



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Experiencia laboral en análisis  
estructural y supervisión de obra  
de acuerdo con las normas de  
construcción de la CDMX**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniera Civil**

**P R E S E N T A**

Melanie Naohomi Villaseñor Sánchez

**ASESOR DE INFORME**

Ing. Heriberto Esquivel Castellanos



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y  
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL  
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado EXPERIENCIA LABORAL EN ANALISIS ESTRUCTURAL Y SUPERVISION DE OBRA DE ACUERDO CON LAS NORMAS DE CONSTRUCCION DE LA CDMX que presenté para obtener el título de INGENIERO CIVIL es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

---

MELANIE NAOHOMI VILLASEÑOR SANCHEZ

Número de cuenta: 418046241



# Agradecimientos

El presente trabajo es el resultado de años de esfuerzo, dedicación y aprendizaje. Quiero dedicarlo a las personas que han sido fundamentales en mi vida y en mi desarrollo profesional.

A mis padres, quienes me han brindado todo el apoyo y cariño que jamás pude haber pedido. Les agradezco la vida que me han dado, el amor y el respaldo en cada decisión que he tomado.

A mis hermanas, quienes han sido mis cómplices de vida y con quienes tengo el compromiso de darles el mejor de los ejemplos, tanto como persona como profesionista.

A Enrique, quien me ha dado todo su cariño y paciencia. Me ha acompañado en momentos difíciles tanto de mi vida universitaria como ahora mi etapa adulta, él es parte esencial de mi vida. Solo puedo externar mi admiración y completo cariño hacia él.

Quiero agradecer a mi corporativo por abrirme las puertas del campo laboral, brindándome experiencias muy enriquecedoras en lo profesionales y personal. Al Arq. Víctor, el mejor jefe, alguien que sabe resolver problemas y a quien admiro y respeto profundamente. Al Mtr. Dan, quien desde que le comenté mis intenciones no dudó en apoyarme y me brindó el respaldo necesario para culminar esta parte importante de mi vida. También quiero agradecer al Arq. Sergio, quien también me brindó su mano para poder llevar a cabo este escrito. Es de quien he aprendido lo que es el liderazgo y todo lo que conlleva; la complejidad de la responsabilidad y las estrategias para dar orden a un organismo de individuos, cumpliendo con los objetivos y mejorando los resultados de la empresa.

Finalmente, quiero agradecer al Ing. Heriberto, quien me apoyó de principio a fin y tuvo consideraciones para que pudiera realizar este trabajo. Le agradezco la paciencia y el compromiso que me brindó para culminar esta etapa de mi vida, así como su labor como profesor y asesor. También a mis asesores, el Ing. Guillermo Mancilla, Ing. Alonso Alanis, Ing. Sergio Macuil e Ing. Miguel Rodríguez, quienes fueron profesores en la carrera y a quienes admiro profundamente como profesionistas. Por ello, quería que fueran parte de este último paso para establecerme como profesionista.

Por último, quiero dar un agradecimiento general a toda la gente que he conocido desde que decidí entrar a la Facultad de Ingeniería, a todos los amigos que hice en la carrera y a los profesores que tuve.

# Contenido

Índice de figuras .....	III
Introducción .....	V
1. Preámbulo .....	V
2. Objetivo General.....	VI
3. Objetivos Particulares .....	VI
4. Resumen capitular.....	VI
Capítulo I Descripción de la empresa.....	1
I.1. Resumen de la empresa .....	1
I.2. Misión.....	2
I.3. Visión .....	2
I.4. Valores .....	2
I.5 Ingeniería Civil dentro de la empresa .....	2
Capítulo II Proyecto y área de trabajo .....	3
II.1. Descripción del proyecto rehabilitación de una losa.....	3
II.2. Revisión estructural.....	3
II.3. Alternativas de solución y selección del sistema estructural .....	7
II.4. Consideraciones en el análisis y diseño estructural .....	8
II.4.1. Normas empleadas para el análisis y diseño estructural .....	8
II.4.2. Metodología empleada en el análisis estructural.....	8
Capítulo III Desarrollo de actividades en el proyecto.....	12
III.1. Análisis estructural.....	12
III.2. Alternativas descartadas .....	15
III.2.1. Refuerzo con fibra de carbono .....	15
III.3. Diseño de la propuesta de reforzamiento .....	17
III.3.1. Descripción del reforzamiento .....	17
III.3.2. Losa .....	17
III.3.3. Vigas.....	17
III.3.4. Ménsulas.....	20

III.4.	Modelo de solución final.....	23
III.4.1.	Vigas de arrastre.....	27
III.5.	Supervisión de la construcción en obra.....	28
III.5.1.	Preparación del Sitio .....	28
III.5.2.	Instalación de Vigas .....	29
III.5.3.	Montaje de Vigas .....	31
Capítulo IV	Conclusiones .....	45
IV.1.	Comparación entre diseño y trabajo final en obra.....	45
IV.2.	Resultados y aprendizajes .....	46
IV.3.	Recomendaciones.....	46
Referencias	.....	47

# Índice de figuras

Figura 1. Vista en planta de la disposición del sistema de piso, (imagen propia).....	3
Figura 2. OpenAI. (2025). Foto del interior de la fosa, imagen generada por IA.....	4
Figura 3. Distribución de equipos a lo largo de la losa, (imagen propia). ....	5
Figura 4. Distribución de peso de los equipos a lo largo de la losa, (imagen propia).....	5
Figura 5. OpenAI. (2025). Representación de la apertura de la losa para la ejecución de las calas, imagen generada por IA. ....	6
Figura 6. Esquema del armado tras los resultados obtenidos con la cala, (imagen propia). ....	6
Figura 7. Losa sobre vigas y columnas (Quasim, 2017) .....	10
Figura 8. Trabe de refuerzo (Leviat, 2024) .....	10
Figura 9. Representación unión losa a muro armado (Leviat, 2024) .....	11
Figura 10. Representación unión de la ménsula al sistema de piso (Leviat, 2024) .....	11
Figura 11. Modelo computacional de la losa, realizado en STAAD Pro, (imagen propia). ....	13
Figura 12. Distribución de las cargas en la losa, dentro del software, (imagen propia). ....	14
Figura 13. Demandas dentro de la losa, obtenidas mediante STAAD Pro, (imagen propia).....	15
Figura 14. Disposición preliminar de las franjas de fibra de carbono, (imagen propia).....	16
Figura 15. Refuerzo considerando el efecto de cortante, (imagen propia). ....	16
Figura 16. Croquis de la distribución del refuerzo con vigas y momentos actuantes en vigas de refuerzo, (imagen propia).....	18
Figura 17. Cálculo de vigas para reforzamiento, (imagen propia).....	19
Figura 18. Refuerzo considerando el efecto de cortante (generado con IA).....	20
Figura 19. Isométrico del refuerzo con una viga, (imagen propia). ....	20
Figura 20. OpenAI. (2025). Tubería ahogada en concreto sobre muro de la fosa, imagen generada por IA. ....	21
Figura 21. Vista en plata de la reubicación de tubería existente, (imagen propia). ....	22
Figura 22. Detalle de agarre de la tubería reubicada , (imagen propia). ....	22
Figura 23. Modelo computacional actualizados, (imagen propia). ....	23
Figura 24. Distribución del peso en la losa, (imagen propia). ....	23
Figura 25. Esfuerzo cortante en X, (imagen propia). ....	24
Figura 26. Esfuerzo cortante en Y , (imagen propia). ....	24
Figura 27. Momentos de losa en X, (imagen propia).....	24
Figura 28. Momentos de losa en Y, (imagen propia).....	25
Figura 29. Diagrama de deformaciones, (imagen propia).....	25
Figura 30. Viga más desfavorable con mayor momento, (imagen propia). ....	26
Figura 31. Diagrama de desplazamiento, (imagen propia). ....	26
Figura 32. Posición de vigas de arrastre, (imagen propia). ....	27
Figura 33. Diagrama de elementos mecánicos de arrastres, (imagen propia).....	27
Figura 34. Corte de detalle de fijación de arrastres a losa y viga nueva, (imagen propia). ....	28

Figura 35. OpenAI. (2025). Corte en losa para acceso de personal y materiales, imagen generada por IA. ....	29
Figura 36. OpenAI. (2025). Corte del acero de las vigas de refuerzo, imagen generada por IA. ....	30
Figura 37. OpenAI. (2025). Corte en losa para acceso del colado de las vigas de refuerzo, imagen generada por IA. ....	31
Figura 38. Detalle de fijación de viga a muro y losa, (imagen propia). ....	31
Figura 39. OpenAI. (2025). Perforación en la losa de la fosa para fijación de las anclas, imagen generada por IA. ....	32
Figura 40. OpenAI. (2025). Escarificación en muros para colocación de trabes, imagen generada por IA. ....	32
Figura 41. OpenAI. (2025). Colocación de armado de viga a muro y losa, imagen generada por IA. ....	33
Figura 42. OpenAI. (2025). Armadura de las vigas de refuerzo en posición final, imagen generada por IA. ....	33
Figura 43. OpenAI. (2025). Varillas sobresalientes en la apertura para acceso a fosa, imagen generada por IA. ....	34
Figura 44. OpenAI. (2025). Dobles de acero de losa a vigas nuevas, imagen generada por IA. ....	34
Figura 45. OpenAI. (2025). Barreno en muros para colocación de placas, imagen generada por IA. ....	35
Figura 46. OpenAI. (2025). Representación de ménsula sobre muro, imagen generada por IA. ....	35
Figura 47. Isométrico de todas las vigas sobre ménsulas listas para cimbrado, (imagen propia). ....	36
Figura 48. OpenAI. (2025). Tubería encofrada, imagen generada por IA. ....	36
Figura 49. Isométrico del espacio entre viga y tubería encofrada, (imagen propia). ....	37
Figura 50. Inicio de apuntalamiento y cimbrado (Tailor, 2024) .....	37
Figura 51. OpenAI. (2025). Colocación de cimbra, imagen generada por IA. ....	38
Figura 52. OpenAI. (2025). Colado en aperturas, imagen generada por IA. ....	38
Figura 53. OpenAI. (2025). Vibrado de concreto, imagen generada por IA. ....	39
Figura 54. Cimbra posterior al vibrado del concreto (generado con IA) .....	39
Figura 55. OpenAI. (2025). Uso de láser para colocación de barrenos, imagen generada por IA. ....	40
Figura 56. OpenAI. (2025). Fijación de barrenos y placas, imagen generada por IA. ....	40
Figura 57. OpenAI. (2025). Fijación de placas a suelo, imagen generada por IA. ....	41
Figura 58. OpenAI. (2025). Unión de piezas, imagen generada por IA. ....	41
Figura 59. Conexión entre vigas (Kalab, 2023) .....	42
Figura 30. OpenAI. (2025). Arrastre sobre placas, imagen generada por IA. ....	42
Figura 61. Isométrico de colocación final de vigas de arrastre final, (imagen propia). ....	43
Figura 62. OpenAI. (2025). Colocación del equipo sobre las vigas de arrastre, imagen generada por IA. ....	43
Figura 63. OpenAI. (2025). Equipo en operación (planta de emergencia), imagen generada por IA. ....	44

# Introducción

## 1. Preámbulo

El presente documento constituye el reporte de titulación por la modalidad de trabajo profesional, enmarcado en el cumplimiento de los lineamientos establecidos por la Facultad de Ingeniería. Este trabajo sintetiza las experiencias, aprendizajes y aportaciones realizadas durante mi ejercicio profesional en el ámbito de la Ingeniería Civil, específicamente en el desarrollo, ejecución y supervisión de proyectos estructurales.

El objetivo principal es demostrar la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos durante la formación académica en situaciones reales de trabajo, aportando soluciones técnicas a problemas concretos en el contexto de la construcción y rehabilitación estructural. Este enfoque permite vincular la teoría con la práctica, consolidando habilidades técnicas y administrativas, esenciales para el ejercicio profesional del ingeniero civil.

El sector de la construcción en México juega un papel trascendental en el desarrollo socioeconómico del país, contribuyendo de manera significativa al crecimiento de las ciudades y la mejora de la calidad de vida de sus habitantes. En este contexto, la práctica profesional no solo se convierte en un medio para cumplir con los requerimientos de titulación, sino también en una oportunidad para impactar positivamente en la sociedad al garantizar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de las estructuras.

En los últimos años, las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México han evolucionado para responder a los desafíos derivados de fenómenos naturales como los sismos, que afectan frecuentemente a la región. Estas normativas no solo establecen lineamientos técnicos para el diseño, construcción y rehabilitación de estructuras, sino que también subrayan la importancia de la supervisión y la calidad en los procesos constructivos.

El trabajo presentado en este documento se centra en el proyecto de rehabilitación de una losa estructural, cuyo objetivo principal fue garantizar su resistencia y durabilidad ante las demandas actuales de uso y los efectos de cargas extremas. Este proyecto no solo requirió conocimientos avanzados en diseño estructural y construcción, sino también habilidades para la gestión de proyectos, la solución de problemas y la toma de decisiones en situaciones complejas.

A través de este trabajo, no solo se busca cumplir con los requisitos académicos para la obtención del título profesional, sino también contribuir al cuerpo de conocimiento de la Ingeniería Civil, compartiendo experiencias y aprendizajes que puedan servir de referencia para otros profesionistas y estudiantes interesados en este campo.

## **2. Objetivo General**

El presente trabajo tiene como propósito la obtención de mi título profesional de Licenciatura en Ingeniería Civil a través de la modalidad de titulación por trabajo profesional en el cual he desarrollado en los últimos dos años, adquiriendo una valiosa experiencia laboral en el sector del diseño y análisis estructural así como en la construcción y supervisión de obras, trabajando conforme a lo señalado en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México.

## **3. Objetivos Particulares**

Presentar un proyecto de rehabilitación de una losa, en el cual he aplicado diversas técnicas y metodologías avanzadas para mejorar la resistencia y durabilidad de la estructura, así como la supervisión de la implementación de dichas técnicas en campo.

- Describir detalladamente el proceso de diseño, construcción y supervisión de obra aplicado en el proyecto de rehabilitación de la losa, conforme a las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México.
- Documentar los desafíos enfrentados durante la construcción y supervisión del proyecto y las soluciones implementadas para superarlos, destacando la aplicación práctica de conocimientos teóricos en el entorno real de obra.
- Proporcionar recomendaciones y consejos prácticos para alumnos y recién egresados de Ingeniería Civil y disciplinas afines enfocadas en la incorporación al ámbito laboral y la gestión efectiva de proyectos en obra.
- Describir comentarios del proyecto de rehabilitación en la seguridad y funcionalidad de la estructura, de acuerdo con los estándares de supervisión de obra.

## **4. Resumen capitular**

En el primer capítulo se aborda la relevancia de la empresa y su importancia a nivel nacional, destacando su significativo impacto en la sociedad. La empresa no solo contribuye al desarrollo económico del país al generar empleo y promover el crecimiento industrial, sino que también tiene un papel fundamental en la formación y el crecimiento de los ingenieros civiles. Brinda numerosas oportunidades de empleo en este campo profesional, ofreciendo un entorno propicio para el desarrollo profesional y académico de los ingenieros. Además, la empresa se involucra en proyectos de gran envergadura que requieren una alta capacidad técnica y de innovación, lo que permite a los ingenieros adquirir experiencia valiosa y enfrentar desafíos complejos.

En el segundo capítulo, se presenta la problemática que surgió en uno de los proyectos de ingeniería de la empresa. Se detalla cómo se identificaron los desafíos desde el inicio del proyecto, y las soluciones implementadas para superarlos. Este capítulo incluye una descripción del significado y funcionamiento técnico de cada uno de los elementos involucrados, proporcionando una comprensión integral de los aspectos técnicos. Además, se ofrece un análisis práctico de las

soluciones aplicadas, mostrando cómo se integraron diferentes enfoques ingenieriles para resolver el problema de manera efectiva y eficiente. Este capítulo no solo abarca la teoría detrás de las decisiones técnicas, sino que también se enfoca en la aplicación práctica de estas soluciones en el contexto del proyecto específico, proporcionando una visión integral de las fases del proyecto, desde la planificación inicial hasta la ejecución en obra, resaltando los retos enfrentados y las soluciones implementadas para asegurar el éxito del refuerzo estructural. La descripción detallada de estas actividades permite entender el proceso completo y las consideraciones técnicas y logísticas involucradas.

En el tercer capítulo, detallo las actividades que realicé durante el proyecto preliminar, donde se buscaba encontrar una solución al problema identificado. Describo los diversos problemas que surgieron durante la fase de construcción, y cómo cada uno fue abordado y resuelto mediante un enfoque sistemático y riguroso. Además, explico en detalle las actividades específicas en las que me vi involucrada para completar el refuerzo de la losa, incluyendo la planificación, la implementación y la supervisión de las tareas.

En el cuarto capítulo se habla sobre el aprendizaje y se presentan recomendaciones sugeridas, basadas en las lecciones aprendidas durante el proceso de refuerzo, orientadas a mejorar futuras intervenciones. Estas recomendaciones están diseñadas para optimizar los procedimientos de construcción, asegurando una mayor eficiencia y efectividad en proyectos similares.

