

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Diseño, evaluación estructural y durabilidad del edificio de parqueos de 9 niveles:  
alternativas de intervención.

INGE-3044

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Civil**

Presentado por:

Néstor Andrés Villacís Serrano

Mike Angelo Mocha Guaman

Guayaquil - Ecuador

II PAO 2025

## **Dedicatoria**

---

El presente trabajo lo dedico a mis abuelos (mis padres), mi motor y la razón absoluta de todo mi esfuerzo; a mis hermanas, por su apoyo incondicional desde siempre, y a toda mi familia. También a mi perrita Cloe, mi fiel compañera de estudios, que ahora me acompaña desde el cielo.

**Néstor Andrés Villacís Serrano**

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor, sacrificio y confianza, que hicieron posible la culminación de esta meta.

A los profesores, por su guía y enseñanzas y a mis amigos, por su acompañamiento durante este proceso.

**Mike Angelo Mocha Guaman**

## Agradecimientos

---

Nuestro más sincero agradecimiento a la ESPOL por nuestra formación académica. A nuestro tutor, Ing. Luis Sánchez, por su acertada guía técnica; y en general, a nosotros mismo, por nuestro compromiso y respaldo durante todo el desarrollo de este proyecto.

**Mike Mocha, Nestor Villacis**

## Declaración Expresa

---

Nosotros Néstor Andrés Villacis Serrano y Mike Ángelo Mocha Guamán acordamos y reconocemos que:

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

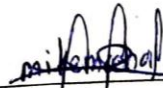
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada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

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

Guayaquil, 8 de octubre del 2025.



Néstor Andrés Villacis Serrano



Mike Ángelo Mocha Guamán

## **Evaluadores**

---

---

**Msc. Lenin Dender**

Profesor de Materia

---

**Msc. PhD. Luis Sánchez**

Tutor de proyecto

## Resumen

El presente proyecto evalúa el estado estructural y la durabilidad del edificio de parques Centro Park, de nueve niveles, ubicado en la ciudad de Guayaquil, con el objetivo de proponer alternativas técnicas de intervención que mejoren su desempeño estructural y prolonguen su vida útil. Se parte de la hipótesis de que los daños observados en las losas y el comportamiento estructural deficiente frente a acciones sísmicas pueden ser mitigados mediante un refuerzo adecuado y una rehabilitación integral de los elementos afectados, justificando así la necesidad de intervención.

Para el desarrollo del proyecto se realizaron inspecciones visuales, ensayos no destructivos y análisis de laboratorio, complementados con modelaciones estructurales conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Se emplearon materiales como morteros de reparación, recubrimientos protectores y acero estructural, además de técnicas de refuerzo mediante placas metálicas y sistemas de arriostramiento. Las alternativas de intervención fueron evaluadas considerando criterios estructurales, constructivos, económicos y ambientales.

Los resultados evidenciaron que, en su estado inicial, la edificación no cumplía con los límites normativos de deriva. Luego de la intervención propuesta, se logró una reducción significativa de desplazamientos laterales y una mejora notable en la durabilidad de las losas. En conclusión, la solución planteada mejora el comportamiento sísmico y la vida útil del edificio, constituyéndose en una alternativa técnica viable para edificaciones existentes con características similares.

**Palabras Clave:** durabilidad estructural, refuerzo metálico, derivas sísmicas, rehabilitación estructural, edificaciones existentes, vida útil

### Abstract

This project evaluates the structural condition and durability of the Centro Park parking building, a nine-story structure located in the city of Guayaquil, with the aim of proposing technical intervention alternatives that improve its structural performance and extend its service life. The study is based on the hypothesis that the deterioration observed in the slabs and the inadequate seismic behavior of the structure can be mitigated through appropriate strengthening strategies and comprehensive rehabilitation of the affected elements, thus justifying the proposed intervention.

During the development of the project, visual inspections, non-destructive testing, and laboratory analyses were conducted, supported by structural modeling in accordance with the Ecuadorian Construction Code. Materials such as repair mortars, protective coatings, and structural steel were used, along with strengthening techniques that included steel plate reinforcement and the addition of bracing systems. The proposed alternatives were assessed considering structural, constructive, economic, and environmental criteria.

The results showed that, in its original condition, the building did not fully comply with the allowable interstory drift limits. After applying the proposed interventions, a significant reduction in lateral displacements was achieved, along with an improvement in slab durability. In conclusion, the proposed solution enhances the seismic behavior and service life of the building, representing a technically feasible option for the rehabilitation of existing structures with similar characteristics.

**Keywords:** structural durability, steel strengthening, seismic drift, structural rehabilitation, existing buildings, service life

## Índice general

Resumen .....	I
Abstract .....	II
Índice general .....	III
Abreviaturas .....	X
Simbología .....	XI
Índice de figuras .....	XII
Índice de tablas .....	XIV
Índice de planos .....	XVI
Capítulo 1 .....	1
1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Descripción del Problema .....	4
1.3 Justificación del Problema .....	6
1.4 Objetivos .....	7
1.4.1 Objetivo general .....	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
Capítulo 2 .....	8
2 MATERIALES Y MÉTODO.....	9
2.1 Revisión de literatura .....	9
2.1.1 Patología y Durabilidad en Concreto Armado .....	9
2.1.2 Mecanismos de Deterioro en Ambientes Costeros .....	9
2.1.3 Ataques químicos del hormigón en ambientes urbanos y costeros.....	9
2.1.4 El Proceso de Carbonatación.....	12
2.1.4.1 Corrosión del Acero de Refuerzo. ....	13
2.1.4.2 Fase de iniciación de corrosión del acero. ....	13

2.1.4.3	Fase de propagación de corrosión del acero. ....	13
2.1.5	Proyección de Vida Útil Remanente y Modelado de Corrosión. ....	15
2.1.5.1	Modelo de deterioro según Tuutti (1982). ....	15
2.1.5.2	Modelos para estimar la fase de iniciación. ....	15
2.1.5.3	Estimación de resistividad eléctrica. ....	16
2.1.5.4	Relación entre Potencial de Media Celda e intensidad de corrosión. ....	16
2.1.5.5	Modelos para la fase de propagación. ....	17
2.1.6	Análisis Estructural y Estados Límite .....	18
2.1.6.1	Normativa Vigente para el Diseño y Evaluación .....	18
2.1.6.1.1	NEC-SE-HM (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2015).      18	
2.1.6.1.2	NEC-SE-DS (Determinación de cargas). ....	18
2.1.6.1.3	ACI 318-19. ....	18
2.1.6.1.4	D ACI 562-21. ....	18
2.1.6.1.5	D ACI 364.1R. ....	18
2.1.6.2	Estados Límite Último (ELU). ....	19
2.1.6.3	Estados Límite de Servicio (ELS). ....	20
2.2	Área de estudio .....	20
2.2.1	Ubicación geográfica de lugar. ....	20
2.2.2	Clima y humedad .....	22
2.2.3	Contexto urbano y ambiental .....	23
2.3	Trabajo de campo y laboratorio .....	24
2.3.1	Fase de Inspección Visual y Levantamiento de Daños .....	24
2.3.1.1	Descascaramiento del recubrimiento por corrosión del acero de refuerzo. 24	
2.3.1.2	Corrosión en vigas metálicas de borde. ....	25
2.3.1.3	Espesores de losa. ....	26
2.3.2	Selección de puntos de muestreo .....	26
2.3.3	Extracción de núcleos y verificación de resistencia. ....	27
2.3.4	Ensayo de carbonatación .....	28
2.3.5	Ensayo de potencial de corrosión. ....	30

2.3.6	Medición del recubrimiento del refuerzo .....	31
2.3.7	Evaluación de Corrosividad, Durabilidad del Recubrimiento y Propiedades Mecánicas del Acero .....	32
2.3.7.1	Evaluación de Corrosividad y Durabilidad del Recubrimiento. ....	32
2.3.7.2	Clasificación del Ambiente.....	32
2.3.8	Evaluación del Espesor de Película Seca (NDFT).....	33
2.3.9	Ensayo de Propiedades Mecánicas del Acero. ....	34
2.3.10	Vida útil de la estructura .....	35
2.3.11	Revisión estructural del edificio (Modelado).....	36
2.3.11.1	Propiedades de los Materiales.....	36
2.3.11.2	Parámetros de Sitio.....	36
2.3.11.3	Factor de Reducción de Respuesta Sísmica (R).....	37
2.3.11.4	Análisis modal y modos de vibración.....	37
2.3.11.4.1	Configuración del análisis modal. ....	38
2.3.11.5	Análisis de Resultados: Derivas de Piso.....	39
2.3.12	Revisión de losa .....	41
2.3.12.1	Cargas de diseño y momentos solicitantes.....	43
2.3.12.2	Cálculo del refuerzo.....	43
2.3.12.3	Resistencia a flexión. ....	44
2.3.12.4	Momento Último de Diseño (Demanda Modelada).....	45
2.3.12.5	Umbral de Falla por Remoción de Varillas.....	46
2.3.12.6	Falla por Remoción de Varillas (Modelo con Losa Falsa).....	47
2.4	Análisis de datos.....	48
2.4.1	Relación entre patologías observadas y condiciones ambientales .....	48
2.4.2	Integración de resultados de resistencia y desempeño de las losas.....	49
2.4.3	Coherencia entre carbonatación y corrosión del acero.....	49
2.4.4	Estado comparativo del acero estructural metálico.....	49
2.5	Análisis de alternativas.....	50
2.5.1	Metodología empleada .....	50
2.5.2	Criterios de evaluación.....	50

2.5.3	Formulación y descripción de alternativas.....	51
2.5.3.1	Reparación de losa y refuerzo de columnas con fibra de carbono (CFRP).	51
2.5.3.2	Reparación de losa y refuerzo de columnas con placas metálicas.....	52
2.5.3.3	Reparación de losa y adición de arriostramientos metálicos. ....	52
2.5.4	Justificación de cada alternativa.....	52
2.5.4.1	Reparación de losa y refuerzo en las columnas con fibra de carbono.....	52
2.5.4.2	Reparación de losa y refuerzo en columnas con placas metálicas.....	53
2.5.4.3	Reparación de losa y reforzamientos de columnas con arriostramientos metálicos.....	54
2.5.5	Selección de la mejor alternativa .....	55
Capítulo 3	.....	56
3	DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES .....	57
3.1	Reparación de los Paños Perimetrales de Losa. ....	57
3.1.1	Objetivo y Alcance.....	57
3.1.2	Reconstrucción del Recubrimiento y Remoción del Hormigón Afectado. ....	57
3.1.3	Preparación y Limpieza del Refuerzo. ....	58
3.1.4	Aplicación del Puente de Adherencia. ....	58
3.1.5	Colocación del Mortero de Reparación con Inhibidor de Corrosión. ....	59
3.1.6	Verificación de Capacidad Estructural de la Losa Reparada. ....	60
3.1.7	Aplicación del Revestimiento Anticarbonatación.....	61
3.1.8	Vida útil remanente posterior a la rehabilitación .....	62
3.1.9	Planos de intervención de los paños de losa. ....	62
3.2	Diseño de reforzamientos para el control de derivas. ....	63
3.2.1	Verificación y descarte de la alternativa con CFRP.....	63
3.2.2	Objetivo y Alcance.....	63
3.2.3	Arriostramientos.....	64
3.2.3.1	Disposición General de los Arriostramientos.....	64
3.2.3.2	Criterios de Diseño del Sistema de Arriostramiento.....	65
3.2.3.3	Selección del material y sección del arriostre demostrativo.....	66

3.2.3.4	Determinación de la Resistencia a Tracción del Arriostre .....	66
3.2.3.5	Verificación frente a las Demandas del Análisis Estructural .....	67
3.2.3.6	Diseño de las Conexiones .....	68
3.2.3.6.1	Conexión mediante Pernos .....	68
3.2.3.6.2	Diseño de la Soldadura de la Cartela .....	69
3.2.3.6.3	Detalle de las Conexiones Inferiores .....	70
3.2.3.6.4	Detalle del Nudo Central del Arriostramiento. ....	75
3.2.4	Columnas metálicas reforzadas .....	77
3.2.4.1	Descripción general del refuerzo estructural .....	77
3.2.4.2	Configuración del refuerzo con placas soldadas .....	78
3.2.4.3	Justificación estructural del refuerzo en el primer nivel. ....	79
3.2.4.4	Cálculo del incremento de rigidez por aumento de inercia .....	80
3.2.4.5	Detalle de cálculo demostrativo para la Columna A1 .....	81
3.2.4.6	Resultados globales del refuerzo. ....	85
3.2.4.7	Criterios de diseño y ejecución del refuerzo. ....	86
3.2.5	Análisis de Resultados: Derivas de Piso .....	87
3.2.6	Análisis de los reforzamientos en general .....	88
Capítulo 4	.....	90
4	ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL .....	91
4.1	Descripción del proyecto .....	91
4.2	Línea base ambiental .....	92
4.2.1	Medio físico .....	92
4.2.2	Medio biótico .....	93
4.2.3	Medio socioeconómico .....	93
4.3	Actividades del proyecto .....	93
4.3.1	Fase de Construcción .....	93
4.3.2	Fase de Mantenimiento .....	95
4.4	Identificación de impactos ambientales .....	96
4.5	Valoración de impactos ambientales .....	99
4.6	Propuestas de medidas de prevención/mitigación .....	102

4.6.1	Plan para el control de emisiones de partículas al aire.....	102
4.6.2	Plan de control de ruido durante la intervención.....	103
4.6.3	Manejo seguro de materiales químicos y procesos de soldadura.....	103
4.6.4	Gestión integral de residuos no peligrosos y peligrosos .....	104
4.6.5	Plan de ordenamiento y seguridad en áreas internas del edificio.....	105
4.6.6	Plan de conservación del sistema de refuerzo estructural .....	105
4.6.7	Plan de capacitación y seguridad ocupacional .....	106
4.7	Resultados de medidas .....	106
Capítulo 5 .....		108
5	PRESUPUESTO .....	109
5.1	Estructura Desglosada de Trabajo.....	109
5.2	Especificaciones Técnicas.....	110
5.3	Rubros y análisis de precios unitarios .....	112
5.4	Cantidades de obra .....	115
5.5	Cronograma de obra .....	121
Capítulo 6 .....		125
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	126
6.1	Conclusiones .....	126
6.2	Recomendaciones.....	127
7	Referencias.....	128
PLANOS Y ANEXOS .....		136
8	Anexos.....	137
8.1	Anexos A.....	137
8.2	Anexos B.....	147
8.3	Anexos C.....	151
8.4	Anexos D.....	161
8.5	Anexos E.....	167

8.6	Anexo F .....	184
-----	---------------	-----

### Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISC	American Institute of Steel Construction
AWS	American Welding Society
CFRP	Polímeros reforzados con fibras de carbono
GFRP	Polímeros reforzados con fibra de vidrio
ELS	Estados límite de servicio
ELU	Estado límite último
Ecorr	Potencial de corrosión
Icorr	Intensidad de corrosión
LEMAT	Laboratorio de evaluación de materiales
NYLIC	Nuñez y Luque Ingenieros consultores
ACI	American Concrete Institute
NEC	Norma ecuatoriana de la construcción
NEC-SE-DS	Norma Ecuatoriana de la Construcción – Diseño Sismorresistente
NEC-SE-HM	Norma Ecuatoriana de la Construcción – Hormigón Armado
CQC	Complete Quadratic Combination
END	Ensayos no destructivos

## Simbología

mm	Milímetro
cm	Centímetro
m	Metro
pH	Potencial de Hidrógeno
mV	Milivoltio
$\mu$ A	Microamperios
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Mn	Momento nominal
MPa	Megapascal
$\Delta$ d	Perdida de diámetro
t <sub>p</sub>	Años de corrosión activa
Cu	Cobre
CuSO <sub>4</sub>	Sulfato de Cobre

## Índice de figuras

Figura 1 <i>Proceso de carbonatación</i> .....	10
Figura 2 <i>Deterioro del hormigón por cloruros</i> .....	10
Figura 3 <i>Deterioro del hormigón por sulfato</i> .....	11
Figura 4 <i>Eflorescencias en elementos de hormigón</i> .....	12
Figura 5 <i>Mapa de ubicación del edificio Centro Park</i> .....	21
Figura 6 <i>Distribución espacial de la humedad relativa promedio de Guayaquil</i> .....	22
Figura 7 <i>Descascaramiento del recubrimiento y exposición de acero corroído en losa</i> .....	25
Figura 8 <i>Evidencia de corrosión en viga metálica de borde</i> .....	25
Figura 9 <i>Ubicación de los tres puntos de muestreo (Muestra 1, Muestra 2, Muestra 3)</i> .....	27
Figura 10 <i>Núcleo extraído durante la perforación</i> .....	28
Figura 11 <i>Núcleo sometido a ensayo de carbonatación</i> .....	29
Figura 12 <i>Celdas abiertas para medición del potencial de corrosión</i> .....	30
Figura 13 <i>Ubicación de puntos de medición de ultrasonido</i> .....	32
Figura 14 <i>Dimensiones del paño de la losa</i> .....	41
Figura 15 <i>Representación de viga simplemente apoyada</i> .....	42
Figura 16 <i>Recubrimientos de losa</i> .....	42
Figura 17 <i>Diagrama de momentos flectores últimos en el paño analizado</i> .....	45
Figura 18 <i>Diagramas de momentos redistribuidos en el paño</i> .....	46
Figura 19 <i>Diagrama de momentos redistribuidos en el paño para el segundo caso de remoción de varillas en el eje corto (X)</i> .....	47
Figura 20 <i>Vista de todas las capas de la losa</i> .....	61
Figura 21 <i>Vista de los arriostramientos colocados</i> .....	64
Figura 22 <i>Colocación de las placas en columna</i> .....	64
Figura 23 <i>Ubicación de los arriostramientos concéntricos de la solución propuesta</i> .....	65
Figura 24 <i>Vista de las conexiones</i> .....	70
Figura 25 <i>Vista de la colocación final del perno</i> .....	71
Figura 26 <i>Numero de pernos adaptados</i> .....	73
Figura 27 <i>Vista del perno en la planta baja</i> .....	73
Figura 28 <i>Vista de nudo central del arriostramiento</i> .....	77

Figura 29 <i>Ubicación de las columnas a reforzar en la planta baja</i> .....	78
Figura 30 <i>Dimensiones de columna I4 reforzada</i> .....	78
Figura 31 <i>Dimensiones de la columna H1” reforzada</i> .....	79
Figura 32 <i>Dimensiones de la columna demostrativa</i> .....	81
Figura 33 <i>Diagrama de Grantt de las actividades realizadas en el proyecto</i> .....	124

## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación de corrosión</i> .....	17
Tabla 2 <i>Tabla comparativa de espesores de losa</i> .....	26
Tabla 3 <i>Resistencia a compresión de núcleos extraídos (ASTM C39)</i> .....	28
Tabla 4 <i>Tabla de las alturas de carbonatación en las Muestra 1, Muestra 2 y Muestra 3</i> .....	29
Tabla 5 <i>Resultados del ensayo de potencial de corrosión (ASTM C876)</i> .....	30
Tabla 6 <i>Recubrimientos medidos en Muestra 1, Muestra 2 y Muestra 3</i> .....	31
Tabla 7 <i>Espesores por nivel</i> .....	33
Tabla 8 <i>Resultados del ensayo mecánico y comparación normativa</i> .....	34
Tabla 9 <i>Coeficientes para el espectro de respuesta</i> .....	36
Tabla 10 <i>Parámetros modales del modelo estructural</i> .....	38
Tabla 11 <i>Total de derivas críticas por piso</i> .....	40
Tabla 12 <i>Resultados de la simulación</i> .....	46
Tabla 13 <i>Resultados del análisis del umbral de falla por eliminación de 11 varillas en el eje corto</i> .....	46
Tabla 14 <i>Evaluación del momento máximo obtenido tras la eliminación combinada de varillas en los ejes corto y largo</i> .....	47
Tabla 15 <i>Calificación de mejor alternativa de intervención</i> .....	55
Tabla 16 <i>Propiedades mínimas requeridas</i> .....	60
Tabla 17 <i>Resultados de las fuerzas axiales máximas de cada piso</i> .....	67
Tabla 18 <i>Columnas reforzadas en planta baja</i> .....	79
Tabla 19 <i>Tabla de resultados para las 6 columnas reforzadas del nivel de planta baja</i> .....	86
Tabla 20 <i>Comparativa de derivas iniciales y finales con reforzamiento propuesto (direcciones X e Y)</i> .....	88
Tabla 21 <i>Matriz de identificación de impactos ambientales</i> .....	96
Tabla 22 <i>Valoración de impactos ambientales</i> .....	100
Tabla 23 <i>Cantidades de estudio y ensayos</i> .....	116
Tabla 24 <i>Cantidades de obra civil</i> .....	117
Tabla 25 <i>Detalle de costos de Ingeniería y estudios</i> .....	118
Tabla 26 <i>Presupuesto general de obra</i> .....	119
Tabla 27 <i>Costos de fiscalización</i> .....	121

Tabla 28 <i>Cronograma resumido</i> .....	122
Tabla 29 <i>Reforzamiento de todas las columnas</i> .....	147
Tabla 30 <i>Derivas iniciales de todos los pisos</i> .....	147
Tabla 31 <i>Derivas finales de todos los pisos</i> .....	149

## Índice de planos

- PLANO 1 Planta baja del edificio centro park
- PLANO 2 Planta 1 y 2 del edificio centro park
- PLANO 3 Planta del 3 al 8 del edificio centro park
- PLANO 4 Area de intervención de losas
- PLANO 5 Detalle de la losa actual, losa reforzada y metodología para rehabilitación
- PLANO 6 Detalle de las columnas reforzadas con metodología para reforzamiento
- PLANO 7 Detalle de arriostramiento con metodología de reforzamiento
- PLANO 8 Detalle de las conexiones de los arriostramientos
- PLANO 9 Corte en Revit 1
- PLANO 10 Corte en Revit 2

# Capítulo 1

## 1 INTRODUCCIÓN

El diseño de estructuras seguras y duraderas constituye uno de los pilares esenciales de la ingeniería civil. En edificaciones contemporáneas, como los edificios de parqueo multinivel, convergen sistemas mixtos conformados por losas de hormigón armado y una estructura metálica principal compuesta por columnas y vigas de acero estructural. Ambos materiales participan activamente en la resistencia global del sistema y están expuestos a condiciones ambientales que pueden comprometer su desempeño. Con el paso del tiempo, la preocupación ingenieril se ha desplazado desde el enfoque puramente resistente hacia una visión más integral que incorpora la durabilidad, la interacción entre materiales y la proyección de vida útil bajo agentes de deterioro físicos, químicos y ambientales.

La exposición continua a entornos agresivos, especialmente en áreas urbanas costeras, somete al hormigón a procesos patológicos que aceleran su deterioro. Los principales factores que amenazan la integridad del hormigón armado son la carbonatación y la corrosión del acero de refuerzo. Estos procesos reducen la alcalinidad del hormigón, eliminando la capa de protección del acero, lo que resulta en una pérdida progresiva de la sección transversal de la armadura y una disminución de la capacidad portante y la funcionalidad de la estructura a largo plazo.

Teniendo presente este contexto, edificaciones multiniveles usadas como parqueos son singularmente vulnerables. Los elementos estructurales no solo soportan cargas de tráfico dinámicas, sino que también están sometidas de forma continua a la acción del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) emitido por los propios vehículos que las utilizan, así como por aquellos que circulan en su entorno inmediato, que impulsan la carbonatación, junto con la alta humedad y, en zonas costeras como Guayaquil, la posible intrusión de cloruros transportados por la brisa marina.

En consecuencia, la ingeniería estructural ha adoptado metodologías avanzadas que integran la inspección visual, los ensayos no destructivos como el ultrasonido o potencial de corrosión y el modelado predictivo para una evaluación integral de durabilidad. Este enfoque permite a los ingenieros no solo diagnosticar el estado actual de deterioro sino también estimar la vida útil remanente y plantear intervenciones de rehabilitación que sean eficientes, económicas y sostenibles, respaldando la continuidad del servicio de la edificación existente.

## **1.1 Antecedentes**

El estudio de la durabilidad del hormigón bajo condiciones de exposición severa ha sido una prioridad global. Investigaciones como las realizadas por Bueno et al. (2019) en Brasil revelaron que la exposición prolongada al CO<sub>2</sub> y la humedad disminuye significativamente la alcalinidad del hormigón, acelerando la corrosión. De igual forma, el estudio de Cho et al. (2025) fortaleció la evaluación predictiva al proponer métodos probabilísticos para estimar con mayor precisión la vida residual de las estructuras deterioradas.

A nivel regional, el Proyecto Troconis De Rincón et al. (2016) analizó la durabilidad del hormigón en entornos marinos y urbanos en climas tropicales, concluyendo que las estructuras en estas regiones sufren una penetración más rápida de agentes agresivos y una pérdida temprana de la protección del acero. De manera complementaria, estudios enfocados en diseño, como el de Castañeda Valdés et al. (2024), han identificado parámetros de diseño idóneos, relación agua-cemento y grosor del recubrimiento, que son cruciales para prolongar la vida útil en zonas costeras con alta salinidad.

Además de los estudios enfocados en el hormigón armado, investigaciones recientes han analizado el deterioro de las estructuras mixtas de acero estructural y hormigón armado expuestas a ambientes urbanos y marinos. En regiones tropicales, donde la humedad relativa permanece elevada y la atmósfera contiene concentraciones significativas de contaminantes urbanos, la corrosión atmosférica del acero estructural se ve notablemente intensificada. Corvo Perez (1984)

demonstró que la combinación de humedad permanente, variaciones térmicas y niveles apreciables de polución incrementa las tasas de oxidación, favoreciendo la pérdida de recubrimiento y la formación acelerada de productos corrosivos incluso en perfiles con protección superficial.

Ante la necesidad de la rehabilitación de edificaciones existentes sometidas a procesos de deterioro, la ingeniería estructural ha desarrollado diversas estrategias de intervención, que incluyen tanto soluciones tradicionales como sistemas de refuerzo innovadores. En el ámbito experimental, Hosen et al. (2024) demostraron que vigas reforzadas con polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) pueden experimentar aumentos de hasta el 161% en la carga última, mejorando significativamente la rigidez y el comportamiento a flexión. Similarmente, otros compuestos como las varillas de fibra de vidrio (GFRP) investigadas por Lavrentyev et al. (2023) han mostrado potencial para extender la durabilidad estructural en entornos costeros.

En Ecuador, específicamente en Guayaquil, existe un creciente interés en aplicar estos enfoques de durabilidad y refuerzo innovador. Este estudio enmarca esta necesidad, buscando combinar el diagnóstico integral con la aplicación de soluciones para preservar la infraestructura de concreto armado existente.

## **1.2 Descripción del Problema**

Este estudio principalmente se enfoca en la evaluación de las losas de hormigón armado, las columnas y vigas metálicas en el edificio de parqueos de 9 niveles, propiedad de la empresa gestora Centro Park, empresa de gestión de aparcamientos. El problema radica en el deterioro progresivo de ambos sistemas estructurales (hormigón y acero), debido a la acción combinada del entorno interno operativo y externo ambiental. Por un lado, la operación continua del parqueo y el entorno en donde se encuentra la edificación genera una concentración de dióxido de carbono que acelera el proceso de carbonatación del hormigón, reduciendo su pH de un valor

alcalino aproximadamente  $\text{pH} = 13$  a neutro  $\text{pH} < 9$ , lo que destruye la capa pasivadora que protege al acero de refuerzo.

Los problemas asociados a la carbonatación incluyen la pérdida de adherencia entre el acero y el concreto, fisuración superficial por expansión de los productos de corrosión, reducción del área efectiva del refuerzo y, en consecuencia, una disminución de la capacidad portante y la rigidez de la losa. Por otro lado, la alta humedad y salinidad ambiental de Guayaquil, derivadas de su clima costero, incrementan la conductividad eléctrica del concreto y favorecen la penetración de cloruros, especialmente en zonas expuestas a aerosoles marinos o a lavado frecuente de vehículos. La presencia de sales disueltas en el ambiente acelera la corrosión localizada del acero, generando picaduras, desprendimiento del recubrimiento y formación de grietas longitudinales que debilitan la estructura.

Adicionalmente, se han detectado filtraciones de agua de lluvia a través de juntas, grietas y puntos de drenaje insuficientes. Este ingreso de humedad constante aumenta la saturación del concreto, lo que agrava los procesos de carbonatación y corrosión lo que puede provocar eflorescencias, delaminaciones o desprendimientos parciales del recubrimiento en las losas más expuestas.

Este deterioro es evidente a través de patologías que se observan, incluyendo fisuras y desprendimiento de recubrimiento en las losas y manchas de óxido en las vigas y columnas. A nivel global del sistema estructural, la coexistencia de estos compromete tanto los Estados Límite de Servicio (ELS), reflejados en fisuración y pérdida de rigidez, como los Estados Límite Últimos (ELU), donde la reducción de la sección efectiva del refuerzo y la potencial pérdida de adherencia disminuyen la capacidad resistente. Esta situación es especialmente crítica en edificaciones de parqueo, donde las cargas dinámicas y la exposición continua a agentes químicos aceleran los mecanismos de degradación.

Paralelamente, se ha identificado deterioro en la estructura metálica, constituida por columnas y vigas de acero estructural que trabajan en conjunto con las losas. Se observan manchas de óxido, pérdida de pintura protectora y corrosión localizada en vigas de borde. Estas patologías se han desarrollado por la exposición a escurrimientos puntuales, filtraciones desde niveles superiores con ciclos de humedecimiento y secado propios de estructuras semiabiertas.

### **1.3 Justificación del Problema**

El valor atractivo de este estudio radica en el análisis comparativo de alternativas de intervención, un aspecto que hasta ahora no ha sido explorado de forma general. Además, asegura que la solución final se base en una evaluación técnica, económica y ambiental alineada con los ODS 9 y 11 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015), permitiendo la toma de decisión más responsable para el aumento de la vida útil de la edificación.

La intervención sobre las losas, columnas y vigas de Centro Park se justifica como una medida crítica al deterioro progresivo, generado por la corrosión en el sistema estructural, y la pérdida de sección de la armadura de refuerzo. Esto amenaza la rigidez y la resistencia de la estructura, y de no actuar, podría conducir a fallas localizadas, comprometiendo el desempeño global de la edificación. La evaluación exhaustiva garantiza que la edificación cumpla con la normativa vigente y pueda seguir operando bajo condiciones seguras.

Desde el punto de vista económico, una intervención temprana es significativamente menos costosa que una reparación mayor o la reconstrucción total a futuro. Al tener un estudio comparativo de las posibles intervenciones a realizarse, se busca determinar la solución más eficiente y de rápida ejecución, que permita reducir al mínimo el tiempo de inactividad del edificio y, por ende, las pérdidas económicas asociadas a la suspensión del servicio.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 *Objetivo general*

Diseñar alternativa de intervención para las losas de hormigón armado y columnas del edificio de parqueos de acero estructural de 9 niveles en Guayaquil, basándose en la evaluación de capacidad y de la durabilidad estructural para asegurar la funcionalidad, seguridad y vida útil del edificio.

### 1.4.2 *Objetivos específicos*

1. Realizar una inspección técnica y levantamiento de información, mediante observación directa y toma de fotos para la identificación de fisuras, corrosión y desprendimientos.
2. Analizar el desempeño estructural del edificio mediante un modelo en un software de análisis estructural bajo criterios ELU y ELS, verificando el cumplimiento del diseño original e identificando posible necesidad de refuerzo.
3. Evaluar el estado actual de las losas de hormigón armado del edificio de parqueos mediante ensayos de campo y de laboratorio, verificando el nivel de deterioro estructural.
4. Aplicar modelos determinísticos de propagación de la corrosión, utilizando como criterio de falla, la pérdida de sección crítica del acero, para la estimación de la Vida Útil Remanente de las losas.
5. Diseñar alternativa de intervención mediante criterios de costo, mantenimiento y desempeño estructural que permitan una mejor seguridad, funcionalidad y extensión de la vida útil del edificio.

## Capítulo 2

## 2 MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1 Revisión de literatura

#### 2.1.1 *Patología y Durabilidad en Concreto Armado*

El estudio de la patología estructural en el concreto armado se centra en comprender los mecanismos físicos, químicos y ambientales que deterioran sus propiedades con el tiempo. Diversos autores concuerdan en que los principales factores de deterioro son la carbonatación, la penetración de cloruros, los ciclos de humedad y temperatura (Alexander et al., 2017). En Ecuador, estudios técnicos realizados por Reyes et al. (2022) en Guayaquil confirman la aparición de fisuras y corrosión en elementos de hormigón expuestos a ambientes salinos y alta humedad relativa.

#### 2.1.2 *Mecanismos de Deterioro en Ambientes Costeros*

El ambiente costero de Guayaquil representa un entorno altamente agresivo para el concreto armado, debido a su proximidad al estuario y a la incidencia de vientos que transportan cloruros. Por ejemplo, Ma et al. (2025) hallaron que en zonas costeras la carbonatación se acelera y facilita la penetración de cloruros, lo cual incrementa la corrosión del acero de refuerzo. De forma similar, Medvedev et al. (2023) concluyeron que la combinación de humedad elevada y exposición continua a CO<sub>2</sub> incrementa la profundidad de carbonatación y acorta la vida útil de los elementos estructurales.

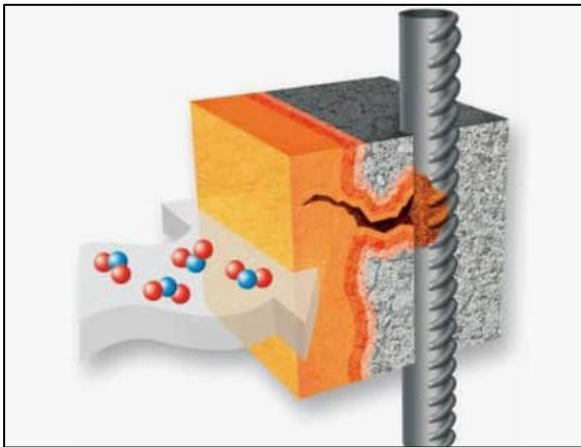
También, Hanžič et al. (2021) realizaron experimentos de carbonatación acelerada correlacionando el transporte de humedad con la profundidad de daño, lo que es muy relevante para losas de parqueo expuestas a la intemperie, principalmente en estructuras semiabiertas, detectando corrosión temprana en losas superiores de parqueaderos debido a recubrimientos menores a los mínimos de la NEC-SE-HM.

#### 2.1.3 *Ataques químicos del hormigón en ambientes urbanos y costeros*

La carbonatación aparece con frecuencia en estructuras expuestas al tráfico, ya que reduce el pH del concreto y deja al acero sin su capa pasiva como se observa en la Figura 1. En zonas urbanas húmedas este proceso avanza más rápido, sobre todo cuando las superficies pasan por ciclos repetidos de humedecimiento y secado. Según Fuhaid y Niaz (2022), estas variaciones facilitan la entrada de  $\text{CO}_2$  y aceleran la despasivación del acero, algo muy evidente en losas expuestas a la intemperie.

### Figura 1

*Proceso de carbonatación*



Nota. La imagen muestra el avance del frente de carbonatación y la pérdida de la capa pasiva del acero, lo que conduce al inicio de la corrosión. Fuente: rarquitectura (n.d).

La entrada de cloruros, por su parte, constituye un mecanismo crítico en ciudades costeras. J. Liu et al. (2018) demostraron que los cloruros transportados por aerosoles marinos pueden depositarse en la superficie del concreto y penetrar hacia el acero de refuerzo, incluso en materiales de buena calidad, acelerando la iniciación de la corrosión localizada cuando el recubrimiento es reducido como se evidencia en la Figura 2. Este fenómeno favorece la aparición de picaduras en el refuerzo y aumenta la vulnerabilidad de la estructura en general.

### Figura 2

*Deterioro del hormigón por cloruros*



Nota. Degradación superficial y desprendimiento de capas debido a reacciones químicas en el concreto. Fuente: Asociación de Fabricantes de Morteros y SATE - ANFAPA (2020).

Otro mecanismo de deterioro que suele presentarse en ciertas estructuras es el ataque por sulfatos, el cual aparece cuando el concreto está en contacto con aguas contaminadas o materiales que contienen sulfatos solubles como se observa en la Figura 3. C. Zhang et al. (2024) señalan que estos iones reaccionan con los aluminatos del cemento y generan etringita secundaria, un compuesto que tiende a expandirse y producir fisuras internas. Con el tiempo, esta reacción reduce la cohesión del material y debilita la masa del concreto, algo que se observa con mayor frecuencia en zonas donde se acumula o infiltra agua contaminada.

### **Figura 3**

*Deterioro del hormigón por sulfato*



Nota. Disgregación y pérdida de cohesión superficial originada por la expansión de productos de reacción con sulfatos. Fuente: Asociación de Fabricantes de Morteros y SATE - ANFAPA (2020).

