



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN
MEDIANTE HORMIGÓN ARMADO O ACERO ESTRUCTURAL DEL
EDIFICIO TORRE MILLENIUM**

TUTOR

Mgtr. SÁNCHEZ RIVERA LISSETE ELISA

AUTOR

JIMÉNEZ CASTRO OSCAR ANDRÉS

GUAYAQUIL

AÑO 2025

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS		
TÍTULO Y SUBTÍTULO: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN MEDIANTE HORMIGÓN ARMADO O ACERO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO TORRE MILLENIUM.		
AUTOR/ES: Jiménez Castro Oscar Andrés	TUTOR: Mgr. Sánchez Rivera Lissete Elisa	
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil	
FACULTAD: Ingeniería, Industria y Construcción	CARRERA: Ingeniería Civil	
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2025	N. DE PÁGS: 91	
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción.		
PALABRAS CLAVE: Ingeniería de la Construcción, Hormigón, Acero, Diseño.		
RESUMEN: En el Ecuador, se ha utilizado ampliamente el hormigón armado para la construcción de edificaciones con diferentes fines, sin embargo, los asentamientos humanos y la densificación de las ciudades demanda nuevos sistemas constructivos acordes a las normativas técnicas vigentes en nuestro país. En base a esto la presente investigación tiene por objeto proporcionar una evaluación detallada y comparativa de los costos, tiempos de construcción, eficiencia, flexibilidad, sostenibilidad, mantenimiento, seguridad y estética asociados con el uso de hormigón armado y acero estructural en el Edificio Torre Millenium. Para conseguir este objetivo este proyecto efectúa primero una recopilación de fundamentos teóricos, en relación al comportamiento estructural tanto del hormigón como del acero. Se efectuó para la realización del análisis técnico - económico, donde se obtuvo el presupuesto de cada variante, siendo la de acero más económico con un 20% en comparación con la de hormigón		
N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>

CONTACTO CON AUTOR/ES: Jiménez Castro Oscar Andrés	Teléfono:	E-mail: ojimenezc@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	PhD. Marcial Sebastián Calero Amores Decano de Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. Teléfono: 2596500 Ext. 241 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgr. Jorge Enrique Director de Carrera de Ingeniería Civil Teléfono: 2596500 Ext. 242 E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE SIMILITUD

TESIS JIMÉNEZ CASTRO OSCAR ANDRES (1).docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.utmachala.edu.ec

Fuente de Internet

1%

2

Submitted to Universidad Catolica De Cuenca

Trabajo del estudiante

1%

3

Submitted to Universidad Tecnica De Ambato-
Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE

Trabajo del estudiante

1%

4

fdocuments.es

Fuente de Internet

1%

5

docplayer.es

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.upse.edu.ec

Fuente de Internet

1%

7

edoc.pub

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

< 1%

Excluir bibliografía

Apagado



ELABORADO AUTOMATICAMENTE POR:
LISSETTE ELISA
SANCHEZ RIVERA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado **JIMÉNEZ CASTRO OSCAR ANDRÉS** declaro bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, **EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN MEDIANTE HORMIGÓN ARMADO O ACERO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO TORRE MILLENIUM**, corresponde totalmente al suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autores



Firma:
Jiménez Castro Oscar Andrés
C. I.0951703636

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN MEDIANTE HORMIGÓN ARMADO O ACERO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO TORRE MILLENIUM**, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: **EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN MEDIANTE HORMIGÓN ARMADO O ACERO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO TORRE MILLENIUM**, presentado por el estudiante **OSCAR ANDRES JIMENEZ CASTRO** como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



LISSETTE SANCHEZ RIVERA

C.C. 0923061857

AGRADECIMIENTO

A Dios, por toda la fuerza inspiradora otorgada, la misma que me ha brindado todo el impulso para ser un profesional.

A mi tutora Mgtr. Lissete Sánchez Rivera, quien me otorgó la orientación necesaria para plasmar lo que hay en este documento.

A la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil por permitirme sentarme en un pupitre y poder gozar de todas las buenas enseñanzas que los profesores nos impartían en cada clase.

A toda mi familia por darme la oportunidad de lograr alcanzar una meta más en la vida.

Oscar Jiménez Castro

DEDICATORIA

Este gran logro obtenido se lo dedico a nuestro Señor Todo Poderoso que me brindó esta valiosa oportunidad de poder cumplir una de las metas más importante de mi vida profesional.

Este valioso logro también se lo dedico a mis padres que siempre me dieron un voto de confianza y que lo imposible también se puede lograr a cumplir.

A mi familia y amigos por extender esa mano amiga que uno necesita, con esos consejos que me ayudaron a madurar como persona.

Oscar Jiménez Castro

RESUMEN

En el Ecuador, se ha utilizado ampliamente el hormigón armado para la construcción de edificaciones con diferentes fines, sin embargo, los asentamientos humanos y la densificación de las ciudades demanda nuevos sistemas constructivos acordes a las normativas técnicas vigentes en nuestro país. En base a esto la presente investigación tiene por objeto proporcionar una evaluación detallada y comparativa de los costos, tiempos de construcción, eficiencia, flexibilidad, sostenibilidad, mantenimiento, seguridad y estética asociados con el uso de hormigón armado y acero estructural en el Edificio Torre Millenium. Para conseguir este objetivo este proyecto efectúa primero una recopilación de fundamentos teóricos, en relación con el comportamiento estructural tanto del hormigón como del acero. Se efectuó para la realización del análisis técnico - económico, donde se obtuvo el presupuesto de cada variante, siendo la de acero más económica con un 20% en comparación con la de hormigón.

Palabras claves: Ingeniería de la Construcción, Hormigón, Acero, Diseño.

ABSTRACT

In Ecuador, reinforced concrete has been widely used for the construction of buildings for different purposes, however, human settlements and the densification of cities demand new construction systems in accordance with the technical regulations in force in our country. Based on this, the present research aims to provide a detailed and comparative evaluation of the costs, construction times, efficiency, flexibility, sustainability, maintenance, safety and aesthetics associated with the use of reinforced concrete and structural steel in the Millennium Tower Building. To achieve this objective, this project first compiles theoretical foundations in relation to the structural behavior of both concrete and steel. It was carried out to carry out the technical-economic analysis, where the budget for each variant was obtained, the steel one being 20% cheaper compared to the concrete one.

Keyword: Construction Engineering, Concrete, Steel, Design.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 Tema	2
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Formulación del problema	3
1.4 Objetivo General	3
1.5 Objetivos Específicos	3
1.6 Idea a defender	3
1.7 Línea de Investigación Institucional	4
CAPÍTULO II	5
MARCO REFERENCIAL	5
2.1 Marco Teórico	5
2.2 Materiales estructurales	9
2.2.1 Hormigón armado	9
2.2.2 Acero	11
2.3 Comparativa de aspectos técnicos	16
2.3.1 Presupuesto	20
2.4 Marco Legal	22
2.4.1 Legislación y normativa aplicable	22
CAPÍTULO III	27
MARCO METODOLÓGICO	27
3.1 Tipo de investigación	27
3.2 Método de investigación	27
3.3 Enfoque	27

3.4 Alcance	27
3.5 Técnicas e instrumentos	28
CAPÍTULO IV	30
PROPUESTA O INFORME	30
4.1 Diseño de elementos estructurales de hormigón armado	31
4.2 Diseño de elementos estructurales de acero	33
1.5.1 Modelación de la geometría	33
4.2 Análisis económico	55
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de aspectos técnicos.....	17
Tabla 2. Comparación de aspectos técnicos.....	19
Tabla 3. Tipo de importancia de las edificaciones.....	25
Tabla 4. Requerimientos a la compresión de hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$	32
Tabla 5. Matriz de modelo de hormigón armado.....	34
Tabla 6. Matriz de modelo de hormigón armado.....	34
Tabla 7. Presupuesto Hormigón armad.....	56
Tabla 8. Presupuesto de estructura de acero.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de tensión del acero	12
Figura 2. Diagrama de esfuerzo - deformación del acero	13
Figura 3. Ubicación Torre Millenium	30
Figura 4. Levantamiento planimétrico	31
Figura 5. Miembros estructurales	35
Figura 6. Perfil estratigráfico	37
Figura 7. Losa de cimentación	38
Figura 8. Detalle de la cimentación	39
Figura 9. Sótano	40
Figura 10. Sección de losa nervada	41
Figura 11. Prediseño de vigas	43
Figura 12. Dimensiones de prediseño de vigas	44
Figura 13. Prediseño de vigas	45
Figura 14. Diseño de vigas	46
Figura 15. Prediseño de columnas de cimentación a planta baja	47
Figura 16. Prediseño de columnas de cimentación a piso 6	48
Figura 17. Diseño de columnas	49
Figura 18. Prediseño de escaleras	49
Figura 19. Losa tipo steel deck	50
Figura 20. Prediseño de la cimentación	54
Figura 21. Prediseño de vigas y columnas	55
Figura 22. Vigas y columnas	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Estructura de hormigón	72
Anexo 2. Sótano	73
Anexo 3. Cimentación	74
Anexo 4. Sótano	75
Anexo 5. Cimentación 2	76
Anexo 6. Losa piso 2	77
Anexo 7. Losa planta baja	78

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en el Ecuador puede apreciarse que la industria dedicada a la construcción experimenta un aumento muy notorio en el empleo del acero dentro de sus proyectos como materia prima fundamental, esto debido a la versatilidad y resistencia que este producto ofrece, dando lugar al establecimiento de construcciones informales, los mismos que generan un gran desafío en cuanto a términos de seguridad estructural y normativas aplicadas dentro del campo de la construcción (Astudillo, 2024).

En base a esto, la siguiente investigación plantea como objetivo general evaluar técnica y económica de la construcción mediante hormigón armado y acero del edificio Torre Millenium mediante el modelado estructural, estableciendo las ventajas de su construcción. Y como objetivos específicos propone determinar los tiempos de construcción hormigón armado y acero estructural del edificio Torre Millenium, estableciendo de esta manera las diferencias para cada uno de los materiales utilizados, efectuar un análisis comparativo del presupuesto de construcción mediante hormigón armado o acero estructural del edificio Torre Millenium y elaborar el modelado en acero versus sistema tradicional del edificio Torre Millenium utilizando la normativa ecuatoriana.

Por lo que este estudio propone la elección de materiales para la construcción de edificios de gran altura, como la Torre Millenium, siendo un aspecto clave dentro del proceso de diseño y ejecución. Esta decisión influye no solo en la seguridad y durabilidad de la estructura, sino también en los costos totales del proyecto. Las alternativas más comunes para la construcción de edificios de este tipo son el hormigón y el acero, y su elección depende de varios factores, como el diseño arquitectónico, las condiciones del terreno, el presupuesto, la rapidez de ejecución, las cargas estructurales y las condiciones climáticas del lugar de construcción.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Tema

Evaluación técnica y económica de la construcción mediante hormigón armado o acero estructural del Edificio Torre Millenium.

1.2 Planteamiento del Problema

En el desarrollo de proyectos arquitectónicos y de infraestructura, la selección de materiales estructurales constituye una de las decisiones más críticas para el éxito técnico, económico y operativo de la obra. En el caso del edificio Torre Millenium, un proyecto emblemático de gran altura, la disyuntiva entre el uso de hormigón armado y acero estructural plantea un desafío complejo que involucra aspectos de seguridad, costos, tiempos de construcción y sostenibilidad.

El hormigón armado es ampliamente reconocido por su resistencia a la compresión, durabilidad y menor costo inicial en determinadas condiciones. Sin embargo, presenta limitaciones en cuanto a su peso propio elevado, lo que impacta en los requerimientos de cimentación y puede extender su construcción. Ofreciendo una mayor flexibilidad, rapidez de montaje y excelente comportamiento ante cargas sísmicas, pero suele estar asociado a costos iniciales más elevados y a una posible dependencia de proveedores especializados.

En el contexto específico del proyecto Torre Millenium, caracterizado por sus exigencias arquitectónicas y estructurales, se hace necesario realizar una evaluación integral que considere tanto los aspectos técnicos como los económicos.

Actualmente, la industria de la construcción enfrenta presiones crecientes para optimizar costos y minimizar impactos ambientales sin comprometer la seguridad ni la calidad estructural. Esta situación subraya la importancia de realizar una evaluación rigurosa y fundamentada que permita identificar la opción más adecuada para el edificio Torre Millenium.

La ausencia de un análisis detallado podría derivar en la selección de una solución subóptima, con consecuencias negativas en términos de costos, tiempos de entrega, desempeño estructural y sostenibilidad. Por ello, el presente estudio busca proporcionar una base sólida para la toma de decisiones, garantizando que el proyecto cumpla con los estándares más altos de calidad, eficiencia y sostenibilidad.

1.3 Formulación del problema

¿Cuál es la alternativa constructiva más adecuada, desde el punto de vista técnico y económico, para la construcción del edificio Torre Millenium, considerando el hormigón y el acero?

1.4 Objetivo General

Evaluar técnica y económica de la construcción mediante hormigón y acero del edificio Torre Millenium mediante el modelado estructural, estableciendo las ventajas de su establecimiento.

1.5 Objetivos Específicos

- Determinar los procesos de construcción hormigón y acero de la Torre Millenium, estableciendo de esta manera las diferencias para cada uno de los materiales utilizados.
- Efectuar un análisis comparativo del presupuesto de construcción mediante hormigón armado o acero estructural del edificio Torre Millenium.
- Elaborar el modelado en acero versus sistema tradicional del edificio Torre Millenium utilizando la normativa ecuatoriana.

1.6 Idea a defender

La evaluación técnica y económica de la construcción mediante hormigón y acero de la Torre Millenium mediante el modelado estructural, permitirá conocer las ventajas en cuanto a beneficios que se ofrece de esta estructura.

1.7 Línea de Investigación Institucional

Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

En la actualidad, en la industria de la construcción, existen varias alternativas que se han utilizado para mejorar la capacidad y eficacia de las estructuras. El diseño de estructuras como edificios, puentes y tanques se fundamenta en códigos de construcción específicos o adaptados a cada país. Dichos códigos especifican que las cargas aplicadas suelen ser relativamente bajas, resultando en estructuras que operan dentro de un rango elástico (Guerrero, 2019).

No obstante, durante un movimiento sísmico, las fuerzas pueden exceder el límite elástico, y es aquí donde ciertos parámetros de rendimiento de cada elemento de la estructura son indicados (Guerrero, 2019). Actualmente, existen diversas herramientas computacionales que permiten analizar el comportamiento inelástico de una estructura y evaluar el peligro sísmico en función de su rendimiento, haciendo cada vez más factible este tipo de estudio.

Los métodos de construcción han experimentado una evolución significativa a lo largo de la historia de la ingeniería y la arquitectura. En tiempos antiguos, la construcción tradicional utilizaba materiales pesados como piedras, ladrillos, bloques de adobe e incluso madera, ensamblados para crear estructuras sólidas y estables (Bautista & Inca, 2023).

Sin embargo, estas estructuras se caracterizaron por muy pesadas, ya que la ciencia en materiales y tecnologías estructurales desarrolló un sistema revolucionario que cambió el tipo de intenciones de los edificios y construidos. Este progreso incluye concreto y aceros reforzados, dos materiales que han redefinido los estándares de resistencia, durabilidad y versatilidad (Canseco, 2024).

Dentro de la ingeniería estructural, la evaluación de estructuras se ha convertido en un tema crucial en la actualidad. El rápido crecimiento de la industria de la construcción en las últimas décadas, junto con los daños causados por desastres naturales, el deterioro de los elementos estructurales, y los errores en el diseño o la construcción, han hecho que la evaluación estructural sea fundamental

para proporcionar un diagnóstico confiable del estado actual de las estructuras evaluadas (López y Tapia, 2023).

López y Tapia (2023) mencionan que las edificaciones modernas están diseñadas para ofrecer un mejor servicio y mejorar nuestras vidas por muchos años, sin presentar fallas durante su vida útil. Estas estructuras logran aumentar el área de piso sin expandir el terreno de construcción, permitiendo así un considerable ahorro de dinero

La cuestión de la conveniencia financiera del acero o la estructura de concreto reforzado es un problema que se ha planteado a lo largo de los años, y la respuesta depende de muchos factores como la geografía, el sistema estructural, el estrés (gravedad o sísmico) (Carazo et al., 2020).

Uno de los materiales más investigados en el establecimiento de estructuras es el concreto reforzado, pero durante el curado el material es un buen momento, y el trabajo generalmente funciona muchas veces en lugares con contacto con sal, lo que puede mejorar la calidad y durabilidad del concreto reforzado (Abril et al., 2023).

Las estructuras de hormigón armado se diseñan y analizan para que cumplan su vida útil bajo condiciones aceptables de servicio y resistencia. Sin embargo, durante una obra civil, pueden surgir situaciones que provoquen cambios en la concepción, ejecución o vida útil de la estructura, afectando negativamente su capacidad resistente y, en ocasiones, llevándola al colapso (Acosta, 2022). Por ello, a menudo es necesario reparar una estructura de hormigón armado mediante la incorporación de refuerzos en algunos elementos estructurales o en toda la estructura, con el fin de aumentar su capacidad portante en un momento determinado de su existencia y recuperar su funcionalidad.

En Ecuador, el desconocimiento sobre las ventajas que tienen las estructuras que son construidas en hormigón y acero, así como las variaciones que se presentan en el costo de estas, ocasiona la presencia de desastres ante la ocurrencia de sismos (Canseco, 2024).

En efecto, investigaciones desarrolladas por Catota y Zambrano (2020) determinan que la industria de la construcción es vital porque es responsable de crear un valor adicional significativo para la economía nacional, como se estima en el 11.6% del PIB del país y el 8% de los ingresos totales de las empresas nacionales. Sin embargo, la difícil situación en la economía nacional ha llevado a una reducción progresiva en la inversión pública, lo que afecta a la industria.

