-1.97
M/S (ton/m ²)		-120.21		-127.27
P/A (ton/m ²)		313.38		313.38
Esfuerzo en la parte superior (ton/m²)		193.17		186.10

El esfuerzo de tracción neto máximo es de $193.17 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$. Adicionalmente, se tiene previsto que la resistencia del hormigón que tendrá el elemento postensado será de $350 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ o 5000 psi. Por consiguiente, se calcula la resistencia a la compresión del hormigón, mediante la Ecuación 3.39:

$$4.27 \sqrt{f'_c} \quad 4.27 \sqrt{f'_c} \quad (3.39)$$

$$4.27 \sqrt{5000 \text{ psi}}$$

$$211.82 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Por lo que dicho valor de resistencia es superior al esfuerzo máximo de tracción, se procede a considerar las siguientes fuerzas de pretensado:

Extremos

$$F_{ext} = 80.63 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

Interno

$$F_{int} = 40.74 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

3.2.5.4 Momento de diseño

Momentos secundarios

En primer lugar, es fundamental conocer que el momento debido a la carga balanceada, será la sumatoria tanto del momento primario como el secundario. Por ende, el momento secundario, el cual es debido a la restricción del momento en los soportes; corresponde a la diferencia entre el momento por carga balanceada y el momento primario (F_e). No obstante, el momento primario es el producido por la fuerza de postensado multiplicado por la excentricidad. A continuación, se detallan los cálculos para el momento primario en extremos y en la zona interna de la losa:

Excentricidad

Se considera la mitad del espesor, el recubrimiento inferior en la losa interior y la deflexión en la zona interior; y se lo reemplaza en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \delta_{int} + rec_{inf_{int}} - \frac{h}{2} \quad (3.40)$$

$$\varepsilon = 4.75 + 2.55 - \frac{13}{2}$$

$$\varepsilon = 0.8 \text{ cm} = 0.008 \text{ m}$$

Momento primario en el extremo

$$F e_{ext} = F_{ext} * \varepsilon \quad (3.41)$$

$$F e_{ext} = 80.629 \frac{ton}{m} * 0.008 m$$

$$F e_{ext} = 0.645 ton$$

Momento primario en la zona interna

$$F e_{int} = F_{int} * \varepsilon \quad (3.42)$$

$$F e_{int} = 40.739 \frac{ton}{m} * 0.008 m$$

$$F e_{int} = 0.326 ton$$

Como último paso antes del cálculo del momento secundario, se tiene que realizar la debida corrección para el momento de carga equilibrada en la cara del apoyo. Por lo cual, se deberá tener en cuenta tanto el valor de un tercio del cortante como la carga equilibrada. A continuación, se muestra la formula pertinente:

$$\frac{V_c}{3} c = \frac{1}{3} * \frac{Luz}{2} * ancho_c * W_{bal} \quad (3.43)$$

$$\frac{V_c}{3} c = \frac{1}{3} * \frac{5.94m}{2} * 0.45 m * 438.75$$

$$\frac{V_c}{3} c = 0.195 ton * m$$

Por lo tanto, en la Tabla 3.12 se proyectan los momentos secundarios:

Tabla 3.12 Momentos de equilibrio secundario en los apoyos.

Soporte	2	3	4
Momento de equilibrio en los apoyos (ton * m)	1.79	0.92	1.89
Vc_3 (ton * m)	-0.19	-0.19	-0.19
Momento equilibrado (ton * m)	1.60	0.72	1.69
Fe (ton * m)	-0.65		
Fe (ton * m)		-0.33	-0.33
M2 (ton * m)	0.96	0.39	1.37

Para calcular el momento de diseño, en primer lugar, se deberá de tener los valores de momento máximo negativos, los cuales fueron obtenidos mediante el software de SAP2000; tanto para la carga viva, muerta y momento secundario. Adicionalmente, mediante la misma herramienta se obtendrán los valores de los momentos máximos positivos, los cuales se detallan en la Tabla 3.13.

Por consiguiente, se realizan los cálculos respectivos para el momento de diseño, proyectados en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13 Momentos de diseño proyectados.

	<i>Viga intermedia 1</i>	<i>2</i>	<i>Viga intermedia 2</i>	<i>3</i>	<i>Viga intermedia 3</i>	<i>4</i>
1.2D (ton * m)	2.27	-3.32	1.28	-1.69	0.42	-3.49
1.6L (ton * m)	1.21	-1.77	0.69	-0.91	0.22	-1.86
1M2 (ton * m)	0.48	0.96	0.68	0.39	0.89	1.37
M (ton * m)	3.97	-4.13	2.65	-2.21	1.53	-3.99
V (ton)	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
VC/3 (ton * m)		0.61		0.61		0.61
VC/6 (ton * m)	0.30		0.30		0.30	
M_{dis} (ton * m)	4.27	-3.52	2.95	-1.59	1.83	-3.38

3.2.5.5 Verificación de la capacidad de flexión

Determinación de la fuerza máxima del tendón

Para determinar el esfuerzo último del tendón, se debe de tomar en cuenta el esfuerzo efectivo por efecto de las pérdidas, y la resistencia a la compresión del concreto. Para aquello es imprescindible tener en consideración los datos del torón y su esfuerzo máximo de tracción. A continuación, mediante las tablas obtenidas por la normativa ACI-318 se obtienen la información necesaria, la cual es resumida en la Tabla 3.14:

Tabla 3.14 Propiedades de algunos cables de presfuerzo.

Material	Grado	Diámetro (in)	Resistencia a la tracción, f_{pu} (ksi)	Esfuerzo de fluencia, f_{py} (kg/cm ²)
Cables	250 ksi	De 1/4 a 0.6	250	85% de f_{pu}
	270 ksi	De 3/8 a 0.6	270	90% de f_{pu} , para cables de baja relajación

En lo que respecta al material, la presencia de barras. Sin embargo, para el diseño de este edificio se tomó en consideración el postensado de cables junto con los ductos. Por otro lado, se utilizarán torones con una resistencia de 270 ksi (1860 MPa), y un diámetro de 0.5 in.

Adicionalmente, el esfuerzo de fluencia estará determinada por cables de baja relajación. A continuación, mediante la normativa ACI-318, se obtiene la Tabla 3.15 que describe el esfuerzo máximo de tracción:

Tabla 3.15 Esfuerzos máximos de tracción clasificado por etapas y ubicación.

Etapas	Ubicación	Esfuerzo máximo a tracción	
Durante el tensionamiento	En el extremo del gato	Menor de:	$0.94 * f_{py}$
			$0.8 * f_{pu}$
			Máxima fuerza en el gato recomendando
Inmediatamente después de transferencia	En los anclajes y conectores de postensado	$0.7 * f_{pu}$	

Nota. La información mostrada en la tabla fue adquirida del código norteamericano ACI-318.

Por lo cual, al someter los tendones a tensión, se deberá considerar el grado escogido que es de 270 ksi y el esfuerzo máximo en los anclajes para seleccionar la fórmula más conveniente, como se muestra a continuación:

$$\sigma_{max} = 0.7 * f_{pu} \quad (3.44)$$

$$\sigma_{max} = 0.7 * 1860 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = 1302 \text{ MPa}$$

Además, antes de realizar el cálculo del esfuerzo de tracción se tienen que considerar las distintas pérdidas que ocurren en el postensado, como es el caso de las pérdidas por fricción que ocurre cuando el tendón tiene rozamiento con el ducto, el acortamiento elástico del concreto, la relajación del acero, el retroceso de los anclajes, entre otros. Por aquello, mediante normativa se rige que las pérdidas para elementos pretensados y postensados es de aproximadamente del 15% al 20% de la resistencia inicial. Por lo tanto, para este caso se va a considerar un 17% de pérdidas, por lo que se tendría el siguiente valor de esfuerzo efectivo por efecto de las pérdidas de presfuerzo:

$$f_{se} = \sigma_{max} - (0.17 * \sigma_{max}) \quad (3.45)$$

$$f_{se} = 1302 \text{ MPa} - (0.17 * 1302 \text{ MPa})$$

$$f_{se} = 1080.66 \text{ MPa}$$

A continuación, se muestran las propiedades de los tendones en la Tabla 3.16 con una resistencia de tracción de 270 ksi, la cual fue seleccionada anteriormente:

Tabla 3.16 Propiedades de los tendones resistencia de tracción 270 ksi.

Diámetro nominal		Área nominal del torón	Carga mínima para una elongación del 1%
<i>in</i>	<i>mm</i>	<i>mm²</i>	<i>KN</i>
Grado 270			
0.38	9.53	54.84	87
0.44	11.11	74.19	117.2
0.50	12.70	98.71	156.1
0.60	15.24	140.00	221.5

Como se mencionó al principio para el diseño del edificio se escogió un tendón de ½ in, lo que equivale a 12.7 mm. Adicionalmente, su área nominal es de 98.71 *mm²*. Por lo tanto, la fuerza efectiva del tendón después de considerar las pérdidas de presfuerzo, con respecto a la siguiente ecuación es:

$$F_{e_t} = f_{se} * A \quad (3.46)$$

$$F_{e_t} = 1080.66 \text{ MPa} * 98.71 \text{ mm}^2$$

$$F_{e_t} = 106.67 \text{ kN}$$

Donde:

F_{e_t} = Fuerza efectiva del torón

f_{se} = Esfuerzo efectivo considerando las pérdidas

A = Área nominal de un torón de 0.5 in

Dicha fuerza efectiva corresponde a cada hebra con un diámetro de 0.5 in.

Cuantía de refuerzo

Con la finalidad de obtener la relación del refuerzo de presfuerzo, se deberá considerar la relación entre la fuerza efectiva del torón y las fuerzas de pretensado en el tramo externo e interno:

Extremos

$$F_{ext} = 80.629 \text{ tonef}$$

Interno

$$F_{int} = 40.739 \text{ tonef}$$

Además, se obtendrá el ancho efectivo de la losa, considerando el recubrimiento inferior y superior. Del mismo modo, hallar el promedio de ambos datos, como se muestra a continuación:

$$d = \frac{8.5\text{cm} + 7.3\text{cm}}{2}$$

$$d = 7.9 \text{ cm} = 0.079 \text{ m}$$

Por consiguiente, mediante la siguiente ecuación se obtiene la relación de presfuerzo en el extremo:

$$\rho_e = \frac{\frac{F_{ext}}{F_{e,t}} * A}{Ancho_L * d} \quad (3.47)$$

$$\rho_e = \frac{\frac{80.629 \text{ tonef}}{106.67 \text{ kN}} * 98.71 \text{ mm}^2}{5.49 \text{ m} * 0.079 \text{ m}}$$

$$\rho_e = 0.001687$$

A continuación, se calcula el esfuerzo último del tendón en el extremo mediante la siguiente ecuación:

$$f_{ps} = f_{se} + 70 \text{ MPa} + \frac{f'_c}{300 * \rho_e} \quad (3.48)$$

$$f_{ps} = 1080.66 \text{ MPa} + 70 \text{ MPa} + \frac{35 \text{ MPa}}{300 * 0.001687}$$

$$f_{ps} = 1218.48 \text{ MPa}$$

Donde:

f_{se} = Esfuerzo efectivo del torón

ρ_e = Relación de presfuerzo en el extremo

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días.

f_{ps} = Esfuerzo último del tendón

Sin embargo, para la losa interior, el cálculo de la cuantía se verá modificado por la fuerza de pretensado. Tal como se encuentra a continuación:

$$\rho_i = \frac{\frac{F_{int}}{F_{e,t}} * A}{Ancho_L * d} \quad (3.49)$$

$$\rho_i = \frac{\frac{40.739 \text{ tonef}}{106.67 \text{ kN}} * 98.71 \text{ mm}^2}{5.49 \text{ m} * 0.079 \text{ m}}$$

$$\rho_i = 0.0008524$$

Por lo tanto, el esfuerzo último del tendón en la losa interior calculado con la Ecuación 3.48 será:

$$f_{ps} = f_{se} + 70 \text{ MPa} + \frac{f'_c}{300 * \rho_i}$$

$$f_{ps} = 1080.66 \text{ MPa} + 70 \text{ MPa} + \frac{35 \text{ MPa}}{300 * 0.0008524}$$

$$f_{ps} = 1284.88 \text{ MPa}$$

Por último, se halla la fuerza del tendón aplicando la siguiente Ecuación 3.50 que inmiscuye el esfuerzo último, el esfuerzo efectivo y la fuerza de pretensado:

$$F_{pse} = \frac{f_{ps}}{f_{se}} * F_{ext/int} \quad (3.50)$$

En donde:

F_{pse} = Fuerza del tendón

f_{ps} = Esfuerzo último del torón

f_{se} = Esfuerzo efectivo del torón

$F_{ext/int}$ = Fuerza de pretensado en el extremo o interno

Fuerza del tendón en el extremo

$$F_{pse} = \frac{f_{ps}}{f_{se}} * F_{ext}$$

$$F_{pse} = \frac{1218.48 \text{ MPa}}{1080.66 \text{ MPa}} * 80.629 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$F_{pse} = 90.91 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

Fuerza del tendón interno

$$F_{pse} = \frac{f_{ps}}{f_{se}} * F_{int}$$

$$F_{pse} = \frac{1284.88 \text{ MPa}}{1080.66 \text{ MPa}} * 40.739 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$F_{pse} = 48.44 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

3.2.5.6 Espaciamiento entre torones principales

Mediante una ponencia sobre losas postensadas dirigida por Gómez (2021), se conoció el espaciamiento máximo que puede existir entre los tendones principales. Mediante disposición de normativa ACI 318, dispone las siguientes premisas con respecto al sistema aplicado:

- Para tendones no adheridos, el espaciamiento mínimo no debería de exceder seis (6) veces el espesor de la losa.
- Para tendones adheridos, el espaciamiento mínimo no debería de exceder ocho (8) veces el espesor de la losa.

Por lo tanto, debido a que en este proyecto se utilizarán tendones no adheridos el espaciamiento requerido será de:

$$\mathbf{Espaciamiento = 6 * h} \qquad \mathbf{(3.51)}$$

$$Espaciamiento = 6 * 13 \text{ cm}$$

$$\mathbf{Espaciamiento = 78 \text{ cm}}$$

Por lo cual, para conveniencia del ejercicio, se tendrá una separación entre tendones de 75 cm.

3.2.5.7 Refuerzo de torones por temperatura

El refuerzo por temperatura se lo realiza mediante un tendón con una resistencia de 270 ksi y un diámetro de ½ in. En la disposición emitida por el libro de “Post-Tensioning Manual 6th Ed.” se dispone a colocar el acero de refuerzo por temperatura a una distancia de 1/3 de la luz en cada extremo. Por lo cual, se colocarán 2 torones por cada luz de la losa, estos irán de forma transversal a los tendones principales.

Sin embargo, según la ACI 318-19, la separación de los tendones por temperatura no debe ser mayor a 1.4 metros. Mediante la premisa anterior, y debido a que la distancia supera a lo estipulado por la normativa, se colocará acero de refuerzo corrugado, como se detalla a continuación:

- Se colocarán varillas de 8 mm paralelo a los tendones por temperatura. Estos elementos se añadirán a lo largo de la losa y tendrán una separación de 45 cm.

3.2.5.8 Capacidad de diseño

Exterior del vano medio

Para calcular la capacidad en la sección exterior del vano medio, en primera instancia se debe de considerar el área de acero, la cual se la obtiene con la cuantía máxima calculada, el espesor de la losa y asumiendo un ancho de un metro.

$$A_s = \rho_e * Ancho * h \quad (3.52)$$

$$A_s = 0.001687 * 1 \text{ m} * 0.13 \text{ m}$$

$$A_s = 2.193 \text{ cm}^2$$

Mediante el área del refuerzo requerido, se calculará la cantidad de acero de refuerzo el cual se lo colocará en la dirección de la losa. Para este refuerzo se utilizarán varillas con un diámetro de 12 mm y un área de 1.13 cm^2 .

Por lo cual, considerando un espaciado de 50 cm entre barras, se tiene el número de barras por metro.

$$N. \text{ barras en 1 metro: } \frac{1 \text{ m}}{0.5 \text{ m}} = 2 \text{ barras por metro}$$

$$A_{s,proporcionado} = 1.13 \text{ cm}^2 * 2$$

$$A_{s,proporcionado} = 2.26 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, debido a que el acero proporcionado es superior al acero requerido, se colocará 1 varillas de 12 mm cada 50 cm.

Fuerza proporcionada por el acero de refuerzo:

Para la obtención de la fuerza del acero que se utilizará, se debe de considerar el área por metro y su punto de fluencia como se detalla a continuación:

$$A_{s,proporcionado} * f_y = 2.26 \text{ cm}^2 * 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (3.53)$$

$$A_{s,proporcionado} * f_y = 9.49 \text{ ton}$$

Por lo tanto, la fuerza total última que combina la fuerza de pretensado en el vano extremo y la fuerza del acero de refuerzo es:

$$T_u = 90.91 \text{ ton} + 9.49 \text{ ton}$$

$$T_u = 100.4 \text{ ton}$$

Profundidad del bloque de compresión:

$$a = \frac{T_u}{0.85 * f'_c * b} \quad (3.54)$$

$$a = \frac{100400 \text{ kg}}{0.85 * 350 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 100 \text{ cm}}$$

$$a = 3.37 \text{ cm}$$

Donde:

T_u = Fuerza total última

f'_c = Resistencia del concreto a la compresión

b = Ancho de la viga

Momento último

$$M_u = \phi * T_u * \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.55)$$

$$M_u = 0.9 * 100.4 \text{ ton} * \left(8.5 \text{ cm} - \frac{3.37 \text{ cm}}{2} \right)$$

$$M_u = 6.16 \text{ ton} * m$$

Por lo tanto, el momento último de $6.16 \text{ ton} * m$ es mayor que el momento requerido en el extremo con un valor de $4.27 \text{ ton} * m$. El diseño del acero en el extremo queda aprobado.

Primer apoyo interior

Para este tramo, al igual que en el extremo de la losa, considera la misma área de refuerzo. Por lo que se utilizan varillas con un diámetro de 12 mm y un área de 1.13 cm^2 , y están separadas cada 50 cm. Además, el área de acero proporcionado y la fuerza del acero son las siguientes:

$$A_{s,proporcionado} = 1.13 \text{ cm}^2 * 2 = 2.26 \text{ cm}^2$$

$$T_u = 90.91 \text{ ton} + 9.49 \text{ ton}$$

$$T_u = 100.4 \text{ ton}$$

Profundidad del bloque de compresión:

$$a = \frac{T_u}{0.85 * f'_c * b}$$

$$a = \frac{100400 \text{ kg}}{0.85 * 350 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 100 \text{ cm}}$$

$$a = 3.37 \text{ cm}$$

Momento último

$$M_u = \phi * T_u * \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_u = 0.9 * 100.4 \text{ ton} * \left(7.3 \text{ cm} - \frac{3.37 \text{ cm}}{2} \right)$$

$$M_u = 5.07 \text{ ton} * m$$

Por lo tanto, el momento último de $5.07 \text{ ton} * m$ es mayor que el momento requerido en el primer apoyo interior con un valor de $3.52 \text{ ton} * m$. El diseño del acero en el primer apoyo interior queda aprobado.

Vano interior

Para este tramo, al igual que en el extremo de la losa tanto en el apoyo como en la mitad, se va a considerar la misma área de refuerzo. Por lo que se utilizan varillas con un diámetro de 12 mm y un área de 1.13 cm^2 , y están separadas cada 50 cm. Además, el área de acero proporcionado y la fuerza del acero son las siguientes:

Fuerza proporcionada por el acero de refuerzo:

Para la obtención de la fuerza del acero que se utilizará, se debe de considerar el área por metro y su punto de fluencia como se detalla a continuación:

$$A_{s,proporcionado} * f_y = 2.26 \text{ cm}^2 * 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (3.56)$$

$$A_{s,proporcionado} * f_y = 9.49 \text{ ton}$$

Por lo tanto, la fuerza total última que combina la fuerza de pretensado en el vano interior y la fuerza del acero de refuerzo es:

$$T_u = 48.44 \text{ ton} + 9.49 \text{ ton}$$

$$T_u = 57.93 \text{ ton}$$

Profundidad del bloque de compresión:

$$a = \frac{T_u}{0.85 * f'_c * b}$$

Donde:

T_u = Fuerza total última

f'_c = Resistencia del concreto a la compresión

b = Ancho de la viga

$$a = \frac{57930 \text{ kg}}{0.85 * 350 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 100 \text{ cm}}$$

$$a = 1.95 \text{ cm}$$

Momento último

$$M_u = \phi * T_u * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_u = 0.9 * 57.93 \text{ ton} * \left(10.45 \text{ cm} - \frac{1.95 \text{ cm}}{2}\right)$$

$$M_u = 4.94 \text{ ton} * m$$

Por lo tanto, el momento último de $4.94 \text{ ton} * m$ es mayor que el momento requerido en el vano intermedio interior con un valor de $2.95 \text{ ton} * m$. El diseño del acero en la mitad del vano interior queda aprobado.

Apoyo del vano interior

Para este tramo, al igual que en el extremo de la losa, considera la misma área de refuerzo. Por lo que se utilizan varillas con un diámetro de 12 mm y un área de 1.13 cm^2 , y están separadas cada 50 cm. Además, el área de acero proporcionado y la fuerza del acero son las siguientes:

$$A_{s,proporcionado} = 1.13 \text{ cm}^2 * 2 = 2.26 \text{ cm}^2$$

$$T_u = 48.44 \text{ ton} + 9.49 \text{ ton}$$

$$T_u = 57.93 \text{ ton}$$

Profundidad del bloque de compresión:

$$a = \frac{T_u}{0.85 * f'_c * b}$$

$$a = \frac{57930 \text{ kg}}{0.85 * 350 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 100 \text{ cm}}$$

$$a = 1.95 \text{ cm}$$

Momento último

$$M_u = \phi * T_u * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_u = 0.9 * 57.93 \text{ ton} * \left(7.3 \text{ cm} - \frac{1.95 \text{ cm}}{2}\right)$$

$$M_u = 3.29 \text{ ton} * m$$

Por lo tanto, el momento último de 3.29 ton * m es mayor que el momento requerido en el apoyo del vano interior con un valor de 1.59 ton * m. El diseño del acero en el primer apoyo interior queda aprobado.