Finalmente, el fenómeno de la eflorescencia revela rutas activas de transporte de humedad y sales dentro de la matriz del concreto como se evidencia en la Figura 4. Aunque a simple vista puede parecer solo una capa blanca superficial, indica que el agua y los agentes agresivos han migrado hacia la superficie y pueden anticipar daños más graves como desprendimientos o delaminaciones (Norsuzailina & Sinin, 2013).

#### **Figura 4**

*Eflorescencias en elementos de hormigón*



Nota. Se observan depósitos blanquecinos de sales en la superficie del hormigón. Fuente: Eadic (2013).

#### **2.1.4 El Proceso de Carbonatación**

El fenómeno de la carbonatación ha sido ampliamente documentado por la comunidad científica. Zhang et al. (2023) señalan que el  $\text{CO}_2$  atmosférico reacciona con los hidróxidos de calcio presentes en la pasta del cemento, generando carbonatos de calcio, reduciendo el pH del poro y desprotegiendo las barras de acero. Esto elimina la capa pasiva del acero, iniciando el proceso de corrosión.

En ambientes tropicales húmedos, como el de Guayaquil, la carbonatación ocurre incluso en concretos de buena calidad debido a la fluctuación de la humedad superficial. Lai et al. (2021) reportaron que las losas en zonas urbanas con tránsito vehicular elevado presentan tasas de carbonatación un 40 % superiores a las de estructuras residenciales.

#### **2.1.4.1 Corrosión del Acero de Refuerzo.**

La corrosión del refuerzo en concreto armado se entiende hoy día como un mecanismo en dos fases: la iniciación, en la cual los agentes agresores alcanzan la superficie del acero y rompen la capa pasiva, y la propagación, donde se genera corrosión activa con expansión del óxido, fisuración del concreto y pérdida de sección de acero (Saura Gómez et al., 2023).

#### **2.1.4.2 Fase de iniciación de corrosión del acero.**

En la fase de iniciación, los cloruros o el CO<sub>2</sub> alcanzan la superficie del acero y destruyen la capa pasiva. Syll y Kanakubo (2022) analizaron múltiples estudios en ambientes costeros y concluyeron que cuando el recubrimiento es menor a 25-30 mm, la fase de iniciación de la corrosión puede presentarse en periodos tan cortos como 3 a 5 años, especialmente bajo exposición directa a aerosol marino y humedad elevada.

#### **2.1.4.3 Fase de propagación de corrosión del acero.**

La fase de propagación es más severa, los óxidos de hierro generados ocupan volúmenes mayores y provocan expansiones internas. Kurihara et al. (2025) analizaron el efecto de la corrosión sobre la interacción acero-concreto y comprobó que la expansión de los productos de corrosión provoca fisuras longitudinales visibles, pérdida de adherencia y, en etapas avanzadas, desprendimiento parcial del recubrimiento. Estos mecanismos reducen la capacidad del concreto para transferir esfuerzos hacia el refuerzo.

La fase de propagación es más severa, los óxidos de hierro generados ocupan volúmenes mayores y provocan expansiones internas. Kurihara et al. (2025) analizaron el efecto de la corrosión sobre la interacción acero-concreto y comprobó que la expansión de los productos de

corrosión provoca fisuras longitudinales visibles, pérdida de adherencia y, en etapas avanzadas, desprendimiento parcial del recubrimiento. Estos mecanismos reducen la capacidad del concreto para transferir esfuerzos hacia el refuerzo.

En estudios experimentales sobre deterioro flexional, Liu et al. (2025) observaron que la corrosión del refuerzo puede generar reducciones relevantes en la capacidad flexional, especialmente en estructuras expuestas a ambientes marinos donde la presencia de cloruros incrementa el deterioro. Este comportamiento es coherente con lo que podría presentarse en las losas del edificio de parqueos analizado en Guayaquil, dado que su condición semiabierta y la cercanía al estuario favorecen procesos de corrosión similares.

En estudios experimentales sobre deterioro flexional, Liu et al. (2025) observaron que la corrosión del refuerzo puede generar reducciones relevantes en la capacidad flexional, especialmente en estructuras expuestas a ambientes marinos donde la presencia de cloruros incrementa el deterioro. Este comportamiento es coherente con lo que podría presentarse en las losas del edificio de parqueos analizado en Guayaquil, dado que su condición semiabierta y la cercanía al estuario favorecen procesos de corrosión similares. La comprensión del proceso de carbonatación permite establecer modelos predictivos de deterioro, como el propuesto por Tuutti (1982), que separa el proceso en fases de iniciación y propagación, fundamentales para estimar la vida útil remanente de elementos estructurales de hormigón armado.

### 2.1.5 *Proyección de Vida Útil Remanente y Modelado de Corrosión.*

Para evaluar la durabilidad y estimar la vida útil remanente, se consideran los modelos conceptuales de deterioro (Tuutti, 1982), las relaciones empíricas entre resistencia y resistividad eléctrica del concreto (Martínez et al., 2021; Medeiros-Junior et al., 2019), los criterios de intensidad de corrosión (Andrade & Alonso, 1996) y la Ley de Faraday para la predicción de pérdida de sección del acero.

#### 2.1.5.1 **Modelo de deterioro según Tuutti (1982).**

El modelo de Tuutti permite identificar la fase actual del deterioro y determinar cuánto tiempo resta antes de alcanzar un estado crítico de daño, así mismo, divide la vida útil en dos fases consecutivas y viene definida por la siguiente ecuación 2.1. Cabe señalar que el modelo de Tuutti constituye una aproximación teórica simplificada, que no considera efectos estructurales globales ni redistribución de esfuerzos, por lo que sus resultados deben interpretarse como una estimación del deterioro del material y no como un indicador directo de falla estructural.:

$$t_{vida} = t_i + t_p \quad (2.1)$$

En donde:

*t<sub>vida</sub>*: Vida útil. [Años]

*t<sub>i</sub>*: Fase de iniciación. [Años]

*t<sub>p</sub>*: Fase de propagación. [Años]

#### 2.1.5.2 **Modelos para estimar la fase de iniciación.**

En casi nula participación de cloruros, la carbonatación es el principal mecanismo de despasivación. El avance de este se modela mediante la ley parabólica en la ecuación 2.2:

$$x_c(t) = k\sqrt{t} \quad (2.2)$$

En donde:

*x<sub>c</sub>*: es la profundidad de carbonatación.

*k*: es el coeficiente dependiente de humedad, permeabilidad y resistencia del concreto.

*t*: tiempo que tarda en carbonatarse cierta profundidad.

Cabe recalcar que la fase de iniciación termina cuando  $x_c = c$ , en donde  $c$  es el recubrimiento, y será medido durante la inspección y perforaciones exploratorias en las losas (Sección 2.3.2) y para el valor experimental de  $x_c$  se determinará mediante el ensayo de carbonatación (Sección 2.3.4).

### **2.1.5.3 Estimación de resistividad eléctrica.**

La resistividad eléctrica del concreto es un parámetro crucial para la corrosión, ya que controla la conductividad iónica. Según Martínez et al. (2021) y Medeiros-Junior et al. (2019), la resistividad puede estimarse de forma confiable a partir de la resistencia a compresión siguiendo la ecuación 2.3:

$$\rho = e^{((f'c+60.65)/40.97)} \quad (2.3)$$

En donde:

$\rho$ : Esla resistividad ( $k\Omega \cdot cm$ )

$F'c$ : Esla resistencia a compresión (MPa)

### **2.1.5.4 Relación entre Potencial de Media Celda e intensidad de corrosión.**

Una vez despasivado el acero, es fundamental determinar si la corrosión está activa y, de ser así, su velocidad. El Potencial de Media Celda es una técnica electroquímica que indica la probabilidad a la corrosión, según lo estipulado en la norma ASTM C876 (ASTM International, 2015). Esta probabilidad se calibra empíricamente con la Intensidad de Corrosión, que indica la velocidad cinética del daño (Andrade & Alonso, 1996; Medeiros-Junior et al., 2019), tal como se muestra en la Tabla 1:

**Tabla 1***Clasificación de corrosión*

<b>Potencial de Corrosión.</b> <b>E<sub>corr</sub> [mV]</b>	<b>Probabilidad de Corrosión</b>	<b>Intensidad de Corrosión.</b> <b>I<sub>corr</sub> estimado (μA/cm<sup>2</sup>)</b>
E <sub>corr</sub> < -200	Corrosión baja	0.1
-200 < E <sub>corr</sub> < -350	Corrosión moderada	0.5 – 5
E <sub>corr</sub> > -350	Corrosión alta	5 - 10

La clasificación se combinará con los valores obtenidos mediante potenciales de corrosión ASTM C876 (Sección 2.3.5), lo que permite obtener un I<sub>corr</sub> más realista.

#### **2.1.5.5 Modelos para la fase de propagación.**

Una vez determinada la intensidad de corrosión, la pérdida de sección del acero se evalúa mediante la Ley de Faraday, en la forma adaptada por Andrade y Alonso (1996) y se la observa en la ecuación 2.4:

$$\Delta d = 0.0116 * I_{corr} * t_p \quad (2.4)$$

En donde:

$\Delta d$ : Pérdida de diámetro (mm)

$I_{corr}$ : Intensidad de corrosión (μA/cm<sup>2</sup>)

$t_p$ : Años de corrosión activa.

## **2.1.6 Análisis Estructural y Estados Límite**

El análisis estructural permite comprender el comportamiento de los elementos estructurales frente a diferentes condiciones de carga y deterioro. Según CEB-FIP (2010), la evaluación debe contemplar tanto el estado de servicio como el de falla.

### **2.1.6.1 Normativa Vigente para el Diseño y Evaluación**

**NEC-SE-HM (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2015).** Define resistencia mínima, recubrimientos, control de fisuración y durabilidad para ambientes agresivos, aplicables como referencia para contrastar el estado existente.

**NEC-SE-DS (Determinación de cargas).** Incluye cargas gravitacionales, carga de parqueo y consideraciones de impacto y presencia de vehículos, fundamentales para evaluar losas en edificios de estacionamientos.

**ACI 318-19.** Proporciona los métodos para cálculo del momento nominal ( $M_n$ ), cuantías mínimas, verificación de estados límite y factores de reducción de resistencia.

**D ACI 562-21.** Norma esencial para evaluación de estructuras deterioradas. Introduce conceptos de capacidad residual, reducción por corrosión, y define criterios para determinar la necesidad de refuerzo.

**D ACI 364.1R.** Establece procedimientos para inspección, cuantificación de daños, y métodos para estimar la pérdida de sección y adherencia del acero.

### 2.1.6.2 Estados Límite Último (ELU).

El Estado Límite Último en elementos de concreto deteriorados debe evaluarse considerando que los mecanismos de corrosión modifican la sección resistente original y alteran el comportamiento mecánico del elemento. Según Koulouris y Apostolopoulos (2021), la corrosión genera tres efectos estructurales críticos: reducción del área efectiva del acero, disminución del peralte efectivo por desprendimiento del recubrimiento y pérdida parcial de adherencia acero–concreto, los cuales alteran significativamente la capacidad flexional. En zonas costeras, la corrosión del refuerzo puede reducir de forma notable la capacidad a flexión de los elementos estructurales.

Imam et al. (2018) señalaron que la pérdida de sección del acero y la reducción de la adherencia pueden disminuir el momento resistente en un rango cercano al 30–60 %, lo que evidencia la vulnerabilidad de losas y vigas expuestas en ambientes marinos. De forma similar, Hasan et al. (2025) documentaron que este fenómeno disminuye el brazo interno de palanca y, por tanto, afecta negativamente el momento resistente, lo que compromete la durabilidad de losas y vigas en ambientes costeros. La corrosión también afecta la adherencia. De acuerdo con Kurihara et al. (2022), la formación de óxidos expande las barras y genera fisuración longitudinal que reduce el confinamiento del concreto, ocasionando una pérdida progresiva de transferencia de esfuerzos.

Este mecanismo altera la distribución tensional entre concreto y acero e incrementa el riesgo de falla frágil. En el contexto normativo, la ACI 562-21, utilizada para la evaluación de estructuras existentes, establece que el cálculo del momento nominal ( $M_n$ ) debe basarse en las propiedades reales del elemento, incluyendo: área deteriorada del refuerzo, recubrimiento remanente y nivel de adherencia. Estos parámetros coinciden con los deterioros presentes en las losas del edificio Centro Park, donde la corrosión del acero inferior y el desprendimiento del recubrimiento comprometen directamente el ELU.

### **2.1.6.3 Estados Límite de Servicio (ELS).**

El Estado Límite de Servicio se ve afectado significativamente en elementos que presentan corrosión y carbonatación avanzada. Según el reporte ACI 224R-19 (American Concrete Institute [ACI], 2019), la corrosión del acero genera productos expansivos cuyo volumen puede ser hasta seis veces mayor que el del acero base, lo que produce fisuras longitudinales, incremento en la apertura de fisuras y pérdida de rigidez, comprometiendo el desempeño en servicio antes que la resistencia última. Experimentos descritos por Ballim & Reid (2003) observaron que cuando la pérdida de masa del acero alcanza aproximadamente el 6 %, las deflexiones aumentan entre un 40 % y 70 % respecto a las vigas sin deterioro.

Este nivel de incremento evidencia que la pérdida del módulo de rigidez del concreto microfisurado, junto con la reducción de la sección del acero y la degradación del recubrimiento, contribuyen al deterioro de la funcionalidad estructural. Así mismo Zhang et al. (2018) evaluaron vigas de concreto y reportó que las estructuras con corrosión activa presentan incrementos de flecha que superan los límites del ELS aun cuando el ELU no ha sido alcanzado. Este comportamiento es consistente con las losas del edificio Centro Park, donde la presencia de fisuras longitudinales, desprendimiento del recubrimiento y corrosión del refuerzo inferior indican que el ELS está severamente comprometido.

## **2.2 Área de estudio**

### ***2.2.1 Ubicación geográfica de lugar***

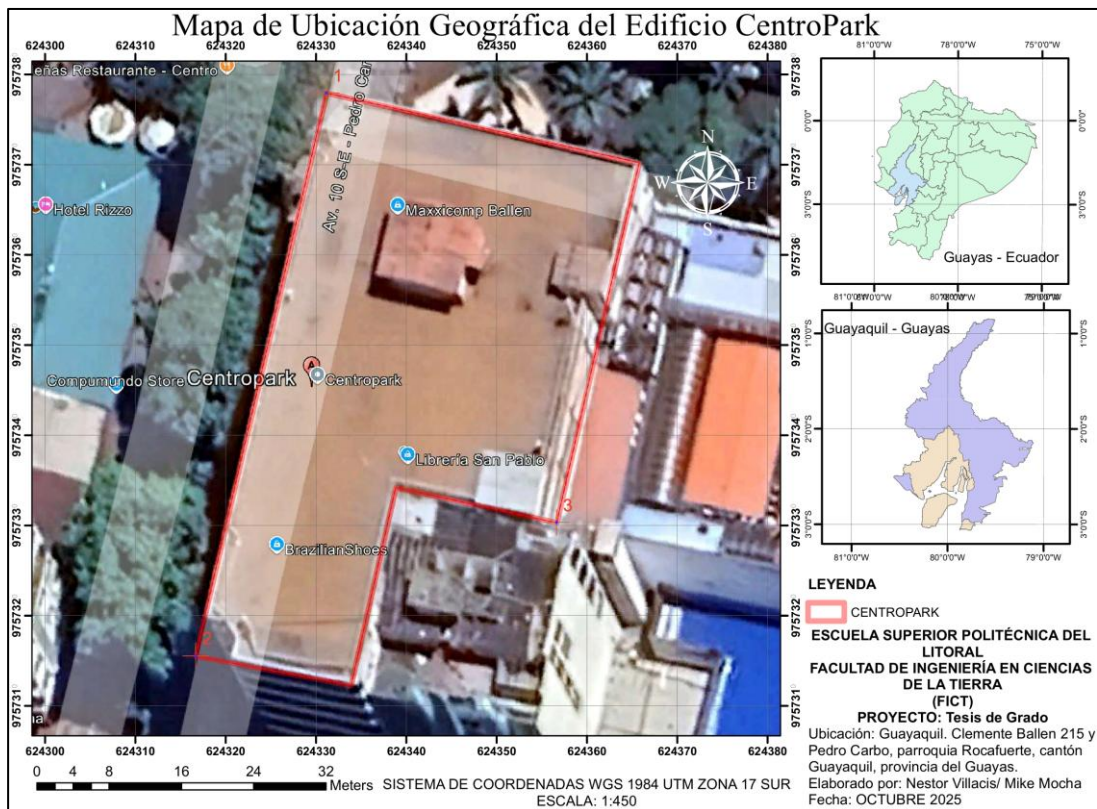
El edificio Centro Park se encuentra localizado en la provincia del Guayas, dentro del cantón Guayaquil, específicamente en la parroquia urbana Rocafuerte, una de las zonas más consolidadas del casco central de la ciudad, tal y como se muestra en la Figura 5. Su implantación corresponde a la intersección de las calles Clemente Ballén y Pedro Carbo, área que concentra actividades comerciales, administrativas y de servicios.

Las coordenadas geográficas aproximadas del sitio son:

- Latitud: 2°11'42" S
- Longitud: 79°52'54" O
- Altitud alrededor de 21 m s. n. m.

**Figura 5**

*Mapa de ubicación del edificio Centro Park*



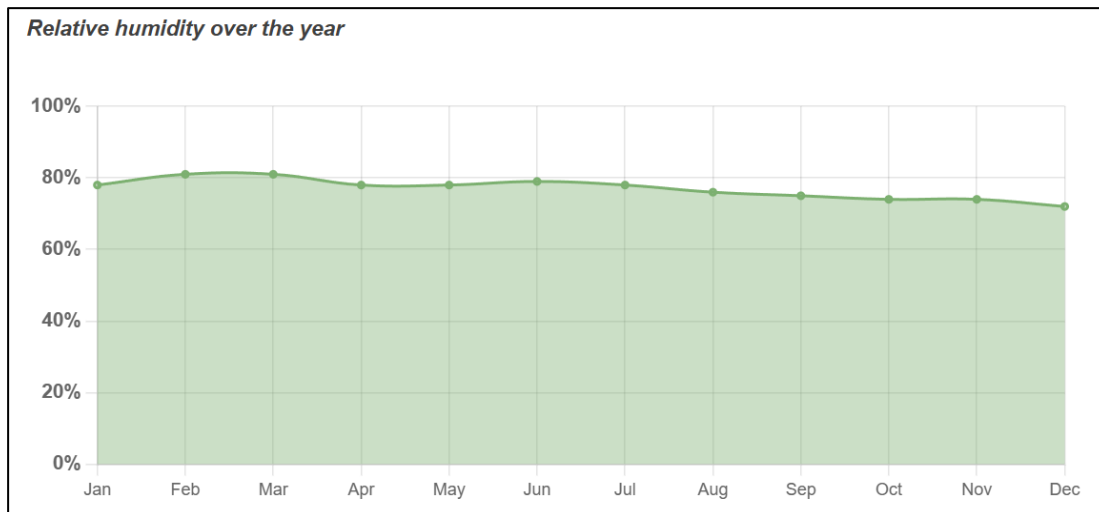
La edificación se encuentra dentro del sector urbano tradicional de Guayaquil, caracterizado por su alta densidad constructiva, accesibilidad, presencia de redes de transporte público y una dinámica urbana que demanda infraestructura de estacionamientos de gran capacidad. Estas condiciones implican que el edificio está expuesto de forma continua a emisiones vehiculares, humedad ambiental elevada y microambientes poco ventilados, factores que aceleran el deterioro del concreto armado.