Los muros especiales de hormigón armado están diseñados para resistir grandes cantidades de cortante, momento y fuerza axial provocadas por los movimientos sísmicos. Este tipo de estructuras está caracterizado por afrontar altas demandas de rigidez y soportar grandes exigencias de cortante y momento. La normativa del American Concrete Institute (ACI 318-19), en la sección 18.10.2.1, establece las condiciones mínimas para su diseño con el objetivo de evitar fallas bruscas por corte y proporcionar ductilidad a la estructura (Barros, 2022).

Sin embargo, estudios efectuados por Malca et al (2022) indican que, por lo general los edificios, cuyo material de construcción principal es concreto armado u hormigón armado, presentan un comportamiento satisfactorio ante frente al fuego y al viento. Debido a que este es un material de construcción de elementos estructurales que presenta determinadas ventajas entre las que se encuentran que es resistente a altas temperaturas, evita la propagación del fuego en otros ambientes y el proceso de reparación de dicha mezcla es mucho más rápido y económico. Investigaciones efectuadas por Valdiviezo (2019) mencionan que, en Ecuador, se están adoptando nuevos sistemas estructurales modernos basados en tipos mixtos y materiales prefabricados. Los sistemas de estructuras mixtas utilizan vigas y columnas que pueden ser de hormigón, acero, o una combinación de ambos. Además, el sistema de pisos está compuesto por una placa de acero estructural galvanizada cubierta con hormigón, junto con mampostería de bloque para dividir ambientes y planchas de gypsum para fines decorativos. Estos sistemas han experimentado un crecimiento sostenido del 12 al 15%, lo que refleja su aceptación en el mercado de la construcción pública del país. Grandes obras, como el aeropuerto de Guayaquil, utilizan estos innovadores sistemas estructurales.

Investigaciones efectuadas por Valdiviezo (2019) mencionan que, en Ecuador, se están adoptando nuevos sistemas estructurales modernos basados en tipos mixtos y materiales prefabricados.

Los sistemas de estructuras mixtas utilizan vigas y columnas que pueden ser de hormigón, acero, o una combinación de ambos. Además, el sistema de pisos está compuesto por una placa de acero estructural galvanizada cubierta con hormigón, junto con mampostería de bloque para dividir ambientes y planchas de gypsum para fines decorativos. Estos sistemas han experimentado un crecimiento sostenido del 12 al 15%, lo que refleja su aceptación en el mercado de la construcción pública del país. Grandes obras, como el aeropuerto de Guayaquil, utilizan estos innovadores sistemas estructurales.

De acuerdo con Morales (2019) la estructura del edificio ya sea una estructura o acero de concreto reforzado, implica la determinación de las proporciones y tamaños globales de la estructura de soporte y la sección cruzada se selecciona para miembros individuales. En general, el diseño funcional, que incluye el número de pisos y sus plantas, es realizado por el arquitecto y el ingeniero civil debe trabajar dentro de este diseño. Idealmente, el ingeniero y el arquitecto trabajan a lo largo del proceso de diseño para completar efectivamente el proyecto.

Abdullah (2021) en las conclusiones de su estudio mencionan que, durante el modelado de una edificación, existen discrepancias entre los elementos tipo Shell y tipo membrana, las cuales deben considerarse al detallar la losa. Al utilizar un elemento tipo membrana, se tiene en cuenta que los elementos estructurales asumen la responsabilidad sísmica, lo que puede aumentar la cantidad de refuerzo longitudinal. Por otro lado, un elemento tipo Shell influye en la transmisión de cargas mediante su rigidez fuera del plano, incrementando la rigidez de la edificación y reduciendo sus derivas.

Por otro lado, Armas (2022) menciona que la estructura de acero en un área como las zonas sísmicas de alto riesgo se reconoce como extremadamente efectiva contra estos fenómenos naturales debido a la elasticidad del material de acero. Cuando se trata de un espacio útil, el acero ofrece una excelente eficiencia

constructiva, permitiendo una limpieza más amplia que la construcción tradicional de concreto reforzado. Además, permiten un poco de uso de elementos de acero que las secciones de concreto, que son el uso más efectivo de la habitación.

Así mismo, Carazo et al. (2020) indican que, dentro de la construcción de edificaciones, las mediciones y el presupuesto de obra tienen como objetivo proporcionar una idea aproximada y lo más precisa posible del costo de ejecución del proyecto. Sin embargo, no incluyen los gastos de explotación, ni la amortización de la inversión una vez completada. Para determinar el presupuesto de una obra, se deben seguir estos pasos básicos: registrar y detallar las diferentes unidades de obra involucradas en el proyecto, realizar las mediciones y anotaciones de cada unidad, conocer el precio unitario de cada una y multiplicarlo por su respectiva medición.

2.2 Materiales estructurales

2.2.1 Hormigón armado

De acuerdo con Astudillo (2024) el hormigón armado se establece como un material estructural, denominado como concreto reforzado conformado por la mezcla de materiales entre los que se encuentran el cemento, la grava, arena, agua junto al acero de refuerzo y diversos aditivos los cuales son colocados en base a los requerimientos técnicos que se requieren para su cumplimiento, los mismos que se emplean para otorgarle a la mezcla compresión y tracción.

En efecto, Carazo et al (2020) determina que la estructura de hormigón armado también se la conoce como concreto reforzado, esto se debe a la combinación de las propiedades mecánicas del concreto que, junto al acero, tienen la capacidad de soportar grandes cargas de tracción, con gran resistencia, de alta manejabilidad, permeabilidad y estética. Su densidad aproximada es de 2400 kg/m^3 , y su resistencia se establece a intervalos de 15 MPa llegando a alcanzar hasta 200 MPa.

Dentro de una obra se emplean hormigones con diversas características los mismos son establecidos de acuerdo a las especificaciones y su uso, determinados

por aspectos como son su resistencia, la forma de manejo, el tiempo de durabilidad que se requiere, la permeabilidad y sus costos.

La estructura del proceso estructural de concreto se caracteriza por la integración efectiva de dos ingenierías esenciales y la construcción de materiales esenciales: refuerzo de concreto y acero. El concreto es un ingrediente importante que consiste en una aglomeración cuidadosa, una mezcla de unidades finas y gruesas, agua y aditivos especiales que variarán según las condiciones de exposición. Sus características principales son la compresión y la resistencia básica del trabajo en las estructuras (Malca et al., 2022).

Propiedades del hormigón armado

El concreto de hierro tiene propiedades mecánicas físicas que proporcionan trabajo civil con resistencia estructural sólida, lo que tiene una gran capacidad para observar la armadura y la densidad suficiente para garantizar la impermeabilización, lo que a su vez protege la armadura de corrosión. Dependiendo del propósito de la estructura de concreto reforzada y las condiciones ambientales a las que estará sujeto, se requieren propiedades especiales. Esto significa que el concreto debe mostrar resistencia al frío y al fuego en caso de exposición prolongada a alta temperatura, así como resistencia a la corrosión frente al entorno agresivo (Bautista e Inca, 2023).

Resistencia a la compresión: el concreto es extremadamente fuerte en el caso de resistencia a la compresión, lo que significa que puede soportar las cargas que lo aplastan. Esta propiedad es esencial para la formación de columnas, base y elementos para admitir cargas verticales (Bautista y Inca, 2023).

Adhesión de armadura: el concreto tiene una gran capacidad para adherirse a la bala, como las varillas de acero. Esta propiedad garantiza que el concreto y el acero actúen juntos como un sistema integrado para resistir las cargas estructurales (Caneco, 2024).

Densidad e impermeabilidad: el concreto tiene una densidad suficiente que previene la infiltración de agua y protege la armadura de corrosión. Esto es importante

para mantener una larga integridad de concreto y prevenir el daño por humedad (Canseco, 2024).

Resistencia: la resistencia de carga de la estructura de concreto se refiere a la capacidad de esta estructura para soportar una carga de distribución específica sin romperse. El concreto, que se caracteriza por material heterogéneo, responde a cargas externas, desarrollando una posición de voltaje compleja en su matriz. Esta tensión es el resultado de la interacción entre el concreto y las fuerzas aplicadas externamente (Malca et al., 2022).

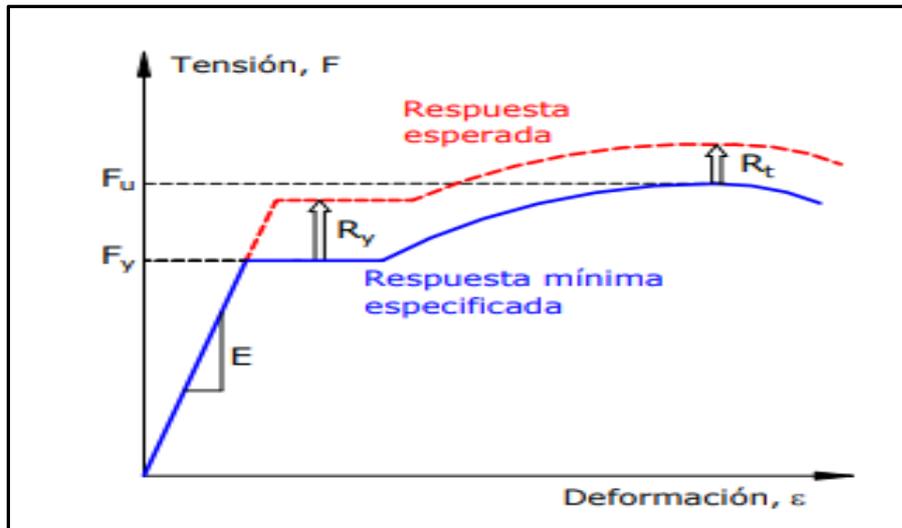
Deformabilidad: en el análisis de las propiedades mecánicas del concreto, es importante considerar las deformaciones que experimenta bajo el servicio. Dos tipos principales de deformación son significativos: las deformidades de volumen se manifiestan en todas las direcciones debido a fenómenos, como las variaciones de contracción o temperatura, y las deformaciones de potencia, comúnmente generadas en toda la línea de alimentación (Carazo et al., 2020).

2.2.2 Acero

El acero es un material de fabricación de tipo industrializado, el mismo que se caracteriza por mantener una elevada resistencia, rigidez y alta ductilidad, ya que le permite soportar diversas deformaciones de tipo plásticas sin que estas logren que se disminuya su resistencia, siendo su uso muy adecuado para ser empleado en construcciones de tipo sismo resistentes (Crisafulli, 2019). Cabe indicar, que los componentes estructurales del acero empleados en la construcción están compuestos por la tensión de fluencia mínima especificada y la resistencia de tracción (Figura 1).

Figura 1.

Curvas de tensión del acero



Fuente: Crisafulli (2019)

Estudios efectuados por indican que el acero estructural, se encuentra establecido en forma de láminas o perfilería; siendo este un material cuya característica básica es la alta resistencia a la compresión y alta tracción, siendo muy vulnerable a la corrosión, por lo que siempre debe de ir acompañado de recubrimientos galvanizado o de anticorrosivo (Armas, 2022).

Según Rodríguez et al (2023) el acero está compuesto de hierro y carbono en cantidades que oscilan entre 0.15% al 1.7% (p.6). Estas variadas proporciones de carbono, y la adición de otros metales como: níquel, silicio, magnesio y cobre; son las que le confieren al acero las características de dureza, resistencia y ductilidad requeridas en dependencia del elemento estructural que se vaya a conformar. Para el caso de estructuras civiles, el acero debe poseer una amplia gama de propiedades que permitan asegurar su correcto desempeño tanto en el proceso constructivo, uso normal y frente a fenómenos naturales extraordinarios. En el caso ecuatoriano, las principales fuerzas de interés a estudiar son las fuerzas que se desarrollan en los eventos sísmicos.

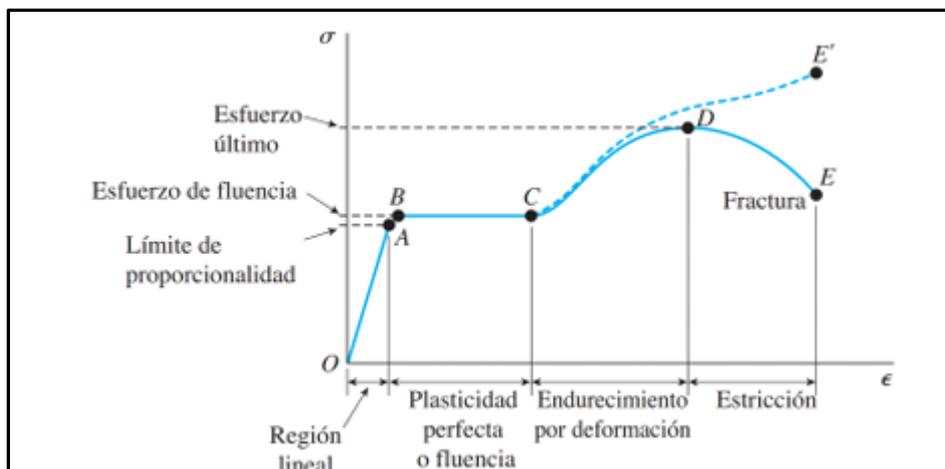
Propiedades del acero

Investigaciones desarrolladas por Astudillo (2024) indican que las propiedades del acero están determinadas por:

Diagrama de esfuerzo: En este diagrama se pueden diferenciar 4 fases por las que pasa el material antes de su rotura. La primera fase es la lineal, debido a que la curva es prácticamente una recta de pendiente constante. Luego se tiene la fluencia, que es donde se forma una meseta y se da una deformación plástica. Luego ocurre el endurecimiento por deformación, que es donde el acero sufre un endurecimiento y por tanto se requiere mayor esfuerzo para deformarlo. Y finalmente la fase de restricción, donde el acero paulatinamente reduce su resistencia hasta romperse, esto debido a que se considera una sección transversal constante, pero si se analiza el caso real, el acero continúa en un proceso de endurecimiento debido a que su sección transversal se reduce a medida que se estira el elemento (Figura 2).

Figura 2.

Diagrama de esfuerzo - deformación del acero



Fuente: Astudillo (2024)

Límite elástico: también llamado límite de proporcionalidad corresponde al esfuerzo límite que un material soporta, antes de que sus deformaciones dejen de ser proporcional al esfuerzo que se aplica, es decir, que la curva deje de ser una recta y,

por tanto, no se cumpla la ley de Hooke. De esta manera, si se aplican esfuerzos menores al límite elástico, el material regresa a su estado original, no deformado, una vez que se retire dicho esfuerzo (Astudillo, 2024).

Límite de fluencia: también conocido como esfuerzo de fluencia (F_y), es el punto en el que se inician las deformaciones plásticas del material. A partir de este, las deformaciones que sufra serán permanentes. Aunque dichas deformaciones dependen no tan solo del máximo valor alcanzado por el esfuerzo, sino también del tiempo que pasa antes de que se retire la carga (Fuentes y González, 2019). En estructuras, este esfuerzo de fluencia se considera como un indicador de resistencia del material debido a que, como filosofía de diseño, no se espera que la estructura colapse, sino que se asume que la estructura ha fallado cuando esta ha sufrido una gran cantidad de deformaciones plásticas, siendo estas irreparables.

Resistencia: es la capacidad de los elementos estructurales para soportar las fuerzas a las que se ven sometidos, sin sufrir daños. Esta capacidad está influenciada por factores como: el material utilizado, la geometría y la forma en que los elementos están unidos entre sí (Fuentes y González, 2019). La resistencia del acero es una de sus principales ventajas con respecto a otros materiales de construcción, debido a que el acero tiene una misma resistencia tanto a compresión como a tracción, mientras que materiales como el hormigón tiene una resistencia casi nula a tracción. Esto permite utilizar secciones mucho más pequeñas en los elementos estructurales, lo que reduce el peso de la edificación.

Resiliencia: es la capacidad de una estructura de soportar una carga de impacto sin que se deforme permanentemente (Costales y Gonzaga, 2022). Esta propiedad permite a una sección de acero absorber energía cuando se le aplica una carga y devolverla cuando dicha carga se deja de aplicar. Por lo tanto, las secciones muy resilientes pueden sufrir grandes deformaciones y regresar a su estado original sin apenas sufrir daño.

Ductilidad: se refiere a la propiedad que presentan algunos materiales, como el acero estructural, que les permite experimentar deformaciones unitarias

permanentes antes de alcanzar el punto de falla. Debido a esta propiedad, los materiales dúctiles exhiben una distorsión visible cuando se someten a cargas significativas, lo que brinda la oportunidad de tomar medidas correctivas antes de que ocurra la fractura (Crisafulli, 2019). Además, son capaces de absorber cantidades sustanciales de energía de deformación antes de experimentar la fractura. Dicha capacidad de absorber energía es vital para el comportamiento adecuado de las estructuras ante fuerzas sísmicas.

Tenacidad: es la capacidad de un material para absorber la máxima cantidad de energía por unidad de volumen justo antes de fracturarse. La tenacidad es una propiedad crucial en el diseño de elementos que podrían experimentar sobrecargas accidentales, como es el caso de los elementos estructurales, que están expuestos a sufrir grandes deformaciones o fuertes impactos en las etapas de fabricación, transporte y montaje (Fuentes y González, 2019).

