

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Fibra de carbono en la rehabilitación de columnas y vigas de hormigón armado para aumento de resistencia del antiguo edificio Banco de Desarrollo del Ecuador (BIDE), ubicado en la ciudad de Guayaquil.

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

**Maestría en Ingeniería Civil con mención en Saneamiento y
Construcción**

Presentado por:

María Belén Chicaiza Yáñez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación es dedicado mis pequeños Victoria y Pedro, quienes son mi mayor fortaleza. A mi madre, Elsa Yáñez, por su constante apoyo e inspiración para seguir adelante y alcanzar mis sueños. Y a cada una de las personas que han dejado una huella en mi vida y me han brindado inspiración para continuar en este camino.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mi profesor dentro de la maestría y que fue parte de este proceso, a mi tutor el doctor Eduardo Santos, por su paciencia, compromiso y dedicación en la enseñanza. Agradezco también a mi familia por su soporte en cumplir mis sueños.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Yo María Belén Chicaiza Yánez acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

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

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

Guayaquil, 5 de diciembre del 2024."

María Belén Chicaiza
Yánez

EVALUADORES

MSc. Nadia Rosaura Quijano Arteaga

PROFESOR DE LA MATERIA

PhD. Eduardo Alberto Santos Baquerizo

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto se centra en la rehabilitación estructural de un pórtico compuesto columnas y una viga de hormigón armado perteneciente al edificio del Banco de Desarrollo del Ecuador, ubicado en Guayaquil. Su propósito principal es incrementar la capacidad de carga y asegurar la estabilidad estructural mediante la aplicación de fibras de carbono (CFRP). Justificado por la necesidad de mitigar el deterioro causado por factores como la carbonatación y las deficiencias en diseño original, el proyecto propone una solución técnica alineada con normativas internacionales.

Se realizaron inspecciones visuales, ensayos destructivos y no destructivos (esclerometría, pachometría y extracción de núcleos), integrando estos datos en un modelo computacional utilizando ETABS. Posteriormente, se diseñó un refuerzo estructural siguiendo la normativa NEC-2015 y ACI 440.2R-17, empleando el software Sika CarboDur® para dimensionar y simular la aplicación de CFRP en elementos críticos. La propuesta incluyó un análisis detallado de costos y especificaciones técnicas para la implementación del refuerzo.

Los resultados obtenidos con software mostraron una mejora en la capacidad estructural de los elementos reforzados, incrementando su resistencia y reduciendo las vulnerabilidades sísmicas. El CFRP demostró ser una solución efectiva, sostenible y viable, garantizando la prolongación de la vida útil del edificio.

El proyecto concluye que la rehabilitación con CFRP asegura la funcionalidad y seguridad de la estructura, proponiendo su implementación en edificaciones similares en zonas sísmicas.

Palabras Clave: Rehabilitación estructural, fibras de carbono, CFRP, modelación estructural, NEC-2015.

ABSTRACT

This project focuses on the structural rehabilitation of a frame composed of reinforced concrete columns and beams in the Banco de Desarrollo del Ecuador building, located in Guayaquil. Its main objective is to enhance load capacity and ensure structural stability through the use of carbon fiber-reinforced polymers (CFRP). This intervention addresses the deterioration caused by factors such as carbonation and deficiencies in the original design, providing a technical solution aligned with current international standards.

Visual inspections, destructive, and non-destructive tests (such as sclerometry, pachometry, and core extraction) were conducted. The collected data were integrated into a computational model using ETABS software. A structural reinforcement was then designed following NEC-2015 and ACI 440.2R-17 standards, utilizing Sika CarboDur® software to size and simulate the CFRP application in critical elements. The proposal included a detailed cost analysis and technical specifications for implementing the reinforcement.

The results demonstrated a significant improvement in the structural capacity of the reinforced elements, enhancing their resistance and reducing seismic vulnerabilities. CFRP proved to be an effective, sustainable, and viable solution, ensuring the building's prolonged service life.

The project concludes that CFRP rehabilitation ensures the functionality and safety of the structure, recommending its application in similar buildings located in seismic zones.

Keywords: Structural rehabilitation, carbon fiber, CFRP, structural modeling, NEC-2015.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	5
RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE PLANOS	XI
CAPÍTULO 1	12
Introducción	12
1.1 Antecedentes	13
1.2 Localización	14
1.3 Estudios previos	15
1.4 Problemática que resolver	15
1.5 Justificación	16
1.6 Objetivos	17
1.6.1 Objetivo General	17
1.6.2 Objetivos Específicos	17
CAPÍTULO 2	18
Desarrollo del proyecto	18
2.1 Marco conceptual	18
Elementos estructurales	18
Sistemas estructurales de hormigón armado	20

Patologías en la construcción: fisuras, grietas y su impacto en estructuras de hormigón armado	20
Evaluación Estructural y Diagnóstico de Patologías.....	22
Rehabilitación estructural de edificaciones de hormigón armado.....	23
Fibra de carbono (CFRP) en la rehabilitación estructural	23
Normativa y guías internacionales para rehabilitación con CFRP	26
Evaluación de la condición estructural.....	26
Técnicas de aplicación de CFRP para columnas y vigas	26
Ventajas del refuerzo con CFRP frente a métodos tradicionales	27
Sostenibilidad y economía en la rehabilitación con CFRP.....	27
2.2 Marco metodológico	27
Recopilación de Información	28
Inspección Visual.....	28
Evaluación Preliminar y Análisis Estructural.....	29
Técnicas de Rehabilitación con Fibras de Carbono	30
Presupuesto Referencial de Materiales.....	30
2.2.1 Trabajo de campo	30
2.2.2 Trabajo de laboratorio o gabinete.....	32
2.2.3 Tabulación de datos.....	34
2.2.4 Solución a diseñar.....	37
CAPÍTULO 3.....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1 Resultados.....	39
3.1.1 Resultados de ensayos de laboratorio	39
Cálculo del espectro de respuesta	44
Modelación de estructura en estado inicial.....	47

APLICACIÓN DEL SOFTWARE SIKA CARBODUR®	57
3.2 Análisis de resultados.....	64
Especificaciones técnicas	67
3.3 Diseño de la solución.....	73
CAPÍTULO 4.....	75
Conclusiones Y Recomendaciones	75
Recomendaciones	76
BIBLIOGRAFÍA.....	78
PLANOS Y ANEXOS.....	80

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CFRP	Polímero Reforzado con Fibra de Carbono
ASTM	American Society for Testing and Materials
NEC	Norma Ecuatoria de la Construcción
BDE	Banco del Desarrollo del Ecuador

SIMBOLOGÍA

Pa	Pascal
kN	Kilonewton
kg	Kilogramo
m	Metro

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación Banco del Estado BDE. (GOOGLE MAPS, 2024)	14
Figura 2.1 Elementos Estructurales (Uribe, 2017)	19
Figura 2.2 Pórticos y vigas peraltadas. (Civil, 2023)	20
Figura 2.3 Fisuras. (Martinez, 2020)	21
Figura 2.4 Grietas, (Martinez, 2020)	22
Figura 2.5 Rehabilitación estructural con fibras de carbono. (Sika, 2015)	24
Figura 2.6 Tejidos de fibra de carbono. (Baquer, 2021).....	24
Figura 2.7 Barras de fibra de carbono. (Baquer, 2021).....	25
Figura 2.8 Barras de fibra de carbono. (Baquer, 2021).....	25
Figura 2.9 Esquema de flujos de la metodología. (Fernández & Baptista, 2014)	28
Figura 2.10 Preparación de la superficie para muestreo	32
Figura 2.11 Procedimiento del ensayo mediante esclerómetro	33
Figura 2.12 Procedimiento del ensayo mediante pachómetro	33
Figura 2.13 Esquema arquitectónico y ubicación de columnas. (Muñoz, 2018)	35
Figura 3.1 Caracterización de Peligro Sísmico (NEC - SE - DS, 2014).....	48
Figura 3.2 Modelación de estructura en estado inicial.....	51
Figura 3.3 Esfuerzos producidos en columnas.....	54
Figura 3.4 Modelación de estructura en estado inicial.....	55
Figura 3.5 Derivas de piso.....	56
Figura 3.6 Pórtico seleccionado, vista en planta. Viga y Columnas F7 y F9.....	57
Figura 3.7 Pórtico Seleccionado, Viga Y Columnas F7 y F9.....	58
Figura 3.8 Pórtico seleccionado, vista en 3D. Viga y Columnas F7 y F9.....	59
Figura 3.9 Pórtico seleccionado, vista en corte. Viga y Columnas F7 y F9.....	59
Figura 3.10 Instalación de software.....	60
Figura 3.11 Ingreso de datos	61
Figura 3.12 Ingreso de acero de refuerzo.....	62
Figura 3.13 Cargas axiales, momentos en columnas y cargas línea en viga, (en elemento seleccionados con cargas muertas).....	61

Figura 3.14 Cargas axiales, momentos en columnas y cargas línea en viga, (en elemento seleccionados con cargas vivas).....	62
Figura 3.15 Cargas axiales, momentos en columnas y cargas línea en viga, (en elementos seleccionados con cargas vivas)	64
Figura 3.16 Cortantes en viga analizada.....	64
Figura 3.17 Ingreso cargas axiales y momentos	65
Figura 3.18 Dimensionamiento en columnas.....	66
Figura 3.19 Resultados de rehabilitación en columnas.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ensayos a realizar en el edificio. (Muñoz, 2018).....	35
Tabla 2.2 Datos obtenidos en resistencia a la compresión con ensayos de Esclerometría y extracción de núcleos. (Muñoz, 2018).....	39
Tabla 2.3 Análisis cuantía de acero de refuerzo en columnas. (Muñoz, 2018).....	40
Tabla 3.1 Análisis cuantía de acero de refuerzo en columnas,(Muñoz, 2018)	45
Tabla 3.2 Ubicación de Factor Z. (NEC, 2015).....	49
Tabla 3.3 Coeficientes de perfil de suelo encontrados, (NEC - SE - DS, 2014).....	49
Tabla 3.4 Cálculo de cargas gravitacionales en el edificio BDE-G, (NEC - SE - DS, 2014).....	52
Tabla 3.5 Combinaciones de carga considerados, (NEC - SE - DS, 2014).....	53
Tabla 3.6 Datos de carga axial y momentos en obtenido en el modelo estructural....	53
Tabla 3.7 Datos calculados para viga y obtenidos del ETABS.....	65
Tabla 3.8 Tabla de resumen de reportes generados por software SIKA.....	67
Tabla 3.9 Ilustración grafica de los refuerzos	68
Tabla 3.10 Procedimiento para rehabilitación con fibras de carbono.....	70

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Planos arquitectónicos edificación
- PLANO 2 Plano detalle pórtico seleccionado
- PLANO 3 Plano reforzamiento CFRP

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de titulación esta enfocado en un análisis para la rehabilitación elementos estructurales seleccionados dentro del edificio del denominado Banco de Desarrollo del Ecuador (BDE) situado en Guayaquil y fue construido en 1973 y, a pesar de haber funcionado por varias décadas, actualmente presenta graves problemas estructurales debido a fallas en las columnas y vigas de hormigón. Estas fallas estructurales se deben principalmente a que la construcción no cumple con las normas sísmicas actuales y a que su diseño geométrico no era adecuado tanto en planta como en elevación. Las actividades administrativas del banco fueron trasladadas a otra ubicación, dejando el inmueble operativo únicamente como bodega y archivo. Además, debido a la ubicación céntrica del edificio tiene un alto tráfico vehicular, lo que contribuye al deterioro de la estructura debido a vibraciones y contaminación. Ante esta situación, el inmueble no puede ser utilizado de forma

segura para actividades administrativas, lo que plantea un riesgo inminente en caso de un sismo o eventos similares (Santos et al., 2019).

En este contexto, es fundamental desarrollar e implementar técnicas modernas de refuerzo que permitan prolongar la vida útil de las edificaciones sin necesidad de recurrir a demoliciones costosas (Ingenieros Asesores, 2017). Aquí es donde el uso de fibras de carbono surge como una solución técnica prometedora. Este material permite el incremento de la resistencia bajo esfuerzos de los elementos estructurales, conservando así la estética y la funcionalidad original del edificio (SPACIO, 2020).

No obstante, es importante destacar que el refuerzo con fibras de carbono, aunque efectivo en muchos casos, no es una solución universal. Esta técnica es especialmente adecuada cuando los daños estructurales son moderados y los elementos requieren un aumento en su capacidad de carga. En situaciones donde los daños son severos, puede ser necesario considerar intervenciones más profundas, como la sustitución parcial o total de los elementos afectados.

1.1 Antecedentes

La edificación en estudio es un inmueble construido en 1973 y es una de las sucursales del Banco de Desarrollo del Ecuador (BDE) en Guayaquil. Este edificio de cuatro plantas de hormigón armado y cubierta metálica fue diseñado inicialmente para uso residencial. Sin embargo, en 1993 se destinó a oficinas del BDE, lo cual implicó modificaciones estructurales significativas sin que, hasta la fecha, se haya realizado una rehabilitación integral de la estructura. Entre las remodelaciones se incluyó la eliminación de muros de mampostería confinada, alterando la capacidad estructural original y aumentando su vulnerabilidad actual.

El inmueble sigue estando operativo pero su deterioro progresivo se ha hecho evidente a lo largo de los años, agravado por su exposición constante a las condiciones ambientales y al tráfico vehicular intenso de la zona. El edificio enfrenta problemas estructurales que ponen en riesgo su seguridad e integridad. Este

deterioro ha sido acelerado por la falta de mantenimiento adecuado y la sobrecarga de actividades para las que no fue diseñado originalmente.

Se han identificado daños en vigas y columnas, así como en la cimentación. El asentamiento es evidente en el lado de la calle Machala con fisuras a 45 grados en el lado frontal izquierdo del edificio. Además, el edificio adyacente presenta un asentamiento lateral que ejerce presión adicional sobre la estructura del inmueble en estudio.

Otro factor crítico es el fenómeno de carbonatación que ha afectado el hormigón, acelerando su deterioro y comprometiendo la integridad de la estructura.

1.2 Localización

La edificación en estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas, Ecuador. Se encuentra en el centro de la urbe, en la Parroquia Tarqui, en la intersección de las Avenidas 9 de Octubre y Machala, dos vías principales caracterizadas por su intensa actividad comercial y vehicular.

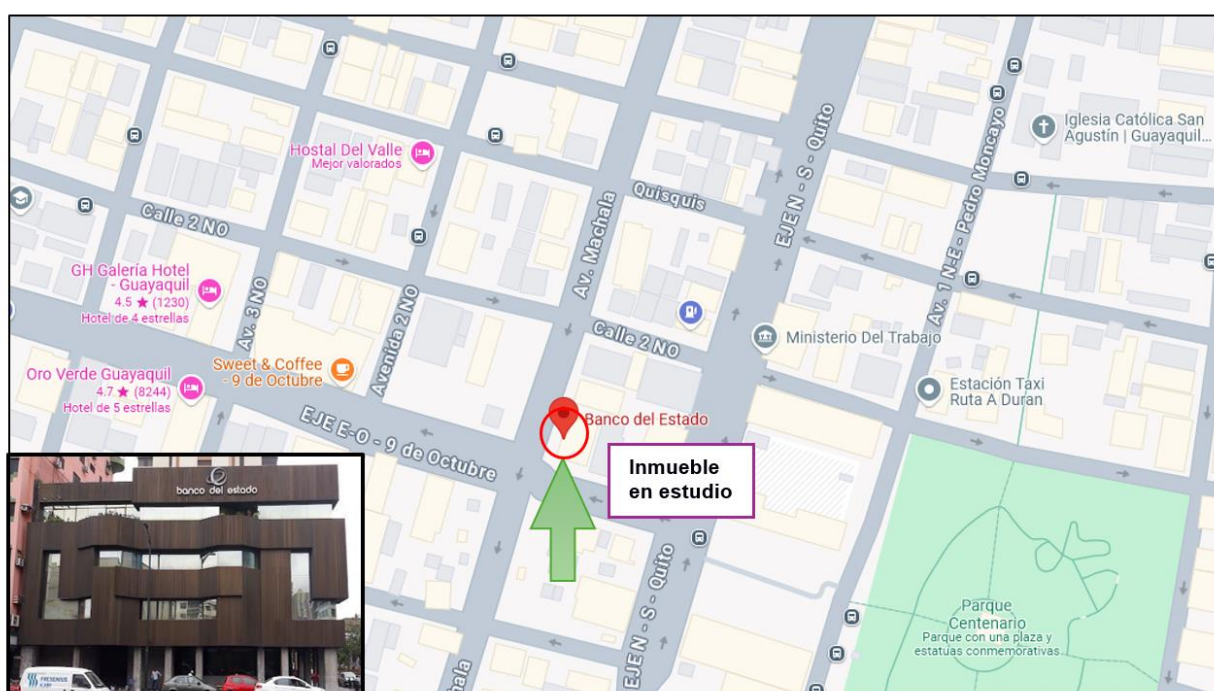


Figura 0.1 Ubicación Banco del Estado BDE. (GOOGLE MAPS, 2024)

Esta ubicación otorga al inmueble una excelente accesibilidad y lo sitúa en un entorno urbano dinámico y las coordenadas geográficas en UTM de la edificación son 623468.50 m E y 9758014.72 m S.

1.3 Estudios previos

En el presente proyecto, se ha recopilado información que incluye tanto las observaciones realizadas in situ como estudios previos del asentamiento que se ha producido en la cimentación existente y de ensayos destructivos como no destructivos. La información presentada son planos arquitectónicos y resultados de laboratorio. Además, se obtuvo información de un informe técnico de diagnóstico y memoria técnica del análisis estructural. Este conjunto de datos ha sido clave para comprender el estado actual del inmueble. Las visitas al sitio permitieron identificar visualmente problemas estructurales significativos, como fisuras en los elementos estructurales y asentamientos en la cimentación. Aunque se presenta información detallada sobre las condiciones actuales de la estructura, no se contemplan planos estructurales en estos informes previos

1.4 Problemática que resolver

El edificio en estudio, perteneciente al Banco de Desarrollo del Ecuador (BDE), muestra un deterioro significativo en sus vigas y columnas de hormigón armado. Este edificio construido hace varias décadas, ha experimentado asentamientos en la cimentación que han provocado fisuras y grietas en los elementos no estructurales y estructurales. Las modificaciones realizadas durante los cambios de uso del edificio han acelerado estas fallas, agravando el deterioro y comprometiendo seriamente la estabilidad de la edificación.

El deterioro no se limita a las grietas visibles; también incluye una disminución en la resistencia y capacidad de carga de estos elementos. Esta situación compromete la integridad de otros elementos estructurales como son las losas, aumentando considerablemente el riesgo de colapso, especialmente en caso de un sismo. Un

colapso estructural en estas condiciones podría resultar en graves daños materiales y, lo más preocupante, en la pérdida de vidas humanas.

La situación actual del edificio no garantiza la seguridad ni el bienestar de los ocupantes, lo que lo convierte en un riesgo latente. Frente a esta problemática, se propone un análisis de la rehabilitación de las columnas y vigas utilizando fibras de carbono. Esta solución permitirá recuperar y mejorar las propiedades estructurales del edificio, asegurando su viabilidad y desempeño, con el fin de garantizar un entorno seguro para sus ocupantes.

1.5 Justificación

La rehabilitación del edificio del Banco de Desarrollo del Ecuador (BDE) no solo es crucial para asegurar su estabilidad estructural, sino también para garantizar su funcionalidad a largo plazo. Este inmueble es esencial para las operaciones administrativas del banco, y su deterioro ha generado una pérdida considerable de espacio útil, lo que obliga al uso de instalaciones temporales que resultan insuficientes. Implementar un plan de reforzamiento con fibras de carbono no solo resuelve los problemas estructurales, sino que también permite restablecer el uso pleno del edificio de manera segura y eficiente. Este método es económicamente viable, ya que evita el derrocamiento o la reconstrucción.

Además, la rehabilitación favorece al cumplimiento de las normativas de seguridad estructural y sismo-resistencia, alineándose con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (Naciones Unidas, 2015), que promueve la construcción de infraestructuras resilientes. Asimismo, esta intervención preserva el valor arquitectónico del edificio y minimiza el impacto ambiental, lo que refuerza su sostenibilidad en el tiempo. En suma, rehabilitar este edificio es una decisión estratégica que permitirá al banco operar de manera eficiente y segura, garantizando un entorno adecuado para sus funciones administrativas.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Reforzar un pórtico conformado por columnas y viga de hormigón armado del edificio BDE mediante la utilización de fibras de carbono, siguiendo las normas técnicas vigentes, para un incremento en su capacidad de carga y garantizando su estabilidad estructural.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el estado actual del pórtico seleccionado con el fin de implementar una solución de refuerzo utilizando fibra de carbono.
- Seleccionar los tipos de ensayos para su determinación con las condiciones estructurales actuales de los elementos seleccionados.
- Diseñar un plan de reforzamiento estructural utilizando el software Sika CarboDur, estableciendo la cantidad y ubicación óptima de la fibra de carbono en los elementos a reforzar.
- Realizar un presupuesto de los materiales, donde se determinan los beneficios de la implementación de la fibra de carbono frente a la rehabilitación de estructuras.

CAPÍTULO 2

DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Marco conceptual

Elementos estructurales

Los elementos estructurales son los componentes principales de una edificación, los cuales deben ser diseñados para transferir y soportar las fuerzas y cargas que actúan sobre la estructura, las mismas que pueden ser cargas vivas, muertas y sísmicas. Estos elementos garantizan la estabilidad y seguridad del edificio, y pueden estar fabricados con diversos materiales, tales como hormigón armado, acero o madera, esto dependerá de las necesidades específicas del proyecto

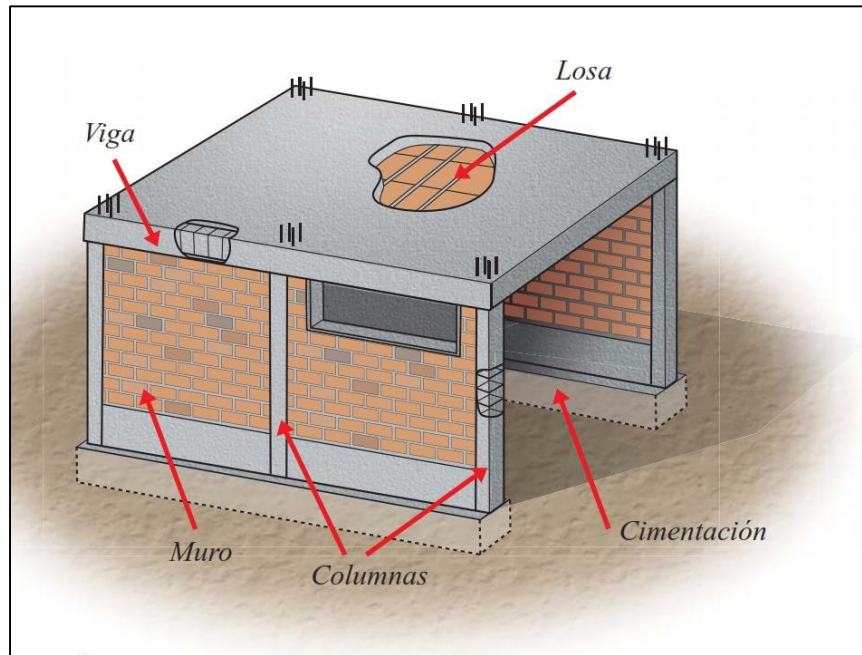


Figura 2.1 Elementos Estructurales (Uribe, 2017)

Entre los principales elementos estructurales se encuentran:

- *Vigas*: Elementos horizontales, soportan cargas verticales y transmiten a las columnas o muros (Arquitectura Tecnica.net, n.d.).
- *Columnas*: Elementos verticales que toman las cargas de las vigas y las trasladan hacia los cimientos (Arquitectura Tecnica.net, n.d.).
- *Cimientos*: La base de la estructura, encargada de distribuir las cargas al suelo, asegurando la estabilidad del edificio.(ESDIMA, 2018)
- *Muros de carga*: Paredes que no solo dividen espacios, sino que también soportan cargas verticales, distribuyéndolas hacia los cimientos.(ESDIMA, 2018)
- *Losas*: Superficies horizontales que forman los pisos y techos, distribuyendo las cargas hacia las vigas y columnas.(ESDIMA, 2018)

Sistemas estructurales de hormigón armado

En un sistema estructural se tiene varios elementos los cuales desempeñan una función específica en el sistema estructural, y en conjunto los elementos aseguran que la edificación pueda resistir tanto las cargas estáticas como las dinámicas.

El sistema estructural presentado en la edificación tiene una configuración de pórticos con vigas de gran peralte. Este sistema permite que la estructura adquiera una mayor capacidad de ductilidad, lo cual es fundamental para la absorción y disipación de la energía generada durante deformaciones inelásticas, particularmente bajo la acción de fuerzas sísmicas.

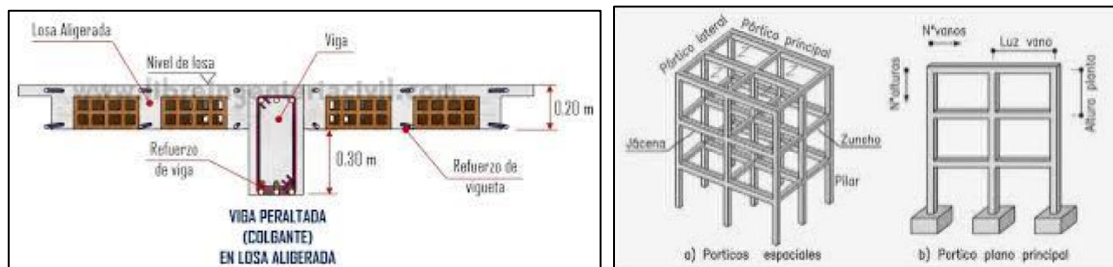


Figura 2.2 Pórticos y vigas peraltadas. (Civil, 2023)

Patologías en la construcción: fisuras, grietas y su impacto en estructuras de hormigón armado

El deterioro en estructuras de hormigón armado se manifiesta principalmente en fisuras y grietas, ocasionadas por factores como cambios de temperatura, asentamientos desiguales, sobrecargas o defectos en los materiales. Neville (1996) señala que estas fisuras pueden comprometer la capacidad de carga y facilitar la entrada de agentes corrosivos, como cloruros, que aceleran el deterioro del refuerzo interno. En el caso del edificio BDE, las fisuras en columnas y vigas han reducido significativamente su capacidad estructural, lo que hace necesaria una intervención inmediata para evitar daños mayores.

- **Las fisuras**

Las fisuras son aberturas superficiales con un ancho de hasta 1 mm que afectan únicamente la parte superficial del elemento. Estas fisuras pueden ser causadas por

varios factores, como la retracción plástica, el asentamiento de los agregados, la retracción por secado, y las tensiones térmicas. Estas causas están ligadas a cambios en la humedad, temperatura y al estado de tensión en las armaduras.

Aunque no comprometen de manera significativa la integridad estructural, su presencia puede indicar condiciones desfavorables que, si no se controlan, podrían evolucionar hacia problemas más graves.



Figura 2.3 Fisuras. (Martinez, 2020)

- ***Las grietas***

Las grietas son aberturas más grandes, con un ancho superior a 1 mm, que suelen extenderse a lo largo de todo el espesor del elemento afectado. A diferencia de las fisuras, las grietas pueden comprometer la integridad estructural de la edificación, ya que su presencia puede indicar que el material ha superado su capacidad de deformación, esto puede poner en riesgos la estabilidad de la estructura.

Las grietas pueden aparecer en cualquier elemento estructural o no estructurales y están asociadas con el movimiento del suelo, una distribución defectuosa de las cargas no previstas, sobrecargas, y variaciones térmicas, entre otros factores. Estas condiciones deben ser atendidas rápidamente para evitar un deterioro mayor y asegurar la estabilidad de la estructura.



Figura 2.4 Grietas, (Martinez, 2020)

Evaluación Estructural y Diagnóstico de Patologías

El diagnóstico previo al reforzamiento estructural incluye la inspección visual de las patologías presentes, como grietas y fisuras, así como el análisis del estado actual de las vigas y columnas afectadas. A partir de esta evaluación, se determinan las zonas donde se requiere la aplicación de fibras de carbono para corregir las deficiencias y restaurar la integridad estructural

Mejorar el desempeño de una edificación deteriorada es esencial para recuperar sus propiedades estructurales. Este proceso garantiza la seguridad y funcionalidad al abordar deficiencias que afectan la resistencia, ductilidad o rigidez. Diversos métodos y materiales son empleados para reforzar la estructura, ya sea mediante la incorporación de nuevos elementos o la reparación de los existentes. Los refuerzos con polímeros reforzados con fibra (FRP) destacan por su relación resistencia/peso y durabilidad en entornos hostiles, lo que los hace ideales para proyectos con condiciones ambientales complejas. Además, su flexibilidad permite adaptarlos a geometrías complejas para mejorar tanto la resistencia a flexión como a cortante y confinamiento.