### 2.2.2 Clima y humedad

Guayaquil presenta un clima tropical megatérmico húmedo, según la clasificación de Köppen, caracterizado por temperaturas elevadas y una humedad relativa persistente. La temperatura media anual oscila entre 26 °C y 28 °C, mientras que la humedad relativa se mantiene típicamente entre 75 % y 85 %, alcanzando valores mayores durante la estación lluviosa entre diciembre y abril, tal como se muestra en la Figura 6.

#### Figura 6

*Distribución espacial de la humedad relativa promedio de Guayaquil*



Nota. Datos obtenidos del registro climático anual de Guayaquil. Fuente: Weather-and-Climate.com (n.d.).

Las precipitaciones anuales pueden superar los 2 000 mm, con episodios de lluvias intensas de corta duración que provocan acumulación temporal de humedad sobre superficies horizontales y requerimientos de drenaje más exigentes. Este comportamiento resulta especialmente crítico para estructuras con elementos expuestos, como las losas superiores de parqueo.

En el centro de la ciudad se presenta un microclima cálido-húmedo, consecuencia de: la alta densidad de edificaciones, pavimentos impermeables, baja presencia de vegetación,

restricciones de ventilación natural y acumulación térmica diurna en superficies de concreto y asfalto.

Para el edificio Centro Park, la humedad ambiental elevada constituye un factor determinante, pues actúa como catalizador tanto para la penetración de CO<sub>2</sub> como para el transporte de agentes agresivos. La interacción entre humedad persistente, tráfico vehicular y ventilación limitada coincide con las patologías documentadas posteriormente: descascaramiento del recubrimiento, corrosión del acero inferior, fisuras longitudinales y presencia de eflorescencias.

### ***2.2.3 Contexto urbano y ambiental***

El entorno inmediato del edificio Centro Park presenta una intensa actividad urbana, con circulación constante de vehículos livianos, microbuses, transporte institucional y flotas logísticas. Este flujo vehicular genera una concentración elevada de CO<sub>2</sub>, hidrocarburos y partículas en suspensión que se depositan sobre las superficies del edificio, acelerando los procesos de carbonatación y ensuciamiento de las losas expuestas.

La infraestructura urbana circundante incluye redes consolidadas de servicios básicos, pero su composición altamente impermeable (pavimentos rígidos, adoquines, veredas de hormigón) favorece la retención térmica y limita la evaporación superficial. La escasa vegetación, junto con la densidad de edificaciones en altura, restringe la ventilación cruzada, lo que produce zonas de acumulación de humedad en los niveles superiores del edificio.

Consecuentemente, el contexto ambiental del sitio caracterizado por humedad elevada, emisiones vehiculares, ventilación limitada y presencia de contaminantes atmosféricos coincide con los mecanismos de deterioro identificados en las losas del Centro Park, y constituye un factor clave para la proyección de vida útil y el diseño de alternativas de intervención.

## **2.3 Trabajo de campo y laboratorio**

La visita experimental desarrollada en el edificio Centro Park tuvo como finalidad diagnosticar el estado actual de las losas y elementos estructurales mediante inspecciones visuales, ensayos no destructivos y semi-destructivos, y análisis laboratoriales. Esta información constituye la base para la evaluación estructural, el análisis de durabilidad y la posterior formulación de alternativas de intervención.

Las actividades fueron ejecutadas con el apoyo técnico del Laboratorio de Materiales de la ESPOL (LEMAT) y la consultora Nuñez & Luque (NYLIC).

### ***2.3.1 Fase de Inspección Visual y Levantamiento de Daños***

Se realizó un recorrido sistemático por los nueve niveles del edificio, documentando todas las patologías visibles mediante fotografías, croquis y fichas de inspección. Aunque se registraron múltiples tipos de daños como, por ejemplo: fisuras, eflorescencias, deformaciones locales, fallas por impacto, humedades, entre otros, para efectos del cuerpo principal de la tesis se presentan únicamente los dos mecanismos de deterioro más relevantes:

#### **2.3.1.1 Descascaramiento del recubrimiento por corrosión del acero de refuerzo.**

El daño se observó principalmente en losas expuestas a humedad persistente, destacando los niveles superiores y las rampas, tal como se muestra en la Figura 7. El recubrimiento se encontraba desprendido, con corrosión activa visible y pérdida parcial de sección en las barras inferiores

**Figura 7**

*Descascaramiento del recubrimiento y exposición de acero corroído en losa*



Nota. Fotografía tomada durante la inspección de campo realizada en el edificio Centro Park.

**2.3.1.2 Corrosión en vigas metálicas de borde.**

En algunas zonas aisladas de vigas perimetrales se observaron manchas de óxido superficial y pequeñas pérdidas de pintura protectora, asociadas a condensación o filtraciones puntuales, tal y como se observa en la Figura 8.

**Figura 8**

*Evidencia de corrosión en viga metálica de borde*



Nota. Fotografía capturada durante la inspección de campo realizada en el edificio Centro Park.

El registro detallado de todas las patologías por nivel se incluye en los Anexos A.

### 2.3.1.3 Espesores de losa.

Durante la evaluación de los elementos se identificó que los espesores de las losas no son uniformes a lo largo de los distintos niveles del edificio, como se observa en la Tabla 2. Entre los pisos 1 y 8 se observaron variaciones en el espesor, sin embargo, el valor promedio predominante fue de aproximadamente 80 mm. En el caso de la losa de cubierta, esta presentó el menor espesor registrado, alcanzando un valor cercano a 75 mm. Por su parte, las losas correspondientes a las rampas mantuvieron un espesor constante de 90 mm.

**Tabla 2**

*Tabla comparativa de espesores de losa*

<b>Tipo de losa</b>	<b>Ubicación / Nivel</b>	<b>Espesor típico (mm)</b>	<b>Observación relevante</b>
Losa de entrepisos	Pisos 1 al 8	Media de 80	Presenta variaciones menores entre niveles
Losa de cubierta	Cubierta	75	Es el menor espesor del edificio
Losa de rampas	Rampas vehiculares	90	Espesor uniforme por requerimientos funcionales

### 2.3.2 Selección de puntos de muestreo

Para los ensayos instrumentados se seleccionaron tres zonas representativas como se observa en la Figura 9, considerando accesibilidad, nivel de deterioro y exposición ambiental:

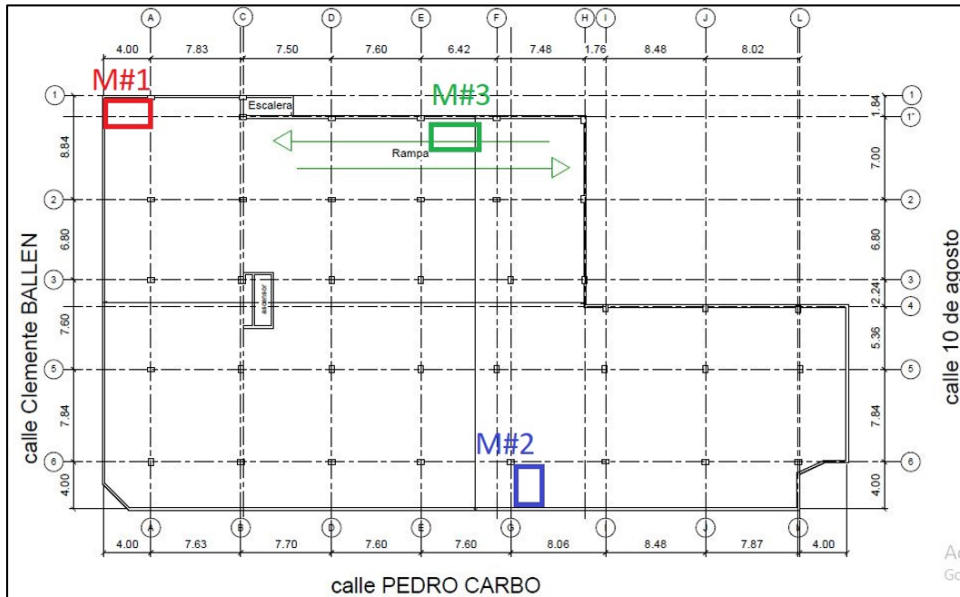
Muestra 1: Losa de cubierta Nivel 9.

Muestra 2: Losa entre Nivel 7–8.

Muestra 3: Rampa entre Nivel 1–2.

**Figura 9**

*Ubicación de los tres puntos de muestreo (Muestra 1, Muestra 2, Muestra 3)*



Nota. Plano elaborado con base en la planta arquitectónica del edificio Centro Park e identificación de los puntos de muestreo.

### **2.3.3 Extracción de núcleos y verificación de resistencia**

La extracción de núcleos se realizó siguiendo ASTM C42, empleando barrenos diamantados y preservando la integridad del cilindro. En cada muestra se obtuvieron tres núcleos, con medidas de diámetro de 5 cm como se puede observar en la Figura 10, totalizando nueve especímenes ensayados a compresión según ASTM C39.

## Figura 10

*Núcleo extraído durante la perforación*



Nota. Fotografía referencial del procedimiento de extracción de núcleos según ASTM C42.

Los valores de resistencia se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Resistencia a compresión de núcleos extraídos (ASTM C39)*

	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
<b>Núcleos</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Resistencia F'c Mpa</b>	28,69	39,57	25,06	31,09	31,14	34,62	23,41	22,84	28,97

Fuente: Consultora Nuñez & Luque (NYLIC)

Durante la extracción se registró también el espesor real de las losas, el tamaño máximo del árido (26-32 mm) y el estado del recubrimiento.

### **2.3.4 Ensayo de carbonatación**

Sobre las superficies fracturadas de los nueve núcleos se aplicó una solución de fenolftaleína al 1 %, midiendo la profundidad de la zona descarbonatada en ambas caras como se observa en la Figura 11.

**Figura 11**

*Núcleo sometido a ensayo de carbonatación*



Nota. Fotografía referencial tomada durante el ensayo de carbonatación del proyecto.

Los resultados se resumen en la Tabla 4

**Tabla 4**

*Tabla de las alturas de carbonatación en las Muestra 1, Muestra 2 y Muestra 3*

	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
<b>Cilindros</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Altura Superior [mm]</b>	9	7	6,5	11	12	15	25	11	17
<b>Altura Inferior [mm]</b>	27,5	29	21	25	23	25	29	31	33

Fuente: Consultora Nuñez & Luque (NYLIC)

Las diferencias entre caras superior e inferior sugieren variabilidad en: niveles de exposición, ventilación, ciclos humedad-secado y presencia de recubrimientos deficientes. La media de la altura inferior es de 28 mm, mientras que la altura superior de 12 mm.

### 2.3.5 Ensayo de potencial de corrosión

Este ensayo se realizó únicamente en M1 y M2, donde se habilitaron cuatro celdas por muestra cómo se ven en la Figura 12. Para ello se retiró el recubrimiento en pequeños cuadrados, dejando expuesto el refuerzo para conexión directa del electrodo Cu/CuSO<sub>4</sub>.

**Figura 12**

*Celdas abiertas para medición del potencial de corrosión*



Nota. Fotografía referencial tomada durante el trabajo de campo.

Los valores obtenidos en la Tabla 5 se corrigieron por temperatura y se interpretaron según ASTM C876:

Potenciales  $< -350$  mV  $\rightarrow$  alta probabilidad de corrosión activa

Potenciales entre  $-200$  y  $-350$  mV  $\rightarrow$  incertidumbre

Potenciales  $> -200$  mV  $\rightarrow$  baja probabilidad de corrosión

**Tabla 5**

*Resultados del ensayo de potencial de corrosión (ASTM C876)*

ID	Lectura de campo (mV)	Temperatura (°c)	Corrección por temperatura	Potencial Corregido (mV)	Clasificación	Detalle
1b- 2a	-439.0	32.0	-14.0	-453.0	Alta probabilidad	Acero inferior

<b>a1- 2b</b>	-460.0	32.0	-14.0	-474.0	Alta probabilidad	Acero inferior
<b>2a- 1a</b>	-120.6	32.0	-14.0	-134.6	Baja probabilidad	Acero superior
<b>2a- 1b</b>	-139.8	32.0	-14.0	-153.8	Baja probabilidad	Acero superior

Fuente: Consultora Nuñez & Luque (NYLIC)

Los resultados confirmaron corrosión activa en el acero inferior (valores fuertemente negativos) y baja probabilidad en el acero superior.

### **2.3.6 Medición del recubrimiento del refuerzo**

Las mediciones se muestran en la Tabla 6, estas se realizaron de forma directa en las celdas abiertas de Muestra 1 y Muestra 2, específicamente en las cuatro celdas y para Muestra 3 la medición se hizo en dos celdas (por accesibilidad de la rampa)

**Tabla 6**

*Recubrimientos medidos en Muestra 1, Muestra 2 y Muestra 3*

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Recubrimiento superior [cm]	1.9	6.2	5.6
Recubrimiento inferior [cm]	3.5	1.2	0.8

Los valores obtenidos y la media general de 2 cm se compararon con el mínimo requerido por NEC-SE-HM para ambientes agresivos de 4 cm, indicando su incumplimiento bajo normativa.

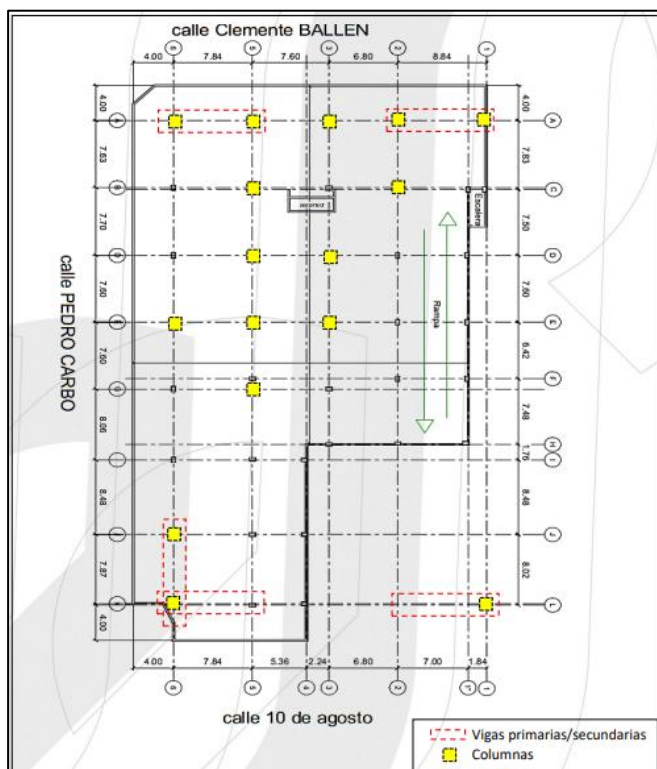
### 2.3.7 Evaluación de Corrosividad, Durabilidad del Recubrimiento y Propiedades Mecánicas del Acero

#### 2.3.7.1 Evaluación de Corrosividad y Durabilidad del Recubrimiento.

El Laboratorio LEMAT ejecutó mediciones de espesores en placas y perfiles estructurales, realizando los ensayos en dos sectores representativos: Zona A1 (entre ejes A-1) y Zona L6 (entre ejes L-6). La Figura 13 presenta la ubicación de los puntos evaluados mediante ultrasonido.

**Figura 13**

*Ubicación de puntos de medición de ultrasonido*



Nota: En la figura se muestran los puntos evaluados mediante ultrasonido en perfiles metálicos.

Fuente: Laboratorio LEMAT (2025).

#### 2.3.7.2 Clasificación del Ambiente.

De acuerdo con la norma ISO 12944-2:2017, el entorno donde se emplaza la estructura corresponde a una atmósfera de corrosividad C3 – Moderada, típica de zonas urbanas con

humedad media y presencia ocasional de contaminantes industriales o sales finas. En estas condiciones, la pérdida estimada de espesor del acero al carbono varía entre 25 y 50  $\mu\text{m}/\text{año}$ , por lo que la integridad del recubrimiento juega un papel significativo en la protección del sustrato metálico.

### 2.3.8 Evaluación del Espesor de Película Seca (NDFT)

Los valores de espesor de recubrimiento se compararon con los rangos de durabilidad proporcionados por la ISO 12944-5:2018. En la Tabla 7 se resumen los espesores promedio por nivel y la correspondiente clasificación de durabilidad esperada del sistema protector.

**Tabla 7**

*Espesores por nivel*

Piso	Espesor Promedio ( $\mu\text{m}$ )	Clasificación de Durabilidad Según ISO 12944-5
1	160.42 $\mu\text{m}$	Media (7–15 años)
2	148.91 $\mu\text{m}$	Media (7–15 años)
3	101.19 $\mu\text{m}$	Baja ( $\leq 7$ años)
4	109.89 $\mu\text{m}$	Baja ( $\leq 7$ años)
5	106.96 $\mu\text{m}$	Baja ( $\leq 7$ años)
6	116.31 $\mu\text{m}$	Baja ( $\leq 7$ años)
7	107.14 $\mu\text{m}$	Baja ( $\leq 7$ años)
8	102.94 $\mu\text{m}$	Baja ( $\leq 7$ años)

Fuente: Laboratorio LEMAT

Los pisos 1 y 2 alcanzan valores que cumplen los requisitos para una durabilidad media, lo cual indica un potencial de protección entre 7 a 15 años, siempre que se mantengan condiciones ambientales similares.

En los niveles 3 al 8, en cambio, los espesores registrados se ajustan únicamente a una durabilidad baja, lo que sugiere que estos sectores requerirán intervenciones de mantenimiento y repintado en el rango de 5 a 7 años, a fin de garantizar la protección anticorrosiva frente a un ambiente C3.

### 2.3.9 Ensayo de Propiedades Mecánicas del Acero.

El Laboratorio LEMAT realizó un ensayo de tracción sobre la muestra 25-1292, siguiendo los procedimientos establecidos en ASTM A370. Los valores obtenidos fueron contrastados con los requisitos de la norma ASTM A570 Grado 30, correspondiente a acero laminado en caliente para aplicaciones estructurales.