Finalmente, por confidencialidad las fotografías fueron sustituidas por imágenes propias así como generadas con inteligencia artificial con el paquete DALL-E 3.

# Capítulo I Descripción de la empresa

## I.1. Resumen de la empresa

Esta empresa proveedora de servicios móviles es una destacada empresa mexicana de telecomunicaciones que opera bajo la marca Telcel, propiedad de América Móvil. Fundada en 1984 y lanzada en 1989.

Desde entonces, ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de los servicios de telefonía móvil en México. A lo largo de su historia, ha sido pionera en la introducción de tecnologías móviles en el país, ofreciendo una amplia gama de servicios que incluyen no solo telefonía móvil, sino también acceso a internet y servicios de televisión. La empresa ha logrado posicionarse como un líder en el mercado gracias a su amplia cobertura y su constante innovación tecnológica.

Además de su robusta infraestructura y red de servicios, ha mantenido un fuerte compromiso con la mejora continua y la expansión de sus ofertas para satisfacer las crecientes demandas de los usuarios mexicanos. La compañía se destaca por su capacidad para adaptarse rápidamente a los avances tecnológicos y por su enfoque en proporcionar servicios de alta calidad a sus clientes. No solo ofrece servicios a consumidores individuales, sino que también atiende a empresas y corporativos, proporcionando soluciones de comunicación integrales que apoyan la productividad y conectividad de las empresas en todo el país. Es un pilar fundamental en el sector de telecomunicaciones en México, con una rica historia de innovación y un compromiso constante con la calidad y la expansión de sus servicios.

La capacidad de la empresa para proporcionar servicios de alta calidad a través de una robusta red de telecomunicaciones, ha sido determinante para optimizar procesos dentro de la construcción. Permite a los ingenieros supervisar proyectos mediante herramientas digitales, compartir información técnica de manera eficiente y coordinar equipos dispersos geográficamente, todo en tiempo real. Esto ha resultado en un aumento significativo de la productividad y una reducción en los tiempos de ejecución en proyectos complejos.

La implementación de plataformas de gestión en la nube y aplicaciones móviles, habilitadas por los servicios de Telcel, ha revolucionado prácticas tradicionales en la construcción, facilitando la documentación, supervisión y control de calidad en obra. Asimismo, estas tecnologías contribuyen a garantizar la seguridad al permitir monitoreo constante en tiempo real de la maquinaria y el personal. Además, no solo apoya indirectamente al sector de la construcción a través de su infraestructura tecnológica, sino que también trabaja con empresas desarrolladoras en proyectos específicos que requieren soluciones avanzadas de conectividad. Esto incluye el diseño de redes privadas para proyectos de gran escala y el soporte técnico continuo para garantizar la estabilidad de la comunicación.

## **I.2. Misión**

Ser la empresa de telefonía celular líder en México, ofreciendo soluciones innovadoras y de alta calidad que satisfagan las necesidades de comunicación de nuestros clientes de manera eficaz y constante.

## **I.3. Visión**

Ser reconocidos como el proveedor de servicios de telecomunicaciones más confiable y eficiente, que contribuye al bienestar y desarrollo de la sociedad a través de la innovación y la responsabilidad social.

## **I.4. Valores**

- **Innovación**

Compromiso con la creación y adopción de nuevas tecnologías y soluciones para mejorar la experiencia del cliente.

- **Calidad**

Garantizar servicios y productos de alta calidad que satisfagan las expectativas de los usuarios.

- **Responsabilidad Social**

Contribuir al bienestar y desarrollo de la sociedad a través de prácticas sustentables y actividades de responsabilidad social.

- **Integridad**

Operar con honestidad y transparencia en todas las áreas de la empresa.

- **Excelencia**

Buscar la excelencia en todos los aspectos de la operación y el servicio al cliente.

## **1.5 Ingeniería Civil dentro de la empresa**

Algunas áreas donde la empresa emplea a ingenieros civiles incluyen:

- **Construcción y Mantenimiento de Torres:** Las torres de telecomunicaciones requieren una construcción robusta y segura, así como un mantenimiento regular.
- **Infraestructura de Oficinas y Centros de Datos:** Ingenieros civiles son responsables de la construcción y el mantenimiento de las oficinas, centros de datos y otras instalaciones necesarias para las operaciones de Telcel.
- **Proyectos de Expansión:** Telcel puede hacer proyectos de expansión y mejora de su infraestructura, como la construcción de nuevas instalaciones o la mejora de las existentes.
- **Instalación de Equipos:** Aunque los técnicos de telecomunicaciones instalan equipos especializados, los ingenieros civiles participan en la adaptación del espacio al nuevo peso.

Así, los ingenieros civiles juegan un papel importante en asegurar que la infraestructura física de Telcel sea segura, eficiente y esté bien mantenida.

# Capítulo II Proyecto y área de trabajo

## II.1. Descripción del proyecto rehabilitación de una losa

El proyecto surgió dada la necesidad de adaptar un edificio existente a las necesidades actuales de una Central Telefónica operativa de la empresa, edificio que por su antigüedad no se pudo determinar si su diseño es apto para soportar la carga de equipos pesados que se pretende instalar. Por lo anterior es que se requirió de una revisión estructural previa para evaluar y comparar las cargas adicionales que el proyecto demandará con respecto a las cargas que los elementos estructurales existentes pueden soportar. Debido a que las nuevas demandas superen la resistencia de los elementos existentes, se propuso una solución estructural y constructivamente factible para poder llevar a cabo la colocación de los equipos nuevos y la correcta operación del centro.

## II.2. Revisión estructural

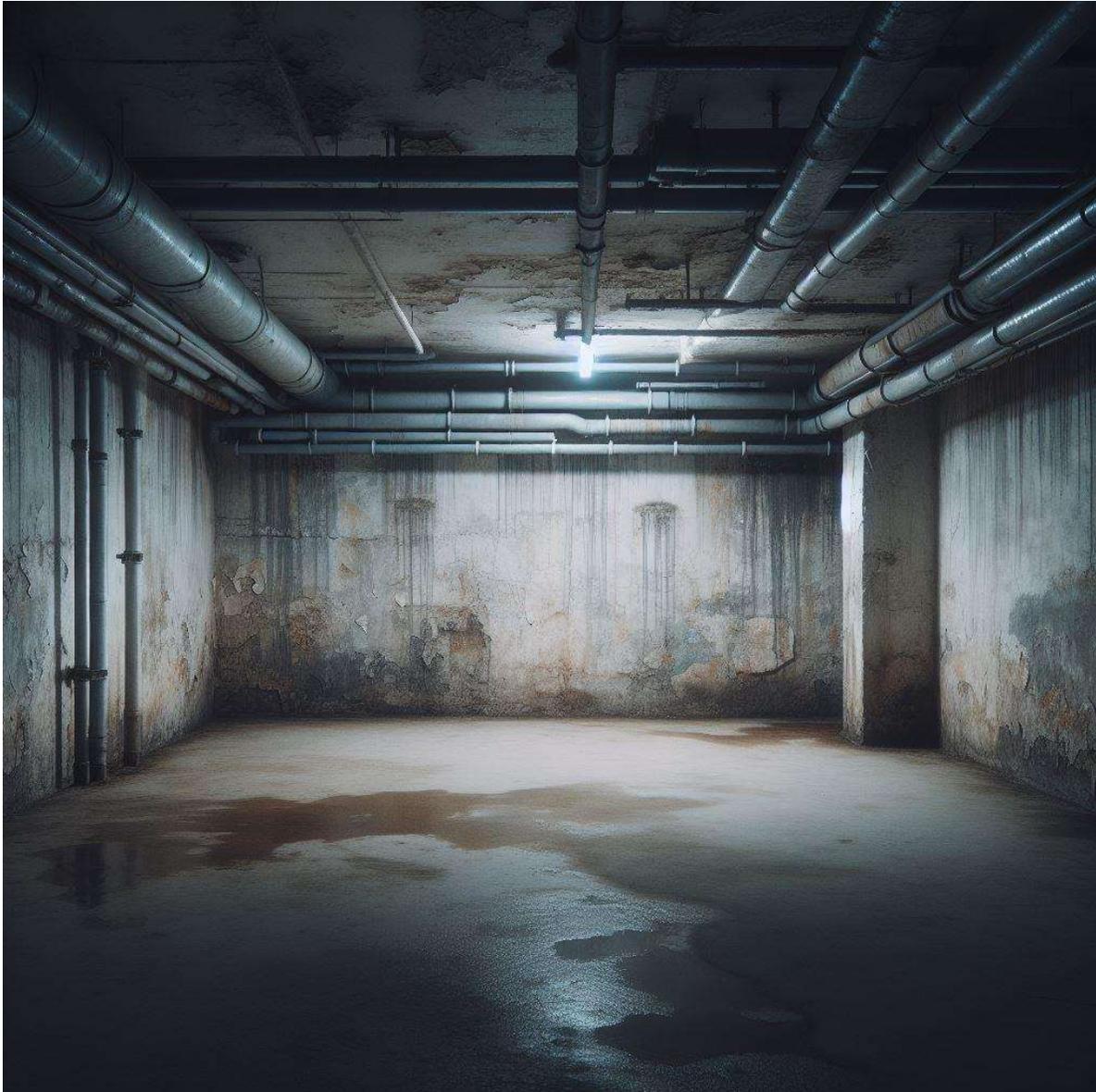
Para comenzar, se llevó a cabo el levantamiento arquitectónico y estructural, con el objetivo de establecer los planos detallados con la geometría y los elementos estructurales esenciales, tales como vigas, columnas, losas, y otros componentes relevantes. Este levantamiento fue fundamental para proyectar el nuevo mobiliario y proporcionar la base necesaria para iniciar el análisis estructural, como se muestra en la Figura 1.



*Figura 1. Vista en planta de la disposición del sistema de piso, (imagen propia).*

Durante el proceso de levantamiento, se identificó que la zona contemplada para la instalación de los equipos pesados abarca un área de 4 metros de ancho por 18 metros de largo siendo losa maciza de 14 cm de espesor. Al examinar esta área, se descubrió que toda la losa estaba situada sobre una fosa, generando un vacío de dos metros de altura en la parte posterior, además de que había agua en toda la fosa alcanzando 70 cm de altura (ver Figura 2). Esto presentó un desafío, ya que la fosa carecía de columnas intermedias o vigas secundarias que pudieran ayudar a distribuir el peso de la

losa. En su lugar, la carga de la losa estaba completamente soportada por los muros perimetrales de la fosa.



*Figura 2. OpenAI. (2025). Foto del interior de la fosa, imagen generada por IA.*

En cuanto se hizo el levantamiento, el área de arquitectura distribuyó los equipos de acuerdo con las salas disponibles. En la sala en la que se encuentra la fosa, se asignó la colocación de una significativa concentración de equipos particularmente pesados, ya que esta zona era la única que cumplía con las dimensiones y condiciones óptimas para su posicionamiento y maniobra, sin elementos que interrumpieran su colocación, como muros divisorios o escaleras. La distribución de los equipos y su peso se muestra en la Figura 3.

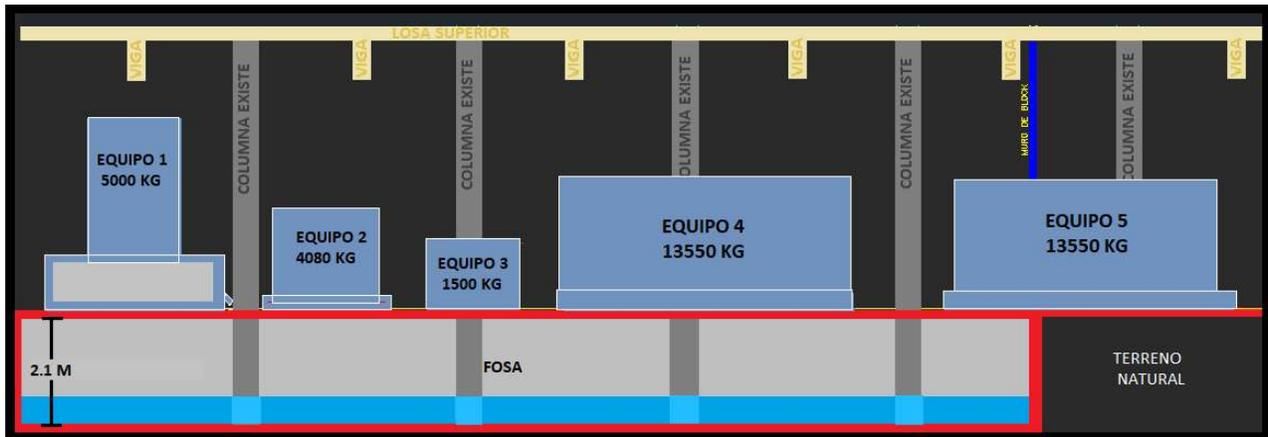


Figura 3. Distribución de equipos a lo largo de la losa, (imagen propia).

Cuando se ingresó a la parte interna de la fosa, surgió la preocupación por la ausencia de elementos que ayuden con la distribución del peso, ya que la losa no contaba con un sistema adecuado para manejar cargas pesadas, lo que podía comprometer la integridad estructural del edificio.

En la siguiente figura se muestra el peso de los equipos.

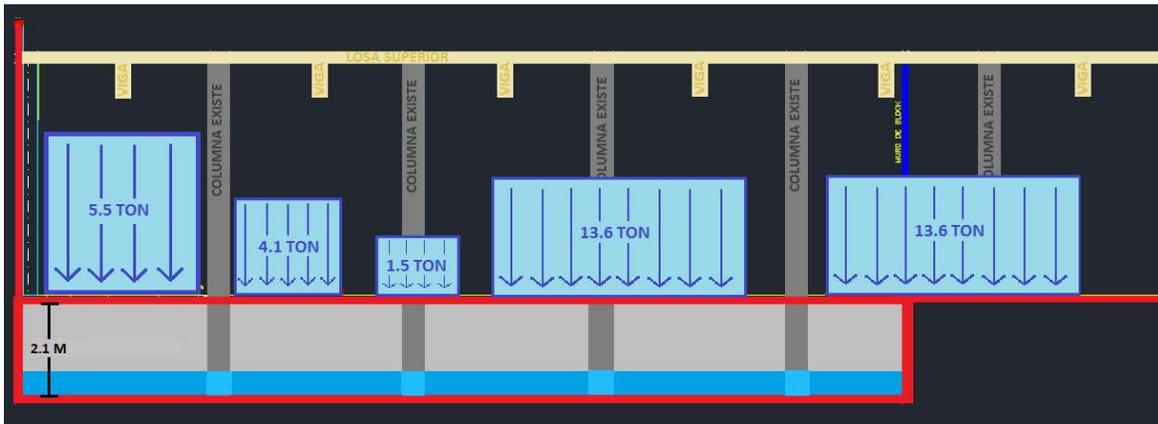


Figura 4. Distribución de peso de los equipos a lo largo de la losa, (imagen propia).

Como se puede observar en la figura 4, el incremento de peso es bastante considerable para una losa que estaba diseñada para soportar nada, más que su propio peso y probablemente algo de carga viva.

Por ello, se realizaron calas en la losa para identificar el diámetro de las varillas y cuál era la distribución de su armado. Al iniciar el trabajo, se observó que ya existía un hueco en el cual se visualizaba el acero en el lecho inferior, pero se hicieron más calas para verificar si había bastones en los extremos o si había algún tipo de cambio en el armado (ver Figura 5). Las calas realizadas revelaron que la losa sólo contaba con acero de refuerzo en el lecho inferior. En la Figura 6 se muestra un esquema del armado, dibujado tras realizar las calas.



Figura 5. OpenAI. (2025). Representación de la apertura de la losa para la ejecución de las calas, imagen generada por IA.

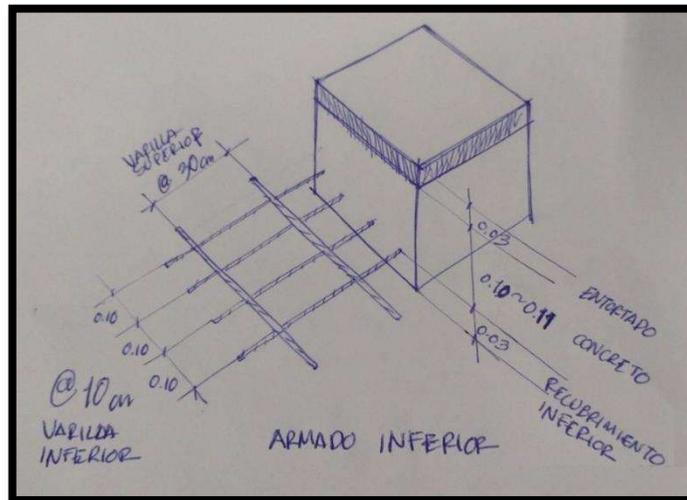


Figura 6. Esquema del armado tras los resultados obtenidos con la cala, (imagen propia).