El método de reforzamiento ideal es aquel que no altere la estética de la estructura, sea fácil de implementar, y ofrezca una alta eficiencia. Elegir el método adecuado no solo asegura la integridad estructural, sino que también preserva el diseño original del edificio, manteniendo su valor arquitectónico y funcional.

Rehabilitación estructural de edificaciones de hormigón armado

La rehabilitación en edificaciones de hormigón armado se realiza cuando las condiciones originales de servicio y resistencia de la estructura han cambiado, lo que afecta su seguridad y funcionalidad. Estas alteraciones pueden deberse al paso del tiempo, o a eventos que han comprometido la integridad estructural, como sismos, sobrecargas inesperadas, cambio de uso de la estructura originalmente diseñada o asentamientos diferenciales. Según *ACI Committee 364* (2007) La rehabilitación implica un análisis detallado de la estructura existente para identificar las deficiencias y los puntos vulnerables que necesitan rehabilitarse. A partir de este análisis, se desarrollan estrategias para reforzar, reparar o reponer, los elementos del sistema estructural con el objetivo de incrementar su capacidad y prolongar la vida útil de la edificación.

Fibra de carbono (CFRP) en la rehabilitación estructural

CFRP= polímero reforzado con fibra de carbono

Este material de construcción está compuesto de fibra de carbono ofrecen una excelente alternativa para la rehabilitación de estructuras deterioradas. Estos materiales, que consisten en fibras extremadamente ligeras y resistentes, proporcionan un incremento sustancial en la capacidad de carga de las estructuras. Según Bank (2006), el CFRP es especialmente eficaz en la rehabilitación de columnas y vigas, donde se busca aumentar la resistencia a la compresión y flexión, respectivamente. Al ser aplicados externamente, permiten aumentar la resistencia de las secciones sin añadir peso adicional, lo que es clave en edificios ya debilitados.

Los refuerzos con FRP se destacan por su relación resistencia/peso y al no corroerse tiene una mayor durabilidad en ambientes agresivos, convirtiéndolos en soluciones ideales en aplicaciones donde las condiciones ambientales son desafiantes. Además, al ser fibras son sumamente flexibles y adaptables estos materiales a diversas geometrías permite la realización de refuerzos a flexión que serían imposibles de llevar a cabo con métodos tradicionales, así como refuerzos a cortante y por confinamiento.

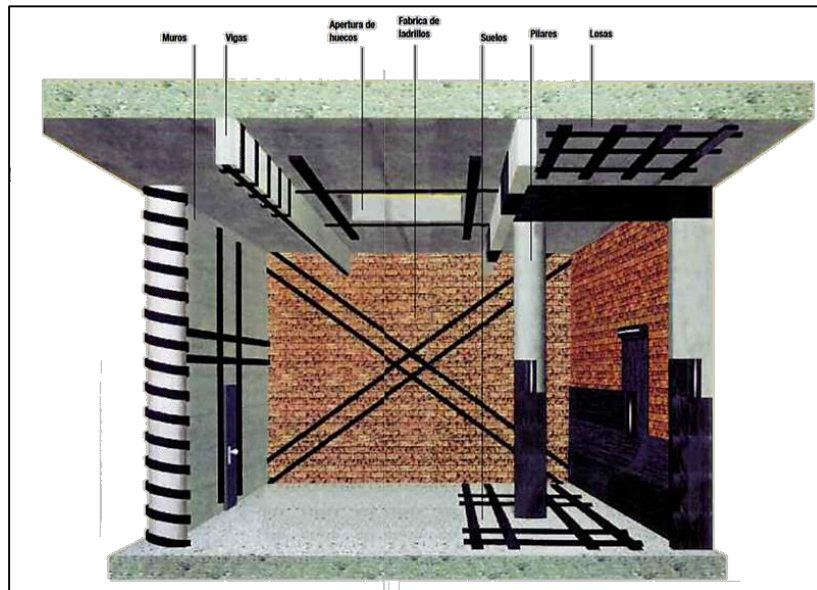


Figura 2.5 Rehabilitación estructural con fibras de carbono. (Sika, 2015)

- **Tejidos FRP**

Los tejidos de fibra de carbono son conjuntos de fibras dispuestas en una o más direcciones, formando mallas o telas. En los tejidos unidireccionales, se emplea hilo de fibra de vidrio para mantener la estabilidad de las fibras durante la instalación. Los tejidos bidireccionales o multidireccionales, en cambio, están entrelazados en varias direcciones (Baquer, 2021). La cantidad de fibra en los tejidos se mide por su gramaje, y estos deben ser embebidos en la matriz polimérica durante su instalación en obra, lo que requiere un estricto control de ejecución, especialmente cuando se adaptan a configuraciones geométricas complejas.

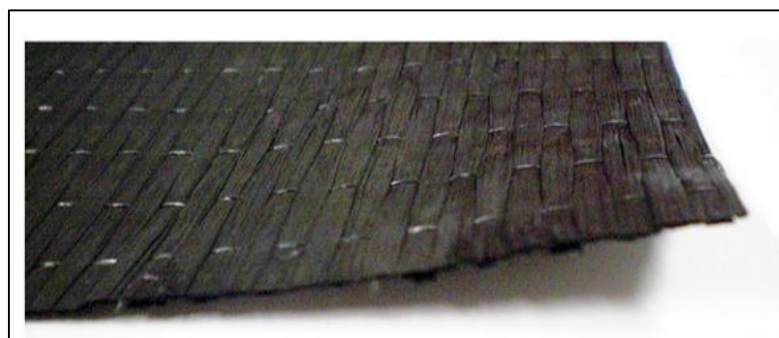


Figura 2.6 Tejidos de fibra de carbono. (Baquer, 2021)

- **Barras FRP**

Las barras de fibra de carbono están compuestas por filamentos unidireccionales embebidos en una matriz polimérica. Estas barras, con diámetros controlados, funcionan de manera similar al acero, soportando esfuerzos de tracción, pero se integran dentro de la estructura en lugar de adherirse externamente (Baquer, 2021)



Figura 2.7 Barras de fibra de carbono. (Baquer, 2021)

- **Laminados FRP**

Los laminados consisten en filamentos de carbono, tanto unidireccionales como multidireccionales, fijados en una matriz polimérica que garantiza su disposición precisa. Estas láminas calibradas se adaptan a diversas aplicaciones, incluyendo refuerzos de flexión y cortante. Como en el caso de las barras, los laminados son fabricados en factoría, lo que garantiza una distribución uniforme y geométrica de las fibras (Baquer, 2021). Estos laminados pueden ser lineales o tener formas especiales, como ángulos rectos, lo que los hace especialmente útiles para refuerzos a cortante



Figura 2.8 Barras de fibra de carbono. (Baquer, 2021)

Normativa y guías internacionales para rehabilitación con CFRP

El uso de CFRP en la rehabilitación de estructuras está ampliamente regulado por normativas internacionales. La guía ACI 440.2R-17 y el Eurocódigo 8 proporcionan criterios específicos para su aplicación en zonas sísmicamente activas. Según estas normativas, el CFRP debe aplicarse tras un análisis estructural detallado que considere la compatibilidad entre el material compuesto y el hormigón existente (CEN, 2004). El cumplimiento de estas normativas garantiza que las intervenciones sean seguras y efectivas a largo plazo, un aspecto crucial para la rehabilitación de elementos estructurales en el edificio del Banco de Desarrollo.

Evaluación de la condición estructural

Antes de realizar cualquier intervención, es crucial llevar a cabo una evaluación completa de las patologías presentes en la estructura, como fisuras, grietas, corrosión del acero de refuerzo y pérdida de capacidad de carga. Estas evaluaciones incluyen pruebas no destructivas y análisis de laboratorio para determinar el grado de deterioro. Delatte (2009) menciona que esta evaluación permite determinar la extensión del daño y planificar el tipo de refuerzo adecuado para cada caso. En el caso del Banco de Desarrollo del Ecuador, las inspecciones iniciales revelaron fisuras en las vigas y columnas, lo que ha llevado a la decisión de reforzarlas con CFRP.

Técnicas de aplicación de CFRP para columnas y vigas

En la rehabilitación de columnas y vigas con CFRP, se aplican distintas técnicas dependiendo del daño y de la necesidad estructural. En las columnas, se suele emplear la técnica de envolvimiento (jacketing) con CFRP, esto permite incrementar su resistencia a compresión y ductilidad de elementos (Sheikh & Yau, 2002). En las vigas, el CFRP se coloca en las zonas donde se producen mayores tensiones, mejorando la capacidad de flexión y evitando el colapso prematuro (Teng et al., 2003). Estos métodos no solo refuerzan la estructura, sino que también detienen la propagación de fisuras y grietas, restaurando la integridad del edificio.

Ventajas del refuerzo con CFRP frente a métodos tradicionales

El refuerzo con CFRP ofrece varias ventajas sobre los métodos tradicionales. Mientras que los refuerzos de acero añaden peso y requieren una intervención más invasiva, el CFRP es liviano y fácil de aplicar, lo que minimiza el tiempo de inactividad del edificio (Meier & Winistorfer, 1995). Además, al ser resistente a la corrosión, reduce la necesidad de mantenimiento a largo plazo y económicamente rentable. En el caso del edificio del Banco de Desarrollo del Ecuador, donde la operación debe mantenerse ininterrumpida, el CFRP es la opción ideal.

Sostenibilidad y economía en la rehabilitación con CFRP

El refuerzo con CFRP no solo ofrece mejoras técnicas, sino que también es una solución más sostenible y económicamente viable a largo plazo. Aunque el costo inicial del CFRP puede ser mayor que el de otros materiales, su durabilidad y bajo mantenimiento lo convierten en una alternativa más económica a largo plazo (Nanni, 1995). Además, la posibilidad de rehabilitar y reforzar estructuras existentes, en lugar de demoler y reconstruir, contribuye a reducir el impacto ambiental, lo cual es esencial en proyectos de rehabilitación en grandes ciudades.

2.2 Marco metodológico

El presente proyecto de titulación plantea la rehabilitación de elementos estructurales seleccionados en función de sus características específicas. Para este propósito, se realizará una evaluación detallada de una viga y dos columnas, identificando las necesidades de intervención según su estado actual y comportamiento estructural. La metodología aplicada sigue el modelo tradicional en cascada, que se estructura en fases secuenciales, comenzando con la recopilación de información hasta la ejecución de la rehabilitación y la evaluación económica. A continuación, se muestra de manera detallada cada una de las fases que componen esta metodología, representada en la consiguiente Figura.

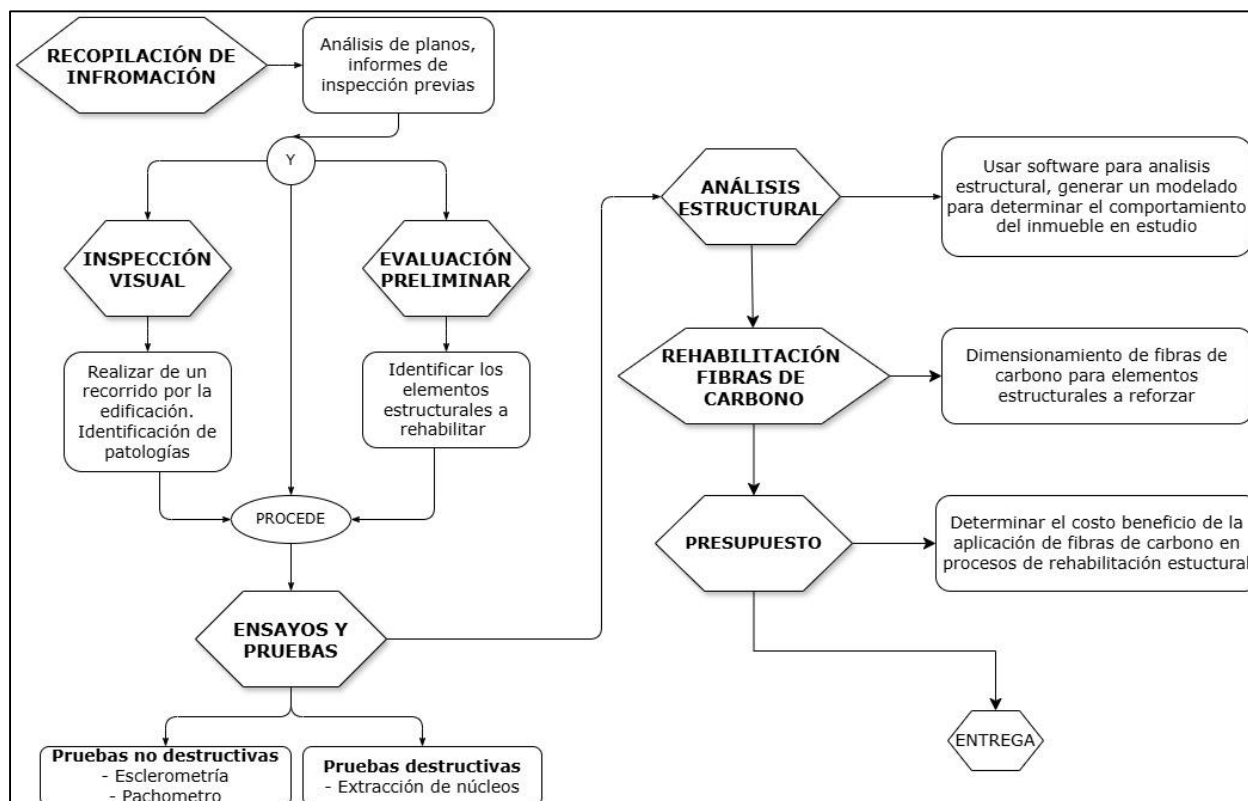


Figura 2.9 Esquema de flujos de la metodología. (Fernández & Baptista, 2014)

Recopilación de Información

Se parte de la recolección de información fundamental para comprender la estructura del edificio. Esta etapa incluye el análisis de los planos originales, tanto arquitectónicos como estructurales, para obtener un panorama detallado de la disposición de los elementos a intervenir. Adicionalmente, se recopila información histórica del edificio, como estudios previos, reparaciones anteriores y datos técnicos sobre los materiales empleados. Toda esta información es esencial para definir los criterios de evaluación y diagnóstico de las patologías estructurales presentes en las vigas y columnas. La adecuada recopilación de información permite una comprensión profunda de los posibles factores que han afectado la estructura.

Inspección Visual

La inspección visual una fase, donde se observa in situ el estado actual en la que se encuentran los elementos estructurales dentro de una edificación, estos pueden ser

vigas y columnas. En esta fase se identifican las patologías más comunes, como grietas, fisuras, exposición de acero de refuerzo y cualquier otro tipo de deterioro visible. Durante esta etapa, se seleccionan los elementos estructurales que requerirán intervención, priorizando aquellos que muestran los daños más críticos.

Además de la inspección visual, se realizarán ensayos no destructivos (END), como el uso de esclerómetros para medir la resistencia superficial del hormigón, y ensayos destructivos (ED), que implican la extracción de núcleos de hormigón para ser evaluados en laboratorio. Los ensayos destructivos proporcionan información más precisa sobre la resistencia y calidad del hormigón utilizado en la construcción original.

Evaluación Preliminar y Análisis Estructural

Con la información recopilada y lo observado en la inspección, se genera una evaluación preliminar de la estructura y al análisis estructural detallado. Esta fase incluye la generación de planos arquitectónicos y estructurales actualizados, y la realización de un mapeo de fisuras y grietas en los elementos seleccionados. Es crucial evaluar las posibles causas que han generado estas patologías, para lo cual se utiliza software especializado, como ETABS, que permite realizar simulaciones estructurales bajo diversas condiciones de carga.

El modelado computacional facilita un análisis que describe el comportamiento de la estructura, identificando cómo las fisuras afectan la resistencia, rigidez y ductilidad del edificio. Este análisis se realiza para obtener información del comportamiento de la viga y columnas seleccionadas, tomando en consideración que estos elementos son críticos en términos de estabilidad estructural. Al simular las condiciones actuales de carga, se pueden determinar los esfuerzos y cargas que actúan sobre la estructura, así como las áreas donde el refuerzo es más necesario.

Técnicas de Rehabilitación con Fibras de Carbono

Una vez completado el análisis estructural, se procede a la selección de las técnicas de rehabilitación más adecuadas. En este proyecto se opta por el uso de fibras de carbono (FRP), una tecnología de refuerzo ampliamente utilizada debido a su alta resistencia, bajo peso y facilidad de aplicación. Las fibras de carbono son ideales para rehabilitar elementos estructurales sin comprometer la estética ni la funcionalidad original de la estructura.

En esta fase, se diseña el refuerzo utilizando el software Sika® CarboDur®, que permite simular la aplicación de las fibras tanto a flexión como a cortante en las vigas y reforzar columnas como medio confinado. Se evaluará el refuerzo en términos de su capacidad para mejorar el comportamiento de los elementos a flexión y cortante, así como su ductilidad en caso de cargas sísmicas. Para las columnas, se considerará el confinamiento con FRP como una opción para aumentar la resistencia a cargas laterales y mejorar el comportamiento dinámico de la estructura.

Presupuesto Referencial de Materiales

Finalmente, se procederá a la elaboración de un presupuesto referencial que considera el costo de equipo mínimo, materiales, mano de obra calificado y el rendimiento para una rehabilitación, tales como las fibras de carbono, resinas y adhesivos. La evaluación económica permitirá determinar la posibilidad financiera del proyecto, comparando el costo de las fibras de carbono frente a métodos tradicionales como el encamisado de vigas.

2.2.1 Trabajo de campo

Se llevó a cabo una inspección técnica al edificio, con el objetivo de evaluar su estado estructural actual. Durante la inspección, no se permitió el acceso a todas las áreas debido a que en el inmueble se encuentra el archivo de la institución, el cual es de carácter confidencial. A pesar de esta limitación, se realizaron fotografías y un levantamiento visual de las áreas permitidas.

Adicionalmente, se llevaron a cabo algunas verificaciones in situ utilizando instrumentos como el pachómetro y el esclerómetro, para medir el espesor del recubrimiento y la resistencia superficial del concreto, respectivamente. Sin embargo, los datos que se tomaran en este análisis se basan en el informe de diagnóstico elaborado por la empresa EPN TECH, el cual proporcionó información detallada y precisa sobre el estado general del edificio. Este informe fue fundamental para complementar y validar las observaciones realizadas durante la inspección de campo.

Durante la inspección se identificaron diversos daños en los elementos de hormigón armado, entre los cuales destacan:

- Presencia de grietas y fisuras, en su mayoría asociadas con la excesiva flexibilidad estructural provocada por la transformación del sistema de muros portantes a pórticos de hormigón, lo que ha reducido el desempeño de la edificación.
- Desprendimiento del recubrimiento de concreto en las columnas.
- Desniveles detectados en la losa del segundo piso.
- Indicios de humedad en la mampostería.
- Uso de varillas lisas, que presentan menor adherencia entre el hormigón y acero de refuerzo. Este tipo de refuerzo era común en construcciones de las décadas de 1950 y 1960.
- Oxidación visible en las varillas de los refuerzos longitudinales y transversales de las columnas, resultado de la baja adherencia del concreto reforzado y de la presencia de carbonatación inducida por la zona debido al tráfico vehicular la misma que genera altas emisiones de dióxido de carbono.
- Cuantía de acero longitudinal inferior al mínimo establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).
- Deficiencias relacionadas con un diseño estructural inadecuado, la acción sísmica, el deterioro de materiales y una planificación incorrecta del uso del edificio. Adicionalmente, se observaron fallas en el confinamiento de las uniones entre vigas y columnas, atribuibles a la época de construcción, en la cual no se aplicaban criterios específicos de sismo-resistencia.

2.2.2 Trabajo de laboratorio o gabinete

Para identificar las patologías estructurales de mayor incidencia en la edificación, se debe realizar ensayos tanto destructivos como no destructivos. Los ensayos incluyen pruebas de pachometría, esclerometría y extracción de núcleos de hormigón. La elección de estos ensayos responde a la recomendación del especialista estructural, quien considera fundamentales estas pruebas debido a las patologías visibles en la edificación.

Ensayo #1:

El ensayo de esclerometría, de tipo no destructivo, permite el determinar la uniformidad de la resistencia superficial del concreto en diversas zonas de vigas y columnas. A través del rebote registrado por el martillo esclerométrico, se obtiene un indicador indirecto de la calidad del concreto en superficie. Aunque no mide directamente la resistencia a la compresión, permite identificar posibles variaciones de resistencia o áreas débiles en la estructura, las cuales son cruciales para la valoración del estado actual de los diferentes elementos estructurales que pueden estar presentes en una edificación.



Figura 2.10 Preparación de la superficie para muestreo

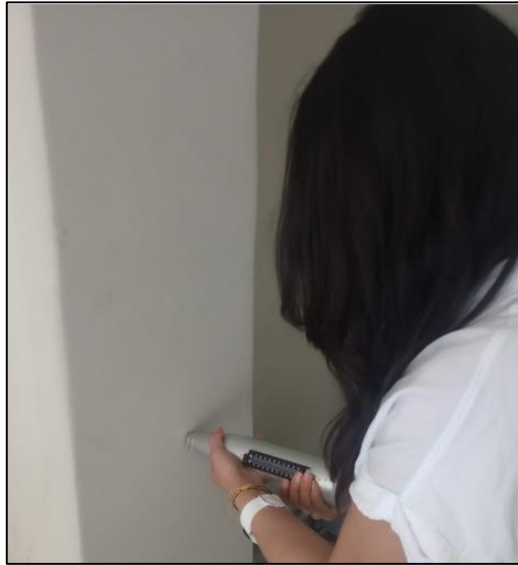


Figura 2.11 Procedimiento del ensayo mediante esclerómetro

Ensayo #2:

Mediante el uso de un pachómetro, se realizó este ensayo no destructivo para localizar las barras de acero de refuerzo en vigas y columnas. Este método permitió identificar la disposición de las armaduras, lo cual es indispensable para planificar la extracción de núcleos sin comprometer la integridad del refuerzo. La detección precisa de las barras evita intervenciones innecesarias y garantiza que la resistencia estructural de los elementos no se vea afectada.

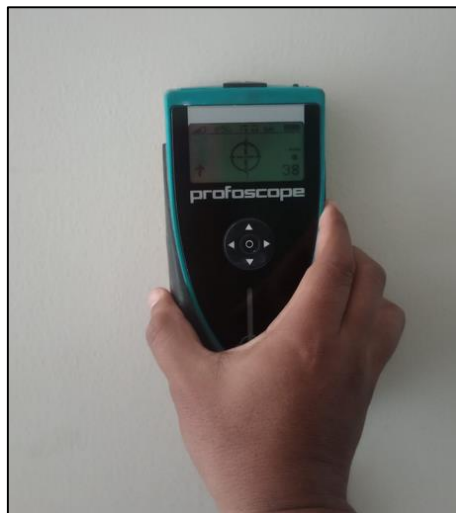


Figura 2.12 Procedimiento del ensayo mediante pachómetro

Ensayo #3:

Para evaluar directamente la resistencia que tiene el hormigón a compresión en elementos estructurales críticos, se realizó un ensayo destructivo mediante la extracción de núcleos en puntos específicos de columnas y vigas. Este método permite verificar si el concreto cumple con los valores especificados en el diseño estructural y si mantiene su capacidad de carga luego de un período de 18 meses de abandono. Los resultados obtenidos de las muestras extraídas son determinantes para confirmar la integridad estructural del hormigón en función de las especificaciones técnicas y las necesidades de rehabilitación del edificio.

Dado que no fue posible acceder al edificio, se trabajará con los datos recopilados previamente en el informe de diagnóstico, lo que permitirá una evaluación preliminar. Con esta información, se desarrollará una Modelación estructural en la cual se detallarán los elementos estructurales, sus dimensiones, ejes y configuración general de la estructura.

2.2.3 Tabulación de datos

Se presentan los datos tabulados obtenidos de los diferentes ensayos realizados en laboratorio efectuados en el informe de diagnóstico de que se realizó al edificio. Los ensayos incluyeron pruebas de esclerometría, detección de armaduras y extracción de núcleos, que permiten evaluar la resistencia a la compresión, la durabilidad y el estado actual del hormigón, en la Tabla 3.1 se tiene los trabajos realizados. Estos resultados son fundamentales para validar las soluciones propuestas en esta evaluación y posterior rehabilitación, así como para determinar el estado estructural de los elementos estructurales (viga y columnas seleccionado).

Tabla 2.4 Ensayos a realizar en el edificio. (Muñoz, 2018)

ITEM	TRABAJO	UNIDAD
1	Extracción, preparación y ensayos de núcleos de hormigón	6
2	Esclerómetro	10
3	Picado y resane de elementos estructurales para verificación de armado	4

[illegible]

De los ensayos: destructivos “extracción de núcleos” y “esclerometría” se presenta la siguiente tabla con los resultados de los elementos evaluados.

NIVEL	ELEMENTO Más averiado	TIPOS DE ENSAYO		RANGO DE APROBACIÓN
		NUCLEO (KG/CM2)	ESCLEREOMETRIA (KG/CM2)	
PLANTA BAJA	COLUMNA	105	123 (+/-) 44	ACEPTADO
	VIGA			SIN INFORMACIÓN
PRIMER PISO	COLUMNA	67	205 (+/-) 56	NO ACEPTADO

NIVEL	ELEMENTO Más averiado	TIPOS DE ENSAYO		RANGO DE APROBACIÓN
		NUCLEO (KG/CM2)	ESCLEREOMETRIA (KG/CM2)	
	VIGA	140	169 (+/-) 51	ACEPTADO
SEGUNDO PISO	COLUMNA		169 (+/-) 51	SIN INFORMACIÓN
	VIGA	133		ACEPTADO
TERCER PISO	COLUMNA	108	134 (+/-) 46	ACEPTADO
	VIGA			SIN INFORMACIÓN

Tabla 2.6 Análisis cuantía de acero de refuerzo en columnas. (Muñoz, 2018)

LOCALIZACIÓN	ELEMENTO	COLUMNA TIPO	ÁREA COLUMNA	ÁREA LONGITUDINAL DEL ACERO	CUANTÍA
			cm ²	cm ²	%
Planta baja E-3	Columna	40x40	1600	9.05	0.57
Planta baja D-5	Columna	50x50	2500	16.08	0.64
Planta baja F-7	Columna	45x45	2025	12.57	0.62
Primer piso F-6	Columna	35x35	1225	9.05	0.74
Segundo piso G-4	Columna	40x40	1600	16.08	1.01
Segundo piso G-5	Columna	30x30	900	6.79	0.75
Tercer piso D-5	Columna	35x35	1225	9.05	0.74
Tercer piso C'-4	Columna	30x30	900	4.52	0.5
Tercer piso B-6	Columna	25x25	625	4.52	0.72

Análisis de resultados de ensayos realizados

Los resultados que se obtendrán de los ensayos serán analizados a través de un modelo numérico matemático, en el cual se incorpora la información para generar reportes del comportamiento sísmico de la estructura. Los parámetros recolectados se incorporarán a un modelo computacional, lo que permitirá

interpretar con mayor precisión la capacidad estructural del edificio y desarrollar propuestas adecuadas para su rehabilitación.

2.2.4 Solución a diseñar

La propuesta de diseño para la rehabilitación estructural es seleccionar un pórtico específico del edificio, basándose en los parámetros obtenidos a partir del modelo numérico estructural. Este modelo incorpora los datos de resistencia obtenidos de los ensayos estructurales y proporciona una base para aplicar fibras de carbono (CFRP) en los elementos seleccionados. La metodología se centra en maximizar la capacidad estructural mediante la aplicación de CFRP, considerando su elevada relación resistencia-peso, adaptabilidad y eficacia en la mejora de las propiedades estructurales sin incrementar significativamente la carga sobre los elementos.

El diseño del reforzamiento estructural empleará un software especializado que permite dimensionar el material CFRP necesario para reforzar columnas y vigas a flexión, cortante y compresión. Este software, basado en las especificaciones de la normativa ACI 440.2R-08 permite un dimensionado preciso y ajustado a las demandas estructurales. (Sika, 2018)

Adicionalmente, se consideran otras metodologías de diseño provenientes de los códigos ACI 318-14 y Eurocódigo 2, que respaldan las prácticas y requisitos para el refuerzo de concreto. Estas normativas aseguran que el diseño cumpla con los estándares internacionales de seguridad y durabilidad. (Sika, 2018)

Cálculo de Flexión y Cortante en Elementos Reforzados

Según la ACI 440.2R-08, el refuerzo mediante CFRP debe diseñarse para resistir las tensiones adicionales que los elementos estructurales no pueden soportar por sí mismos. La fórmula general de un elemento reforzado para la resistencia a flexión con CFRP se expresa como:

$$M_n = M_c + M_{frp}$$

Donde:

M_n , es el momento nominal total.

M_c , es el momento resistido por el concreto y el acero existente.

M_{frp} , es el momento resistido por el CFRP.

Para calcular el aporte del CFRP a la flexión, se emplea la siguiente fórmula de tracción en la platina de CFRP:

$$M_{frp} = A_{frp} \cdot f_{frp} \cdot d \cdot \left(1 - \frac{d}{a}\right)$$

A_{frp} , representa el área de la sección transversal del CFRP.

f_{frp} , es el esfuerzo de tracción desarrollado en el CFRP, limitado por la deformación última del CFRP o del concreto.

d , es el brazo mecánico del elemento reforzado.

a , indica la profundidad del bloque de compresión en el hormigón.