Los resultados se presentan en la siguiente Tabla 8.

**Tabla 8**

*Resultados del ensayo mecánico y comparación normativa*

<b>Propiedad Evaluada</b>	<b>Resultado Obtenido</b>	<b>Requisito ASTM A570 Grado 30</b>	<b>Cumplimiento</b>
Esfuerzo de Fluencia (Fy)	297 MPa	$\geq 205$ MPa	Cumple
Esfuerzo Máximo (Fu)	342 MPa	$\geq 340$ MPa	Cumple
Elongación	45.3 %	$\geq 25$ %	Cumple

Fuente: Laboratorio LEMAT

El material ensayado cumple plenamente con los parámetros establecidos para un acero ASTM A570 Grado 30, evidenciando una combinación adecuada de resistencia y ductilidad. Estos resultados corroboran que el acero mantiene propiedades mecánicas compatibles con su uso estructural y acordes a edificaciones con varios años de servicio.

### ***2.3.10 Vida útil de la estructura***

A partir de los resultados de potenciales de corrosión medidos que confirman que las armaduras se encuentran inmersas en un proceso severo de deterioro electroquímico. Con base en este estado y de acuerdo con las recomendaciones del ACI 222R para estructuras en condiciones altamente agresivas, se adoptó una intensidad de corrosión representativa de escenarios desfavorables igual a  $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , correspondiente a un régimen de corrosión acelerada como se observó en la Tabla 1.

Considerando esta intensidad y aplicando la Ley de Faraday de la ecuación 2.4, para estimar el avance del deterioro en el refuerzo, se obtuvo el tiempo requerido para que la pérdida acumulada de diámetro alcance el valor crítico asociado a la falla estructural. El cálculo arroja una vida útil remanente aproximada de 68.97 años, la cual corresponde exclusivamente al tiempo estimado para que la reducción de sección del acero genere un riesgo real de colapso estructural. Este valor representa la vida útil residual teórica, entendida como el tiempo hasta alcanzar una condición límite última por reducción de capacidad resistente.

Sin embargo, es indispensable distinguir entre la vida útil estructural y la vida útil de servicio. Aunque el horizonte teórico de colapso calculado es considerable, la estructura ya se encuentra dentro de la fase de propagación de la corrosión, donde el daño se manifiesta de forma progresiva y visible.

Por lo tanto, aunque el modelo teórico proyecta casi siete décadas antes del colapso, la vida útil de servicio ya ha concluido en la actualidad, dada la presencia de corrosión activa, el deterioro avanzado del recubrimiento, la pérdida de protección del acero y el riesgo de desprendimientos de hormigón. En este escenario, la estructura requiere intervenciones inmediatas destinadas a detener el proceso corrosivo y restituir las condiciones mínimas de seguridad operativa.

### 2.3.11 Revisión estructural del edificio (Modelado)

La estructura se idealizó como un sistema tridimensional de pórticos resistentes a momento. La geometría en planta presenta una configuración irregular en forma de "L", lo que introduce excentricidades naturales entre el Centro de Masa (CM) y el Centro de Rigidez (CR).

#### 2.3.11.1 Propiedades de los Materiales

Para los elementos estructurales principales (columnas y vigas tubulares), se definieron las siguientes propiedades mecánicas conforme a la normativa AISC 360-16 (American Institute of Steel Construction [AISC], 2016):

- Acero Estructural: ASTM A570.
- Esfuerzo de Fluencia ( $F_y$ ): 270 MPa.
- Módulo de Elasticidad ( $E$ ): 200 GPa.
- Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ): 0.30.

#### 2.3.11.2 Parámetros de Sitio

La determinación de las fuerzas sísmicas de diseño se realizó siguiendo el método del Espectro de Respuesta Elástico de Aceleraciones, estipulado en el capítulo de Peligro Sísmico de la NEC-15

Considerando la ubicación del proyecto en la ciudad de Guayaquil y los estudios geotécnicos previos que clasifican el estrato como suelos blandos de baja velocidad de onda de corte ( $V_s < 180$  m/s), se adoptaron los siguientes coeficientes en la Tabla 9:

**Tabla 9**

*Coefficientes para el espectro de respuesta*

Parámetro	Símbolo	Valor Adoptado	Referencia
Factor de Zona	Z	0.40	Tabla 1 (Zona V - Alta Sismicidad)
Tipo de Suelo	-	E	Tabla 2 (Perfil de Suelo Blando)
Coef. de Región		1.80	Costa

Amplificación en Z	Fa	1	Tabla 3 (Suelo E, Z=0.4)
Amplificación en D	Fd	1.6	Tabla 4 (Suelo E, Z=0.4)
Comportamiento Suelo	Fs	1.9	Tabla 5 (Suelo E, Z=0.4)

### 2.3.11.3 Factor de Reducción de Respuesta Sísmica (R)

Debido a la geometría en "L" (Esquinas Reentrantes) identificada como Irregularidad Tipo 2 en Planta, se aplicó un coeficiente de castigo  $\phi_P = 0.9$ . Se asume regularidad en elevación  $\phi_E = 1.0$ . Para pórticos especiales de acero laminado en caliente se tiene la ecuación 2.5:

$$R = R_{\text{básico}} \cdot \phi_P \cdot \phi_E \quad (2.5)$$

$$R = 8 \cdot 0.90 \cdot 1.00 = 7.2$$

Este valor de  $R=7.2$  fue ingresado en el caso de carga espectral del software para escalar las aceleraciones elásticas a nivel de diseño.

### 2.3.11.4 Análisis modal y modos de vibración

El análisis modal representa una etapa fundamental dentro del proceso de evaluación estructural, ya que permite comprender el comportamiento dinámico global del edificio frente a acciones sísmicas. A través de este análisis es posible identificar los períodos naturales de vibración, las formas modales dominantes y la proporción de masa que participa en cada una de las direcciones principales, información indispensable para validar la coherencia del modelo estructural y su respuesta ante cargas dinámicas.

Con base en los resultados obtenidos, se logra distinguir con claridad los modos de vibración predominantes, tanto traslacionales como torsionales, así como el grado de interacción entre ambos. Este aspecto resulta especialmente relevante en edificaciones cuya configuración geométrica y distribución de rigideces no es completamente simétrica, donde los efectos torsionales adquieren mayor importancia.

### 2.3.11.4.1 Configuración del análisis modal.

El análisis modal fue desarrollado mediante el método de autovalores (Eigenvalue Analysis). Para la evaluación dinámica se consideró un amortiguamiento equivalente al 5 %, en concordancia con las recomendaciones normativas vigentes, y se adoptó una combinación modal del tipo CQC (Complete Quadratic Combination), la cual permite una adecuada superposición de los efectos modales en sistemas con frecuencias cercanas.

Se extrajeron un total de 12 modos de vibración, número que resultó suficiente para alcanzar una participación acumulada superior al 90 % de la masa estructural en las direcciones horizontales principales del edificio, cumpliendo así con los criterios establecidos por la normativa sísmica.

La fuente de masa del modelo consideró la carga muerta total (D) y el 50 % de la carga viva (0.5L), conforme a lo indicado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS (2015). Bajo estas consideraciones, el peso sísmico total del edificio fue estimado en  $W = 84\ 172$  kN, valor que resulta consistente con la reacción vertical global obtenida del modelo. El resumen de parámetros modales obtenidos se presenta en la Tabla 10

**Tabla 10**

*Parámetros modales del modelo estructural*

<b>Modo</b>	<b>Período (s)</b>	<b>Masa part. UX</b>	<b>Masa part. UY</b>	<b>Masa part. RZ</b>	<b>Interpretación física</b>
1	<b>1.555</b>	<b>0.33</b>	0.00	<b>0.45</b>	Traslación predominante en X con acoplamiento torsional apreciable
2	<b>1.185</b>	0.01	<b>0.79</b>	0.00	Traslación principal en dirección Y
3	<b>0.814</b>	<b>0.42</b>	0.01	<b>0.33</b>	Modo combinado con participación torsional significativa
<b><math>\Sigma</math> (1–12)</b>	—	<b>0.90</b>	<b>0.91</b>	—	Cumple NEC ( $\geq 90$ %)

El primer modo de vibración ( $T_1 = 1.555$  s) se caracteriza por un desplazamiento traslacional dominante en la dirección X, acompañado de una participación torsional significativa, lo cual refleja la influencia de la geometría del edificio y la distribución no uniforme de rigideces en planta.

El segundo modo ( $T_2 = 1.185$  s) presenta una clara dominancia traslacional en la dirección Y, concentrando aproximadamente el 79 % de la masa participativa, lo que evidencia que esta dirección constituye el eje más flexible del sistema estructural.

Por su parte, el tercer modo ( $T_3 = 0.814$  s) muestra un comportamiento combinado entre traslación y torsión, típico de estructuras metálicas arriostradas con configuraciones en planta no perfectamente simétricas.

La masa acumulada alcanza valores del orden del 90 % en la dirección X y del 91 % en la dirección Y, cumpliendo con lo exigido por la NEC-SE-DS 6.2.1(b). Los períodos obtenidos resultan coherentes con la altura del edificio y con la rigidez esperada de un sistema estructural metálico arriostrado de varios niveles.

Finalmente, el comportamiento dinámico observado confirma la necesidad de considerar los efectos torsionales accidentales ( $\pm 5$  %) dentro del análisis sísmico, razón por la cual dichos efectos fueron incorporados en los casos de carga espectral utilizados en el proceso de diseño estructural.

#### **2.3.11.5 Análisis de Resultados: Derivas de Piso.**

Tras ejecutar el análisis modal espectral, se procedió a verificar el control de daños mediante el cálculo de la Deriva de Piso Inelástica ( $\Delta_M$ ) en la ecuación 2.6. Según la sección 6.3.2 de la NEC-SE-DS 2015, el límite máximo permitido para estructuras de acero es:

$$\Delta_M = \Delta * 7.2 * 100 \quad (2.6)$$

$$\Delta_M \leq 0.020(2.0\%)$$

El análisis reveló deficiencias críticas en la rigidez lateral de la estructura. Se observan derivas que exceden el límite normativo, especialmente en los voladizos y pórticos perimetrales, exacerbadas por efectos torsionales. Se presentan los resultados obtenidos de las derivas en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Total de derivas críticas por piso*

<b>Piso</b>	<b>Combinación de carga</b>	<b>Dirección</b>	<b>Deriva Elástica %</b>	<b>Deriva Inelástica %</b>	<b>Comprobación NEC &lt; 2%</b>
4 - 5	Sismo en X	Y	0,2951	2,12472	No Cumple
3 - 4	Sismo en X	Y	0,3266	2,35152	No Cumple
2 - 3	Sismo en X	X	0,2914	2,09808	No Cumple
2 - 3	Sismo en X	Y	0,357	2,5704	No Cumple
1 - 2	Sismo en X	X	0,305	2,196	No Cumple
1 - 2	Sismo en X	Y	0,3734	2,68848	No Cumple
1 - 2	Sismo en Y	Y	0,2888	2,07936	No Cumple
PB -1	Sismo en X	Y	0,3441	2,47752	No Cumple
PB - 1	Sismo en Y	Y	0,2968	2,13696	No Cumple

En la parte de Anexos B, en la Tabla 30 se muestran los resultados de todas derivas iniciales calculadas en todos los pisos del edificio

El comportamiento deficiente de la estructura se atribuye a dos fenómenos mecánicos identificados en el modelo:

Irregularidad Torsional: La deriva máxima del Piso 2 de 2.68% en el voladizo derecho es significativamente mayor que la deriva en el centro del edificio. Esto confirma que la estructura

está rotando sobre su eje vertical, generando un "efecto de látigo" en los extremos de las alas de la "L".

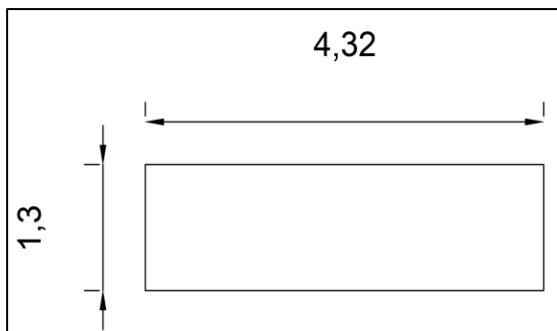
Rigidez Insuficiente en Columnas Tubulares: Las secciones originales carecen de la inercia necesaria en los primeros niveles para controlar el desplazamiento lateral en suelo blando tipo E.

### 2.3.12 Revisión de losa

Para la verificación estructural de la losa del proyecto, se considera un comportamiento unidireccional, dado que la relación entre las dimensiones del paño de losa más desfavorable es como se observa en la Figura 14:

**Figura 14**

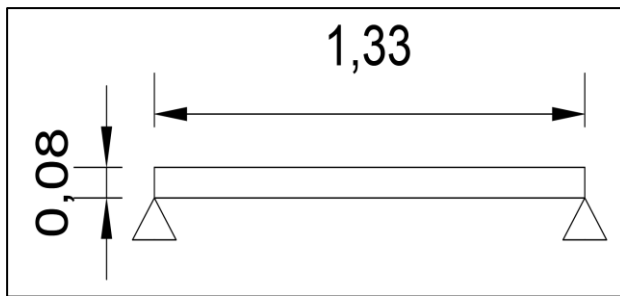
*Dimensiones del paño de la losa*



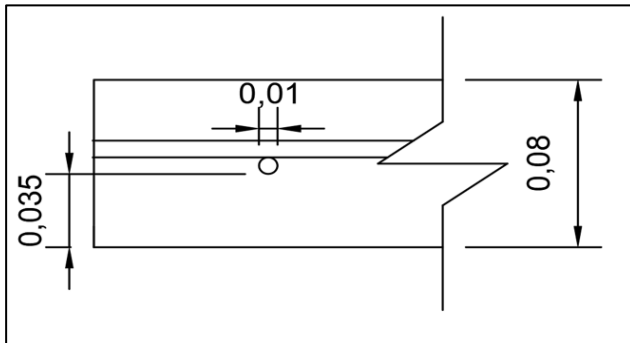
$$Relación = \frac{Largo}{Corto} > 2 \quad (2.7)$$

$$Relación = \frac{4.32}{1.30} = 3.32$$

De acuerdo con los criterios del ACI 318-19 y la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), cuando la relación calculada por la ecuación 2.7 supera el valor de 2, la losa trabaja predominantemente en una sola dirección, transmitiendo la flexión principal en el sentido corto. Por tanto, el análisis se realiza sobre una franja unitaria de 1 m de ancho, lo cual permite modelar como una viga simplemente apoyada que representa el comportamiento de la losa por metro lineal, se observa la representación gráfica en la Figura 15.

**Figura 15***Representación de viga simplemente apoyada*

El claro analizado corresponde a la luz efectiva de 1.33 m, mientras el espesor de la losa toma una medida media de 8 cm. Para el cálculo del peralte efectivo en la ecuación 2.8, se considera el recubrimiento desde la cara inferior hasta el centro de la barra, con el fin de evaluar la condición más desfavorable se usa un recubrimiento de  $c = 3.5$ , como se visualiza en la Figura 16, y que el diámetro de la varilla de refuerzo es de 0.8 cm tal y como se vio en los planos, de modo que:

**Figura 16***Recubrimientos de losa*

$$d = h - \left( c + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2.8)$$

$$d = 8 - (3.5 + 0.4) = 4.1 \text{ cm}$$

Donde  $h$  es el espesor total,  $c$  el recubrimiento y  $\varphi$  el diámetro de la barra de acero. Este valor representa la distancia entre la fibra extrema traccionada y el centroide del acero de refuerzo inferior.

### 2.3.12.1 Cargas de diseño y momentos solicitantes.

La losa se somete a dos tipos de acciones: carga muerta (peso propio) y carga viva concentrada proveniente del paso de un vehículo tipo, establecido en la AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2020), la cual prescribe una carga por rueda de 10 kN, equivalente a 1020 kgf. La carga muerta se obtuvo a partir del peso propio del concreto como se observa en la ecuación 2.9:

$$w_D = \gamma \cdot h \cdot b \quad (2.9)$$

$$w_D = 2400 \cdot 0.08 \cdot 1.00 = 192 \text{ kgf/m}$$

Para la viga simplemente apoyada, los momentos máximos en el centro del claro vienen expresado por las ecuaciones 2.10 y 2.11:

$$M_L = \frac{P L}{4} \quad (2.10)$$

$$M_D = \frac{w_D L^2}{8} \quad (2.11)$$

Sustituyendo valores:

$$M_L = \frac{1020 \cdot 1.33}{4} = 346.94 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_D = \frac{192 \cdot 1.33^2}{8} = 44.39 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento total aplicado se lo observa en la ecuación 2.12:

$$M_u = M_L + M_D \quad (2.12)$$

$$M_u = 391.33 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

### 2.3.12.2 Cálculo del refuerzo.

El acero inferior existente consiste en barras  $\varnothing$  8 mm separadas cada 20 cm, lo que equivale a 5 barras por metro lineal.

Área total de acero viene dada por la ecuación 2.13:

$$A_s = \left( \frac{\pi \phi^2}{4} \right) \cdot 5 \quad (2.13)$$

$$A_s = \left( \frac{3.1416 \cdot 0.8^2}{4} \right) \cdot 5 = 2.51 \text{ cm}^2/\text{m}$$

### 2.3.12.3 Resistencia a flexión.

Se adopta la condición de menor resistencia del hormigón:

$$f'_c = 255 \text{ kg/cm}^2; f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Ancho de la franja analizada:

$$b = 100 \text{ cm}$$

Profundidad del bloque de compresión viene dada por la ecuación 2.14:

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b} \quad (2.14)$$

$$a = \frac{2.51 * 4200}{0.85 * 255 * 100} = 0.49 \text{ cm}$$

Momento nominal resistente viene dada por la ecuación 2.15:

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.15)$$

Aplicando el factor de reducción  $\phi = 0.90$ :

$$\phi M_n = 0.90 * 2.51 * 4200 * (4.1 - 0.245)/100 = 366.4 \text{ kgfm}$$

Bajo la condición más desfavorable, caracterizada por un recubrimiento de 3.5 cm y una resistencia del hormigón de  $f'_c = 255 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene:

$$\phi M_n < M_u$$

Por lo tanto, la losa no cumple la condición de seguridad a flexión establecida por el ACI 318-19 y la NEC-SE-DS para el momento último teórico considerado.

El Momento Último Requerido por normativa de 391,33 kgf·m fue calculado para verificar la carga máxima teórica. Sin embargo, este valor resulta estar sobreestimado debido a las combinaciones de carga extremadamente conservadoras.