Se llevó a cabo un análisis detallado de las capacidades en los elementos estructurales del edificio, el cual corroboró que la losa no cumplía con la resistencia que se requería, ya que se descubrieron varias deficiencias críticas. En primer lugar, se determinó que la losa solo contenía acero en la parte inferior (ver figura 6), y este acero era de un calibre pequeño, lo que no proporciona la resistencia necesaria para soportar las nuevas demandas. Además, durante el proceso de inspección física, se llevó a cabo una cala en la losa y se descubrió que esta estaba apoyada sobre una fosa de 2 metros

de profundidad que estaba inundada de agua alcanzando los 70 cm de altura. Esta fosa carecía de vigas secundarias, elementos cruciales para distribuir el peso de manera uniforme y eficiente a través de la estructura. En ausencia de estas vigas, la losa dependía únicamente de los muros perimetrales para sostener el peso, por lo que incrementar las cargas representaba un riesgo significativo.

Dadas las circunstancias mencionadas anteriormente, fue necesario considerar alternativas de refuerzo para garantizar la seguridad y estabilidad estructural del edificio. Una vez seleccionado el método de refuerzo más adecuado se llevó a cabo el desarrollo del proyecto, en el que se desarrollaron los cálculos estructurales complementarios necesarios, así como el dibujo de planos con detalles, y demás requisitos para la correcta ejecución del proyecto. Simultáneamente, se planificó la ejecución de los trabajos necesarios para la instalación de los equipos nuevos, esto incluyó no solo la colocación de los equipos, sino también la implementación de todas las modificaciones estructurales necesarias para garantizar que la instalación cumpliera con las normativas de construcción y seguridad vigentes. La atención meticulosa a estos detalles fue fundamental para asegurar la integridad y estabilidad a largo plazo del edificio, así como la seguridad de sus ocupantes y el correcto funcionamiento de los equipos instalados.

Finalmente, se llevó a cabo la colocación de los equipos nuevos, asegurando que todas las modificaciones estructurales cumplen con las normativas de construcción y seguridad vigentes. Este proceso no solo garantizó la integridad del edificio, sino también la seguridad de los ocupantes y el correcto funcionamiento de los equipos instalados.

Los pesos de los equipos a instalar son una consideración crucial en este proceso. Una vez determinados estos pesos, y la nueva demanda en los elementos estructurales, se podrán realizar cálculos precisos para asegurar que los refuerzos estructurales diseñados sean adecuados para soportar las nuevas cargas impuestas.

### **II.3. Alternativas de solución y selección del sistema estructural**

Entre las limitantes que se tenían en campo para poder realizar el refuerzo se encontraba que sólo se podía trabajar en la zona donde se iban a colocar los equipos, es decir, no se debía salir del perímetro de la losa a reforzar, ya que el resto de las salas se estuvieron acondicionando simultáneamente para colocar equipos. El demoler una losa para construir una nueva no fue factible por diversas cuestiones, entre las que destaca costos y tiempo de ejecución considerando la colocación de equipos en las demás salas, por lo cual se decidió reforzar la losa desde la parte interna de la fosa, teniendo en cuenta la limitante el espacio y la altura.

La primer propuesta fue reforzar con fibra de carbono, ya que es un material que se encarga de aumentar la resistencia tanto a tracción como compresión, además de que su ligereza era ideal porque no aumentaría el peso propio de la losa y constructivamente iba a ser muy rápido de ejecutar, sin embargo, no había forma de aumentar la resistencia en los bordes de la losa ya que en las salas se

confirmó que no había bastones, por lo que al aumentar la carga surgiría un efecto de cortante entre la losa y los muros.

La segunda propuesta fue la instalación de vigas adicionales para llevar el peso directamente a los muros armados, colocando las vigas justo debajo de la posición final de los equipos, de tal forma que absorbieran por completo la carga. Estas vigas contarían con ménsulas conectadas a los muros, diseñadas de acuerdo con la normativa para garantizar la seguridad del edificio.

Finalmente, se optó por la segunda alternativa, colocando vigas nuevas apoyadas y conectadas mediante ménsulas al muro perimetral, ya que esta opción permitía resolver las inquietudes sobre la capacidad ante las nuevas demandas, incrementando la resistencia del sistema de piso y disminuyendo su deflexión, garantizando que ante las nuevas cargas y operaciones el comportamiento y seguridad estructural fueran satisfactorios.

#### **II.4. Consideraciones en el análisis y diseño estructural**

A continuación, se describe la metodología y consideraciones que se emplearon para el análisis y diseño de los elementos estructurales existentes y propuestos en el proyecto de reforzamiento. Todo esto fue necesario para cumplir con las normas aplicables y conservar un orden que garantice un diseño óptimo y seguro.

##### **II.4.1. Normas empleadas para el análisis y diseño estructural**

Para el análisis y diseño de las estructuras se emplearon varias Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México, entre las que destacan la Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTC-Concreto), para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (NTC-Acero), para Evaluación y Rehabilitación de Edificios Existentes (NTC-Evaluación y Rehabilitación) y sobre Criterios y Acciones de Diseño (NTC-Criterios y Acciones), ya que estas fueron adecuadas para considerar las características de las estructuras en México.

Las hipótesis y consideraciones empleadas en las ecuaciones contenidas en dichas normas fueron adaptadas para el análisis y diseño de la estructura. Adicionalmente, se consultó el ACI (American Concrete Institute) 318-22: Building Code Requirements for Structural Concrete, como referencia adicional para criterios de diseño de resistencia y ductilidad.

##### **II.4.2. Metodología empleada en el análisis estructural**

Para realizar el análisis estructural, tanto para la revisión como para el diseño, se emplearon herramientas de modelación computacional mediante software especializado y cálculos analíticos manuales, permitiendo una verificación cruzada de los resultados obtenidos.

El análisis computacional se llevó a cabo utilizando el software STAAD Pro, desarrollado por Bentley Systems. STAAD Pro es una herramienta avanzada para el análisis y diseño de estructuras,

ampliamente utilizada en proyectos de ingeniería civil. Su capacidad incluye el análisis de estructuras sometidas a cargas estáticas y dinámicas, diseño conforme a diversos códigos normativos internacionales, y la integración con otros programas para la modelación 3D y la documentación de proyectos.

Para el análisis de la losa, se evaluó su comportamiento bajo dos enfoques principales: como elemento membrana, la cual asume que la losa únicamente distribuye las cargas hacia los elementos de borde sin considerar flexión interna, y como elemento cascarón o “shell” en el cual se empleó un mallado de la sección que permite analizar la distribución de esfuerzos internos, la rigidez del elemento y las deformaciones esperadas.

De esta manera, fue posible estimar tanto las demandas de esfuerzo en la losa como las deformaciones máximas que se esperarían bajo las cargas consideradas en el diseño.

Adicionalmente, se realizaron inspecciones físicas y pruebas destructivas/no destructivas (como ensayos de resistencia a compresión y ultrasonidos) para determinar las propiedades mecánicas de los elementos existentes, y considerarlo en la resistencia y rigidez en los modelos y análisis

Los resultados obtenidos de estas pruebas fueron incorporados en los modelos computacionales y los análisis, con el fin de reflejar de manera precisa la resistencia y rigidez de los elementos existentes en el proyecto.

### **II.4.3 Descripción de elementos estructurales**

#### **1. Losa**

Las losas son elementos horizontales que forman los pisos y techos de los edificios. Su función es distribuir las cargas verticales a las vigas y columnas, ver figura 7. Las losas pueden ser macizas o aligeradas y están sujetas a fuerzas de flexión y cortante. Los detalles en las losas incluyen el espesor, refuerzos de acero y el tipo de encofrado utilizado durante la construcción.

En este caso la losa con la que se trabajó fue una losa de 14 cm de espesor de 4 metros de ancho por 18 metros de largo, estas dimensiones son importantes porque la losa carga un considerable peso propio, por lo que su resistencia es limitada y con el paso de los años va disminuyendo por el deterioro de los materiales y hasta donde se pudo investigar, ese edificio entró en operación en el año 1998.

Otro factor importante fueron las varillas ya que solamente había acero en el lecho inferior y estaba sujeta solamente a los muros de la fosa, es decir, una losa unidireccional las cuales requieren tener una distribución de peso más equitativa y/o tener mayor acero de refuerzo en la dirección en la que trabaja.



*Figura 7. Losa sobre vigas y columnas (Quasim, 2017)*

## 2. Vigas

Las vigas, ver figura 8, son elementos horizontales que soportan cargas y las transmiten a las columnas. Pueden ser de diferentes materiales, como madera, acero o concreto armado. Las vigas están sujetas a fuerzas de flexión, lo que requiere un diseño adecuado para evitar deformaciones excesivas. Los detalles en las vigas incluyen la longitud, el perfil, los refuerzos y las conexiones con otros elementos estructurales.

En este proyecto fue necesario añadir este elemento para ayudar a la losa a recibir la carga de los equipos (haciendo que de esta forma la losa no trabaje), y de ahí se transmite la carga a los muros.

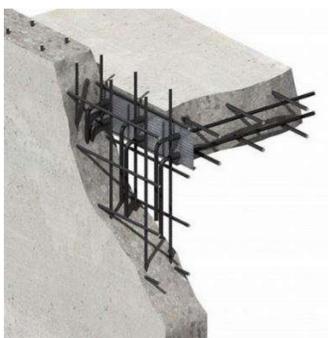


*Figura 8. Trabe de refuerzo (Leviat, 2024)*

## 3. Muros de soporte

Los muros de soporte, ver figura 9, son elementos verticales que sostienen cargas de pisos superiores, techos u otras partes de la estructura. Su función principal es transferir las cargas verticales a los cimientos y proporcionar estabilidad lateral contra vientos, terremotos y otras fuerzas.

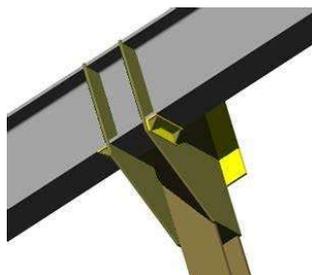
En este proyecto los muros eran armados, también de un lado había material de terreno natural y del otro lado colindaba con un estacionamiento, la losa descansaba directamente sobre estos muros y posteriormente se encontró que también sostenían una red de tubería pluvial ahogada en concreto como se muestra a continuación.



*Figura 9. Representación unión losa a muro armado (Leviat, 2024)*

#### 4. Ménsulas

Las ménsulas, ver figura 10, son elementos en voladizo que se extienden horizontalmente desde una pared o columna, soportando cargas sin ningún soporte adicional en su extremo libre. En este proyecto, se usaron ménsulas para fijar las vigas a los muros, ya que había un alto nivel de agua que provocaba inundaciones de hasta 70 cm, y colocar columnas directamente en el piso sería contraproducente.



*Figura 10. Representación unión de la ménsula al sistema de piso (Leviat, 2024)*

#### 5. Vigas de arrastre

Las vigas de arrastre son elementos estructurales fundamentales que se colocan a nivel del suelo y se anclan a los cimientos o en este caso a una losa, con el objetivo de distribuir las cargas de manera uniforme, proporcionar estabilidad estructural, reforzar los muros de carga y resistir movimientos del suelo, especialmente en áreas sísmicas. Estas vigas actúan como un elemento unificador que conecta diversas partes de la estructura, previniendo hundimientos, asentamientos desiguales y grietas, asegurando así la seguridad y durabilidad de la construcción. En este caso se buscó que las vigas de arrastre transmitan directamente el peso de los equipos a las traveses que se colocaron en la parte inferior de la losa, quitándole carga a esta y haciendo que no tenga que soportar mayor esfuerzo que el que le producirá la carga viva.

# Capítulo III Desarrollo de actividades en el proyecto

A continuación, se presenta un resumen de las actividades desarrolladas durante el proceso de evaluación y definición de la solución estructural y constructiva más adecuada para la adaptación y el reforzamiento de la losa.

## III.1. Análisis estructural

Tras la visita inicial y el levantamiento arquitectónico del inmueble, se procedió a efectuar un análisis estructural preliminar, cuyo resultado indicó que la losa existente no satisfacía los requerimientos de resistencia a los momentos actuantes. Ante esta situación, se incorporó el refuerzo de las vigas elevadas al modelo estructural, con el fin de completar la verificación de la capacidad resistente de la losa. Dicha revisión fue realizada por un proveedor especializado, encargado de desarrollar los cálculos estructurales correspondientes y de proponer soluciones técnicas para atender las deficiencias identificadas, asegurando la adecuación del edificio ante las nuevas demandas de carga. Mi función consistió en supervisar y validar los cálculos proporcionados por el proveedor, verificando que los procedimientos y resultados cumplieran con los criterios técnicos y normativos aplicables. En caso de detectar inconsistencias o errores, me correspondió señalar las observaciones pertinentes para que se efectuaran las correcciones necesarias hasta alcanzar una solución estructural satisfactoria.

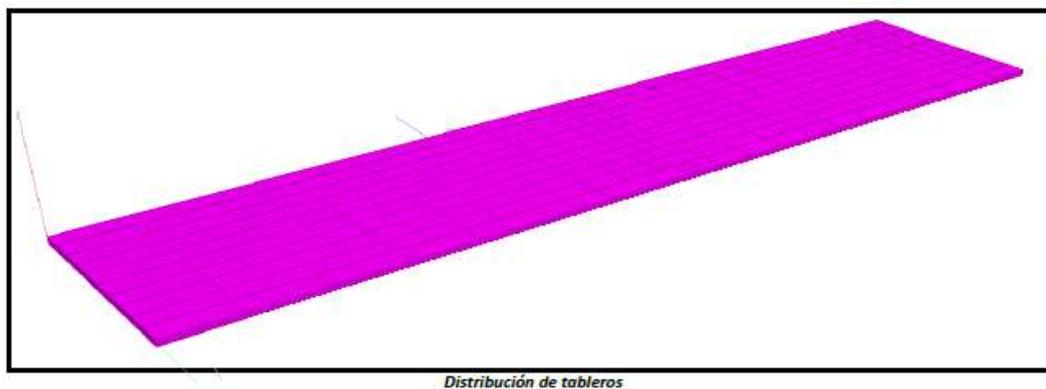
Se llevó a cabo un modelado estructural que permitió identificar los elementos mecánicos involucrados y determinar los requerimientos de resistencia de la losa. Asimismo, se elaboró una memoria de cálculo correspondiente al sistema de refuerzo, acompañada de un modelo computacional que sirvió para verificar el cumplimiento de los objetivos de desempeño estructural, garantizando un comportamiento seguro y eficiente. Todo el proceso fue documentado de forma precisa en los planos, siguiendo una metodología sistemática que incluyó la actualización paralela de la memoria de cálculo y del modelo estructural, con el objetivo de evitar inconsistencias que pudieran comprometer la correcta ejecución del proyecto.

Uno de los errores comunes en este tipo de intervenciones, y que se presentó en este caso en particular, consiste en la incorrecta clasificación del tipo de edificación por parte del proveedor. Este aspecto es crucial, ya que de él derivan factores de seguridad fundamentales, así como los criterios aplicables en materia de regularidad e irregularidad sísmica, entre otros aspectos normativos relevantes. Además, se identificaron omisiones importantes en la aplicación de la normativa vigente, lo que conllevó a una combinación inadecuada de códigos y criterios de diseño, incluyendo una tendencia a limitar el análisis al estado límite último, sin realizar la correspondiente evaluación por

estado límite de servicio, lo cual es esencial para asegurar el desempeño funcional de la estructura a lo largo de su vida útil.

En este caso, el edificio fue clasificado dentro del Grupo A, por lo que, conforme a la normativa aplicable, los factores de carga utilizados correspondieron a 1.5 para cargas permanentes y 1.7 para cargas variables. Una vez definidos los parámetros necesarios para la elaboración del modelo estructural, solicité al proveedor la implementación de un análisis mediante mallado. Este enfoque nos permitió obtener una caracterización más detallada de la respuesta estructural y detectar posibles zonas críticas que requirieran atención.

La utilización de un modelado basado en elementos finitos mallados permitió una simulación más precisa del comportamiento de la losa reforzada, generando información esencial para la optimización del diseño estructural. Las revisiones y validaciones del modelo fueron realizadas empleando el software STAAD.Pro, mediante el uso de elementos tipo cascarón con mallado (véase Figura 11), lo que permitió un análisis más riguroso y una evaluación fiable del desempeño esperado de la intervención estructural.



*Figura 11. Modelo computacional de la losa, realizado en STAAD Pro, (imagen propia).*

A esta losa solicité se le añadiera el peso de los equipos sobre la posición en la que se ubicarían, además de cargas adicionales señaladas por el reglamento, como son la carga viva y el peso propio, considerando los factores de seguridad correspondientes. También algo importante es que uno de los equipos es una planta de emergencia y este estaría en constante vibración cuando estuviera prendida, por lo que se consideran un 30% de peso adicional por efecto de vibraciones. El peso final se muestra en la Figura 12.