Durabilidad: consiste en la capacidad del acero para mantener su sección y propiedades inalterables a través del tiempo. Esta capacidad se deriva directamente de la aleación específica de acero que se utilice, su ubicación geográfica y la protección que se le haya brindado. Uno de los fenómenos que más pueden afectar la integridad del acero es la oxidación, misma que lo puede destruir con relativa facilidad. Para evitar esta oxidación existen aleaciones de acero con diferentes metales, que ayudan a evitar el deterioro, aunque la solución más conveniente tanto logística como económica hoy en día es el proteger el acero con pinturas o polímeros que evitan el contacto del material con el agua o el aire (Fuentes y González, 2019).

Soldabilidad: es la capacidad del material para ser soldado bajo las condiciones de fabricación impuestas en una estructura específica, diseñada adecuadamente y que funcione de manera satisfactoria en la puesta en servicio. Este funcionamiento satisfactorio de la soldadura significa que el material soldado no presenta daños, tensiones, deformaciones en los productos finales o transformaciones estructurales perjudiciales. Aunque en muchos casos se opta por el uso de pernos en conexiones debido a su fácil normalización y predicción de

comportamiento, la soldadura aún es uno de los procesos más importantes y usados en el medio de la construcción (Armas, 2022).

Tipos de acero

Según la NEC (2024), el acero del que se espera un comportamiento inelástico, como en elementos de viga, su esfuerzo de fluencia (F_y) no debe exceder los 345 MPa. Para las columnas, donde solamente se requiere un comportamiento inelástico en la base de las edificaciones, se permiten esfuerzos de fluencia de hasta 450 MPa.

En general, los aceros estructurales autorizados para aplicaciones sísmicas deben presentar características como:

- Una meseta de fluencia claramente definida en el diagrama esfuerzo-deformación unitaria.
- Destacada capacidad para experimentar deformación inelástica.
- Muestran una excelente soldabilidad.

Existe una gran variedad de aceros que cumplen con estas condiciones y por tanto se podrían considerar para construcciones civiles.

2.3 Comparativa de aspectos técnicos

Para Rodríguez et al (2023) existen algunas características y diferencias referentes al uso de hormigón con relación al acero, como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1.

Comparación de aspectos técnicos

Hormigón armado	Acero estructural
Material monolítico producido con material de cantera.	Material producido industrialmente bajo explotación en minas.
Se fabrica en obra	Se obtienen perfiles normalizados.
El control de calidad se debe de hacer en obra. Depende de la calidad del material y de la habilidad de los operarios se requiere de ensayos para certificar la calidad.	El control de calidad de la materia prima se efectúa en taller. La certificación de origen satisface los requerimientos del interventor.
El resultado es una construcción maciza. La simulación de la acción estructural es incierta.	La forma es un esqueleto. La acción estructural aproxima a las idealizaciones lineales.
Las piezas son rígidas.	Las piezas son esbeltas.
No hay limitaciones en cuanto a formas y tamaños que se pueden obtener.	Las formas y tamaños están limitados por las facilidades de transporte entre fábrica y obra.
Al aumentar la exigencia se aumenta el tamaño o la calidad de los materiales.	Al aumentar la exigencia se puede controlar la respuesta mediante variación en la proporción general.
Los asentamientos diferenciales son perjudiciales.	Es menos sensible a los asentamientos diferenciales.
La acción sísmica es de cuidado debido a su rigidez.	Tolerancia a la acción sísmica debido a su flexibilidad.
La conducta del comportamiento es más desconocida y su respuesta es aleatoria.	Se conoce mejor la conducta y es más conocido el comportamiento.
Una falla de estabilidad puede llevar al colapso.	Una falla de estabilidad puede llevar a deformación permanente.
La disponibilidad generalizada de materia prima lo hace fácil de usar en cualquier lugar.	El uso de algunos elementos puede ser prohibido por algunas partes.
La conducta en tracción es deficiente. Debe usarse para refuerzo para mejorarla.	La capacidad bruta en todos los estados de tensión es equivalente. Debe

	controlarse la esbeltez para la comprensión.
El ajuste de la estructura en condición de falla es impredecible.	La estructura es propicia a redistribuir cargas en condición de falla.
No influye por separado en la resistencia en las uniones.	La resistencia en las uniones afecta la capacidad general.
La reducción de capacidad por esbeltez es moderada.	La reducción de capacidad por esbeltez es apreciable.
El límite de resistencia puede estar entre 200 y 400 MPa.	El límite de resistencia puede estar entre 200 y 600 MPa.

Fuente: Rodríguez et al (2023)

Los elementos estructurales de los edificios se caracterizan por su naturaleza bidimensional y su función principal de transferir tanto las cargas dinámicas como las inertes hacia los marcos estructurales. Las losas se pueden clasificar en varias categorías, como las losas apoyadas sobre vigas, las losas sin vigas (o placas planas) y los sistemas semi-prefabricados. Según Macías (2024) el diseño y las necesidades estructurales, estas losas pueden diseñarse para trabajar en una o dos direcciones perpendiculares, lo cual optimiza la distribución de las cargas y refuerza la estabilidad y resistencia general de la estructura.

Menciona que en la construcción su característica básica se basa en las losas y pilares, que son componentes fundamentales en la construcción, diseñadas para soportar tanto cargas distribuidas como concentradas. Estas cargas se transfieren directamente a las columnas sin la necesidad de vigas intermedias. Las losas planas destacan por su facilidad de construcción y costo reducido, lo que las hace ideales para viviendas unifamiliares (Andrade, 2023).

En la tabla 2 se indican los argumentos financieros que ocasionan afectación a las estructuras de hormigón armado y acero estructural.

Tabla 2.

Comparación de aspectos técnicos

Hormigón armado	Acero estructural
El costo en la mano de obra no está relacionado con la especialización, es decir, la mano de obra no es calificada.	El costo asociado con mano de obra está relacionado con la especialización, es decir, debe ser personal formado técnicamente.
La mano de obra calificada es ofrecida en el mercado laboral generalmente.	La mano de obra puede ser especializada es necesario buscarla.
Con relación al efecto del ambiente es casi invulnerable, solamente lo afectan algunos medios ácidos.	El material utilizado es muy susceptible al efecto del ambiente.
El mercado ofrece el comportamiento y el uso de los materiales con frecuencia, incluso asesoría gratuita para su uso.	Es escaso el ofrecimiento de los materiales para su uso y las asesorías para la implementación son un poco costosas.
El costo del material utilizado es el resultado de la interacción de la interacción de insumos ofrecidos en el mercado en abundancia.	El costo del material es producto del mercado externo controlado por oferta y demanda ajena.
Los costos de inversión al inicio de la ejecución son determinantes en la obra.	Los costos de inversión y los costos operacionales ayudan a tomar la decisión.
La tasa de interés de oportunidad es relativamente moderada por estar asociada a bajo riesgo.	La tasa de interés de oportunidad es relativamente alta por estar asociada al riesgo por su exclusividad.
En economías de escala es de fácil utilización para disminuir los costos.	No disminuye costos relativamente en economías de escala, pero incrementa el rendimiento.
La calidad del material impone relaciones altas entre longitudes de las piezas y su sección transversal.	La mejor calidad permite obtener menores relaciones entre longitud y sección.

Fuente: Rodríguez et al (2023)

Sin embargo, en edificaciones más grandes, se recomienda el uso de losas con casetones. Este enfoque mejora la resistencia estructural, reduce el grosor necesario, optimiza el uso de materiales y aumenta la eficiencia en el proceso constructivo. En definitiva, es una solución robusta y económica (Alfonso & Barrionuevo, 2023).

2.3.1 Presupuesto

El presupuesto de este proyecto refleja el cálculo de los gastos mínimos que se realizará sobre la base de la determinación cuantitativa de los bienes involucrados. El presupuesto es una parte esencial de la planificación, ya que le permite descubrir los posibles gastos y, por lo tanto, tratar de optimizar los recursos. El presupuesto consiste en una serie de bienes involucrados en la construcción del trabajo y, como un análisis de precio unitario, es necesario determinar el valor a pagar por su ejecución. Costos directos y costos indirectos para cada análisis. Para definir la estructura de la estructura, se requiere el análisis de precios unitarios (APU) (Caneco, 2024), que se describe a continuación.

El análisis de precios unitarios

Se requirió un análisis de análisis de determinación total del edificio del milenio para cada estudio de parte, que forma lo que se conoce como objetos, los mismos que pertenecen a cada proyecto. Dos tipos de costos están involucrados en el desarrollo de unidades: directas e indirectas, donde intervinieron dos factores importantes, como el uso y el factor de rendimiento (Caneco, 2024).

- **Uso:** este coeficiente es subjetivo y su valor está relacionado con un gran tamaño que espera reducir la pérdida de trabajos. Por ejemplo, hay equipos utilizados para cubrir ciertos procesos, pero solo funciona parte del tiempo que incluye parte de este propósito. Este factor sólo se utilizará para equipos y trabajo (Caneco, 2024).
- **Rendimiento:** dependiendo de la capacidad ambiental, el tipo de proyecto y la experiencia del constructor. Por esta razón, al analizar el equipo de precio unitario y los factores laborales, confiscaron el valor del beneficio, que se transforma en un valor económico, lo cual es obligatorio para el costo total. Pero en el material, que es otro elemento, no puede distinguir su utilidad, por lo que no hay un valor de beneficio que afecte (Catota y Zambrano, 2020).

Análisis de costos

Para el análisis de los precios unitarios, los costos directos que resultan en cuatro aspectos: mano de obra, equipos, materiales y transporte; Los costos indirectos se agregan durante las horas de trabajo (Catota y Zambrano, 2020).

Costo directo

Los costos directos son los obtenidos del proyecto y respondieron al costo de las herramientas, los salarios laborales de acuerdo con su desempeño, entrega de materiales, costos de transporte, es decir, todos los gastos directamente relacionados con la ejecución del proyecto de construcción (Catota y Zambrano, 2020).

Los siguientes son parámetros detallados que se tienen en cuenta en el análisis de costos directos.

Mano de obra

La fuerza laboral corresponde al costo del manual (personas) la fuerza laboral necesaria para la construcción del proyecto. El análisis de costos se llevó a cabo de acuerdo con el registro oficial, los componentes salariales, la maquinaria pesada, los soldadores y los operadores de construcción y la mecánica, que se dividieron por categorías de acuerdo con sus actividades. Las tasas salariales diarias mínimas están determinadas por la oficina del Auditor General en publicaciones oficiales. El rendimiento se expresa en horas: hombre (costo de tiempo) (Catota y Zambrano, 2020).

Material

Los materiales son todas las materias primas que intervienen según sea necesario para la construcción de materias primas. Todos los materiales fueron elegidos entre los mejores proveedores para garantizar su calidad, teniendo en cuenta la disponibilidad de materias primas en el mercado (Valdiviezo, 2019).

Equipo y máquinas

Estos costos corresponden a la velocidad establecida para el uso del equipo o arrendamiento necesario, ya sea equipos pesados, herramientas más pequeñas u otros equipos utilizados para el milenio para la construcción (Valdiviezo, 2019).

Transporte

Corresponde al material, máquina, etc. Costos de pago que generalmente se considera o se acepta internamente. En nuestro caso, el transporte no se considera el transporte (Valdiviezo, 2019).

Costo indirecto

Los costos indirectos son aquellos hechos para gastos administrativos, ganancias, inesperado, impuestos, gestión de la construcción, entre otras cosas, que son necesarias para la construcción adecuada. La incidencia de estos costos varía según la capacidad y la organización de la empresa constructora. Esta herramienta es una ventaja para el desarrollador, que depende de las condiciones en las que el proyecto, el riesgo de inversión, el tiempo de recuperación de capital (Valdiviezo, 2019).

2.4 Marco Legal

2.4.1 Legislación y normativa aplicable

Cuando se lleva a cabo la construcción de un rascacielos como la Torre Millenium, la legislación y normativa aplicable juega un papel crucial a fin de que se garantice la seguridad, durabilidad, accesibilidad y sostenibilidad de la infraestructura. Esta normativa regula aspectos clave, como la resistencia estructural, las condiciones sísmicas, la protección contra incendios, la eficiencia energética y las condiciones de trabajo durante la construcción. Normativa Internacional:

Las normativas internacionales proporcionan guías de referencia que son adoptadas o adaptadas por diferentes países según sus necesidades. Algunas de las principales normas internacionales incluyen:

- **Normas de la International Code Council (ICC)**

International Building Code (IBC): El IBC es uno de los códigos más influyentes y adoptados a nivel mundial en la construcción de edificios de gran altura. Establece requisitos para la seguridad estructural en función del material de construcción (hormigón, acero, madera, etc.), la protección contra incendios, la accesibilidad y las condiciones sísmicas.

Normas de resistencia sísmica: El IBC incorpora los Seismic Design Categories (SDC), que determinan los requisitos estructurales específicos según la actividad sísmica de la zona.

- **Normas ISO**

ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad. Asegura que la construcción cumpla con los estándares internacionales de calidad.

ISO 14001: Sistemas de gestión ambiental. Regula la gestión de la sostenibilidad y el impacto ambiental de la construcción.

ISO 15686: Ciclo de vida de los edificios, que incluye el uso de materiales y su mantenimiento a largo plazo.

- **Norma Ecuatoriana de la construcción – NEC 15**

Cabe indicar que el objetivo primordial de esta norma es la de poder regular cada uno de los procesos a fin de poder dar cumplimiento a las normas básicas de seguridad y calidad en relación a las estructuras, en las distintas fases desarrolladas durante el diseño, la construcción y en el mantenimiento de estas, esto con el fin de poder evitar el colapso de las edificaciones, caracterizado por la presencia de requisitos mínimos, los cuales se basan en el comportamiento elástico lineal y no lineal de las estructuras (NEC, 2016).

Por otro lado, se establece el factor de importancia donde su propósito radica en el incremento de la demanda sísmica para el diseño de estructuras, las cuales se fundamentan de acuerdo a las características de su uso e importancia de la operatividad o la ocurrencia de del sismo de diseño (NEC, 2016).

Para la parte de diseño de estructuras se tomó como referencia a las siguientes normas:

- (AISC360) del 2010
- (AISC341) del 2010
- (AISC358) del 2010 [3]

Normativa referencial de procesos de fabricación y montaje para estructuras metálicas:

- (RCSC 2009)
- (AISC 303)
- (AWS D1.1 2020)

- **Código Ecuatoriano de Construcción del año 2001**

El CEC-2001 se cultiva como el estándar actual para la construcción de la ejecutora, este código se centra en los cálculos de carga lateral, como las cargas de viento y gravedad, también llamadas cargas sísmicas que operan en edificios. Los criterios CEC-2001 le permiten determinar el tipo de carga que excede el tamaño del tiempo del edificio.

El proceso de diseño basado en el CEC-2001 consistió en la gravedad y el cálculo de la carga lateral, y cuando se lograron estos valores, se usaron los criterios del American Steel Institute of Steel Construction (AISC) para demostrar el tamaño de los elementos para formar la estructura.

Tabla 3.

Tipo de importancia de las edificaciones

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no se clasifican dentro de las categorías anteriores.	1.0

Fuente: Normas Ecuatorianas de la Construcción (2016)

- **Normativa Sismo Resistente**

El diseño de estructuras de acero se basa en dos tipos de cargas importantes: las gravitatorias y las laterales. No obstante, para que una edificación sea considerada sismo resistente, es esencial tener en cuenta que estas cargas laterales pueden ser significativas. La norma NEC-2015 en su apartado NEC-SE-AC establece las directrices para asegurar la resistencia sísmica de estructuras de acero, planteando tres alternativas que han demostrado ser efectivas para reducir el impacto de la energía sísmica. La primera alternativa es el diseño mediante pórticos especiales a momento, seguida del diseño mediante pórticos arriostrados especiales concéntricos

y excéntricos. Para el desarrollo del diseño de una estructura de acero, el dimensionamiento de componentes sometidos únicamente a cargas gravitatorias debe referirse a las especificaciones de la AISC-360-10, dado que la sección NEC-SE-AC de la norma se enfoca únicamente en las directrices para dimensionar estructuras de acero desde el criterio sismo resistente.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

En este estudio se empleó una investigación de tipo explicativa, donde se involucró problemas teóricos y prácticos de carácter mixto, que fue apoyada en la revisión documental. De acuerdo con Hernández et al (2014) este tipo de investigación no solo se encarga de la descripción, sino que ayuda con la explicación precisa de las causas de los eventos físicos estudiados.

3.2 Método de investigación

En relación al método empleado en este estudio fue de tipo inductivo – deductivo, lo que permitió obtener conclusiones a partir de los campos que se encuentran asociados al conocimiento desarrollado en la ingeniería civil, las mismas que se relacionarán con las variables en estudio.

3.3 Enfoque

El método de estudio es principalmente descriptivo y analítico. Las propiedades del concreto de hierro y las estructuras de acero se describen en el contexto de la construcción del edificio de la torre Millenium. Si se determina el análisis comparativo de las propiedades para identificar las similitudes y las principales diferencias, se utiliza el método de investigación, ya que el objetivo es proporcionar información práctica para las decisiones en la construcción de edificios.

3.4 Alcance

Por otro lado, la naturaleza descriptiva del estudio implica el colapso cuidadoso de los componentes del estudio. Este análisis profundo tiene como objetivo probar la causalidad, las circunstancias y las posibles explicaciones detrás de los fenómenos

observados. El propósito de los estudios analíticos es revelar la complejidad del sujeto del estudio y garantizar una base sólida para la interpretación de los resultados.

3.5 Técnicas e instrumentos

El diseño general se adapta y garantiza el cumplimiento de los objetivos de manera ordenada, que está considerando tres pasos donde:

Fase I: recopilación de datos de propiedades de construcción, la revisión bibliográfica de estructuras de concreto reforzadas y de acero.