3.2.5.9 Capacidad de carga límite del tramo interior

Por último, para comprobar que los momentos soportados por la estructura en el vano interior es suficiente para soportar los momentos requeridos, se verifica que se cumplan los requisitos de capacidad dispuestos por la ACI-318. Por lo tanto, se calcula el momento por capacidad máxima de una estructura, con la finalidad de soportar cargas sin experimentar colapsos. Por lo cual, se utilizará la luz promedio de la losa y la carga total mayorada, como se muestra a continuación:

$$M_{req} = CTf * \left(\frac{(Luz - ancho_c)^2}{8}\right) \quad (3.57)$$

$$M_{req} = 1210 \frac{kg}{m} * \left(\frac{(5.94 \text{ m} - 0.45 \text{ m})^2}{8}\right)$$

$$M_{req} = 4.56 \text{ ton} * m$$

Donde:

M_{req} = Momento requerido

CTf = Carga total mayorada

$ancho_c$ = Ancho de columna

Por otro lado, el momento proporcionado por la estructura en el interior del vano es:

$$M_{prop} = 3.29 \text{ ton} * m + 4.94 \text{ ton} * m$$

$$M_{prop} = 8.23 \text{ ton} * m$$

Por lo tanto, debido a que $M_{prop} > M_{req}$, se verifica los momentos en el vano interior. No obstante, mediante dicha comprobación se admite que no existe necesidad de que los momentos sean redistribuidos.

3.2.5.10 Capacidad por corte

Se comprueba la resistencia al corte en la zona más desfavorable, y cerca de los extremos. Debido a que en esos lugares se efectúan las fisuras por cortante. Dicho aquello se verifica mediante la ecuación obtenida por la ACI:

$$V_{req} = CTf * \left(\frac{Luz - ancho_c}{2} \right) + \frac{M_{u-ext}}{Luz} \quad (3.58)$$

$$V_{req} = 1210 \frac{kg}{m} * \left(\frac{5.94 \text{ m} - 0.45 \text{ m}}{2} \right) + \frac{3.966 \text{ ton} * m}{5.94 \text{ m}}$$

$$V_{req} = 3.99 \text{ ton}$$

Donde:

V_{req} = Cortante requerido

CTf = Carga total mayorada

$ancho_c$ = Ancho de columna

M_{u-ext} = Momento ultimo en el extremo de la losa

Mientras que el cortante proporcionado por armado estructural es de:

$$\phi V_{prop} = 0.75 * 2 * \sqrt{f'_c} * b * d \quad (3.59)$$

$$\phi V_{prop} = 0.75 * 0.17 * \sqrt{35 \text{ MPa}} * 100 \text{ cm} * 8.5 \text{ cm}$$

$$\phi V_{prop} = 6.56 \text{ ton}$$

Por lo tanto, debido a que $\phi V_{prop} > V_{req}$; se comprueba que la estructura tiene la capacidad de soportar los esfuerzos cortantes. Por ende, no existe el riesgo de que exista la presencia de grietas o fallas. Adicionalmente, un beneficio que se atribuye al sistema de postensado en comparación con las losas convencionales es su resistencia a la presencia de fallas por cortante.

3.2.5.11 Deflexión permisible

Por último, es indispensable realizar la comprobación de los límites de deflexión. Para aquello es importante conocer las disposiciones específicas dadas en la normativa ACI 318. En primer lugar, se procederá a calcular la deflexión inmediata bajo las cargas de servicio. Por lo cual es importante conocer las cargas uniformes que actúan sobre la losa, el módulo de elasticidad del concreto y el momento de inercia.

Módulo de elasticidad del concreto

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (3.60)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{35 \text{ MPa}}$$

$$E_c = 27824 \text{ MPa}$$

Momento de inercia de la sección de la losa

$$I_g = \frac{b * h^3}{12} \quad (3.61)$$

$$I_g = \frac{1 \text{ m} * (0.13 \text{ m})^3}{12}$$

$$I_g = 0.0001831 \text{ m}^4$$

Deflexión inmediata

$$\Delta_i = \frac{5 * CT * Luz^4}{384 * E_c * I} \quad (3.62)$$

$$\Delta_i = \frac{5 * \left(925 \frac{kg}{m} * 9.81 \frac{m}{s} \right) * (5.94 m)^4}{384 * 27824 MPa * 0.0001831 m^4}$$

$$\Delta_i = 2.89 mm$$

Limite permisible de deflexión

$$\Delta_i \leq \frac{Luz}{360} \quad (3.63)$$

$$\Delta_i \leq \frac{5.94 m}{360}$$

$$2.89 mm \leq 16.5 mm$$

Por lo tanto, mediante el análisis de deflexiones, se corroboró que las deflexiones que tendrá la losa se encuentran dentro de los límites permisibles. Por lo cual, se aprueba el diseño.

3.3 Especificaciones técnicas

Más adelante en el capítulo 5, se detallarán los metros cuadrados, cúbicos o lineales calculados y los precios unitarios de cada rubro que se detallará a continuación. Cabe recalcar que la información detallada para las especificaciones técnicas fue adquirida del estudio de consultoría para la actualización de diseño de puente vehicular la marquesa (Olmedo, 2022), el cual fue obtenido de la plataforma SERCOP.

Código: 1.01

Rubro: Replanteo y nivelación de la estructura

Unidad: m2

- **Descripción**

Este trabajo consistirá en el replanteo y nivelación de acorde al estudio topográfico correspondiente. Se lo realiza para colocar los respectivos puntos de referencia, con la finalidad de definir las cotas de implantación y material de mejoramiento.

- **Materiales**

Con el objetivo de marcar los puntos referenciales medidos con la estación total se utilizarán estacas de madera. Así mismo, para fijar las cotas a nivel longitudinal se trazarán cuerdas delgadas. Además, para verificar que tenga una correcta verticalidad se emplearán plomadas. Como material de medición manual para distancias cortas se utilizarán cintas métricas; este instrumento ayudará a realizar mediciones rápidas.

No obstante, se requieren de equipos de seguridad para los trabajadores que realicen la acción, con la finalidad de evitar accidentes laborales. Dentro de estos equipos se encuentra: chalecos reflectantes, cascos y calzado con punta de acero.

- **Equipo mínimo**

Para realizar un adecuado replanteo se tendrá que utilizar equipos de medición de alta precisión. Por lo cual, se requiere de la implementación de una estación total, con la finalidad de agilizar el proceso de medición de ángulos y distancias, los cuales tendrán alta precisión. Adicionalmente, como complemento se utilizará bastones reflectantes para fijar el punto donde se medirá. Además, mediante la utilización de un GPS se detallarán específicamente los puntos georreferenciales importantes.

- **Personal**

Para realizar este trabajo es necesario de la presencia de un topógrafo, para el manejo correcto de la estación total y que no existan errores en las distancias del replanteo y la nivelación; además la intervención de un asistente de topografía o cadenero. Por otra parte, se deberá de contar con la presencia de un ayudante de campo, el cual coloque las estacas y marque las diferentes cotas y distancias otorgados por el ingeniero civil. Por último, es pertinente que este un dibujante técnico para plasmar, preparar y actualizar los planos basados en los cálculos y datos obtenidos.

- **Procedimiento de trabajo**

Mediante los equipos mencionados y personas con experiencia, se tendrá que realizar la medición de los puntos referenciales más importantes. Además, dichas cotas deben de tener una alta precisión y exactitud. Adicionalmente, mediante las estacas se colocarán los datos de pendiente, cotas, nivel, y demás información referente al proyecto. Así mismo, el fiscalizador es encargado de verificar que los puntos marcados estén correctos y por consiguiente realizar las debidas correcciones.

Por otra parte, el contratista es el responsable se llevar un control de las acciones pertinentes referente al replanteo. Por lo cual, es el encargado de cuidar la posición exacta de los hitos marcados. De igual forma, controlar que todos los puntos referenciales sean los correctos de acuerdo con el plano estructural.

- **Medición y forma de pago**

Con respecto a la medición, se la realizará en m² referente al área total establecida en los planos y que abarque toda la colocación de los hitos. Sin embargo, el área externa que el contratista utilice para facilitar el trabajo no será considerada.

Con respecto a la forma de pago, se lo hará de acorde a lo estipulado en el presupuesto. Para este apartado se considerará la terminación del replanteo, lo cual abarca los hitos de mejoramiento, cimentación; así como las respectivas pendientes.

Código: 1.02

Rubro: Excavación y relleno

Unidad: m3

- **Descripción**

Este trabajo consistirá en la excavación adecuada con respecto al tipo de terreno y sus condiciones. Por lo cual, es importante conocer mediante los planos la altura que tendrá la cimentación. Además, debido al estudio de suelo y los resultados pertinentes, se realizará excavaciones para el mejoramiento del terreno.

Además, cabe resaltar que la excavación estará guiada por el contratista, el cual se orienta en la debidas alturas, pendientes y cotas señaladas en el replanteo. No obstante, el material que se obtiene debido a la excavación se lo puede utilizar para el terraplén. Sin embargo, si el contratista y fiscalizador disponen que dicho material no es adecuado para el terraplén debido a sus características, será desechado en otro lugar. Además, esta acción no contará dentro del rubro para la forma de pago.

Por otra parte, el relleno para la cimentación será el solicitado por el contratista con las especificaciones necesarias. De aquello dependerá el tipo de material con la debida resistencia que se coloque tanto para el mejoramiento en caso de existir como en la cimentación. Además, cabe mencionar que el terreno deberá tener su correcta compactación caso contrario existirán fallas en el suelo y no se tendrá la resistencia requerida.

- **Equipo mínimo**

Se utilizará equipo caminero, el cual servirá para facilitar las acciones de excavación y relleno. Por lo cual, se tendrá que considerar una excavadora y volqueta para la excavación, el transporte del material de mejoramiento y el retiro del material vegetal. Adicionalmente, para el relleno, se hará uso de una motoniveladora para que el terreno quede en la cota con respecto al replanteo. Por consiguiente, se utilizará un tanquero para hidratar el terreno y un rodillo para la labora de compactación.

- **Mano de obra**

En primer lugar, para este trabajo es necesario que los operadores del equipo caminero mencionado tengan experiencia al momento de realizar los diferentes trabajos, con la finalidad de agilizar y reducir el tiempo en obra. Además, es imprescindible tener la presencia de un topógrafo, el cual tendrá que comprobar que se cumplan con los niveles exactos colocados en el replanteo. Esto con referencia al mejoramiento y cimentación de la edificación.

- **Procedimiento de trabajo**

Luego de realizar el respectivo estudio de suelo, y definir el tipo de suelo existente y por consiguiente concretar el nivel de mejoramiento y los niveles para la cimentación, se realizó la delimitación correspondiente mediante el replanteo. Sin embargo, antes de realizar cualquier maniobra en el terreno se debe hacer la limpieza respectiva de la vegetación. Adicionalmente, el contratista tiene el deber de notificarle al fiscalizador antes de comenzar con la excavación.

Después de tener los hitos del replanteo, se comienza con la excavación con respecto al nivel colocado en los planos estructurales de cimentación. Dicho material será desechado o utilizado como terraplén de acuerdo con lo planificado por el contratista y el fiscalizador, además tiene gran incidencia las características de dicho suelo. Por consiguiente, las volquetas son las encargadas de transportar el material de relleno, el cual por preferencia será tendido por una motoniveladora.

Como consecuencia se procede a hidratar el terreno y recurrir a la debida compactación del terreno. Para aquello se tiene que compactar por sección, considerando una altura mínima de relleno, con la finalidad de que todo el terreno se encuentra bien compactado y no existan vacíos.

Adicionalmente, el contratista es el encargado de planificar la logística y coordinación de la empresa privada o pública para la obtención y transporte del material de relleno. Del mismo modo, debe de gestionar el lugar especifica donde va a desalojar el suelo con características deficiente. Cabe mencionar, que el contratista debe precautelar estas acciones para que no existan inconvenientes ni lugares perjudicados por el desalojo del material.

Por último, luego de completar los trabajos de excavación y relleno, el contratista le debe de informar al fiscalizador para que constate que los niveles sean los adecuados. No obstante, en caso de que el fiscalizador no verifique estos trabajos, el contratista no podrá proseguir con la construcción de la cimentación. Se tiene que constatar que el terreno tenga los niveles y las pendientes adecuadas, además que se encuentre bien compactado.

- **Medición y forma de pago**

Referente a la medición, tanto para la excavación y relleno se considerará el volumen el cual está en m³. Estos trabajos se realizan con respecto a los planos otorgados después de un estudio de suelo. El contratista es el encargado de encaminar al equipo caminero para la labor.

Con respecto a la forma de pago, las cantidades establecidas y los rubros se encuentran detallados en el presupuesto. Adicionalmente, dentro de este apartado se encuentra explicito la totalidad de excavación y relleno a realizar, dependiendo los estudios previos y lo propuesto por el ingeniero.

Código: 3.03

Rubro: Hormigón losa maciza $h=13\text{ cm}$ $f'_c = 350\text{ kg/cm}^2$

Unidad: m3

- **Descripción**

Este trabajo consiste en la puesta en obra del hormigón con respecto a los diferentes sistemas estructurales, también se considera el terminado y curado del mismo. Además, este elemento se encuentra compuesto por cemento, agregados finos, agregados gruesos, agua y aditivo en caso de ser necesario. No obstante, el contratista debe tener en cuenta la dosificación necesaria para que el hormigón tenga la resistencia de 350 kg/cm^2 . Adicionalmente, dentro de los planos se encuentra detallado el tipo de hormigón que se utilizará para cada elemento estructural. Adicionalmente, el fiscalizador tiene que corroborar la consistencia del hormigón, mediante ensayo de compresión y cono de Abrams; los cuales darán las pautas correspondientes para que el contratista prosiga con la obra.

- **Materiales**

La calidad de los materiales por utilizar tiene que ser comprobado por el fiscalizador. Además, se debe tener en consideración la dosificación correcta, para este proyecto con el objetivo de alcanzar la resistencia correspondiente, se utilizará 1 porción de cemento, 2 partes de agregado fino y 3 partes de agregado grueso, adicionalmente 0.5 partes de agua. Sin embargo, se deben de hacer los ensayos mencionados para la verificación.

Cabe mencionar que después de los 28 días, el hormigón de alcanzar su resistencia máxima a la compresión. Por lo cual, debe tener el tiempo de durabilidad destinado para la obra, con respecto al diseño predispuesto.

Adicionalmente, el fiscalizador decretará si el mezclado se lo realiza en obra o en la fábrica. En caso de que se realice en fabrica, se deberá tener presente la logística adecuada para el transporte del hormigón, de igual forma se debe definir correctamente el tiempo de transporte y colocación.

- **Equipo mínimo**

Para el vaciado efectivo del hormigón, se necesita de un camión hormigonera, el cual se encuentra compuesto por un tambor giratorio, este vehículo tiene la función de transportar y mezclar los componentes que conlleva el hormigón. Además, para el vertido de este elemento en pisos superiores se utilizan bombas de hormigón, la cual suministra hormigón a través de tuberías las cuales trabajan a presión. También, con la finalidad de tener una compactación adecuada del hormigón, se hizo uso de vibradores de hormigón. Estos elementos sirven para eliminar burbujas de aire que se forman durante el vertido.

Para la labor del acabado, se necesitan herramientas manuales como es el caso de paletas, rastrillos, entre otros.

- **Mano de obra**

Se necesita de la presencia del contratista, el cual verifica que los tiempos se estén llevando acorde al cronograma. Así mismo, verifica los niveles adecuados del vertido del hormigón y la distancia que se va a hormigonar. Por otra parte, como base fundamental se tiene a los trabajadores de construcción, los cuales son los encargados del vertido y acabado del hormigón.

- **Procedimiento de trabajo**

El contratista deberá definir y presentar al fiscalizador la logística adecuada para la colocación del hormigón. Mediante los planos, debe de colocar la cantidad de hormigón que se utilizará para los diferentes elementos estructurales. En caso de que se utilice algún aditivo se tiene que precisar la cantidad y sus beneficios. Hay que recordar que la ciudad de Guayaquil es característica por sus altos porcentajes de humedad y elevadas temperaturas, por lo cual, por estos y otros factores se utilizan aditivos.

Dentro del cronograma realizado por el contratista, se debe de incluir la preparación y limpieza del lugar donde se va a colocar, la respectiva transportación del hormigón. Además, en obra

en lo que respecta al trabajo se considera la colocación, acabado y curado del hormigón. Este procedimiento tiene que ser vigilado minuciosamente por el contratista. Además, se debe comprobar que la resistencia sea la definida en el diseño.

No obstante, el clima es un factor importante al momento de realizar la colocación del hormigón, debido a que esta no se podrá llevar a cabo si existen condiciones lluviosas. Debido a que las propiedades del hormigón se desvanecen. Por ende, se pierde resistencia. Sin embargo, en caso de que existan deterioro del hormigón o ha sido expuesto a temperaturas de congelación antes de completar su proceso de fraguado se deberá reemplazarlo.

- **Medición y forma de pago**

Para la respectiva medición de este rubro se lo realiza en m³. Considerando el volumen de hormigón colocado para la construcción de la losa.

Con respecto a la forma de pago, se pagarán mediante los rubros detallados en el presupuesto. Adicionalmente, se considera toda la cantidad de hormigón utilizado para el vaciado en la losa.

Código: 3.04

Rubro: Acero de refuerzo superestructura $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Unidad: kg

- **Descripción**

Para este trabajo, se colocará acero corrugado con la finalidad de reforzar la estructura de la losa por temperatura, y otros elementos estructurales como columnas y cimentación. A lo largo del edificio, se utilizan acero con diferentes medidas, acorde al elemento y las cargas que tenga que soportar. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que no exista corrosión en este elemento, por lo que puede ser perjudicial en toda la estructura. No obstante, su resistencia a la fluencia no tiene que ser menor a 4200 kg/cm^2

- **Materiales**

El elemento principal es el acero corrugado, el mismo que tiene que cumplir con la resistencia dispuesta y con la normativa INEN. Adicionalmente, se hará uso de alambres lisos, los cuales tendrán la función de realizar los amarres de la estructura de acero con los estribos.

- **Mano de obra**

Deberá estar presente el contratista para verificar que los elementos de acero cumplan con los requisitos predispuestos en los planos. Además, se debe corroborar que los ganchos de los estribos cumplan con las medidas exactas que se encuentren en los planos. Además, se debe tener trabajadores de construcción con experiencia en estos trabajos.

- **Procedimiento de trabajo**

Los elementos de acero corrugado tendrán diferentes dimensiones dependiendo su uso, estas medidas se encuentran detalladas en el plano. Así mismo, el alambre galvanizado que se utilizará para realizar las amarras tiene una medida específica N° 18, para fortalecer el agarre entre ambos elementos.

Además, el fiscalizador es el encargado de verificar mediante el diseño y los planos la cantidad de acero que se requiere. Además, los diámetros del acero no se pueden modificar. Sin embargo, si existe una revisión técnica al diseño, por parte del contratista, fiscalizador y estructurista se puede realizar dicha modificación. Por otra parte, estos elementos no pueden estar expuestos a ambientes corrosivos, ni mucho tiempo colocados en la superficie del terreno. El fiscalizador en la mayor parte de lo posible tiene que salvaguardar el estado del acero, evitando la oxidación, corrosión o deterioro.

Por otra parte, con lo que respecta a la colocación, el acero será doblado en frío. En los planos se encontrarán detallado la distancia que tendrá cada estribo, asimismo la longitud de los ganchos. Por otra parte, también se detallarán el espaciamiento entre estribos en toda su longitud.

Además, para el armado del acero corrugado principal se describe el recubrimiento que existe con respecto al hormigonado y los diferentes empalmes.

No obstante, antes de verter el hormigón, el fiscalizador tiene que verificar el armado estructural del acero. Tiene que corroborar las distancias de estribos, el recubrimiento, la estabilidad de los amarres y que ningún acero tenga deterioro por corrosión.

- **Medición y forma de pago**

La unidad de medida con la que se pagará el acero estructural será en kg.

Se realizará el pago mediante lo estipulado en los rubros del presupuesto. Se considerará el acero total utilizado en toda la estructura, tanto en la cimentación, contrapiso y los demás niveles estipulados en el plano. En esta sección se va a tener en cuenta la totalidad del acero por utilizar.

Nota: Para sistema postensado, se recibió una capacitación, además de realizar una entrevista al Ing. Francisco Navas, él cual se encuentra encargado de varios proyectos de edificios postensados en el país.

Código: 3.05

Rubro: Acero de presfuerzo superestructura $f_y = 17000 \text{ kg/cm}^2$

Unidad: kg

- **Descripción**

Son cables de aceros los cuales trabajan en tracción. Adicionalmente, este elemento tiene una resistencia a la tracción de 270 ksi. Mediante las especificaciones técnicas brindadas por Ideal Alambrec se conoce que este elemento tiene un recubrimiento engrasado y plastificado, adicionalmente el área mínima es de 98.71 mm^2 , tiene una relajación bajo carga del 3.5% y una

masa aproximada de 886 kg/km. Cabe mencionar que los torones cumplen con la normativa ASTM A-416.

Por otra parte, los torones que se utilizaran son no adheridos. Estos se encuentran compuestos por 7 alambres de acero de alta resistencia.

- **Materiales**

Dentro de los materiales fundamentales para completar el sistema de postensado se encuentran los siguientes:

Anclaje encapsulado: Estos elementos son parte del diseño de postensado de la losa. Estos anclajes tienen la utilidad de brindar un recubrimiento momentáneo en el extremo donde se desea tensar para aislar el anclaje de algún tipo de corrosión por efectos de la humedad. Además, ayuda a que las fuerzas de tensado se transfieran hacia el hormigón. Adicionalmente, este elemento tiene un peso aproximado de 0.6 kg, por lo cuenta con un tubo de hierro dúctil con una cubierta de plástico.

El fiscalizador debe verificar que durante la colocación del hormigón no existan espacios libres en lo que respecta al anclaje, para evitar efectos de corrosión. Adicionalmente, se considera la intervención de trabajadores de construcción con experiencia en estos trabajos.

El contratista debe tener en consideración la ubicación exacta en la que se va a colocar el anclaje. Adicionalmente, durante el tensado el anclaje siempre va a resistir más que el cable, el cual se tiene que romper primero.

Para la verificación de medidas se requiere el diseño plasmado en los planos. Adicionalmente para este elemento, se utilizan normas del PTI. Además, se debe verificar que el torón se encuentre correctamente alineado.

Cuñas: Este elemento es complementario al anclaje, por lo cual van insertados en su interior. Tienen una forma de cono truncado y por lo general son metálicos. Adicionalmente, el fiscalizador debe verificar que este elemento se encuentre alineado junto con el anclaje y el torón.

Alzas: Mediante un ensayo de compresión realizado por la empresa LPT, se corroboró que las alzas fabricadas tienen una resistencia de 500 kg. Adicionalmente, el contratista y fiscalizador deben revisar minuciosamente que las medidas de las alzas sean las correctas con la finalidad de otorgar la curvatura adecuada para el tensado. Cabe mencionar, que dentro de los planos se deben detallar las medidas exactas donde se ubicaran las alzas y su respectiva altura. No obstante, este elemento pueden ser metálicos o plásticos. Las alzas no tendrán que resistir fuerzas, estas diseñadas netamente para proporcionar la curvatura adecuada de los torones.