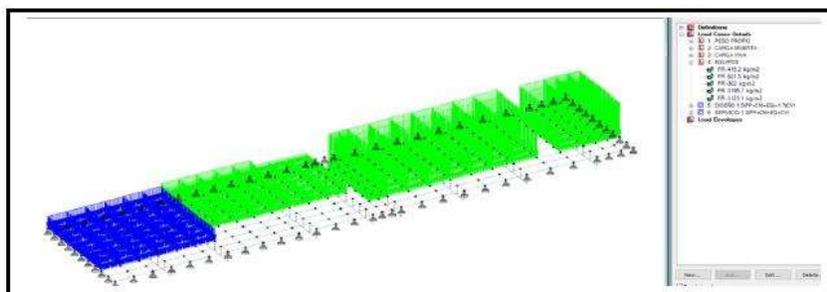


Figura 12. Distribución de las cargas en la losa, dentro del software, (imagen propia).

Desde mi experiencia, esta etapa constituyó una de las más complejas dentro del proceso general, ya que una adecuada distribución de cargas implica enfrentar diversos desafíos técnicos, especialmente en casos particulares como el presente. En primer lugar, fue necesario distribuir uniformemente las nuevas cargas gravitacionales sobre el área de la losa, lo cual demandó cálculos rigurosos y una comprensión detallada del comportamiento estructural del sistema.

Uno de los aspectos críticos durante esta fase fue evitar la confusión entre los factores de seguridad que deben ser ingresados manualmente en el modelo y aquellos que ya están implícitos en el reglamento seleccionado dentro del software. Por ello, es fundamental seleccionar correctamente el código de diseño (en este caso, el reglamento estructural aplicable) antes de ejecutar el análisis estructural, con el fin de asegurar la coherencia y validez de los resultados obtenidos.

La precisión en esta etapa resultó esencial para prevenir errores que pudieran comprometer tanto la integridad estructural del diseño como la seguridad global del proyecto. A lo largo del proceso, realicé múltiples revisiones y detecté diversas inconsistencias, las cuales señalé puntualmente para su corrección. Gracias a estas iteraciones, el modelo fue refinado progresivamente hasta alcanzar un grado de confiabilidad que nos permitió avanzar con certeza.

Finalmente, a partir de los valores obtenidos en el modelo, y aplicando las expresiones normativas establecidas en la NTC-Concreto, se procedió a calcular manualmente la resistencia a momento flexionante y a cortante, obteniéndose los siguientes resultados:

$$V_{CR} = F_R 0.5 \sqrt{f'c} b d$$

$$M_R = F_R b d^2 f'c q (1 - 0.5q)$$

$V_{CR} = 4880.77 \text{ kg-m}$ 
 $M_R = 678.32 \text{ kg-m}$

Las demandas dentro de la losa, obtenidas mediante el modelo computacional, se muestran en la Figura 13.

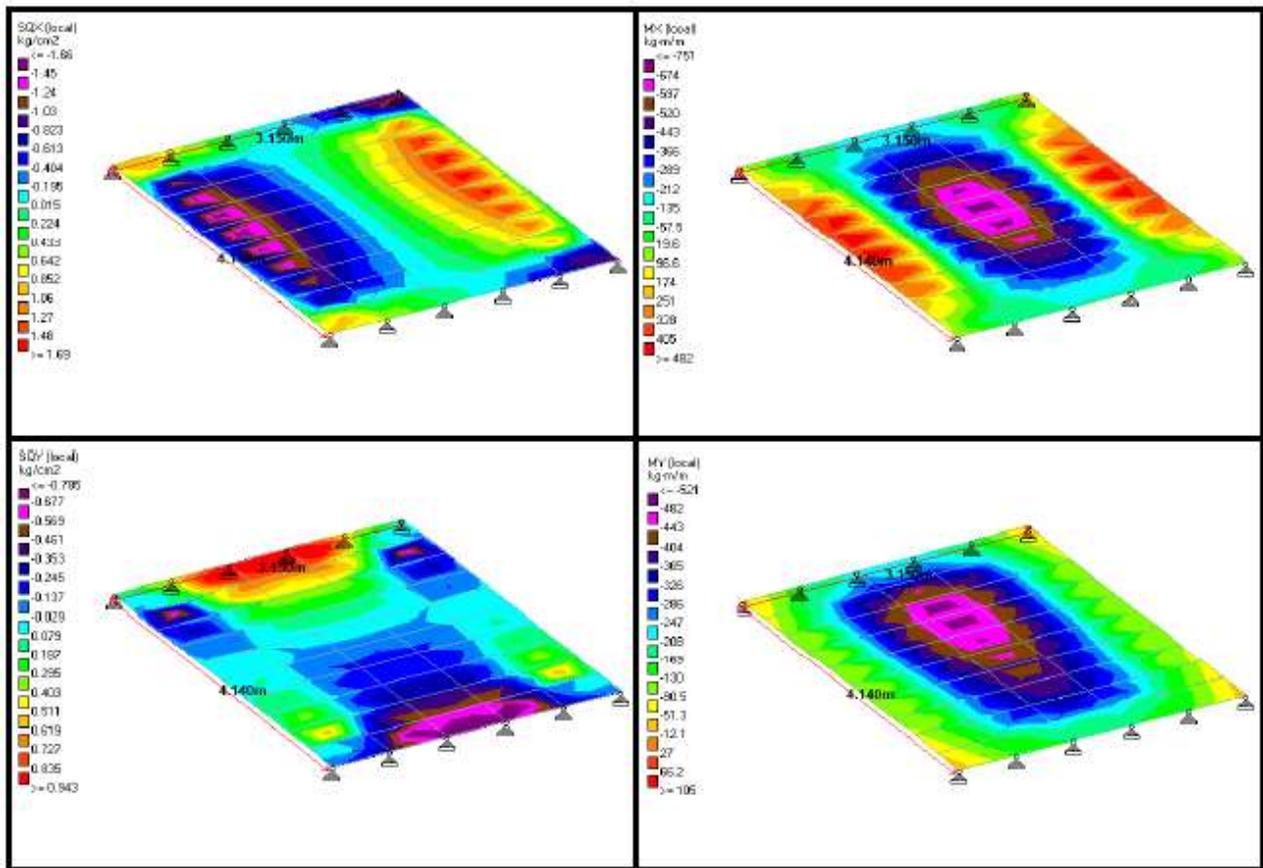


Figura 13. Demandas dentro de la losa, obtenidas mediante STAAD Pro, (imagen propia).

Como se observa en la figura 13, los valores obtenidos en la gráfica de esfuerzos indican que la resistencia previamente estimada de la losa fue excedida por las demandas estructurales, al considerar las nuevas acciones previstas en el proyecto. Ante esta condición, fue necesario diseñar un sistema de refuerzo adecuado que garantizara que la losa no experimentara afectaciones estructurales bajo la aplicación de las nuevas cargas gravitacionales, asegurando así su integridad y desempeño dentro de los márgenes de seguridad establecidos por la normativa vigente.

### III.2. Alternativas descartadas

A continuación, presento una alternativa considerada que posteriormente fue descartada, junto con la justificación por la que no fue aplicada.

#### III.2.1. Refuerzo con fibra de carbono

La primera alternativa que propuso el proveedor fue reforzar por medio de fibra de carbono. Esta era la mejor opción en cuanto a practicidad para su ejecución en campo, así como un menor tiempo para su ejecución. En la Figura 14 se muestra un acomodo preliminar de los elementos de refuerzo con fibras de carbono en la losa.

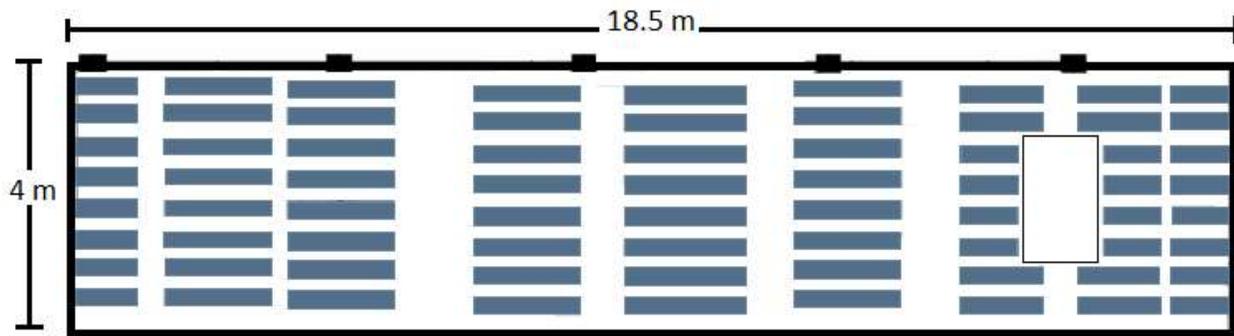


Figura 14. Disposición preliminar de las franjas de fibra de carbono, (imagen propia).

Entre las principales desventajas identificadas junto con el equipo interno de estructuras, se anticipó que el análisis para definir la ubicación, espesor y longitud óptimos de las franjas de fibra de carbono debía ser realizado por un ingeniero especialista designado por la empresa proveedora del sistema de refuerzo (por ejemplo, Hilti o Sika). Esto generaba una dependencia directa del tiempo de respuesta del proveedor, lo que ponía en riesgo el cronograma, ya que los equipos ya habían sido adquiridos y estaban en tránsito hacia el sitio, sin posibilidad de almacenamiento alternativo y con exposición a la intemperie en caso de demoras.

Adicionalmente, la instalación de este tipo de refuerzo requiere personal altamente especializado, lo cual representa un incremento considerable en los costos.

Otro aspecto relevante fue la necesidad de reforzar los bordes de la losa para evitar esfuerzos de cortante en la interfaz con los muros. Sin embargo, esta solución resultó inviable debido a la interferencia de los muros superiores, que impedían la correcta colocación de las franjas, además de que no era factible perforar muros de block, especialmente en el lado colindante con una edificación vecina, por posibles conflictos legales. La Figura 15 muestra la disposición propuesta del refuerzo en los extremos de la losa.

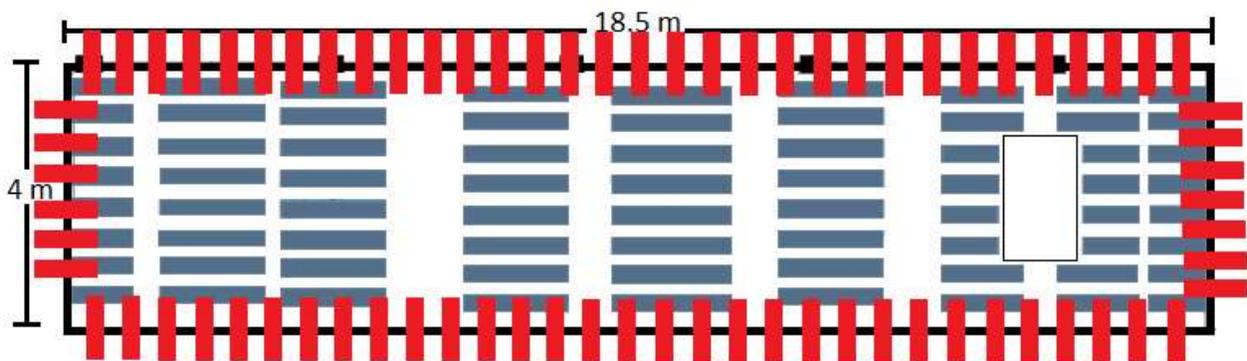


Figura 15. Refuerzo considerando el efecto de cortante, (imagen propia).

Consideramos que las desventajas eran incompatibles con el proyecto, por lo que optamos por otra alternativa.

### **III.3. Diseño de la propuesta de reforzamiento**

A continuación, presento la propuesta seleccionada, junto con su respaldo técnico y el diseño propuesto.

#### **III.3.1. Descripción del reforzamiento**

Seleccionamos la propuesta que consistía en la instalación de vigas adicionales para transferir el peso directamente a los muros armados. Estas vigas las ubicamos de manera estratégica debajo de la posición final de los equipos, asegurando que absorbieran completamente las cargas generadas. Además, las apoyaríamos y conectaríamos al muro perimetral mediante ménsulas diseñadas específicamente para este propósito.

Esta solución nos proporcionó una respuesta eficiente a las preocupaciones sobre la capacidad estructural frente a las nuevas demandas, incrementando la resistencia del sistema de piso y reduciendo de forma significativa su deflexión. Así, garantizamos que el comportamiento estructural bajo las nuevas cargas y condiciones operativas fueran seguras y satisfactorias.

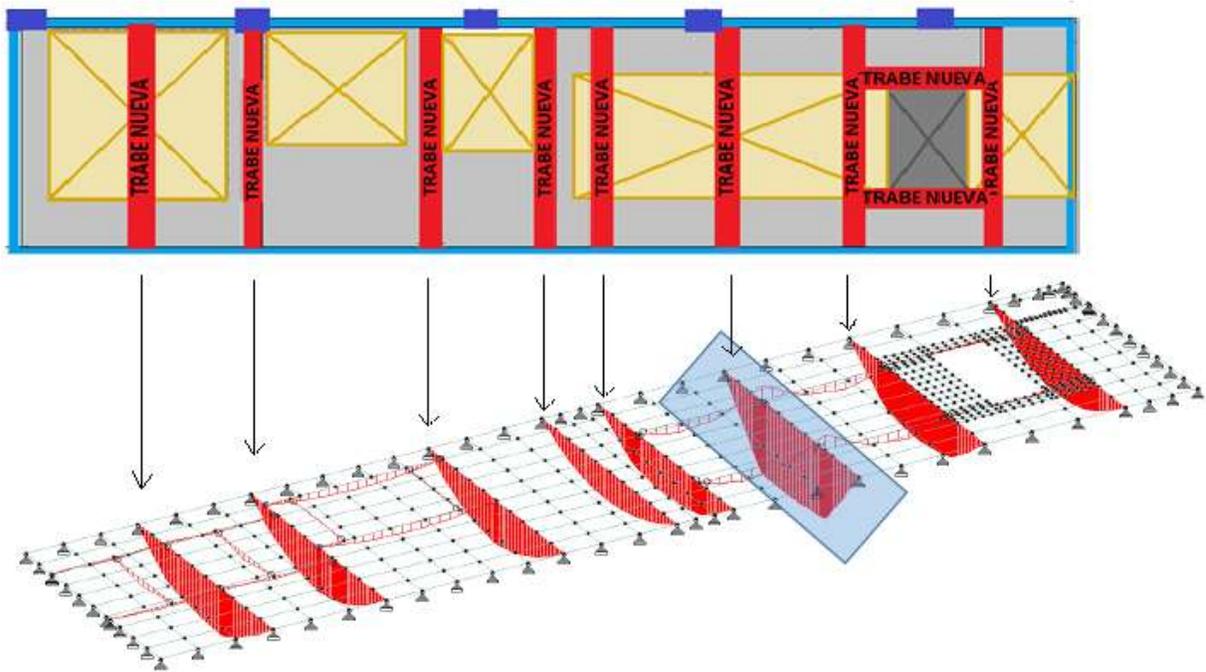
#### **III.3.2. Losa**

La losa no era capaz de resistir las nuevas acciones, y su reforzamiento implicaba una demolición en su totalidad, es decir, que hiciéramos una nueva desde cero con el armado necesario y otros elementos para soportar el peso, pero no fue factible modificar en gran medida este elemento, sino emplear las vigas de soporte para disminuir las sollicitaciones impuestas en ella.

#### **III.3.3. Vigas**

El reforzamiento de la losa lo hicimos mediante la instalación de vigas en la parte inferior de la losa. Esta estrategia permitió que el peso de los equipos fuera sostenido principalmente por las vigas, aliviando a la losa de esta carga adicional.

Al estar estas vigas posicionadas estratégicamente debajo de los equipos, nos asegurábamos de que se disminuyera significativamente la demanda en la losa, mejorando así su durabilidad y desempeño estructural. A continuación, en la Figura 16 muestro la distribución y cantidad de vigas que tuvimos que añadir para asumir el peso de los equipos.



*Figura 16. Croquis de la distribución del refuerzo con vigas y momentos actuantes en vigas de refuerzo, (imagen propia).*

Como se muestra en la figura 16, la viga que presenta los mayores esfuerzos corresponde a la ubicada directamente bajo la planta de emergencia, coincidiendo con la zona de mayor carga. Por ello, solicité que se considerara este caso como el más desfavorable para el diseño del refuerzo, definiendo así las dimensiones y el armado de la viga principal, asegurando que resistiera adecuadamente las solicitaciones impuestas. Este diseño fue utilizado como referencia para el resto de las vigas, garantizando una capacidad uniforme de carga en todo el sistema.

Para definir las dimensiones óptimas, revisé manualmente los cálculos propuestos por el contratista, evaluando distintas combinaciones de ancho, altura y calibres de varilla, hasta encontrar la sección mínima que cumpliera con la resistencia a momento requerida (ver figura 17). En este análisis, se utilizó el momento generado por el equipo más pesado, con una carga aproximada de 13 toneladas.