Para determinar el refuerzo a cortante, se usa la siguiente fórmula:

$$V_n = V_c + V_{frp}$$

V_n , es la resistencia total a cortante.

V_c , es la resistencia a cortante del concreto.

V_{frp} , es la resistencia a cortante proporcionada por el CFRP, calculada de la siguiente manera:

$$V_{frp} = 2 \cdot A_{frp} \cdot E_{frp} \cdot \left(\frac{\varepsilon_{frp}}{s}\right)$$

A_{frp} , es el área de las platinas de CFRP.

E_{frp} , es el módulo de elasticidad del CFRP.

ε_{frp} , es la deformación efectiva en el CFRP.

s , es el espaciamiento de las platinas.

El cumplimiento de los requisitos de resistencia y estabilidad estructural, se as el diseño se complementará con un análisis detallado que otorga el software, donde se definirán la cantidad y disposición exactas de las fibras de CFRP para cada elemento (Sika, 2015).

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 Resultados de ensayos de laboratorio

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados en campo y laboratorio para evaluar las condiciones estructurales del edificio, así como las conclusiones de análisis en campo.

Del ensayo no destructivo de pachometría, enfocado en la detección del acero de refuerzo y verificación en sitio, se ha determinado lo siguiente:

- El sistema de pisos está constituido por losas alivianadas de hormigón armado con un espesor de 20 cm.

- Las vigas de hormigón armado son del tipo descolgadas o peraltadas, con dimensiones de 25 cm x 35 cm. (Muñoz, 2018)
- Las columnas presentan variaciones en sus dimensiones, todas construidas en hormigón armado. Se detalla seguidamente en la Tabla 3.1 y también se muestra el análisis de la cuantía del acero en columnas, obtenido mediante el estudio de pachometría.

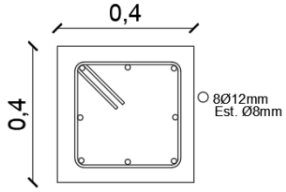
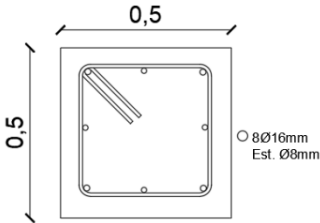
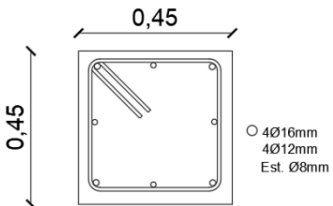
Para el análisis estructural se abarcará la totalidad del edificio, se extraerán los datos específicos del modelo numérico necesarios para emplear en el software de diseño de refuerzo con fibras de carbono. Estos resultados permitirán optimizar la aplicación de CFRP, conforme a los requerimientos estructurales de cada elemento.

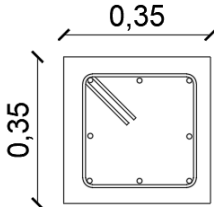
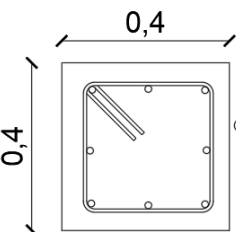
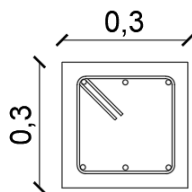
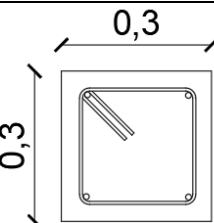
De la información obtenida de la tabulación de datos, se concluye lo siguiente:

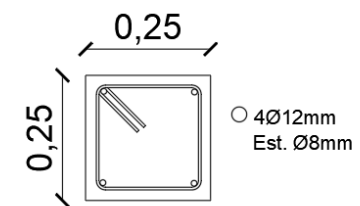
Para fines de modelación, se agruparon las muestras representativas según los elementos estructurales (columnas y vigas). Siguiendo las recomendaciones de la norma NTE-INEN 1573 para ensayos de compresión de hormigón, se descartaron del análisis aquellas muestras con mayor dispersión. Este análisis fue complementado y validado con los resultados del ensayo de esclerometría. De esta manera, se adoptaron valores promedios de 112 kg/cm² para columnas y 147 kg/cm² para vigas en la modelación matemática. (Muñoz, 2018)

En cuanto al armado longitudinal de los elementos estructurales que fueron analizados, se observó que la mínima cuantía de acero es menor a la exigida por la NEC-15, que es del 1.01% del área útil de la columna, detallado en la Tabla 3.1 (Muñoz, 2018).

Tabla 3.11 Análisis cuantía de acero de refuerzo en columnas,(Muñoz, 2018)

LOCALIZACIÓN	ELEMENTO	CUANTÍA	OBSERVACIÓN	Ø	CANTIDAD	COLUMNA TIPO	ARMADO ESTRUCTURAL
		%		mm.	#		
Planta baja E-3	Columna	0.57	MENOR	12	8	40x40	
Planta baja D-5	Columna	0.64	MENOR	16	8	50x50	
Planta baja F-7	Columna	0.62	MENOR	12 Y 16	4 y 4	45x45	

Primer piso F-6	Columna	0.74	MENOR	12	8	35x35	 8Ø12mm Est. Ø8mm
Segundo piso G-4	Columna	1.01	MENOR	16	8	40x40	 8Ø16mm Est. Ø8mm
Segundo piso G-5	Columna	0.75	MENOR	12	6	30x30	 6Ø12mm Est. Ø8mm
Tercer piso C'-4	Columna	0.50	MENOR	12	4	30x30	 4Ø12mm Est. Ø8mm



Tercer piso B-6	Columna	0.72	MENOR	12	4	25x25	
Tercer piso D-5	Columna	0.74	MENOR	12	8	35x35	

Y de la visita de campo se:

Identificó que las varillas de refuerzo utilizadas son lisas, lo cual no es recomendado debido a su menor adherencia con el hormigón, lo que impide que el acero desarrolle su capacidad de fluencia total. El acero liso posee una resistencia a la fluencia de aproximadamente 2800 kg/cm^2 , significativamente inferior a los 4200 kg/cm^2 requeridos por los estándares actuales. Además, se constató la presencia de oxidación en las armaduras longitudinales y transversales. (Muñoz, 2018)

Además, se observó que los estribos de los elementos estructurales son de diámetro de 8 mm es insuficiente menor al mínimo requerido en la NEC-15. Adicional, el espaciamiento entre estribos no es el adecuado, lo que afecta negativamente la ductilidad de los elementos estructurales. (Muñoz, 2018)

Cálculo del espectro de respuesta

El análisis del espectro se realizó siguiendo las normativas y códigos vigentes aplicables a la región y al sitio del proyecto.

Como primer paso, se calcula el espectro de respuesta para el tipo de edificación y las condiciones de la zona, considerando los siguientes aspectos:

- Geología local: según (NEC - SE - DS, 2014) Parte 1, Tabla 2, el suelo en el área del proyecto se clasifica como un terreno de partículas gruesas con finos. Con base en esta información, se asignó un perfil de tipo E (Muñoz, 2018) .
- Zona sísmica: De acuerdo con la (NEC - SE - DS, 2014); se determinó un valor Z de 0.4, que corresponde a una clasificación de alto peligro sísmico.

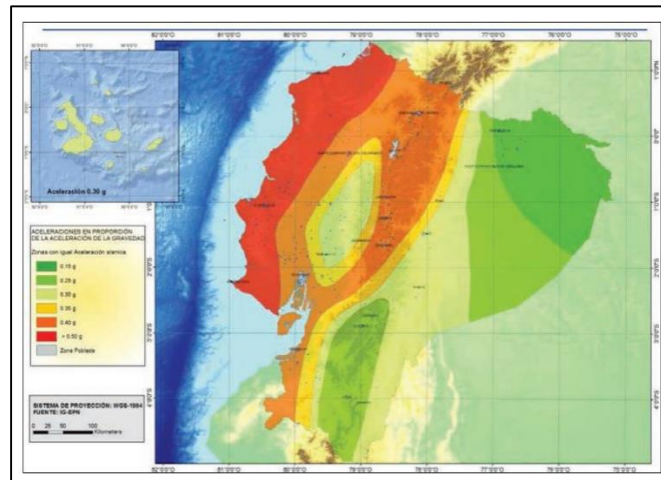


Figura 3.2 Caracterización de Peligro Sísmico (NEC - SE - DS, 2014)

Tabla 3.12 Ubicación de Factor Z (NEC - SE - DS, 2014)

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Los coeficientes de amplificación del perfil de suelo se determinaron con base en las de la (NEC - SE - DS, 2014) Para un suelo de tipo E y un factor $Z=0.4$, se identificaron los valores correspondientes:

Tabla 3.13 Coeficientes encontrados v de perfil de suelo, (NEC - SE - DS, 2014)

Fa	1
Fd	1,6
Fs	1,9

En cuanto a la variación de amplificación espectral, según el capítulo 3.3 de la (NEC - SE - DS, 2014), este valor depende de la región de estudio. En este proyecto, se identificó una amplificación de 1.8, que corresponde a la Costa Ecuatoriana, exceptuando la provincia de Esmeraldas.

- Periodo límite de vibración: Este parámetro se calculó utilizando la fórmula establecida en la (NEC - SE - DS, 2014):

$$T_c = 0,55 * F_s \frac{F_d}{F_a}$$

- Regularidad en elevación y planta: Se determinó que el edificio es irregular en ambas configuraciones. De acuerdo con la (NEC - SE - DS, 2014), se emplearon los coeficientes $\phi_p=1$ para una planta ideal y $\phi_e=1$ para una elevación regular.

$\phi_p=1$; se basa en un sistema estructural con una configuración en planta ideal
 $\phi_e=1$; es para configuración regular en elevación.

- Según la tabla 15 de la (NEC - SE - DS, 2014), se utilizó un valor de $R=8$ esto indica que son pórticos especiales y son sismo-resistentes de hormigón armado con vigas descolgadas
- Coeficiente de importancia: Según el capítulo 4 de la (NEC - SE - DS, 2014) y al no tratarse de una edificación esencial, se asignó un coeficiente de importancia $I=1$.
- Espectro elástico de respuesta: Este valor se obtuvo mediante las ecuaciones descritas en el apartado 3.3 de la (NEC - SE - DS, 2014); y se obtiene lo siguiente:

$$S_a = nZF_a; \text{ para } 0 \leq T \leq T_c$$

$$S_a = nZF_a \left(\frac{T_c}{T} \right)^r; \text{ para } T > T_c$$

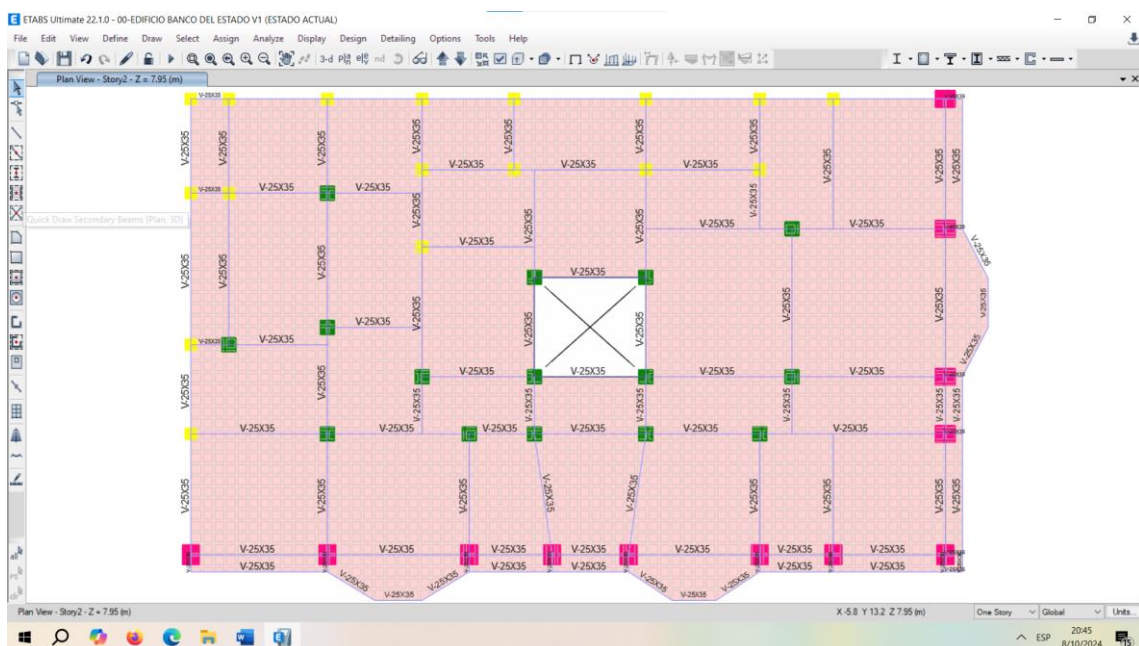
- El espectro de respuesta se obtiene considerando la siguiente ecuación:

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_p\phi_E}$$

Modelación de estructura en estado inicial

El espectro de respuesta calculado se ingresó al software computacional ETABS para una modelación matemática de la estructura. Se consideró una resistencia a la compresión promedio de 112 kg/cm² para columnas y 147 kg/cm² para vigas y un esfuerzo de fluencia $f_y=2800$ kg/cm² caracterizadas de las varillas lisas presentes en la edificación. Los resultados completos de esta simulación se encuentran en el Anexo 1, donde se muestran los periodos característicos que podrían afectar a la estructura bajo ciertas condiciones.

Para la modelación, se asumió el edificio en su estado final, incluyendo las cargas vivas, muertas y sísmicas, con las combinaciones establecidas por la NEC-SE-DS (2014). Se incluyeron cargas específicas para losas alivianadas en una dirección, mampostería, acabados y otras distribuciones de carga lineal en cada piso.



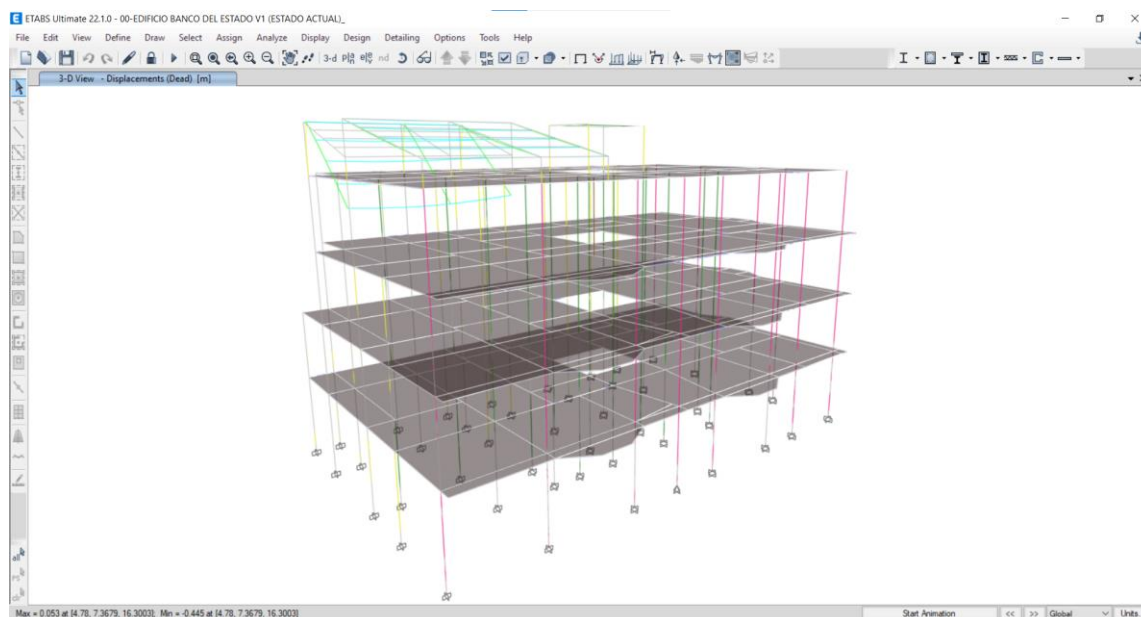


Figura 3.3 Modelación numérica matemática en ETABS del estado inicial de la estructura

En el Anexo IV se presenta un reporte de la simulación numérica del estado actual de la estructura, en el cual se puede apreciar periodos de gran magnitud los cuales afectarían a la estructura en el tiempo.

Cargas gravitacionales

Seguidamente se presenta un breve análisis de la estimación de cargas gravitacionales para el modelamiento matemático de la evaluación de la estructura del Edificio del BDE-G.

Tabla 3.14 Cálculo de cargas gravitacionales en el edificio BDE-G, (NEC - SE - DS, 2014)

CARGAS MUERTAS UTILIZADAS EN EL MODELAMIENTO				
Carga muerta	Losa 20 cm Entrepiso kg/m2	Losa 20 cm Terraza kg/m2	Cubierta kg/m2	Observaciones
Peso propio	262.08	262.08	6.00	El programa lo calcula
Alivianamiento	76.44	76.44		
Paredes	150.00	75.00		
Acabados	50.00	50.00		
instalaciones	10.00	10.00		
Cielo falso	10.00	10.00	10.00	
Total	296.44	221.44	10.00	
Asumida	300.00	225.00	10.00	

CARGAS VIVAS UTILIZADAS EN EL MODELAMIENTO			
Carga viva	Entrepiso kg/m2	Terraza kg/m2	Cubierta kg/m2
Oficina	245.00	245.00	0.00
Techo	0.00	0.00	70.00

En la tabla 4.1, se indica las 18 combinaciones de carga que se consideraran en la modelación. En la tabla se describe como se considera en el análisis, carga muerta adicional dada por mampostería y acabados, el peso propio, carga viva, posibles sismos y espectros de respuesta calculados.

Tabla 3.15 Combinaciones de carga considerados, (NEC - SE - DS, 2014)

Combinaciones posibles	
Combinación 1	1.4D
Combinación 2	1.2D+1.6L
Combinación 3	0.9D-1.02Sx
Combinación 4	0.9D+1.02Sx
Combinación 5	0.9D-1.02Sy
Combinación 6	0.9D+1.02Sy
Combinación 7	0.9D-1.02Ex
Combinación 8	0.9D+1.02Ex
Combinación 9	0.9D-1.02Ey
Combinación 10	0.9D+1.02Ey
Combinación 11	1.2D+1.0L+1.0Sx

Combinaciones posibles	
Combinación 12	$1.2D+1.0L-1.0S_x$
Combinación 13	$1.2D+1.0L+1.0S_y$
Combinación 14	$1.2D+1.0L-1.0S_y$
Combinación 15	$1.2D+1.0L+1.0E_x$
Combinación 16	$1.2D+1.0L-1.0E_x$
Combinación 17	$1.2D+1.0L+1.0E_y$
Combinación 18	$1.2D+1.0L-1.0E_y$

Adicional, en rehabilitaciones de edificaciones se debe considerar, la acción de los sismos y de la gravedad siendo este una combinación distinta. Se tomará en cuenta la combinación que cause el efecto más desfavorable en la estructura. A continuación, se verifica el acero longitudinal que requieren las vigas de losa la cual exceden el acero mínimo estipulado por la normativa ACI318-19. (NEC - SE - RE, 2014)

combinación 19	$1.1(D+0.25L)+E$
combinación 20	$0.9(D+0.25L)+E$

El modelo matemático mediante la plataforma ETABS nos permite una verificación de las capacidades de los elementos estructurales frente a las acciones (combinaciones de cargas definidas).

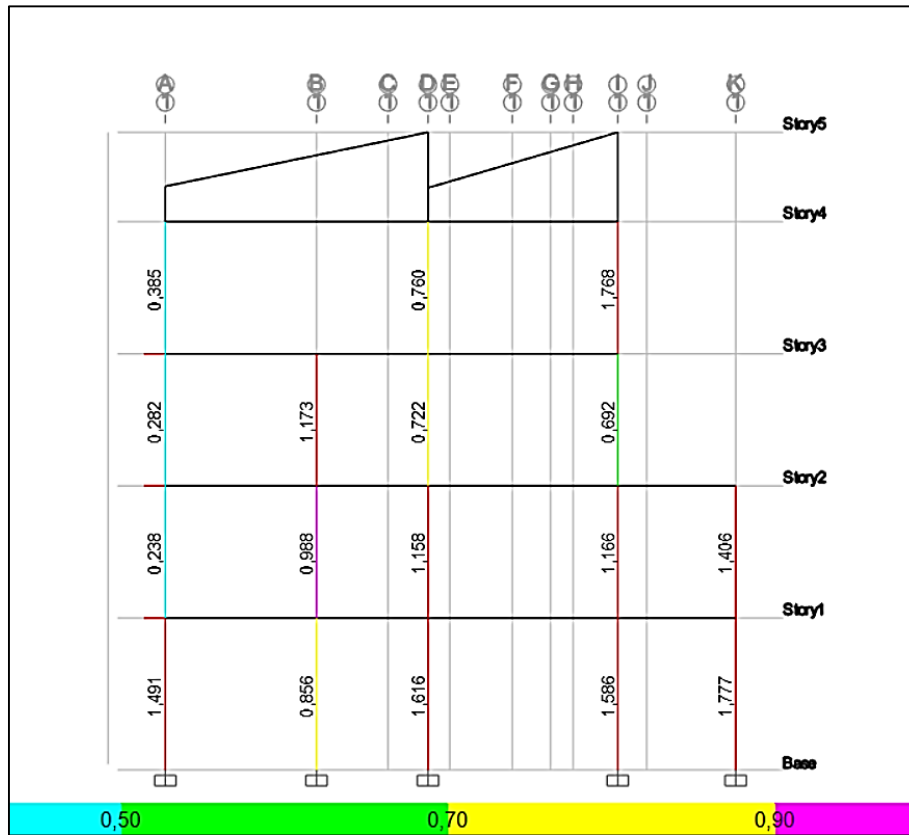


Figura 3.4 Esfuerzos producidos en columnas

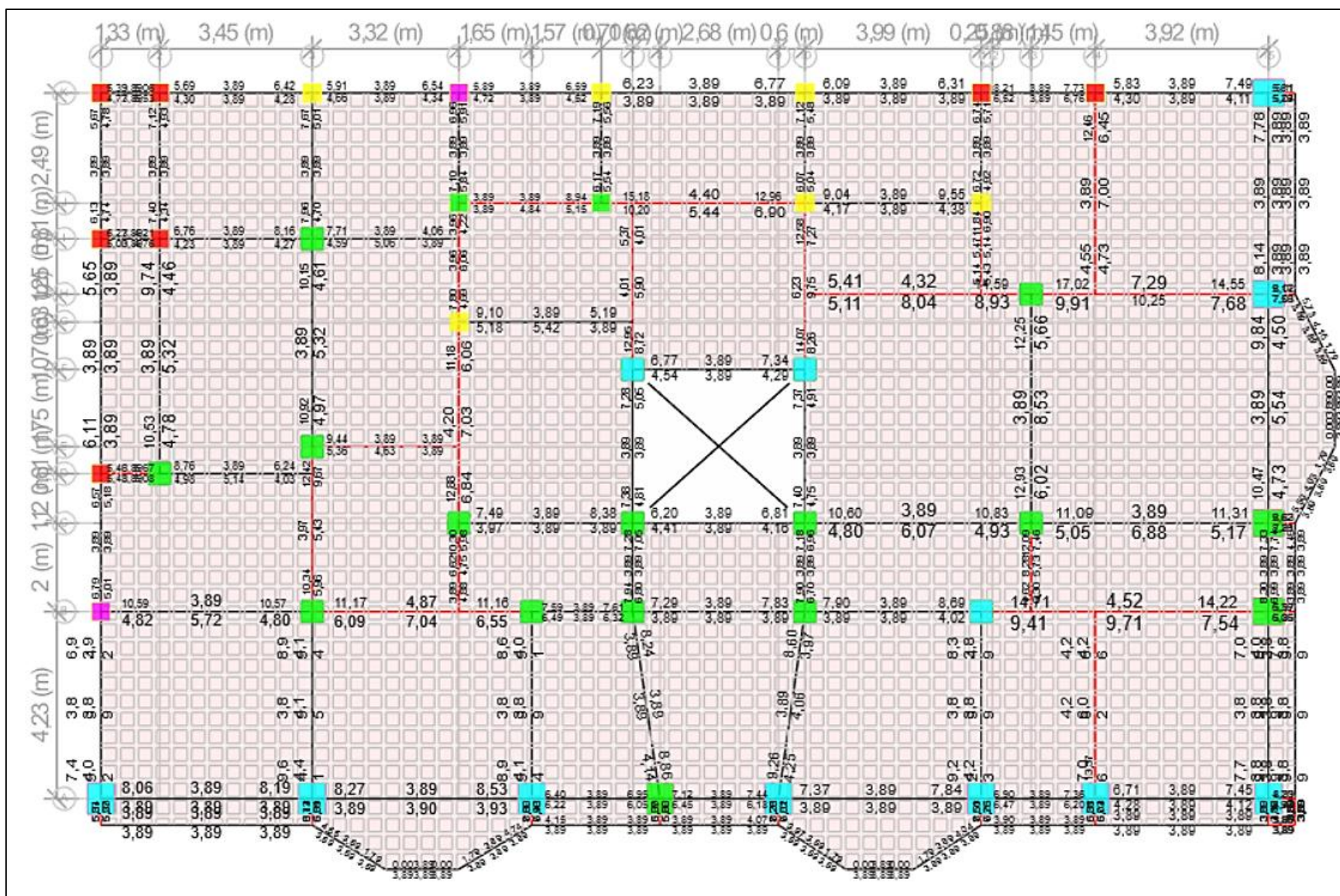


Figura 3.5 Modelación de estructura en estado inicial

En el modelo se realizó varias combinaciones de cargas para así poder obtener derivas de piso tomando en consideración el caso más crítico; por consiguiente, se presenta las derivas para el peso propio y envolvente:

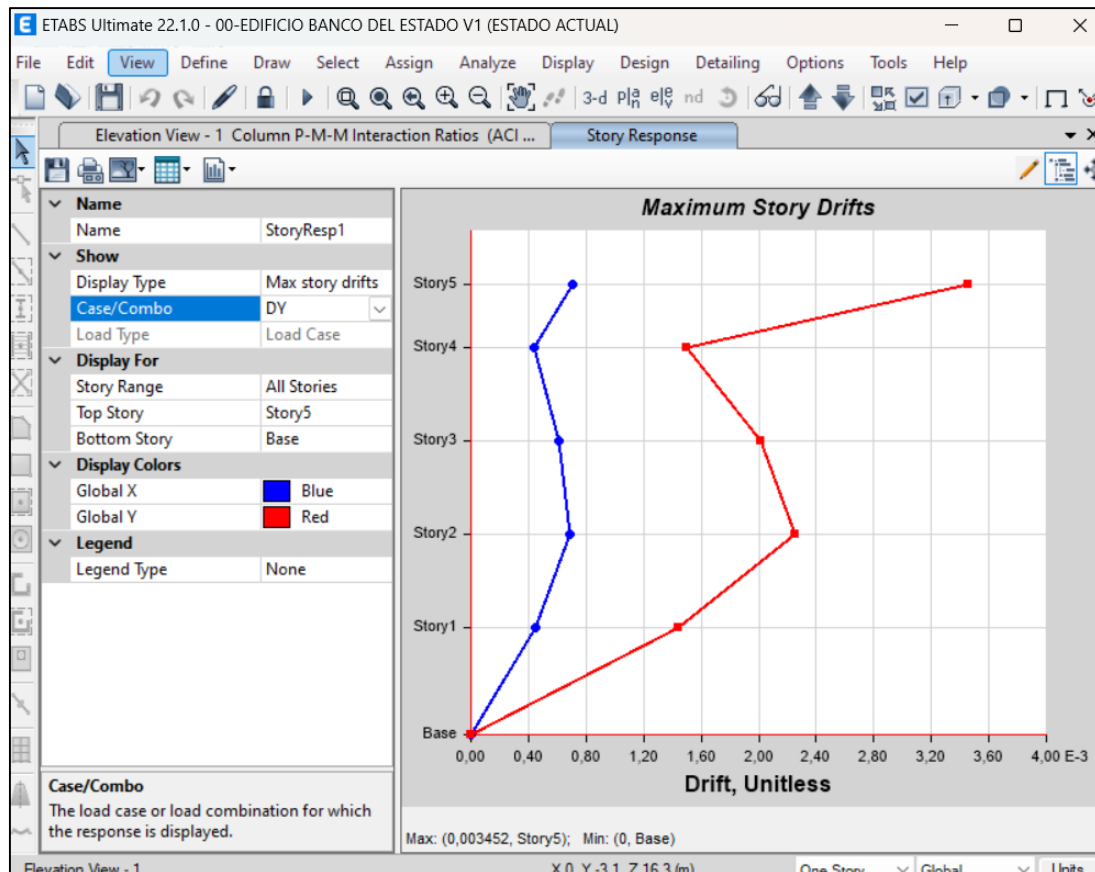


Figura 3.6 Derivas de piso

La deriva máxima provocada en la estructura corresponde a:

$$0.003452 \cdot 8 \cdot 0.75 = 0.002071,$$

En deriva de piso determinada en la modelación numérica está por encima de 0.02, siendo mayor a la máxima que es de 0.002, por tanto, no cumple lo estipulado en la normativa, tanto en el sentido X e Y.