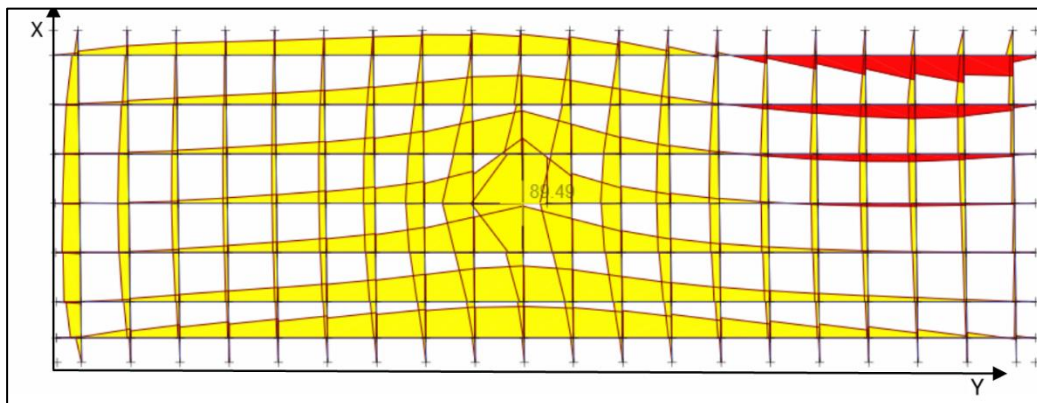
A continuación, se realiza otra suposición para estimar el momento último o la demanda real de las losas. Para este cálculo se supone que la losa funciona como franjas de viga resistiendo con su armado las cargas.

#### 2.3.12.4 Momento Último de Diseño (Demanda Modelada).

Al realizar la simulación en un software de análisis estructural, teniendo presente la resistencia del hormigón de  $F'c$  de 255 kg/cm<sup>2</sup>, como se ve en la Figura 17 respectivamente, con todas las varillas instaladas, el momento flector máximo en el paño bajo la carga de 10 kN fue de:

**Figura 17**

*Diagrama de momentos flectores últimos en el paño analizado*



Fuente: Programa de análisis estructural bajo una carga de 10 kN y  $F'c$  de 255.

$$M_u = 89.49 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

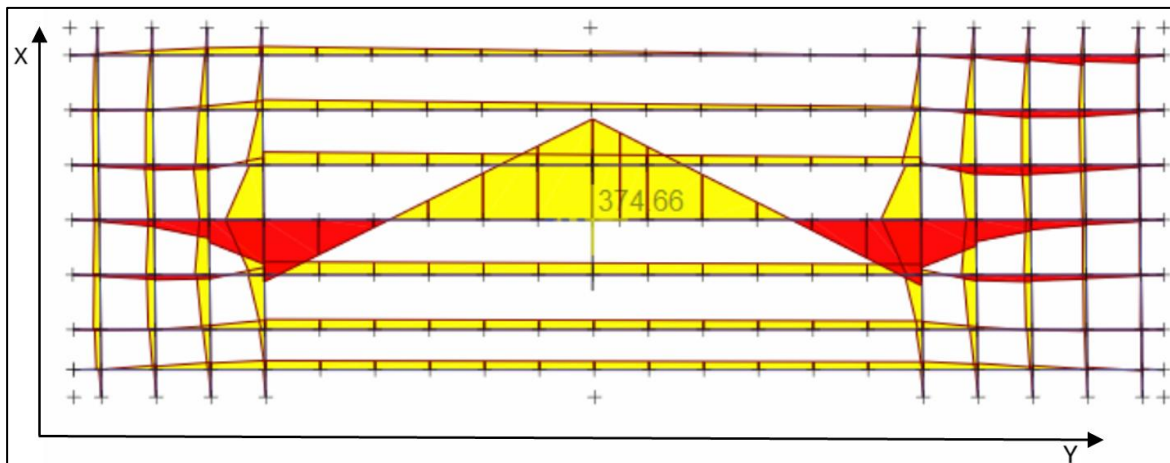
Se adopta el valor de 89.49 kgf·m como la demanda crítica de diseño, ya que refleja la redistribución real de esfuerzos del sistema modelado, evitando la sobreestimación del análisis normativo como se observa en la Tabla 12. Esto demuestra que de momento la losa pasa sobradamente el ELU para las cargas de diseño.

**Tabla 12***Resultados de la simulación*

Condición	Momento Máximo Obtenido	Resultado
Todas las Varillas	89.49 kgf·m	Optimo, menor a 366.37 kgf·m

### 2.3.12.5 Umbral de Falla por Remoción de Varillas.

El análisis se realizó sobre el paño modelado, retirando progresivamente varillas en el eje corto, que concentra la mayor flexión. Se consideró el momento nominal más restrictivo del modelo inicial: Momento Nominal de 374.66 kgf·m (asociado a 3.5 cm de recubrimiento). El punto de falla estructural por remoción de varillas se alcanza cuando el momento redistribuido excede la capacidad nominal, como se observa en la Figura 18.

**Figura 18***Diagramas de momentos redistribuidos en el paño*

Fuente: Programa de análisis estructural

**Tabla 13***Resultados del análisis del umbral de falla por eliminación de 11 varillas en el eje corto*

Condición	Momento Máximo Obtenido	Resultado
-----------	----------------------------	-----------

Eliminación de 11 varillas (en el eje corto) F'c: 255 kg/cm <sup>2</sup>	374.66 kgf·m	Falla: Supera 366.37 kgf·m
---	--------------	----------------------------

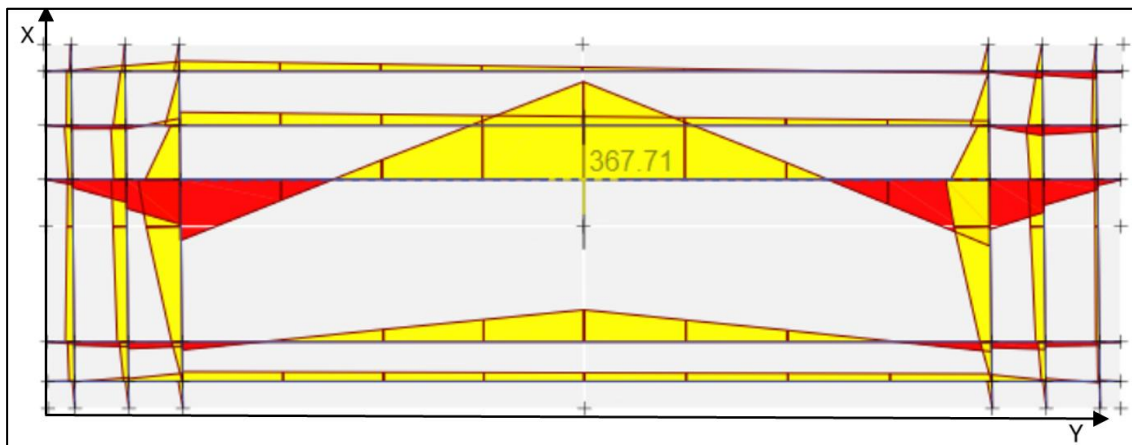
### 2.3.12.6 Falla por Remoción de Varillas (Modelo con Losa Falsa).

Remoción en Eje Corto (X): Generalmente, la remoción de barras en el eje corto incrementa los esfuerzos progresivamente como se vio en la sección anterior hasta alcanzar el límite resistente.

Remoción en Eje Largo (Y): La remoción de una varilla en el eje largo disminuyó el momento de 147.77 kgf·m a 106.37 kgf·m, debido a que las varillas largas actúan primariamente como elementos de distribución, y su remoción redistribuye la carga más uniformemente. El punto de falla estructural por remoción de varillas se alcanza cuando el momento redistribuido excede la capacidad nominal, como se observa en la Figura 19:

#### Figura 19

Diagrama de momentos redistribuidos en el paño para el segundo caso de remoción de varillas en el eje corto (X)



Fuente: Programa de análisis estructural

#### Tabla 14

Evaluación del momento máximo obtenido tras la eliminación combinada de varillas en los ejes corto y largo

Condición	Momento Máximo Obtenido	Resultado

Eliminación de 13 varillas (en el eje corto) y 2 varillas (en el eje largo)	367.71 kgf·m	Falla: Supera 366.37 kgf·m
---	--------------	----------------------------

Este modelado estructural y propuesta da un resultado más favorable, por lo tanto, asegura que la losa como está actualmente es segura. Además, da estimaciones de pérdida de varillas para llegar a colapsar la losa bajo la carga crítica del eje de 10 kN. Estas estimaciones dan seguridad de que tienen que ser por lo menos 15 varillas a la vez que tienen que desaparecer (por corrosión, por ejemplo) para que la losa colapse ante las cargas.

## 2.4 Análisis de datos

La presente sección integra y analiza de forma crítica toda la información recolectada durante las inspecciones y ensayos aplicados a la estructura del edificio Centro Park.

### 2.4.1 *Relación entre patologías observadas y condiciones ambientales*

Los daños identificados en las losas principalmente descascaramientos, corrosión expuesta y desprendimiento del recubrimiento muestran una coincidencia clara entre su localización y las zonas con mayor acumulación de humedad superficial, especialmente en la cubierta y rampas.

Este comportamiento es coherente con las condiciones propias del área de estudio, donde la elevada humedad relativa, la ventilación limitada en ciertas zonas y la topografía plana del edificio favorecen ciclos prolongados de humedad-secado.

La correlación directa entre ambiente húmedo persistente y deterioro superficial confirma lo establecido por la literatura en ambientes costeros tropicales, donde la humedad acelera tanto la carbonatación como la corrosión inicial del acero.

#### **2.4.2 Integración de resultados de resistencia y desempeño de las losas**

Si bien en la sección 2.3 ya se expusieron los valores aislados de resistencia del concreto, al analizarlos de forma conjunta se evidencia un comportamiento diferencial entre niveles.

Las losas más expuestas (cubierta y rampas) muestran valores que se alejan parcialmente del desempeño esperado, mientras que las losas interiores presentan respuestas más estables.

Este patrón sugiere que la degradación no es homogénea, sino dependiente del grado de exposición ambiental, tránsito vehicular y ventilación. Lo relevante del análisis no es el valor individual de cada núcleo, sino el gradiente de deterioro, el cual es consistente con los daños visuales observados.

#### **2.4.3 Coherencia entre carbonatación y corrosión del acero**

La comparación entre: profundidades de carbonatación y potenciales electroquímicos del acero muestra una relación clara en zonas donde la carbonatación ha avanzado más, los potenciales medidos indican una mayor probabilidad de corrosión activa.

Este acoplamiento entre procesos confirma que las losas del edificio se encuentran en una etapa en la cual la carbonatación ya ha comprometido el pH del concreto, eliminando la protección pasiva del acero, especialmente en el refuerzo inferior donde los valores fueron significativamente más negativos. Este análisis integrado permite concluir que la estructura está avanzando hacia un escenario de corrosión en fase de propagación, más que de iniciación.

#### **2.4.4 Estado comparativo del acero estructural metálico**

Los datos obtenidos mediante ultrasonido muestran que las columnas y vigas metálicas no presentan pérdidas de espesor que comprometan su capacidad resistente.

Este resultado contrasta con el estado de las losas de concreto, evidenciando que:

El deterioro del edificio está concentrado en los elementos de hormigón, no en la estructura metálica. La estructura metálica conserva su integridad general, lo cual es un factor

positivo para la estabilidad global. Este contraste también indica que los mecanismos de deterioro predominantes están asociados a procesos físico-químicos del concreto, más que a fallas propias del acero estructural.

## **2.5 Análisis de alternativas**

El análisis de alternativas constituye una etapa clave dentro del proceso de evaluación y rehabilitación del edificio Centro Park. Su propósito es identificar, comparar y seleccionar la opción de intervención estructural más adecuada, considerando el nivel de deterioro documentado en toda la edificación, las condiciones del entorno y las restricciones del proyecto.

Tras completar el modelado estructural, los ensayos y las inspecciones generales, y considerando los criterios establecidos en la normativa nacional e internacional, se identificaron dos aspectos críticos: la presencia de corrosión en la armadura de las losas y el incumplimiento de los límites de deriva exigidos para la estructura. En función de estos hallazgos, las alternativas de intervención se plantean tomando como base ambas problemáticas.

### ***2.5.1 Metodología empleada***

El método utilizado fue un análisis multicriterio ponderado, porque permite comparar alternativas que no solo difieren en costo, sino en desempeño, impacto ambiental y facilidad de implementación.

Cada criterio recibe un factor de importancia (F.I.), asignado según la relevancia que tiene para este proyecto en particular. Por ejemplo, criterios como la vida útil y la funcionalidad pesaron más que el impacto ambiental o la disponibilidad de materiales, dado que el edificio debe seguir operando y los daños se encuentran en zonas críticas.

### ***2.5.2 Criterios de evaluación***

Los criterios definidos responden a cuatro enfoques: desempeño estructural, economía, factibilidad constructiva y sostenibilidad ambiental.

- **Costo inicial CI (F.I. = 1.0):** Incluye materiales, mano de obra y equipos.
- **Vida útil VU (0.8):** Cuánto extiende la durabilidad del elemento intervenido.
- **Velocidad de intervención VI (0.7):** Tiempo requerido para ejecutar la solución.
- **Mantenimiento futuro MF (0.7):** Frecuencia y costo del mantenimiento posterior.
- **Personal calificado PC (0.6):** Nivel de especialización necesario.
- **Disponibilidad de materiales DM (0.5):** Acceso inmediato a insumos en el mercado local.
- **Impacto ambiental IA (0.3):** Huella de carbono asociada a materiales y procesos.
- **Funcionalidad F(0.9):** Grado en que la alternativa afecta el uso del edificio.

La selección de la alternativa de intervención más adecuada se lleva a cabo mediante una Evaluación Multicriterio donde cada opción es calificada en una escala del 1 (menos favorable) al 10 (más ideal) por cada uno de los criterios definidos. Para obtener el puntaje final, la calificación de cada criterio se multiplica por su respectivo Factor de Importancia y se suman todos los productos, lo que asegura que factores críticos como la continuidad operativa y la durabilidad tengan un peso decisivo. Finalmente, la alternativa que acumule el mayor puntaje total es la seleccionada para el desarrollo del estudio y la ejecución.

### ***2.5.3 Formulación y descripción de alternativas***

Las tres alternativas incluyen la reparación del hormigón deteriorado en las losas mediante restitución del recubrimiento con morteros estructurales, por lo que la diferencia entre ellas reside en la intervención sobre las columnas metálicas.

#### **2.5.3.1 Reparación de losa y refuerzo de columnas con fibra de carbono (CFRP).**

Consiste en envolver las columnas metálicas con tejido CFRP adherido con resina epóxica. El refuerzo incrementa la capacidad axial, protege la superficie del acero y no modifica la geometría de la columna. Es una intervención ligera, rápida y con mínima interferencia en la circulación interna.

### **2.5.3.2 Reparación de losa y refuerzo de columnas con placas metálicas.**

Esta alternativa utiliza placas de acero soldadas al perfil existente, creando un encamisado parcial. Aumenta la capacidad de carga, pero demanda soldadores, cortes, obra caliente y un mayor tiempo de ejecución.

### **2.5.3.3 Reparación de losa y adición de arriostramientos metálicos.**

Tiene como función principal instalar diagonales o cruces estructurales para mejorar la rigidez del sistema. Aunque incrementa la estabilidad global, interfiere directamente con la circulación de vehículos y reduce la funcionalidad del edificio.

## **2.5.4 Justificación de cada alternativa**

### **2.5.4.1 Reparación de losa y refuerzo en las columnas con fibra de carbono.**

**Costo:** El CFRP tiene un precio unitario mayor que el acero, pero como se aplica en capas delgadas y en zonas muy localizadas, el costo total del proyecto se mantiene en un rango medio. No requiere soldadura ni equipos pesados, lo que reduce gastos indirectos.

**Vida útil:** Es la alternativa más durable. El CFRP no se corroe y actúa como una barrera que protege el acero existente, lo que es una ventaja evidente en ambientes húmedos y urbanos como Guayaquil.

**Velocidad de intervención:** El proceso es rápido, limpieza de la superficie, aplicación del epóxico y colocación de la fibra. No requiere desmontajes y permite trabajar sin cerrar zonas completas del parqueo.

**Mantenimiento:** El mantenimiento es prácticamente nulo, ya que el CFRP no necesita repintado ni protección anticorrosiva. Basta con una inspección visual ocasional.

**Personal calificado:** Requiere un equipo capacitado en aplicación de sistemas FRP, pero no es difícil de conseguir. La técnica requiere cuidado, mas no maquinaria especial.

**Disponibilidad de materiales:** Los tejidos CFRP están disponibles en Ecuador, aunque usualmente mediante distribuidores y no en inventario inmediato. Esto coloca su disponibilidad en un nivel medio.

**Impacto ambiental:** Aunque la fabricación de la fibra tiene una huella considerable, la intervención utiliza muy poca cantidad de material y no produce residuos metálicos ni emisiones por soldadura, lo que reduce su impacto en obra.

**Funcionalidad:** No altera el flujo de circulación ni reduce espacios. Su aplicación es superficial y prácticamente imperceptible, una ventaja importante en un edificio operativo.

#### 2.5.4.2 Reparación de losa y refuerzo en columnas con placas metálicas.

**Costo:** Es una de las alternativas más económicas gracias a la disponibilidad del acero y la mano de obra común.

**Vida útil:** La durabilidad es aceptable, pero inferior al CFRP. Aunque incrementa la capacidad de la columna, el acero sigue siendo vulnerable a corrosión si no se mantiene adecuadamente.

**Velocidad de intervención:** El proceso implica soldaduras, cortes y un control estricto de seguridad, lo cual prolonga los tiempos de ejecución.

**Mantenimiento:** El encamisado metálico requiere repintado periódico y revisión de uniones para evitar corrosión.

**Personal calificado:** Se necesita personal certificado en soldadura, fácilmente disponible, pero con exigencias técnicas claras.

**Disponibilidad de materiales:** El acero estructural es abundante y fácil de adquirir localmente. Sin embargo, su fabricación puede requerir cortes a medida.

**Impacto ambiental:** La producción del acero tiene una huella de carbono alta, y el proceso de instalación genera chispas, humo y residuos, aumentando su impacto general.

**Funcionalidad:** Las placas aumentan ligeramente el tamaño de la columna, pero no afectan la circulación ni el funcionamiento del edificio.

#### **2.5.4.3 Reparación de losa y reforzamientos de columnas con arriostramientos metálicos.**

**Costo:** El costo es elevado debido a la instalación de bases de anclaje, la complejidad del montaje y el tipo de arriostramiento.