Propiedades del concreto:

$f'c =$	100.00	kg/cm <sup>2</sup>
$\beta 1 =$	0.85	
$f'c =$	85.00	kg/cm <sup>2</sup>

Concreto clase II

Ecu. 3.5.1 NTCC-2017



Propiedades del acero de refuerzo:

$f_y =$	4200	kg/cm <sup>2</sup>
$f_y =$	4200	kg/cm <sup>2</sup>

"acero por flexión, longitudinal"

"acero por cortante, estribos"

Dimensiones de la viga:

$b =$	25	cm
$h =$	85	cm
$r =$	2	cm
$d =$	83	cm

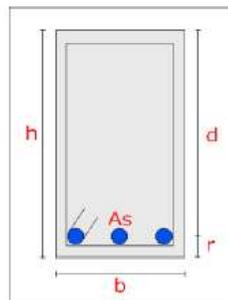


Figura 17. Cálculo de vigas para reforzamiento, (imagen propia).

Posterior a ello revisé tablero por tablero con el método de los coeficientes, para corroborar que cumplieran con la resistencia.

		Q	q	$\rho$	Asreq cm <sup>2</sup> /m	Sep req cm/m	Sep exist cm/m	As cm <sup>2</sup> /m	$\rho$	q
CONTINUO	Corto	0.0323	0.0329	0.0009	0.74	95.31	30.00	2.37	0.0030	0.10
	Largo	0.0239	0.0242	0.0007	0.55	129.54	30.00	2.37	0.0030	0.10
DISCONTINUO										
	Largo	0.0151	0.0152	0.0004	0.34	205.85	30.00	2.37	0.0030	0.10
CENTRO	Corto	0.0099	0.0099	0.0003	0.31	229.19	30.00	2.37	0.0022	0.08
	Largo	0.0047	0.0047	0.0001	0.15	867.73	10.00	12.70	0.0115	0.41
CONTINUO	Corto	0.0194	0.0196	0.0006	0.44	159.92	30.00	2.37	0.0030	0.10
	Largo	0.0143	0.0144	0.0004	0.33	216.96	30.00	2.37	0.0030	0.10
DISCONTINUO										
	Largo	0.0091	0.0091	0.0003	0.21	344.14	30.00	2.37	0.0030	0.10
CENTRO	Corto	0.0059	0.0060	0.0002	0.19	382.74	30.00	2.37	0.0022	0.08
	Largo	0.0028	0.0028	0.0001	0.09	1447.58	10.00	12.70	0.0115	0.41

		Mu kg-m/m	Mr kg-m/m	Ratio <0.95	cumple por resistencia	cumple por norma
CONTINUO	Corto	221.58	0.00	Sin Acero	No pasa	No Cumple
	Largo	163.74	678.32	0.24	Ok cumple	Ok cumple
DISCONTINUO						
	Largo	103.51	678.32	0.15	Ok cumple	Ok cumple
CENTRO	Corto	128.17	946.70	0.14	Ok cumple	Ok cumple
	Largo	60.71	4204.76	0.01	Ok cumple	Ok cumple
CONTINUO	Corto	132.95	0.00	Sin Acero	No pasa	No Cumple
	Largo	98.25	678.32	0.14	Ok cumple	Ok cumple
DISCONTINUO						
	Largo	62.10	678.32	0.09	Ok cumple	Ok cumple
CENTRO	Corto	76.90	946.70	0.08	Ok cumple	Ok cumple
	Largo	36.43	4204.76	0.01	Ok cumple	Ok cumple

Tabla de resumen de momentos por tableros.

### III.3.4. Ménsulas

Inicialmente, se planteó que las vigas descansaran sobre columnas desplantadas desde el nivel de piso de la fosa. Sin embargo, esta opción fue descartada a solicitud de los arrendatarios del edificio, debido a la presencia de una filtración de agua en la fosa, detectada con el paso del tiempo. Se argumentó que una nueva intervención podría generar riesgo de corrosión o fallas en el material, en caso de que los aditivos impermeabilizantes no se aplicaran correctamente.

Ante esta restricción, se optó por una solución elevada mediante ménsulas, las cuales fueron modeladas con software especializado de Hilti. En esta etapa, verifiqué los espesores y dimensiones de las ménsulas, así como el tipo de anclaje y el número y diámetro de los pernos requeridos.

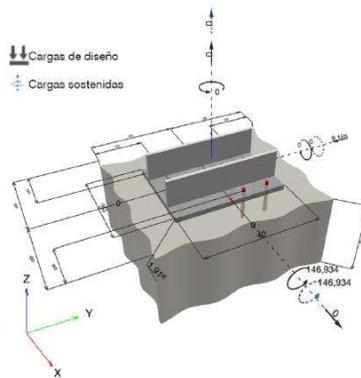


Figura 18. Refuerzo considerando el efecto de cortante (generado con IA)

Como se puede observar en la figura 18, se modelaron las ménsulas para determinar el número de pernos y los diámetros que debía tener para asegurar la correcta fijación, también se sacó el espesor y posición que debía haber entre placas, todo esto para que no hubiera un fallo por cortante entre los pernos ni deformaciones en las placas de la ménsula.

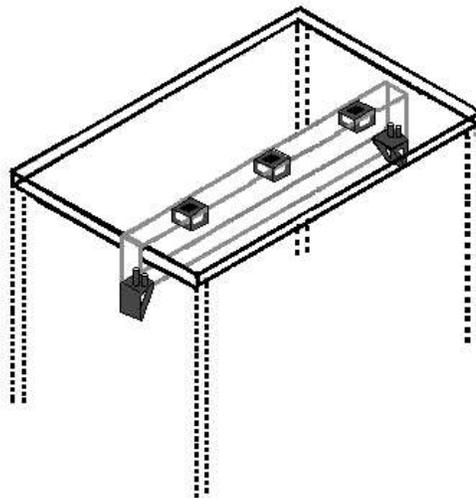
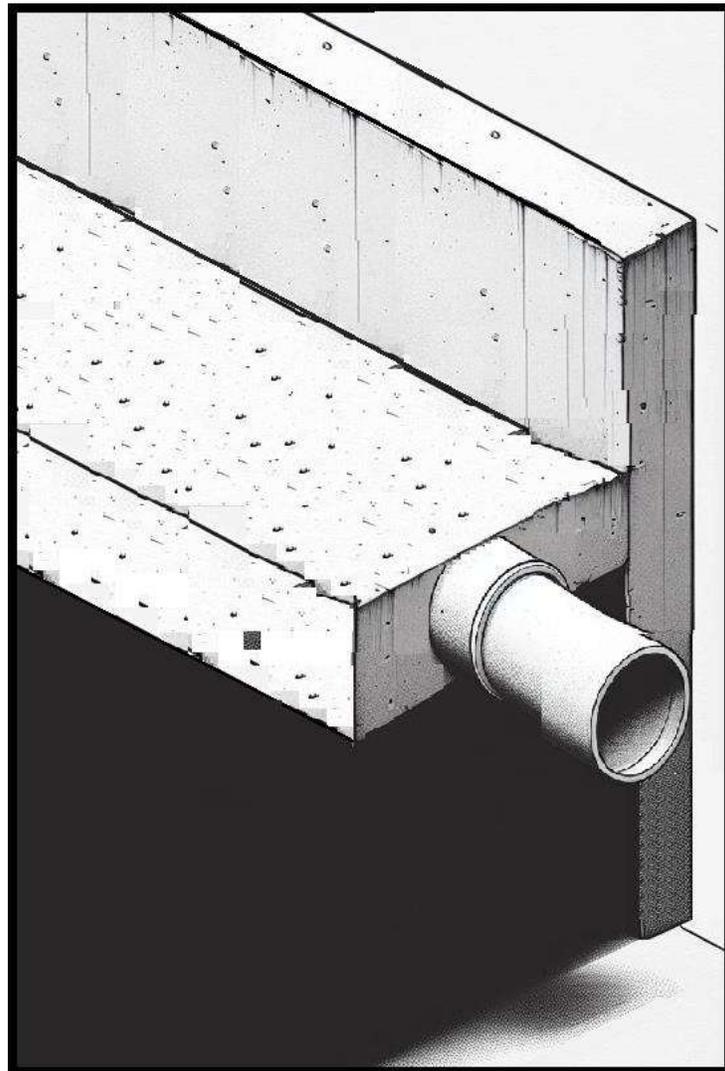


Figura 19. Isométrico del refuerzo con una viga, (imagen propia).

En este caso, no se realizaron modificaciones a los muros existentes, ya que al tratarse de muros armados y con función portante en los niveles superiores, se consideró que contaban con capacidad suficiente para resistir las cargas impuestas por los nuevos elementos estructurales. Por esta razón, la fijación de las ménsulas se realizó directamente sobre los muros, sin requerir la construcción adicional de columnas (ver figura 19).

El único inconveniente encontrado durante esta fase fue la presencia de una tubería confinada en concreto, ubicada a una altura elevada y con una proyección sobresaliente, como se muestra a continuación:



*Figura 20. OpenAI. (2025). Tubería ahogada en concreto sobre muro de la fosa, imagen generada por IA.*

Como se observa en la figura 20, el registro de la tubería se encontraba expuesto, y al inspeccionar su interior se verificó que no presentaba flujo de agua, estando completamente seco. Con base en esta observación, se procedió en obra a la demolición controlada de la dala que contenía dicha tubería, la cual fue removida para permitir la colocación adecuada de las ménsulas sobre el muro.

Para prevenir afectaciones futuras y mantener la continuidad del sistema, se reconstruyó la dala, adaptándola para esquivar las ménsulas, pero conservando la misma pendiente original, tal como se muestra en la figura 21.

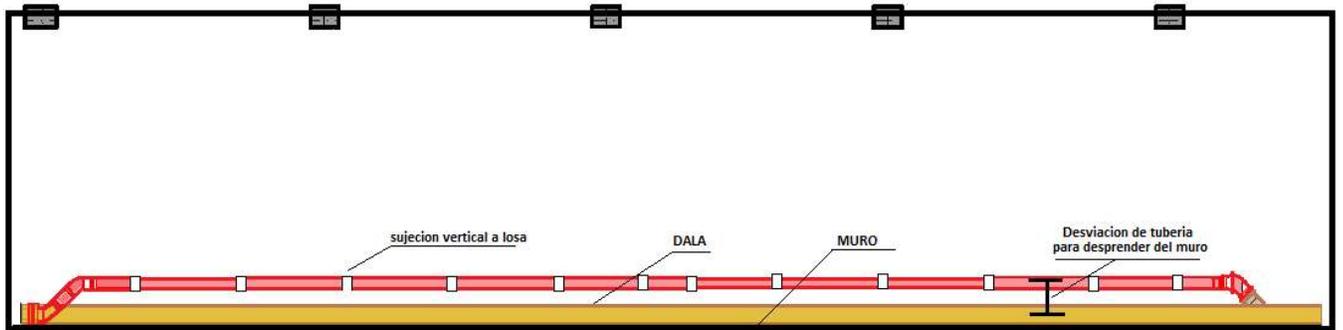


Figura 21. Vista en plata de la reubicación de tubería existente, (imagen propia).

La tubería se reubicó soportándola con unas abrazaderas colgantes y fijadas a la losa existente (ver Figura 22).



Figura 22. Detalle de agarre de la tubería reubicada, (imagen propia).

### III.4. Modelo de solución final

Con el objetivo de lograr la mayor precisión posible en los resultados, solicité al contratista que modelara la losa de manera realista, incorporando tanto el hueco existente correspondiente a la escotilla de acceso, destinada al ingreso de materiales y personal, como los nuevos elementos estructurales de refuerzo. Esta representación detallada puede observarse en la figura 23, mientras que en la figura 24 se presenta la distribución de cargas aplicada al sistema.

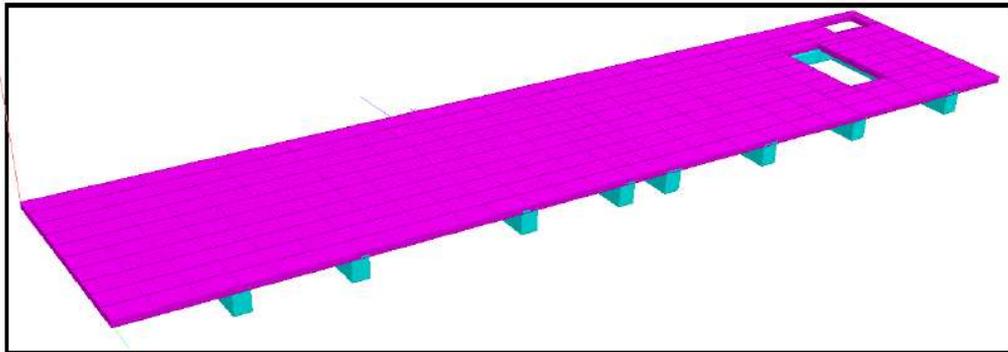


Figura 23. Modelo computacional actualizado, (imagen propia).

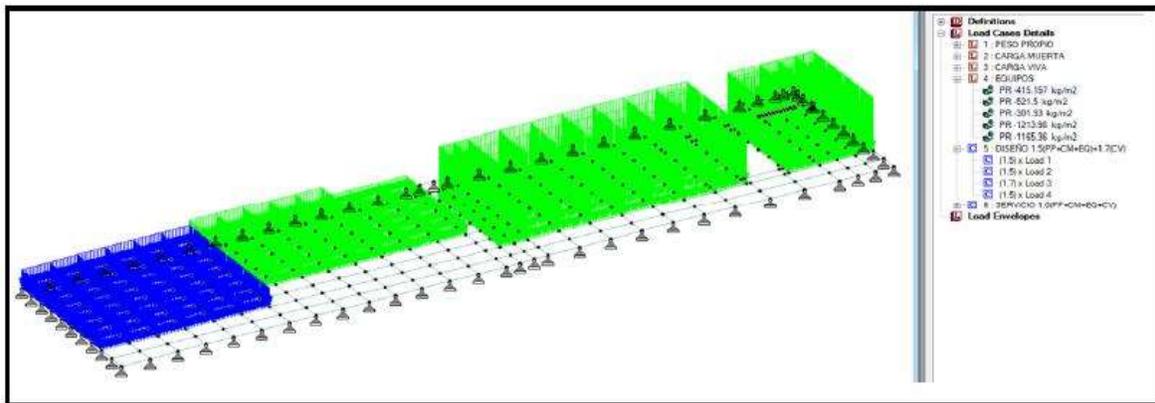


Figura 24. Distribución del peso en la losa, (imagen propia).

Por otro lado, de la Figura 25 a la Figura 28 se presentan los elementos mecánicos en la losa, mientras que en la Figura 29 las deformaciones.

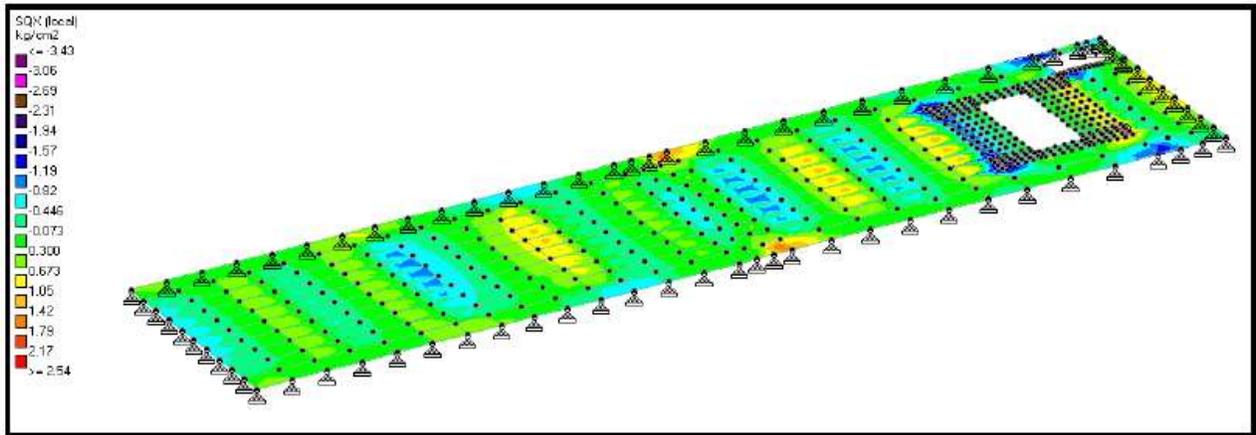


Figura 25. Esfuerzo cortante en X, (imagen propia).