Refuerzo de fibras de carbono en el sistema estructural

De acuerdo a los hallazgos obtenidos durante la fase de evaluación de la estructura, mediante la modelación numérica realizada en ETABS, se identificaron deficiencias en el comportamiento de ciertos elementos estructurales del edificio del Banco de Desarrollo del Ecuador (BDE) en Guayaquil. Estas deficiencias afectan el desempeño de los edificios esto no indica la normativa vigente bajo sus parámetros.

Pórtico seleccionado

Después de realizar el modelado numérico estructural del estado actual del edificio, utilizando los parámetros obtenidos de los ensayos ejecutados sobre la estructura y detallados en el informe de diagnóstico, se ha seleccionado un pórtico específico en la planta baja (conjunto de columnas y viga) para proceder con su rehabilitación, en concordancia con el objetivo general de este proyecto. Esta selección exige definir con precisión la ubicación del pórtico en la estructura.

A continuación, se presenta la ubicación del pórtico seleccionado en el plano de planta de la arquitectura del edificio. En las siguientes figuras, se muestra una representación detallada del pórtico en diferentes vistas, incluyendo una vista en 3D, un corte transversal, y una vista en planta, que permiten visualizar con precisión la disposición y los elementos estructurales que serán intervenidos en el proceso de rehabilitación.

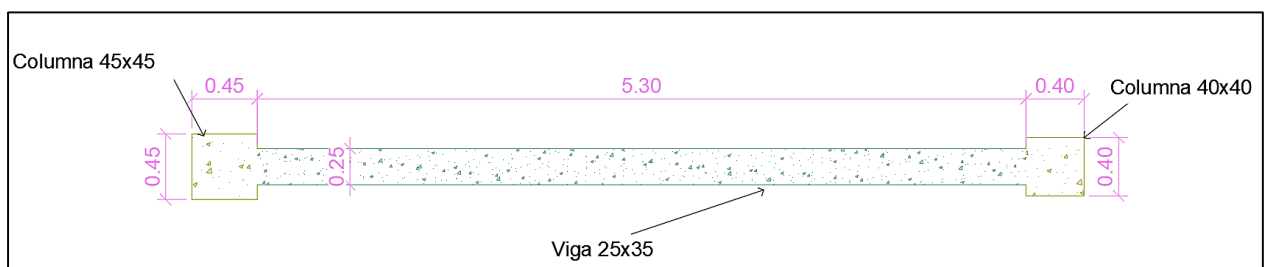


Figura 3.7 Pórtico seleccionado, vista en planta. Viga y Columnas F7 y F9

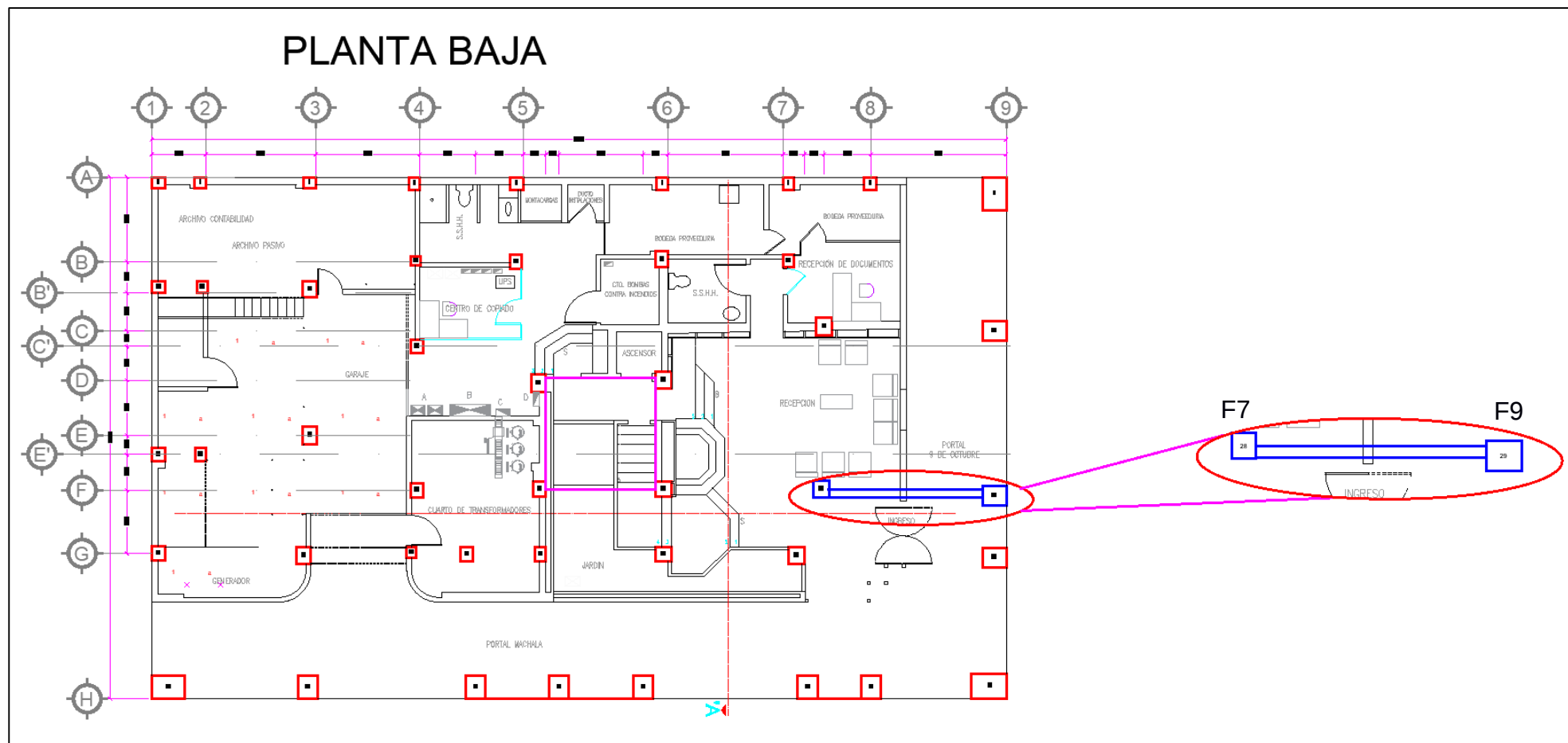


Figura 3.8 Pórtico Seleccionado, Viga Y Columnas F7 y F9 en planta baja.

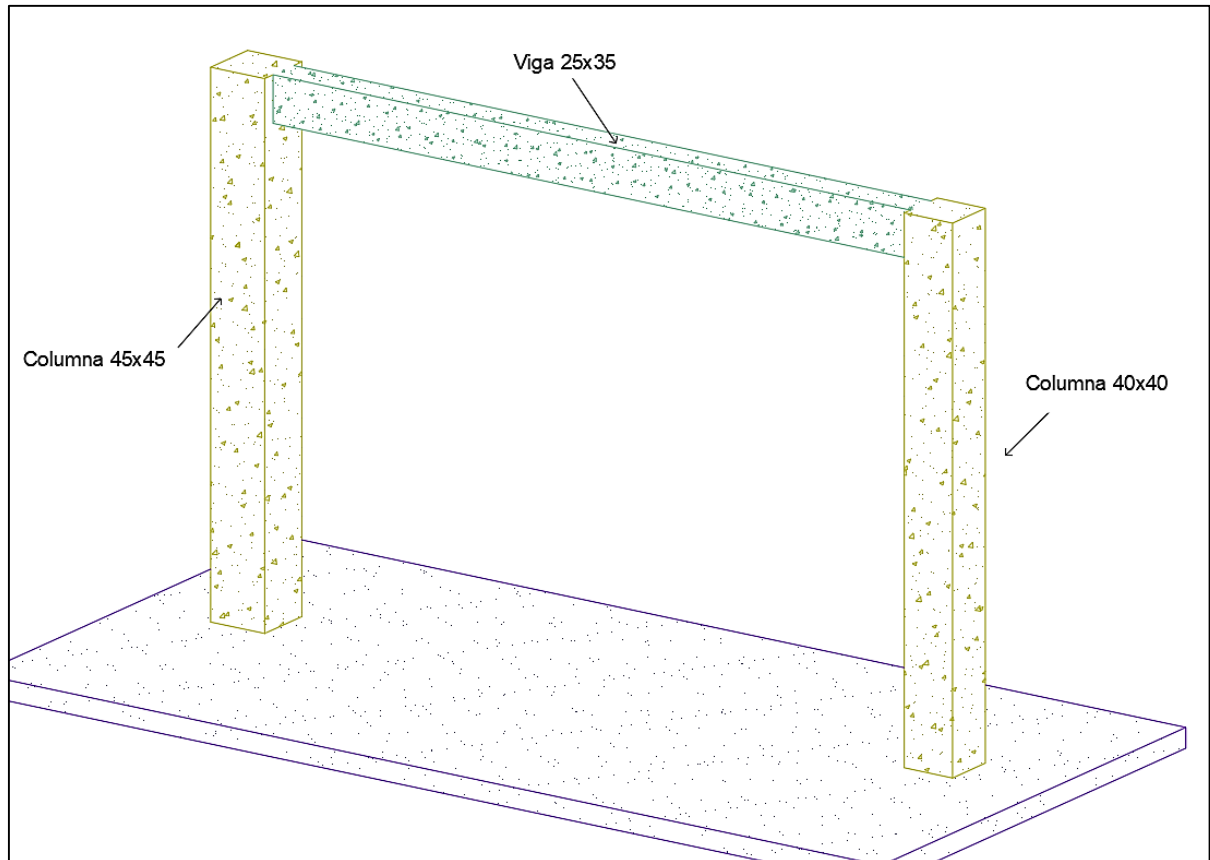


Figura 3.9 Pórtico seleccionado, vista en 3D. Viga y Columnas F7 y F9

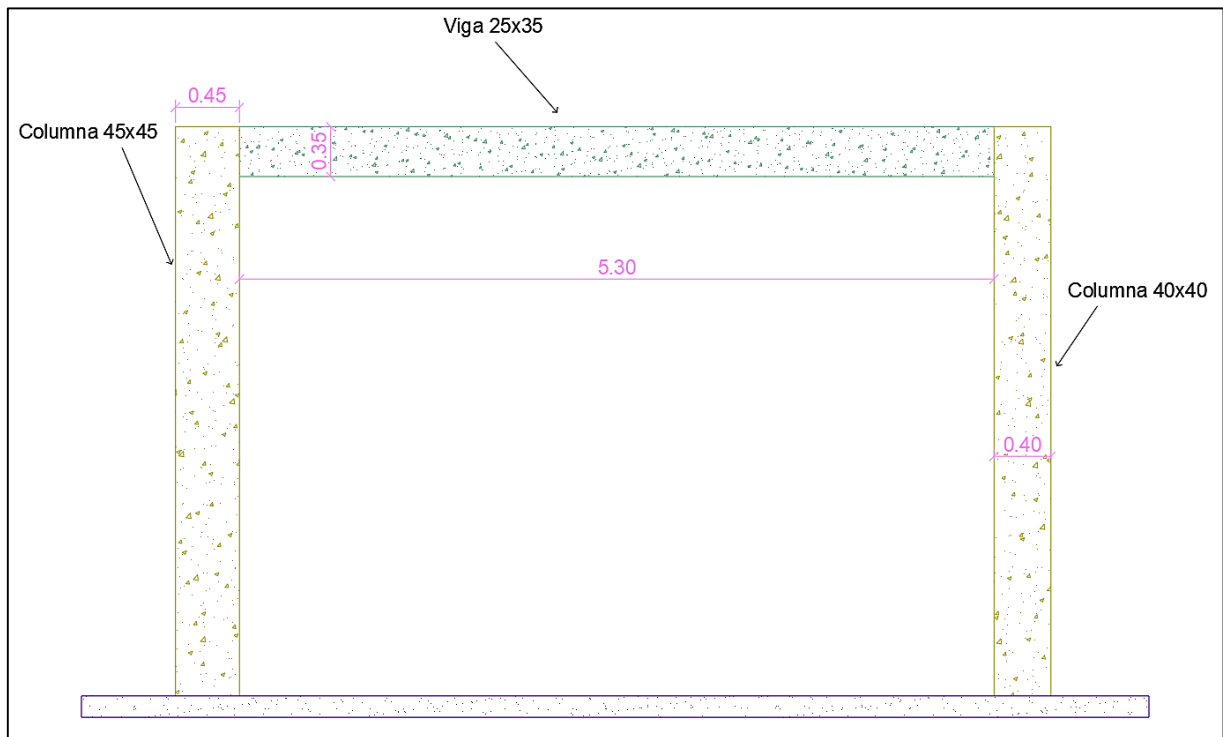


Figura 3.10 Pórtico seleccionado, vista en corte. Viga y Columnas F7 y F9

Los datos de carga axial y momentos críticos fueron obtenidos directamente del modelo estructural desarrollado en ETABS. A partir de estos datos, se ha determinado la cantidad y disposición óptima del CFRP, asegurando que los elementos estructurales seleccionados cumplan con los requisitos de resistencia y deformación de acuerdo con las normativas ACI 440.2R-08 y NEC-2015.

APLICACIÓN DEL SOFTWARE SIKA CARBODUR®

El **software** Sika CarboDur® se utiliza para determinar la cantidad y disposición óptima de las platinas CFRP en los elementos estructurales para reforzar vigas y columnas, basándose en los principios mencionados y asegurando el cumplimiento de normativas como la ACI 318-14.

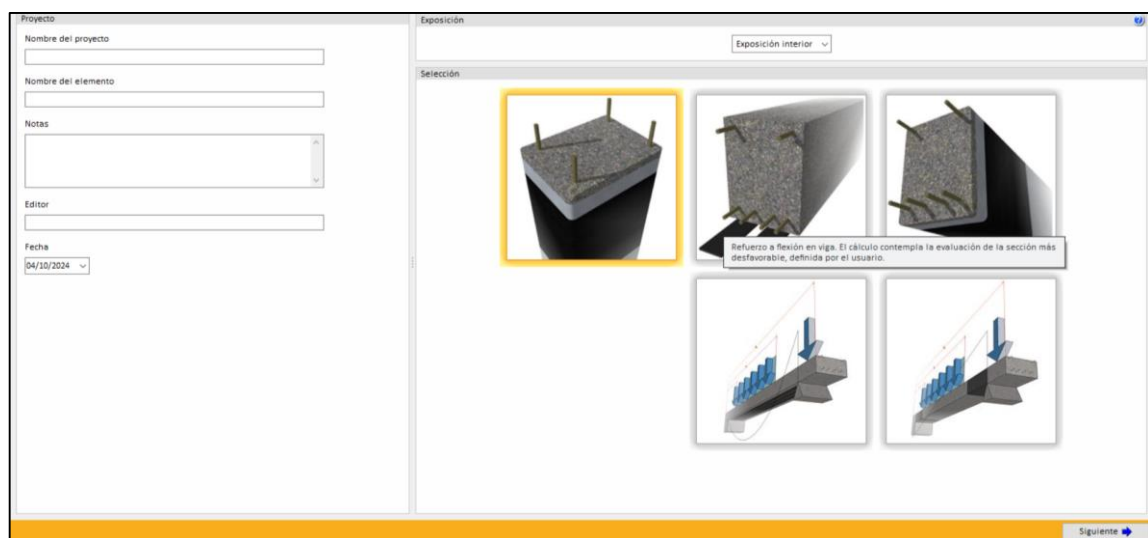


Figura 3.11 Instalación de software

Verificación de Derivas y Confinamiento

El refuerzo con CFRP también mejora el confinamiento en columnas, incrementando la capacidad de resistencia a compresión. El software simula la deformación de elementos estructurales y además verifica las derivas de piso que presentan para cumplir con los límites estipulados por la NEC-2015, asegurando que no superen el 0.02 de la altura del piso.

Este proceso de modelación permite garantizar que los elementos reforzados con CFRP tengan un desempeño adecuado bajo las condiciones de diseño y su capacidad de resistir las solicitaciones sísmicas previstas.

El software está diseñado para calcular y simular el refuerzo estructural con polímeros de fibra de carbono (CFRP), específicamente para mejorar la capacidad de elementos de concreto armado, como vigas y columnas.

Se presenta el proceso de utilización de este software en un proyecto de titulación:

A. Entrada de Datos Iniciales

Análisis de la columna F9

- **Datos del material:** Se ingresan las características mecánicas del hormigón y acero, uno de los datos iniciales es resistencia a compresión del concreto (f'_c), de los ensayos se obtuvo que el (f'_c) en columnas es de 112 kg/cm² y vigas de 147 kg/cm² y el esfuerzo de fluencia del acero (f'_y) de 2100 kg/cm². Estos datos se obtienen de ensayos previos realizados en laboratorio.

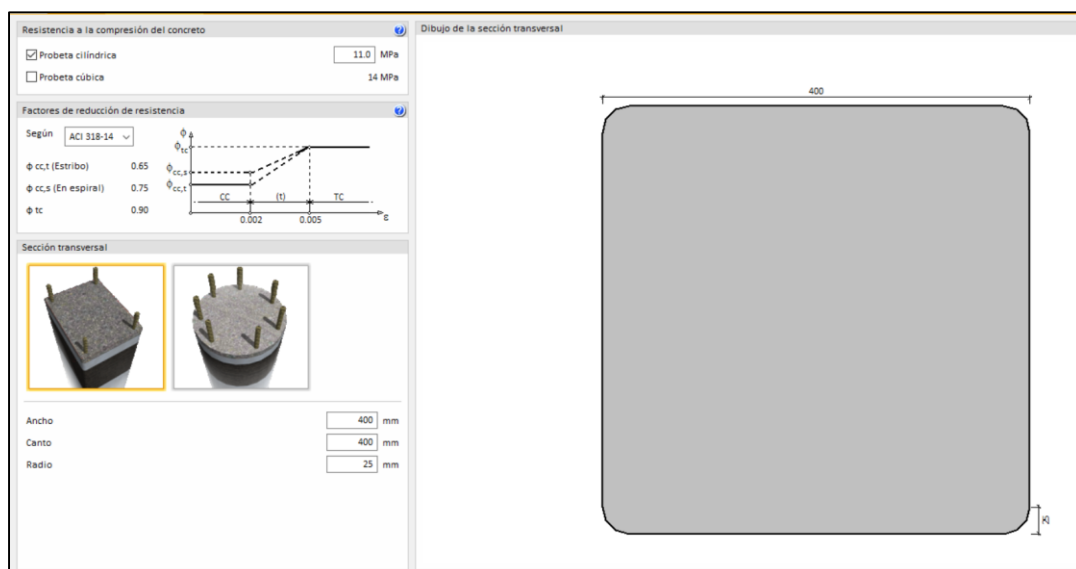


Figura 3.12 Ingreso de datos

- **Datos de la platina CFRP:** El software permite seleccionar las características de las platinas de CFRP (como el tipo, ancho y espesor) según los requerimientos del proyecto y basados en las tablas de especificaciones del fabricante, Sika CarboDur.

B. Modelado de la Estructura

- El software modela los elementos estructurales que requieren refuerzo (vigas y columnas), incorporando las condiciones de carga actuales del edificio.
- Se define la geometría de los elementos y las dimensiones específicas de las vigas y columnas que serán reforzadas.
- En el proceso de modelado, también se consideran las combinaciones de carga, como cargas vivas, muertas, y sísmicas, en conformidad con la normativa (**NEC 2015**).

The screenshot displays a software interface for defining reinforcement. The left panel, titled 'Armadura simétrica definida por diámetros', contains input fields for reinforcement details. The right panel, titled 'Sección transversal', shows a cross-section diagram of a rectangular element with reinforcement bars.

	Num. barras	Diámetro (mm)	Acero	f_y (MPa)
Esquina	4	12.00	Grade 275	275.00
Cara X	1	12.00	Grade 275	275.00
Cara Y	1	12.00	Grade 275	275.00

Distancia al centroide del refuerzo X: 30 mm
Distancia al centroide del refuerzo Y: 30 mm
Refuerzo de acero transversal: Estribo

The cross-section diagram on the right shows a rectangular element with a width of 450 mm. It features eight reinforcement bars: four corner bars and two bars on each of the longer vertical faces. The bars are represented by black dots within a gray rectangular area.

Figura 3.13 Ingreso de acero de refuerzo

C. Definición de Refuerzo

- Se selecciona el tipo y disposición del refuerzo de CFRP que será aplicado en cada elemento. El software calcula la cantidad y la ubicación óptima de las platinas Sika CarboDur en las zonas críticas de los elementos estructurales.
- **Cálculo de flexión y cortante:** El software utiliza fórmulas basadas en la normativa ACI como es la 440.2R-08 para determinar la resistencia adicional proporcionada por el CFRP en cada elemento.

Tabla 3.16 Datos de carga axial y momentos en obtenido en el modelo estructural (carga muerta)

	Axial	Momento x	Momento y
Nudo F7	557.32 kN	4.94 kN.m	2 kN.m
Nudo F9	148.12 kN	9.9 kN.m	6.94 kN.m

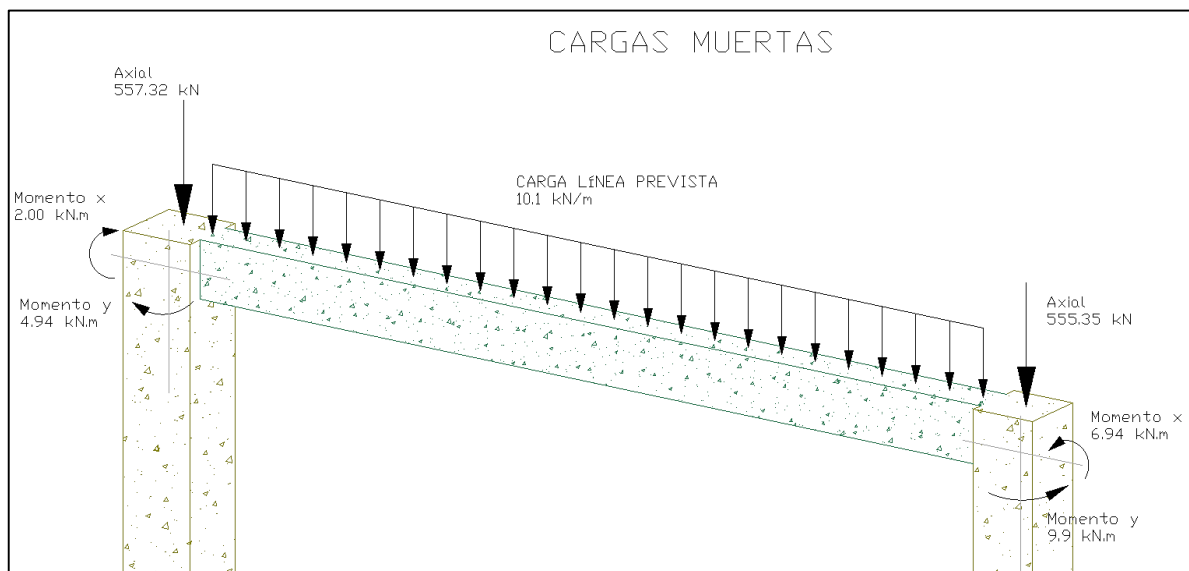


Figura 3.14 Cargas axiales, momentos en columnas y cargas línea en viga, (en elemento seleccionados con cargas muertas)

Tabla 3.17 Datos de carga axial y momentos en obtenido en el modelo estructural (carga viva)

	Axial	Momento x	Momento y
Nudo F7	189.19 kN	0.99 kN.m	0.34 kN.m
Nudo F9	148.12 kN	2.91 kN.m	3.43 kN.m

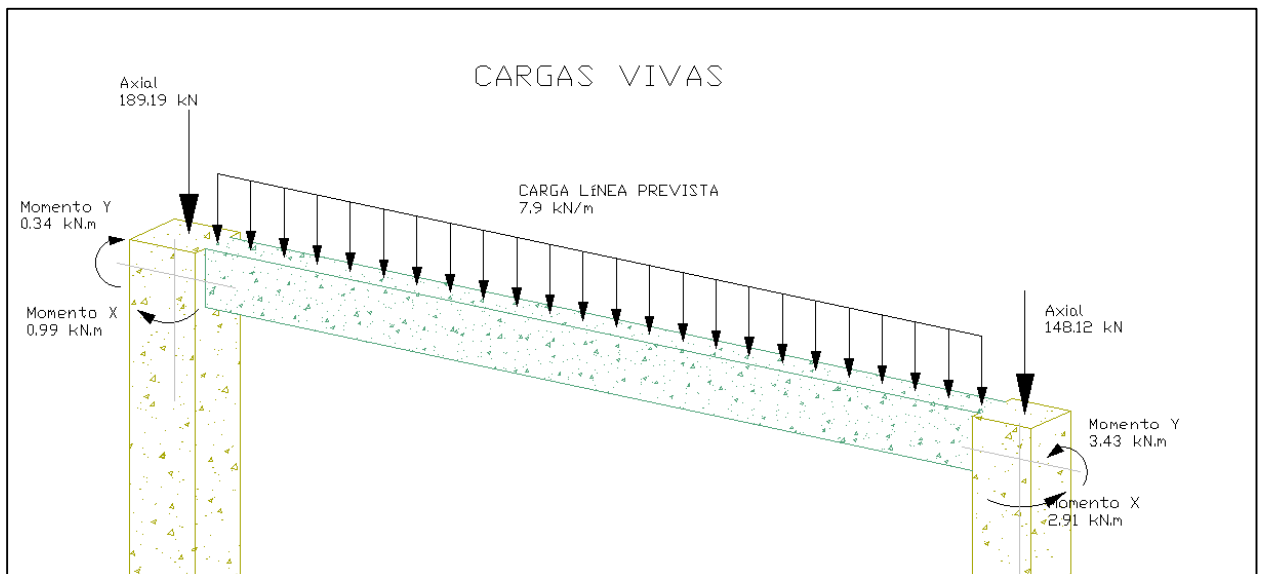


Figura 3.15 Cargas axiales, momentos en columnas y cargas lineales en viga, (en elementos seleccionados con cargas vivas)

Tabla 3.18 Datos calculados para viga y obtenidos del ETABS

Ancho tributario	3.3 m
Carga viva	2.4 kN/m ²
Carga muerta	3.06 kN/m ²
Cargas lineales previstas	
Carga viva	7.92 kN/m
Carga muerta	10.098 kN/m
Cortante	Cargas vivas 13.53 kN
	Cargas muertas 33.5 kN

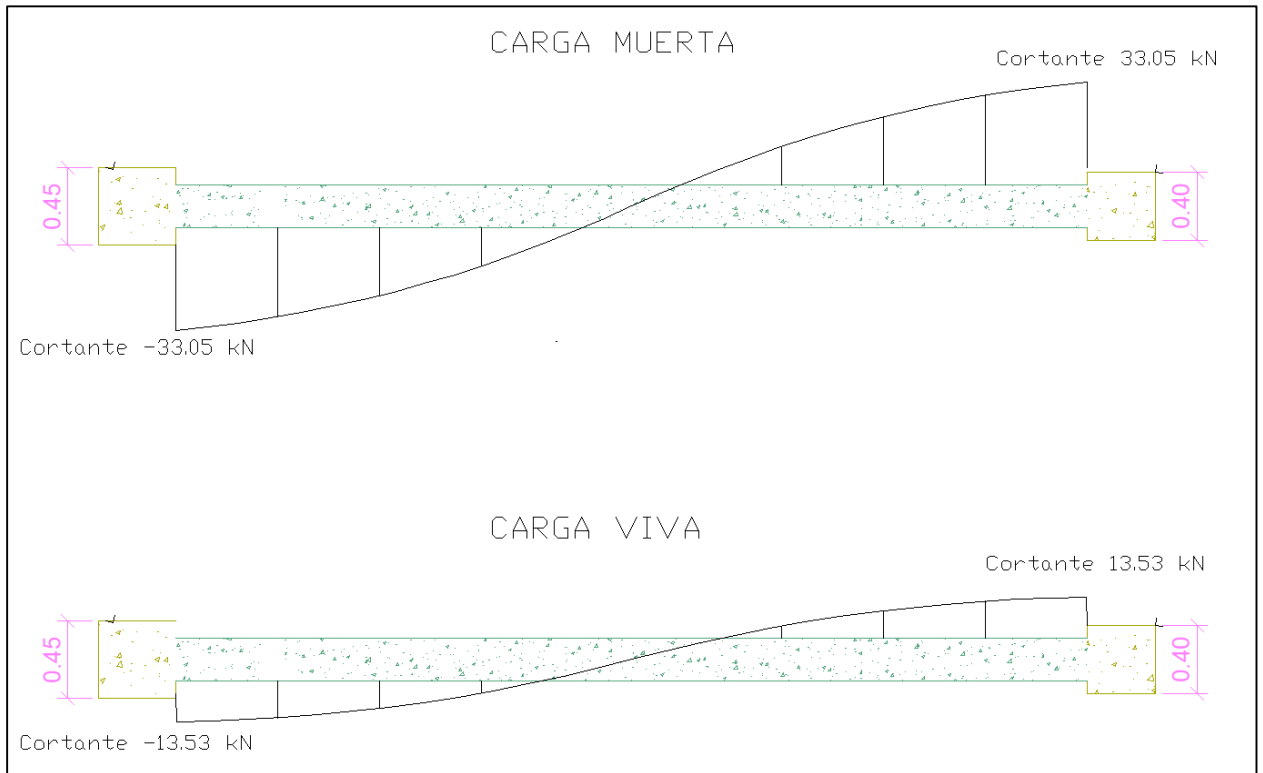


Figura 3.16 Cortantes en viga analizada

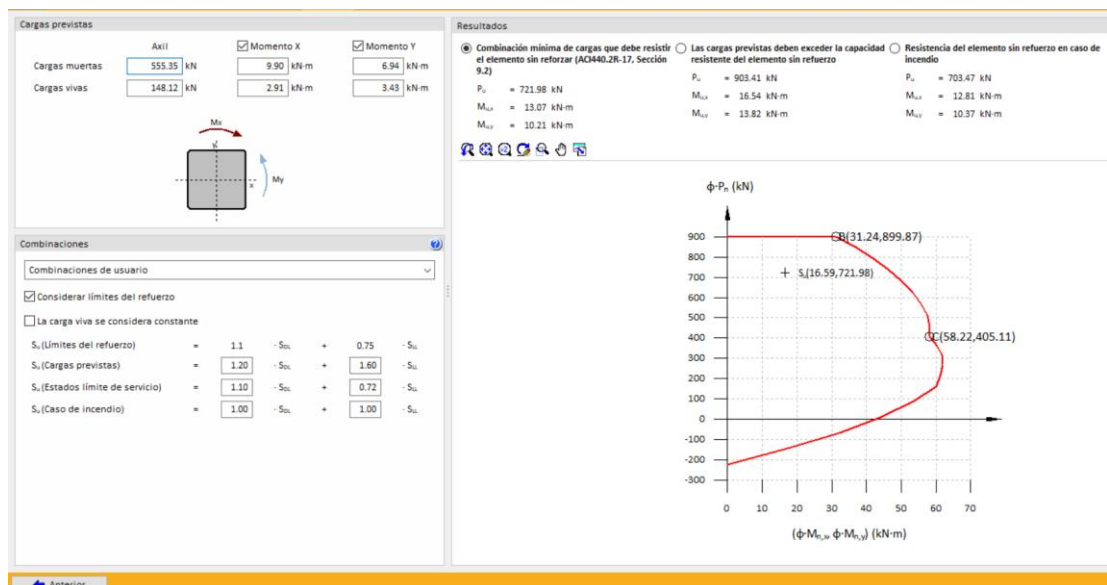


Figura 3.17 Ingreso cargas axiales y momentos

D. Simulación y Validación con la Rehabilitación

- El software ejecuta una simulación para evaluar el comportamiento de la estructura reforzada bajo las cargas actuantes. En este paso se verifica que los elementos analizado cumplan con los parámetros de resistencia y deformación establecidos por las normativas.
- Se observan los resultados de las deformaciones, esfuerzos, y la efectividad del refuerzo de CFRP en reducir las fisuras y mejorar el desempeño global de la estructura.