Fase II: Diseño de modelos de diseño para modelos estructurales de concreto y acero reforzados utilizando disposiciones técnicas y regulatorias NEC-2015, EYE 318-19 y AISC 341-16. Hay un diseño de diseño adecuado para satisfacer las necesidades del proyecto. Su enfoque es práctico y técnico y está considerando dos modelos estructurales de concreto reforzado y una de las instituciones escolares de acero que realizan un análisis técnico comparativo entre ellos.

Fase III: El análisis de costo total por medidor cuadrado (m^2) para cada uno de los modelos estructurales con un presupuesto y un enfoque económico limita los costos asociados con la construcción de dos modelos estructurales, lo que determina qué sistema de construcción es más barato.

El edificio diseñado estará diseñado para casas residenciales gracias al crecimiento demográfico, que actualmente presenta los medios de comunicación, por lo que es importante construir esta estructura. Este edificio será de 20 niveles, ya que es una altura representativa en el entorno, además de la separación entre los niveles de 3.50 m ayudará a obtener los parámetros que nos sirven para comparar.

Las luces entre las columnas del edificio varían de 3 metros a 6 metros, ya que representan luces típicas que se pueden encontrar en cualquier estructura del cuerpo para distinguir cada uno de ellos.

Esta geometría se basa en varios modelos arquitectónicos analizados e intenta simplificar su morfología para lograr un tipo de edificio que crea una idea clara de un edificio real. Los materiales destinados a la construcción pueden ser procesados o producidos por productos dirigidos constantemente en cualquier trabajo de ingeniería. Por lo general, estos materiales deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Resistencias mecánicas según su uso
- b. Estabilidad física (dimensiones)
- c. Protección de higiene y salud de los empleados y usuario, no cambia el entorno.
- d. Estabilidad y protección en caso de fuego, estética y uso financiero. (NEC, 2015).

Como se mencionó anteriormente, se utilizarán los dos materiales más utilizados en el país, tales como: acero de concreto y acero estructural reforzados, ya que tienen propiedades técnicas y constructivas que ayudan a la funcionalidad del edificio; Además, estos materiales pueden cumplir con los requisitos anteriores, lo que nos obliga a transformarlos en materiales ideales para proyectos de vivienda.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

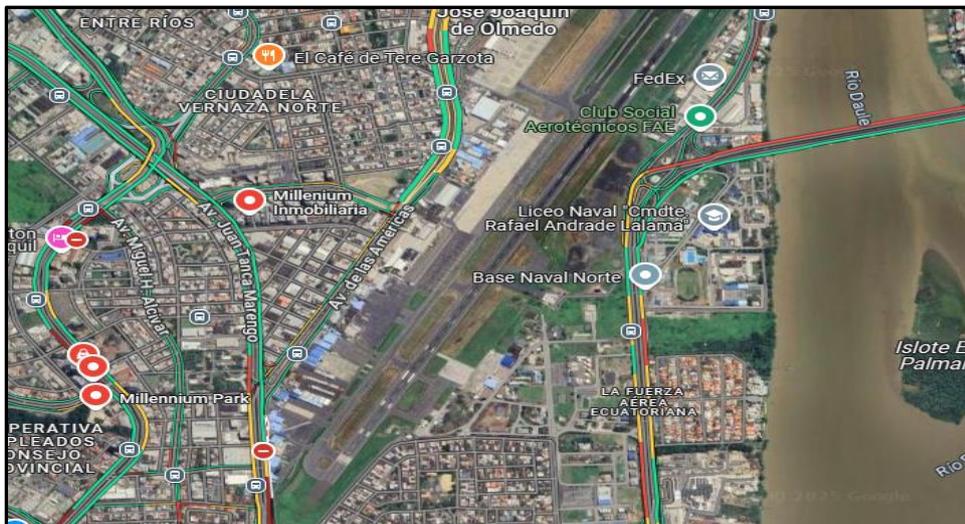
Para llevar a cabo el diseño estructural de la Torre Millenium, se tuvo en consideración los siguientes parámetros:

- **Localización del proyecto**

Se encuentra ubicado en la Provincia del Guayas, Cantón Guayaquil, parroquia Tarqui. En cuanto a los límites territoriales de la Torre Millenium se ubica en la zona norte de la ciudad, en la avenida Francisco de Orellana, al lado del Edificio World Trade Center, una de las zonas con mejor infraestructura urbana del centro de la ciudad (Figura 3 y Figura 4).

Figura 3.

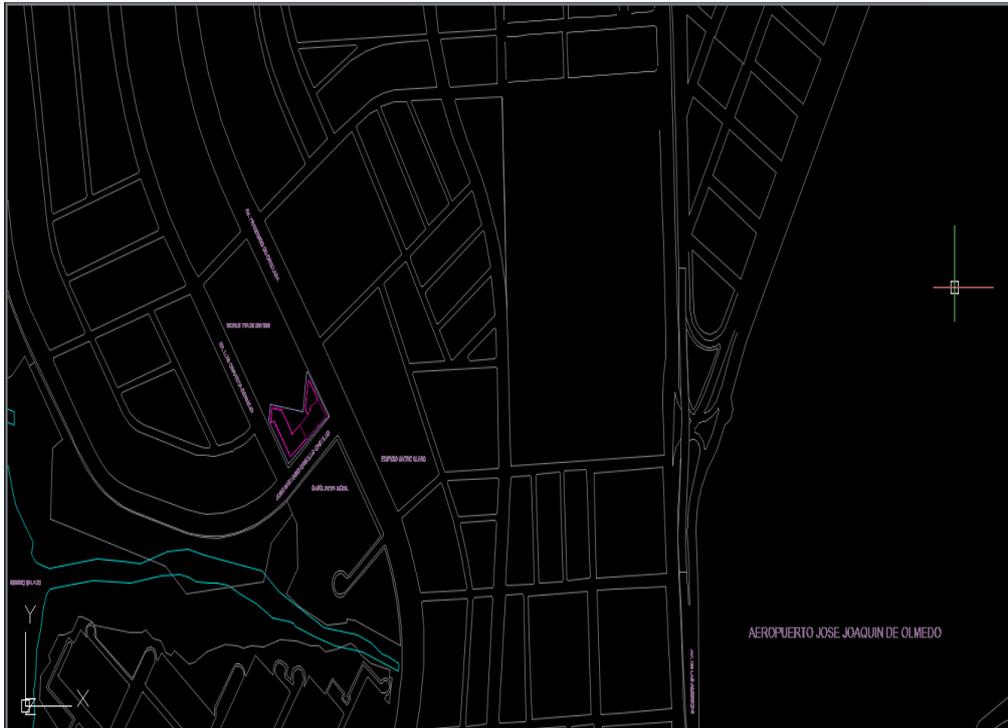
Ubicación Torre Millenium



Fuente: Google Maps (2025)

Figura 4.

Levantamiento planimétrico



Elaborado por: Jiménez (2025)

- **Levantamiento topográfico.**

El levantamiento cuyo objetivo principal era la toma de datos, mediante el uso de una libreta de campo, con el establecimiento de puntos, donde posteriormente se pudo establecer la superficie.

En la planimetría se empleó el método GPS. El área de terreno levantada fue de (Figura 5).

4.1 Diseño de elementos estructurales de hormigón armado

En el Ecuador, la NEC15 establece que las secciones transversales sometidas a cargas de: flexión, axial o flexo-compresión deben basarse en el equilibrio y compatibilidad de deformaciones, por lo tanto, las alternativas propuestas serán diseñadas para satisfacer las solicitaciones de carga que presente cada miembro estructural, según los parámetros expuestos en la norma.

Para el proceso de encontrar $f'c$ se utilizó la siguiente ecuación:

$$f'c = \frac{P \text{ [kg]}}{A \text{ cm}^2}$$

En donde:

$f'c$ = resistencia a compresión simple en Kg/cm^2

P= Carga máxima en kg

A= Área de la carga axial del espécimen en cm^2

Resistencia a la compresión: $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad $Ec = 232000 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de Poisson $\mu = 0,2$

Tabla 4.

Requerimientos a la compresión de hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia a la compresión de hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$	
Volumen del hormigón	1m ³
Asentamiento	5 – 10 cm
Contenido de aire	2%
Datos preliminares	
Densidad real del cemento	2900 kg/m ³
Densidad real de la arena	2463 kg/m ³
Densidad real del ripio	2365 kg/m ³
Densidad real del agua	1000 kg/m ³
Porcentaje óptimo de la arena	54%
Porcentaje óptimo ripio	46%

Elaborado por: Jiménez (2025)

4.2 Diseño de elementos estructurales de acero

Los materiales para usar para el personal estructural fueron ASTM A36, donde el borde del deslizamiento era mayor o igual a 2500 kg/cm², mientras que la placa de colaboración será galvanizada ASTM A653 Steel.

Los perfiles estructurales que se utilizarán para el modelado y el diseño estructural tienen las siguientes características:

Módulo de Elasticidad $Ea = 2000000 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de Poisson $\mu = 0,3$

1.5.1 Modelación de la geometría

Para definir el modelado de geometría, se definieron los miembros estructurales de los planes arquitectónicos existentes.

Prediseño de los miembros estructurales

Los miembros estructurales tenían la intención de definir las dimensiones anteriores que se utilizarán para luego crear una solución estructural y, por lo tanto, verificar que cumpla con las solicitudes para las cuales la estructura estará subordinada. Esta dimensión no fue definitiva ya que las secciones especificadas se optimizaron a través del proceso de diseño.

Se desarrollaron modelos estructurales de soluciones de concreto y acero para una mayor rigidez de la estructura, y que es financieramente viable, entonces los valores de distorsiones y cantidades son los desarrolladores anteriores propuestos anteriormente (Tabla 3, Tabla 4).

Tabla 5.

Matriz de modelo de hormigón armado

Variante de hormigón armado		Distorsión de columnas		Cuantías de obra Prediseño estimado Índices por m ²		
Modelo	Breve Descripción	Dirección X	Dirección Y	Cuantía Encofrado	Cuantía Hormigón	Cuantía Acero
1	Ascensor: muros de corte Columnas cuadradas	1/166	1/121	2.089	0.323	53.72

Elaborado por: Jiménez (2025)

Tabla 6.

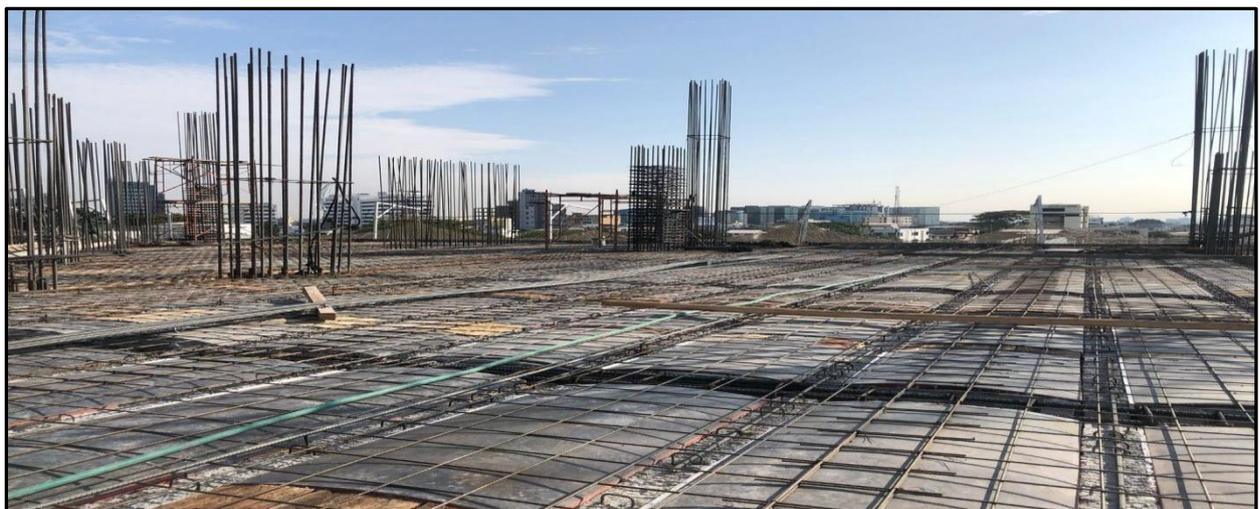
Matriz de modelo de hormigón armado

Variante de hormigón armado		Distorsión de columnas		Cuantías de obra Prediseño estimado Índices por m ²		
Modelo	Breve Descripción	Dirección X	Dirección Y	Acero ASTM A36	Cuantía Hormigón	Cuantía Acero
1	Ascensor: muros de corte Col. Perfiles I Armados	1/132	1/110	60246	0,244	23,11

Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 5.

Miembros estructurales



Elaborado por: Jiménez (2025)

Prediseño de la solución estructural en hormigón armado

Para el prediseño de la losa se empleará una losa nervada, basándose en las siguientes consideraciones:

$$h_{min} = \frac{1}{30} L_n + h_{compresión}$$

L_n = Luz libre en la dirección larga, medida cara a cara de las vigas en centímetros

$h_{compresión}$ = Espesor de la chapa de compresión en centímetros.

Datos: $L_n = 6,35m$

$h_{compresión} = 0,05m$

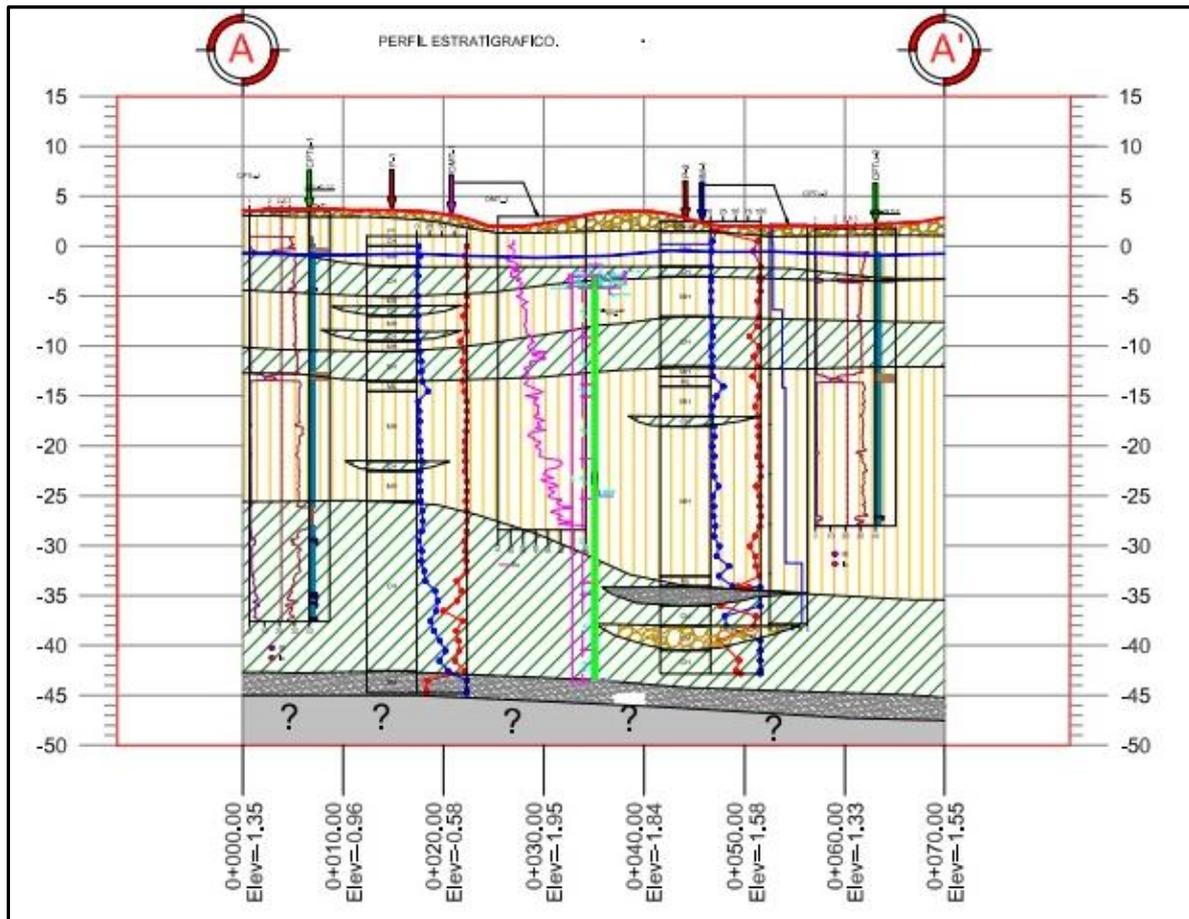
$$h_{min} = \frac{1}{30} (635) + 5$$

$$h_{min} = 26cm \approx 25cm$$

La estructura en su mayor parte es de hormigón armado y se encuentra conformada por un sistema de pórticos espaciales establecidos por columnas, vigas y losas del mismo material. De manera inicial se procedió a efectuar el perfil estratigráfico donde se estableció la disposición en la cual se ubican las capas de una sección vertical del suelo y el respectivo orden de sucesión de los estratos (Figura 6).

Figura 6.