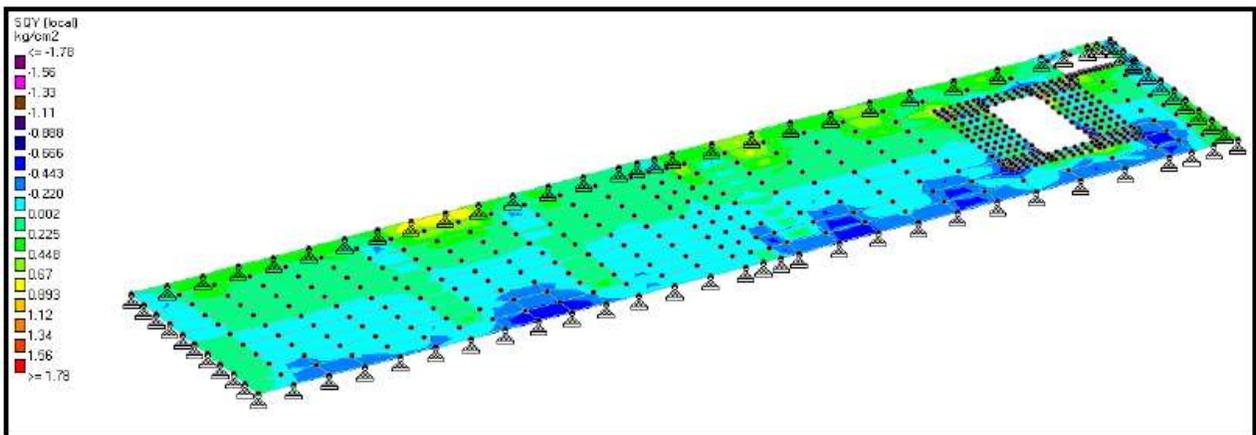


Figura 26. Esfuerzo cortante en Y, (imagen propia).

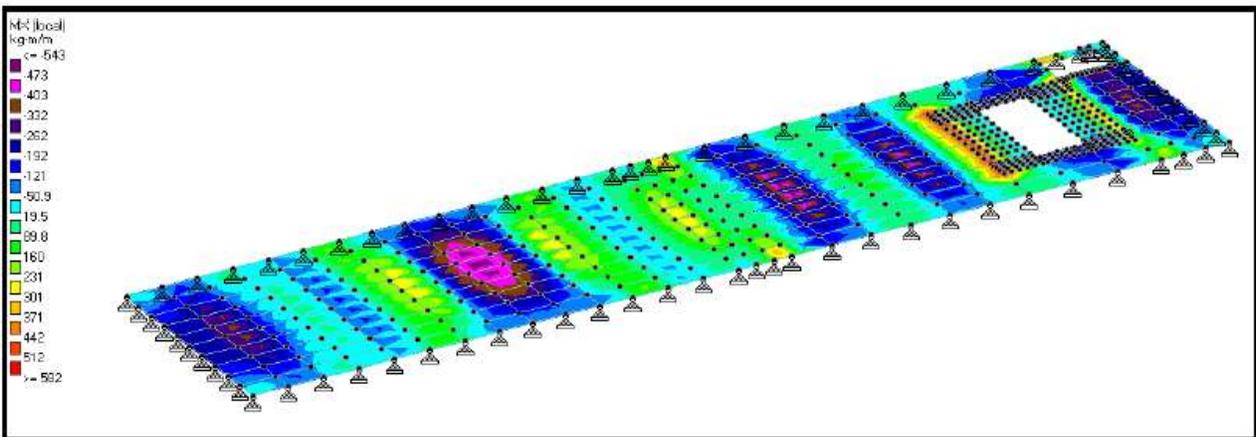
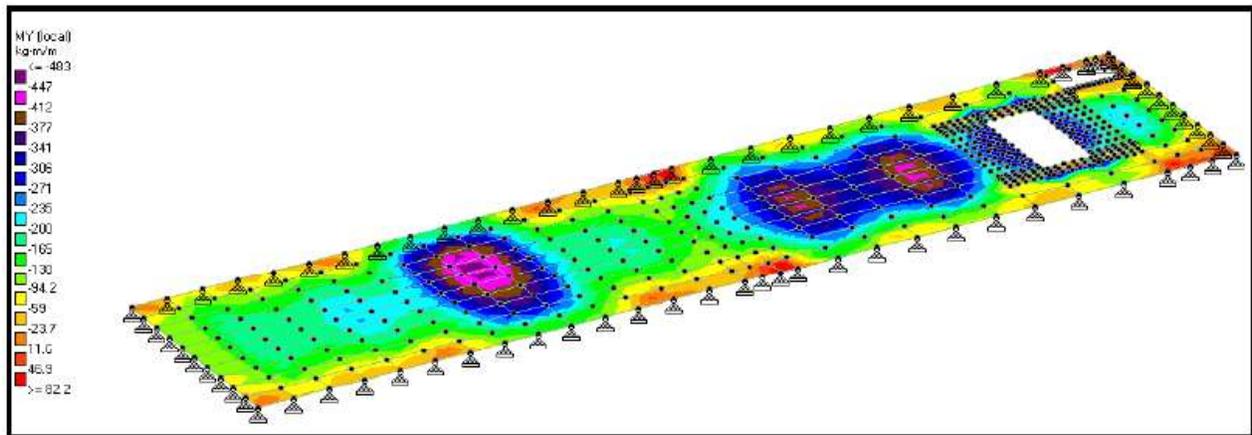
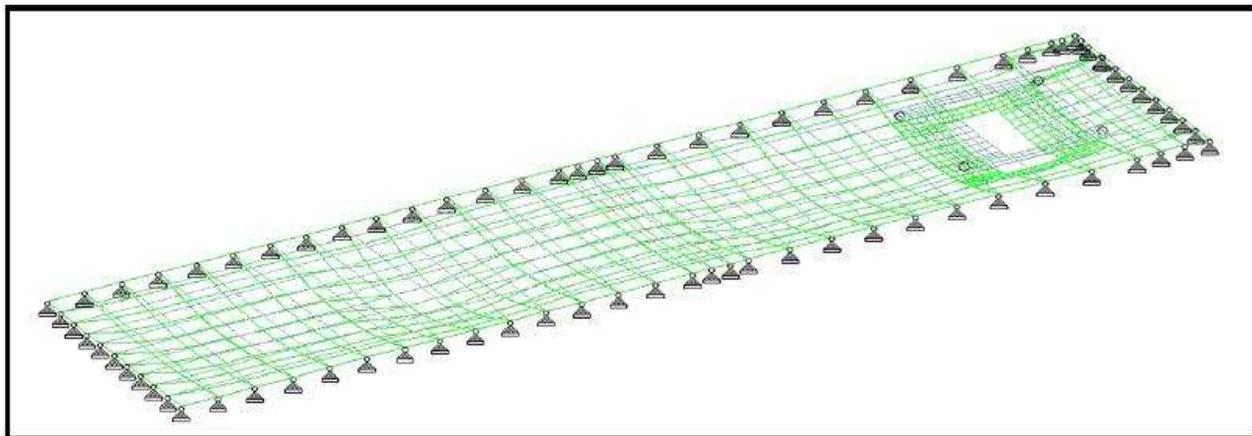


Figura 27. Momentos de losa en X, (imagen propia).



*Figura 28. Momentos de losa en Y, (imagen propia).*



*Figura 29. Diagrama de deformaciones, (imagen propia).*

Durante esta fase del proyecto, me aseguré de verificar meticulosamente que el contratista asignara adecuadamente los pesos de los equipos. Esto implicaba que se hiciera una correcta bajada de cargas y se distribuyeran las cargas vivas en las áreas correspondientes. Es importante que los factores de seguridad se aplicaran conforme a la normativa vigente con la que estábamos trabajando, como ya se mencionó anteriormente.

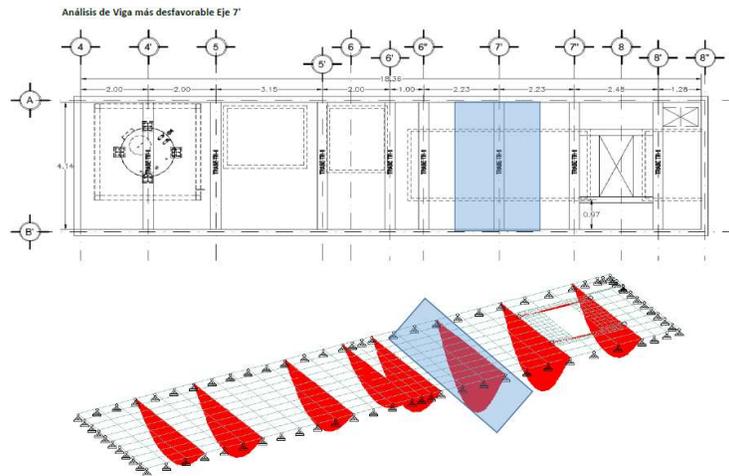


Figura 30. Viga más desfavorable con mayor momento, (imagen propia).

Como se puede observar en la figura 30, la viga del eje 7' es la que presenta mayor carga y, por ende, se genera mayor momento, convirtiéndola en la más desfavorable, por lo que usaremos los resultados obtenidos en el programa STAAD Pro para corroborar que cumplimos también por estado límite de servicio.

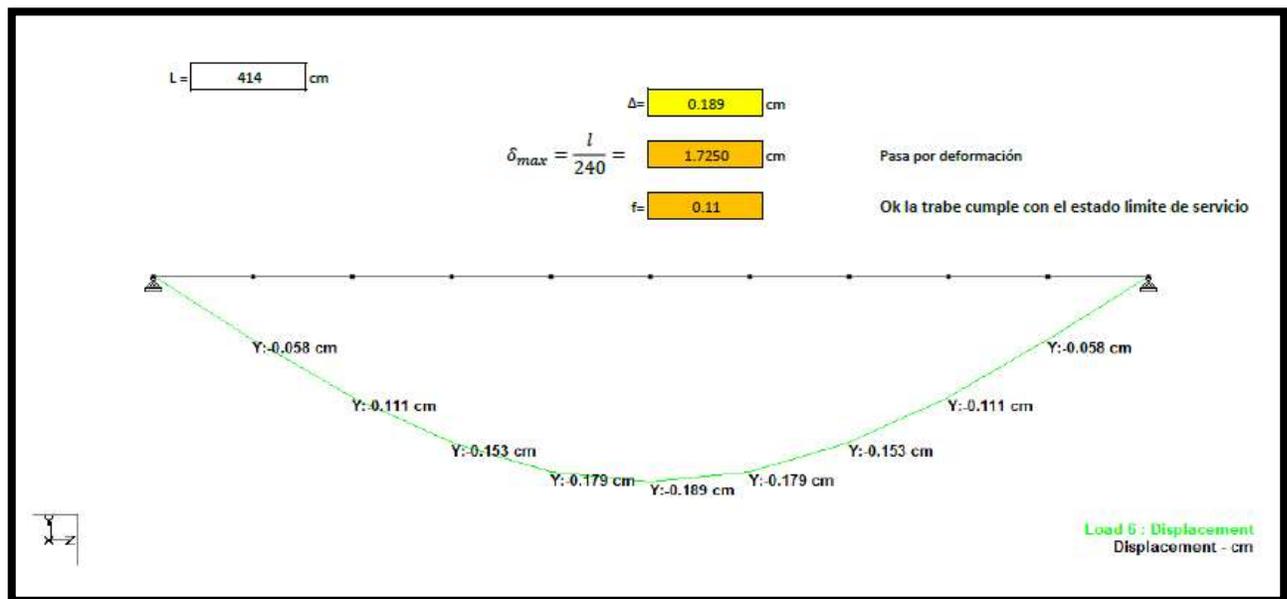
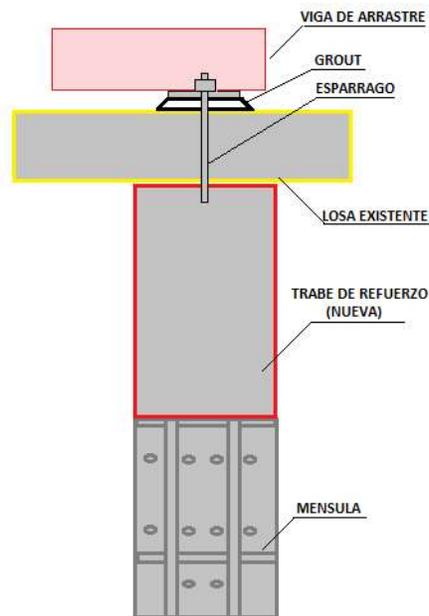


Figura 31. Diagrama de desplazamiento, (imagen propia).

Como se puede observar en la figura 31, el desplazamiento teórico máximo calculado fue de 0.189 cm, mientras que el límite permisible establecido es de 1.7 cm, por lo que se cumple satisfactoriamente el criterio del estado límite de servicio.





*Figura 34. Corte de detalle de fijación de arrastres a losa y viga nueva, (imagen propia).*

Como se alcanza a ver en la figura 34, parte del anclaje alcanza a la viga nueva, diseñado de esta manera para asegurar un mejor anclaje de los arrastres.

### **III.5. Supervisión de la construcción en obra**

#### **III.5.1.Preparación del Sitio**

Al iniciar los trabajos en la fosa, una de las primeras acciones fue el bombeo del agua acumulada en su interior. Mientras los operarios realizaban este proceso, los supervisores monitoreábamos continuamente el nivel del agua para asegurar su correcta evacuación hasta dejar completamente despejada el área interna. El agua fue redirigida cuidadosamente hacia las zonas designadas por los arrendatarios, con el fin de evitar posibles inundaciones en áreas adyacentes. Una vez extraída toda el agua, se identificó el origen de la fuga, la cual fue sellada oportunamente para prevenir nuevos incidentes durante el desarrollo de los trabajos de reforzamiento estructural.

Antes de comenzar con cualquier intervención, se procedió a limpiar y despejar completamente el interior de la fosa y los muros circundantes, que se encontraban obstruidos por cables antiguos y diversos residuos. Supervisamos minuciosamente que se retirara toda la basura y material obsoleto, garantizando así un entorno seguro y libre de obstáculos para la ejecución de las siguientes fases.

Posteriormente, se verificó que se realizaran los procesos de limpieza y preparación adecuados en las superficies de la losa y los muros, eliminando polvo, suciedad y cualquier material suelto que pudiera comprometer la adherencia y el desempeño de los nuevos elementos estructurales a instalar.

Antes de la apertura de los huecos en la losa, se aseguró que esta estuviera correctamente apuntalada y que los trazos para las demoliciones estuvieran bien definidos. Se solicitó iniciar por el hueco de mayor tamaño, que funcionaría como acceso para materiales y personal. Durante esta etapa, supervisamos que los cortes se limitaran exclusivamente a las áreas marcadas, evitando daños innecesarios en el resto de la losa (ver figura 35).



*Figura 35. OpenAI. (2025). Corte en losa para acceso de personal y materiales, imagen generada por IA.*

### **III.5.2. Instalación de Vigas**

En esta etapa, lo primero que realicé fue la recepción de toda la varilla destinada al proyecto, verificando cuidadosamente que los calibres correspondieran con lo solicitado en los planos. Esta revisión es fundamental para asegurar que el material cumple con los requerimientos técnicos.

Además, supervisé el proceso de corte y doblado de las varillas, confirmando que cada pieza fuera fabricada conforme a las medidas especificadas en los detalles del proyecto.

Con el acero habilitado según las dimensiones indicadas, se inició el corte y doblado (ver figura 36), seguido del armado de las vigas que se colocarán debajo de la losa. Durante este proceso, estuve atento para garantizar que el armado se realizara correctamente y conforme a lo proyectado.



*Figura 36. OpenAI. (2025). Corte del acero de las vigas de refuerzo, imagen generada por IA.*

Después de habilitar todo el acero necesario para la construcción, verifiqué cuidadosamente el procedimiento de ensamblaje del esqueleto de las vigas conforme a los planos estructurales. Una vez completado el armado, corroboré que los estribos estuvieran colocados a la distancia indicada en el proyecto y que los amarres estuvieran bien realizados para garantizar la resistencia requerida.

Posteriormente, los trabajadores comenzaron a bajar estos esqueletos hacia la parte interna de la fosa. El equipo de supervisión y yo nos asegurábamos de que estas maniobras se realizaran con el máximo cuidado, preservando la integridad de la estructura para evitar cualquier tipo de deformación o daño.

En cuanto al marcado y la perforación, trazamos con precisión las posiciones donde se instalarían las vigas, siguiendo los planos lo más exactamente posible. Los trabajadores realizaron los huecos sobre la losa para permitir el colado posterior de las trabes a través de estas aberturas (ver figura 37). También supervisé que se hicieran correctamente las perforaciones en los muros de concreto armado para la fijación de las ménsulas.

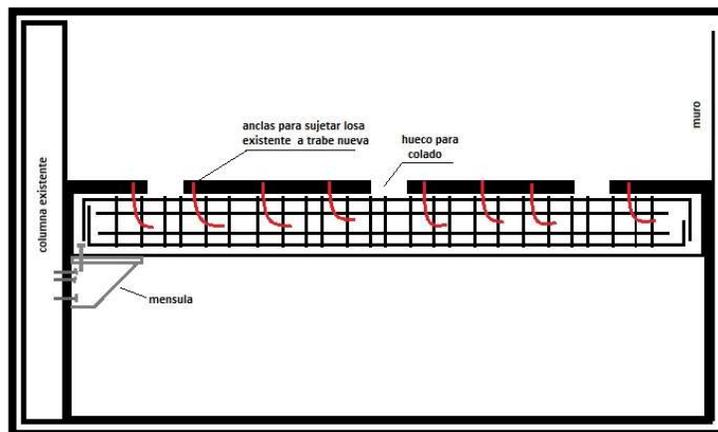


*Figura 37. OpenAI. (2025). Corte en losa para acceso del colado de las vigas de refuerzo, imagen generada por IA.*

En la figura 37 se intenta representar como se llevó a cabo el trabajo en campo del corte en la losa para permitir el paso del futuro colado para las vigas de refuerzo, este corte consistió en cortar 3 huecos de 25 por 25 cm a lo largo de cada trabe nueva (ver figura 38), para vaciar el concreto desde diferentes puntos y así lograr que el concreto llegara a todos los extremos de estas traves nuevas y evitar vacíos que pudieran dejar las varillas del armado expuestas.