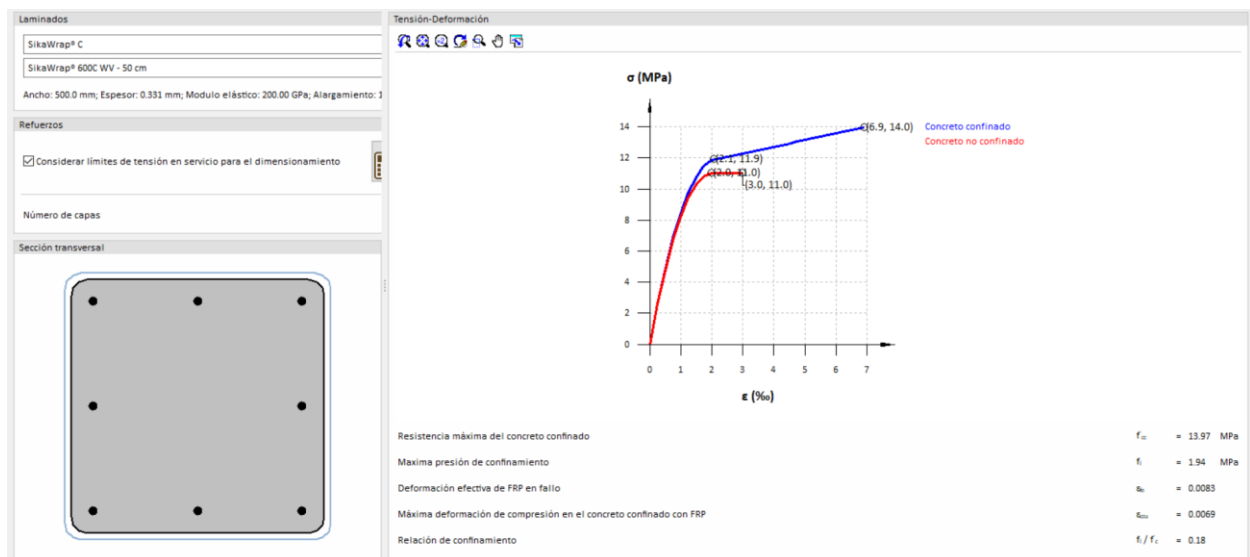


Figura 3.18 Dimensionamiento en columnas

E. Generación de Reportes

- Al finalizar la simulación, el software genera un reporte detallado con los resultados del análisis. Este reporte incluye:
 - Las cantidades de material necesarias para el refuerzo.
 - Las tensiones y deformaciones en cada elemento estructural.
 - Los gráficos de esfuerzo y deformación de los elementos reforzados.
- Este reporte es esencial para la toma de decisiones y para documentar el proceso de rehabilitación estructural en el proyecto de titulación. Anexo II

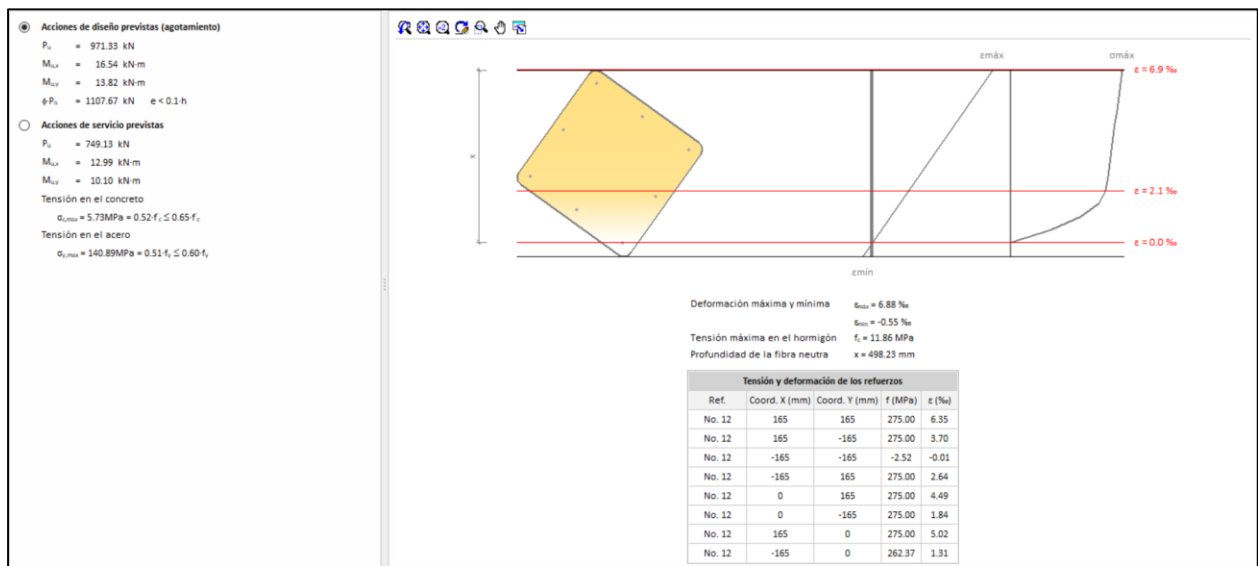


Figura 3.19 Resultados de rehabilitación en columnas

3.2 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos para el refuerzo de vigas mediante CFRP ha sido desarrollado tomando en cuenta criterios de diseño y normas especificadas en ACI 440.2R-17 y ACI 318, aplicados al proyecto de titulación. Los resultados de resistencia a flexión y cortante han proporcionado valores que permiten evaluar las capacidades de los elementos estructurales antes y después del reforzamiento. Se presenta la siguiente table con un esquema que permite la visualización de los resultados obtenidos en el reforzamiento que se realizó en las columnas y viga evaluadas en el proyecto.

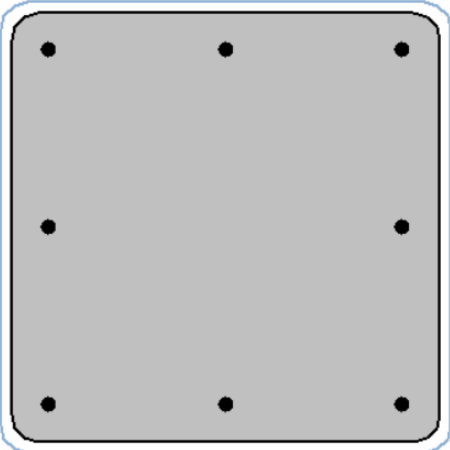
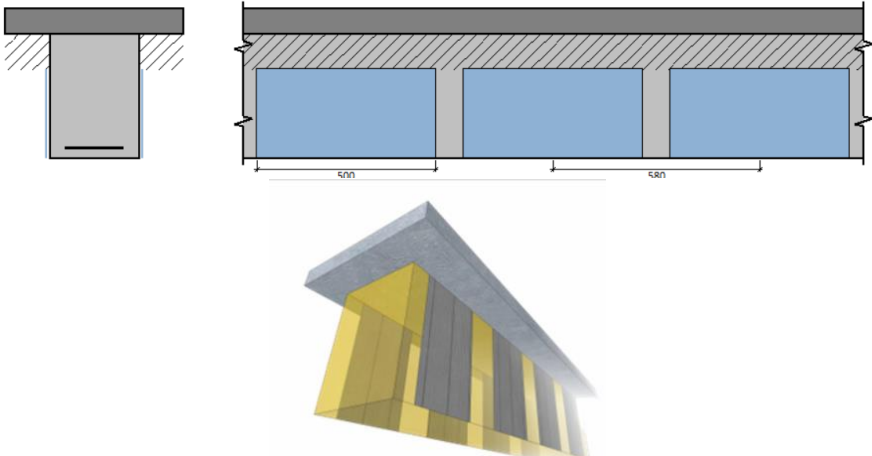
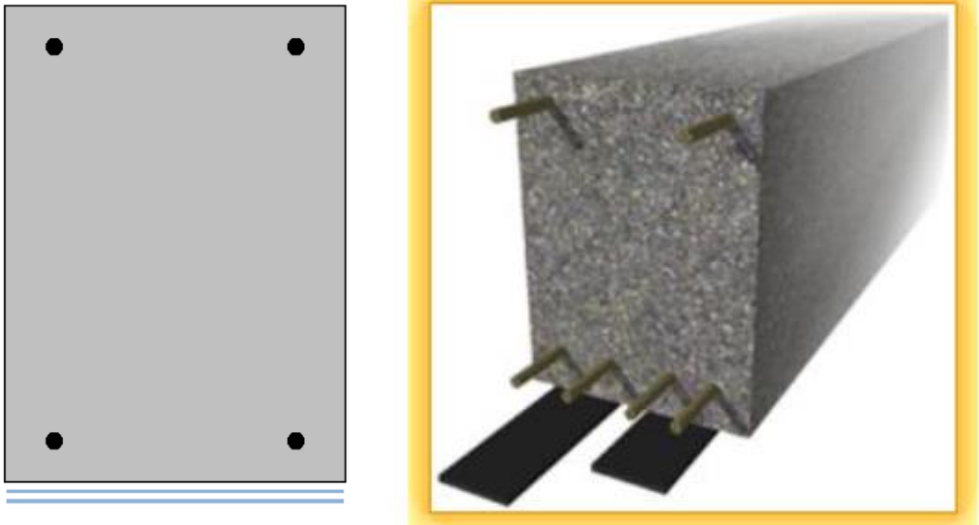
Tabla 3.19 Tabla de resumen de reportes generados por software SIKA

Elemento	Criterios de Diseño	Resultados Clave	Especificaciones del FRP	Adhesivo Utilizado
Columna 45X45	ACI 440.2R-17 ACI 318	Pu sin reforzar: 754. 94 kN, Mu,x: 5.76 kN·m, Mu,y: 2.46 kN·m	No requiere reforzar	

Elemento	Criterios de Diseño	Resultados Clave	Especificaciones del FRP	Adhesivo Utilizado
Columna 40X40	ACI 440.2R-17 ACI 318	Pu reforzado: 903.41 kN, Mu,x: 16.54 kN·m, Mu,y: 13.82 kN·m	1 capa de SikaWrap® 600C WV, ancho de 50 cm	Sikadur®-300
Viga 25x35 flexión	ACI 440.2R-17	$\phi \cdot Mn$ (con refuerzo) $\geq Mu$ (Cargas previstas) 42.46 kN·m $\geq$ 24.79 kN·m	2 capa de SikaWrap® 600C WV, b	Sikadur®-300
Viga 25x35 cortante	ACI 440.2R-17	Vu reforzado: 61.85kN, Vn reforzado: 92.13 kN, disposición: bandas a 90°	1 capa de SikaWrap® 600C WV, bandas discretas, espaciado de 580	Sikadur®-300

Tabla 3.20 Ilustración grafica de los refuerzos

Elemento	Otros detalles relevantes
Columna 45x45	NO REQUIERE

Elemento	Otros detalles relevantes
Columna 40x40	
Viga 25x35 (Cortante)	
Viga 25x35 (Flexión)	

Este refuerzo asegura una mejor capacidad de carga y estabilidad de la estructura del edificio ante futuros eventos sísmicos y cargas adicionales, contribuyendo de manera efectiva a la continuación de la vida útil del sistema estructural del edificio.

Especificaciones técnicas

Se ha generado un presupuesto detallado para la rehabilitación con fibras de carbono (CFRP) basándose en normativas de construcción relevantes, como la NEC 2015 (Norma Ecuatoriana de la Construcción) (NEC - SE - DS, 2014) y otras recomendaciones para el uso de refuerzos de polímeros reforzados con fibra y se generó un Análisis de Precios Unitarios (APU) se encuentran en el Anexo IIV y especificar técnicamente las actividades correspondientes, las cuales se presentan la secuencia de la aplicación de CFRP se muestra en el siguiente link: <https://www.youtube.com/watch?v=UHkFAKU sap0>

Cada uno de los rubros es una actividad en el presupuesto, generando un análisis unitario que incluirá:

Mano de Obra: Se especificará la cantidad de trabajadores necesarios (peones, oficiales, maestros), su rendimiento y costo.

Materiales: Se incluirán los materiales como imprimantes, resinas, fibra de carbono, etc.

Equipos: Se consideran equipos como amoladoras, aspiradoras, espátulas y rodillos.

Transporte: Si aplica, se calculará el costo de traslado de materiales al sitio de la obra.

Tabla 3.21 Procedimiento para rehabilitación con fibras de carbono

PRESUPUESTO GENERAL					
N°	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Total (USD)
FRP 01-001	Preparación de la superficie mediante pulido y eliminación de imperfecciones	m2	10,6	\$13,61	\$144,28
FRP 01-002	Redondeo de aristas en los elementos estructurales	m	24,6	\$12,09	\$297,51

PRESUPUESTO GENERAL					
N°	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Total (USD)
FRP 01-003	Reparación de cualquier daño o deterioro identificado	m2	5	\$22,83	\$114,15
FRP 01-004	Aspirado superficial para eliminar el polvo y residuos	m2	10,6	\$0,73	\$7,69
FRP 01-005	Aplicación de una capa de imprimación y saturaste	m2	10,6	\$331,46	\$3.513,47
FRP 01-006	Aplanado de la tela de fibra de carbono con espátulas plásticas	m	28,77	\$99,80	\$2.871,10
FRP 01-007	Compresión de la tela utilizando un rodillo	m	28,77	\$246,40	\$7.088,86
FRP 01-008	Arenado en húmedo para proporcionar un anclaje adecuado para el acabado final	m2	10,6	\$250,82	\$2.658,71
FRP 01-009	Mortero para enlucido	m2	10,6	\$250,82	\$2.658,71
				Total de rehabilitación	\$19.354,49

Rubro FRP 01-001. Preparación de la superficie (Pulido y eliminación de imperfecciones)

Especificación técnica:

La superficie de las columnas o vigas debe ser preparada eliminando cualquier imperfección visible (fisuras superficiales, cavidades, residuos). Se utiliza una amoladora con disco abrasivo para pulir el concreto, garantizando una superficie lisa y uniforme. Este proceso es crucial para asegurar la correcta adhesión del CFRP. Las zonas afectadas por humedad o contaminación de sustancias químicas deben ser limpiadas y secadas completamente antes de continuar.

Normativa aplicable:

NEC2015 Sección 6.2.2.1, que exige superficies de concreto adecuadamente preparadas.

Mano de obra: Albañil y peones.

Equipos: Amoladora, equipo de protección personal (EPP) como mascarillas, guantes y gafas de seguridad.

Materiales: Discos abrasivos

Tiempo estimado: Depende del estado del hormigón, pero usualmente toma entre 1-2 horas por columna y se calcula por m².

Rubro FRP 01-002 . Redondeo de aristas en los elementos estructurales

Especificación técnica:

Las aristas vivas o afiladas en las columnas o vigas pueden afectar la distribución de las tensiones en la fibra de carbono, debilitando el refuerzo. Por lo tanto, se debe realizar un redondeo de todas las esquinas con radios de al menos 10 mm. Este procedimiento asegura que no haya concentraciones de tensiones en las fibras que puedan comprometer el rendimiento del refuerzo.

Normativa aplicable:

ACI 440.2R-17, que especifica la importancia del redondeo de aristas para la correcta aplicación de CFRP.

Mano de obra: Especialista en corte.

Equipos: Amoladora con discos para redondeo, esmeril angular.

Materiales: Discos de corte.

Tiempo estimado: 1-1.5 horas por columna, dependiendo de la cantidad de aristas.

Consideraciones especiales: Medir constantemente el radio del redondeo para cumplir con las especificaciones.

Rubro FRP 01-003. Reparación de cualquier daño o deterioro identificado

Especificación técnica:

Se deben reparar todas las grietas, fisuras o áreas deterioradas en la superficie de concreto. Esto implica el uso de morteros de reparación no retráctiles o resinas epóxicas, dependiendo de la magnitud de los daños. Las reparaciones deben garantizar que el concreto recupere su capacidad estructural y que las superficies estén libres de contaminantes antes de la aplicación del CFRP.

Normativa aplicable:

NEC2015 Capítulo 5, referente a la rehabilitación estructural y **ACI 546R-14** (Guía para la reparación de estructuras de concreto).

Mano de obra: Albañil especializado.

Materiales: Mortero de reparación, selladores.

Equipos: Mezcladora de mortero.

Tiempo estimado: Varía según el nivel de daño; normalmente 2-4 horas por columna.

Consideraciones especiales: Debe secarse completamente las reparaciones antes de continuar con el siguiente paso.

Rubro FRP 01-004. Aspirado superficial (eliminación de polvo y residuos)

Especificación técnica:

El área preparada debe estar libre de cualquier residuo de polvo, partículas o fragmentos sueltos que puedan impedir la adhesión del CFRP. Se utiliza una aspiradora industrial para limpiar toda la superficie antes de aplicar cualquier capa de imprimación. En áreas de difícil acceso se puede utilizar aire comprimido.

Normativa aplicable:

ACI 503R, relacionada con el uso de resinas epóxicas en concreto.

Mano de obra: Operario.

Equipos: Aspiradora industrial, sopladores de aire comprimido.

Materiales: N/A

Tiempo estimado: 30 minutos a 1 hora por columna.

Consideraciones especiales: Verificar visualmente la limpieza antes de aplicar la imprimación.

Rubro FRP 01-005. Aplicación de imprimación y saturante

Especificación técnica:

Se debe aplicar una capa uniforme de imprimación epóxica sobre la superficie preparada. La imprimación sirve para aumentar la adherencia del sistema CFRP al concreto y asegurar una conexión sólida. El saturante es una resina especial que impregna la fibra de carbono y garantiza su adherencia al sustrato. Es importante seguir los tiempos de secado especificados por el fabricante.

Normativa aplicable: **ACI 440.8M-13**, sobre instalación de CFRP.

Mano de obra: Especialista en CFRP.

Materiales: Imprimante epóxico.

Equipos: Brochas, rodillos de alta densidad, mezcladora de resinas.

Tiempo estimado: 1 hora por columna.

Consideraciones especiales: Respetar el tiempo de secado recomendado por el fabricante.

Rubro FRP 01-006. Aplanado de la fibra de carbono con espátulas

Especificación técnica:

Una vez que la imprimación ha secado, se aplica la tela de fibra de carbono sobre la superficie. Con espátulas plásticas, se aplanan las fibras, eliminando burbujas de aire o arrugas para asegurar que el material quede completamente adherido. El objetivo es maximizar el contacto entre la fibra y el concreto.

Normativa aplicable:

ACI 440.2R-17, sobre procedimientos de instalación de CFRP.

Mano de obra: Instalador especializado en CFRP.

Equipos: Espátulas plásticas, guantes de seguridad.

Materiales: Fibra de carbono preimpregnada.

Tiempo estimado: 1-1.5 horas por columna.

Consideraciones especiales: No permitir que se formen burbujas o pliegues, ya que estos comprometen la integridad estructural del refuerzo.

Rubro FRP 01-007. Compresión de la tela con rodillo

Especificación técnica:

La tela de fibra de carbono debe ser comprimida con un rodillo siguiendo la dirección de la fibra, asegurando su correcta impregnación con la resina epóxica. Este proceso asegura que las fibras no se separen del concreto ni presenten puntos de debilitamiento.

Normativa aplicable:

NEC2015 - Capítulo sobre refuerzos estructurales Y
ACI 440.2R-17.

Mano de obra: Operario especializado.

Equipos: Rodillo de compresión.

Materiales: Resina epóxica, fibra de carbono.

Tiempo estimado: 30 minutos por columna.

Consideraciones especiales: Repetir el proceso hasta asegurarse de que no hay zonas con resina sobrante o deficiente.

Rubro FRP 01-008. Arenado en húmedo para proporcionar un anclaje adecuado para el acabado final y mortero para enlucido

Especificación técnica:

Después de aplicar las fibras y antes de los acabados finales, se realiza un arenado en húmedo para garantizar un anclaje adecuado de las capas posteriores de

recubrimiento o pintura. Este proceso también elimina cualquier residuo de la aplicación de la fibra de carbono.

Normativa aplicable:

ACI 503R, sobre preparación de superficies para recubrimientos epóxicos.

Mano de obra: Albañil

Equipos: Máquina de arenado, agua a presión, equipo de protección personal.

Materiales: Arena de sílice.

Tiempo estimado: 1 hora por columna.

Consideraciones especiales: Asegurar que el arenado no dañe la fibra.

3.3 Diseño de la solución

El diseño de la solución para el refuerzo estructural del edificio se fundamenta en la integración de datos obtenidos a través de ensayos y análisis numéricos, los cuales han sido cruciales para establecer los requerimientos de refuerzo mediante fibras de carbono (CFRP) Anexo I “Planos arquitectónicos” y Anexo II “Planos de selección de elementos estructurales a reforzar”.

Con los datos de los ensayos y las cuantías de acero establecidas en el informe de diagnóstico, se generó un modelo estructural numérico del edificio, *Anexo III “Cantidad de varillas según cuantía”*. Este modelo permitió analizar la respuesta estructural bajo diferentes condiciones de carga y evaluar las zonas de mayor vulnerabilidad Anexo IV “Modelo estructural ETABS”. Los resultados obtenidos del modelado numérico proporcionaron los parámetros necesarios para el dimensionamiento del refuerzo con CFRP a los elementos seleccionados, tales como esfuerzos máximos, y momentos.

Utilizando el software de diseño estructural, los datos derivados del modelo numérico fueron ingresados para dimensionar el refuerzo con CFRP en columnas y viga seleccionados Anexo V” Reportes de software SIKa de elementos estructurales”. Este software permitió definir la cantidad y disposición óptima de fibras de carbono

para cada elemento estructural, garantizando que el refuerzo cumpla con los requerimientos de resistencia a flexión y cortante. *Anexo VI “Planos estructurales y aplicación de CFPR en elementos estructurales seleccionados”*

La aplicación de CFRP se llevará a cabo siguiendo los procedimientos de adhesión en seco y húmedo, según las condiciones específicas de cada elemento y el tipo de esfuerzo predominante. La metodología de aplicación y los controles de calidad durante la instalación serán estrictamente supervisados para asegurar que el refuerzo cumpla con los estándares de la ACI 440.2R-17 y ACI 318. *Anexo VII “Presupuesto Referencial”*

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo confirmaron la viabilidad técnica y económica del uso de fibras de carbono (CFRP) como método de rehabilitación estructural en el edificio del Banco de Desarrollo del Ecuador. El análisis y la simulación computacional con el software Sika CarboDur® evidenciaron mejoras significativas en las capacidades estructurales: un incremento del 25% en la capacidad resistente última en columna, un aumento del 44% en la resistencia al corte en la viga y una mejora del 85% en el momento flector. Estas mejoras reducen notablemente la vulnerabilidad de la estructura ante cargas sísmicas, asegurando un mejor desempeño frente a las solicitaciones establecidas por la normativa NEC-2015.

Por otra parte, el análisis determinó que la columna de sección 45 x 45 no requiere reforzamiento con fibras de carbono. Esto se debe a que los axiales de carga viva y muerta, junto con los momentos en las direcciones x e y, según los resultados del programa de simulación, se encuentran dentro de los límites de seguridad, cumpliendo con los requisitos de diseño dentro del programa de modelación CFRP sin tener que reforzar.

Con la utilización de métodos de ensayo destructivos y no destructivos, combinados con herramientas de modelación estructural, como ETABS y Sika CarboDur®. Se permitió obtener datos precisos sobre el estado actual de los elementos estructurales y diseñar una solución.

Este proyecto resalta la efectividad del CFRP frente a métodos tradicionales de refuerzo, como el encamisado de concreto o acero, al ser menos invasivo, más ligero y sostenible. Además, su aplicación contribuye a prolongar la vida útil de estructuras deterioradas sin necesidad de demoliciones costosas.

A nivel multidisciplinario, el proyecto combina aspectos de ingeniería estructural, materiales avanzados y economía, destacando su relevancia para futuras investigaciones en rehabilitación sostenible de edificaciones. Los resultados obtenidos respaldan la implementación de CFRP como una solución efectiva en zonas de alta actividad sísmica, posicionando esta tecnología como una herramienta clave en la ingeniería civil moderna.

Recomendaciones

Se recomienda implementar sistema de monitoreo estructural continuo en elementos a reforzar, utilizando sensores que midan las tensiones y deformaciones en los elementos reforzados con CFRP. Esto permitirá evaluar el comportamiento a largo plazo del refuerzo y realizar ajustes si se identifican fallas o degradaciones.

Se recomienda profundizar en estudios sobre la durabilidad del CFRP en condiciones ambientales adversas, como altas temperaturas, humedad o exposición a agentes químicos. Esto permitirá optimizar su uso en diversas regiones y climas.

Para futuras reparaciones, es necesario capacitar a profesionales en la correcta aplicación de CFRP, enfocándose en técnicas de preparación de superficies, instalación y control de calidad, según normativas internacionales.

Se recomienda impulsar la actualización de normativas locales, como la NEC-2015, para incluir lineamientos específicos sobre el uso de CFRP en rehabilitación estructural. Esto facilitará su adopción en proyectos públicos y privados, asegurando estándares homogéneos en su aplicación.