Perfil estratigráfico

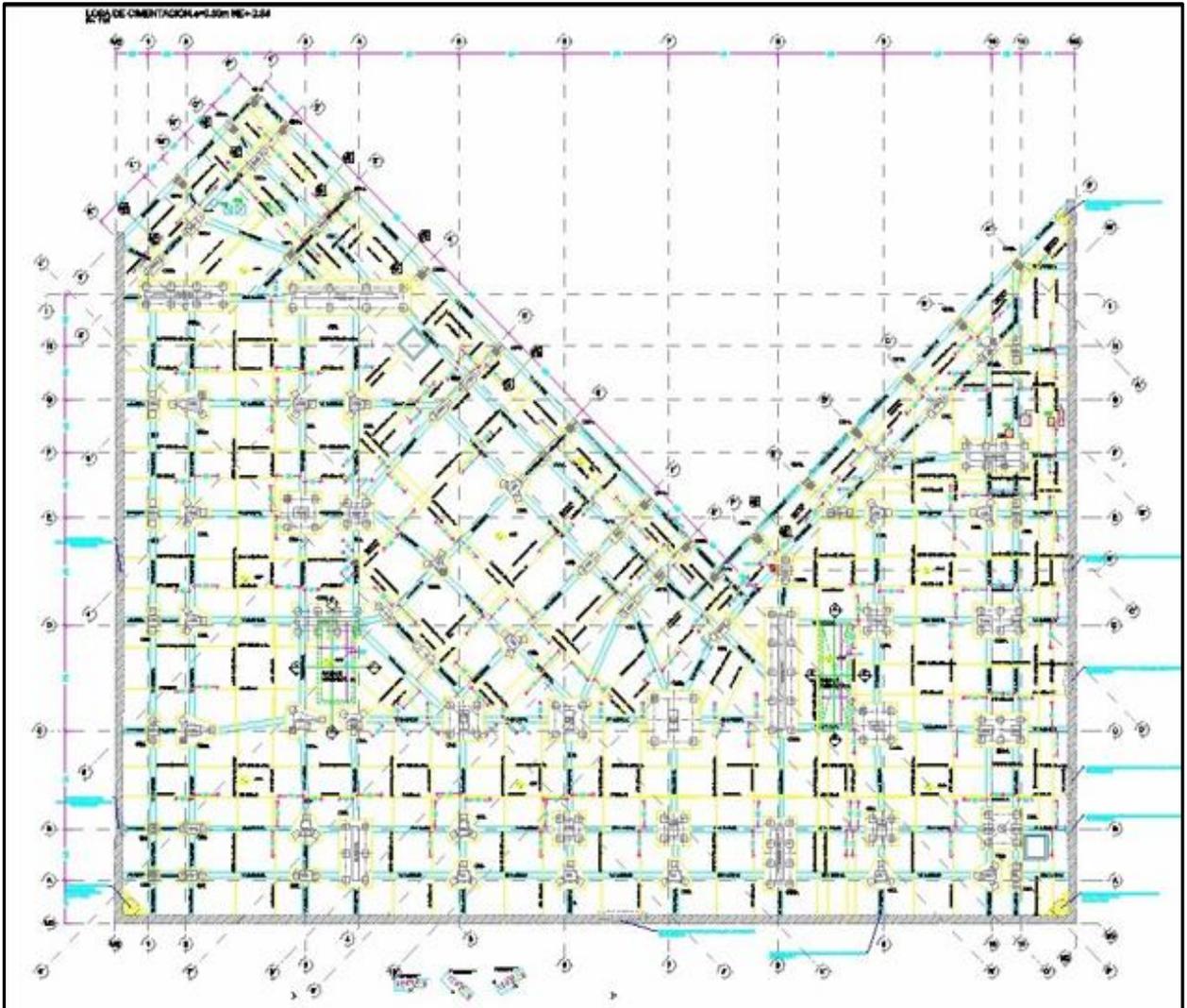


Elaborado por: Jiménez (2025)

En el subsuelo se efectuó la localización de muros de contención con vista al norte y oeste. En la cara este de la edificación se encuentran las escaleras y los ascensores, junto a una ampliación de la losa (Figura 7, Figura 8).

Figura 7

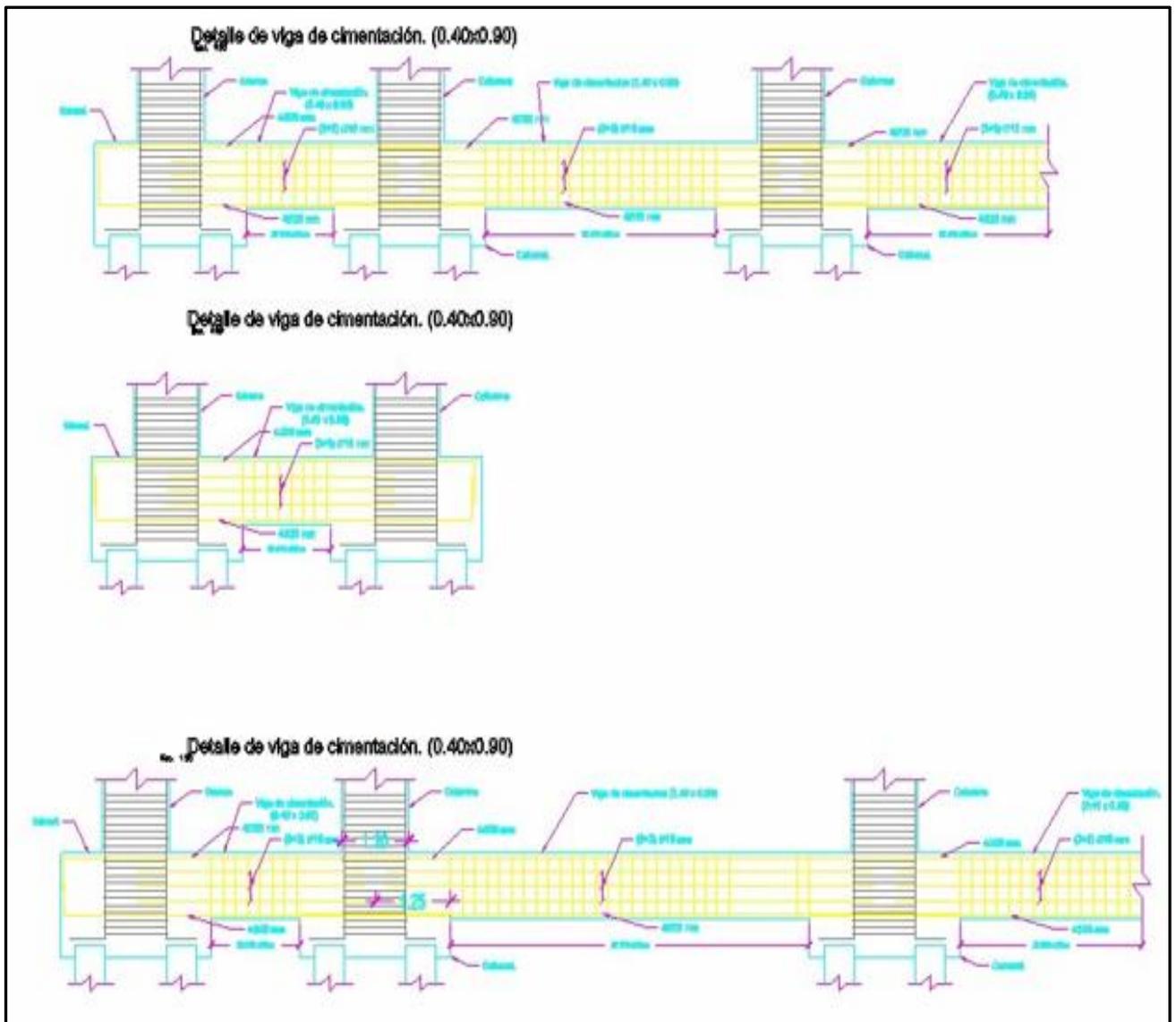
Losa de cimentación



Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 8.

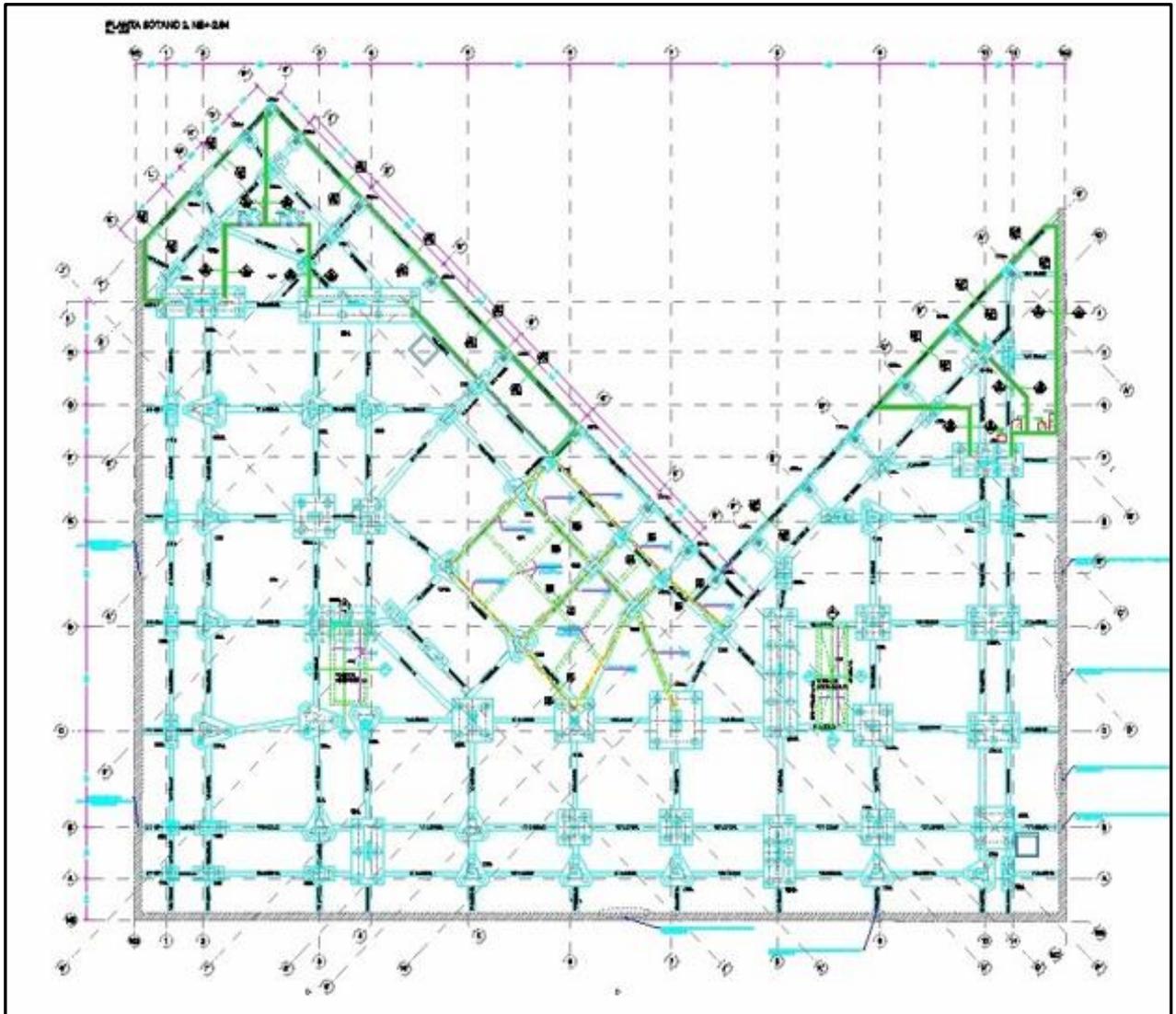
Detalle de la cimentación



Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 9.

Sótano



Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 10.

Sección de losa nervada



Elaborado por: Jiménez (2025)

Prediseño de vigas

Para el prediseño del elemento estructural viga, se estableció en base a la fórmula de zona sísmica alta para las vigas principales y secundarias, la cual se desarrolló en base a secciones rectangulares, determinadas en las siguientes relaciones:

$$\frac{L_n}{10} \geq h \geq \frac{L_n}{15}$$

$$\frac{2}{3}h \geq b \geq \frac{1}{2}h$$

L_n = Luz libre en la dirección larga, medida cara a cara de las vigas en centímetros Datos:

$$L_n = 6,35m \rightarrow h = \frac{6,35}{10} = 0,63 \approx 0,6m$$

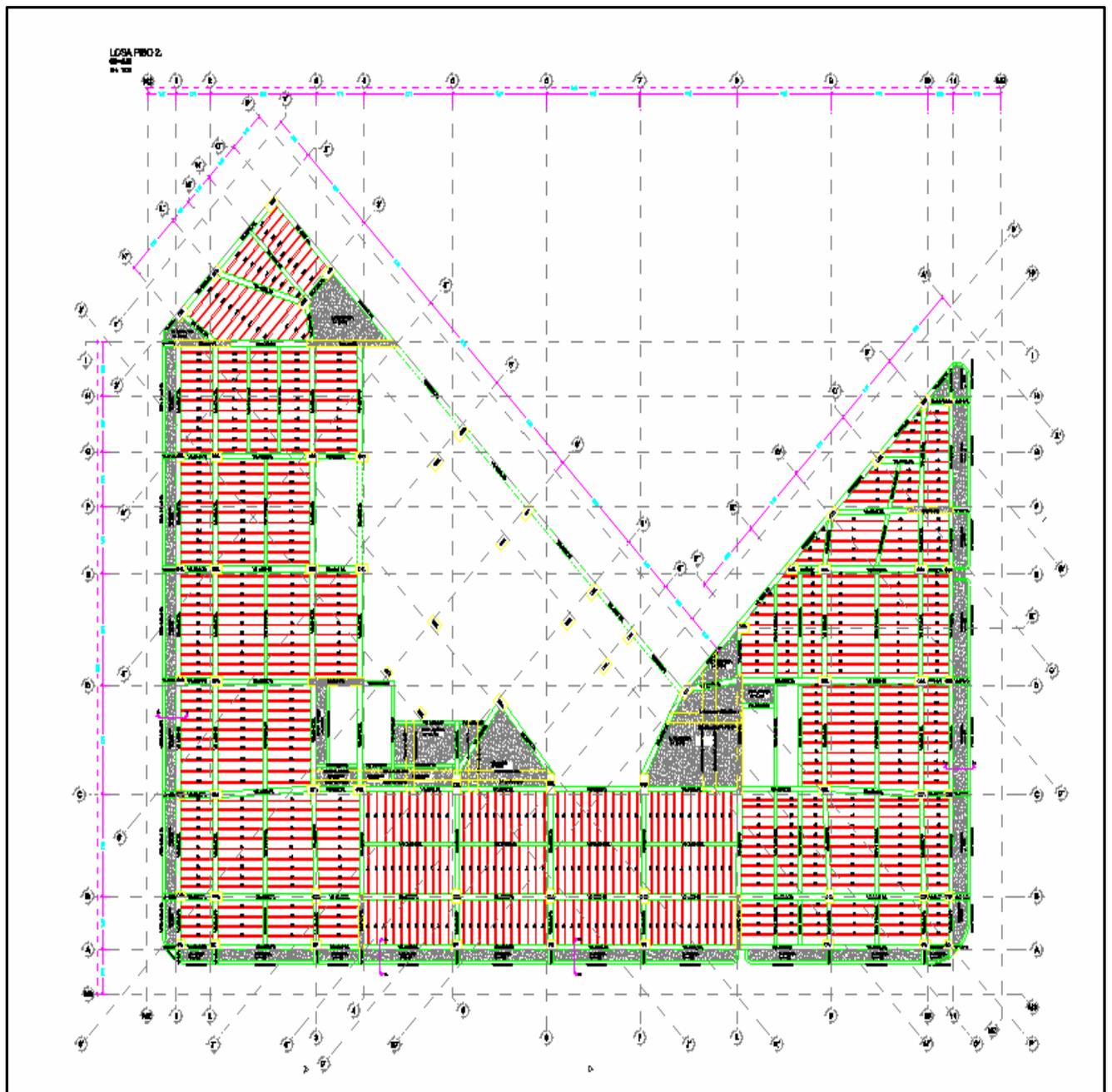
$$L_n = 6,35m \rightarrow h = \frac{6,35}{15} = 0,42 \approx 0,5m$$

$$h = 0,5m \rightarrow b = \frac{2}{3}(0,5) = 0,33 \approx 0,4$$

$$h = 0,5m \rightarrow b = \frac{1}{2}(0,5) = 0,25$$

Para el diseño de las vigas se escogió una sección rectangular de altura (h) de 50 cm y un ancho (b) de 30cm para todas las vigas.

Figura 11.