### III.5.3. Montaje de Vigas

Los trabajadores posicionaron las vigas sobre los muros y los supervisores corroboramos que quedaran niveladas y alineadas. Se usaron pernos y soldaduras para fijar las vigas a las ménsulas, asegurando una conexión sólida. Una vez posicionadas, revisamos que se realizaran los ajustes para colocar las vigas lo más exacto posible donde correspondía según el diseño.



*Figura 38. Detalle de fijación de viga a muro y losa, (imagen propia).*

En la figura 38 se representa como debe quedar la fijación entre la losa y las traves nuevas a través de las anclas, así como la fijación entre estas traves a la ménsula y de la ménsula al muro, esta representa la colocación de forma esquemática entre la ménsula y el muro). En la figura 39 se representa el proceso de perforar la losa de concreto para instalar los anclajes.

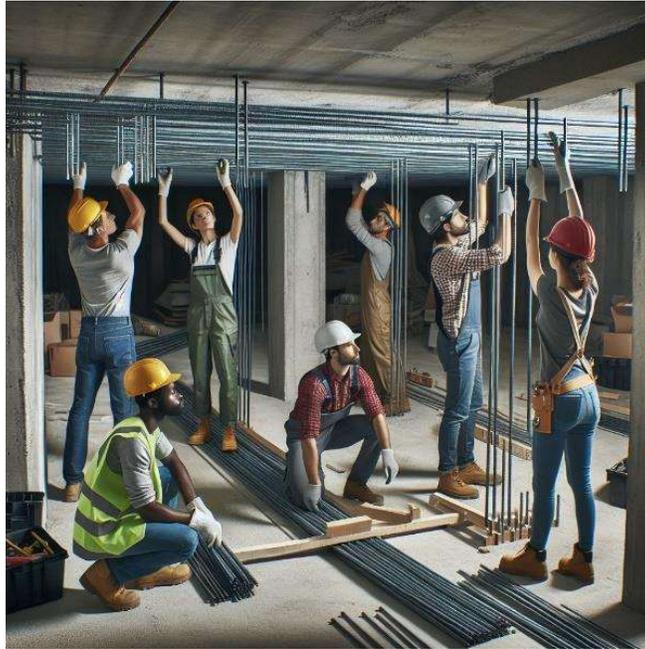


*Figura 39. OpenAI. (2025). Perforación en la losa de la fosa para fijación de las anclas, imagen generada por IA.*



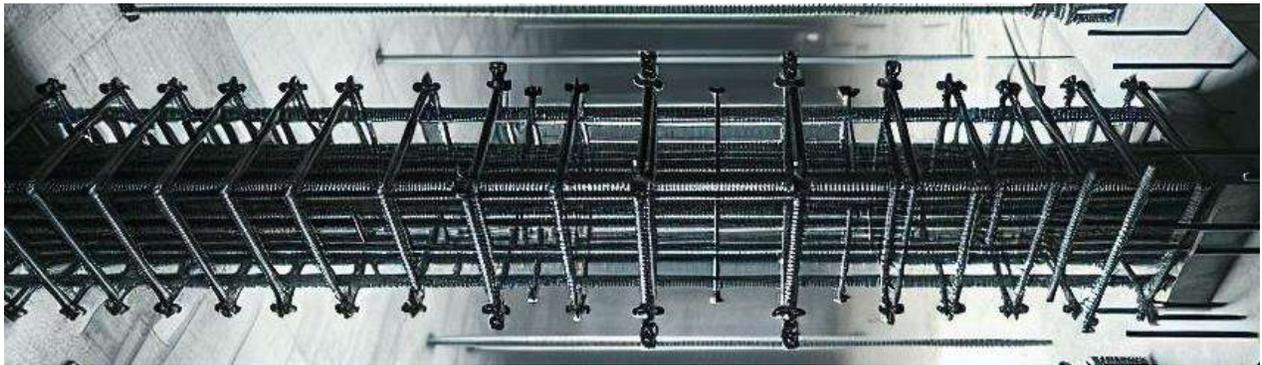
*Figura 40. OpenAI. (2025). Escarificación en muros para colocación de traves, imagen generada por IA.*

En la figura 40 se muestra la escarificación de los muros, para posteriormente llevar a cabo la aplicación de aditivos que unirán el concreto viejo con el nuevo, asegurando así un colado adecuado.



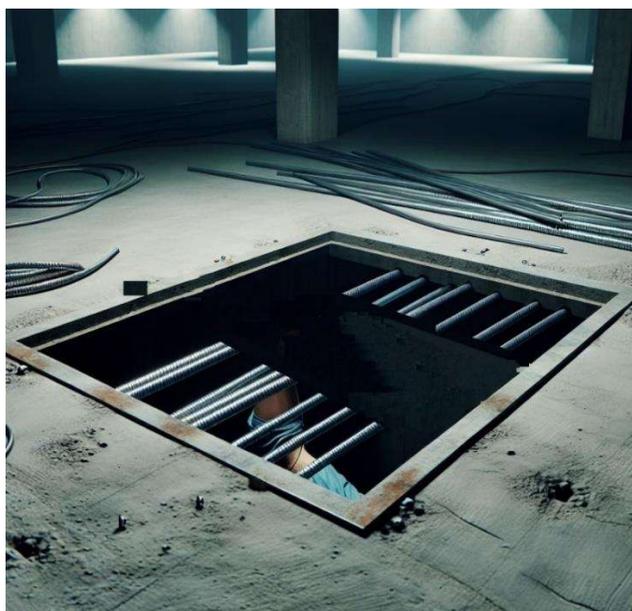
*Figura 41. OpenAI. (2025). Colocación de armado de viga a muro y losa, imagen generada por IA.*

En la figura 41 se observa (en una representación ilustrativa) a los trabajadores colocando el armado de la trabe y fijándolo tanto a la losa como a los muros, en la siguiente imagen se ve el armado de las varillas y los estribos de las traves nuevas (ver figura 42).



*Figura 42. OpenAI. (2025). Armadura de las vigas de refuerzo en posición final, imagen generada por IA.*

En el hueco de 1 metro de ancho por 2 metros de largo, los trabajadores cortaron la varilla para permitir el acceso libre de materiales y personal. Sin embargo, les pedí que dejaran aproximadamente 20 cm de varilla expuesta al final de estas piezas, con el fin de unirlos correctamente a las vigas nuevas (ver figura 43). Para asegurar que esta indicación no se pasara por alto, incluí esta instrucción como nota en el plano correspondiente, garantizando que el equipo encargado de la apertura cumpliera con esta especificación.



*Figura 43. OpenAI. (2025). Varillas sobresalientes en la apertura para acceso a fosa, imagen generada por IA.*

En la apertura, verifiqué que se utilizara el acero cortado y lo unieran a las vigas nuevas a través de dobleces como se muestra en la figura 44.



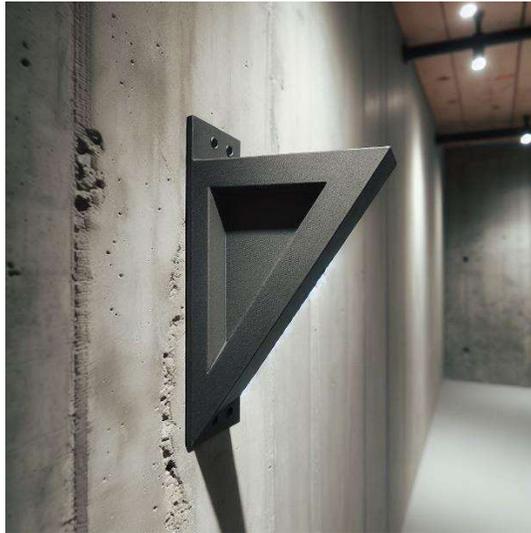
*Figura 44. OpenAI. (2025). Dobles de acero de losa a vigas nuevas, imagen generada por IA.*

Tanto los trabajadores como los supervisores marcamos la posición de las ménsulas de acuerdo con planos, estas ménsulas fueron prefabricadas debido a las características que debían tener en cuanto a la fluencia del acero y los espesores, por lo que las recibimos ya hechas y en obra solamente hicimos el marcado de las posiciones y las perforaciones sobre los muros (ver figura 45), asegurando que estuvieran bien alineados los barrenos y así lograr un anclaje firme. Las ménsulas las fijaron utilizando tornillos y anclajes especiales diseñados para soportar grandes cargas.



*Figura 45. OpenAI. (2025). Barreno en muros para colocación de placas, imagen generada por IA.*

En la figura 46 se muestra cómo quedó la colocación de las ménsulas sobre el muro, las cuales servirán posteriormente para recibir las traveses. Como ya se mencionó anteriormente, fue muy importante corroborar que la posición de los barrenos estuvieran correctamente alineados.



*Figura 46. OpenAI. (2025). Representación de ménsula sobre muro, imagen generada por IA.*

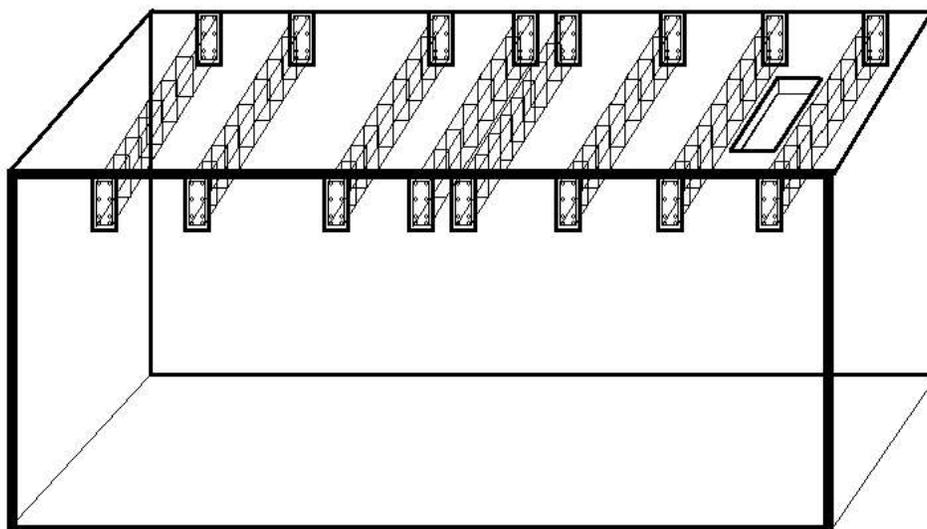


Figura 47. Isométrico de todas las vigas sobre ménsulas listas para cimbrado, (imagen propia).

En la figura 47 se presenta un isométrico que ilustra la distribución de las traveses nuevas dentro del interior de la fosa, así como el hueco destinado al paso de materiales y personal.

Como se mencionó anteriormente, uno de los desafíos fue la presencia de una tubería encofrada en uno de los muros, la cual interfería con la ubicación planificada de las ménsulas. Por esta razón, tuvimos que encontrar una solución para fijar las ménsulas sin retirar la tubería, ya que esta podría ser conductora de agua o drenaje.

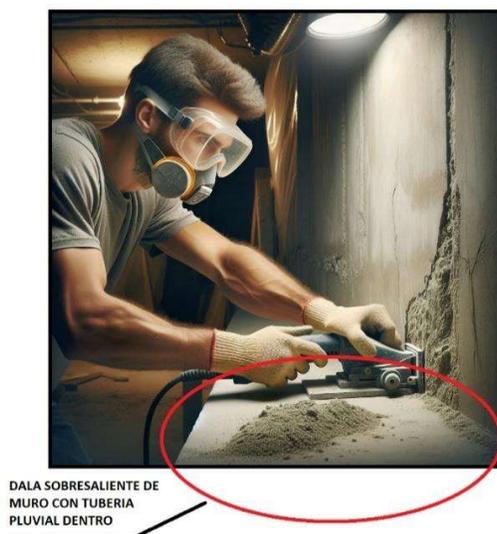
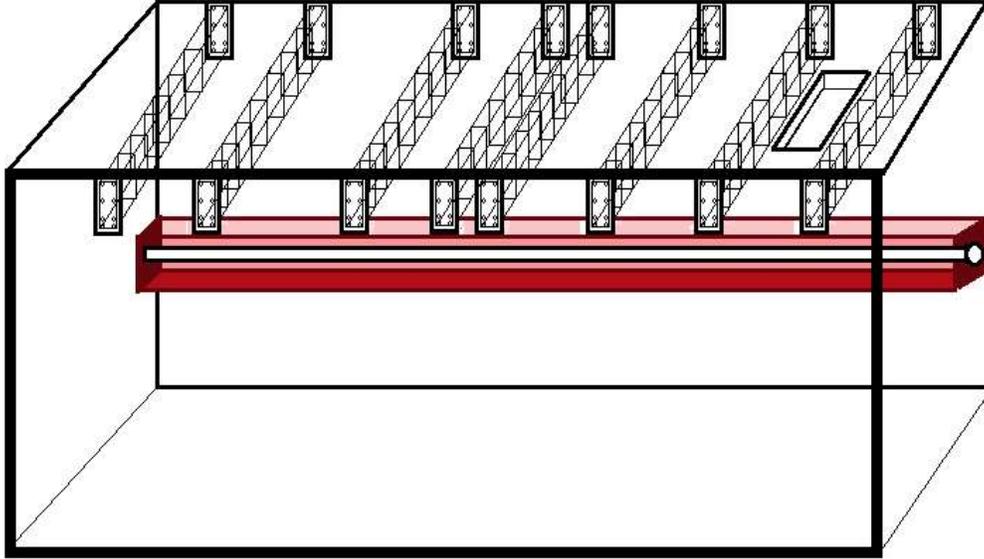


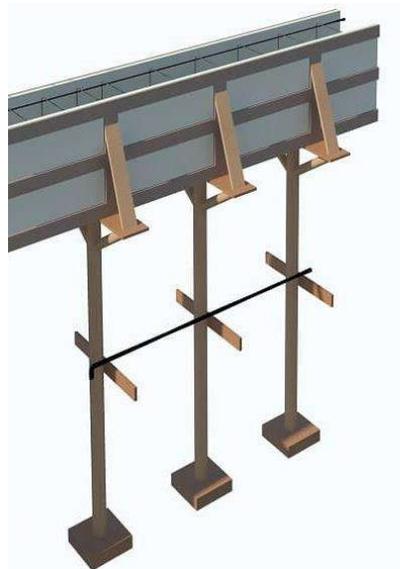
Figura 48. OpenAI. (2025). Tubería encofrada, imagen generada por IA.

Como se puede observar en la figura 48, la dala sobresaliente estorbaba para que los trabajadores pudieran hacer los trabajos de fijación de los esqueletos de las vigas y también chocaba con la posición final de las ménsulas.



*Figura 49. Isométrico del espacio entre viga y tubería encofrada, (imagen propia).*

En la figura 49 se muestra el isométrico de la dala sobresaliente que se encontró dónde estaba ahogada la tubería y que obstruía a la ejecución de la colocación de las trabes y las ménsulas de soporte.



*Figura 50. Inicio de apuntalamiento y cimbrado (Tailor, 2024)*

En la figura 50 se representa de forma ilustrativa la colocación de la cimbra y polines para poder llevar a cabo el colado para las vigas de refuerzo.



*Figura 51. OpenAI. (2025). Colocación de cimbra, imagen generada por IA.*

La figura 51 muestra una representación aproximada del trabajo realizado en obra, donde se observa cómo se llenó la parte interna con los apuntalamientos y la cimbra para las traves, preparándose para el colado del concreto.

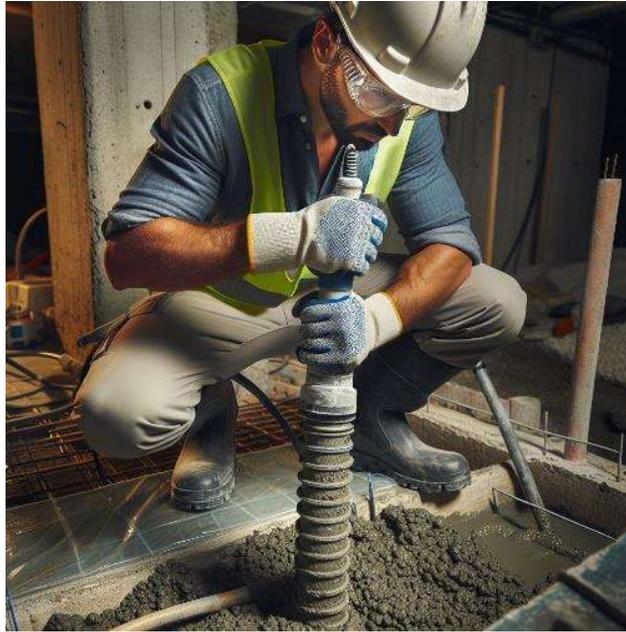
Antes de iniciar el colado, recibimos las ollas de concreto y los trabajadores realizaron la prueba de revenimiento para confirmar que la mezcla cumplía con la resistencia especificada en el proyecto.