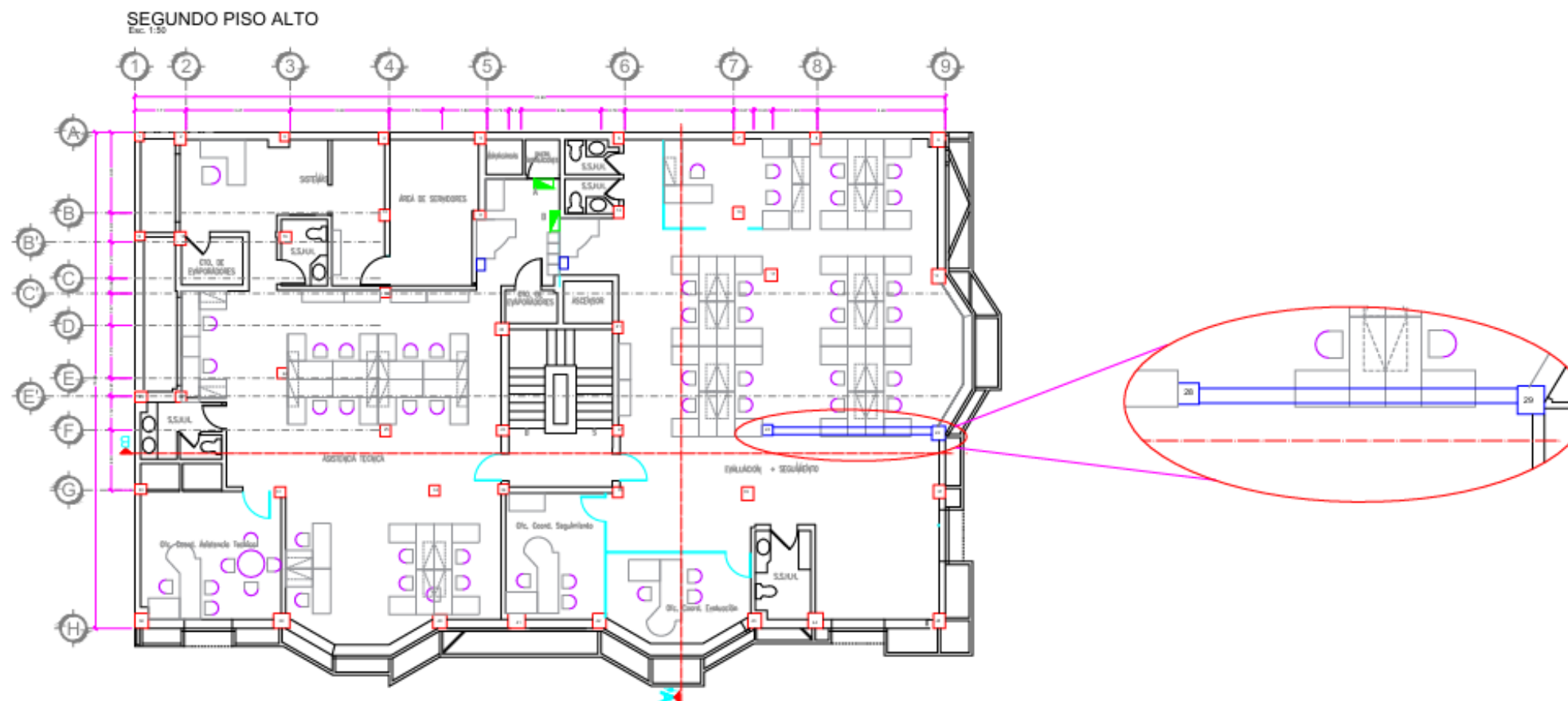
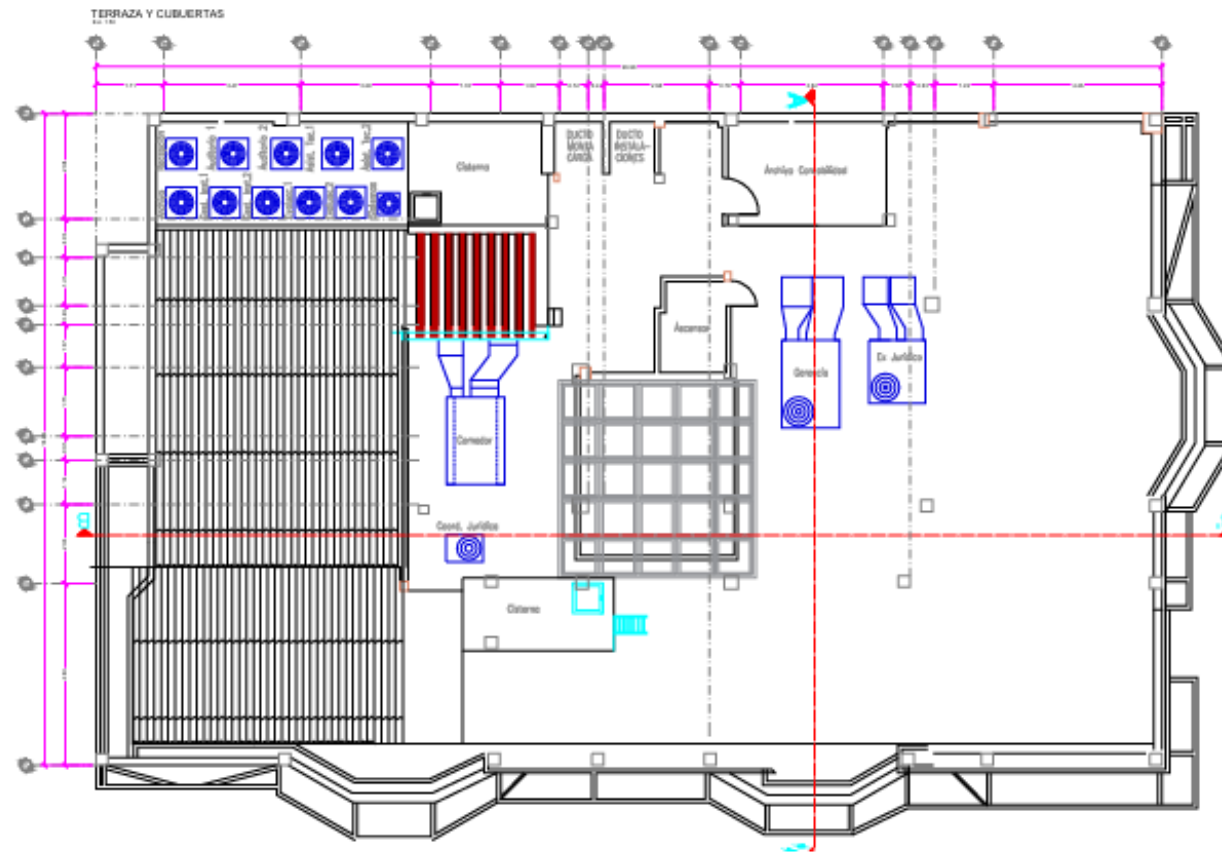
Realizar análisis costo-beneficio en proyectos a gran escala para demostrar las ventajas económicas de la tecnología CFRP a largo plazo, promoviendo su aceptación y uso generalizado en la industria de la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- Arquitectura Tecnica.net. (n.d.). *Fundamentos de los elementos estructurales en arquitectura*. 2023. Retrieved November 27, 2024, from <https://arquitecturatecnica.net/>
- Baquer, J. (2021). *LA FIBRA DE CARBONO EN REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN: Vol. Segunda Edición* (Institut D'Estudis Estructurals, Ed.).
- Civil, F. (2023, March 18). *TIPOS DE VIGAS DE CONCRETO*. <https://www.libreingenieriacyvil.com/2023/03/tipos-de-vigas-de-concreto.html>
- ESDIMA, S. (2018). *Configuración de elementos estructurales: vigas, columnas y cimentaciones*. <https://master-diseño.com/>
- Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. In *Mc Graw Hill Education: Vol. 6ta edición*.
- GOOGLE MAPS. (2024). *Ubicación BDE*. https://www.google.com.ec/maps/place/Banco+del+Estado/@-2.1888514,-79.8906603,18.75z/data=!4m6!3m5!1s0x902d6dd89e0d0c2f:0xc7751b39d361f0fd!8m2!3d-2.1889595!4d-79.8896488!16s%2Fg%2F1hm5msz55?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTAyMy4wLWlKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- Martinez, G. (2020). ¿Sabes diferenciar entre Fisuras o Grietas? Aprende a diferenciarlas, tratarlas y prevenirlas. *Ingeniería y Construcción*. <https://www.ingenieriaconstruccioncolombia.com/fisuras-o-grietas/>
- Muñoz, C. (2018). *INFORME TECNICO DE DIAGNOSTICO*.
- Naciones Unidas. (2015, September 25). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- NEC - SE - DS. (2014). *Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente*.
- NEC - SE - RE. (2014). *RIESGO SÍSMICO, EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS*.
- Sika. (2015). *GUÍA DE USUARIO*.
- Sika. (2018). *HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO Sika® CarboDur® S*.
- Uribe, J. (2017, November 24). *SISTEMA CONSTRUCTIVO APORTICADO*. <https://sistemaaporticado.blogspot.com/2017/11/elementos-estructurales.html>

PLANOS Y ANEXOS

ANEXO I, PLANO ARQUITECTONICO



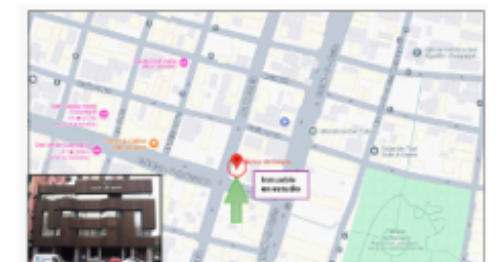
MARIA BELEN CHICAIZA YANEZ

PLANOS ARQUITECTÓNICO

CONTIENE: Terrazas y Cubiertas
Pórtico seleccionado

PROYECTO: Rehabilitación de columnas y vigas de hormigón armado para aumento de resistencia con fibras de carbono del edificio Banco de Desarrollo del Ecuador en la ciudad de Guayaquil.

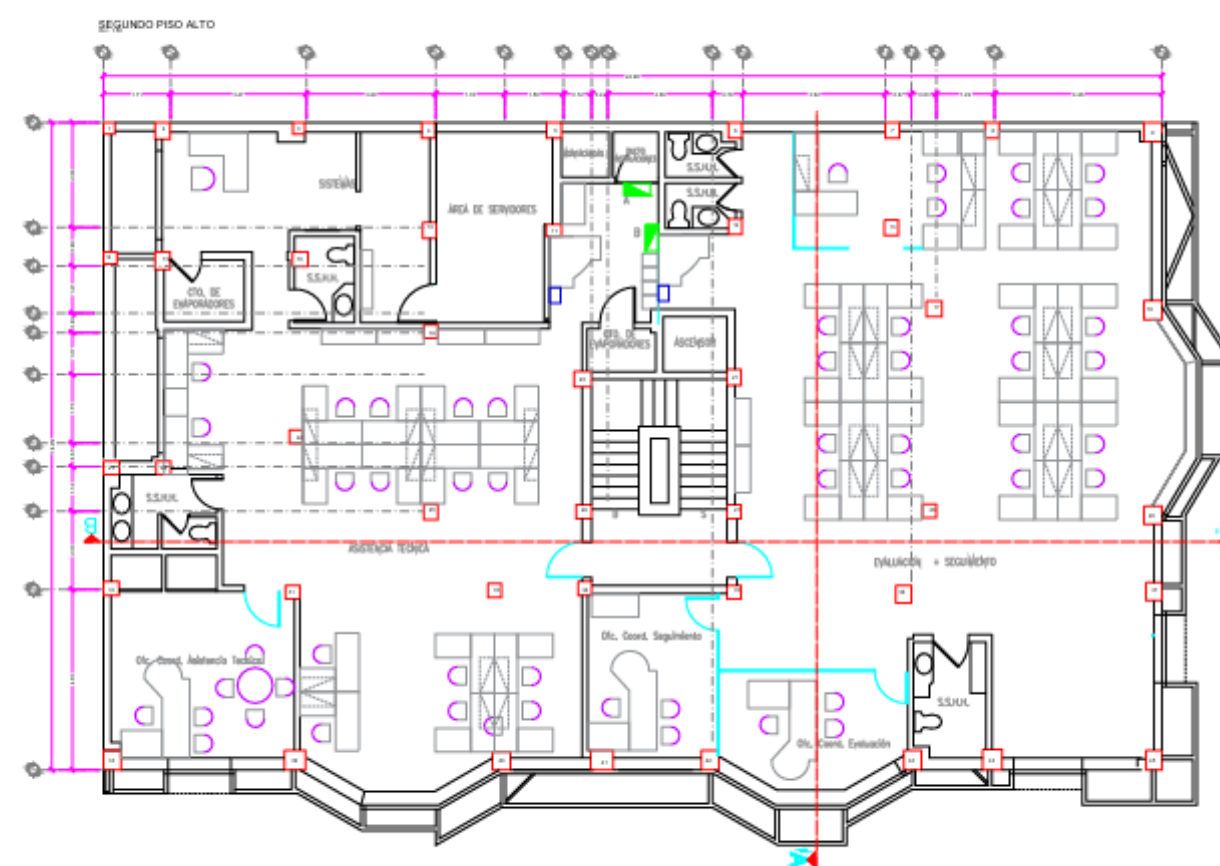
UBICACIÓN: AV 10 DE OCTUBRE Y MACHALA - GUAYAQUIL - GUAYAS



FECHA: 7/11/2024

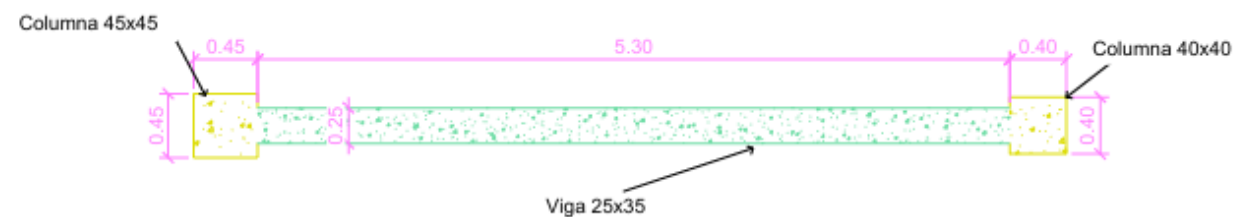
ESCALA: DEFINIDAS

LAMINA: Anexo I

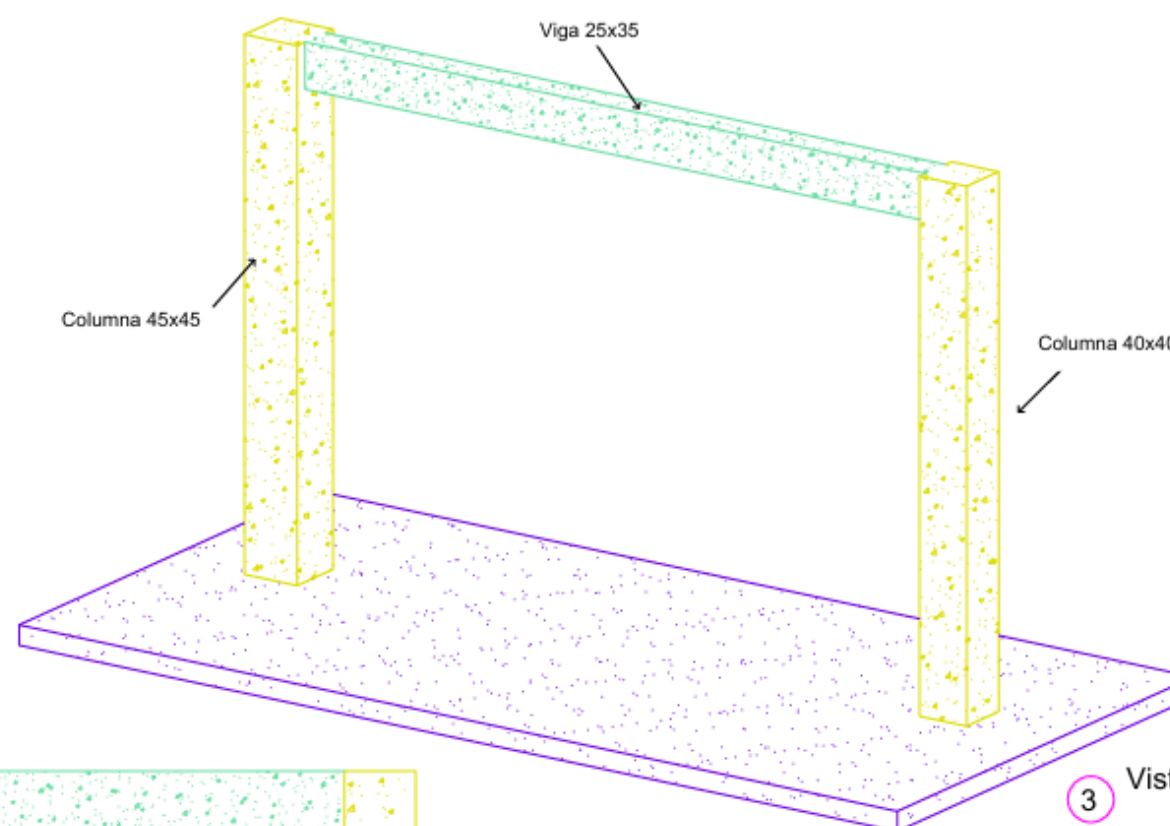


LAMINA:
Anexo I

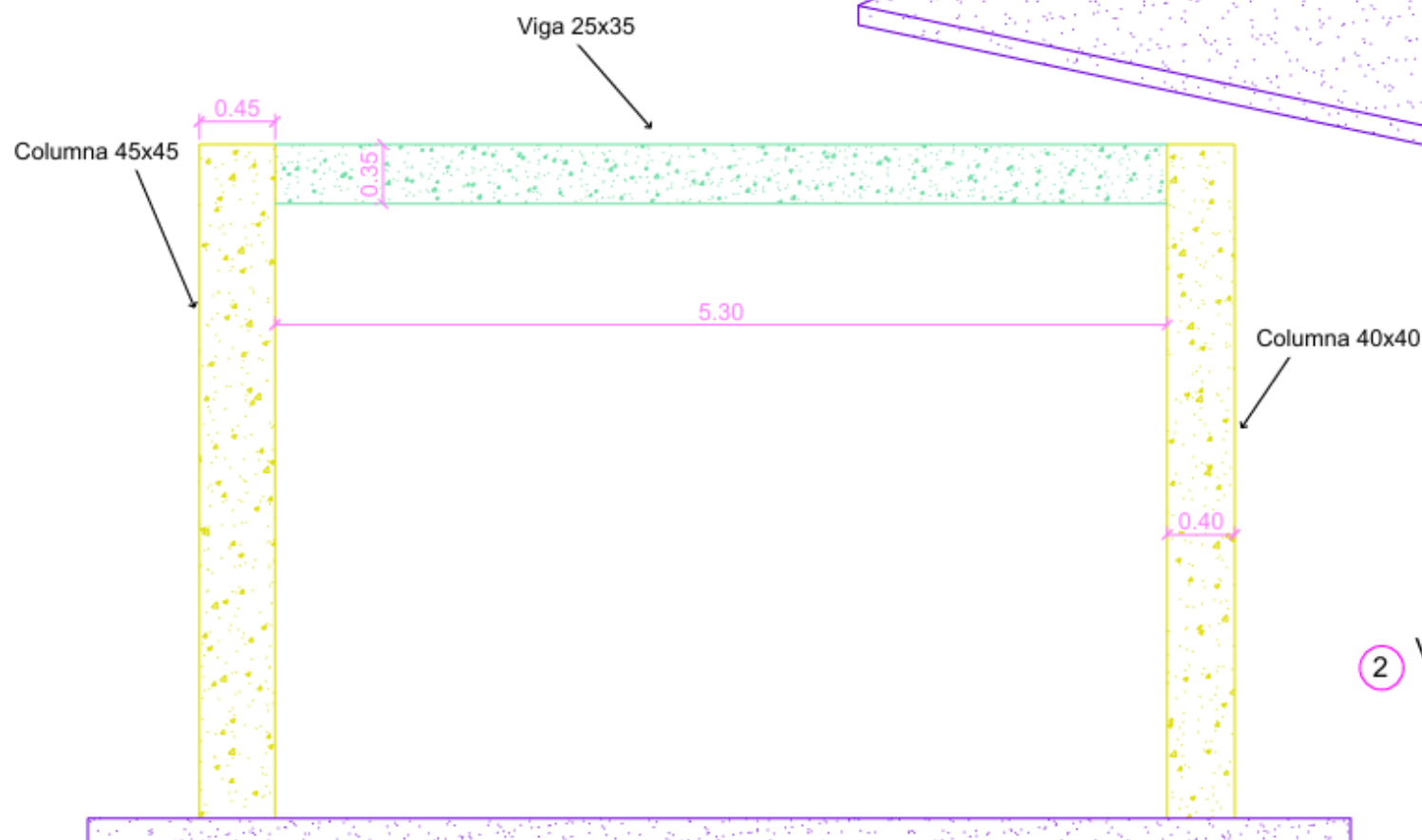
ANEXO II, PLANO PÓRTICO SELECCIONADO



1 Vista en planta
1 : 25



3 Vista en 3D



2 Vista lateral
1 : 20

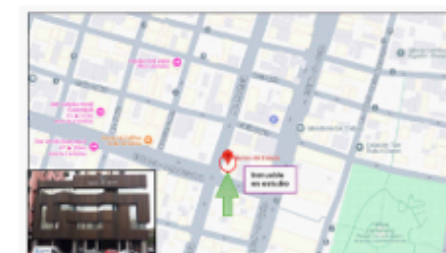
MARIA BELEN CHICAIZA YANEZ

PÓRTICO SELECCIONADO

CONTIENE:
Vista en planta
Vista de seccion transversal
vista en 3D

PROYECTO:
Rehabilitación de columnas y vigas de
hormigón armado para aumento de
resistencia con fibras de carbono del
edificio Banco de Desarrollo del Ecuador
en la ciudad de Guayaquil.

UBICACIÓN:
AV 10 DE OCTUBRE Y MACHALA -
GUAYAQUIL - GUAYAS



FECHA: 7/11/2024

ESCALA:
DEFINIDAS

LAMINA:
Anexo II

ANEXO III, CALCULO ESTRUCTURAL EN COLUMNAS

ELEMENTO	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm2)				
COLUMNA	40	40	1600				
Diámetro (mm)	Área de varilla (cm2)	No. Varillas	Área de acero (cm2)		Cuantía		
8	0.50		0.00		0.00		
10	0.79	0	0.00		0.00		
12	1.13	8	9.05		0.57		
14	1.54		0.00		0.00		
16	2.01		0.00		0.00		
18	2.54		0.00		0.00		
20	3.14		0.00		0.00		
22	3.80		0.00		0.00		
			9.05		0.57	%	

ELEMENTO	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm2)				
COLUMNA	50	50	2500				
Diámetro (mm)	Área de varilla (cm2)	No. Varillas	Área de acero (cm2)		Cuantía		
8	0.50		0.00		0.00		
10	0.79		0.00		0.00		
12	1.13		0.00		0.00		
14	1.54		0.00		0.00		
16	2.01	8	16.08		0.64		
18	2.54		0.00		0.00		
20	3.14		0.00		0.00		
22	3.80		0.00		0.00		
			16.08		0.64	%	

ELEMENTO	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm2)				
COLUMNA	45	45	2025				
Diámetro (mm)	Área de varilla (cm2)	No. Varillas	Área de acero (cm2)		Cuantía		
8	0.50		0.00		0.00		
10	0.79		0.00		0.00		
12	1.13	4	4.52		0.22		
14	1.54		0.00		0.00		
16	2.01	4	8.04		0.40		
18	2.54		0.00		0.00		
20	3.14		0.00		0.00		
22	3.80		0.00		0.00		
			12.57		0.62	%	

ELEMENTO	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm2)				
COLUMNA	35	35	1225				
	4						
Diámetro (mm)	Área de varilla (cm2)	No. Varillas	Área de acero (cm2)		Cuantía		
8	0.50		0.00		0.00		
10	0.79	0	0.00		0.00		
12	1.13	8	9.05		0.74		
14	1.54		0.00		0.00		
16	2.01		0.00		0.00		
18	2.54		0.00		0.00		
20	3.14		0.00		0.00		
22	3.80		0.00		0.00		
			9.05		0.74	%	

ELEMENTO	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm2)				
COLUMNA	30	30	900				
Diámetro (mm)	Área de varilla (cm2)	No. Varillas	Área de acero (cm2)		Cuantía		
8	0.50		0.00		0.00		
10	0.79	0	0.00		0.00		
12	1.13	6	6.79		0.75		
14	1.54		0.00		0.00		
16	2.01		0.00		0.00		
18	2.54		0.00		0.00		
20	3.14		0.00		0.00		
22	3.80		0.00		0.00		
			6.79		0.75	%	

ELEMENTO	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm2)				
COLUMNA	40	40	1600				
Diámetro (mm)	Área de varilla (cm2)	No. Varillas	Área de acero (cm2)		Cuantía		
8	0.50		0.00		0.00		
10	0.79		0.00		0.00		
12	1.13		0.00		0.00		
14	1.54		0.00		0.00		
16	2.01	8	16.08		1.01		
18	2.54		0.00		0.00		
20	3.14		0.00		0.00		
22	3.80		0.00		0.00		
			16.08		1.01	%	

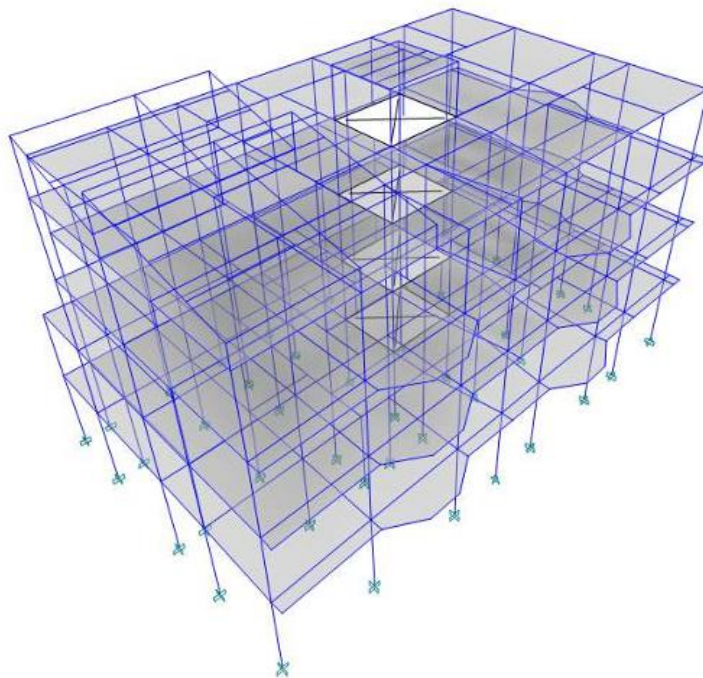
ELEMENTO	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm2)				
COLUMNA	30	30	900				
Diámetro (mm)	Área de varilla (cm2)	No. Varillas	Área de acero (cm2)		Cuantía		
8	0.50		0.00		0.00		
10	0.79		0.00		0.00		
12	1.13	6	6.79		0.75		
14	1.54		0.00		0.00		
16	2.01		0.00		0.00		
18	2.54		0.00		0.00		
20	3.14		0.00		0.00		
22	3.80		0.00		0.00		
			6.79		0.75	%	

ELEMENTO	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm2)				
COLUMNA	30	30	900				
Diámetro (mm)	Área de varilla (cm2)	No. Varillas	Área de acero (cm2)		Cuantía		
8	0.50		0.00		0.00		
10	0.79		0.00		0.00		
12	1.13	4	4.52		0.50		
14	1.54		0.00		0.00		
16	2.01		0.00		0.00		
18	2.54		0.00		0.00		
20	3.14		0.00		0.00		
22	3.80		0.00		0.00		
			4.52		0.50	%	

ELEMENTO	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm2)				
COLUMNA	25	25	625				
Diámetro (mm)	Área de varilla (cm2)	No. Varillas	Área de acero (cm2)		Cuantía		
8	0.50		0.00		0.00		
10	0.79		0.00		0.00		
12	1.13	4	4.52		0.72		
14	1.54		0.00		0.00		
16	2.01		0.00		0.00		
18	2.54		0.00		0.00		
20	3.14		0.00		0.00		
22	3.80		0.00		0.00		
			4.52		0.72	%	

ELEMENTO	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm2)				
COLUMNA	35	35	1225				
Diámetro (mm)	Área de varilla (cm2)	No. Varillas	Área de acero (cm2)		Cuantía		
8	0.50		0.00		0.00		
10	0.79		0.00		0.00		
12	1.13	8	9.05		0.74		
14	1.54		0.00		0.00		
16	2.01		0.00		0.00		
18	2.54		0.00		0.00		
20	3.14		0.00		0.00		
22	3.80		0.00		0.00		
			9.05		0.74	%	

ANEXO IV, MODELO ESTRUCTURAL



Project Report

Model File: 171128-MODELO BASE, Revision 0
7/11/2024

2 Properties

This chapter provides property information for materials, frame sections, shell sections, and links.