- **Equipo mínimo**

Para que se lleve a cabo el postensado de los torones, es imprescindible de algunos elementos que la complementen. Entre ellos se encuentran los gatos hidráulicos que deben de proporcionar la fuerza requerida para el postensado referente a lo estipulado en el plano. Además, para proporcionar la presión necesaria con la que va a trabajar las prensas se utiliza una bomba hidráulica.

Adicionalmente, para completar el sistema de postensado, se colocan los anclajes móviles para fijar el extremo activo del torón. También se requiere de alzas las cuales pueden ser metálicas o plásticas para darle la curvatura necesaria que requiere el recorrido del tendón. Por último, se deberán implementar los cortadores de torones para la parte restante luego del tensado.

Cabe mencionar, que el fabricante nacional distribuye los torones dentro del ducto y debidamente engrasado. No obstante, es fundamental que antes de realizar el tensado, el fiscalizador compruebe que cada elemento antes mencionado se encuentre en buen estado, sin deterioro y tenga las características requeridas.

- **Mano de obra**

En primera instancia, debe de encontrarse un ingeniero estructural especializado en el sistema postensado, por todos los materiales que conlleva y su colocación. No obstante, el

fiscalizador debe de observar que el armado de la losa postensado se encuentre acorde a los planos estructurales. Adicionalmente, se debe de tener trabajadores de construcción con experiencia en estos trabajos.

- **Procedimiento de trabajo**

Para asegurar un efectivo postensado mediante el diseño estructural, el contratista se debe regir al diseño presentado en los planos. Además, debe de considerar todas las cotas colocadas en el plano, tanto para la trayectoria del torón como la separación de estos. No obstante, mediante el plano se tiene que distinguir el lado activo y el lado pasivo del torón para su respectivo tensado.

Antes de la colocación del hormigón, el fiscalizador debe verificar que la parábola de la trayectoria sea la correcta, las alturas de los soportes y el recubrimiento tanto en la parte superior como inferior de la losa. Así mismo, se comprueba la distancia entre torones acorde al plano estructural, y la distancia que existe desde el borde de la losa hacia afuera.

Adicionalmente, después del vertido del hormigón, es necesario colocar los anclajes con las cuñas, verificar su estabilidad y la fuerza con la que se tensorá el torón. Adicionalmente, mediante el plan y el diseño se dispone cual será el orden de tensado de los diferentes torones de la losa. En consecuencia, tanto el contratista como fiscalizador tienen que estar pendiente durante todo el proceso del armado para la postensado.

Cabe mencionar que, por lo general, en la obra solo se dispone de un gato hidráulico para el tensado. Por lo cual, el contratista debe asegurarse de no cometer errores al momento de aplicar la fuerza necesaria. Además, el fiscalizar se tiene que asegurar que la elongación del torón se encuentre dentro del límite especificado y que no existan fallas estructurales después del tensado.

- **Medición y forma de pago**

La unidad de medida en la que se pagará el acero de presfuerzo es mediante el kg del material, y en el caso de los materiales complementarios se utiliza la unidad de este.

Con respecto a la forma de pago, en el presupuesto se desglosarán los materiales a utilizar, como es el caso del acero de presfuerzo o torón, el cual es un rubro diferente y se mide en unidades diferente. No obstante, elementos como cuñas, alzas o soportes y anclajes, se encontrarán detallados por unidad acorde a lo requerido en los planos.

Capítulo 4

4. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Descripción del proyecto

Es de conocimiento general que la construcción es una de las actividades productivas que genera valor para el mundo debido a su gran relevancia para la economía ya que representa más del 10% del producto interno bruto global (Maury, 2019). Sin embargo, es considerado mundialmente como una de las actividades que genera grandes cantidades de desperdicios y residuos. Siendo esto una de las principales fuentes de contaminación para el medio ambiente tanto directa como indirectamente (Enshassi et al, 2014).

El presente proyecto abarca el tema del diseño estructural y constructivo de losas postensadas para la construcción de edificios de mediana y gran magnitud. Dado que el proyecto se encuentra englobado en el ámbito de la construcción, además, de tratarse de un sistema nuevo para el diseño de losas. Este proyecto busca ser implementado por ingenieros civiles en la actualidad, donde se encuentra incluido el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (ODS #9) – Industria, innovación e infraestructura. Así mismo, cumple con el ODS #11 – Ciudades y comunidades sostenibles al tomar en cuenta la reducción de materiales de construcción que conlleva este nuevo sistema de losas, por lo que se espera la reducción de los niveles de contaminación producidos por los residuos.

El proyecto se encuentra planteado para construirse en la ciudad de Guayaquil, específicamente en la avenida Francisco de Orellana. Este edificio se encontrará cerca de centros comerciales con alta concurrencia de personas como es el caso del San Marino, Policentro y Supercines. Esta construcción se la llevará a cabo con la finalidad de reactivar la zona económica en el lugar planificado. Además, mediante el sistema constructivo de losas postensada se reducirá el tiempo de obra y la contaminación por construcción, beneficiando directamente a los moradores aledaños a la obra.

No obstante, este proyecto también se encuentra enfocado a los ingenieros civil del Ecuador. Para que sea un indicio constructivo para implementar el sistema de losas postensadas en

más edificios de gran envergadura en la ciudad de Guayaquil. Adicionalmente, este método se lo puede aplicar en todo el Ecuador, una vez se hayan planteado bases concretas referente a su diseño y logística.

4.2 Línea de base ambiental

Es de gran importancia conocer algunas características específicas sobre el lote del terreno. Se encuentra ubicado en el sector norte de Guayaquil. Específicamente en la avenida Francisco de Orellana, la cual es una arteria vial principal de la ciudad. El terreno se encuentra en una zona residencial. Sin embargo, también alberga zonas comerciales y de servicio. Además, la ubicación del proyecto es estratégica para que exista un desarrollo urbano en la zona de estudio; debido a que se encuentra conectada a vías de gran flujo vehicular.

La topografía del terreno es plana lo cual facilita el diseño y la construcción de viviendas. Sin embargo, el suelo que predomina es de tipo D3 y se caracteriza por ser una zona deltaico estuario. Las propiedades de este tipo de suelo fueron detalladas en el Capítulo 2.

Por otro lado, la vegetación es limitada. Por lo cual, en la zona del terreno únicamente existe presencia de maleza. Por ende, la ausencia de vegetación facilita la labor de limpieza y preparación del terreno para la construcción. No obstante, este factor indica una baja biodiversidad de la zona.

En cuanto a la fauna, dado que se trata de un sector residencial y con una densidad poblacional alta, es muy escasa la presencia de animales. Por lo que predominan las aves y animales adaptados a ambientes urbanos, como es el caso de roedores y reptiles pequeños. Adicionalmente, se puede llevar con normalidad el proceso de construcción, debido a que la fauna de la ciudad no se verá afectada.

En los alrededores del lote no existe la presencia de ningún cuerpo de agua. Sin embargo, el cuerpo de agua más cercano se encuentra a 500 m, siendo este el estero salado. Además, cabe mencionar que este estero tiene un agua salobre, la cual tiene características adversas en las construcciones; aunque no afecta directamente al proyecto debido a la distancia. El agua potable para la construcción será obtenida por medio de la conexión municipal existente en el solar.

En esta zona, la calidad del aire se ve afectada por la gran cantidad de tráfico presentes durante el día. Un artículo publicado por diario El Universo (2005), menciona como en 25 puntos de la ciudad de Guayaquil en zonas norte, centro y sur, los niveles de contaminación son críticos superando los límites ambientales permisibles. A consecuencia por el alto volumen del tráfico, el ruido excesivo causado por el uso del claxon y las grandes emisiones de dióxido de azufre y de nitrógeno. Esto produce que la atmósfera se encuentre cargada de partículas nocivas y que el edificio tenga un mejor sistema de filtrado y ventilación.

Por último, la zona tiene una clase socioeconómica que fluctúa entre media y alta. Existen todos los servicios básicos, como lo es el agua, luz y alumbrado público. Además, en la periferia del terreno existen centro de salud, educación y entretenimiento. No obstante, al momento de ser un sector muy concurrido, se refleja un alto nivel de ruido emitido por los automotores. Mediante aquello, la zona presenta todos los servicios y beneficios que deben tener una comunidad. Sin embargo, en el proyecto se debe considerar el impacto ocasionado por el ruido de vehículos y el tráfico.

4.3 Actividades del proyecto

Las actividades relacionadas al proceso constructivo de las losas postensadas para el edificio de tamaño mediano estarán detalladas en la Tabla 4.1, la misma que presenta las actividades que generen posiblemente el mayor impacto ambiental durante su ejecución, dividiéndola en 4 etapas: diseño, construcción, operación y abandono.

Tabla 4.1. Actividades del proceso constructivo de la losa postensada

Fase	Labor	Actividad	
Diseño	Diseño y planificación	Estudios de prefactibilidad	
		Estudios de anteproyecto (Diseño de losa)	
Construcción	Preparación del sitio y materiales	Limpieza y nivelación	
		Corte de piezas	
	Obra gris	Construcción de encofrado perimetral	
		Instalación de soportes verticales y horizontales	
		Armado de acero pasivo/activo	
		Instalación de conductos y anclajes	
		Vertido y bombeo del concreto	
		Compactado del concreto	
		Curado del concreto	
		Postensado	Tensado de acero de prefuerzo
			Fijado de acero de prefuerzo
			Corte de exceso de acero de prefuerzo
			Inyección de grout en conductos
			Remoción de encofrado
		Operación	Ocupación	Instalaciones técnicas
Áreas comerciales			
Unidades residenciales + área social			
Uso diario	Consumo de energía eléctrica		
	Consumo de agua		
	Generación de residuos sólidos		
	Generación de aguas residuales		
Abandono	Disposición de equipos	Almacenaje de equipo de postensado	
		Mantenimiento	

Para poder realizar algunas actividades en la construcción de la losa, se necesitará el uso de maquinaria pesada como mezcladoras de concreto, grúas y bombas de concreto que por lo general utilizan motores a diésel o gasolina. Esto produce la generación de gases tóxicos como dióxido de

carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO_x) e incluso compuestos orgánicos volátiles que van directamente hacia la atmósfera (Kaur y Arors, 2012).

Por otro lado, el uso del agua es de suma importancia en la construcción debido a que permite realizar la limpieza de las áreas de trabajo, esto produce aguas residuales. Sin embargo, dado que el proyecto está ubicado en una zona residencial, el control de la emisión de aguas residuales no será de alta prioridad, ya que este aspecto se encuentra regulado en el área. Las emisiones no tendrán un impacto ambiental significativo, puesto que todo el material generado durante los trabajos de construcción será evacuado a través del sistema de drenaje sanitario municipal en donde se realizarán los tratamientos correspondientes al agua residual (Navia y Vejo, 2022).

Así mismo, se producen grandes cantidades de residuos sólidos provenientes de las actividades como el corte de la madera para el encofrado, restos de hormigón luego de la fundición de elementos estructurales e incluso el descuido en la protección y almacenamiento del material puede conllevar a desechar una cantidad importante. Según Kaur y Arors, 2012 lo recomendable durante la operatividad del total de los residuos el 50% deben ser biodegradables, el 20% reciclables, 30% inertes/reciclables y 0.3% peligrosos.

Es importante conocer y realizar el análisis de los ciclos de vida de los materiales involucrados en una construcción. Dado que el sistema de losas postensadas es muy poco implementado en la ciudad de Guayaquil, es de gran relevancia mencionar este análisis ya que brinda un conocimiento de los impactos en el ambiente de estos nuevos materiales.

Comúnmente en la construcción, la resistencia para elementos estructurales como losas no supera los 28 MPa, sin embargo, para el sistema de losas postensadas es necesario el uso de un hormigón de 35 MPa. Una investigación realizada en el año 2022 presenta el análisis de ciclo de vida de diferentes resistencias de hormigones. Realizando una comparación entre las 2 resistencias de hormigones mencionadas anteriormente, en la investigación, se presenta que el hormigón de 28 MPa emite aproximadamente 267.54 kg CO₂-Eq/m³ tomando en cuenta la extracción del material,

el proceso de producción y transporte. Mientras que, para el uso de un hormigón de mayor resistencia (35 MPa) se emite aproximadamente 310.31 kg CO₂-Eq/m³ considerando los mismos factores. Cabe recalcar que la investigación se hizo por medio del software OpenLCA que permite realizar el cálculo del impacto del ciclo de vida de los materiales (Petroche & Ramirez, 2022).

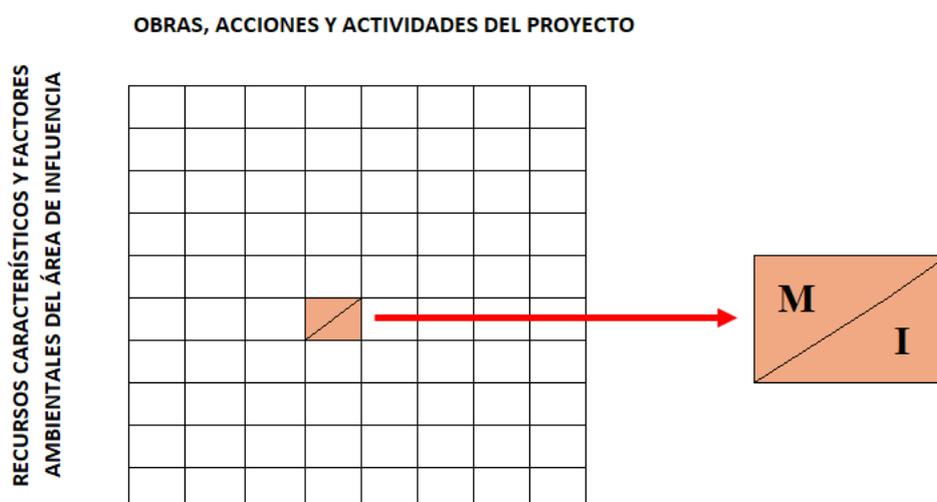
En cuanto al acero de presfuerzo, se logró conocer por medio del artículo elaborado por el Ing. Vicent Penadés-Plà (2020) de manera general el impacto ambiental y social del sistema postensado. En el estudio, se compararon 2 hormigones con diferentes resistencias, el 1er hormigón es de 50 MPa con una vida de diseño de 150 años mientras que el 2do hormigón es de 35 MPa con una vida útil de 120 años para la construcción y el mantenimiento de un puente postensado. En términos ambientales, la cantidad de CO₂ emitida durante la construcción se distribuye a lo largo de los años previstos como vida útil de la estructura para cada hormigón. Por lo que se concluyó que el hormigón con una resistencia de 35 MPa produce menos contaminación ambiental.

Por otro lado, el Life Cycle Analysis (LCA) evalúa las actividades realizadas desde la etapa de construcción hasta el mantenimiento de la estructura. En el caso de los elementos postensados con una resistencia de 35 MPa, el LCA proporciona datos positivos, indicando que este proceso reduce la huella de carbono en comparación con otros elementos estructurales. Esto se debe a factores como el tipo y cantidad de material utilizado, la durabilidad de la estructura y las posibilidades de reciclaje de los elementos.

4.4 Identificación de impactos ambientales

Como se había mencionado anteriormente, para poder identificar los impactos ambientales se hará uso de la matriz de Leopold, la cual es una matriz que permite conocer de manera cuantitativa el impacto ambiental de una actividad o proyecto. Está compuesta por filas en donde se colocan los componentes ambientales, y columnas en las que se colocan las actividades o acciones humanas. En el cruce de las filas y las columnas, se debe asignar una puntuación la cual evalúa la magnitud y la importancia de la actividad sobre algún recurso en específico (Pucha, 2023). La forma y estructura de asignación de valores dentro de la matriz de Leopold se presenta en la Figura 4.1.

Figura 4.1. Formato de la matriz de Leopold



Nota. Formato adquirido de Pucha, 2023

La asignación de valores se da por medio de 2 factores anteriormente mencionados, la magnitud, la cual se le otorga un valor de entre 1 a 10, en donde el valor de 1 representa la mínima alteración mientras que el valor de 10 representa la máxima alteración sobre el factor ambiental. A estos valores se les puede asignar un signo positivo (+) o negativo (-). Por otro lado, se tiene el factor de importancia, el cual hace referencia al peso relativo de los factores ambientales. A estos valores únicamente se les asigna el signo positivo (+), ya que representan la magnitud del impacto sin considerar si es beneficioso o perjudicial. Esto permite evaluar objetivamente la intensidad del impacto antes de determinar su naturaleza.

Con la finalidad de realizar la evaluación cualitativa de cada aspecto del proceso constructivo, se aplicó una calificación cuantitativa por medio del uso de las Tablas 4.2 y 4.3, las cuales describen la clasificación por impactos negativos y positivos.

Tabla 4.2. Valores de clasificación para impactos positivos

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
<i>Intensidad</i>	<i>Afectación</i>	<i>Calificación</i>	<i>Duración</i>	<i>Influencia</i>	<i>Calificación</i>
Baja	Baja	+1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	+2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	+3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	+4	Temporal	Local	+4
Media	Media	+5	Media	Local	+5
Media	Alta	+6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	+7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	+8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	+9	Permanente	Regional	+9
Muy alta	Alta	+10	Permanente	Nacional	+10

Nota. Estos valores son utilizados para la clasificación positiva de magnitud e intensidad para la matriz de Leopold adquiridos de Pucha, 2023.

Tabla 4.3. Valores de clasificación para impactos negativos

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
<i>Intensidad</i>	<i>Afectación</i>	<i>Calificación</i>	<i>Duración</i>	<i>Influencia</i>	<i>Calificación</i>
Baja	Baja	-1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	-2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	-3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	-4	Temporal	Local	+4
Media	Media	-5	Media	Local	+5
Media	Alta	-6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	-7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	-8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	-9	Permanente	Regional	+9
Muy alta	Alta	-10	Permanente	Nacional	+10

Nota. Estos valores son utilizados para la clasificación positiva de magnitud e intensidad para la matriz de Leopold adquiridos de Pucha, 2023.

A continuación, mediante la Figura 4.2 se presenta la matriz de Leopold con los resultados obtenidos luego de la identificación de impactos utilizando las Tablas 4.2 y 4.3 para cada actividad del proceso constructivo.

Figura 4.2. Matriz de Leopold

Fase		Diseño		Construcción													Operación						Abandono		Afectaciones				
		Planificación		Preparación de sitio y material		Obra gris						Postensado					Ocupación		Uso diario				Disposición de equipos						
Medio afectado	Impacto producido	Estudios de prefactibilidad	Estudios de anteproyecto (Diseño de losa)	Limpieza y nivelación	Corte de piezas	Construcción de encofrado perimetral	Instalación de soportes verticales y horizontales	Armado de acero de refuerzo	Instalación de conductos y anclajes	Vertido y bombeo del concreto	Compactado del concreto	Curado del concreto	Tensado de acero de prefuerzo	Fijado de acero de prefuerzo	Corte de exceso de acero de prefuerzo	Inyección de grout en conductos	Remoción de encofrado	Instalaciones técnicas	Áreas comerciales	Unidades residenciales + área social	Consumo de energía eléctrica	Consumo de agua	Generación de residuos sólidos	Generación de aguas residuales	Almacenaje de equipo de postensado	Mantenimiento	+	-	Total
Tierra	Suelo	4	2	4	-4	-2	-4	-5	-4	-4	-1	-4	-5	-4	-1	-4	5	5	-5	-5	-5	-5	-5	-2	4	14	18		
Agua	Calidad del agua			-3	-3					-6	-6	-3			-6		4	4	-5	-5	-5	-5	-1	-4	2	12	14		
Atmosfera	Calidad del aire			-4	-3	-2	-3			7	-3	-2			-2	-3	3	-5	-4				-3	-5	-1	2	15	17	
Flora	Arbustos	4	2	3	1	-2	-1			-6	-2	-2					-1					2	4			5	6	11	
Fauna	Pajaros				-3	-2	-3			-6	-6	-2			-1	-2	-3						-2		-2	0	12	12	
Uso de tierra	Residencial	6	6	3	3	3	1			-4	-3				-1	-1	-3	4	7	7	7	7	7	7	-2	12	7	19	
Interes estético y humano	Diseño del paisaje	5	5	3	-1		-1										-4	1	7	4	6	6	-6	-6	-2	6	6	12	
	Condiciones físicas unicas	4	4	3	-1		3	-3	3				5	5	-1	3	2	6	4	3					-2	10	4	14	
Aspectos culturales	Empleo	7	7	3	3	3	6	3	6	5	4	3	6	6	6	3	2	6	9	2	3	3	3	3	3	5	25	0	25
	Densidad de población	5	5																7	7	3	3	-6	-6		6	2	8	
Facilidades y actividades humanas	Red de transporte					3	1	-4	-6	-1		3				-6	4	4	7	9	6	6	3		-2	6	5	11	
Afectaciones	+	7	5	6	2	2	4	2	2	2	1	1	3	1	2	1	2	6	7	8	3	4	3	2	1	78	83	161	
	-	0	0	2	6	4	1	6	1	6	7	5	0	2	4	7	5	0	1	1	2	2	6	5	7	83			
	Total	7	5	8	8	6	5	8	3	8	8	6	3	3	6	8	7	6	8	9	5	6	9	7	8	161			
Total de impactos positivos		78																											
Total de impactos negativos		83																											
Total de impactos considerados		161																											

Nota. Esta matriz presenta la asignación de valores para identificar las actividades de mayores impactos en el proceso constructivo de la losa postensada.

1.1. Valoración de impactos ambientales

Luego de asignar los valores de magnitud e importancia dentro de la matriz de Leopold, se procede a realizar la valoración por medio de la siguiente Ecuación 4.1 para obtener el grado de impacto ambiental (Tito, 2020).

$$IA = \pm\sqrt{Importancia \cdot |Magnitud|} \quad (4.1)$$

Mediante la Tabla 4.4, en donde se detalla la escala de valoración, se clasificará el grado de impacto ambiental de cada una de las acciones del proceso constructivo.

Tabla 4.4. Escala de valoración de impacto ambiental

CALIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL (IA)
Altamente significativo	$|IA| \geq 6,50$
Significativo	$6,50 > |IA| \geq 4,50$
Despreciable	$|IA| < 4,50$
Benéfico	$IA > 0$

Nota. La tabla permite evaluar de manera cualitativa en que calificación se encuentra el índice de impacto ambiental.