**Vida útil:** Ofrece una buena durabilidad, siempre que se mantenga una protección anticorrosiva constante.

**Velocidad de intervención:** Es la alternativa más lenta. La instalación de arriostramientos obliga a cerrar áreas internas, instalar perfiles y realizar soldaduras en zonas de difícil acceso.

**Mantenimiento:** Debe inspeccionarse y repintarse con mayor frecuencia por su exposición directa y sus múltiples uniones.

**Personal calificado:** Requiere soldadores y montajistas experimentados

**Disponibilidad de materiales:** Muy alta. Los perfiles estructurales estándar están disponibles en todas las siderúrgicas del país.

**Impacto ambiental:** El uso intensivo de acero y soldadura produce una huella ambiental alta. Se generan residuos y emisiones durante la instalación.

**Funcionalidad:** Los arriostramientos ocupan espacio útil, afectan la circulación vehicular y pueden reducir el número de estacionamientos disponibles.

### 2.5.5 Selección de la mejor alternativa

**Tabla 15**

*Calificación de mejor alternativa de intervención*

<b>Criterio</b>	<b>F.I.</b>	<b>Reparación de losa y refuerzo en las columnas con fibra de carbono.</b>	<b>Calif.</b>	<b>Reparación de losa y refuerzo en columnas con placas metálicas.</b>	<b>Calif.</b>	<b>Reparación de losa y reforzamientos de columnas con arriostramientos metálicos</b>	<b>Calif.</b>
<b>C</b>	1	6	6	9	9	7	7
<b>VU</b>	0.8	10	8	8	6.4	8	6.4
<b>VI</b>	0.7	9	6.3	7	4.9	6	4.2
<b>MF</b>	0.7	10	7	6	4.2	6	4.2
<b>PC</b>	0.6	7	4.2	9	5.4	8	4.8
<b>DM</b>	0.5	6	3	9	4.5	9	4.5
<b>IA</b>	0.3	7	2.1	6	1.8	4	1.2
<b>F</b>	0.9	10	9	8	7.2	4	3.6
<b>Total, ponderado</b>			45.6		43.4		35.9

La evaluación comparativa evidencia que el refuerzo de columnas mediante fibra de carbono, combinado con la reparación de las losas. Estos factores justificaron plenamente la alternativa más conveniente para el edificio de estudio Centro Park, ya que ofrece un equilibrio sólido entre desempeño técnico, viabilidad constructiva y prolongación de la vida útil de la estructura, tal y como se muestra en la Tabla 15

## Capítulo 3

### 3 DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

#### 3.1 Reparación de los Paños Perimetrales de Losa.

##### 3.1.1 *Objetivo y Alcance.*

La intervención en las losas tiene como finalidad detener la corrosión detectada en los aceros de refuerzo y renovar la protección superficial para prolongar la vida útil del sistema. Los estudios previos determinaron un recubrimiento promedio de 2 cm y profundidades de carbonatación que superaban la capa de armadura, condición que según el ACI 365.1R (American Concrete Institute [ACI], 2017) implica riesgo moderado a alto de corrosión activa. Por ello se estableció la necesidad de remover el hormigón afectado y reconstruirlo mediante un sistema integral conforme a los lineamientos para estructuras existentes.

La intervención se limita a los paños perimetrales de losa superior del piso 1 a piso 8, debido a que la planta baja tiene uso comercial y no presenta deterioro compatible con las zonas superiores destinadas a garaje.

##### 3.1.2 *Reconstrucción del Recubrimiento y Remoción del Hormigón Afectado.*

El procedimiento consiste en retirar completamente el recubrimiento carbonatado hasta exponer el acero en condiciones de concreto sano. Esto se ajusta al ACI 562-19 (ACI, 2019), Sección 8.4, que indica que el concreto deteriorado debe ser removido “hasta alcanzar un sustrato con resistencia, integridad y alcalinidad suficiente para desarrollar adherencia estructural con el material de reparación”, y que la profundidad mínima debe garantizar que no queden zonas contaminadas ni carbonatadas en contacto con la nueva reparación.

De acuerdo con la norma NEC-SE-HM (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2015), se exige un recubrimiento mínimo de 4 cm para garantizar que la armadura esté protegida frente a ambientes agresivos. Este valor corresponde a lo establecido en la tabla de recubrimientos mínimos, siempre que se utilice un hormigón convencional. Sin embargo, en el

presente estudio no se aplicará dicho espesor de recubrimiento, en su lugar, se incorporará un aditivo inhibidor de corrosión, asegurando igualmente la protección de la armadura frente a la acción de agentes externos. Así mismo, la remoción se realiza con herramientas de baja vibración según recomendaciones de ACI 546R (ACI, 2014) para evitar fracturas internas y mantener la continuidad del sustrato estructural.

El hormigón remanente debe presentar coloración alcalina al ser verificado con fenolftaleína, siguiendo el criterio de ACI 201.2R (ACI, 2016) para diagnóstico de carbonatación, que establece que la zona no carbonatada debe tornarse morada al contacto con la solución. Además, debe exhibir textura firme que permita el anclaje mecánico del mortero.

### ***3.1.3 Preparación y Limpieza del Refuerzo.***

Una vez expuesta, la armadura se limpia mecánicamente siguiendo los criterios de SSPC-SP 3 (Society for Protective Coatings, 2004), que requiere eliminar óxido suelto, cascarilla, pintura o partículas no adheridas mediante herramientas manuales o mecánicas de impacto leve. Este nivel de preparación es suficiente para garantizar que el acero recupere su capacidad de adherencia sin necesidad de limpieza abrasiva más agresiva. El procedimiento cumple también con el ACI 562 (ACI, 2021), Sección 8.5, que exige que el refuerzo quede libre de corrosión activa antes de aplicar el sistema de reparación.

El acero debe permanecer seco, sin polvo ni residuos, para asegurar la correcta interacción con el puente de adherencia.

### ***3.1.4 Aplicación del Puente de Adherencia.***

La unión entre el hormigón existente y el mortero de reparación se realizará mediante un puente de adherencia aplicado sobre el sustrato preparado. En zonas críticas se utilizará un adhesivo epóxico conforme a ASTM C881 (ASTM International, 2020) Tipo II, Clase B o C. Esta norma exige que la resina presente resistencia mínima a tracción de 30 MPa, módulo de

elasticidad superior a 2 GPa y mínima contracción durante el curado, garantizando una unión rígida y durable.

Para superficies amplias se empleará una lechada cementicia modificada con polímeros conforme a ASTM C1059 (ASTM International, 2021) Tipo II, que especifica requisitos de adhesión mínima de 1,4 MPa y compatibilidad con concretos existentes en condiciones húmedas. Conforme a ACI 546R (ACI, 2014), la superficie debe estar en condición saturada superficialmente seca (SSD), evitando la absorción del ligante y asegurando el desarrollo completo de adherencia.

El mortero debe colocarse mientras el ligante se mantiene fresco y pegajoso, conforme a ACI 503R (ACI, 2010), que advierte que la formación de película seca reduce la capacidad de transferencia de esfuerzos.

### ***3.1.5 Colocación del Mortero de Reparación con Inhibidor de Corrosión.***

El mortero empleado es un material cementicio de alta resistencia y baja retracción, adecuado para trabajos sobre cabeza según ACI 546R (ACI, 2014) y ACI 549.1R (ACI, 2018). Estos documentos establecen que el mortero debe poseer baja exudación, resistencia a tracción suficiente para evitar delaminaciones y un módulo compatible con el concreto base para limitar tensiones internas.

Se incorpora un inhibidor de corrosión de base orgánica, siguiendo recomendaciones de ACI 222R (ACI, 2019), que indica que estos aditivos reducen la tasa de corrosión cuando la carbonatación ha alcanzado la armadura, siempre que el concreto nuevo restituya el pH adecuado.

Las propiedades mínimas exigidas al mortero se las observa en la siguiente Tabla 16:

**Tabla 16***Propiedades mínimas requeridas*

<b>Propiedad</b>	<b>Norma de ensayo</b>	<b>Valor mínimo requerido</b>
Resistencia a compresión (28 días)	ASTM C109 / C109M	$\geq 21$ MPa
Resistencia a tracción indirecta	ASTM C496	$\geq 2.0$ MPa
Adherencia (pull-off) al sustrato	ASTM C1583 / C1583M	$\geq 1.5$ MPa, con falla preferente en el sustrato
Módulo de elasticidad	ASTM C469	15–25 GPa
Retracción libre (28 días)	ASTM C157	$\leq 0.05$ %

La aplicación se realiza en capas sucesivas no mayores a 25 mm, siguiendo el límite recomendado por ACI 546R (ACI, 2014) para trabajos sobre cabeza. El curado húmedo durante 72 horas se ajusta a ACI 308R, que exige mantener el material en condiciones saturadas para evitar retracción plástica.

### ***3.1.6 Verificación de Capacidad Estructural de la Losa Reparada.***

La capacidad estructural de la losa se mantiene sin variaciones significativas debido a que la intervención no modifica la geometría resistente ni las propiedades mecánicas del hormigón original en su zona comprimida. El ACI 318 (ACI, 2019) (Sección 22.2) establece que el acero debe ubicarse a una distancia efectiva  $d$  desde la fibra comprimida, y esta distancia no cambia en la reparación. El recubrimiento reconstruido cumple únicamente una función de protección. Por tanto, el momento resistente nominal  $M_n$  se mantiene, y el recubrimiento adicional no reduce la capacidad a flexión.

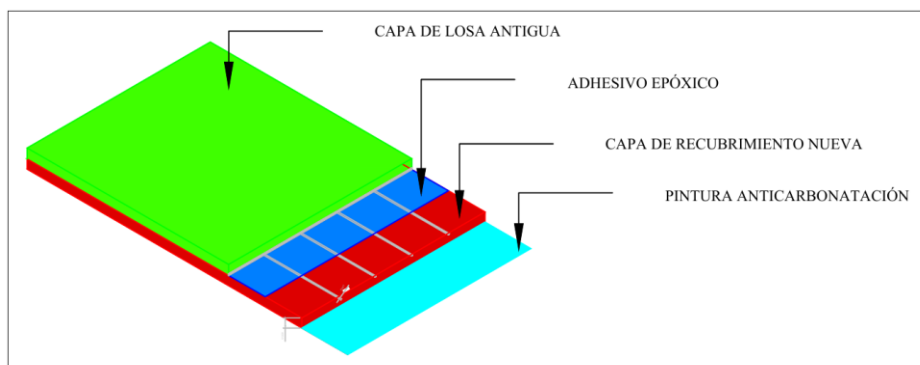
El mortero, al no intervenir en la zona comprimida, no altera el momento nominal  $M_n$ , y la adherencia verificada con norma ASTM C1583 (ASTM International, 2017) garantiza la correcta transferencia de esfuerzos, evitando deslizamientos o pérdidas de rigidez local. Por lo tanto, la capacidad de la losa se mantiene conforme al diseño original y cumple los requerimientos de carga de los pisos destinados a garaje.

### 3.1.7 Aplicación del Revestimiento Anticarbonatación.

Se aplicará un revestimiento acrílico microporoso conforme al ACI 515.2R (ACI, 2013), que recomienda su uso para superficies expuestas a dióxido de carbono y humedad, y al ACI 364.1R (ACI, 2019), que establece que estos recubrimientos deben permitir la salida de vapor de agua sin permitir el ingreso de  $\text{CO}_2$  líquido o en solución. El espesor equivalente de barrera  $Sd \geq 50\text{m}$  cumple con la clasificación de “barrera altamente efectiva” según EN 1504-2 (European Committee for Standardization [CEN], 2004), reconocida internacionalmente para sistemas anticarbonatación. En la Figura 20, se tiene más detalle de cómo se encontraría la losa en función a la rehabilitación propuesta:

#### Figura 20

*Vista de todas las capas de la losa*



### **3.1.8 *Vida útil remanente posterior a la rehabilitación***

La rehabilitación estructural propuesta se enmarca en los principios 3 (Restauración del hormigón) y 1 (Protección contra la penetración) establecidos en la norma EN 1504-2 (European Committee for Standardization [CEN], 2004).

La intervención contempla la eliminación completa del hormigón carbonatado, la limpieza y pasivación del acero de refuerzo, la restitución del recubrimiento conforme a los espesores mínimos exigidos por la normativa vigente y la aplicación de un sistema de protección superficial anticarbonatación.

Si bien la durabilidad individual del recubrimiento protector se encuentra asociada a ciclos de mantenimiento periódicos, el conjunto de medidas adoptadas modifica sustancialmente las condiciones de exposición y ralentiza de manera significativa el mecanismo de deterioro identificado en el Capítulo 2.

En concordancia con los criterios del fib Model Code (International Federation for Structural Concrete [fib], 2010), la ISO 15686 (International Organization for Standardization [ISO], 2011) y el ACI 562-21 (ACI, 2021), la rehabilitación permite definir una nueva fase de vida útil de servicio. De manera conservadora, y considerando factores de ejecución y mantenimiento, se adopta una vida útil remanente estimada de 30 años para la losa rehabilitada.

### **3.1.9 *Planos de intervención de los paños de losa.***

Los planos correspondientes a la reparación de los paños perimetrales de losa forman parte integral del diseño y muestran la ubicación de las zonas a intervenir en cada nivel, la extensión del recubrimiento retirado, las áreas de aplicación del puente de adherencia y del mortero, así como el espesor final de 4 cm requerido por la NEC. Incluyen cortes que representan la losa antes y después de la intervención, las geometrías del recubrimiento reconstruido, los límites de trabajo y las notas técnicas de ejecución, constituyendo el respaldo gráfico oficial del proceso de reparación.

## **3.2 Diseño de reforzamientos para el control de derivas.**

### ***3.2.1 Verificación y descarte de la alternativa con CFRP***

La alternativa de refuerzo con CFRP fue evaluada mediante un modelo estructural que incorporó el incremento de capacidad local en los elementos intervenidos. Los resultados obtenidos evidenciaron que, si bien el uso de CFRP mejora la resistencia de elementos individuales, su aporte a la rigidez lateral global del sistema es limitado, manteniéndose valores de derivas que superan los límites normativos. En consecuencia, esta alternativa fue descartada por no cumplir con el criterio gobernante de control de desplazamientos.

### ***3.2.2 Objetivo y Alcance.***

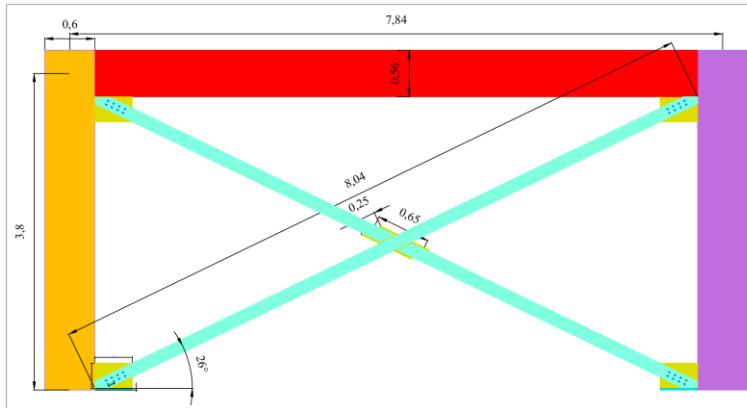
En respuesta a lo encontrado en el capítulo anterior con respecto a las derivas incumplidas, el objetivo principal del reforzamiento es garantizar la estabilidad global de la estructura reduciendo las derivas inelásticas a valores inferiores al umbral del 2% según la NEC (2015), así como apaciguar los efectos de torsión mediante un incremento de la rigidez en las zonas perimetrales donde se amplifican los desplazamientos. Para lograrlo, se buscó implementar un sistema que fuese eficiente tanto desde el punto de vista estructural como constructivo, priorizando intervenciones que maximizaran la rigidez lateral sin comprometer excesivamente la arquitectura existente.

La solución técnica adoptada consiste en una estrategia híbrida que ataca la rigidez de la estructura en dos frentes. En primer lugar, se incorporaron arriostramientos concéntricos metálicos tipo "X", como se observa en la Figura 21 orientados en la dirección Y, distribuidos desde la planta baja hasta el piso 4, con el fin de controlar el desplazamiento global de los niveles intermedios. Simultáneamente, se dispuso la instalación de placas metálicas soldadas a las columnas extremas únicamente en la planta baja como se observa en la Figura 22; esta medida tiene como finalidad específica incrementar la rigidez en la base del edificio, mejorando

el desempeño del primer nivel y proporcionando un empotramiento robusto que permita a los arriostramientos superiores trabajar con mayor eficiencia.

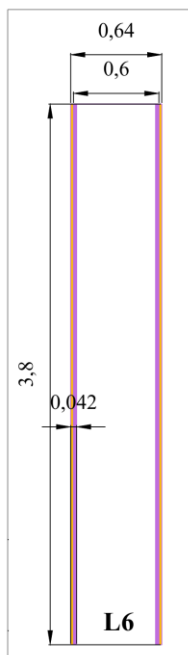
### Figura 21

*Vista de los arriostramientos colocados*



### Figura 22

*Colocación de las placas en columna*



## 3.2.3 Arriostramientos

### 3.2.3.1 Disposición General de los Arriostramientos

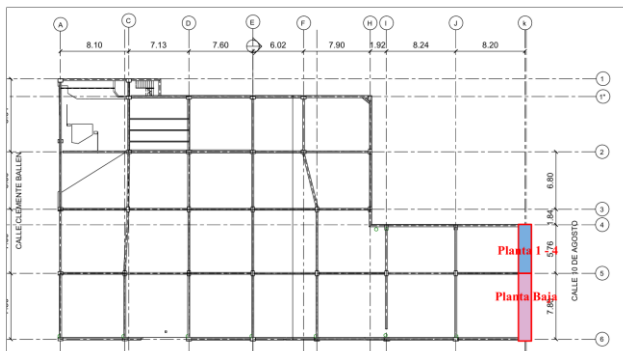
Con base en los resultados del análisis estructural, se identificaron concentraciones significativas de deriva lateral en la dirección Y, como se observó en la Tabla 10,

particularmente en el extremo del edificio donde los efectos torsionales resultan más pronunciados. En consecuencia, se dispuso un sistema de arriostramiento concéntrico en dicha dirección, con el objetivo de incrementar la rigidez lateral global y reducir las deformaciones laterales del sistema estructural.

La ubicación de los arriostramientos propuestos se presenta en la Figura 23, donde se observa su disposición estratégica en los ejes más demandados por acción sísmica. En la planta baja se dispone una diagonal de mayor longitud debido a la geometría del panel estructural, mientras que, en los niveles superiores, del piso 1 al 4, se emplean diagonales de menor longitud, lo cual incrementa la rigidez del sistema por efecto geométrico.