2.1 Materials

Table 2.1 - Material Properties - General

Material	Type	SymType	Grade	Color	Notes
A416Gr270	Tendon	Uniaxial	Unknown	Green	
ACERO 4200	Steel	Isotropic	Unknown	Cyan	
ASTM A36	Steel	Isotropic	Unknown	Cyan	
CONCRETO F'C 140	Concrete	Isotropic	Unknown	Gray8Dark	
VARILLA LISA FY=2800 KG/CM2	Rebar	Uniaxial	Unknown	Blue	

2.2 Frame Sections

Table 2.2 - Frame Section Property Definitions - Summary (Part 1 of 4)

Name	Material	Shape	Color	Area m2	J m4	I33 m4	I22 m4	I23 m4
C-40X40_	CONCRETO F'C 140	Concrete Rectangular	Yellow	0.16	0.003607	0.002133	0.002133	0
C-45X45_	CONCRETO F'C 140	Concrete Rectangular	16749092	0.2025	0.005777	0.003417	0.003417	0
C-50X50_	CONCRETO F'C 140	Concrete Rectangular	DarkGreen	0.25	0.008805	0.005208	0.005208	0
C1-35X35_	CONCRETO F'C 140	Concrete Rectangular	DarkGreen	0.1225	0.002114	0.001251	0.001251	0
C2-40X40_	CONCRETO F'C 140	Concrete Rectangular	Gray8Dark	0.16	0.003607	0.002133	0.002133	0
CM-150X150X4	ASTM A36	Steel Tube	Yellow	0.0023	1.2E-05	8E-06	8E-06	0
G-150X50X15X3	ASTM A36	SD Section	Cyan	0.0008	2.393E-09	3E-06	2.381E-07	0
V-25X35	CONCRETO F'C 140	Concrete Rectangular	16744576	0.0875	0.001024	0.000893	0.000456	0
VM-200X100X4	ASTM A36	Steel Tube	Green	0.0023	1E-05	1.2E-05	4E-06	0

Table 2.2 - Frame Section Property Definitions - Summary (Part 2 of 4)

Name	IMajor m4	IMinor m4	MajorAngle deg	As2 m2	As3 m2	S33Pos m3	S33Neg m3	S22Pos m3	S22Neg m3	Z33 m3	Z22 m3
C-40X40_				0.1333	0.1333	0.010667	0.010667	0.010667	0.010667	0.016	0.016
C-45X45_				0.1687	0.1687	0.015188	0.015188	0.015188	0.015188	0.022781	0.022781
C-50X50_				0.2083	0.2083	0.020833	0.020833	0.020833	0.020833	0.03125	0.03125
C1-35X35_				0.1021	0.1021	0.007146	0.007146	0.007146	0.007146	0.010719	0.010719
C2-40X40_				0.1333	0.1333	0.010667	0.010667	0.010667	0.010667	0.016	0.016
CM-150X150X4				0.0012	0.0012	0.000111	0.000111	0.000111	0.000111	0.000128	0.000128
G-150X50X15X3				0.0005	0.0003	3.5E-05	3.5E-05	1.7E-05	7E-06	4.2E-05	1E-05
V-25X35				0.0729	0.0729	0.005104	0.005104	0.003646	0.003646	0.007656	0.005469
VM-200X100X4				0.0015	0.0008	0.000124	0.000124	8.4E-05	8.4E-05	0.000152	9.4E-05

3.3 Functions

3.3.1 Response Spectrum Functions

Table 3.4 - Functions - Response Spectrum - Ecuador Norma NEC-SE-DS 2015

Name	Period sec	Value	Z	Eta	Fa	Fd	Soil Type	Fs	I	R	Damping Ratio
ESPECTRO GUAYAQUIL	0	0.09	0.4	1.8	1	1.6	E	1.9	1	8	0.05
ESPECTRO GUAYAQUIL	0.1	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	0.2	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	0.3	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	0.4	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	0.5	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	0.6	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	0.7	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	0.8	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	0.9	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	1	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	1.2	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	1.5	0.09									
ESPECTRO GUAYAQUIL	1.7	0.087786									
ESPECTRO GUAYAQUIL	2	0.068794									
ESPECTRO GUAYAQUIL	2.5	0.049225									
ESPECTRO GUAYAQUIL	3	0.037447									
ESPECTRO GUAYAQUIL	3.5	0.029716									
ESPECTRO GUAYAQUIL	4	0.024322									
ESPECTRO GUAYAQUIL	5	0.017404									
ESPECTRO GUAYAQUIL	8	0.008599									
ESPECTRO GUAYAQUIL	11	0.005333									
ESPECTRO GUAYAQUIL	15	0.003349									

3.4 Load Cases

Table 3.5 - Load Case Definitions - Summary

Name	Type
Modal	Modal - Eigen
Dead	Linear Static
Live	Linear Static
DX	Response Spectrum
DY	Response Spectrum
SX	Linear Static

Table 3.5 - Load Case Definitions - Summary (continued)

Name	Type
SY	Linear Static

3.5 Load Combinations

Table 3.6 - Load Combination Definitions

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF	Notes
DCmcS1	Linear Add	Yes	Dead	1.4	Dead [Strength]
DCmcS2	Linear Add	Yes	Dead	1.2	Dead + Live [Strength]
DCmcS2			Live	1.6	
DCmcS3	Linear Add	Yes	Dead	1.3	Dead + Live + Static Earthquake [Strength]
DCmcS3			Live	1	
DCmcS3			SX	1	
DCmcS4	Linear Add	Yes	Dead	1.3	Dead + Live - Static Earthquake [Strength]
DCmcS4			Live	1	
DCmcS4			SX	-1	
DCmcS5	Linear Add	Yes	Dead	1.3	Dead + Live + Static Earthquake [Strength]
DCmcS5			Live	1	
DCmcS5			SY	1	
DCmcS6	Linear Add	Yes	Dead	1.3	Dead + Live - Static Earthquake [Strength]
DCmcS6			Live	1	
DCmcS6			SY	-1	
DCmcS7	Linear Add	Yes	Dead	0.8	Dead (min) + Static Earthquake [Strength]
DCmcS7			SX	1	
DCmcS8	Linear Add	Yes	Dead	0.8	Dead (min) - Static Earthquake [Strength]
DCmcS8			SX	-1	
DCmcS9	Linear Add	Yes	Dead	0.8	Dead (min) + Static Earthquake [Strength]
DCmcS9			SY	1	
DCmcS10	Linear Add	Yes	Dead	0.8	Dead (min) - Static Earthquake [Strength]
DCmcS10			SY	-1	
DCmcS11	Linear Add	Yes	Dead	1.3	Dead + Live + Response Spectrum [Strength]
DCmcS11			Live	1	
DCmcS11			DX	1	
DCmcS12	Linear Add	Yes	Dead	1.3	Dead + Live + Response Spectrum [Strength]
DCmcS12			Live	1	
DCmcS12			DY	1	
DCmcS13	Linear Add	Yes	Dead	0.8	Dead (min) + Response Spectrum [Strength]
DCmcS13			DX	1	
DCmcS14	Linear Add	Yes	Dead	0.8	Dead (min) + Response Spectrum [Strength]
DCmcS14			DY	1	
DCmpC1	Linear Add	Yes	Dead	1.4	Dead [Construction]
DCmpC2	Linear Add	Yes	Dead	1.2	Dead + Construction Live [Construction]
DCmpD1	Linear Add	Yes	Dead	1	Dead [Deflections]
DCmpD2	Linear Add	Yes	Dead	1	Dead + Live [Deflections]
DCmpD2			Live	1	
DCmpS1	Linear Add	Yes	Dead	1.4	Dead [Strength]
DCmpS2	Linear Add	Yes	Dead	1.2	Dead + Live [Strength]

4 Analysis Results

This chapter provides analysis results.

4.1 Structure Results

Table 4.1 - Base Reactions

Output Case	Case Type	Step Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m	X m	Y m	Z m
Dead	LinStatic		-6.042E-06	0	1500.6243	11512.2775	-20057.7427	0.0001	0	0	0
Live	LinStatic		-3.288E-06	0	841.6467	6405.8757	-11306.3631	4.432E-05	0	0	0
DX	LinRespSpec	Max	133.5232	43.0284	0	472.6511	1465.5439	1222.1669	0	0	0
DY	LinRespSpec	Max	44.9781	130.6862	0	1433.0476	494.1243	2049.7087	0	0	0
SX	LinStatic		-441.7613	0	0	0	-5038.5429	3402.9623	0	0	0
SY	LinStatic		2.432E-05	-441.7607	0	5038.5381	0.0002	-5885.6687	0	0	0
SERVICIO	Combination		-9.33E-06	0	2342.271	17918.1532	-31364.1058	0.0001	0	0	0
DCmcS1	Combination		-8.458E-06	0	2100.874	16117.1886	-28080.8397	0.0001	0	0	0
DCmcS2	Combination		-1.251E-05	0	3147.3838	24064.1341	-42159.4722	0.0002	0	0	0
DCmcS3	Combination		-441.7613	0	2792.4582	21371.8365	-42419.9715	3402.9624	0	0	0
DCmcS4	Combination		441.7613	0	2792.4582	21371.8365	-32342.8857	-3402.9621	0	0	0
DCmcS5	Combination		1.318E-05	-441.7607	2792.4582	26410.3746	-37381.4284	-5885.6685	0	0	0
DCmcS6	Combination		-3.546E-05	441.7607	2792.4582	16333.2983	-37381.4288	5885.6688	0	0	0
DCmcS7	Combination		-441.7613	0	1200.4994	9209.822	-21084.737	3402.9623	0	0	0
DCmcS8	Combination		441.7613	0	1200.4994	9209.822	-11007.6512	-3402.9622	0	0	0
DCmcS9	Combination		1.949E-05	-441.7607	1200.4994	14248.3602	-16046.1939	-5885.6686	0	0	0
DCmcS10	Combination		-2.915E-05	441.7607	1200.4994	4171.2839	-16046.1943	5885.6687	0	0	0
DCmcS11	Combination	Max	133.5232	43.0284	2792.4582	21844.4875	-35915.8847	1222.167	0	0	0
DCmcS11	Combination	Min	-133.5232	-43.0284	2792.4582	20899.1854	-38846.9725	-1222.1667	0	0	0
DCmcS12	Combination	Max	44.978	130.6862	2792.4582	22804.8841	-36887.3043	2049.7088	0	0	0
DCmcS12	Combination	Min	-44.9781	-130.6862	2792.4582	19938.7889	-37875.5529	-2049.7085	0	0	0
DCmcS13	Combination	Max	133.5232	43.0284	1200.4994	9682.4731	-14580.6502	1222.1669	0	0	0
DCmcS13	Combination	Min	-133.5232	-43.0284	1200.4994	8737.1709	-17511.7381	-1222.1668	0	0	0
DCmcS14	Combination	Max	44.9781	130.6862	1200.4994	10642.8696	-15552.0699	2049.7087	0	0	0
DCmcS14	Combination	Min	-44.9781	-130.6862	1200.4994	7776.7744	-16540.3184	-2049.7086	0	0	0
DStIS1	Combination		-8.458E-06	0	2100.874	16117.1886	-28080.8397	0.0001	0	0	0
DStIS2	Combination		-1.251E-05	0	3147.3838	24064.1341	-42159.4722	0.0002	0	0	0
DStIS3	Combination		-441.7613	0	2792.4582	21371.8365	-42419.9715	3402.9624	0	0	0
DStIS4	Combination		441.7613	0	2792.4582	21371.8365	-32342.8857	-3402.9621	0	0	0
DStIS5	Combination		1.318E-05	-441.7607	2792.4582	26410.3746	-37381.4284	-5885.6685	0	0	0
DStIS6	Combination		-3.546E-05	441.7607	2792.4582	16333.2983	-37381.4288	5885.6688	0	0	0

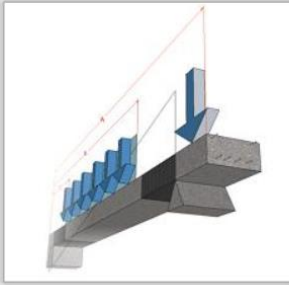
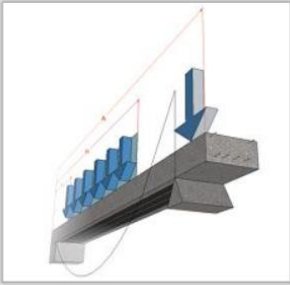
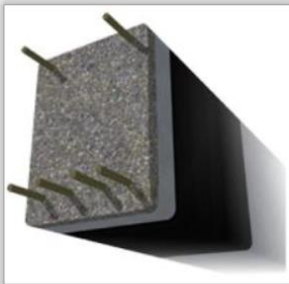
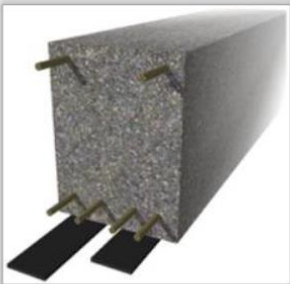
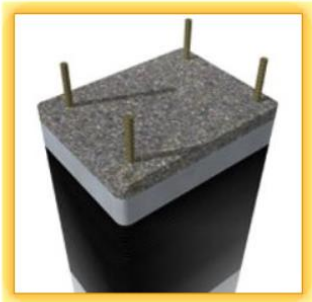
ANEXO V, MODELACIÓN CON FIBRAS DE CARBONO

COLUMNA 45X45

Exposición

Exposición interior

Selección



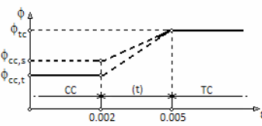
Resistencia a la compresión del concreto

☒ Probeta cilíndrica 11.0 MPa
☐ Probeta cúbica 14 MPa

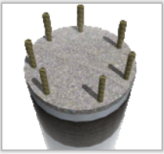
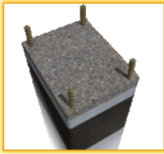
Factores de reducción de resistencia

Según ACI 318-14

$\phi_{cc,t}$ (Estribo)	0.65
$\phi_{cc,s}$ (En espiral)	0.75
ϕ_{tc}	0.90

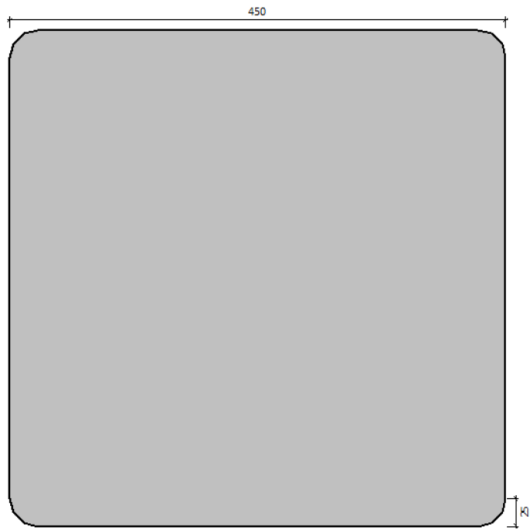


Sección transversal



Ancho 450 mm
Canto 450 mm
Radio 25 mm

Dibujo de la sección transversal



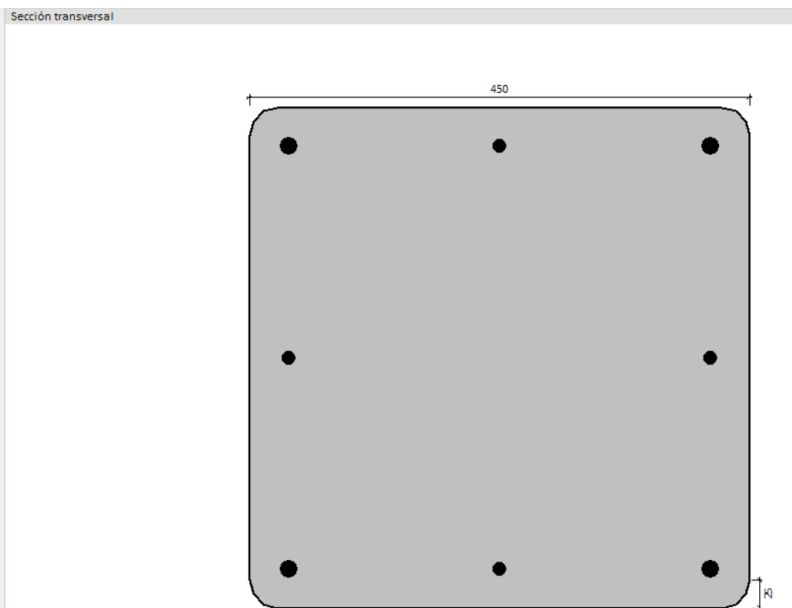
Armadura simétrica definida por diámetros

Distancia al centroide del refuerzo X mm

Distancia al centroide del refuerzo Y mm

	Num. barras	Diámetro (mm)	Acero	fy (MPa)
Esquina	4	16.00	Grade 275	275.00
Cara X	1	12.00	Grade 275	275.00
Cara Y	1	12.00	Grade 275	275.00

Refuerzo de acero transversal



Cargas previstas

	Axial	Momento X	Momento Y
Cargas muertas	557.32 kN	4.94 kN-m	2.00 kN-m
Cargas vivas	189.19 kN	0.44 kN-m	0.34 kN-m

Combinaciones

Combinaciones de usuario

☒ Considerar límites del refuerzo

☐ La carga viva se considera constante

	S _u (Límites del refuerzo)	S _u (Cargas previstas)	S _u (Estados límite de servicio)	S _u (Caso de incendio)
S _u (Límites del refuerzo)	1.1	1.20	1.10	1.00
S _u (Cargas previstas)	0.75	1.60	0.72	1.00

Resultados

☒ Combinación mínima de cargas que debe resistir el elemento sin reforzar (ACH40.2R-17, Sección 9.2)

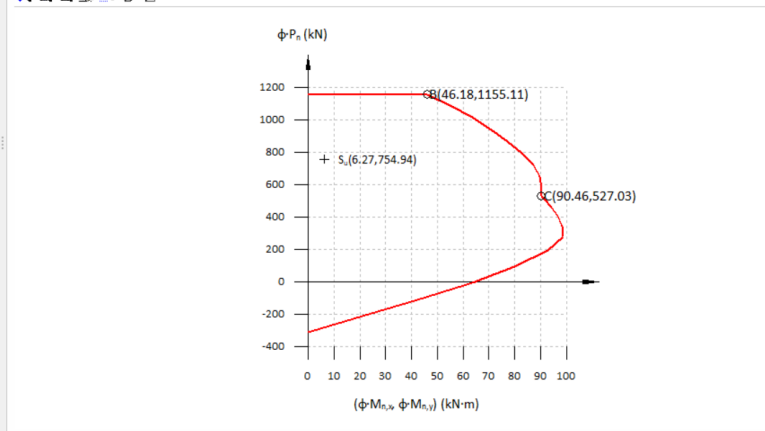
☒ Las cargas previstas deben exceder la capacidad resistente del elemento sin refuerzo

☐ Resistencia del elemento sin refuerzo en caso de incendio

	P _u	M _{ux}	M _{uy}
P _u	754.94 kN	6.63 kN-m	2.94 kN-m
M _{ux}	5.76 kN-m		
M _{uy}	2.46 kN-m		

P_u = 971.49 kN
M_{ux} = 6.63 kN-m
M_{uy} = 2.94 kN-m

P_u = 746.51 kN
M_{ux} = 5.38 kN-m
M_{uy} = 2.34 kN-m



☒ Cargas Cumple la sección sin reforzar

COLUMNA 40x40

Resistencia a la compresión del concreto

☒ Probeta cilíndrica
☐ Probeta cúbica

11.0 MPa
14 MPa

Factores de reducción de resistencia

Según ACI 318-14

$\phi_{cc,t}$ (Estribo) 0.65
 $\phi_{cc,s}$ (En espiral) 0.75
 ϕ_{tc} 0.90

Sección transversal

Ancho 450 mm
Canto 450 mm
Radio 25 mm

Dibujo de la sección transversal

Armadura simétrica definida por diámetros

Distancia al centroide del refuerzo X 35 mm
Distancia al centroide del refuerzo Y 35 mm

	Num. barras	Diámetro (mm)	Acero	fy (MPa)
Esquina	4	12.00	Grade 275	275.00
Cara X	1	12.00	Grade 275	275.00
Cara Y	1	12.00	Grade 275	275.00

Refuerzo de acero transversal Estribo

Sección transversal

Cargas previstas

	Axil	☒ Momento X	☒ Momento Y
Cargas muertas	557.19 kN	4.84 kN-m	2.00 kN-m
Cargas vivas	189.19 kN	0.44 kN-m	0.34 kN-m

Combinaciones

Combinaciones de usuario

☒ Considerar límites del refuerzo

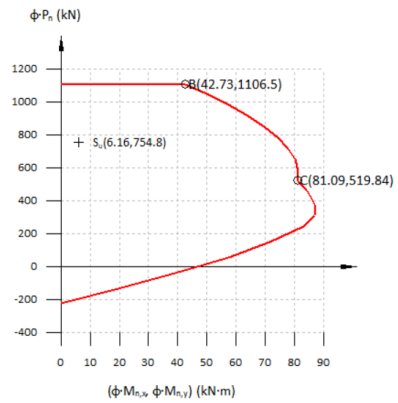
☐ La carga viva se considera constante

S _i (Límites del refuerzo)	=	1.1	- S _{0i}	+	0.75	- S _{0i}
S _i (Cargas previstas)	=	1.20	- S _{0i}	+	1.60	- S _{0i}
S _i (Estados límite de servicio)	=	1.10	- S _{0i}	+	0.72	- S _{0i}
S _i (Caso de incendio)	=	1.00	- S _{0i}	+	1.00	- S _{0i}

Resultados

☒ Combinación mínima de cargas que debe resistir el elemento sin reforzar (ACH40.2R-17, Sección 9.2) ☐ Las cargas previstas deben exceder la capacidad resistente del elemento sin refuerzo ☐ Resistencia del elemento sin refuerzo en caso de incendio

P _u = 754.80 kN	P _u = 971.33 kN	P _u = 746.38 kN
M _{u,x} = 5.65 kN-m	M _{u,x} = 6.51 kN-m	M _{u,x} = 5.28 kN-m
M _{u,y} = 2.46 kN-m	M _{u,y} = 2.94 kN-m	M _{u,y} = 2.34 kN-m



Proyecto **Sección transversal** **Acero de refuerzo** **Cargas** **Acerca de**

ACI 440 - ACI 318 SI unidades Ecuador

Resistencia a la compresión del concreto

☒ Probeta cilíndrica 11.0 MPa

☐ Probeta cúbica 14 MPa

Factores de reducción de resistencia

Según ACI 318-14

Factor	Valor
$\phi_{cc,t}$ (Estribo)	0.65
$\phi_{cc,s}$ (En espiral)	0.75
ϕ_{tc}	0.90

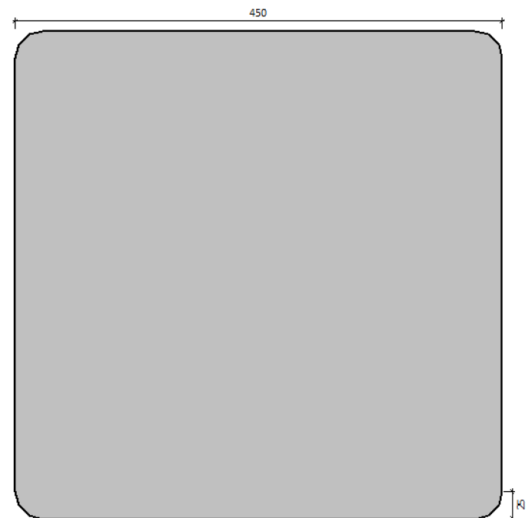
Sección transversal

Ancho 450 mm

Canto 450 mm

Radio 25 mm

Dibujo de la sección transversal

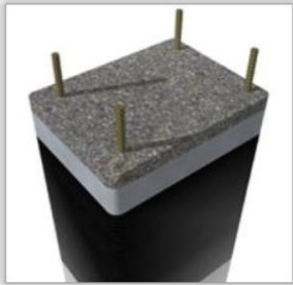


VIGA REVISIÓN CORTANTE 25X35

Exposición

Ambiente agresivo

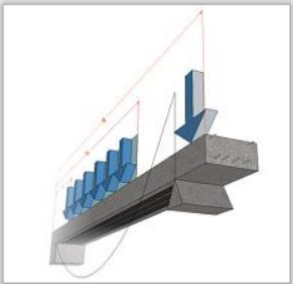
Selección

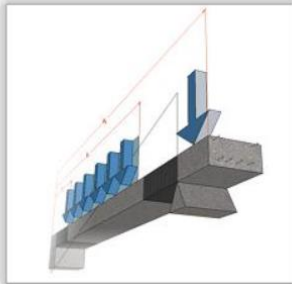






Refuerzo a cortante en viga/pilar. El cálculo contempla la evaluación de la sección más desfavorable, definida por el usuario.





Resistencia a la compresión del concreto

☒ Probeta cilíndrica

14.4 MPa

☐ Probeta cúbica

18 MPa

Factor de reducción de resistencia

Según ACI 318-14

$\phi = 0.75$

Sección transversal







Viga en T o viga hormigonada conjuntamente con la losa.

Canto de la viga (h)

350 mm

Ancho del alma (bw)

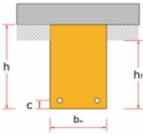
250 mm

Distancia al centroide del refuerzo (c)

30 mm

Altura disponible (hf)

350 mm

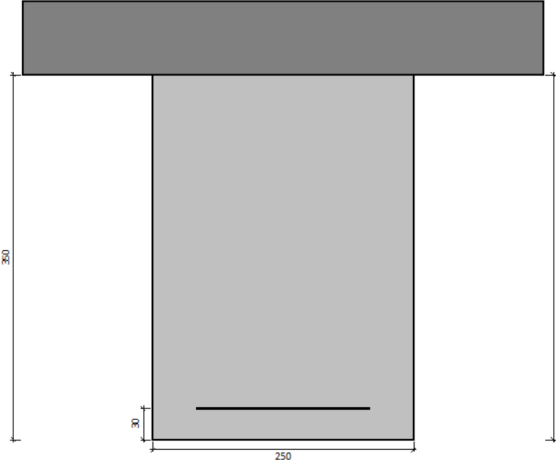


☒ Refuerzo interno de cortante

Definida por Número y diámetro

Acero	fy (MPa)	Num. barras	Diámetro (mm)	Espaciado c. a c. (mm)	Ángulo
Grade 275	275.00	1	8.00	300	90.00

Dibujo de la sección transversal



Cargas previstas

Cortante

☐ Axil

Cargas muertas

33.50 kN

Cargas vivas

13.53 kN

Combinaciones

Combinaciones ACI por defecto

☒ Considerar límites del refuerzo
☐ La carga viva se considera constante

S_u (Límites del refuerzo) = 1.1 · S_{DL} + 0.75 · S_{LL}
 S_u (Cargas previstas) = 1.2 · S_{DL} + 1.6 · S_{LL}
 S_u (Caso de incendio) = 1.0 · S_{DL} + 1.0 · S_{LL}

Resultados

LÍMITES DE DISEÑO - ELEMENTO NO REFORZADO

Combinación mínima de cargas que debe resistir el elemento sin reforzar (ACI440.2R-17, Sección 9.2) $\phi \cdot V_n \geq V_u$

V_u (Límites del refuerzo) = 47.00 kN
 $\phi \cdot V_n$ (Sección no reforzada) = 49.76 kN

Las cargas previstas deben exceder la capacidad resistente del elemento sin refuerzo $\phi \cdot V_n < V_u$

La suma de las resistencias proporcionadas por los refuerzos debería limitarse $V_u = V_c \leq 0.66 f_c b_w d$

V_u (Cargas previstas) = 61.85 kN
 $\phi \cdot V_n$ (Sección no reforzada) = 49.76 kN

Resistencia del elemento sin refuerzo en caso de incendio $V_n \geq V_u$

V_u (Caso de incendio) = 47.03 kN
 V_n (Sección no reforzada) = 66.35 kN

Anterior

Siguiente

Tipo de refuerzo FRP de cortante

Laminados

SikaWrap® C

SikaWrap® 600C WV - 50 cm

Ancho: 500.0 mm; Espesor: 0.331 mm; Modulo elástico: 200.00 GPa; Alargamiento: 15.90 %

Refuerzos

Dimensionamiento

Tipo

Bandas discretas

Espaciado c. a c.