Por medio de la Ecuación 4.1 propuesta por Tito (2020), realizamos el siguiente cálculo para determinar la actividad o actividades que están generando mayor impacto ambiental. Tomando los datos de la actividad “Limpieza y nivelación” en relación con el factor ambiental “Suelo”, se obtendrá el siguiente resultado

$$IA = \pm\sqrt{2 \cdot |4|}$$

$$IA = 2.83$$

Replicaremos este mismo cálculo con las demás actividad y factores. En la Figura 4.3, se muestra el resultado de impacto ambiental general del proceso constructivo obtenidos por medio de criterios de IA.

Figura 4.3. Matriz de Impacto Ambiental

Fase		Diseño		Construcción													Operación						Abandono		Afectaciones				
		Planificación		Preparación de sitio y material		Obra gris						Postensado					Ocupación		Uso diario				Disposición de equipos						
Medio afectado	Impacto producido	Estudios de prefactibilidad	Estudios de anteproyecto (Diseño de losa)	Limpieza y nivelación	Corte de piezas	Construcción de encofrado perimetral	Instalación de soportes verticales y horizontales	Armado de acero de refuerzo	Instalación de conductos y anclajes	Vertido y bombeo del concreto	Compactado del concreto	Curado del concreto	Tensado de acero de prefuerzo	Fijado de acero de prefuerzo	Corte de exceso de acero de prefuerzo	Inyección de grout en conductos	Remoción de encofrado	Instalaciones técnicas	Áreas comerciales	Unidades residenciales + área social	Consumo de energía eléctrica	Consumo de agua	Generación de residuos sólidos	Generación de aguas residuales	Almacenaje de equipo de postensado	Mantenimiento	+	-	Total
Tierra	Suelo	2.83	0.00	2.83	-2.00	-1.41	-2.00	-2.24	0.00	-3.46	-3.46	-1.41	0.00	0.00	-2.24	-3.46	0.00	0.00	3.87	3.87	-3.87	-3.87	-3.87	-3.87	-2.45	0.00	13.40	-39.63	53.04
Agua	Calidad del agua	0.00	0.00	-2.45	-2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.90	-4.90	-3.46	0.00	0.00	0.00	-4.90	0.00	0.00	3.46	3.46	-3.87	-3.87	-3.87	-3.87	-1.41	-2.83	6.93	-42.79	49.72
Atmosfera	Calidad del aire	0.00	0.00	-3.46	-2.45	-1.41	0.00	-1.73	0.00	7.00	-1.73	-1.41	0.00	0.00	-2.00	-3.00	-1.73	2.45	-3.87	-3.46	0.00	0.00	-1.73	-3.87	-1.41	-2.00	9.45	-35.29	44.74
Flora	Arbustos	2.83	0.00	3.00	1.73	-1.41	0.00	-1.00	0.00	-6.48	-1.41	-1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.41	2.83	0.00	0.00	0.00	0.00	11.80	-12.72	24.53
Fauna	Pajaros	0.00	0.00	0.00	-3.46	-2.83	0.00	-3.46	0.00	-6.48	-4.24	-2.00	0.00	-1.00	-1.41	-1.73	-1.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.00	0.00	-2.00	0.00	0.00	-32.36	32.36
Uso de tierra	Residencial	6.00	6.00	3.00	0.00	2.45	1.73	0.00	0.00	-2.83	-1.73	0.00	0.00	-1.73	-1.00	-1.73	-1.73	3.46	4.58	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48	0.00	-1.41	59.63	-12.17	71.80
Interes estético y humano	Diseño del paisaje	4.47	4.47	3.00	-1.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.29	1.00	4.58	3.46	0.00	0.00	-5.48	-5.48	-2.00	0.00	20.99	-20.25	41.24
	Condiciones físicas unicas	4.90	4.90	3.00	-1.00	0.00	3.00	-1.73	3.00	0.00	0.00	0.00	3.87	0.00	3.87	-1.73	0.00	1.41	4.24	3.46	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.00	0.00	35.66	-6.46	42.13
Aspectos culturales	Empleo	7.00	7.00	3.00	3.00	1.73	4.24	3.00	4.24	3.87	2.00	1.73	4.24	4.24	4.24	2.00	4.24	5.20	2.45	1.73	1.73	3.00	3.00	1.73	3.16	86.04	0.00	86.04	
	Densidad de población	5.48	5.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.94	7.94	4.24	4.24	-4.24	-4.24	0.00	0.00	35.31	-8.49	43.80
Facilidades y actividades humanas	Red de transporte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	1.00	-5.29	-4.90	-1.00	0.00	3.00	0.00	0.00	-4.90	4.90	4.00	0.00	7.94	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.41	0.00	23.84	-17.50	41.34
Afectaciones	+	33.51	27.85	17.83	4.73	4.18	11.97	4.00	7.24	10.87	2.00	1.73	11.12	4.24	8.12	4.24	6.90	16.57	33.88	39.07	12.46	13.87	12.31	9.48	1.73	3.16	303.06	-227.67	530.7365
	-	0.00	0.00	-5.91	-12.36	-7.07	-2.00	-11.16	-5.29	-29.05	-18.48	-9.71	0.00	-2.73	-6.65	-21.46	-11.49	0.00	-3.87	-3.46	-7.75	-7.75	-21.20	-21.34	-12.69	-6.24	-227.67		
	Total	33.505	27.848	23.742	17.095	11.253	13.975	15.164	12.534	39.925	20.484	11.439	11.116	6.9747	14.766	25.7009	18.387	16.57	37.751	42.534	20.201	21.616	33.5071	30.8196	14.4242	9.4049	530.7365		
Total de impactos positivos		303.06																											
Total de impactos negativos		-227.67																											
Total de impactos considerados		530.74																											

Nota. Esta matriz presenta la clasificación general del impacto ambiental generado por la implementación de las losas postensadas.

Por medio de la Figura 4.3, se pudo obtener el valor del impacto ambiental total del proceso constructivo el cual es un valor de 530.74. Para poder clasificarla según la Tabla 4.4, se relacionan el valor total de impacto ambiental obtenido y el valor de la cantidad total de impactos considerados.

$$IA_{construcción} = \frac{530.74}{161}$$

$$IA_{construcción} = 3.30$$

El impacto ambiental debido al proceso constructivo para una losa postensada es de 3.30 lo cual es considerado como “despreciable” según la Tabla 4.4.

4.5 Medidas de mitigación

Las medidas de prevención o mitigación son acciones destinadas a reducir el impacto ambiental de las acciones involucradas en el proyecto. Las medidas de mitigación propuestas deben ser aplicadas de manera simultánea a la construcción con el objetivo de evitar afectaciones al entorno debido a que el lugar donde se realizará el levantamiento del edificio es un sector residencial. Luego de realizar la valoración de las actividades, se identificaron aquellas con una valoración alta. Las actividades del proceso constructivo identificadas con mayor impacto ambiental estaban relacionada a la fase operativa, más específicamente en el uso diario de las losas en donde se encontrarán las unidades residenciales incluyendo el área social lo cual afectará de manera positiva en la generación nuevas oportunidades de habitabilidad y negocio, así como en la fase constructiva, cuyas actividades relacionadas a la limpieza, corte de materiales, fundición de hormigón e inyección de grout fueron identificadas con mayor impacto ambiental negativo debido a los residuos generados por la construcción directamente colocados en el suelo, residuos como las chispas generadas en el corte del acero que afectarán la calidad del aire y generará ruido por el uso de herramientas menores, el esparcimiento de partículas de cemento afectará la atmosfera al momento de realizar la lechada para la fundición e inyección del grout para el sellado de torón.

Sin embargo, en la Tabla 4.5, se presentan las medidas de mitigación para cada fase debido a que también se presentaron impactos que deben ser considerados para cada una de ellas por lo que se proponen las siguientes medidas.

Tabla 4.5. Medidas de mitigación en cada fase del proyecto

Actividades	Impacto	Mitigación
Diseño	Alteraciones en el suelo por realización de pruebas	Utilizar métodos de ensayo en el suelo no invasivos para reducir la perturbación del suelo
Construcción	Afectaciones en la calidad del aire y agua debido a actividades como la limpieza, preparación de material, fundición de hormigón e inyección de grout en los ductos	Implementar el uso de barreras de polvo, emplear maquinarias que genere bajas emisiones. Controlar el uso de la cantidad de agua y separar las áreas de trabajo para evitar contaminación. Utilizar material premezclado e implementar una barrera para el control de escorrentía.
Operación	Consumo de recursos básico por la habitabilidad y comercio de la edificación lo cual generará desechos sólidos y aguas residuales	Impulsar el reciclaje de desechos que pueden ser reutilizados. Desarrollar programas de compostaje para la reutilización de los desechos orgánicos. Implementar un sistema de captación de aguas lluvias para poder ser utilizado como agua potable.
Abandono	Ocupación de espacio por la presencia del equipo utilizado en el postensado posterior a la construcción que además contaminará el suelo por uso de lubricantes	Almacenamiento en contenedores adecuados y aptos para este tipo de equipos.

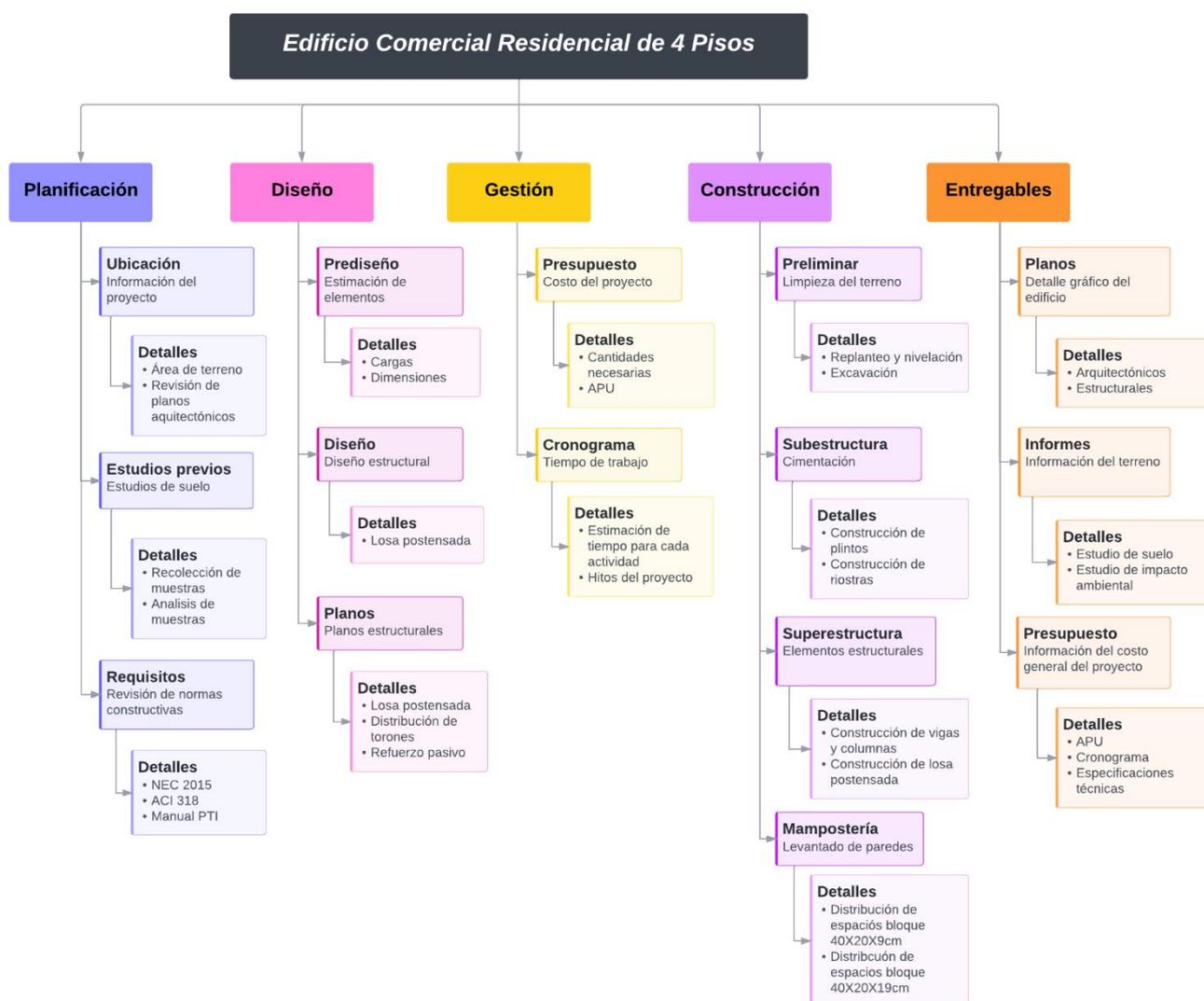
Capítulo 5

5. PRESUPUESTO

5.1 Estructura desglosada del trabajo

La presente sección se enfoca exclusivamente en el diseño estructural de la losa postensada para el edificio comercial-residencial de cuatro pisos. Es importante destacar que los diseños arquitectónicos, hidrosanitarios y eléctricos no forman parte del alcance para este proyecto. En la Figura 5.1, se presenta el desglose de trabajo de las diferentes etapas realizadas durante el desarrollo del diseño estructural.

Figura 5.1 Estructura Desglose de Trabajo (EDT) del proyecto



Nota. Se puede visualizar las tareas detalladas que se van a realizar en cada fase de la estructura.

5.2 Rubros y análisis de precios unitarios

Dentro de las actividades relacionadas a la etapa preliminar del proyecto, se encuentra la de preparación del terreno lo que involucra el replanteo, nivelación y limpieza de este. Para el replanteo y nivelación se necesita del uso de equipo especializado de topografía que permitan colocar los puntos del proyecto en el terreno según los planos. El equipo debe ser manipulado por personal experto en su uso para así evitar inconvenientes a lo largo de la construcción. Por otra parte, para la limpieza del terreno se debe tomar en cuenta el retiro de todo elemento que pueda interferir en el área de trabajo como escombros o vegetación. El material retirado debe ser colocado en sacos para su respectivo traslado. Dentro de lo que compete a la excavación, es de suma importancia iniciar con la remoción de material para iniciar la construcción de la cimentación del edificio, este material deberá ser recolectado para su previa compactación.

Para la etapa relacionada a la subestructura, la cual corresponde a la construcción de los elementos estructurales que se encuentran colocados directamente sobre el suelo hasta completar el contrapiso de la edificación. Estos elementos son las cimentaciones superficiales lo cual involucra zapatas y riostras. Para el correcto armado de estos elementos se debe colocar un hormigón simple de replantillo y separadores de hormigón para asegurar el recubrimiento especificado en los planos y evitar el contacto del suelo con el acero de refuerzo que puede llegar a perjudicar su funcionamiento. Al momento de realizar el hormigonado de los elementos, se realiza por capas de tal modo que se evita que el encofrado se abra por el peso del hormigón. Es de gran importancia utilizar un vibrador de hormigón para asegurar el compactado del material en el encofrado y curar los elementos al menos los primeros 7 días luego del vertido.

En cuanto a la etapa de construcción de la superestructura los elementos a tomar en consideración son las columnas, vigas y losas postensadas. Se empieza el armado de los diferentes elementos estructurales siguiendo las indicaciones establecidas por los diseñadores estructurales en los planos. Tomar en cuenta el doblado del acero, la separación de estribos y el correcto colocado de cantidades de acero longitudinal. Posterior al armado del acero, se realiza el armado del encofrado

de las columnas las cuales deben estar correctamente plomadas y se colocan separadores de hormigón para evitar que el armado de acero quede desfasado de su centro. Durante el vertido del hormigón se realiza el vibrado del material para evitar segregación y asegurar la compactación de este. En cuanto al curado debe realizarse como se había mencionado anteriormente.

Para la correcta construcción de la losa postensada se utilizarán alambres de acero cuya característica principal es que está compuesto por el torón, una grasa lubricante que a su vez proporciona protección contra la corrosión y un recubrimiento de plástico que sirve como una barrera adicional que irá directamente en contacto con el hormigón. Se realiza el armado del acero activo corroborando su correcta ubicación y armado del acero pasivo posterior al vertido del hormigón. Se realiza el tensado de los alambres de acero y se cura la losa de la misma forma que los otros elementos estructurales mencionados.

En la última etapa mencionada se realiza el levantamiento de las paredes según la distribución de espacios en los planos arquitectónicos. Es importante colocar una guía con piola y verificar a plomo para evitar el desfase de bloques y asegurar una pared recta. Los bloques deben estar húmedos para que no exista absorción de agua del mortero. Colocar chicotes para generar un mayor soporte y estabilidad a la pared.

A continuación, se detallan los rubros correspondientes a cada etapa de la construcción del edificio residencial-comercial de cuatro pisos. Para cada rubro, se especifican el precio unitario y sus correspondientes unidades. La metodología utilizada para la obtención de estas cantidades se describirá en la siguiente sección. La Tabla 5.1 presenta los rubros que se considerará en el presupuesto.

Tabla 5.1 Rubros considerados dentro del presupuesto

CÓDIGO	RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
	1	PRELIMINARES		
1	1.01	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	m2	\$ 2.78
2	1.02	EXCAVACIÓN Y RELLENO	m3	\$ 32.25
	2	SUBESTRUCTURA		
3	2.01	HORMIGÓN PARA REPLANTILLO F'C=210 KG/CM2	m3	\$ 166.49
4	2.02	HORMIGÓN PARA ZAPATAS F'C=280 KG/CM2	m3	\$ 234.49
5	2.03	HORMIGÓN PARA RIOSTRAS F'C=210 KG/CM2	m3	\$ 269.73
6	2.04	CONTRAPISO HORMIGÓN SIMPLE F'C=180 KG/CM2 - E=5CM	m2	\$ 11.90
7	2.05	ACERO DE REFUERZO SUBESTRUCTURA F'Y=4200 KG/CM2	kg	\$ 1.99
	3	SUPERESTRUCTURA		
8	3.01	HORMIGÓN EN COLUMNAS F'C=280 KG/CM2	m3	\$ 257.62
9	3.02	HORMIGÓN VIGAS SUPERIORES F'C=280 KG/CM2	m3	\$ 251.71
10	3.03	HORMIGÓN LOSA MACIZA H=13 CM F'C=350 KG/CM2	m3	\$ 332.67
11	3.04	ACERO DE REFUERZO SUPERESTRUCTURA F'Y=4200 KG/CM2	kg	\$ 1.99
12	3.05	ACERO DE PRESFUERZO SUPERESTRUCTURA F'Y=17000 KG/CM2	kg	\$ 10.78
	4	MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL		
13	4.01	MAMPOSTERIA DE BLOQUES 40X20X9 CM	m2	\$ 10.82
14	4.02	MAMPOSTERIA DE BLOQUES 40X20X14 CM	m2	\$ 11.78
15	4.03	ENLUCIDO	m2	\$ 5.66

Nota. En la tabla se puede visualizar los rubros relacionados al proyecto con sus respectivas unidades y precios unitarios.

La fuente utilizada para realizar el análisis de precios unitarios para cada rubro es APUCONS, una página web especializada en la construcción que brinda información sólida obtenida de su base de datos actualizada para la elaboración de presupuestos y control de costos, esta información se puede filtrar geográficamente por lo que los valores son aproximados al mercado ecuatoriano. Presenta una sección destinada al análisis detallado de los precios unitarios en los que incluye costos de mano de obra, equipo, materiales, transporte e incluso gastos generales y cantidad de desperdicios. Cabe recalcar que los valores obtenidos fueron presentados y aprobados debidamente mostrando un valor aproximado del costo del sistema postensado.

En la Figura 5.2, se visualiza el formato utilizado para realizar los análisis de precios unitarios en donde se toma en cuenta mano de obra, materiales, equipos y transporte antes mencionados.

Además, se considera un 17% de gastos indirectos.

Figura 5.2 Formato utilizado para el APU de cada rubro

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	1.01			UNIDAD:	M2
DETALLE:	REPLANTEO Y NIVELACIÓN			RENDIMIENTO (HORA/M2)	0.100
				RENDIMIENTO (M2/HORA)	10
				RENDIMIENTO (M2/DÍA)	80.00
EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Equipo topográfico	1.00	3.75	3.75	0.100	0.375
Herramientas menores % M.O. (5%)					0.087
SUBTOTAL M					0.462
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Cadenero	1.00	4.20	4.20	0.100	0.420
Maestro de obra	1.00	4.50	4.50	0.100	0.450
Topógrafo	1.00	4.65	4.65	0.100	0.465
Peón	1.00	4.05	4.05	0.100	0.405
SUBTOTAL N					1.740
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B	
Tiras 2.5 x 2.5 x 250 cm	UNIDAD	0.20	0.38	0.076	
Estacas	UNIDAD	0.20	0.15	0.030	
Clavos chicos 2, 2 1/2", 3"	CAJA	0.01	2.10	0.019	
Piola de 1000m	ROLLO	0.01	5.00	0.050	
SUBTOTAL O					0.175
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B	
NO APLICA					
SUBTOTAL P					0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					2.377
INDIRECTOS Y UTILIDADES 17.00%					0.404
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2.781
VALOR OFERTADO					2.78

Nota. El APU presentado en el formato corresponde al rubro 1.01 del presupuesto – Replanteo y nivelación

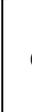
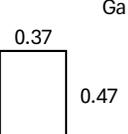
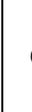
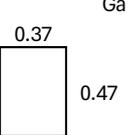
5.3 Descripción de cantidades de obra

Parte importante de la construcción es conocer el monto general del proyecto por lo que se deben calcular las cantidades para cada rubro detallado en el presupuesto. Actualmente para la estimación o cálculo de cantidades de materiales se utilizan programas digitales. Sin embargo, una de las desventajas que presenta esta metodología es la de asignación de parámetros detallada y específica, esto con el objetivo de filtrar de manera exacta los elementos involucrados. Si esta asignación no se realiza de la manera correcta se obtendrá un resultado desfavorable o erróneo. Cabe recalcar que el proyecto desarrollado no tiene el alcance de utilizar algún programa de esta índole.

La metodología utilizada para la estimación de cantidades para el proyecto se realizó de manera manual tomando como referencia los planos arquitectónicos proporcionados y los planos de centrales desarrollados durante el diseño. Además, se considera un desperdicio del 5% para esas cantidades.

Debido a que el proyecto está enfocado en el diseño estructural de la losa, se realizó la cuantificación de los elementos estructurales relacionados a la superestructura, en donde se realizaron las cuantificaciones de hormigón y acero para las columnas, vigas, escaleras y losa con ayuda de una plantilla programada y desarrollada en una hoja de cálculo en el programa Ms Excel. En la Figura 5.3, se muestra el formato de la plantilla utilizado para la cuantificación del peso del acero para columnas en donde se detalla el sector, elementos, una pequeña descripción de la ubicación del acero en el elementos estructural, diámetro de las varillas involucradas, número de veces de repetición de la varilla en el elemento, número de veces que el elemento se repite y la longitud de la varilla, estas variables son completadas de manera manual mientras que en las filas de "FIERRO (KG)" se realiza el cálculo del peso de cada varilla del elemento. La cuantificación de los elementos restantes se encuentra en el anexo.