Para facilitar el colado, los trabajadores abrieron orificios de 25 por 25 centímetros en los muros, permitiendo verter el concreto con cuidado a través de estos. Supervisé que el vertido fuera uniforme y que se usaran vibradores para compactar el concreto, eliminando cualquier vacío o burbuja de aire, con el fin de garantizar la máxima densidad y resistencia del material.



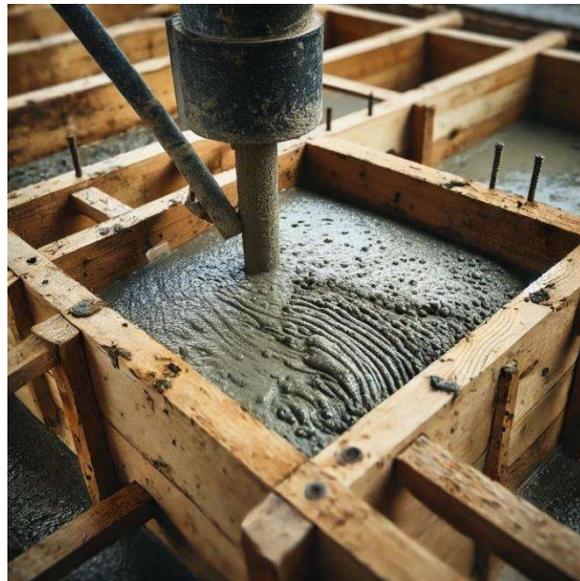
*Figura 52. OpenAI. (2025). Colado en aperturas, imagen generada por IA.*

La figura 52 muestra el proceso de vertido de concreto en los orificios realizados para llevar a cabo el colado de las traveses internas de la fosa.



*Figura 53. OpenAI. (2025). Vibrado de concreto, imagen generada por IA.*

En la figura 53 se representa el proceso del vibrado del concreto para eliminar el aire que se pudo haber quedado atrapado, dar homogeneidad y de esta forma no afectar la adherencia entre los elementos ni la resistencia del concreto, en la figura 54 se muestra una representación del cimbrado después del vibrado del concreto.



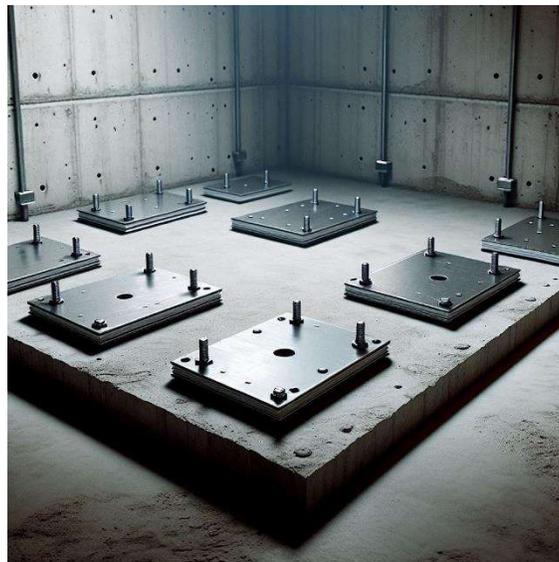
*Figura 54. Cimbra posterior al vibrado del concreto (generado con IA)*

Inicialmente, utilizamos láser para marcar la posición del barrenado y las placas base, asegurando que las vigas estuvieran perfectamente alineadas. Esto es importante para garantizar que los equipos se ajustaran adecuadamente sobre las vigas.



*Figura 55. OpenAI. (2025). Uso de láser para colocación de barrenos, imagen generada por IA.*

En la figura 55 se hace la representación de forma ilustrativa del uso de láser sobre la losa de la fosa para trazar la posición de las placas que soportaran las vigas de arrastre para posicionar sobre estas últimas los equipos.

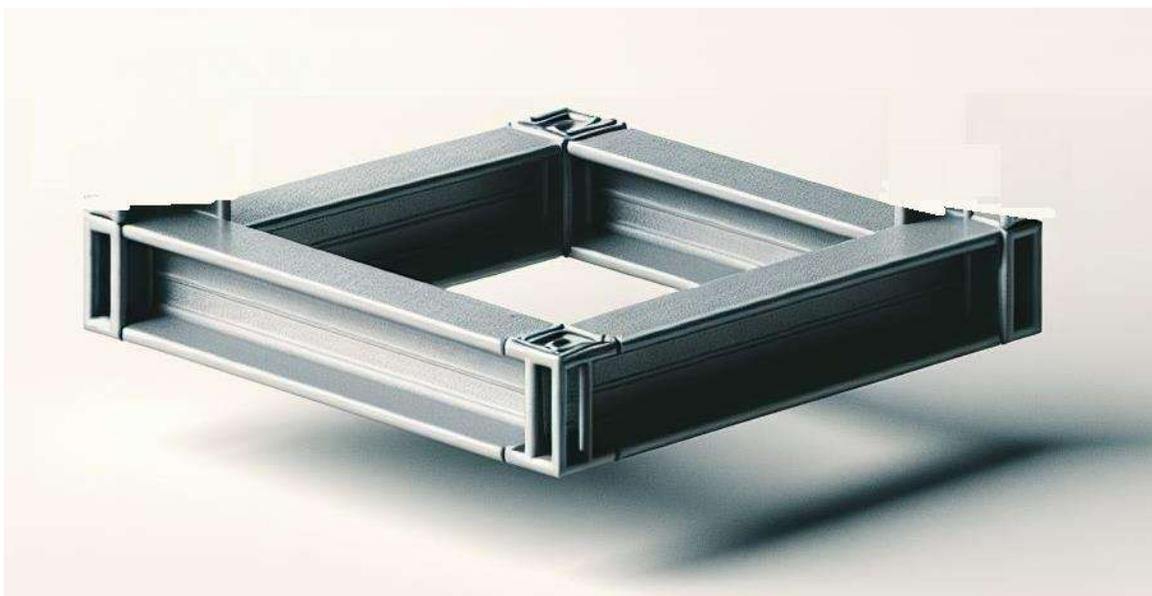


*Figura 56. OpenAI. (2025). Fijación de barrenos y placas, imagen generada por IA.*

La figura 56 y 57 se representa de una forma gráfica más próxima a la realidad cómo quedaron las placas sobre la losa de la fosa después de haber sido trazadas con láser. Cabe recordar que estas placas están estratégicamente posicionadas para soportar las vigas de arrastre y transmitir la carga directamente a las traveses que se encuentran en la parte interior de la fosa.

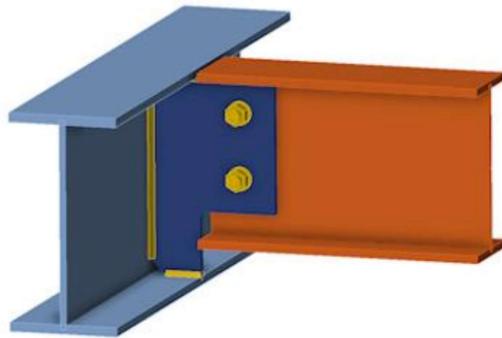


*Figura 57. OpenAI. (2025). Fijación de placas a suelo, imagen generada por IA.*



*Figura 58. OpenAI. (2025). Unión de piezas, imagen generada por IA.*

En la figura 58 se ve la representación isométrica de la unión final de las vigas de arrastre formando la base que soportara los equipos.



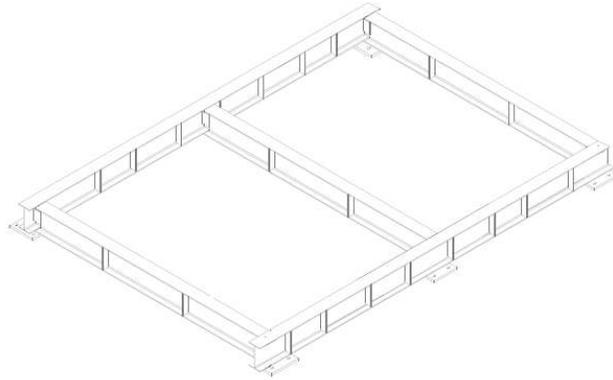
*Figura 59. Conexión entre vigas (Kalab, 2023)*

En la figura 59 se muestra una representación isométrica del tipo de conexión utilizado, así como los cortes o despatinados necesarios para realizar la unión entre viga y viga.



*Figura 60. OpenAI. (2025). Arrastre sobre placas, imagen generada por IA.*

Una vez que las placas están correctamente instaladas y alineadas, se procederá a colocar las vigas de arrastre sobre ellas. En la figura 60 se intenta hacer una representación de esta colocación entre placas y vigas de arrastre aunque el perfil de la viga de arrastre no se logró representar.



*Figura 61. Isométrico de colocación final de vigas de arrastre final, (imagen propia).*

Estas vigas servirán como base para la instalación de los equipos, asegurando una estructura sólida y bien distribuida que soportará las cargas y facilitará el montaje de los componentes necesarios. En la figura 61 se ve otra representación de un isométrico sobre una base montada sobre las placas.

Finalmente movieron los equipos con ayuda de una grúa para pasarlos al interior de la sala y posteriormente los arrastraron para colocarlo sobre las vigas de arrastre.



*Figura 62. OpenAI. (2025). Colocación del equipo sobre las vigas de arrastre, imagen generada por IA.*

Aunque en la figura 62 no se logró representar la grúa utilizada para izar los equipos sobre las vigas de arrastre, esta imagen muestra cómo el personal guió el movimiento de los equipos hacia su base final.



*Figura 63. OpenAI. (2025). Equipo en operación (planta de emergencia), imagen generada por IA.*

En la figura 63 se muestra la representación del equipo en su posición final durante la operación, lo que permitió analizar la reacción del refuerzo considerando los pesos definitivos y los equipos en funcionamiento.

Al inicio existía incertidumbre sobre cómo reaccionarían los muros ante la carga vertical adicional generada por la fijación de las ménsulas y las vigas que estas soportan. También había dudas sobre la respuesta de la losa, ya que al colocar las placas que sostienen las vigas de arrastre, todo el peso de los equipos se transmite primero a estas placas, luego a la losa y finalmente a las vigas.

Un aspecto crucial fue realizar las pruebas con las plantas de emergencia en funcionamiento, pues estas generan una vibración significativa que podría afectar la losa. Sin embargo, durante las pruebas no se presentaron inconvenientes y, hasta la fecha, no se ha reportado ningún problema relacionado.

## Capítulo IV Conclusiones

El desarrollo de este proyecto representó un proceso integral que abarcó desde la evaluación estructural inicial hasta la ejecución en obra de las soluciones propuestas, destacándose como una experiencia enriquecedora tanto profesional como académica. La rehabilitación de la losa estructural no solo implicó la aplicación de conocimientos técnicos adquiridos durante mi formación, sino también el enfrentamiento y resolución de desafíos prácticos en un contexto real de construcción al cual se sumaron retos particulares como el cumplimiento de una solución en un tiempo considerablemente corto tanto para proponerlo, analizar su factibilidad en diferentes aspectos como lo son el económico, tiempos de ejecución que no afecte el programa de obra y que sea posible llevar todos los trabajos necesarios en campo.

La metodología implementada permitió garantizar que cada etapa del proyecto cumpliera con las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México y otras normativas relevantes. Este enfoque aseguró que el refuerzo propuesto no solo incrementara la capacidad estructural de la losa, sino que también optimizara los recursos materiales y humanos disponibles posibles, manteniendo los costos dentro de límites razonables y los tiempos de ejecución ajustados al cronograma.

### IV.1. Comparación entre diseño y trabajo final en obra

Uno de los aspectos más desafiantes del proyecto fue la comparación entre los resultados teóricos proyectados en planos y los encontrados en la realidad durante la ejecución en obra. La inconformidad inicial en la capacidad de la losa detectada mediante calas y análisis estructurales destacó la importancia de realizar análisis detallados. Por ejemplo, mientras los planos originales suponían una resistencia uniforme en toda la sección de la losa, las calas revelaron un armado limitado únicamente al lecho inferior, lo cual comprometía significativamente su capacidad portante bajo las nuevas cargas.

La introducción de vigas de refuerzo representó una solución práctica y efectiva. Sin embargo, durante la instalación en campo, surgieron ajustes no previstos, como la reubicación de tuberías confinadas en concreto, lo que subraya la necesidad de flexibilidad y adaptación en la ejecución de proyectos de rehabilitación. Estas diferencias entre diseño y realidad refuerzan la importancia de contar con un modelo actualizado y detallado que incorpore las condiciones específicas del sitio.

Esperamos a ver si había algún inconveniente o una mala reacción del reforzamiento ya añadiéndole el peso de todos los equipos a la sala, incluso desde que esta obra se concluyó ya ha pasado un tiempo razonable de poco más de 1 año y hasta la fecha no se ha reportado ninguna anomalía ni ningún problema, por lo que el refuerzo cumplió con el objetivo.

## **IV.2. Resultados y aprendizajes**

El proyecto permitió alcanzar los objetivos propuestos al mejorar sustancialmente la resistencia y funcionalidad de la losa estructural. El diseño de refuerzos con vigas apoyadas en ménsulas no solo resolvió el problema de sobrecarga en la losa, sino que también demostró ser una alternativa económicamente viable y técnicamente sólida.

Entre los principales aprendizajes destaca la importancia de la supervisión constante y rigurosa en cada etapa del proyecto. Desde la preparación del sitio hasta el montaje de los refuerzos, cada paso requirió coordinación precisa entre los equipos involucrados y un enfoque proactivo para la solución de problemas inesperados.

## **IV.3. Recomendaciones**

1. Planificación detallada: Se recomienda elaborar un modelo computacional lo más realista posible desde la etapa de diseño, integrando datos precisos obtenidos de inspecciones previas. Esto permitirá anticipar posibles complicaciones durante la ejecución.
2. Flexibilidad en obra: Es esencial prever la necesidad de realizar ajustes en campo. Esto incluye contemplar márgenes para modificaciones menores en tiempo y presupuesto, asegurando la viabilidad del proyecto.
3. Capacitación y comunicación: Invertir en la formación de equipos multidisciplinarios y fomentar la comunicación constante entre diseñadores, supervisores y ejecutores puede minimizar errores y mejorar la eficiencia en la implementación de soluciones.
4. Evaluación de impacto: La documentación exhaustiva de las discrepancias y las soluciones adoptadas contribuye no solo al aprendizaje del equipo, sino también a la generación de buenas prácticas aplicables en futuros proyectos similares.

En conclusión, este proyecto evidenció la importancia de integrar teoría y práctica en el ejercicio de la ingeniería civil. Al superar desafíos tanto técnicos como logísticos, se alcanzaron soluciones innovadoras que garantizaron la seguridad y funcionalidad de la estructura, sentando un precedente positivo para proyectos futuros de rehabilitación estructural.

## Referencias

- Bentley Systems. (2024). STAAD Pro: Structural analysis and design software.
- El País. (2024, diciembre 12). *El regulador en México multa a Telcel con 90,6 millones de pesos por prácticas monopólicas*. Retrieved from <https://elpais.com>
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Ciudad de México.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Ciudad de México.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). Norma Técnica Complementaria para Evaluación y Rehabilitación Estructural de Edificios Existentes. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Ciudad de México.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). Norma Técnica Complementaria sobre Criterios Y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Ciudad de México.
- Kalab, P. (2023, Septiembre 21). When a shear connection transmits a bending moment. *When a shear connection transmits a bending moment*. Retrieved Marzo 21, 2025, from <https://www.ideastatica.com/blog/when-a-shear-connection-transmits-a-bending-moment>
- Leviat. (2024). *Structural Connections: Reinforcement Continuity Systems*. Retrieved from <https://www.leviat.com/en-au/mwdownloads/download/link/id/276.pdf>
- OpenAI. (2025). *ChatGPT*. Retrieved 2025, from OpenAI: <https://openai.com/chatgpt>
- Quasim, O. A. (2017). *Yield Line Analysis of Various Shapes of R.C. Slabs*.
- Taylor, J. (2024, Septiembre 5). Things to Check Before Concreting Beams & Slabs. *Things to Check Before Concreting Beams & Slabs*. Retrieved Marzo 21, 2025, from <https://gharpedia.com/blog/things-check-before-concreting-beam-slab/>
- Telcel. (2024). *¿Quién es Telcel?* Retrieved from <https://www.telcel.com>