580 mm

Número de capas

1

Refuerzo FRP

Contribución de FRP a la resistencia a cortante

$V_u = 61.85 \text{ kN}$
 ϕV_n con refuerzo = 92.13 kN
 ϕV_n sin refuerzo = 49.76 kN
 Contribución del FRP $\phi \psi f_v f = 42.36 \text{ kN}$
 Contribución del acero $\phi V_s = 11.06 \text{ kN}$
 Contribución del concreto $\phi V_c = 38.71 \text{ kN}$

Deformación efectiva en laminados FRP

Tensión en el refuerzo FRP de cortante

Contribución del refuerzo FRP a la resistencia a cortante

$\epsilon_{fe} = 0.0018$
 $f_{te} = 363.89 \text{ MPa}$
 $V_c = 66.45 \text{ kN}$; $\phi \psi V_c = 42.36 \text{ kN}$

1. RESULTADOS

1.1. Resumen de resultados

La resistencia de cálculo a cortante debería calcularse mediante:

$$\phi \cdot V_n \geq V_u$$

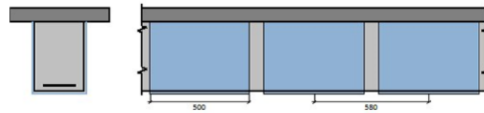
Límites del refuerzo (ACI440.2R-17, 9.2)				
Acciones	ϕ	V_u (kN)	V_n (kN)	$\phi \cdot V_n \geq V_u$
$S_u = 1.10 \cdot S_{DL} + 0.75 \cdot S_{LL}$	0.75	47.00	66.35	Sección no reforzada ✓
Sección reforzada bajo cargas previstas				
Acciones	ϕ	V_u (kN)	V_n (kN)	$\phi \cdot V_n \geq V_u$
$S_u = 1.20 \cdot S_{DL} + 1.60 \cdot S_{LL}$	0.75	61.85	122.84	Sección reforzada ✓
Resistencia al fuego (t=0 min.)				
Acciones		V_u (kN)	V_n (kN)	$V_{n0} \geq V_u$ ($V_{n0} = V_n$)
$S_u = 1.00 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$		47.03	66.35	Sección no reforzada ✓

1.2. Disposición del FRP

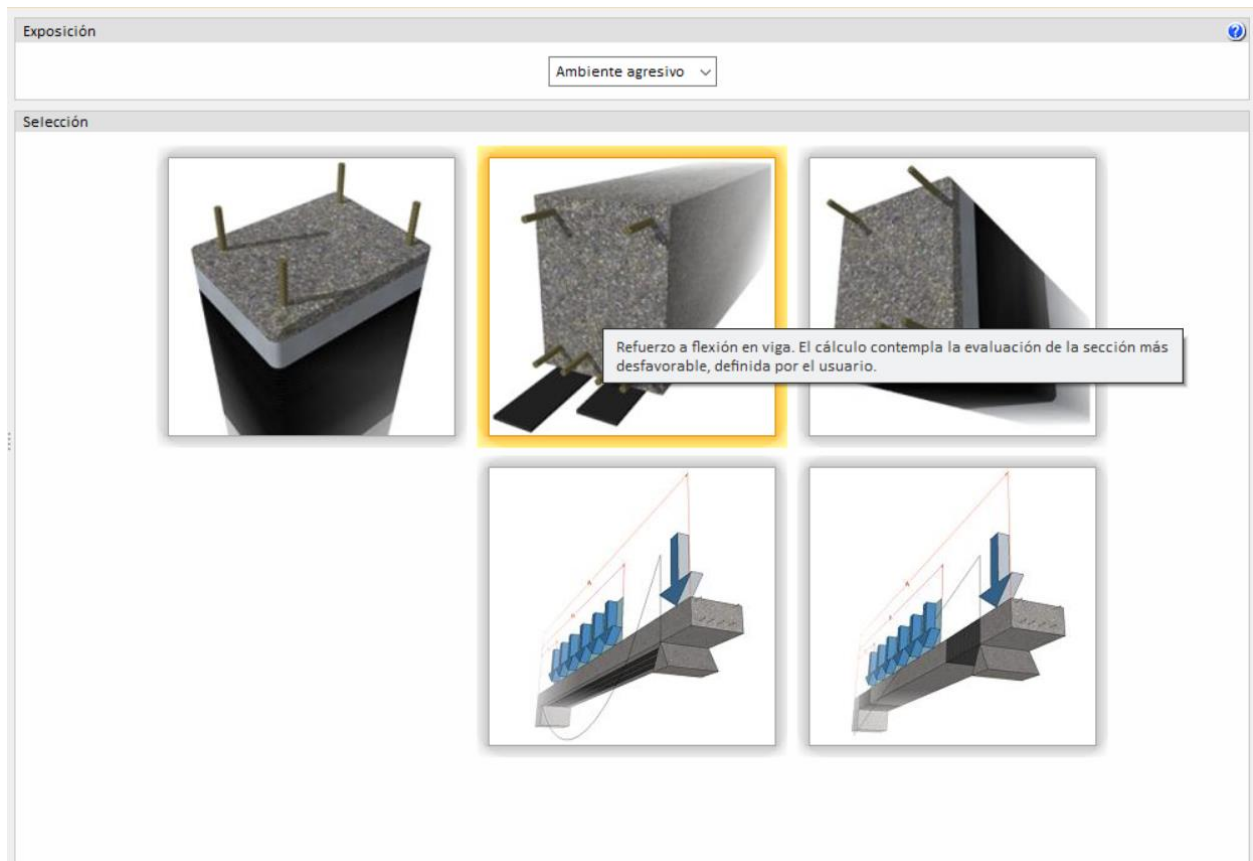
Los resultados previos corresponden al siguiente esquema FRP:

Esquema de montaje: 3 caras "Envoltura en U"
Bandas discretas
Espaciado c. a c.: 580 mm

1 capa de SikaWrap® 600C WV - 50 cm



VIGA REVISIÓN A FLEXION 25X35



Resistencia a la compresión del concreto

☒ Probeta cilíndrica

☐ Probeta cúbica

14.4

MPa

18 MPa

Factores de reducción de resistencia

Según

ACI 318-14

$\phi_{cc,t}$

0.65

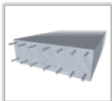
ϕ_{tc}

0.90

RC: Concreto reforzado PC: Concreto preesforzado

Sección transversal











Ancho

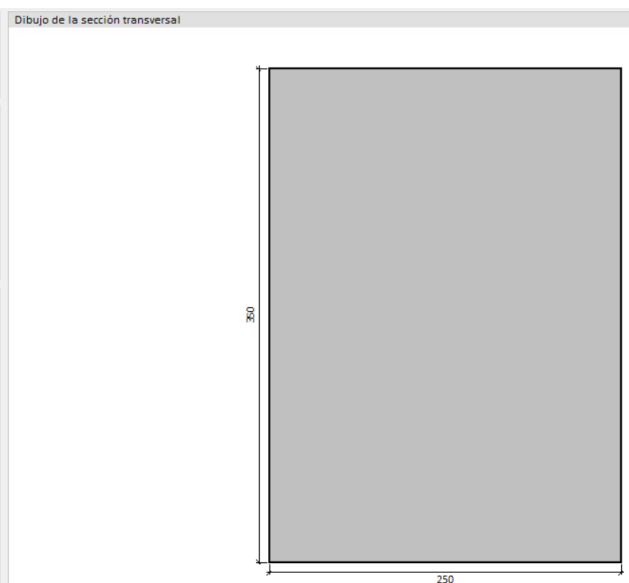
250

mm

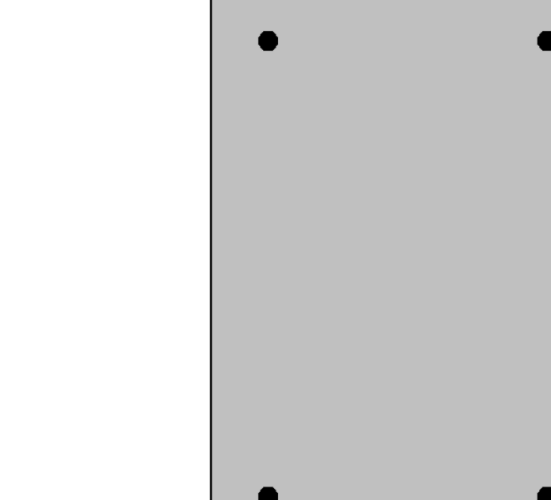
Canto

350

mm



Dibujo de la sección transversal



El diagrama muestra la sección transversal de un elemento de hormigón armado. El elemento es un rectángulo gris con una frontera negra. En las cuatro esquinas del rectángulo hay un círculo negro, lo que indica la posición de las barras de refuerzo. Debajo del rectángulo, hay tres líneas horizontales azules que representan el suelo o una base.

Diagrama de la distribución de tensiones y deformaciones en la fibra FRP. Se muestra una curva de tensión (σ) versus deformación (ϵ). La tensión máxima ($\sigma_{máx}$) es de 2.0 % y la deformación máxima ($\epsilon_{máx}$) es de 5.81 %. La tensión en el hormigón (f_c) es de 11.24 MPa y la profundidad de la fibra neutra (x) es de 69.01 mm.

Ref.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ϵ (‰)
No. 12	145	161.36	0.81
No. 12	-145	-275.00	-5.19
FRP	-175	-1067.30	-5.71
FRP	-175	-1067.94	-5.71

*: La tensión en FRP se ve afectada por un coeficiente reductor adicional ($\Psi = 0.85$).

2. RESULTADOS

2.1. Resumen de resultados

Límites del refuerzo (ACI440.2R-17, 9.2)				
Acciones	ϕ	M_u (kN·m)	M_n (kN·m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ ($N = N_u$)
$S_u = 1.10 \cdot S_{DL} + 0.75 \cdot S_{LL}$	0.90	17.05	19.29	Sección no reforzada $17.36 \text{ kN·m} \geq 17.05 \text{ kN·m}$ ✓

Sección reforzada bajo cargas previstas				
Acciones	ϕ	M_u (kN·m)	M_n (kN·m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ ($N = N_u$)
$S_u = 1.20 \cdot S_{DL} + 1.60 \cdot S_{LL}$	0.90	24.79	47.18	Sección reforzada $42.46 \text{ kN·m} \geq 24.79 \text{ kN·m}$ ✓

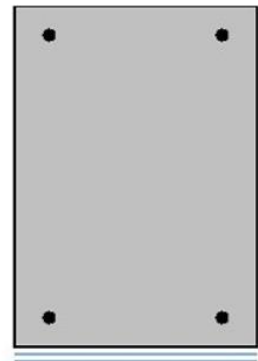
Estados límite de servicio			
Acciones	Tensiones de servicio		
	$f_{c,s} \leq 0.6 \cdot f'_c$	$f_{y,s} \leq 0.8 \cdot f_y$	$f_{t,s} \leq 0.55 \cdot f_{tu}$
$S_u = 1.00 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$	$4.24 \text{ MPa} \leq 8.64 \text{ MPa}$ ✓	$197.77 \text{ MPa} \leq 220.00 \text{ MPa}$ ✓	$189.38 \text{ MPa} \leq 1388.48 \text{ MPa}$ ✓

Resistencia al fuego (t=0 min.)				
Acciones	ϕ	M_u (kN·m)	M_n (kN·m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ ($N = N_u$)
$S_u = 1.00 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$	1.00	18.02	19.29	Sección no reforzada $19.29 \text{ kN·m} \geq 18.02 \text{ kN·m}$ ✓

2.2. Disposición del FRP

Los resultados previos corresponden al siguiente esquema FRP:

Refuerzo FRP principal: Número de capas: 2, 1 + 1 (1/2 SikaWrap® 300C - 50 cm (25 cm))



3. ESPECIFICACIÓN DE PRODUCTO

3.1. Tejidos SikaWrap® adheridos

Se obtendrá el refuerzo mediante tejido de carbono unidireccional, saturado y adherido externamente a la estructura mediante adhesivo epoxi Sikadur®-330

El material será un laminado unidireccional pultruido de CFRP, con un contenido volumétrico de fibra >68%.

Las fibras deberán estar alineadas y libres de torsión.

El material dispondrá de un registro de utilización (> 25 años) para refuerzo estructural.

El tejido de fibra será unidireccional y elaborado mediante fibras de carbonos elaboradas a partir de PAN.

Será posible la instalación en varias capas.

El material dispondrá de un largo historial como sistema de refuerzo estructural.

Se aportarán los valores correspondientes a las propiedades mecánicas medidos a partir de los tejidos laminados, basados en series de ensayos de al menos 20 muestras.

3.1.1. Preparación de la superficie de hormigón/concreto

Cualquier material no cohesivo será retirado, y el hormigón/concreto será reparado tal y como se indica anteriormente. Cualquier oquedad significativa o nido de grava será rellenado con un mortero de reparación adecuado.

Los materiales de reparación serán totalmente compatibles con el adhesivo.

La resistencia real a arrancamiento del soporte de hormigón/concreto será verificada al menos mediante 3 ensayos de pull-off.

El hormigón/concreto tendrá una edad superior a 28 días.

La lechada superficial en el sustrato será eliminada hasta que se logre una superficie de poro abierto.

La superficie del soporte será limpiada hasta que quede libre de aceites, grasas y cualquier otro contaminante, así como de partículas sueltas y polvo.

Para la aplicación de tejidos, se redondearán todas las esquinas con un radio de 20mm, eliminando cualquier borde anguloso.

La humedad del soporte será inferior al 4% pbw.

3.1.2. Tejidos SikaWrap®

Los materiales cumplirán con las prestaciones mínimas indicadas a continuación:

3.1.2.1. Propiedades del tejido 1/2 SikaWrap® 300C - 50 cm (25 cm) :

Propiedades del tejido seco:

Módulo Elástico	EN 2561/ASTM D3039	≈ 230000 N/mm ² (MPa)
Resistencia a tracción	EN 2561/ASTM D3039	≈ 4000 N/mm ² (MPa)
Deformación de rotura	EN 2561/ASTM D3039	1.35 %

Propiedades del laminado (respecto al espesor del tejido seco):

Módulo Elástico	EN 2561/ASTM D3039	≈ 220000 N/mm ² (MPa)
-----------------	--------------------	----------------------------------

3.1.3. Adhesivo epoxi

Los adhesivos serán de naturaleza epoxi.

La imprimación del soporte y la impregnación del tejido 1/2 SikaWrap® 300C - 50 cm (25 cm) se realizará mediante Sikadur®-330

3.1.3.1. Propiedades del adhesivo Sikadur®-330

El adhesivo cumplirá con lo establecido en la EN 1504-4.

Base química		Resina epoxi
Densidad		1.30 kg/l (a +23°C).
Viscosidad (velocidad de cizalladura 50/S)	+10°C	≈ 10000 mPas
	+23°C	≈ 6000 mPas
	+35°C	≈ 5000 mPas
Coefficiente de expansión térmica	-10°C a +40°C	4.5 x 10 ⁻⁵ por °C
Estabilidad térmica. HDT (ASTM D648)	Curado	
	7 días, +10°C	+36°C
	7 días, +23°C	+47°C
	7 días, +35°C	+53°C
Temperatura de servicio	23°C Curado	-40°C a +45°C
Resistencia a tracción	DIN EN ISO 527-3	30 N/mm ² (7 días a +23°C)
Adherencia (soporte chorreado con arena)	DIN EN ISO 4624	Fractura del hormigón/concreto (> 4 N/mm ²)
Módulo elástico (flexión)	DIN EN 1465	3800 N/mm ² (7 días a +23°C)
Módulo elástico a tracción	DIN EN ISO 527-3	4500 N/mm ² (7 días a +23°C)
Deformación de rotura	DIN EN ISO 527-3	0.9% (7 días a +23°C)

3.1.4. Procedimiento de aplicación

El tejido se cortará a la medida adecuada mediante tijeras especiales para fibra.

Se dispondrá una primera capa de la resina de impregnación sobre la superficie del sustrato, usando una espátula dentada o un rodillo.

El tejido será colocado sobre el soporte, presionándolo suavemente e impregnando la resina en el tejido mediante un rodillo de impregnación hasta que el tejido esté totalmente saturado.

Las capas adicionales se dispondrán tal y como se indicó anteriormente, preferiblemente húmedo sobre húmedo.

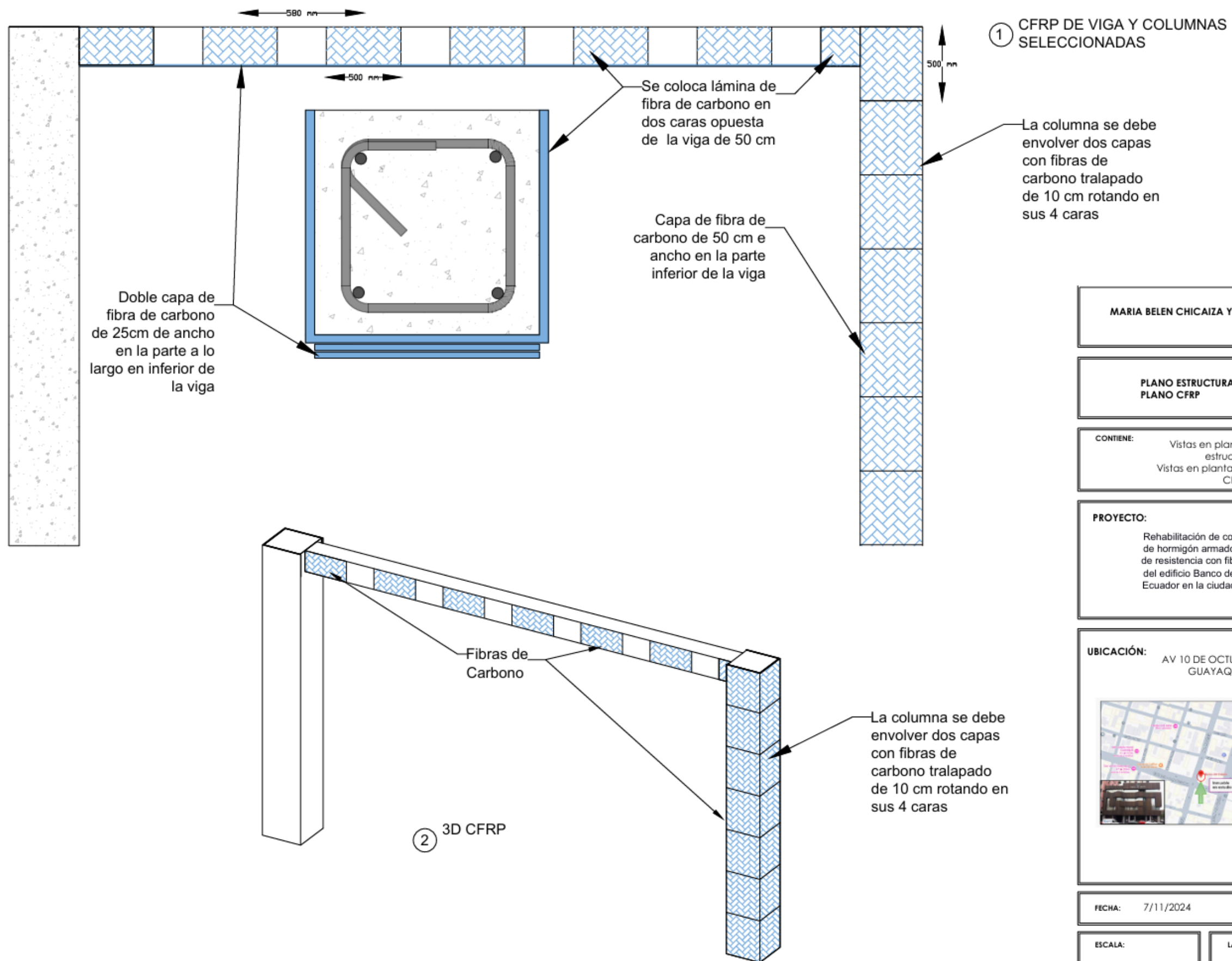
En caso de un revestimiento cementoso, la superficie final de resina se saturará con árido de cuarzo.

La impregnación se efectuará siempre en la dirección de las fibras.

Tras la aplicación, el tejido saturado se protegerá de la lluvia, arena, polvo o cualquier otro contaminante.

Si fuera necesario, el sistema aplicado será protegido con un revestimiento adecuado (se dispondrán de tests de compatibilidad entre el tejido y el revestimiento).

ANEXO VI. PLANOS CON CFPR



ANEXO VII. ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO:		PROYECTO DE TITULACIÓN			
CONTRATISTA:		CONSULTOR:		Ing.María Belén Chicaiza	
ANALISIS DE PRECIO UNITARIO					
RUBRO:	FRP 01-001			UNIDAD:	m2
DETALLE:	Preparación de la superficie mediante pulido y eliminación de imperfecciones				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Herramienta Menor (5% M.O.)					\$ 0.10
Amoladora	1	\$ 3.20	\$ 3.20	0.27	\$ 0.86
Esmeril angular	1	\$ 3.20	\$ 3.20	1.27	\$ 4.06
SUBTOTAL M					\$ 5.03
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Especialista en corte	1	\$ 3.83	\$ 3.83	0.27	\$ 1.03
Ayudante	1	\$ 3.87	\$ 3.87	0.27	\$ 1.04
SUBTOTAL N					2.08
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Discos para redondear		u	1	13.00	\$ 13.00
SUBTOTAL O					13.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					\$ -
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				20.11
	INDIRECTOS			0.00%	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				20.11
UN dolar SETENTA centavo					
25/11/2024					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
		CONSULTOR			

PROYECTO:	PROYECTO DE TITULACIÓN				
CONTRATISTA:		CONSULTOR:		Ing.María Belén Chicaiza	
ANALISIS DE PRECIO UNITARIO					
RUBRO:	FRP 01-002			UNIDAD:	m2
DETALLE:	Redondeo de aristas en los elementos estructurales				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Herramienta Menor (5% M.O.)					\$ 0.21
Amoladora	1	\$ 3.20	\$ 3.20	0.54	\$ 1.73
SUBTOTAL M					\$ 1.94
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Oficial pulidor	1	\$ 3.83	\$ 3.83	0.54	\$ 2.07
Ayudante pulidor	1	\$ 3.87	\$ 3.87	0.54	\$ 2.09
SUBTOTAL N					4.16
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Discos abrasivos		u	1	12.00	\$ 12.00
SUBTOTAL O					12.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					\$ -
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				18.09
	INDIRECTOS			0.00%	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				18.09
UN dolar SETENTA centavo					
25/11/2024					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
			CONSULTOR		

PROYECTO:	PROYECTO DE TITULACIÓN				
CONTRATISTA:		CONSULTOR:		Ing.María Belén Chicaiza	
ANALISIS DE PRECIO UNITARIO					
RUBRO:	FRP 01-003		UNIDAD:	m2	
DETALLE:	Reparación de cualquier daño o deterioro identificado				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Herramienta Menor (5% M.O.)					\$ 0.57
SUBTOTAL M					\$ 0.57
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Albañil	1	\$ 3.83	\$ 3.83	1.50	\$ 5.75
Peón	1	\$ 3.83	\$ 3.83	1.50	\$ 5.75
SUBTOTAL N					11.49
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Mortero de reparación		kg	0.2	11.98	\$ 2.40
Selladores		kg	0.1	83.7	\$ 8.37
SUBTOTAL O					10.77
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					\$ -
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				22.83
	INDIRECTOS			0.00%	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				22.83
UN dolar SETENTA centavo					
25/11/2024					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
			CONSULTOR		

PROYECTO:	PROYECTO DE TITULACIÓN				
CONTRATISTA:		CONSULTOR:		Ing.María Belén Chicaiza	
ANALISIS DE PRECIO UNITARIO					
RUBRO:	FRP 01-004			UNIDAD:	m2
DETALLE:	Aspirado superficial para eliminar el polvo y residuos				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Herramienta Menor (5% M.O.)					\$ 0.01
Aspiradora industrial	1	\$ 4.00	\$ 4.00	0.06	\$ 0.24
Sopladores de aire comprimido	1	\$ 4.00	\$ 4.00	0.06	\$ 0.24
SUBTOTAL M					\$ 0.49
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Operario de aspiradora	1	\$ 3.90	\$ 3.90	0.06	\$ 0.23
SUBTOTAL N					0.23
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
SUBTOTAL O					0.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					\$ -
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				0.73
	INDIRECTOS			0.00%	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				0.73
UN dolar SETENTA centavo					
25/11/2024					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
			CONSULTOR		

PROYECTO:		PROYECTO DE TITULACIÓN			
CONTRATISTA:		CONSULTOR:		Ing.María Belén Chicaiza	
ANALISIS DE PRECIO UNITARIO					
RUBRO:	FRP 01-005			UNIDAD:	m2
DETALLE:	Aplicación de una capa de imprimación y saturante				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Herramienta Menor (5% M.O.)					\$ 0.07
Rodillo de alta densidad	1	\$ 30.00	\$ 30.00	1.00	\$ 30.00
					\$ -
SUBTOTAL M					\$ 30.07
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Especialista en aplicación de CFRP	1	\$ 10.00	\$ 10.00	0.10	\$ 1.00
Ayudante	1	\$ 3.90	\$ 3.90	0.10	\$ 0.39
SUBTOTAL N					1.39
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Imprimante epóxico		m2	10	20.00	\$ 200.00
SUBTOTAL O					200.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					\$ -
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				231.46
	INDIRECTOS			0.00%	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				231.46
UN dolar SETENTA centavo					
25/11/2024					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
		CONSULTOR			

PROYECTO:		PROYECTO DE TITULACIÓN			
CONTRATISTA:		CONSULTOR:		Ing.María Belén Chicaiza	
ANALISIS DE PRECIO UNITARIO					
RUBRO:	FRP 01-006			UNIDAD:	m2
DETALLE:	Aplanado de la tela de fibra de carbono con espátulas plásticas				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Herramienta Menor (5% M.O.)					\$ 0.07
					\$ -
					\$ -
SUBTOTAL M					\$ 0.07
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Especialista en aplicación de CFRP	1	\$ 10.00	\$ 10.00	0.10	\$ 1.00
Ayudante	1	\$ 3.90	\$ 3.90	0.10	\$ 0.39
SUBTOTAL N					1.39
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Fibra de carbono, Espesor de diseño de la tela: 0.337 mm (basado en contenido de fibra). Densidad de la fibra: 1.81 g/cm³		m2	15	35.00	\$ 525.00
Adhesivo epoxico		m2	2.5	10	\$ 25.00
SUBTOTAL O					550.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					\$ -
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				551.46
	INDIRECTOS			0.00%	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				551.46
UN dolar SETENTA centavo					
25/11/2024					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
		CONSULTOR			

PROYECTO:		PROYECTO DE TITULACIÓN			
CONTRATISTA:		CONSULTOR:		Ing.María Belén Chicaiza	
ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
RUBRO:	FRP 01-007			UNIDAD:	m2
DETALLE:	Compresión de la tela utilizando un rodillo				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Herramienta Menor (5% M.O.)					\$ 0.07
Rodillo de compresión	1	\$ 15.00	\$ 15.00	0.10	\$ 1.50
					\$ -
SUBTOTAL M					\$ 1.57
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Especialista en aplicación de CFRP	1	\$ 10.00	\$ 10.00	0.10	\$ 1.00
Ayudante	1	\$ 3.90	\$ 3.90	0.10	\$ 0.39
SUBTOTAL N					1.39
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Resina epóxica		kg	10	20.00	\$ 200.00
Fibra de carbono, Espesor de diseño de la tela: 0.337 mm (basado en contenido de fibra). Densidad de la fibra: 1.81 g/cm³		m2	15	35.00	\$ 525.00
Adhesivo epoxico		m2	2.5	10	\$ 25.00
SUBTOTAL O					750.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					\$ -
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				752.96
	INDIRECTOS			0.00%	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				752.96
UN dolar SETENTA centavo					
25/11/2024					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
			CONSULTOR		

PROYECTO:		PROYECTO DE TITULACIÓN			
CONTRATISTA:		CONSULTOR:		Ing. María Belén Chicaiza	
ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
RUBRO:	FRP 01-008			UNIDAD:	m2
DETALLE:	Traslape de 10 cm rotados en las cuatro caras de la columna				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Herramienta Menor (5% M.O.)					\$ 0.07
Rodillo de ajuste	1	\$ 15.00	\$ 15.00	0.50	\$ 7.50
Tijeras para fibra	1	\$ 12.00	\$ 12.00	0.5	\$ 6.00
SUBTOTAL M					\$ 13.57
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Especialista en aplicación de CFRP	1	\$ 10.00	\$ 10.00	0.10	\$ 1.00
Ayudante	1	\$ 3.90	\$ 3.90	0.10	\$ 0.39
SUBTOTAL N					1.39
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Resina epóxica		kg	10	20.00	\$ 200.00
Fibra de carbono, Espesor de diseño de la tela: 0.337 mm (basado en contenido de fibra). Densidad de la fibra: 1.81 g/cm³		m2	2.5	35.00	\$ 87.50
Adhesivo epoxico		m2	2.5	10	\$ 25.00
SUBTOTAL O					312.50
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					\$ -
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				327.46
	INDIRECTOS			0.00%	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				327.46
UN dolar SETENTA centavo					
25/11/2024					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
			CONSULTOR		

PROYECTO:		PROYECTO DE TITULACIÓN			
CONTRATISTA:		CONSULTOR:		Ing.María Belén Chicaiza	
ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
RUBRO:	FRP 01-009			UNIDAD:	m2
DETALLE:	Arenado en húmedo para proporcionar un anclaje adecuado para el acabado final				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Herramienta Menor (5% M.O.)					\$ 0.02
Maquina de arenado	1	\$ 4.20	\$ 4.20	0.10	\$ 0.42
					\$ -
SUBTOTAL M					\$ 0.44
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIM	COSTO
Albañil	1	\$ 3.83	\$ 3.83	0.10	\$ 0.38
					\$ -
SUBTOTAL N					0.38
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Arena de silice		kg	10	10.00	\$ 100.00
SUBTOTAL O					100.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL P					\$ -
	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				100.82
	INDIRECTOS			0.00%	0.00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				100.82
UN dolar SETENTA centavo					
25/11/2024					
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
			CONSULTOR		