Figura 5.3 Plantilla para cuantificación del acero de columnas

METRADO DE ACERO - COLUMNAS												
OBRA	EDIFICIO COMERCIAL - RESIDENCIAL DE 4 PISOS						D	10	18	20		
UBICACIÓN	KENNEDY NORTE - GUAYAQUIL, ECUADOR						kg/m	0.62	2.00	2.47		
FECHA	15/8/2024						cm2	0.79	2.55	3.14		
SECTOR	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	DETALLE DEL ACERO	D	N° DE VEGES	N° DE PIEZA	LONG PIEZA	FIERRO (KG)			PARCIAL (KG)	
								10	18	20		
PLANTA BAJA PISO 1	A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D4, G4	ACERO LONGITUDINAL		18	12	14	6		2016		2016	
				20	8	14	6			1659.8	1659.84	
		ESTRIBOS VINCHAS		10	2	95	1.78	209.68			209.684	
				10	1	95	1.48	87.172			87.172	
	D1, D2, D3, E1, E2, E3	ACERO LONGITUDINAL		18	12	6	6		864		864	
				20	8	6	6			711.36	711.36	
		ESTRIBOS VINCHAS		10	2	95	1.78	209.68			209.684	
				10	1	95	1.48	87.172			87.172	
	RESUMEN METRADO DE ACERO POR DIAMETRO								10	18	20	TOTAL (KG)
	CANTIDAD TOTAL DE ACERO S/DESPERDICIO (KG)								1294.6	5424	2371.2	9089.792
CANTIDAD TOTAL DE ACERO C/DESPERDICIO (KG)								1359.3	5695.2	2489.8	9544.2816	
CANTIDAD TOTAL DE ACERO EN VARILLAS (UN)								2193	2848	1008		

Nota. En la figura se muestra la cuantificación realizada para las columnas de planta baja, la elaboración de la plantilla fue propia tomando como referencia a Yury, 2022.

5.4 Valoración integral del costo del proyecto

Posterior a la obtención y cuantificación de materiales del proyecto, en la Figura 5.4 se presenta el presupuesto referencial desarrollado, el cual tiene un costo total de \$330,415.92.

Figura 5.4 Presupuesto referencial de proyecto

CÓDIGO	RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	1	PRELIMINARES				
1	1.01	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	M2	397.20	\$ 2.78	\$ 1,104.22
2	1.02	EXCAVACIÓN Y RELLENO	M3	362.28	\$ 32.25	\$ 11,683.53
	2	SUBESTRUCTURA				
3	2.01	HORMIGÓN PARA REPLANTILLO F'C=210 KG/CM2	M3	6.08	\$ 166.49	\$ 1,012.26
4	2.02	HORMIGÓN PARA ZAPATAS F'C=280 KG/CM2	M3	53.88	\$ 234.49	\$ 12,634.32
5	2.03	HORMIGÓN PARA RIOSTRAS F'C=210 KG/CM2	M3	11.52	\$ 269.73	\$ 3,107.29
6	2.04	CONTRAPISO HORMIGÓN SIMPLE F'C=180 KG/CM2 - E=5CM	M2	397.2	\$ 11.90	\$ 4,726.68
7	2.05	ACERO DE REFUERZO SUBESTRUCTURA F'Y=4200 KG/CM2	KG	6893.9	\$ 1.99	\$ 13,718.86
	3	SUPERESTRUCTURA				
8	3.01	HORMIGÓN EN COLUMNAS F'C=280 KG/CM2	M3	76.88	\$ 257.62	\$ 19,805.83
9	3.02	HORMIGÓN VIGAS SUPERIORES F'C=280 KG/CM2	M3	94.92	\$ 251.71	\$ 23,892.31
10	3.03	HORMIGÓN LOSA MACIZA H=12 CM F'C=350 KG/CM2	M3	192.80	\$ 332.67	\$ 64,138.78
11	3.04	ACERO DE REFUERZO SUPERESTRUCTURA F'Y=4200 KG/CM2	KG	58894.00	\$ 1.99	\$ 117,199.07
12	3.05	ACERO DE PRESFUERZO SUPERESTRUCTURA F'Y=17000 KG/CM2	KG	1627.50	\$ 10.78	\$ 17,544.45
	4	MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL				
13	4.01	MAMPOSTERIA DE BLOQUES 40X20X9 CM	M2	1418.82	\$ 10.82	\$ 15,351.63
14	4.02	MAMPOSTERIA DE BLOQUES 40X20X14 CM	M2	365.18	\$ 11.78	\$ 4,301.82
15	4.03	ENLUCIDO	M2	3568.00	\$ 5.66	\$ 20,194.88
COSTO TOTAL						\$ 330,415.92

Una vez obtenido el costo total del proyecto así mismo como el área de construcción cuyo valor es 1562 m², es posible calcular el costo por metro cuadrado del proyecto. Cabe recalcar que el costo por metro cuadrado únicamente se relaciona a la parte de obra gris del edificio. Finalmente, el costo por metro cuadrado del proyecto es de \$ 211.53/m².

Además, se realizó la comparación de la valoración presupuestaria con respecto al proyecto diseñado por Tinoco y Ormazza (2021), el cual realizó el diseño estructural del edificio Dionisio Chipotea cuyas dimensiones son las mismas al edificio desarrollado a lo largo de este proyecto, cabe mencionar que ambos edificios tienen el mismo objetivo constructivo, es decir, ambos son de carácter residencial – comercial. Para este edificio cuya área de construcción es de 1605.35 m² cuenta con un presupuesto referencial de \$365,311.01 para obra gris, se determinó un costo por metro cuadrado de \$ 227.56/m². Finalmente, se puede comprobar que el costo por m² de construcción obtenido para el proyecto con sistema postensado en losas presenta un valor aceptable recalcando que este valor no contempla detalles de acabados, mobiliarios o instalaciones básicas.

Se evidencia un ahorro significativo al realizar la comparación de ambos sistemas de losas para un mismo edificio. Por lo cual, es pertinente conocer a detalle el porcentaje que existe en diferente entre ambos presupuestos.

$$\%_{\text{ahorro}} = \frac{\$330,415.92 - \$365,311.01}{\$365,311.01} * 100 = 9.55\%$$

Específicamente, en el edificio planteado en el proyecto se tiene un ahorro del 9.55%, producido por las losas postensadas. Cabe recordar que dicho sistema mantiene un margen de ahorro entre el 12% al 27%. Por lo que el porcentaje de ahorro obtenido para este proyecto se encuentra cercano a lo estipulado. Esta tendencia se mantendrá para edificios con una mayor cantidad de pisos. No obstante, este ahorro es producido netamente por el sistema de losas. Debido a que el presupuesto y rubros de columnas, vigas, cimentación, entre otros serán idénticos entre ambos casos de estudio.

Evaluación final de alternativas

Luego de realizar las evaluaciones concernientes al presupuesto, impacto ambiental y logística del sistema de losas postensadas, se procederá a realizar la evaluación de la alternativa más factible. Se utilizará la rúbrica, tal cual se detalla en la Tabla 2.3, en el Capítulo 2. La Tabla 5.2 presenta la evaluación para un sistema convencional, mientras la Tabla 5.3 refiere a un sistema postensado.

Tabla 5.2. Evaluación del sistema de losas convencionales.

Evaluación de alternativas					
Diseño Constructivo	2	4	6	8	10
Transporte de materiales y herramientas					X
Accesibilidad de materiales					X
Implementación del diseño					X
Reciclaje de materiales de obra				X	
Tiempo de construcción			X		
Cumplimiento de normativas					X
Medio ambiente					
Impacto ambiental					X
Reducción de contaminación por construcción				X	
Costos					
Presupuesto				X	

Tabla 5.3. Evaluación del sistema de losas postensadas.

Evaluación de alternativas					
Diseño Constructivo	2	4	6	8	10
Transporte de materiales y herramientas				X	
Accesibilidad de materiales					X
Implementación del diseño					X
Reciclaje de materiales de obra					X
Tiempo de construcción					X
Cumplimiento de normativas					X
Medio ambiente					
Impacto ambiental					X
Reducción de contaminación por construcción					X
Costos					
Presupuesto					X

Luego de obtener los resultados definitivos del diseño estructural, presupuesto, cronograma y logístico, se realizó la valoración comparativa de ambos sistemas de losas. Por lo cual, mediante un análisis minucioso de cada factor, se logró evidenciar que las losas postensadas tienen una pequeña ventaja sobre las losas convencionales.

Únicamente, el transporte de materiales es la única dificultad que presenta la ciudad, debido a que algunos materiales de construcción son movilizados desde la ciudad de Quito hasta Guayaquil. Dicho inconveniente se puede solucionar luego de establecer bases sólidas sobre la implementación de losas postensadas. Considerando sus ventajas en rendimiento y ahorro.

A continuación, la Figura 5.5 presenta la evaluación integral de la comparación entre el costo de la losa postensada y convencional. Mientras que la Figura 5.6, se enfoca en la comparación del tiempo constructivo de la obra gris, tanto para la losa postensada como la convencional. Mediante aquello se logra evidenciar la diferencia y ventaja de la losa postensada sobre la convencional. Estos resultados fueron obtenidos mediante la tabla 5.2 y 5.3, las cuales se encaminan a seleccionar la opción más viable para el método constructivo de losas.

Figura 5.5. Evaluación integral del coste entre losa postensada y convencional.

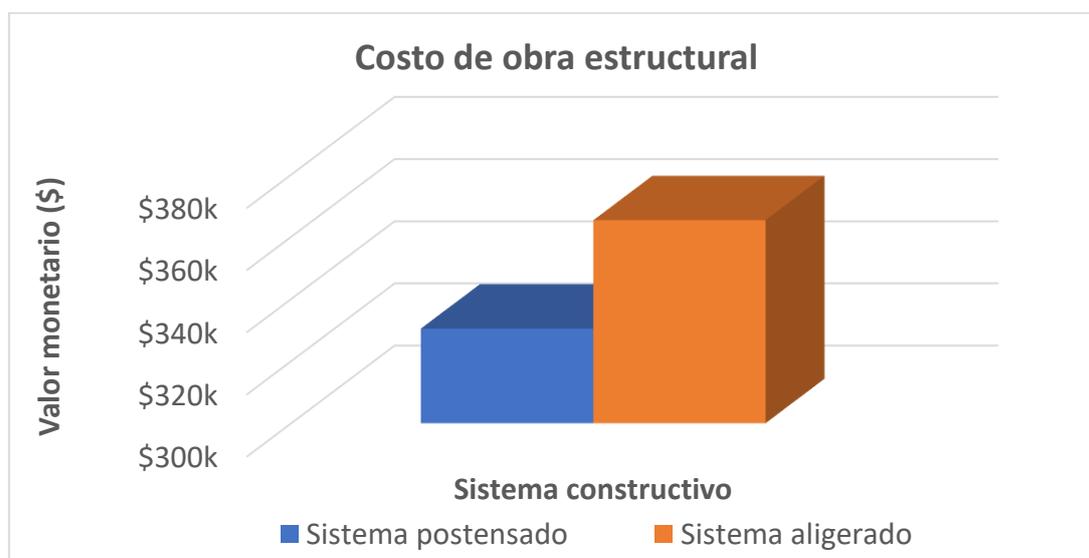
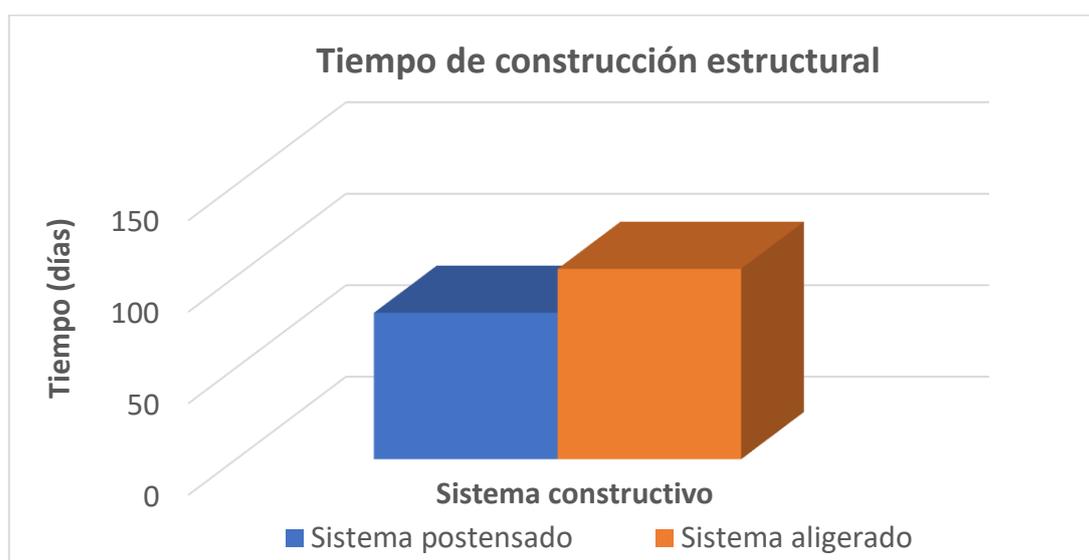


Figura 5.6 Evaluación integral del coste entre losa postensada y convencional.



5.5 Cronograma de obra

El cronograma desarrollado en el proyecto tiene como finalidad mostrar de manera detallada el proceso constructivo de la losa postensadas. Anteriormente se presentó de manera general un proceso constructivo.

5.6.1 Sistema constructivo

Para llevar a cabo la correcta aplicación del sistema postensado es importante conocer detalladamente el proceso constructivo que se realiza. Por lo cual, mediante una entrevista realizada

al Ing. Francisco Navas, se obtuvo la siguiente información con respecto al sistema constructivo de la losa postensada para un edificio:

Inicialmente, se realiza el armado del encofrado de fondo para la losa para posteriormente pasar con el encofrado perimetral, en el cual debe considerarse la colocación de un pocket form que servirá como molde para el torón.

Por consiguiente, se deberá de preparar los cables que contienen al torón que se tensará. Para aquello se deberá considerar la longitud específica que será determinada por el diseño y los planos. Cabe acotar, desde el extremo exterior de la losa se recomienda dejar por lo menos 1 metro de cable para realizar un postensado correcto. Adicionalmente, dependiendo del diseño, el cable tendrá una trayectoria en uno o ambos sentidos. Para el caso de este trabajo, tanto los tendones principales como los tendones por temperatura se tensarán en un solo sentido; por lo que tiene un extremo pasivo y uno activo tal cual se detalla en los planos. No obstante, por lo general, en el extremo pasivo del torón se coloca una placa de anclaje, la cual es la encargada de transmitir el esfuerzo a la losa.

Luego de preparar el torón para el postensado como se mencionó anteriormente, se colocará el anclaje pasivo en la ubicación correspondiente, como se haya estipulado en los planos. Por consiguiente, se deberán colocar los respectivos soportes plásticos dependiendo su ubicación y su altura, con la finalidad de definir la trayectoria del torón, tal y como se haya realizado el diseño.

Es importante mencionar, que el elemento principal para el sistema de losas postensadas como es el caso de los cables se los puede obtener mediante empresas de construcción en la ciudad de Guayaquil debido a que hay proveedores que se encargan del diseño de vigas de presfuerzo. Sin embargo, elementos adicionales como alzas plásticas, cuñas y anclajes encapsulados son transportados desde la ciudad de Quito. Debido que en dicho lugar se encuentra la empresa matriz que distribuye y elabora los elementos complementarios para el sistema de postensado.

Antes de la etapa de hormigonado, el fiscalizador y el residente de obra, tendrán que constatar que la trayectoria del torón se encuentre acorde a los planos, tanto la ubicación de cada

tendón como de las alzas plásticas. Después, se funde el hormigón, donde se tiene que considerar el anclaje encapsulado; y se espera hasta alcanzar su respectiva resistencia. Para este proyecto, una vez alcanzada la resistencia de 350 kg/cm², se realiza el tensado de los torones. Para aquello, en primera instancia se debe de retirar el anclaje encapsulado para simultáneamente colocar las cuñas. Posteriormente, luego de la instalación de las cuñas se comienza con la labor del tensado de los cables mediante un gato hidráulico.

Cabe mencionar, que existen casos de edificios donde tienen una secuencia de tensado la cual se detalla en los planos. Para este proyecto, no existe una secuencia predefinida. Sin embargo, esto no afectará al postensado ni a las características de la losa, por lo que el orden del postensado queda a criterio de la empresa que brinda dicho servicio.

Luego del tensado de los torones, se corta el tendón sobrante, el cual sirve únicamente para el momento del tensado. Por consiguiente, se coloca una tapa proveniente del sistema encapsulado. Y como último paso, se coloca el mortero para el sellado final de la losa. Adicionalmente, un dato importante, es que el tiempo del desencofrado se lo puede realizar al tercer día de haber completado el proceso antes mencionado.

Por último, mediante una visita técnica a un edificio en construcción ubicado en la ciudad de Guayaquil, se obtuvo la figura 5.7 referente al sistema constructivo.

Figura 5.7. Trayectoria del torón



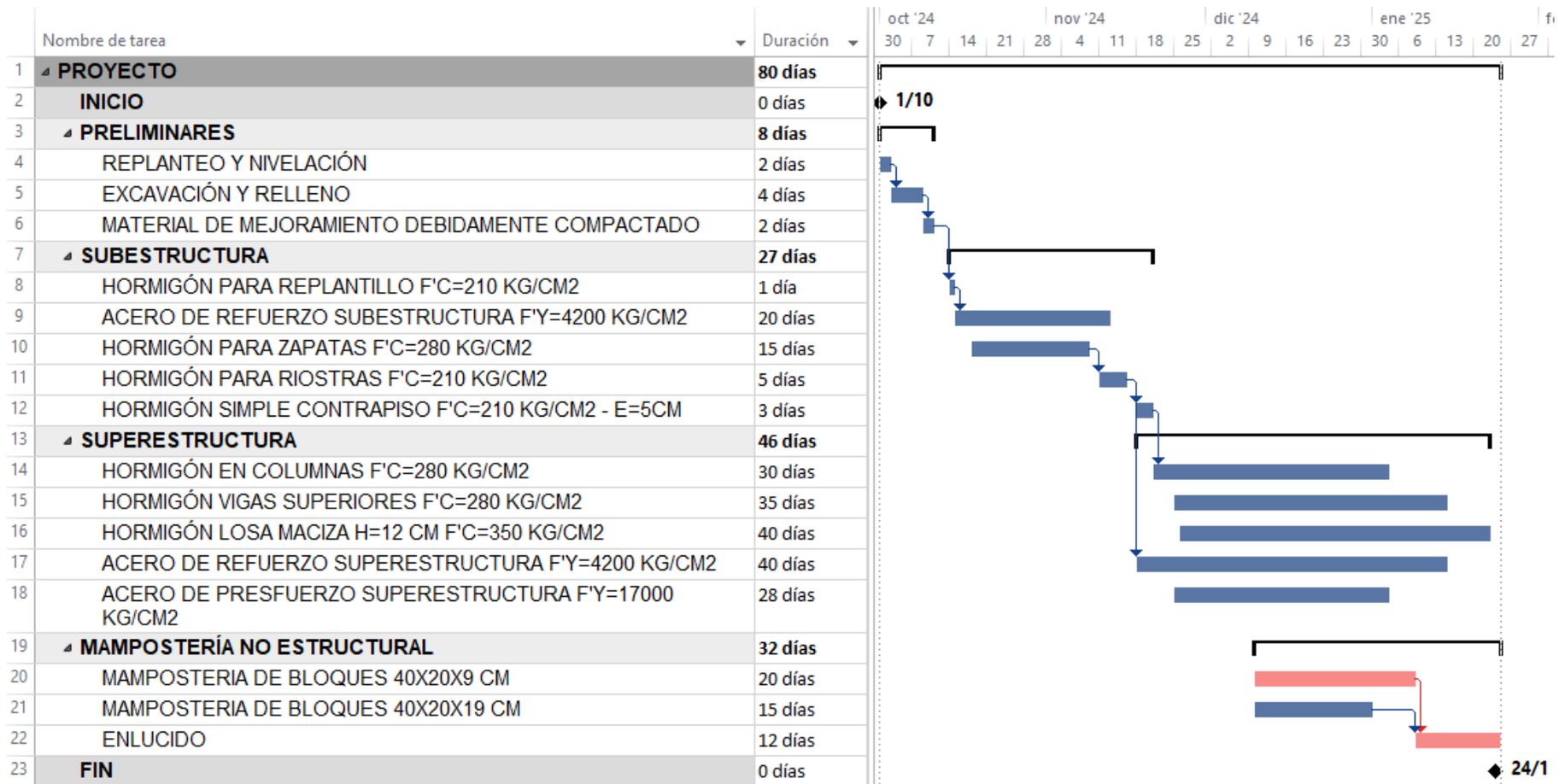
Nota. Foto tomada durante la visita a edificio en construcción de Guayaquil.

5.6.2 Cronograma

Para visualizar de mejor manera la duración de cada actividad involucrada en el proceso constructivo de la losa postensada, se utilizó el programa MS Project el cual permite gestionar y desarrollar proyectos complejos con múltiples tareas.

En la Figura 5.7, se puede observar la ruta crítica del procedimiento constructivo. Es de gran importancia conocer la ruta crítica para poder gestionar las soluciones adecuadas para el proyecto para evitar que sucedan muy pocos errores. La ruta crítica hace referencia a la etapa de levantamiento de mampostería.

Figura 5.8 Cronograma de actividades



Capítulo 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La implementación de las losas postensadas en la construcción representa una innovación significativa en la ingeniería civil en Guayaquil, promoviendo la sostenibilidad y la eficiencia estructural.

En primera instancia, se diseñó una losa postensada para un edificio de 4 pisos. No obstante, para ejecutar el diseño se utilizó el libro guía "Post Tensioning Manual" del Instituto del Postensado en conjunto con el código ACI 319. Entre los elementos esenciales para llevar a cabo el armado, se utilizaron torones de $\frac{1}{2}$ pulg (12.7 mm) tanto para la dirección principal como la dirección por temperatura. Además, durante el armado el cable del torón debe tener una trayectoria predispuesta por el ingeniero estructural. Para aquello se dispone de alzas plásticas de diferentes medidas detalladas en los planos, las cuales se encargarán de direccionar el torón. Por último, se colocarán anclajes encapsulados los que se colocarán en el extremo del torón activo, para junto con el gato hidráulico, realizar la función del tensado.