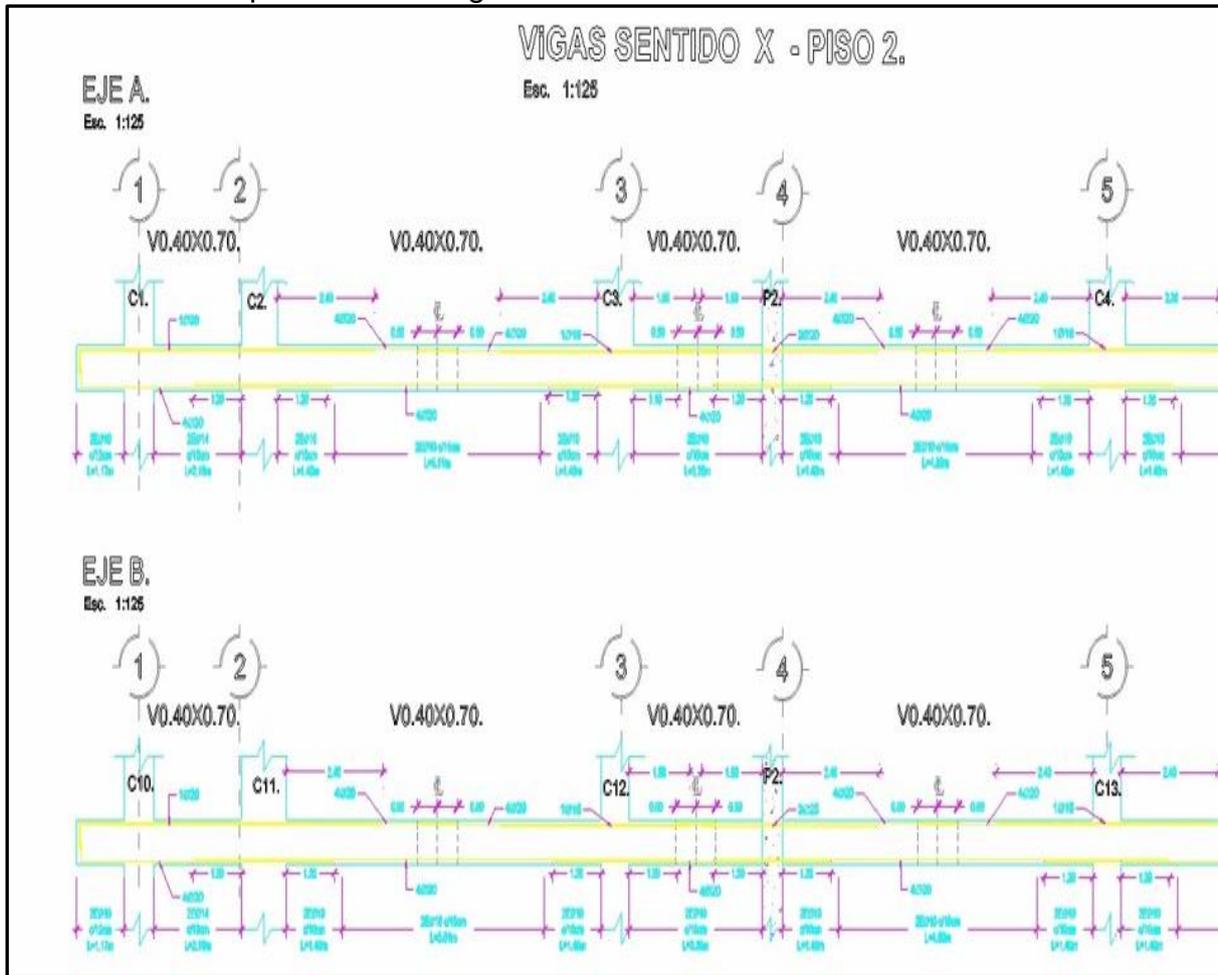


Prediseño de vigas

Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 12.

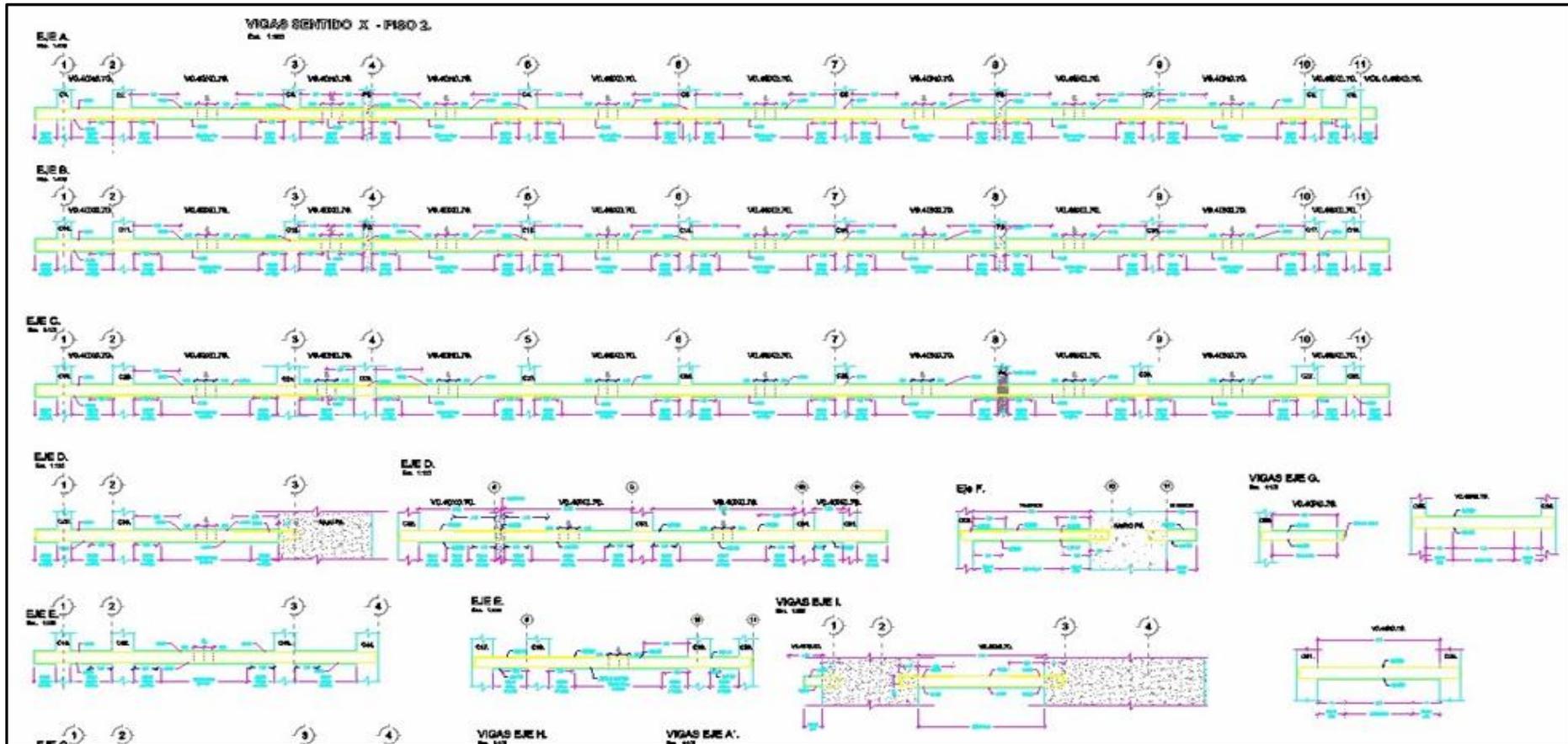
Dimensiones de prediseño de vigas



Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 13.

Prediseño de vigas



Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 14.

Diseño de vigas



Elaborado por: Jiménez (2025)

Prediseño de columnas

Las columnas cuadradas se crearán para suposición de columna, dependiendo de las siguientes condiciones:

$$\frac{L_n}{l_{menor}} \leq 10 - 12$$

L_n = Altura libre entre pisos

l_{menor} = Lado menor de columna

En columnas sismo-resistentes se consideró 0,3 m.

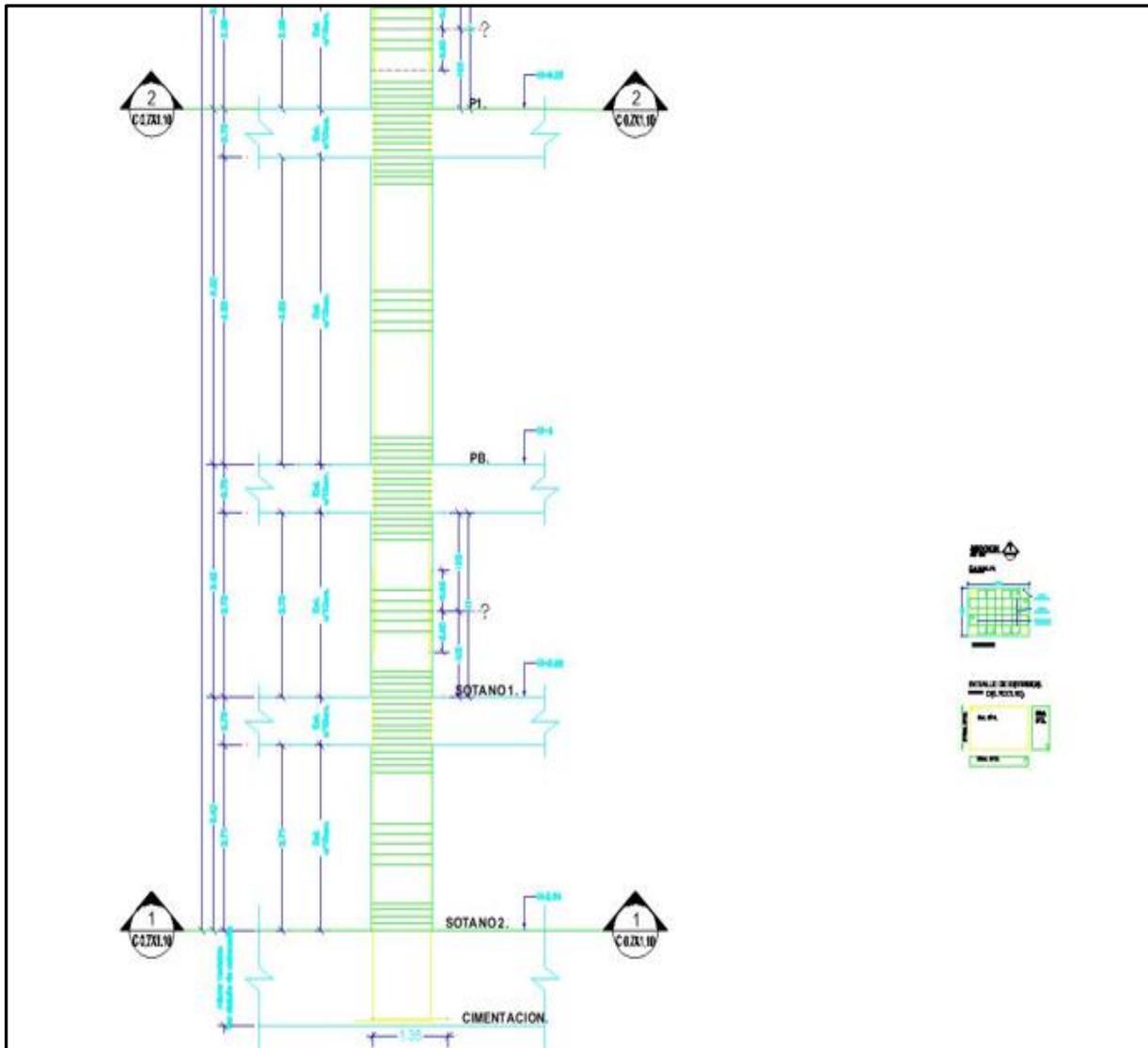
$$l_{menor} = 40$$

$$\frac{324}{40} \leq 10 - 12$$

$$8,1 \leq 10$$

Figura 15.

Prediseño de columnas de cimentación a planta baja



Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 17.

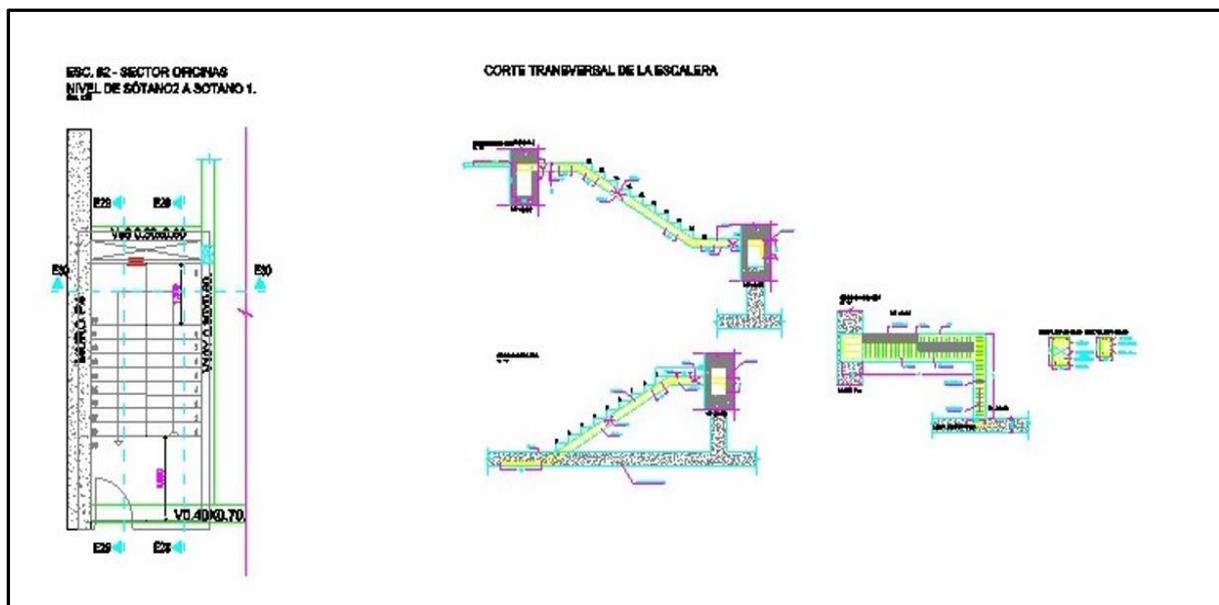
Diseño de columnas



Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 18.

Prediseño de escaleras



Elaborado por: Jiménez (2025)

Prediseño de la solución en acero estructural

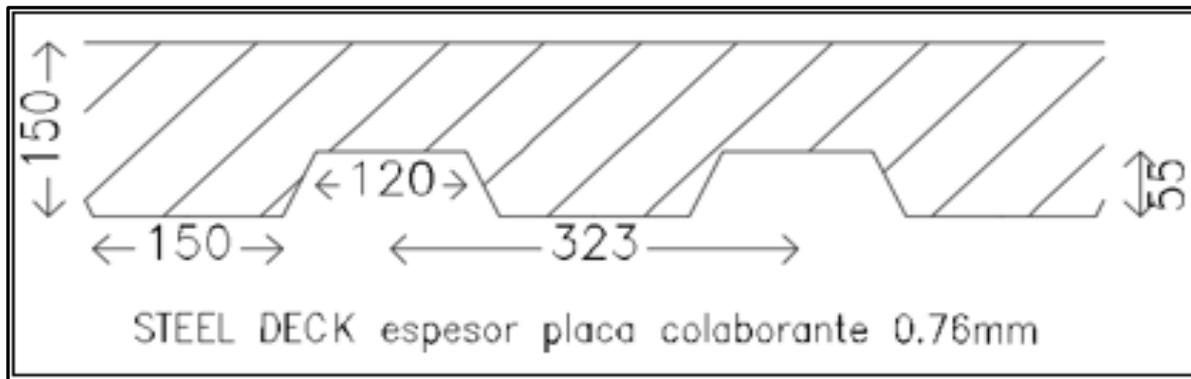
Prediseño de losa

Para la forma de una placa de colaboración de acero, el tipo de acero del acero se basó en las consideraciones descritas en el software especializado (Figura 9).

$$\begin{aligned} \text{Espesor losa}_{\text{sobre cresta}} &= 5,5\text{cm} \\ \text{Espesor placa colaborante} &= 0.76\text{mm} \end{aligned}$$

Figura 19.

Losa tipo steel deck



Fuente: Astudillo (2024)

Prediseño de vigas

En el establecimiento de vigas, se pusieron secciones tipo I, en base a las siguientes ecuaciones

$$\begin{aligned} \frac{L_n}{12} &\geq h \geq \frac{L_n}{20} \\ \frac{2}{3}h &\geq b \geq \frac{1}{2}h \end{aligned}$$

L_n = Luz libre en la dirección larga, medida cara a cara de las vigas en centímetros

Datos: $L_n = 6,35m$

$$L_n = 6,35m \rightarrow h = \frac{6,35}{12} = 0,45 \approx 0,4m$$

$$L_n = 6,35m \rightarrow h = \frac{6,35}{20} = 0,31 \approx 0,3m$$

$$h = 0,3m \rightarrow b = \frac{2}{3}(0,3) = 0,2$$

$$h = 0,3m \rightarrow b = \frac{1}{2}(0,3) = 0,15$$

$$e_{alma} < e_{patin}$$

$$e_{alma} = 10mm$$

$$e_{patin} = 12mm$$

Se define emplear vigas de peralte (h) de 300mm y un ancho (b) de 200mm para las vigas con espesores de alma y patín de 10mm y 12mm respectivamente.

Prediseño de columnas

Para el prediseño de columnas se establecerán columnas con perfiles tipo I, en función de las siguientes relaciones:

$$\frac{L_n}{l_{menor}} \leq 12 - 14$$

L_n = Altura libre entre pisos en centímetros

l_{menor} = Lado menor de columna en centímetros

Para columnas sismo-resistentes considerar un mínimo de 0,3 m

$$l_{menor} = 40$$

$$\frac{324}{40} \leq 12 - 14$$

$$8,1 \leq 12$$

$$e_{alma} < e_{patin}$$

$$e_{alma} = 10mm$$

$$e_{patin} = 15mm$$

Se define para usar columnas de bombilla (H) de 300 mm y vigas de 200 mm de ancho con grosor del alma y patinador de 10 mm y 15 mm respectivamente.

Prediseño de la cimentación

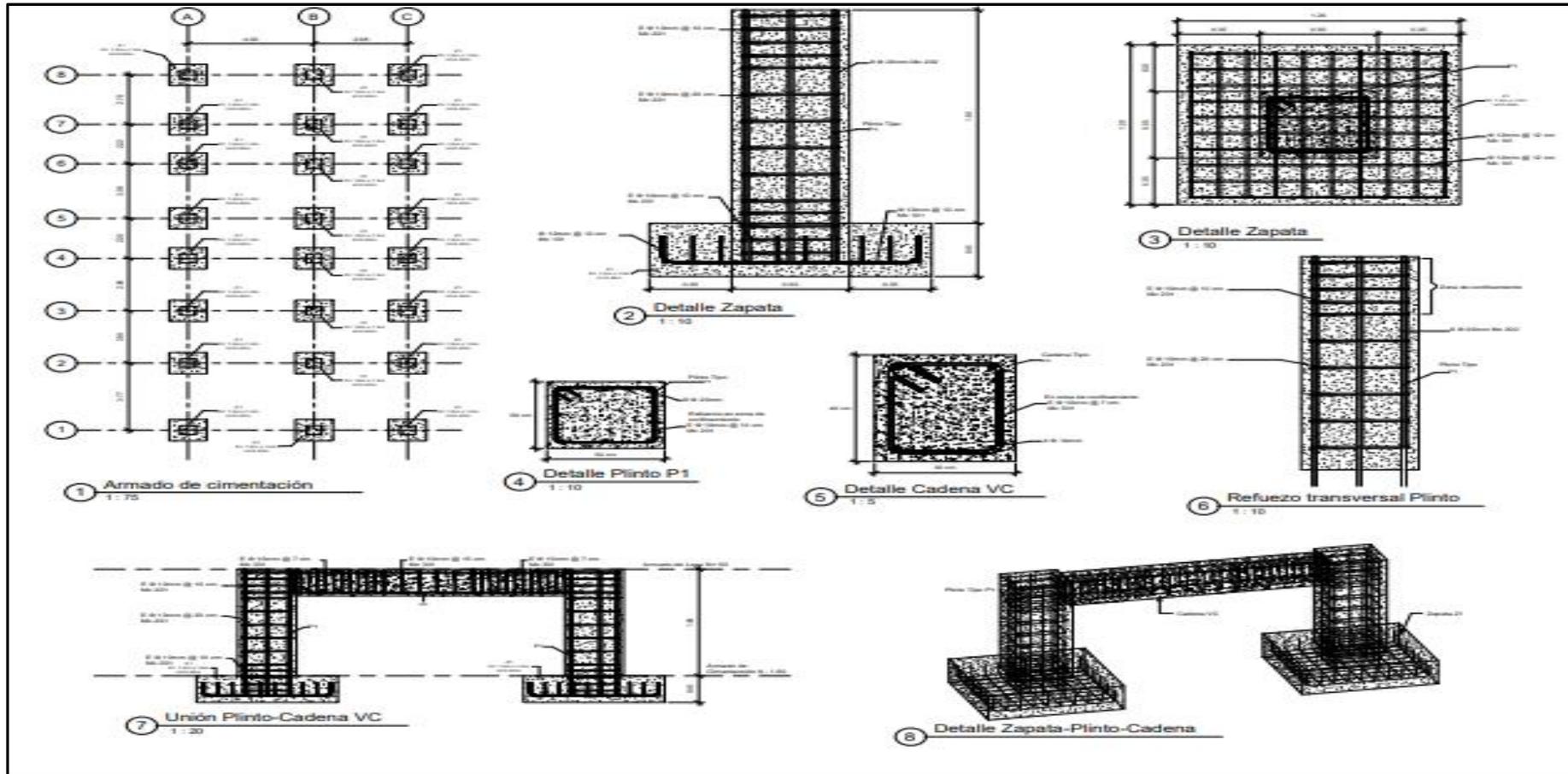
Los conceptos básicos, teniendo en cuenta ambas opciones, utilizarán concreto reforzado, que sucederá, que será el sótano; Los zapatos se ejecutarán debajo de la pared, así como t -bami invertido, que está atado a la pared. El criterio geométrico se tiene en cuenta en los proyectos previos de las paredes desde la profundidad parcialmente humana.

Se considera una profundidad de H=2,16m, y se obtiene las dimensiones siguientes:

- Espesor muro C=0,25.
- Peralte de la zapata E=0,30m.
- Base B=1,50m.

Figura 20.

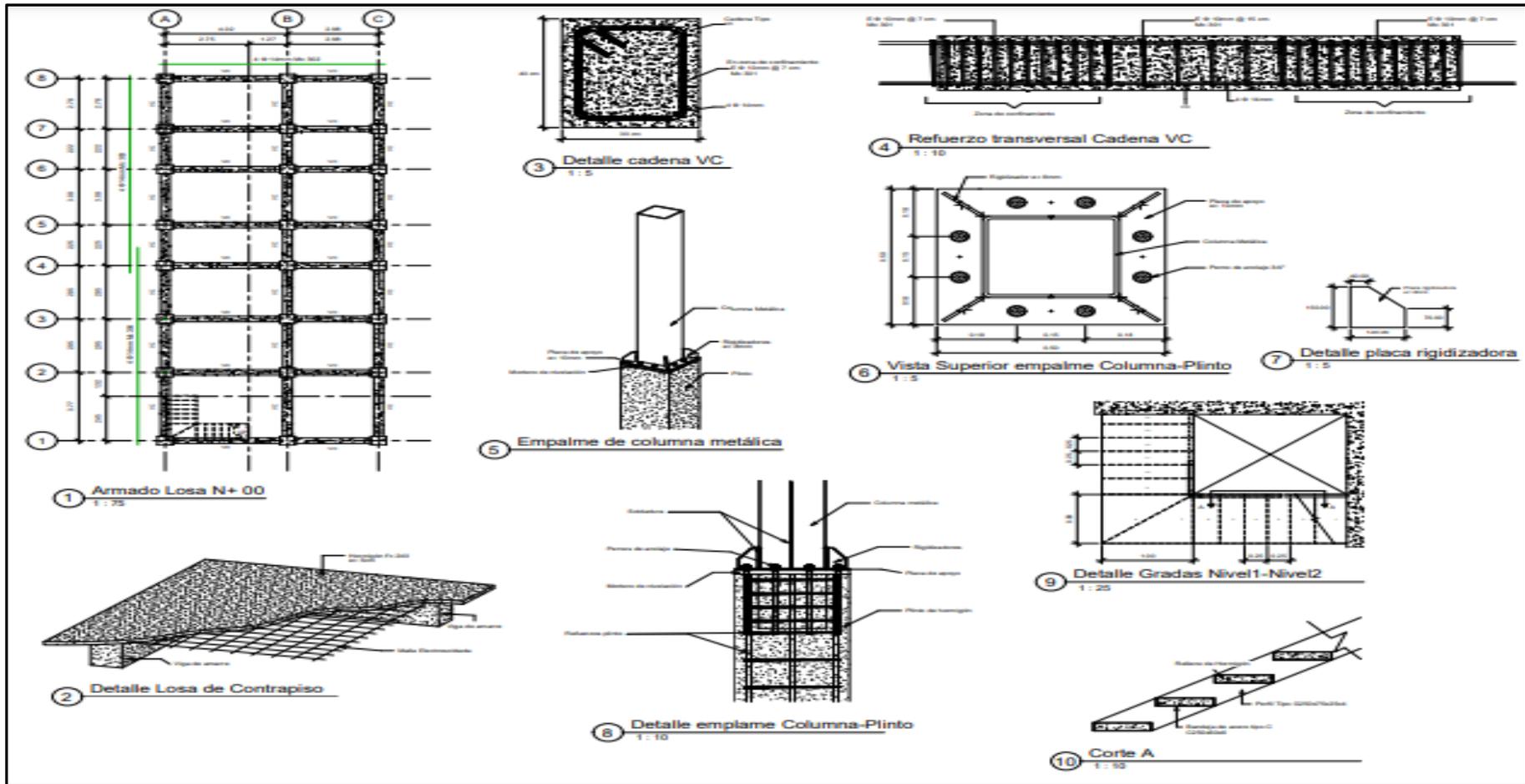
Prediseño de la cimentación



Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 21.

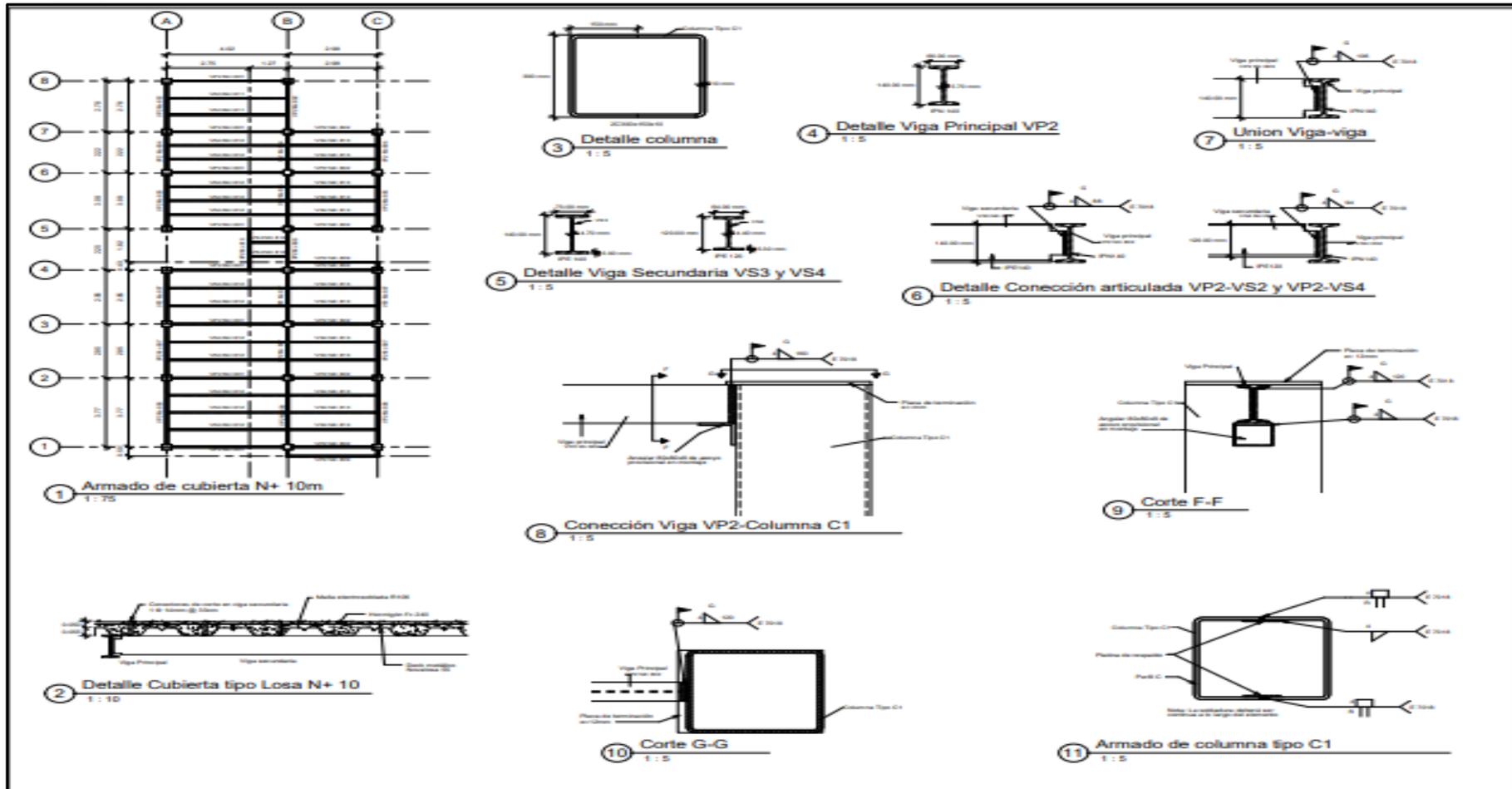
Prediseño de vigas y columnas



Elaborado por: Jiménez (2025)

Figura 22.

Vigas y columnas



Elaborado por: Jiménez (2025)

4.2 Análisis económico

Dada la gran importancia del análisis de la estructura del edificio, es sin duda que el conocimiento del análisis financiero del proyecto aumentará el valor profesional y la capacidad de elegir la solución estructural más favorable. Este análisis se refiere a la parte económica del proyecto, que se concentrará desde varias vistas de costos, tanto para estructuras metálicas como específicas, ya que es importante definir los elementos ubicados en cada estructura para que sirvan como base para un análisis comparativo entre las dos estructuras y se evalúe para determinar los más económicamente posibles.

Tabla 8.

Presupuesto de estructura de acero

RUBRO: PLACAS DE CIMENTACIÓN					UNIDAD:	Kg/h
					RENDIMIENTO:	50
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa(B)	Factor de Utilización (F)	Costo Hora C=A*B*F	Costo Unitario D=C/R	%
Amoladora	1	1.00	1	1.00	0.02	1.00
Cortadora de Plasma	1	1.27	1	1.27	0.03	1.27
Montacarga	1	19.25	0.1	1.92	0.04	1.93
Parcial M					0.08	4.19
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Factor de Utilización (F)	Costo Hora C=A*B*F	Costo Unitario D=C/R	%
Cortador	1	1.94	0.5	0.97	0.02	0.97
Ayudante de Soldador	1	1.59	0.7	1.11	0.02	1.11
Operador Montacarga	1	2.34	0.6	1.40	0.03	1.40
Soldador calificado	1	2.42	0.8	1.94	0.04	1.94
Parcial N					0.11	5.43
MATERIALES						
Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Factor de Utilización (F)	Unitario (B)	Costo Unitario C=A*B*F	%
Oxígeno	Kg	0.2	1.05	1.40	0.29	14.71
Disco abrasivo 9"	u	0.05	1.05	5.00	0.26	13.13
Plancha de Acero	Kg	1	1.05	1.05	1.20	60.04
Parcial O					1.76	87.88
TRANSPORTE						
Descripción	Unidad	D.M.T (A)	Cantidad (B)	Tarifa(C)	CostoD=(A*B*C)	%
Taller-Obra				global	0.05	2.50
Parcial P					0.05	2.50
TOTAL COSTOS DIRECTOS Q= M+N+O+P					2.00	100.00
COSTOS INDIRECTOS (R)				15%(Q)	0.30	
UTILIDADES (S)				10%(Q+R)	0.23	
FISCALIZACIÓN (T)				3%(Q+R+S)	0.08	
IMPUESTOS (U)				2%(Q+R+S+T)	0.05	
PRECIO UNITARIO TOTAL					2.66	

RUBRO: CONSTRUCCION DE VIGAS					UNIDAD:	Kg/h
					RENDIMIENTO:	220
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS						
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa(B)	Factor de Utilización (F)	Costo Hora C=A*B*F	Costo Unitario D=C/R	%
Cortadora de Plasma	1	1.27	0.15	0.19	0.00	0.20
Soldadora MIG	1	2.38	0.4	0.95	0.00	1.01
Amoladora	1	1.00	0.2	1.05	0.00	1.11
Parcial M					0.01	2.33
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Factor de Utilización (F)	Costo Hora C=A*B*F	Costo Unitario D=C/R	%
Auxiliar	1	1.59	0.2	0.32	0.00	0.34
Cortador	1	1.94	0.3	0.58	0.00	0.62
Ayudante de Soldador	1	1.59	0.3	0.48	0.00	0.51
Soldador Calificado	1	2.42	0.8	1.94	0.01	2.05
Parcial N					0.02	3.52
MATERIALES						
Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Factor de Utilización (F)	Unitario (B)	Costo Unitario C=A*B*F	%
Boquillas de Cortadora	U	0.05	1	2.50	0.13	29.19
Oxígeno	Kg	0.1	1.05	1.40	0.15	34.32
Electrodo ER70-6	Kg	0.05	1.05	1.50	0.08	18.39
Disco abrasivo 9"	U	0.01	1.05	5.00	0.05	12.26
Parcial O					0.40	94.16
TRANSPORTE						
Descripción	Unidad	D.M.T (A)	Cantidad (B)	Tarifa(C)	CostoD=(A*B*C)	%
TOTAL COSTOS DIRECTOS Q= M+N+O+P					0.43	100.00
COSTOS INDIRECTOS (R)				15%(Q)	0.06	
UTILIDADES (S)				10%(Q+R)	0.05	
FISCALIZACIÓN (T)				3%(Q+R+S)	0.02	
IMPUESTOS (U)				2%(Q+R+S+T)	0.01	
PRECIO UNITARIO TOTAL					0.57	

CONCLUSIONES

- Se logró determinar de manera satisfactoria el análisis técnico de los procesos de construcción hormigón armado y acero estructural del edificio Torre Millenium, donde cada uno de sus elementos estructurales se estableciendo y fue diseñado de acuerdo al método de estado libre en base a las recomendaciones de las normas ecuatorianas NEC.
- Se efectuó un análisis comparativo del presupuesto de construcción mediante hormigón armado o acero estructural del edificio Torre Millenium, donde se logró evidenciar, la reducción de los costos en cuanto al establecimiento de un edificio de hormigón armado fue de 33% inferior al de acero.
- Se elaboró el modelado estructural de la edificación en acero estructural versus sistema tradicional de construcción del edificio Torre Millenium utilizando la normativa ecuatoriana, donde se establecieron las principales características que debe de poseer cada una de las estructuras.