El principal factor diferenciador entre ambos sistemas constructivos de losas es el espesor de esta. Mediante la aplicación de las diferentes normativas y ecuaciones, se calculó que para esta construcción e implementado losas aligeradas en una dirección, el espesor será de 35 cm. Mientras que el espesor de la losa postensada será de 13 cm.

Mediante un análisis comparativo del proceso constructivo de ambos sistemas se obtuvieron más ventajas referentes a las losas postensadas. En primer lugar, las losas postensadas tendrán un mayor ahorro con respecto a la cantidad de material utilizado. Del mismo modo, las losas postensadas poseerán una menor duración con respecto al tiempo de construcción total. Para este proyecto, se tiene contemplado que la duración con un sistema aligerado sea de 104 días. Mientras que un sistema postensado solamente durará 80 días. Por lo cual, habrán 24 días de diferencia en construcción. Mediante estos factores, se reduce considerablemente la contaminación producida por la construcción.

La evaluación del impacto ambiental para losas postensadas, realizada mediante la matriz de Leopold, determinó un impacto ambiental “despreciable” de 3.30, indicando un bajo riesgo de contaminación. Las actividades con mayor impacto se dieron en la fase operativa, especialmente en la habitabilidad del edificio, y en la fase constructiva, con la limpieza, corte de materiales, fundición de la losa e inyección de grout. Se propusieron medidas de mitigación específicas para controlar las emisiones de gases, el uso del agua y la gestión de residuos. Sin embargo, el sistema enfrenta limitaciones ambientales relacionadas con los nuevos materiales, como el hormigón de alta resistencia y el acero de presfuerzo, destacando la importancia de comprender su ciclo de vida para reducir emisiones de CO₂. A pesar de estas limitaciones, el sistema postensado es viable técnica y estructuralmente, y contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible al reducir el uso de materiales y minimizar el impacto ambiental.

Por último, en lo que concierne al presupuesto contemplando la obra gris del proyecto, se evidenció una reducción económica considerable en el proyecto donde se utilizaron losas postensadas. Sin embargo, el costo final del edificio puede tener una reducción siempre y cuando se implementen empresas que abastezcan productos de postensados en la ciudad de Guayaquil. Con el presupuesto actual existente en el Ecuador, se pudo evidenciar una reducción de costos del 9.55% del sistema postensado sobre las losas aligeradas.

Mediante las premisas expuestas, se comprueba que la metodología de losas postensadas tiene algunas ventajas en relación con el sistema convencional aligerado. Por lo que se evidencia reducción en el costo del proyecto, impacto ambiental y duración de la obra. De esta manera las losas posteadas representan un método óptimo para edificio con más de 4 niveles.

6.2 Recomendaciones

A lo largo del proyecto, se evidenciaron ciertas ventajas al momento de aplicar un sistema de losas postensadas. No obstante, existen ciertas consideraciones para tener en cuenta antes y

durante el proceso constructivo. También, se tendrán que mejorar ciertos criterios de logística. Por lo cual, las recomendaciones más relevantes son:

- Mediante los planos, verificar que las alzas plásticas y los anclajes encapsulados se encuentren colocados tal cual lo descrito por el ingeniero estructural.
- Los planos deben de tener todas las especificaciones con respecto a la trayectoria del torón como las distancias de separación de los torones, la distancia entre soportes plásticos. Las medidas tienen que estar detalladas tanto en altura como en longitud.
- Verificar que la curvatura del torón sea la adecuada.
- Corroborar que la trayectoria del torón no se haya modificado luego de la colocación del hormigón.
- Con el pasar del tiempo, se tiene que ampliar el mercado del postensado. Con la finalidad, de que el transporte de algunos materiales desde la matriz en Quito no sea un impedimento o costo adicional.
- Se evidencia que el presupuesto general con un sistema de losa postensada para un edificio de 4 niveles es menor que una losa aligerada. No obstante, es preferible que esta metodología sea utilizada para construcciones más grandes. Con el objetivo de que la diferencia de costos sea más pronunciada.
- Es importante tener todas las medidas de seguridad al momento de realizar el tensado del torón. Debido que, al momento de realizar esta acción, la persona encargada del tensado se coloca sobre una plataforma pequeña de aproximadamente 60 cm.
- Debido al diseño estructural, es recomendable extender el cable del torón aproximadamente un metro desde la parte exterior de la losa.
- Debido a que el sistema de losas postensadas es una metodología nueva en el mercado ecuatoriano, pueden existir variaciones con respecto al presupuesto.

Referencias

- Ahmad, O., Sadeghi, K., & Nouban, F. (2023). Comparison of the post-tensioned, solid, hollow block, and flat slabs in terms of economy considering different span lengths.
- American Concrete Institute (2019). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19).
- Arias-Salazar, D., & Naranjo-Bustos, C. (2022). Comparación Económica De Dos Tipos De Losas Con Sistema Tradicionales vs. Losas Postensadas En Quito - Ecuador. 593 Digital Publisher CEIT, 7(4-2), 458-469 <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.4-2.1084>
- Ching, F. D. K. (2014). Building Construction Illustrated (5th ed.). Wiley.
- Cross, E. (2007). Post-tensioning in building structures. Concrete in Australia, 33(4), 48-54.
- De Jesús Delfina & Sánchez Carreón, S. M. (2009) Análisis y diseño de edificio habitacional a base de losas postensadas (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco, México, DF.
- Ergon Infra (2018). Post-tensioning systems. Ergon Infra. <https://www.ergoninfra.com/post-tensioning-systems/>
- García Segura A. K. (2017). Manual De Proceso Constructivo De Losas Bubble Deck (BDM R) Para Edificaciones. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma De México, México. Recuperado de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/13538>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (2015). Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC 2015)
- LoopNet (2024). 3600 American Blvd W, Bloomington, MN. LoopNet. <https://www.loopnet.com/Listing/3600-American-Blvd-W-Bloomington-MN/24182175/>
- MacGregor, J. G., & Wight, J. K. (2012). "Reinforced Concrete: Mechanics and Design." Pearson Education.
- Martínez Centeno, M. P., & Tavera Gómez, J. A. (2019). Análisis y diseño de losas con agregados no convencionales.

- Mays, G. (1992). *Durability of Concrete Structures*. E & FN Spon.
- McDaniel, Don (1982). *Post-Tensioning System* (1st ed.) VSL Corporation
- Merchán, I. (2015). *Estudios de suelo - Residencia Ivan Merchán*. Guayaquil.
- Morán, M. (2015). *Ciudades. Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Moussard, M., Garibaldi, P., & Curbach, M. (2018). The invention of Reinforced concrete (1848–1906). In *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet: Proceedings of the 2017 fib Symposium, held in Maastricht, The Netherlands, June 12-14, 2017* (pp. 2785-2794). Springer International Publishing.
- Ormaza, J. Tinoco, Y. (2021). *Diseño Estructural de una edificación de 4 pisos ubicado en Manta, implementando la Metodología BIM*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Post-Tensioning Institute (2006). *Post-Tensioning Manual*.
- Primicias (2022). *Censo Ecuador 2022: Innovación, seguridad y calidad de datos*. Primicias.
<https://www.primicias.ec/noticias/patrocinado/censo-ecuador-2022-innovacion-seguridad-calidad-datos/>
- Primicias (2023). *Guayaquil vuelve a ser la ciudad más poblada de Ecuador*. Primicias.
<https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/censo-ecuador/censo-guayaquil-ciudad-inec-poblacion/>
- Reddy, B. L., & Narendar, K. (2020). *Design and comparative analysis of conventional slab and voided slab lightened with polypropylene*.
- Secretaría de Gestión de Riesgos (2016). *Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Structural Group (2024). *External post-tensioning for garage*. Structural ME.
<https://www.structural-me.com/external-post-tensioning-garage/>

- T. Bardají C. J. Dabrio J. L. Goy J. A. Jiménez C. Mösso V. Rivas L. Salas J. P. Sierra H. Valdemoro. (s/f). Impactos sobre las zonas costeras. En I. Losada R. Medina C. Peña J. Rodríguez-Vidal F. Vilas (Ed.), Impactos, vulnerabilidad y adaptación.
- Vera, X. (2016). Elaboración del documento de la microzonificación sísmica y geotécnica de la microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de guayaquil según la norma ciudad de guayaquil según la norma ecuatoriana de la construcción 2011ecuatoriana de la construcción 2011. Quito: Secretaría de Gestión de Riesgos.
- Vera, X., Kayen, R., Tandazo, E., Ramírez, J., & Vera, J. (2005). Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil. En UCSG. M.I. Municipalidad De Guayaquil.

Anexos

Calculo de tesis

Información preliminar

Resistencia del hormigón:
$$F'c := 350 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 4978.17 \text{ psi}$$

Espesor de la losa

$$l_h := 48$$

$$Luz := 5.94 \cdot m = 233.858 \text{ in}$$

$$e_1 := \frac{Luz}{l_h} = 4.872 \text{ in}$$

$$e := 5.0 \text{ in} = 12.7 \text{ cm}$$

$$e_f := 13 \text{ cm}$$

Determinar la carga

Carga muerta

$$CM := 675 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 138.251 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

$$CM_f := CM \cdot 1.2 = 165.901 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

$$CM_f = 810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Carga viva

$$CV := 250 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CV_f := CV \cdot 1.6 = 400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Carga total

$$CT := CM_f + CV_f = 1210 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$ctt := CM + CV = 925 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Estimar la carga equilibrada

Se supone que el 65% de las cargas muertas están equilibradas por el postensado

$$W_{bal} := 0.65 \cdot CM = 438.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Momento máximo negativo por carga muerta

Apoyo 1	Apoyo 2	Apoyo 3	Apoyo 4	Apoyo 5
Momento máximo negativo por carga muerta				
0	- 2.7661	- 1.4146	- 2.9119	0

Apoyo 1	Apoyo 2	Apoyo 3	Apoyo 4	Apoyo 5
0	- 1.1068	- 0.5660	- 1.1651	0

Modelo tentativo de la configuración del torón

$$Mitad_espesor := \frac{ef}{2} = 6.5 \text{ cm}$$

$$Rec_sup := 2.25 \text{ in} = 5.715 \text{ cm}$$

$$Rec_sup1 := 5.70 \text{ cm}$$

$$Rec_inff := 1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$$

$$Rec_inf := 1.75 \text{ in} = 4.445 \text{ cm}$$

$$Rec_inff1 := 2.55 \text{ cm}$$

$$Rec_inf1 := 4.50 \text{ cm}$$

Determinar las fuerzas de postensado y el perfil del tendón

Flecha del tendón en los extremos del tramo:

$$a_{end} := \frac{Mitad_espesor + (ef - Rec_sup1)}{2} - Rec_inf1 = 2.4 \text{ cm}$$

Flecha del tendón en los tramos interiores: $a_{int} := ef - Rec_sup1 - Rec_inff1 = 4.75 \text{ cm}$

Determinar la fuerza del tendón

$$W_{bal} = 438.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Extremos:

Internos:

$$F_{end} := \frac{W_{bal} \cdot Luz^2}{8 \cdot a_{end}} = 80.629 \frac{\text{tonne}}{\text{m}}$$

$$F_{int} := \frac{W_{bal} \cdot Luz^2}{8 \cdot a_{int}} = 40.739 \frac{\text{tonne}}{\text{m}}$$

$$F_e := \frac{F_{end}}{ef} = 620.219531 \frac{\text{tonne}}{\text{m}^2}$$

$$F_i := \frac{F_{int}}{ef} = 313.374079 \frac{\text{tonne}}{\text{m}^2}$$

Combinar momentos y ajustar a la sección crítica

Reducción del momento negativo:

$$M_{neto} := 486.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$V_{net} := \frac{M_{neto} \cdot Luz}{2} = 1.444 \text{ tonne}$$

$$ancho_columna := 45 \text{ cm} \quad Vc_3 := V_{net} \cdot \frac{1}{3} \cdot ancho_columna = 0.21662 \text{ (tonne} \cdot \text{m)}$$

Modulo de sección de la losa:

$$Ancho_e := 5.94 \text{ m} - 45 \text{ cm} = 5.49 \text{ m}$$

$$S := \frac{Ancho_e \cdot ef^2}{6} = 0.01546 \text{ m}^3$$

$$S_1 := \frac{S}{1 \text{ m}} = 0.0154635 \frac{\text{m}^3}{\text{m}}$$

El M/S es la división entre el momento en la cara y modulo de sección de la losa

Esfuerzo máximo de tracción del concreto: $ET := 4.27 \cdot \sqrt{F'c} \cdot \text{psi} = 0.301 \text{ ksi}$

$$ET = 211.817 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^2}$$

Calcular momento de diseño

$$w_{bal} := 438.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

1. Calcular momentos secundarios

$$Vc_3_S := w_{bal} \cdot \frac{Luz}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot ancho_columna = 0.195 \text{ (tonne} \cdot \text{m)}$$

$$Exccentricidad := -Mitad_espesor + Rec_inff1 + a_{int} = 0.8 \text{ cm}$$

$$Fe_1 := F_{end} \cdot Exccentricidad = 0.645 \text{ tonne}$$

$$Fe_2 := F_{int} \cdot Exccentricidad = 0.326 \text{ tonne}$$

Determinación de la fuerza máxima del tendón

$$fpu := 1860 \cdot \text{MPa}$$

$$Esfuerzo_max := 0.7 \cdot fpu = 1302 \text{ MPa}$$

$$fse := Esfuerzo_max - (0.17 \cdot Esfuerzo_max) = 1080.66 \text{ MPa}$$

Esfuerzo último del tendón en el extremo

$$A_t := 98.71 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{et} := f_{se} \cdot A_t = 106.672 \text{ kN}$$

$$f_{se} = (1.081 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

$$F_{end1} := 80.629 \text{ tonnef}$$

$$F_{int1} := 40.739 \text{ tonnef}$$

$$d := \frac{8.5 \text{ cm} + 7.3 \text{ cm}}{2} = 7.9 \text{ cm}$$

$$cuentia1 := \frac{\frac{F_{end1}}{F_{et}} \cdot A_t}{d \cdot \text{Ancho}_e} = 0.001687$$

$$f_{ps} := f_{se} + 70 \text{ MPa} + \frac{F'c}{300 \cdot cuentia1} = 1218.478 \text{ MPa}$$

Esfuerzo último del tendón en la losa interior

$$cuentia2 := \frac{\frac{F_{int1}}{F_{et}} \cdot A_t}{d \cdot \text{Ancho}_e} = 0.0008524$$

$$f_{ps2} := f_{se} + 70 \text{ MPa} + \frac{F'c}{300 \cdot cuentia2} = 1284.882 \text{ MPa}$$

Fuerza de pretensado en el extremo

$$F_{textremo} := \frac{f_{ps}}{f_{se}} \cdot F_{end} = 90.911 \frac{\text{tonne}}{\text{m}}$$

Fuerza de pretensado en el vano interior

$$F_{tintemo} := \frac{f_{ps2}}{f_{se}} \cdot F_{int} = 48.437 \frac{\text{tonne}}{\text{m}}$$

Capacidad de diseño

$$\text{Area}_a := 1.13 \cdot \text{cm}^2$$

Extremo

$$As1 := cuentia1 \cdot e_f \cdot 1 \text{ m} = 2.193 \text{ cm}^2$$

$$Asp := Area_a \cdot 2 = 2.26 \text{ cm}^2$$

$$Fy := 4200 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$Ftextremo1 := Ftextremo \cdot 1 \text{ m} = 90.911 \text{ tonne}$$

$$Asp_Fy1 := Asp \cdot Fy = 9.492 \text{ tonne}$$

$$Tu1 := Ftextremo1 + Asp_Fy1 = 100.403 \text{ tonne}$$

$$a1 := 3.37 \text{ cm}$$

$$Mu1 := 0.9 \cdot Tu1 \cdot \left(8.5 \text{ cm} - \frac{a1}{2} \right) = 6.158 \text{ tonne} \cdot \text{m}$$

Primer apoyo interior

$$Mu2 := 0.9 \cdot Tu1 \cdot \left(7.3 \text{ cm} - \frac{a1}{2} \right) = 5.074 \text{ tonne} \cdot \text{m}$$

Vano interior

$$Ftintemo1 := Ftintemo \cdot 1 \text{ m} = 48.437 \text{ tonne}$$

$$Tu2 := Ftintemo1 + Asp_Fy1 = 57.929 \text{ tonne}$$

$$a2 := 1.95 \text{ cm}$$

$$Mu3 := 0.9 \cdot Tu2 \cdot \left(10.45 \text{ cm} - \frac{a2}{2} \right) = 4.94 \text{ tonne} \cdot \text{m}$$

Apoyo del vano interior

$$Mu4 := 0.9 \cdot Tu2 \cdot \left(7.3 \text{ cm} - \frac{a2}{2} \right) = 3.298 \text{ tonne} \cdot \text{m}$$

Limite de la capacidad de carga del tramo interior

$$Mreque := (CT \cdot 1 \text{ m}) \cdot \frac{(Luz - ancho_columna)^2}{8} = 4.559 \text{ tonne} \cdot \text{m}$$

$$Multimo := Mu3 + Mu4 = 8.238 \text{ tonne} \cdot \text{m}$$

Capacidad por corte

$$Vreque := (CT \cdot 1 \text{ m}) \cdot \frac{(Luz - ancho_columna)}{2} + \frac{3.966 \cdot \text{tonne} \cdot \text{m}}{Luz} = 3.989 \text{ tonne}$$

$$V_{pro} := 0.75 \cdot 1 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ m} \cdot 8.5 \text{ cm} = 6.501 \text{ tonnef}$$

Deflexión permisible

$$permisin := \frac{Luz}{360} = 16.5 \text{ mm}$$

METRADO DE ACERO - COLUMNAS

OBRA EDIFICIO COMERCIAL - RESIDENCIAL DE 4 PISOS
 UBICACIÓN KENNEDY NORTE - GUAYAQUIL, ECUADOR
 FECHA 15/8/2024

D	5.5	8	10	12	15	18	20	22	24
kg/m	0.34	0.5	0.62	0.89	1.39	2	2.47	2.98	3.7
cm2	0.43	0.63	0.79	1.13	1.77	2.55	3.14	3.8	4.71

SECTOR	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	DETALLE DEL ACERO	D	N° DE VECES	N° DE PIEZAS	LONG PIEZA	FIERRO (KG)								PARCIAL (KG)	
								5.5	8	10	12	15	18	20	22		24
PLANTA BAJA PISO 1	A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D4, G4	ACERO LONGITUDINAL	6	18	12	14	6							2016		2016	
				20	8	14	6						1659.8		1659.84		
		ESTRIBOS VINCHAS	Gancho 0.10	10	2	95	1.78			209.68							209.684
			10	1	95	1.48			87.172								87.172
	D1, D2, D3, E1,E2,E3	ACERO LONGITUDINAL	6	18	12	6	6							864		864	
				20	8	6	6						711.36		711.36		
ESTRIBOS VINCHAS		Gancho 0.10	10	2	95	1.78			209.68							209.684	
		10	1	95	1.48			87.172								87.172	
PISO 2 PISO 3	A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D4, G4	ACERO LONGITUDINAL	6	18	20	14	6							3360		3360	
				10	2	87	1.38			148.87						148.8744	
		ESTRIBOS VINCHAS	Gancho 0.10	10	1	87	0.84			45.31							45.3096
			18	20	6	6								1440		1440	
	D1, D2, D3, E1,E2,E3	ACERO LONGITUDINAL	6	18	20	6	6								1440		1440
				10	2	87	1.38			148.87							148.8744
ESTRIBOS VINCHAS		Gancho 0.10	10	1	87	0.84			45.31							45.3096	
PISO 4	D1, D2, D3, E1,E2,E3	ACERO LONGITUDINAL	6	18	4	6	6							288		288	
				10	2	38	0.98			46.178							46.1776
		ESTRIBOS VINCHAS	0.17	Gancho 0.10	10	2	38	0.98			46.178						46.1776
RESUMEN METRADO DE ACERO POR DIAMETRO								5.5	8	10	12	15	18	20	22	24	TOTAL (KG)
CANTIDAD TOTAL DE ACERO S/DESPERDICIO (KG)								0	0	1028.3	0	0	7968	2371.2	0	0	11367.4576
CANTIDAD TOTAL DE ACERO C/DESPERDICIO (KG)								0	0	1079.7	0	0	8366.4	2489.8	0	0	11935.8305
CANTIDAD TOTAL DE ACERO EN VARILLAS (UN)								0	0	1742	0	0	4184	1008	0	0	

PISO 3 PISO 4	EJE 2 EJE 3	VP25X40	REFUERZO A TENSION		16	12	4	32					2411.5				2411.52		
			REFUERZO A TENSION		18	12	4	12						1152				1152	
			REFUERZO A COMPRESION		16	12	4	26						1959.4				1959.36	
				ESTRIBOS	 0.32	0.17	Gancho	0.1	10	195	4	1.08		522.29				522.288	
	EJE G'	V20X35	REFUERZO A TENSION		12	2	2	5.25					13.02				13.02		
			REFUERZO A COMPRESION		12	4	2	7.25					35.96				35.96		
			ESTRIBOS	 0.27	0.12	Gancho	0.1	10	24	2	0.88		26.189				26.1888		
	EJE 1'	V25X40	REFUERZO A TENSION		14	8	2	15.95					308.79				308.792		
			REFUERZO A COMPRESION		14	6	2	12.95					188.03				188.034		
			ESTRIBOS	 0.17	0.32	Gancho	0.1	10	80	2	1.08		107.14				107.136		
	EJE 3'	V20X35	REFUERZO A TENSION		12	3	2	7.55					28.086				28.086		
			REFUERZO A COMPRESION		12	4	2	7.75					38.44				38.44		
			ESTRIBOS	 0.27	0.12	Gancho	0.1	10	35	2	0.88		38.192				38.192		
	EJE D'	V20X35	REFUERZO A TENSION		14	2	2	4					19.36				19.36		
			REFUERZO A COMPRESION		14	2	2	4					19.36				19.36		
ESTRIBOS			 0.27	0.12	Gancho	0.1	10	23	2	0.88		25.098				25.0976			
RESUMEN METRADO DE ACERO POR DIAMETRO										5.5	8	10	12	15	18	20	22	24	TOTAL (KG)
CANTIDAD TOTAL DE ACERO S/DESPERDICIO (KG)										0	4179	213.37	1051.7	39638	1152	0	0	0	46233.9393
CANTIDAD TOTAL DE ACERO C/DESPERDICIO (KG)										0	4388	224.04	1104.3	41620	1209.6	0	0	0	48545.6362
CANTIDAD TOTAL DE ACERO EN VARILLAS (UN)										0	7078	362	913	26510	605	0	0	0	