RECOMENDACIONES

- Es esencial establecer todos los parámetros de control para el diseño de estructuras en edificios de uso especial, como ocurre con los inmuebles, los cuales deben cumplir con todas las regulaciones y códigos nacionales, con el objetivo de asegurar tanto los estándares mínimos como máximos de diseño, a fin de proporcionar una garantía de seguridad para la futura ocupación de la construcción.
- Para elegir la solución estructural más adecuada según las características del proyecto, no se deben considerar únicamente los factores económicos; es fundamental llevar a cabo un análisis técnico para identificar las ventajas y desventajas que complementen el análisis económico, lo que permitirá tomar decisiones más informadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, F., Islam, Z., y Sabnam, M. (2021). Comparative Study of Multistoried (G + 3) Residential Building using ETABS Software and Manual Calculation Comparative Study of Multistoried (G + 3) Residential Building using ETABS. *ResearchGate*, 2(3), 0 - 8. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/351954392_Comparative_Study_of_Multistoried_G3_Residential_Building_using_ETABS_Software_and_Manual_Calculation
- Abril, A., Abril, D., Cadena, C., y Pérez, R. (2023). Comparativo técnico económico entre pórticos especiales a momento de hormigón armado y acero estructural empleando las normativas ACI 318 19, AISC 341 16, AISC 360 22 Y NEC SE DS 2015. *Revista Ciencia Latina*, 7(2), 1 - 29. Obtenido de <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/5893/8931>
- Acosta, D. (2022). *Análisis de la influencia del modelado de losas por elementos tipo shell y membrana en el diseño estructural de un edificio de 4 pisos*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1936025c-e0dd-44ba-966f-7456cdae2b74/content>
- Alfonso, M., y Barrionuevo, D. (2023). *Diseño de edificaciones en hormigón armado regulares con sistemas de pórticos resistentes a momentos, sus efectos de la modelación de las losas y comportamiento*. Guayaquil: Universidad Laica Vicente Rocafuerte. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/6124/1/T-ULVR-4978.pdf>
- Andrade, M. (2023). *Comparación entre el análisis estático y dinámico no lineal de un edificio de hormigón armado*. Jipijapa: Universidad Estatal del Sur de Manabí. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6545>
- Armas, D. (2022). *Análisis de los procesos de soldadura Smaw, Gmaw y Fcaw en varillas de acero estructural corrugado ASTM A706 y su incidencia en las propiedades mecánicas de la junta soldada*. Ambato: Universidad Técnica de

Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/items/82fae7c3-eb1b-4960-a921-a52f3a8d1c4e>

Astudillo, P. (2024). *Evaluación técnica y económica de un edificio de acero diseñado con el sistema dual y usando columnas rectangulares rellenas de hormigón*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/25951/1/CD%2014716.pdf>

Barros, J. (2022). *Evaluación estructural de un edificio de tres pisos y propuesta de rehabilitación con hormigón armado*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/18496/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-440.pdf>

Bautista, B., y Inca, D. (2023). *Estudio comparativo entre estructuras de hormigón armado y acero para edificaciones de 4 pisos para centros educativos de la provincia de Santa Elena*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10591/1/UPSE-TIC-2023-0032.pdf>

Canseco, A. (2024). *Análisis técnico económico de estructuras para edificaciones sismo resistentes en hormigón vs acero de dos a diez pisos de altura*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26756/1/TTS1611.pdf>

Carazo, D., Jiménez, J., y Camacho, J. (2020). Influence of samples location and orientation on hot-rolled structural steel mechanical properties: Experimental report. *Revista de Metalurgia*, 56(1), 1 - 12. Obtenido de <https://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/1478/1824>

Catota, T., y Zambrano, E. (2020). *Análisis de las propiedades mecánicas de la junta soldada de un acero estructural (A588) con el proceso Gmaw mediante la implementación del método de Taguchi*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

- Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20635/1/CD%2010137.pdf>
- Costales, B., y Gonzaga, R. (2022). *Influencia de las altas temperaturas superficiales en las propiedades del acero al carbono ASTM A36*. Riobamba: Universidad Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17784/1/25T00484.pdf>
- Crisafulli, F. (2019). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero* (5ta. Edición ed.). Argentina: Asociación Latinoamericana del Acero. Obtenido de https://cms.alacero.org/uploads/diseño_sismorresistente_de_construcciones_de_acero_5ta_ed_20135148cc.pdf
- Fuentes, S., y González, L. (2019). Consideraciones acerca del diseño sismorresistente de edificios de acero en Cuba. *Ciencia en su PC*, 1(4), 11 - 26. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358509002/181358509002.pdf>
- Guerrero, D. (2019). Análisis técnico y económico del diseño por desempeño de edificios con estructura de acero utilizando arriostramientos concéntricos. *Revista Gaceta Técnica*, 20(1), 41 - 59. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7074138>
- Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición ed.). México: Mac Graw Hill. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista- Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- López, L., y Tapia, A. (2023). *Implementación de la metodología building information modeling (GIM) al desarrollo del proyecto edificio Pan Real de la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25765/4/UPS-CT010817.pdf>
- Macías, J. (2024). *Evaluación del Comportamiento Estructural de un Edificio de Hormigón Armado sin Disipadores y con Disipadores de Pandeo Restringido*.

- Jipijapa: Universidad Estatal del Sur de Manabí. Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/7138/1/Macias%20Moreira%20Jean%20Elias.pdf>
- Malca, O., Lira, G., Olarte, J., y Díaz, M. (2022). *Análisis de factibilidad del uso del acero en sistemas estructurales de edificios*. Lima. Perú: Pontificia Universidad Católica de Perú. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d005910f-5898-4a3c-9dba-35e9a0998376/content>
- Morales, E. (2019). *Diseño estructural de un edificio de 3 niveles con estructura metálica para usos múltiples en la Universidad Continental Sede Huancayo*. Huancayo: Universidad Continental. Obtenido de [INV_FIN_105_TE_Morales_Ore_2017%20\(1\).pdf](INV_FIN_105_TE_Morales_Ore_2017%20(1).pdf)
- NEC. (2016). *Cargas sísmicas diseño sismo resistente*. Quito: Norma Ecuatoriana de la Construcción. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/MTOP_NEC-SE-DS.pdf
- NEC. (2024). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Rodríguez, M., Urda, E., Pantigoso, E., y Andrade, C. (2023). Evaluación de propiedades mecánicas de un acero estructural A-36 en la formación de ferritas. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 26(2), 47 - 59. Obtenido de <https://www.uned.es/universidad/dam/facultades/industriales/RIBIM/V26N2Ocotubre2022/V26N2-2022-A05.pdf>
- Valdiviezo, E. (2019). *Análisis comparativo económico de una vivienda de estructura de acero y de una estructura convencional*. Machala: Universidad Técnica de Machala. Obtenido de https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10725/1/TMUAIC_2017_GC_CD031.pdf

ANEXOS

Anexo 1.

Estructura de hormigón



Elaborado por: Jiménez (2025)

Anexo 2.

Sótano



Elaborado por: Jiménez (2025)

Anexo 3.

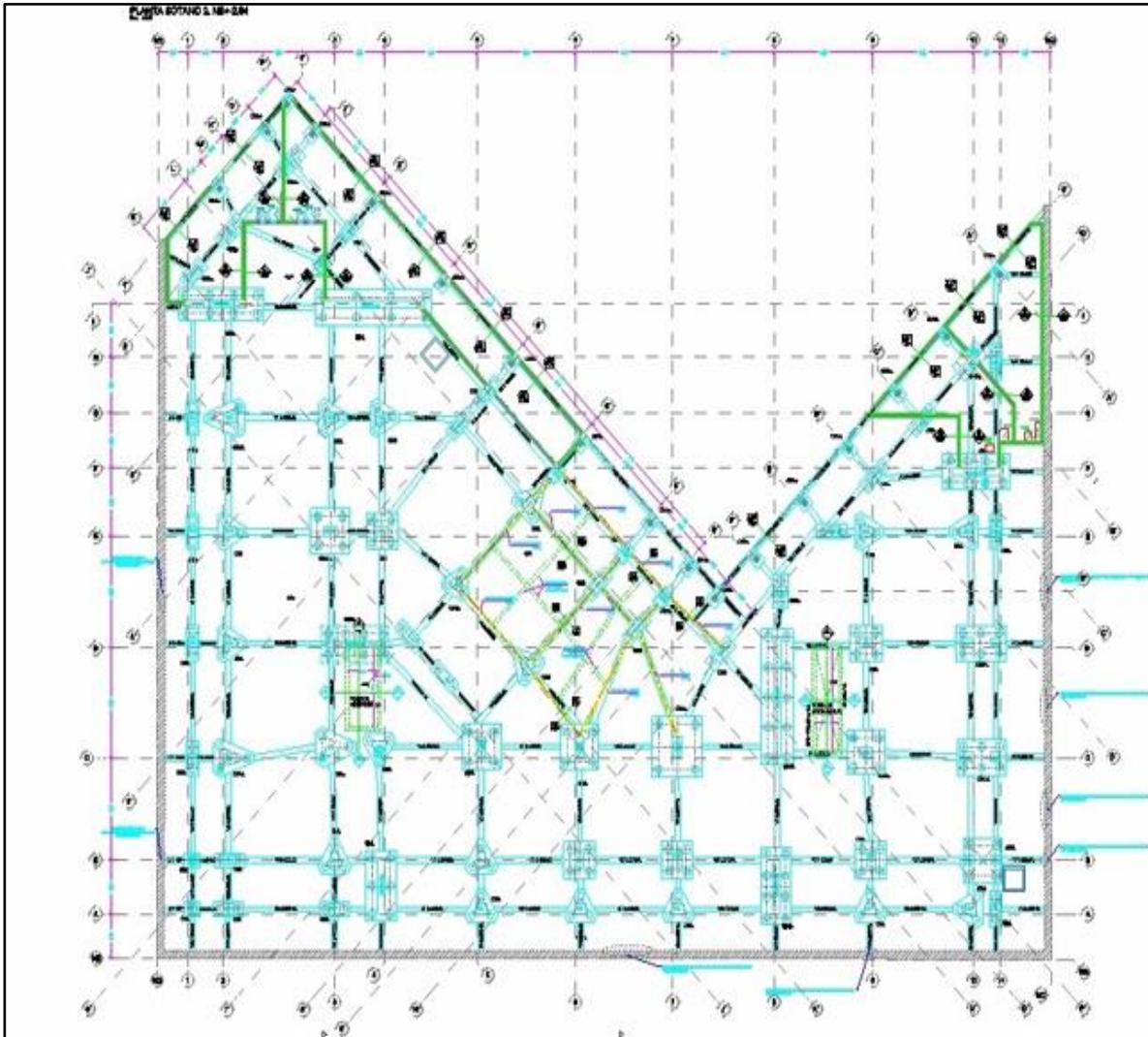
Cimentación



Elaborado por: Jiménez (2025)

Anexo 4.

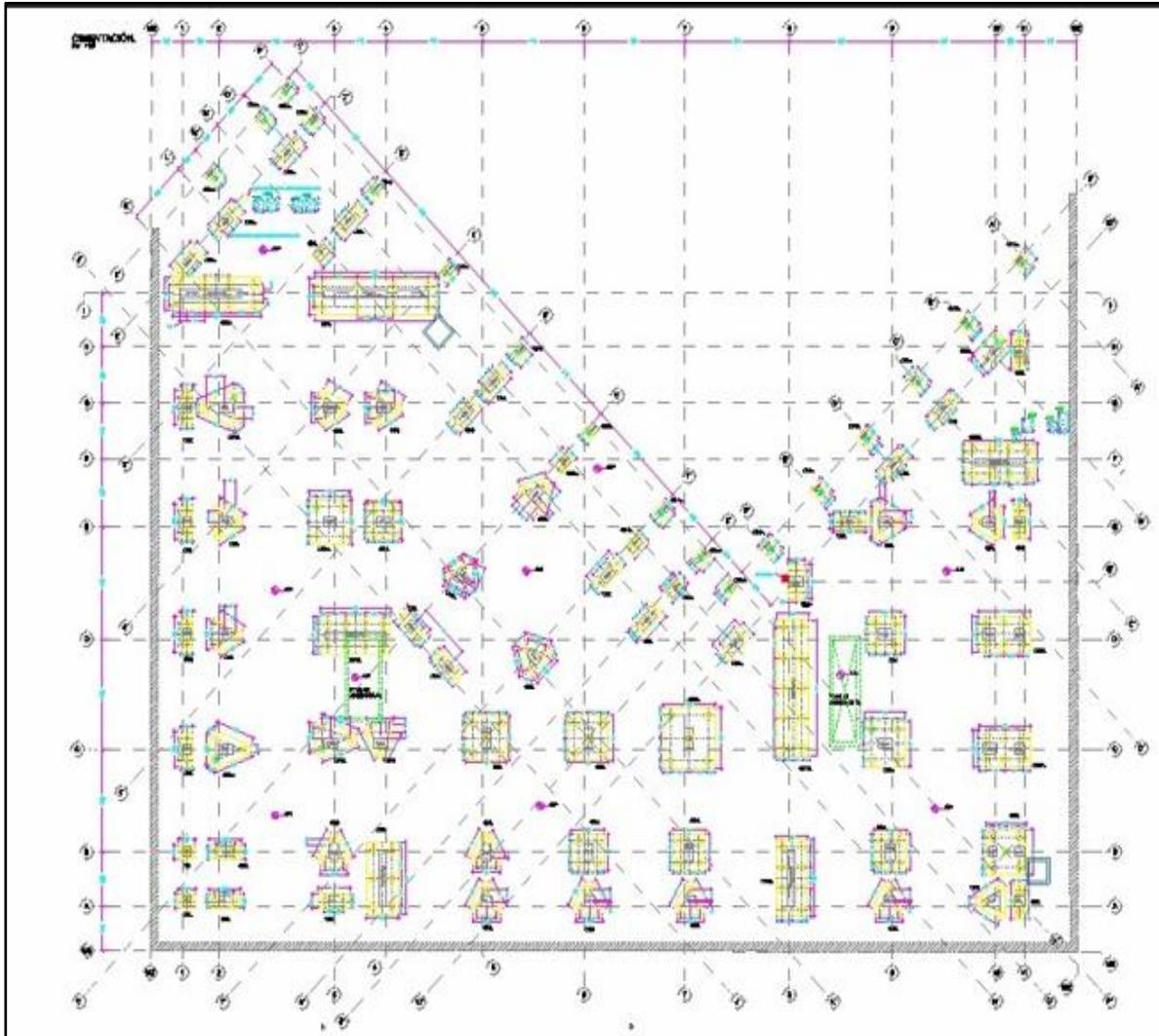
Sótano



Elaborado por: Jiménez (2025)

Anexo 5.

Cimentación 2



Elaborado por: Jiménez (2025)

Anexo 6.

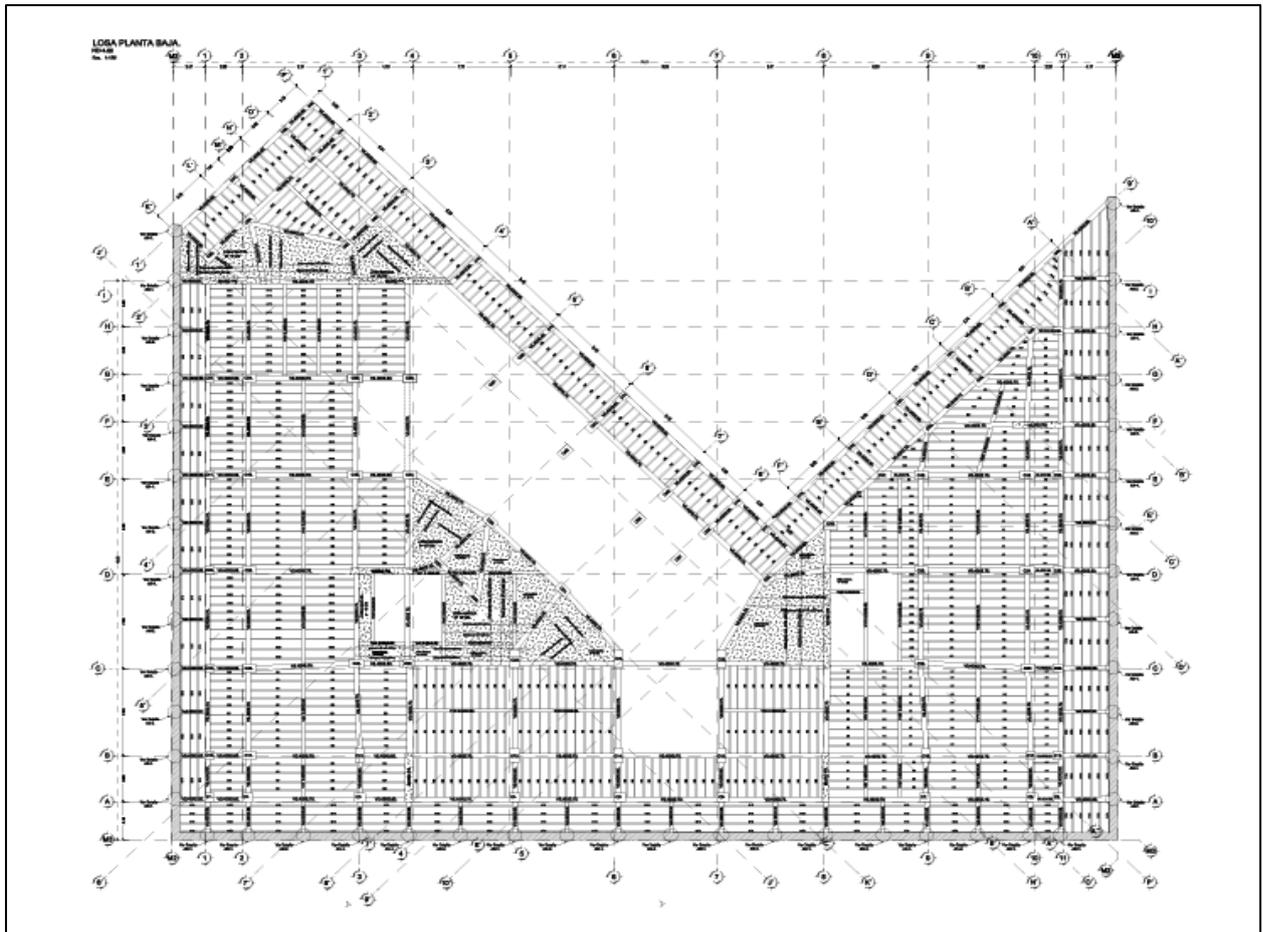
Losa piso 2



Elaborado por: Jiménez (2025)

Anexo 7.

Losa planta baja



Elaborado por: Jiménez (2025)