P2 P3 P4	REFUERZO INFERIOR		18	8	3	3.8								182.4					182.4	
	REJILLA		8	44	3	1.2								79.2					79.2	
	REFUERZO SUPERIOR		10	8	1	4.36								21.63					21.6256	
	REFUERZO INFERIOR		10	8	1	4.95								24.55					24.552	
	REFUERZO INFERIOR		10	2	38	1.68								79.16					79.1616	
	REJILLA		8	60	3	1.2								108					108	
RESUMEN METRADO DE ACERO POR DIAMETRO							5.5	8	10	12	15	18	20	22	24	TOTAL (KG)				
CANTIDAD TOTAL DE ACERO S/DESPERDICIO (KG)							0	268.8	362.6	0	0	266.7	0	0	0	0	898.096			
CANTIDAD TOTAL DE ACERO C/DESPERDICIO (KG)							0	282.2	380.7	0	0	280.1	0	0	0	0	943.0008			
CANTIDAD TOTAL DE ACERO EN VARILLAS (UN)							0	565	615	0	0	141	0	0	0	0				

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	1.01	UNIDAD:	M2
DETALLE:	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	RENDIMIENTO (HORA/M2)	0.100
		RENDIMIENTO (M2/HORA)	10
		RENDIMIENTO (M2/DÍA)	80.00

EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Equipo topográfico	1.00	3.75	3.75	0.100	0.375
Herramientas menores % M.O. (5%)					0.087
SUBTOTAL M					0.462

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Cadenero	1.00	4.20	4.20	0.100	0.420
Maestro de obra	1.00	4.50	4.50	0.100	0.450
Topógrafo	1.00	4.65	4.65	0.100	0.465
Peón	1.00	4.05	4.05	0.100	0.405
SUBTOTAL N					1.740

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Tiras 2.5 x 2.5 x 250 cm	UNIDAD	0.20	0.38	0.076
Estacas	UNIDAD	0.20	0.15	0.030
Clavos chicos 2, 2 1/2", 3"	CAJA	0.01	2.10	0.019
Piola de 1000m	ROLLO	0.01	5.00	0.050
SUBTOTAL O				0.175

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	2.377
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 0.404
COSTO TOTAL DEL RUBRO	2.781
VALOR OFERTADO	2.78

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 1.02 **UNIDAD:** M3
DETALLE: EXCAVACIÓN Y RELLENO **RENDIMIENTO (HORA/M3)** 0.125
RENDIMIENTO (M3/HORA) 8
RENDIMIENTO (M3/DÍA) 64.00

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Retroexcavadora (P=75 HP)	1.00	35.00	35.00	0.125	4.375
Volqueta 8 m3 (P=175 HP)	1.00	25.00	25.00	0.125	3.125
Motoniveladora (P=145 HP)	1.00	45.00	45.00	0.125	5.625
Tanquero de agua 8m3	1.00	20.00	20.00	0.125	2.500
Rodillo liso doble tambor (P=10 Ton)	1.00	30.00	30.00	0.125	3.750

SUBTOTAL M 19.375

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Maestro de obra	0.10	4.50	0.45	0.125	0.056
Peón	3.00	4.05	12.15	0.125	1.519
Operador de maquinaria	1.00	4.65	4.65	0.125	0.581
Chofer licencia tipo E	1.00	6.10	6.10	0.125	0.763

SUBTOTAL N 2.919

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Agua	M3	0.03	0.85	0.021
Material de mejoramiento	M3	1.05	5.00	5.250

SUBTOTAL O 5.271

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				

SUBTOTAL P 0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	27.565
INDIRECTOS Y UTILIDADES 17.00%	4.686
OTROS INDIRECTOS 0.00	0.000
COSTO TOTAL DEL RUBRO	32.251
VALOR OFERTADO	32.25

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	2.01	UNIDAD: M3
DETALLE:	HORMIGÓN PARA REPLANTILLO	RENDIMIENTO (HORA/M3) 0.320
	F'C=210 KG/CM2	RENDIMIENTO (M3/HORA) 3.125
		RENDIMIENTO (M3/DÍA) 25.00

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Vibrador de mangera	1.00	4.00	4.00	0.320	1.280
Bomba estacionaria	1.00	11.27	11.27	0.320	3.606
Herramientas Menores % M.O. (5%)					0.270
SUBTOTAL M					5.156

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	2.00	4.05	8.10	0.320	2.592
Albañil	0.38	4.10	1.54	0.320	0.492
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	0.320	1.312
Maestro de obra	0.10	4.50	0.45	0.320	0.144
Carpintero	0.38	4.10	1.54	0.320	0.492
SUBTOTAL N					5.032

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
H. Premezclado 210 Kg/cm2-18mm-12cm-28d HOLCIM	M3	1.05	120.37	126.389
Tabla de encofrado de 30cmx2.5cmx300cm	UNIDAD	2.00	2.80	5.600
Clavos 2 1/2"	KG	0.06	2.10	0.126
SUBTOTAL O				132.115

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	142.303
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 24.191
OTROS INDIRECTOS	0.00 0.000
COSTO TOTAL DEL RUBRO	166.494
VALOR OFERTADO	166.49

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	2.02	UNIDAD: M3
DETALLE:	HORMIGÓN PARA ZAPATAS F'C=280	RENDIMIENTO (M3/DÍA) 0.320
	KG/CM2	RENDIMIENTO (M3/DÍA) 3.125
		RENDIMIENTO (M3/DÍA) 25.00

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Vibrador de mangera	1.00	4.00	4.00	0.320	1.280
Bomba estacionaria	1.00	11.27	11.27	0.320	3.606
Herramientas Menores % M.O. (5%)					0.270
SUBTOTAL M					5.156

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	4.00	4.05	16.20	0.320	5.184
Albañil	2.00	4.10	8.20	0.320	2.624
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	0.320	1.312
Maestro de obra	0.10	4.50	0.45	0.320	0.144
Carpintero	2.00	4.10	8.20	0.320	2.624
SUBTOTAL N					11.888

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
H. Premezclado 280 Kg/cm2-18mm-12cm-28d HOLCIM	M3	1.05	128.94	135.387
Tabla de encofrado de 30cmx2.5cmx300cm	UNIDAD	10.00	2.80	28.000
Cuartones de encofrado 5cmx5cmx300cm	UNIDAD	8.00	2.00	16.000
Clavos 2 1/2"	KG	1.90	2.10	3.990
SUBTOTAL O				183.377

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	200.421
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 34.072
COSTO TOTAL DEL RUBRO	234.493
VALOR OFERTADO	234.49

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	2.03	UNIDAD: M3
DETALLE:	HORMIGÓN PARA RIOSTRAS F'C=210	RENDIMIENTO (HORA/M3) 1.600
	KG/CM2	RENDIMIENTO (M3/HORA) 0.625
		RENDIMIENTO (M3/DÍA) 5.00

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Vibrador de mangera	1.00	4.00	4.00	1.600	6.400
Bomba estacionaria	1.00	11.27	11.27	1.600	18.032
Herramientas Menores % M.O. (5%)					0.270
SUBTOTAL M					24.702

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	3.00	4.05	12.15	1.600	19.440
Albañil	2.00	4.10	8.20	1.600	13.120
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	1.600	6.560
Maestro de obra	0.10	4.50	0.45	1.600	0.720
Carpintero	1.00	4.10	4.10	1.600	6.560
SUBTOTAL N					46.400

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
H. Premezclado 210 Kg/cm2-18mm-12cm-28d HOLCIM	M3	1.05	120.37	126.389
Tabla de encofrado de 30cmx2.5cmx300cm	UNIDAD	10.00	2.80	28.000
Cuartones de encofrado 5cmx5cmx300cm	UNIDAD	2.00	2.00	4.000
Clavos 2 1/2"	KG	0.50	2.10	1.050
SUBTOTAL O				159.439

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	230.541
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 39.192
COSTO TOTAL DEL RUBRO	269.732
VALOR OFERTADO	269.73

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	2.04	UNIDAD: M2
DETALLE:	CONTRAPISO HORMIGÓN SIMPLE	RENDIMIENTO (HORA/M2) 0.133
	F'C=180 KG/CM2 - E=5CM	RENDIMIENTO (M2/HORA) 7.50
		RENDIMIENTO (M2/DÍA) 60.00

EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Vibrador de mangera	1.00	4.00	4.00	0.133	0.533
Concretera	1.00	4.48	4.48	0.133	0.597
Herramientas Menores % M.O. (5%)					0.138
SUBTOTAL M					1.269

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	4.00	4.05	16.20	0.133	2.160
Albañil	1.00	4.10	4.10	0.133	0.547
Maestro de obra	0.10	4.50	0.45	0.133	0.060
SUBTOTAL N					2.767

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Cemento Fuerte Tipo GU Saco 50 Kg - Holcim	KG	20	0.160	3.2
Tabla de encofrado de 30cmx2.5cmx300cm	UNIDAD	0.2	2.800	0.56
Alambre galvanizado N° 18	KG	0.05	2.54	0.127
Arena	M3	0.03	13.00	0.39
Ripio	M3	0.06	18.00	1.08
Agua	M3	0.01	0.85	0.0085
Clavos 2 1/2'	KG	0.14	2.10	0.294
Cuartones de encofrado 5cmx5cmx300cm	UNIDAD	0.24	2.00	0.48
SUBTOTAL O				6.140

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				

SUBTOTAL P		0.000
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		10.175
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00%	1.730
COSTO TOTAL DEL RUBRO		11.905
VALOR OFERTADO		11.90

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	2.05	UNIDAD: KG
DETALLE:	ACERO DE REFUERZO	RENDIMIENTO (HORA/KG) 0.080
	SUBESTRUCTURA F'Y=4200 KG/CM2	RENDIMIENTO (KG/HORA) 12.5
		RENDIMIENTO KG/DÍA) 100.00

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Cortadora/dobladora de hierro Herramientas Menores % M.O. (5%)	0.04	0.51	0.02	0.080	0.002 0.035
SUBTOTAL M					0.036

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Fierrero	1.00	4.20	4.20	0.080	0.336
Maestro de obra	0.10	4.50	0.45	0.080	0.036
Peón	1.00	4.05	4.05	0.080	0.324
SUBTOTAL N					0.696

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	KG	1.10	0.81	0.891
Alambre de amarrar # 18	KG	0.05	1.53	0.077
SUBTOTAL O				0.968

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	1.700
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 0.289
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1.989
VALOR OFERTADO	1.99

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	3.01	UNIDAD: M3
DETALLE:	HORMIGÓN EN COLUMNAS F'C=280	RENDIMIENTO (HORA/M3) 0.750
	KG/CM2	RENDIMIENTO (M3/HORA) 1.33375
		RENDIMIENTO (M3/DÍA) 10.67

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Vibrador de mangera	1.00	4.00	4.00	0.750	2.999
Bomba estacionaria	1.00	11.27	11.27	0.750	8.450
Herramientas Menores % M.O. (5%)					1.237
SUBTOTAL M					12.686

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	4.00	4.05	16.20	0.750	12.146
Albañil	1.00	4.10	4.10	0.750	3.074
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	0.750	3.074
Maestro de obra	1.00	4.50	4.50	0.750	3.374
Carpintero	1.00	4.10	4.10	0.750	3.074
SUBTOTAL N					24.742

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
H. Premezclado 280 Kg/cm2-18mm-12cm-28d HOLCIM	M3	1.10	128.94	141.834
Tabla de encofrado de 30cmx2.5cmx300cm	UNIDAD	7.00	2.80	19.600
Clavos	KG	1.20	1.03	1.236
Cuartones de encofrado 5cmx5cmx300cm	UNIDAD	4.00	2.00	8.000
Caña rolliza 3m	UNIDAD	4.00	2.26	9.040
Alambre galvanizado No. 18	KG	1.20	2.54	3.048
SUBTOTAL O				182.758

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	220.186
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 37.432
COSTO TOTAL DEL RUBRO	257.618
VALOR OFERTADO	257.62

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	3.02	UNIDAD: M3
DETALLE:	HORMIGÓN VIGAS SUPERIORES	RENDIMIENTO (HORA/M3) 0.600
	F'C=280 KG/CM2	RENDIMIENTO (M3/HORA) 1.666625
		RENDIMIENTO (M3/DÍA) 13.33

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Vibrador de mangera	1.00	4.00	4.00	0.600	2.400
Bomba estacionaria	1.00	11.27	11.27	0.600	6.762
Herramientas Menores % M.O. (5%)					0.990
SUBTOTAL M					10.152

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	4.00	4.05	16.20	0.600	9.720
Albañil	1.00	4.10	4.10	0.600	2.460
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	0.600	2.460
Maestro de obra	1.00	4.50	4.50	0.600	2.700
Carpintero	1.00	4.10	4.10	0.600	2.460
SUBTOTAL N					19.800

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
H. Premezclado 280 Kg/cm2-18mm-12cm-28d HOLCIM	M3	1.10	128.94	141.834
Tabla de encofrado de 30cmx2.5cmx300cm	UNIDAD	5.00	2.80	14.000
Clavos	KG	2.40	1.03	2.472
Cuartones de encofrado 5cmx5cmx300cm	UNIDAD	7.00	2.00	14.000
Caña rolliza 3m	UNIDAD	3.00	2.26	6.780
Alambre galvanizado No. 18	KG	2.40	2.54	6.096
SUBTOTAL O				185.182

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	215.135
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 36.573
COSTO TOTAL DEL RUBRO	251.708
VALOR OFERTADO	251.71

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	3.03	UNIDAD: M3
DETALLE:	HORMIGÓN LOSA MACIZA H=12 CM	RENDIMIENTO (HORA/M3) 2.000
	F'C=350 KG/CM2	RENDIMIENTO (M3/HORA) 0.50
		RENDIMIENTO (M3/DÍA) 4.00

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Vibrador de mangera	1.00	4.00	4.00	2.000	8.000
Bomba estacionaria	1.00	11.27	11.27	2.000	22.540
Herramientas Menores % M.O. (5%)					4.520
SUBTOTAL M					35.060

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	6.00	4.05	24.30	2.000	48.600
Carpintero	1.00	4.10	4.10	2.000	8.200
Albañil	2.00	4.10	8.20	2.000	16.400
Maestro de obra	1.00	4.50	4.50	2.000	9.000
Operador de equipo liviano	1.00	4.10	4.10	2.000	8.200
SUBTOTAL N					90.400

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
H. Premezclado 350 Kg/cm2-18mm-12cm-28d HOLCIM	M3	1.05	137.51	144.386
Tabla de encofrado de 30cmx2.5cmx300cm	UNIDAD	3.00	2.80	8.400
Clavos 2 1/2"	KG	0.06	63.83	3.830
Caña rolliza 3 m	UNIDAD	1.00	2.26	2.260
SUBTOTAL O				158.875

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	284.335
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 48.337
COSTO TOTAL DEL RUBRO	332.672
VALOR OFERTADO	332.67

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	3.04	UNIDAD: KG
DETALLE:	ACERO DE REFUERZO	RENDIMIENTO (HORA/KG) 0.080
	SUPERESTRUCTURA F'Y=4200 KG/CM2	RENDIMIENTO (KG/HORA) 12.5
		RENDIMIENTO (KG/DÍA) 100.00

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Cortadora/dobladora de hierro	0.04	0.51	0.02	0.080	0.001
Herramientas Menores % M.O. (5%)					0.035
SUBTOTAL M					0.036

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Ferrero	1.00	4.20	4.20	0.080	0.336
Maestro de obra	0.10	4.50	0.45	0.080	0.036
Peón	1.00	4.05	4.05	0.080	0.324
SUBTOTAL N					0.696

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	KG	1.10	0.81	0.891
Alambre de amarrar # 18	KG	0.05	1.53	0.077
SUBTOTAL O				0.968

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				

SUBTOTAL P 0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	1.700
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 0.289
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1.989
VALOR OFERTADO	1.99

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	3.05	UNIDAD: KG
DETALLE:	ACERO DE PRESFUERZO	RENDIMIENTO (HORA/KG) 0.020
	SUPERESTRUCTURA F'Y=17000	RENDIMIENTO (KG/HORA) 50
	KG/CM2	RENDIMIENTO (KG/DÍA) 400.00

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Gato hidraulico Seguridad Industrial %M.O.(5%)	1.00	150.00	150.00	0.020	3.000
SUBTOTAL M					3.000

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	2.00	4.05	8.10	0.020	0.162
Ferrero	0.75	4.20	3.15	0.020	0.063
Maestro de Obra	0.10	4.50	0.45	0.020	0.009
Ing. Civil	0.50	6.50	3.25	0.020	0.065
SUBTOTAL N					0.299

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Pocket forms	UNIDAD	0.07	0.63	0.041
Soportes/Alzas plásticas	UNIDAD	1.29	0.35	0.445
Cuña	UNIDAD	0.07	8.00	0.560
Anclaje encapsulados	UNIDAD	0.07	2.00	0.140
Acero de presfuerzo f'y=17000 kg/cm2	KG	1.05	4.50	4.725
SUBTOTAL O				5.911

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	9.210
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 1.566
COSTO TOTAL DEL RUBRO	10.776
VALOR OFERTADO	10.78

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	4.01	UNIDAD: M2
DETALLE:	MAMPOSTERIA DE BLOQUES 40X20X9	RENDIMIENTO (HORA/M3) 0.32
	CM	RENDIMIENTO (M3/HORA) 3.125
		RENDIMIENTO (M3/DÍA) 25.00

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Andamios	1.00	0.06	0.06	0.320	0.019
Herramientas Menores % M.O. (5%)					0.131
SUBTOTAL M					0.150

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	1.00	4.05	4.05	0.320	1.296
Albañil	1.00	4.10	4.10	0.320	1.312
Maestro de obra	0.10	4.50	0.45	0.032	0.014
SUBTOTAL N					2.622

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Bloque pesado de 9x20x40cm	UNIDAD	13.00	0.29	3.770
Cemento Fuerte Tipo GU Saco 50 Kg - Holcim	SACO	0.20	8.00	1.600
Arena	M3	0.08	13.00	1.040
Agua	M3	0.08	0.85	0.068
SUBTOTAL O				6.478

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	9.251
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 1.573
COSTO TOTAL DEL RUBRO	10.823
VALOR OFERTADO	10.82

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	4.02	UNIDAD: M2
DETALLE:	MAMPOSTERIA DE BLOQUES	RENDIMIENTO (HORA/M2) 0.320
	40X20X14 CM	RENDIMIENTO (M2/HORA) 3.125
		RENDIMIENTO (M2/DÍA) 25.00

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Andamios	1.00	0.06	0.06	0.320	0.019
Herramientas Menores % M.O. (5%)					0.131
SUBTOTAL M					0.150

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	1.00	4.05	4.05	0.320	1.296
Albañil	1.00	4.10	4.10	0.320	1.312
Maestro de obra	0.10	4.50	0.45	0.032	0.014
SUBTOTAL N					2.622

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Bloque pesado de 14x20x40cm	UNIDAD	13.00	0.35	4.550
Cemento Fuerte Tipo GU Saco 50 Kg - Holcim	SACO	0.20	8.00	1.600
Arena	M3	0.08	13.50	1.080
Agua	M3	0.08	0.85	0.068
SUBTOTAL O				7.298

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
NO APLICA				
SUBTOTAL P				0.000

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	10.071
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 1.712
COSTO TOTAL DEL RUBRO	11.783
VALOR OFERTADO	11.78

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:	4.03	UNIDAD: M2
DETALLE:	ENLUCIDO	RENDIMIENTO (HORA/M2) 0.400
		RENDIMIENTO (M2/HORA) 2.500
		RENDIMIENTO (M2/DÍA) 20.00

EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Andamios	1.00	0.06	0.06	0.400	0.024
Herramientas Menores % M.O. (5%)					0.164
SUBTOTAL M					0.188

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	1.00	4.05	4.05	0.400	1.620
Albañil	1.00	4.10	4.10	0.400	1.640
Maestro de Obra	0.10	4.50	0.45	0.040	0.018
SUBTOTAL N					3.278

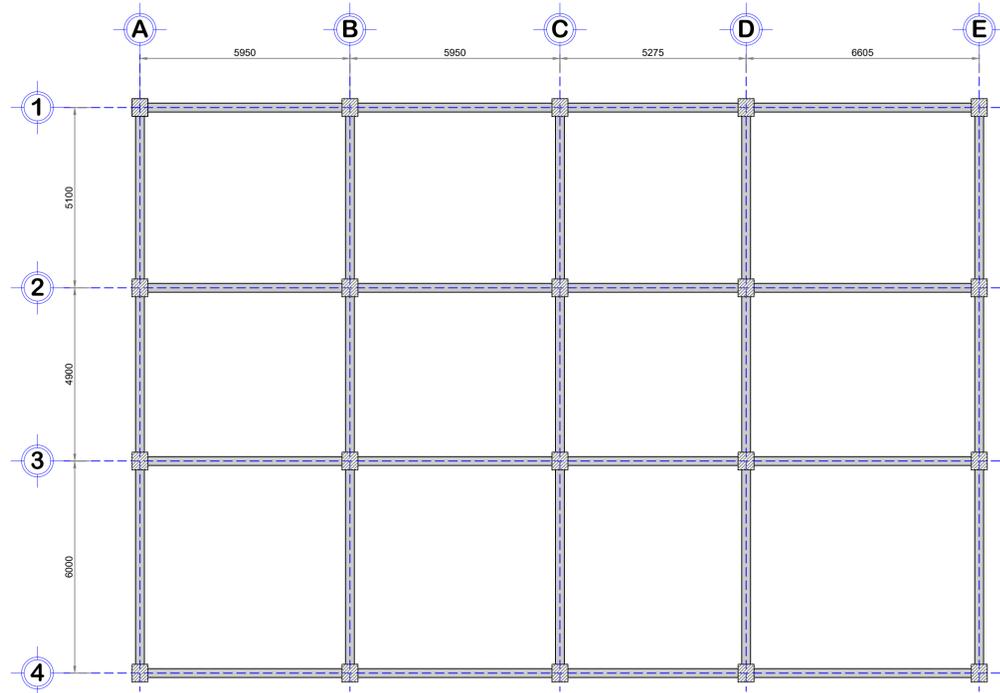
MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Cemento Fuerte Tipo GU - Holcim	KG	0.12	8.00	0.960
Arena fina	M3	0.03	13.50	0.405
Agua	M3	0.01	0.85	0.009
SUBTOTAL O				1.374

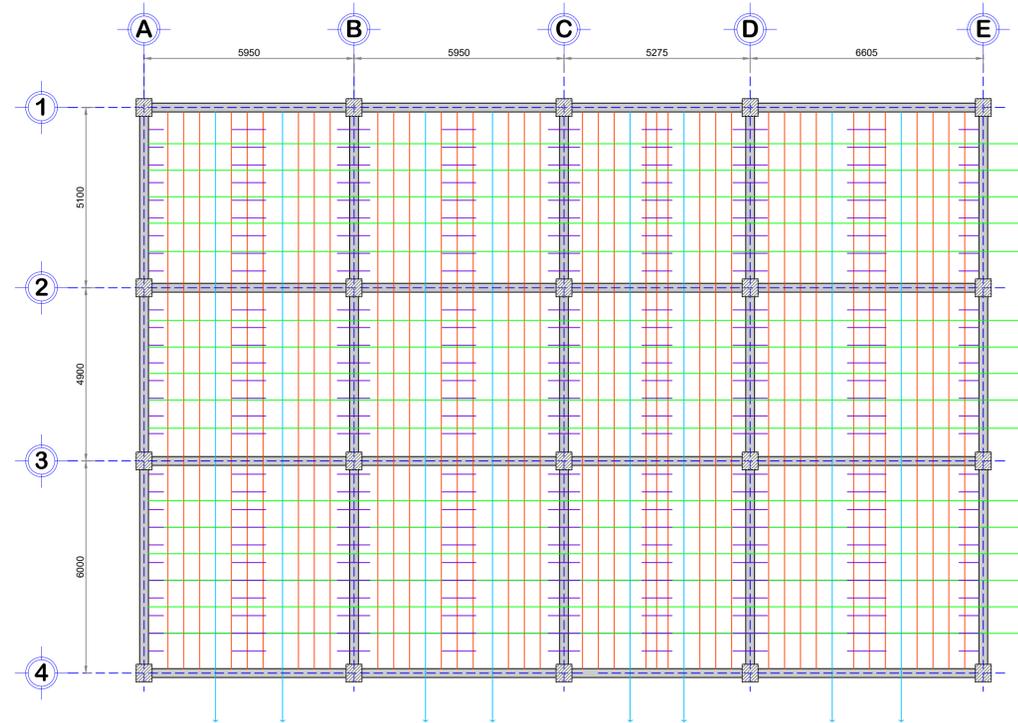
TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
SUBTOTAL P				0.000

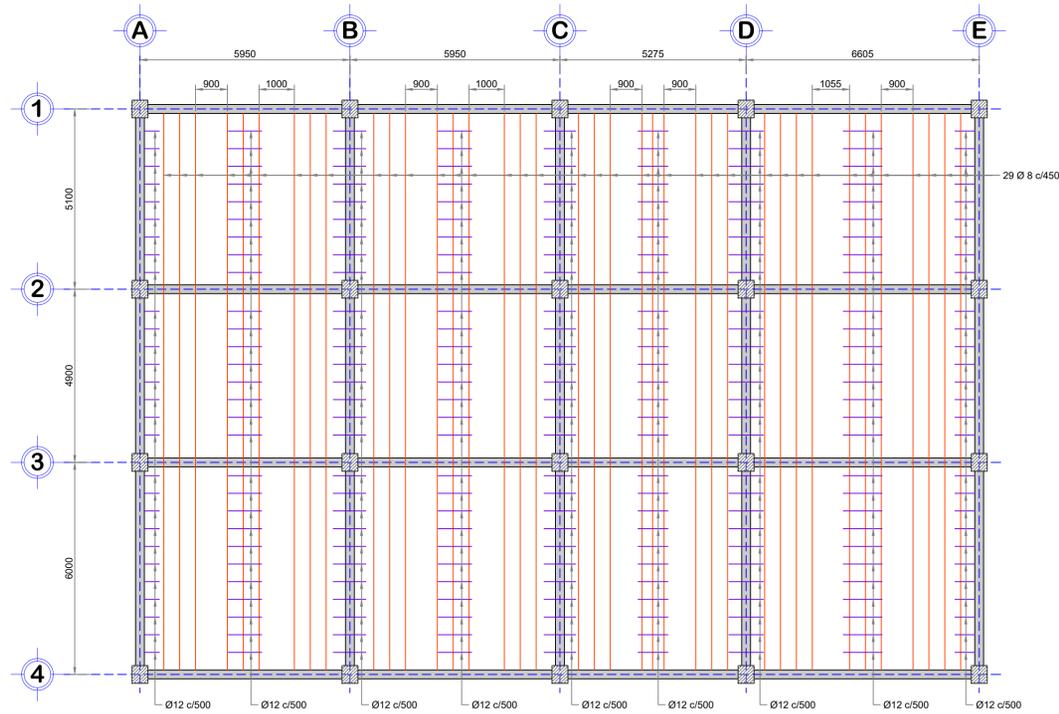
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	4.839
INDIRECTOS Y UTILIDADES	17.00% 0.823
COSTO TOTAL DEL RUBRO	5.662
VALOR OFERTADO	5.66



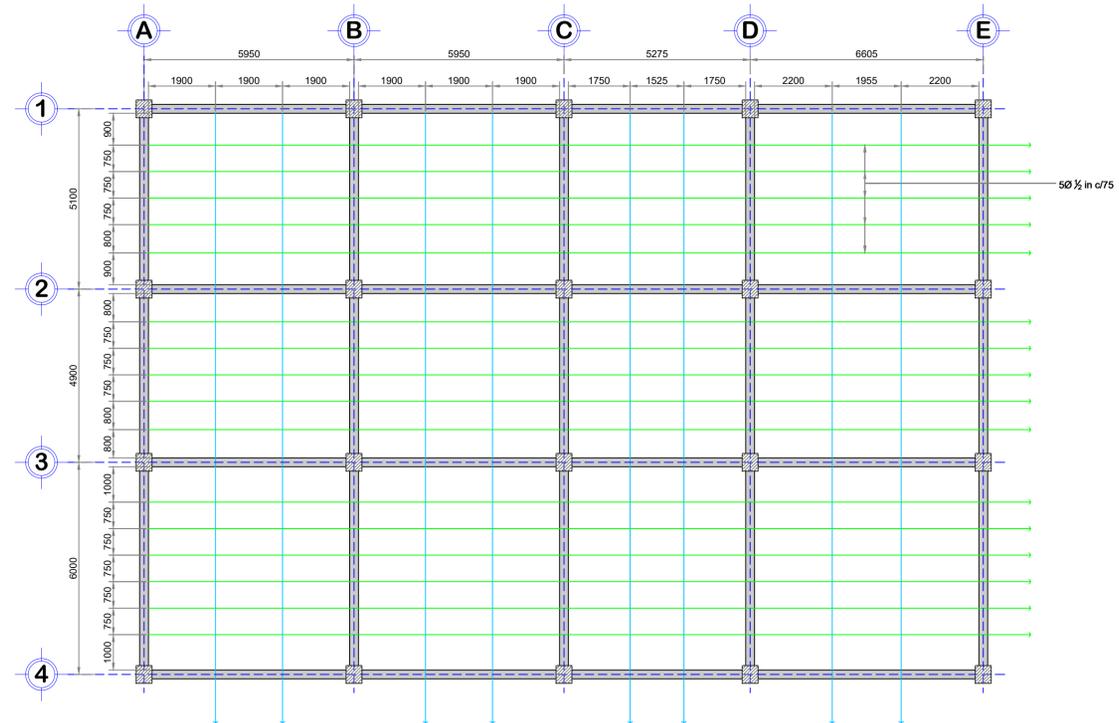
IMPLANTACIÓN DEL EDIFICIO
Escala 1:100



ARMADO ESTRUCTURAL
Escala 1:100



ARMADO DE ACERO CORRUGADO
Escala 1:100



ARMADO DE TORONES DE POSTENSADO
Escala 1:100

UBICACIÓN



NOTAS GENERALES

- 1.- Las medidas prevalecen sobre la escala del dibujo.
- 2.- Las longitudes, cotas y medidas deberán ser comprobadas por el constructor.
- 3.- Todas las medidas están en milímetros.
- 4.- Deben de tomarse cilindros en obra para verificar la calidad del hormigón.
- 5.- Se tienen que verificar las diferentes medidas de los soportes plásticos

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Losa Postensada:**
- Resistencia del hormigón: 350 kg/cm²
 - Esfuerzo de fluencia del acero: 4200 kg/cm²
 - Resistencia de los torones: 270 ksi
 - Material de alz: Plástico
 - Anclaje encapsulado: Tubo de hierro dúctil con una cubierta de plástico
 - Cuñas: Plástico

REVISIONES

Nº	DESCRIPCIÓN	FECHA	APR.

PROYECTO:
DISEÑO DE LOSAS POSTENSADAS PARA UN EDIFICIO COMERCIAL-RESIDENCIAL DE CUATRO PISOS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL-ECUADOR

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

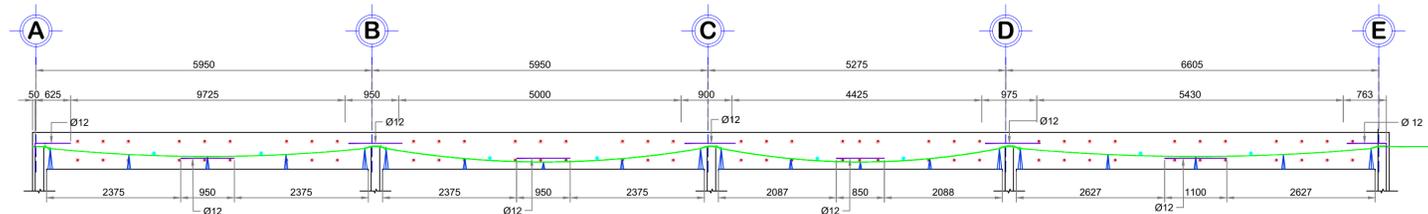
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS DE LA TIERRA

CONTENIDO:
- Implantación del edificio.
- Armado estructural

Coordinador de MI: Ing. Ingrid Orta
Tutor de Área de conocimiento: PhD. Pedro Rojas

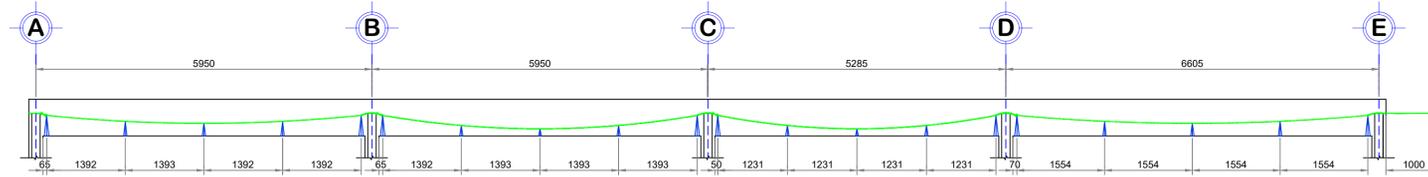
Estudiantes: - Jorge De La Puerta - Emily Merchán
FECHA: IPAO 2024

ESCALA: INDICADAS
FORMATO: A1
PLANO: 1/2



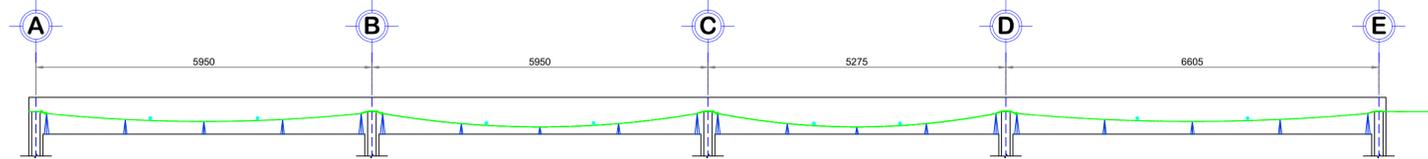
VISTA TRANSVERSAL COMPLETA DE LA LOSA POSTENSADA

Escala Horz 1:62.5
Escala Vert 1:12.5



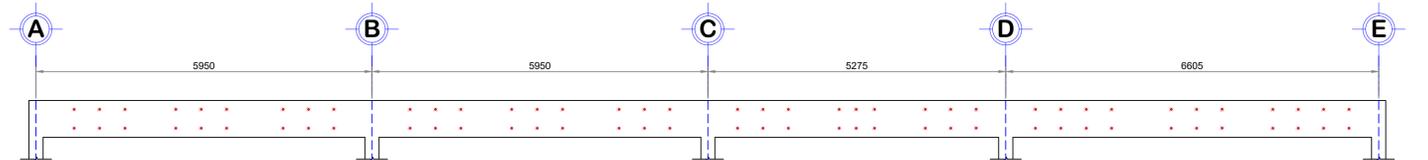
VISTA TRANSVERSAL DEL POSTENSADO PRINCIPAL

Escala Horz 1:62.5
Escala Vert 1:12.5



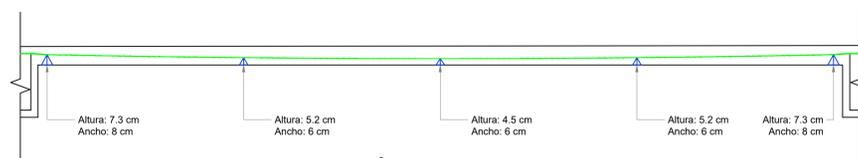
VISTA TRANSVERSAL DE LOS TORONES POR TEMPERATURA

Escala Horz 1:62.5
Escala Vert 1:12.5



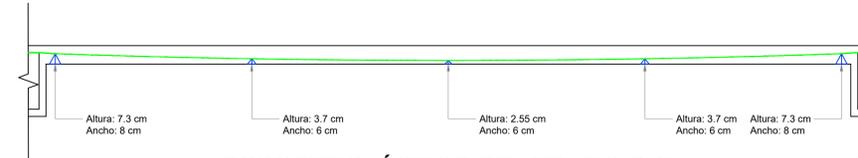
VISTA TRANSVERSAL DE ACERO CORRUGADO

Escala Horz 1:62.5
Escala Vert 1:12.5



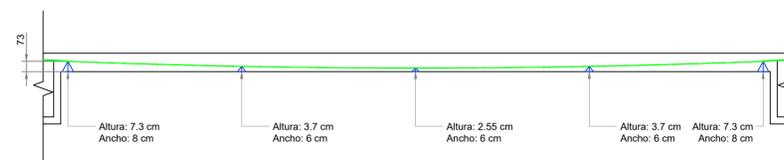
SOPORTE PLÁSTICO DEL TRAMO A-B

Escala Horz 1:25
Escala Vert 1:25



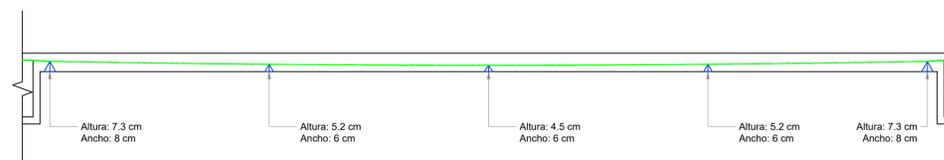
SOPORTE PLÁSTICO DEL TRAMO B-C

Escala Horz 1:25
Escala Vert 1:25



SOPORTE PLÁSTICO DEL TRAMO C-D

Escala Horz 1:25
Escala Vert 1:25



SOPORTE PLÁSTICO DEL TRAMO D-E

Escala Horz 1:25
Escala Vert 1:25

UBICACIÓN



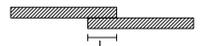
NOTAS GENERALES

- 1.- Las medidas prevalecen sobre la escala del dibujo.
- 2.- Las longitudes, cotas y medidas deberán ser comprobadas por el constructor.
- 3.- Todas las medidas están en milímetros.
- 4.- Deben de tomarse cilindros en obra para verificar la calidad del hormigón.
- 5.- Se tienen que verificar las diferentes medidas de los soportes plásticos

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Losa Postensada:**
- Resistencia del hormigón: 350 kg/cm²
 - Esfuerzo de fluencia del acero: 4200 kg/cm²
 - Resistencia de los torones: 270 ksi
 - Material de alzaz: Plástico
 - Anclaje encapsulado: Tubo de hierro dúctil con una cubierta de plástico
 - Cuñas: Plástico

DETALLES DE TRASLAPES



- En el caso de las losas, se tendrán traslapes en las varillas corrugadas ubicadas por temperatura.
- Debido a que la varillas es de Ø08 la longitud del traspase será de 350 mm

REVISIONES

Nº	DESCRIPCIÓN	FECHA	APRB.

PROYECTO:
DISEÑO DE LOSAS POSTENSADAS PARA UN EDIFICIO COMERCIAL-RESIDENCIAL DE CUATRO PISOS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL-ECUADOR

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS DE LA TIERRA

CONTENIDO:
- Vista transversal

Coordinador de MI: Ing. Ingrid Orta
Tutor de Área de conocimiento: Ph.D. Pedro Rojas

Estudiantes: - Jorge De La Puerta - Emily Merchán
FECHA: IPAO 2024

ESCALA: INDICADAS
FORMATO: A1
PLANO: 2/2

LOSAS POSTENSADAS EL FUTURO DE LA CONSTRUCCIÓN EN GUAYAQUIL Y EN EL PAÍS

PROBLEMA

- ✓ Este sistema se ha utilizado en la ciudad de Quito y muy poco en el resto del país.
- ✓ Las empresas constructoras extranjeras de estos sistemas generalmente no pueden competir con las empresas nacionales que emplean sistemas de losas tradicionales.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un diseño de losas postensadas y un proceso constructivo para edificios de tamaño medio en Guayaquil-Ecuador, mediante la normativa vigente y haciendo uso de recursos locales para la optimización de tiempos y costos de obra.



Figura 1. Sistema de losa postensada obtenida de Ergon Infra (2018).

PROPUESTA

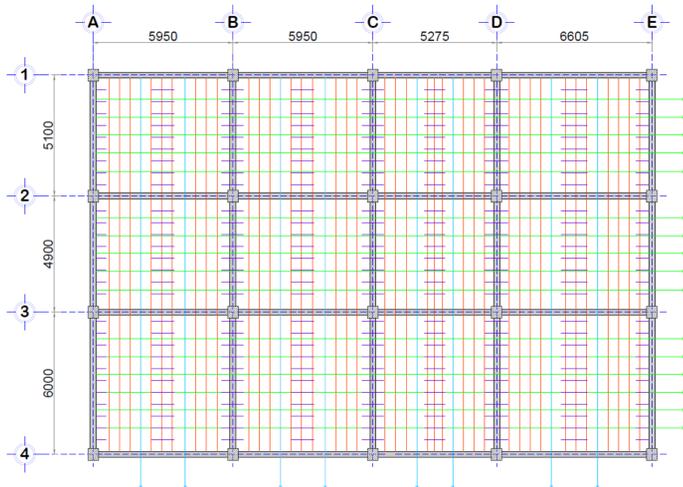


Figura 2. Armado estructural de losa postensada

COMPONENTES

- ✓ Alzas de plásticos
- ✓ Torones de 1/2 in (12.7 mm)
- ✓ Anclajes encapsulados
- ✓ Cuñas
- ✓ Gato hidráulico

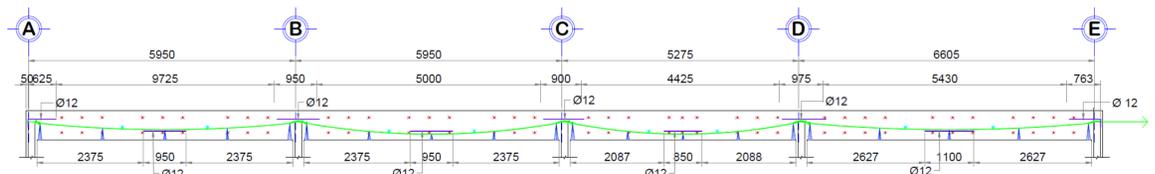
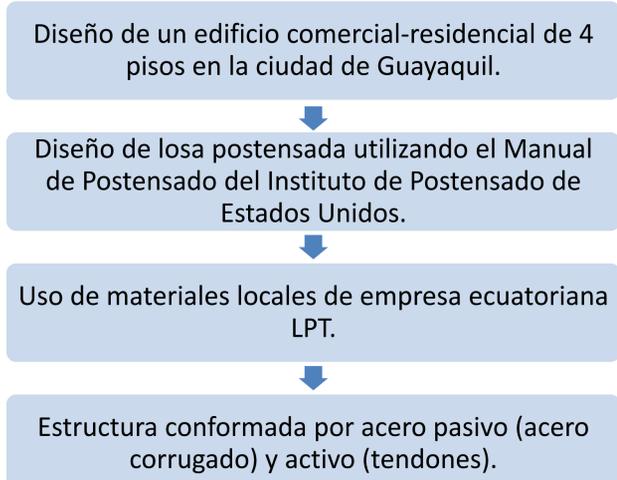


Figura 3. Configuración del tendón en el armado estructural de losa postensada



RESULTADOS

El espesor de la losa postensada es significativamente menor (13 cm) en comparación con una losa aligerada (35 cm).

Uso de torones de 1/2" en la dirección principal (s = 75 cm) y por temperatura (s = 195 cm).

Uso de acero corrugado de 8mm (s = 45 cm) para refuerzo por temperatura

Tiempo de construcción de la estructura del edificio = 80 días

Costo total del componente estructural del edificio = \$330,415.92

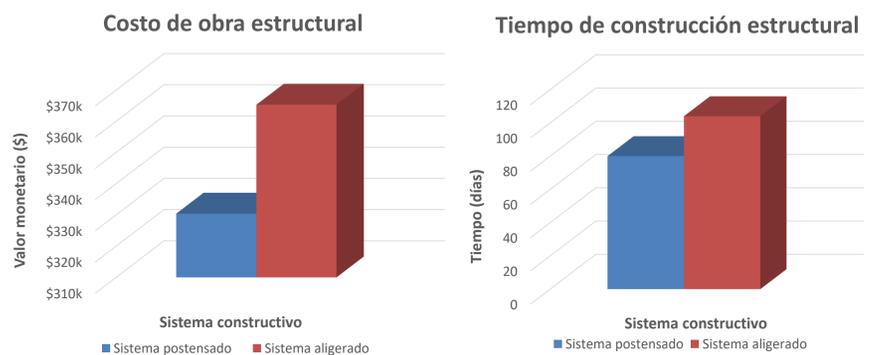


Figura 4. Evaluación del sistema de losa postensada vs losa convencional

CONCLUSIONES



Figura 5. Configuración de los tendones de presfuerzo obtenida de CCL (2016).

Innovación en la Ingeniería Civil

- ✓ La implementación de losas postensadas en Guayaquil promueve la sostenibilidad y la eficiencia estructural.

Rentabilidad

- ✓ Ahorro de material y menor tiempo de ejecución en la construcción (80 días vs 104 días).

Ambiental

- ✓ El impacto ambiental es "Despreciable" según la matriz de Leopold.

Costos

- ✓ Reducción del 9.55% de costos del proyecto

Mejor alternativa

- ✓ La losa postensada es una mejor alternativa que la losa aligerada y proporciona un mejor método constructivo para edificaciones con más de 4 niveles.