### Figura 23

*Ubicación de los arriostramientos concéntricos de la solución propuesta.*



El sistema de arriostramiento trabaja predominantemente a esfuerzo axial, lo que permite una transmisión eficiente de las fuerzas laterales hacia la cimentación, a diferencia de los pórticos resistentes a momento, donde la disipación de energía se produce principalmente por flexión.

#### 3.2.3.2 Criterios de Diseño del Sistema de Arriostramiento

El diseño se realiza bajo el enfoque de diseño por capacidad, conforme a lo establecido en la norma AISC 341-16 (American Institute of Steel Construction [AISC], 2016), la cual establece que en sistemas arriostrados concéntricos el elemento disipador de energía debe ser el propio arrioste, mientras que las conexiones deben permanecer esencialmente elásticas.

Bajo acción sísmica severa, se asume que el elemento sometido a compresión pierde capacidad por pandeo global, mientras que el elemento sometido a tracción debe ser capaz de desarrollar su resistencia última. En consecuencia, las conexiones y elementos adyacentes se diseñan para resistir la capacidad máxima esperada del arriostre en tracción.

### 3.2.3.3 Selección del material y sección del arriostre demostrativo

Se seleccionó un perfil tubular rectangular (RHS) fabricado en acero estructural ASTM A36 (ASTM International, 2020), material ampliamente utilizado en la industria ecuatoriana y con adecuada ductilidad para aplicaciones sísmicas.

Las propiedades del material a usar son:

- ❖ Tipo de acero: ASTM A36
- ❖ Esfuerzo de fluencia,  $F_y = 250$  MPa
- ❖ Esfuerzo último,  $F_u = 400$  MPa
- ❖ Módulo de elasticidad,  $E = 200\,000$  MPa

La sección seleccionada para el reforzamiento RHS propuesto es:

- ❖ Perfil: RHS  $150 \times 100 \times 6$  mm
- ❖ Base ( $B$ ) de 100 mm, altura ( $H$ ) de 150 mm y espesor ( $t$ ) de 6 mm.
- ❖ Área bruta ( $A_g$ ) calculada con la ecuación 3.1:

$$A_g = 2t(B + H - 2t) \quad (3.1)$$

$$A_g = 2(6)(150 + 100 - 12) = 2856 \text{ mm}^2$$

### 3.2.3.4 Determinación de la Resistencia a Tracción del Arriostre

De acuerdo con la norma AISC 360-16 (AISC, 2016), la resistencia nominal a tracción de un elemento se determina mediante la ecuación 3.2:

$$\phi T_n = \phi \cdot F_y \cdot A_g \quad (3.2)$$

Donde:

$\phi = 0.9$ (factor de reducción para tracción),

$F_y = 250$  MPa,

$A_g = 2856$  mm<sup>2</sup>.

Sustituyendo:

$$\phi T_n = 0.9 \times 250 \times 2856 = 642\,600 \text{ N}$$

$$\phi T_n = 642.6 \text{ kN}$$

Este valor representa la capacidad de diseño del arriostramiento en tracción, la cual será empleada para el dimensionamiento de las conexiones.

### 3.2.3.5 Verificación frente a las Demandas del Análisis Estructural

Las fuerzas axiales obtenidas del modelo estructural mediante las combinaciones de cargas de sismo en X e Y para los arriostramientos se resumen en la Tabla 17.

**Tabla 17**

*Resultados de las fuerzas axiales máximas de cada piso*

Arriostramiento	Tracción (kN)
Planta baja	347.14
Piso 1	281.24
Piso 2	269.77
Piso 3	226.15
Piso 4	191.09

Fuente: Programa de análisis estructural

Comparando la fuerza axial máxima de tracción nominal con la fuerza axial máxima de tracción última más desfavorable hallada en la planta baja del edificio:

$$\phi T_n = 642.6 \text{ kN} > P_{u,m\acute{a}x} = 347.14 \text{ kN}$$

Se concluye que el elemento seleccionado presenta una capacidad ampliamente superior a la demanda sísmica obtenida del análisis, garantizando un comportamiento dúctil y seguro conforme a los principios de diseño por capacidad.

### 3.2.3.6 Diseño de las Conexiones

#### 3.2.3.6.1 Conexión mediante Pernos.

Para la unión del arriostre con las placas cartela de 12 mm de espesor propuesto se emplean pernos de alta resistencia ASTM A325 (ASTM International, 2014) de diámetro nominal 19 mm (3/4"), con un área calculada con la ecuación 3.3.

$$A_b = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3.3)$$

Sustituyendo:

$$A_b = \frac{\pi d^2}{4} = 283.5 \text{ mm}^2$$

Resistencia al corte del perno (AISC, 2016, Sección J3), vista en la ecuación 3.4:

$$\phi R_n = \phi 0.48 F_u A_b \quad (3.4)$$

Donde:

$\phi = 0.75$  (factor de reducción para resistencia al corte),

$F_u = 825 \text{ MPa}$ ,

$A_b = 283.5 \text{ mm}^2$ .

Sustituyendo:

$$\phi R_n = 0.75(0.48)(825)(283.5) = 84.2 \text{ kN}$$

Número de pernos requeridos calculada con la ecuación 3.5:

$$N = \frac{\phi T_n}{\phi R_n} \quad (3.5)$$

Donde:

$\phi T_n = 642.6 \text{ kN}$ ,

$\phi R_n = 84.2 \text{ kN}$ .

Sustituyendo:

$$N = \frac{642.6}{84.2} = 7.63 \Rightarrow 8 \text{ pernos}$$

Disposición adoptada:

- Separación entre pernos: 75 mm ( $\geq 3d$ )
- Distancia al borde: 40 mm
- Configuración: 2 filas de 4 pernos

### 3.2.3.6.2 *Diseño de la Soldadura de la Cartela.*

Se emplea soldadura de filete con electrodo E70XX.

- Resistencia del electrodo:  $F_{EXX} = 480 \text{ MPa}$
- Tamaño del filete:  $w = 6 \text{ mm}$

Resistencia por unidad de longitud  $\phi R_s$ , se calcula con la ecuación 3.6:

$$\phi R_s = 0.75 \cdot 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot 0.707 \cdot w \quad (3.6)$$

Sustituyendo:

$$\phi R_s = 0.75(0.6)(480)(0.707)(6) = 0.916 \text{ kN/mm}$$

Longitud total requerida obtenida de la ecuación 3.7:

$$L_{req} = \frac{P_{u,diseño}}{\phi R_s} \quad (3.7)$$

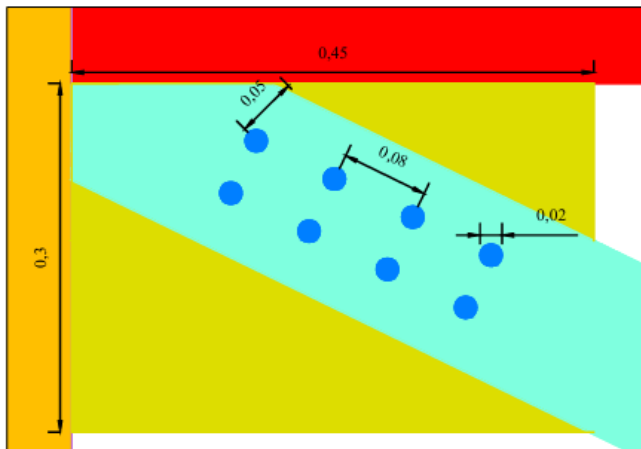
Sustituyendo:

$$L_{req} = \frac{642.6}{0.916} = 701.5 \text{ mm}$$

Longitud provista para el lado de contacto con la viga es de 450 mm y para el contacto con la columna de 300 mm, dando un total de 750 mm:

$$L_{prov} = 750 \text{ mm} > 701.5 \text{ mm}$$

Por lo tanto, la soldadura cumple adecuadamente como se observa en la Figura 24:

**Figura 24***Vista de las conexiones***3.2.3.6.3 Detalle de las Conexiones Inferiores.**

El sistema de arriostramiento no dispone de una viga inferior visible, el extremo inferior del arriostre se conecta mediante una placa de anclaje de acero, apoyada sobre la losa maciza de hormigón armado y fijada estructuralmente a la viga metálica tipo I situada inmediatamente debajo de dicha losa. La losa, de 8 cm de espesor, no participa estructuralmente en la transferencia de esfuerzos, actuando únicamente como elemento de paso para los pernos. La transmisión de cargas se produce íntegramente entre la cartela del arriostre, la placa de anclaje y la viga metálica inferior, configurando un mecanismo resistente acero-acero, conforme a la normativa AISC 360-16 y a los principios de diseño por capacidad de la AISC 341-16.

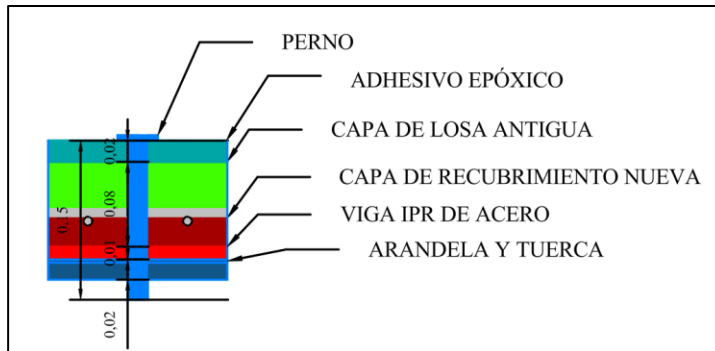
La conexión se compone de placa de anclaje soldada a la cartela del arriostre y al extremo de la columna y se propone las dimensiones de  $350 \times 450 \times 20$  mm, de acero ASTM A36. El espesor de la placa se selecciona con el objetivo de garantizar rigidez suficiente para la transferencia de cargas axiales, evitar deformaciones locales y permitir la correcta ejecución de soldaduras estructurales.

La placa de anclaje se fija a la viga metálica inferior mediante cuatro pernos de alta resistencia ASTM A325, con un diámetro nominal de 19 mm (3/4") y con una longitud total de 150 mm. Los pernos atraviesan la placa de anclaje, la losa de hormigón (sin participación

estructural) y el ala superior de la viga metálica, quedando fijados mediante tuerca y arandela como se observa en la Figura 25. La disposición adoptada es simétrica, con el fin de evitar excentricidades y garantizar una transferencia uniforme de esfuerzos.

### Figura 25

*Vista de la colocación final del perno*



Condición de doble corte y número de pernos requeridos:

Carga de diseño calculada con la ecuación 3.2:

$$\phi T_n = 642.6 \text{ kN}$$

Área resistente del perno calculada con la ecuación 3.3:

$$A_b = 283.5 \text{ mm}^2$$

Resistencia de diseño a corte en condición de corte simple, teniendo presente que este valor corresponde a solo un perno trabajando a corte simple, calculada con la ecuación 3.4:

$$\phi R_n = 0.75 \cdot 0.48 \cdot 825 \cdot 283.5 = 84.2 \text{ kN}$$

Cabe recalcar que, el detalle constructivo adoptado genera dos planos de corte por perno, debido a que la placa de anclaje se encuentra conectada a la viga metálica inferior, produciéndose transferencia de esfuerzos a través del ala superior y el alma de la viga. En consecuencia, cada perno trabaja en condición de doble corte, por ende, la resistencia efectiva de un perno en doble corte se calcula con la ecuación 3.8:

$$\phi R_{n,\text{doble}} = 2 \cdot \phi R_n \quad (3.8)$$

Donde:

$\phi R_{n,\text{doble}}$  = resistencia de diseño del perno en doble corte (kN)

$\phi R_n$  = resistencia de diseño del perno en corte simple (kN)

Sustituyendo en la ecuación 3.8:

$$\phi R_{n,\text{doble}} = 2 \cdot 84.2 = 168.4 \text{ kN}$$

Así mismo, el número de pernos requeridos se calcula con la ecuación 3.9:

$$n = \frac{\phi T_n}{\phi R_{n,\text{doble}}} \quad (3.9)$$

Donde:

$n$  = número de pernos requeridos

$\phi T_n$  = fuerza axial de diseño (kN)

$\phi R_{n,\text{doble}}$  = resistencia de diseño de un perno en doble corte (kN)

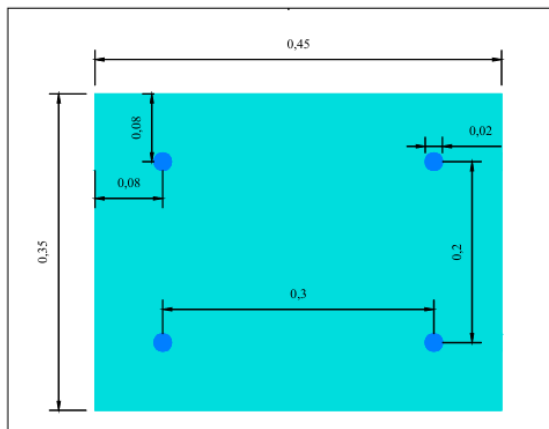
Sustituyendo en la ecuación 3.9:

$$n = \frac{642.6}{168.4} = 3.82 = 4 \text{ pernos}$$

Por lo tanto, se adoptan 4 pernos, garantizando un comportamiento dúctil y seguro del sistema como se observa en la Figura 26, conforme a los principios de diseño por capacidad establecidos en la AISC 341-16.

## Figura 26

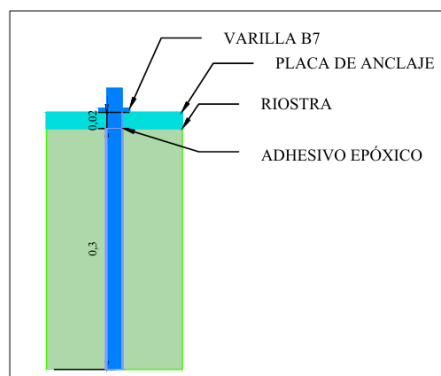
*Numero de pernos adaptados*



Para las conexiones inferiores, en las que la viga no es visible, el arriostre se fija mediante una placa de anclaje empotrada en el suelo de hormigón, el cual actúa como elemento colector. Se emplean las mismas dimensiones de la placa utilizada previamente:  $350 \times 450 \times 20$  mm, fabricada en acero ASTM A36. La longitud de 450 mm asegura la continuidad geométrica y resistente con la cartela del arriostre, mientras que el espesor de 20 mm resulta suficiente para evitar fenómenos de flexión local y garantizar la rigidez de la conexión, además de facilitar la correcta ejecución de las soldaduras estructurales como se observa en la Figura 27.

## Figura 27

*Vista del perno en la planta baja*



La fijación al hormigón se materializa mediante varillas roscadas de alta resistencia ASTM A193 (ASTM International, 2020) Grado B7, instaladas químicamente con adhesivo

epóxico estructural. Se estableció una profundidad efectiva de empotramiento de 300 mm, parámetro verificado bajo los criterios del ACI 318-19 (ACI, 2019). Esta configuración asegura la capacidad de adherencia necesaria y promueve un comportamiento dúctil controlado por el acero, evitando la falla frágil por desprendimiento del cono de hormigón.

$$h_{ef} = 300 \text{ mm}$$

Verificación por arrancamiento del concreto (Concrete Breakout) Según ACI 318-19, Cap. 17 en la ecuación 3.10:

$$\phi N_{cb} = \phi k_c \sqrt{f'_c} A_{Nc} \quad (3.10)$$

Donde:

$\phi = 0.7$  Coeficiente para arrancamiento del concreto

$$k_c = 24$$

$$f'_c = 28 \text{ MPa}$$

$A_{Nc}$  = área efectiva de falla del concreto se calcula con la ecuación 3.11:

$$A_{Nc} = (1.5 h_{ef})^2 \quad (3.11)$$

Donde:

$$h_{ef} = 300 \text{ mm}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 3.10 y 3.11:

$$A_{Nc} = (1.5 \times 300)^2 = 202,500 \text{ mm}^2$$

$$\phi N_{cb} = 0.75 \times 24 \times \sqrt{28} \times 202,500 = 19,275 \text{ kN}$$

$$19,275 \gg 642.6 \Rightarrow \text{Cumple}$$

Verificación por arrancamiento por adherencia (Pullout) en la ecuación 3.12:

$$N_p = 8 \sqrt{f'_c} A_{brg} \quad (3.12)$$

Donde:

$$f'_c = 280 \text{ MPa}$$

$A_{brg}$  = Area de contacto con el concreto, esta se calcula con la ecuación 3.13:

$$A_{brg} = \pi d h_{ef} \quad (3.13)$$

Donde:

$$d = 19 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = 300 \text{ mm}$$

Sustituyendo los valores en las ecuaciones 3.12 y 3.13, se tiene:

$$A_{brg} = \pi d h_{ef} = \pi(19)(300) = 17,900 \text{ mm}^2$$

$$N_p = 8(5.29)(17,900) = 758 \text{ kN}$$

$$758 > 160.7 \Rightarrow \text{Cumple}$$

#### **Soldaduras:**

- Tipo: filete continuo
- Electrodo: E70XX
- Tamaño: 6 mm
- Ubicación: Placa de anclaje-columna

La soldadura ha sido dimensionada bajo el criterio de diseño por capacidad para desarrollar la resistencia plena del arriostre. La conexión propuesta, compuesta por placa de anclaje y pernos, satisface los requerimientos de las normativas AISC 341, AISC 360 y ACI 318. Este diseño asegura un comportamiento dúctil y eficiente, garantizando la correcta transferencia de fuerzas a la cimentación y preservando la integridad estructural ante eventos sísmicos severos.

#### **3.2.3.6.4 Detalle del Nudo Central del Arriostramiento.**

Para asegurar continuidad estructural y una transferencia eficiente de esfuerzos, se diseña un nudo central soldado tipo “placa pasante” (through-plate), en donde una de las diagonales se mantiene continua (RHS 150×100×6). Adicionalmente, se realiza una ranura longitudinal en las caras de 150 mm del perfil. También, una placa rectangular atraviesa completamente el perfil.

Por último, las diagonales discontinuas se insertan sobre la placa y se sueldan perimetralmente. Teniendo presente que este sistema evita excentricidades, mejora la disipación de energía y garantiza un comportamiento dúctil del conjunto.

Para el diseño de la Soldadura del Nudo Central, esta soldadura se diseña con base en la capacidad máxima del arriostre, siguiendo el criterio de diseño por capacidad. El cálculo de la longitud requerida como se vio en la sección anterior fue de 701.5 mm. Esta longitud se distribuye en cuatro líneas de soldadura, dando una longitud por línea calculada con la ecuación 3.14:

$$L_{\text{línea}} = \frac{L_{req}}{4} \quad (3.14)$$

Sustituyendo:

$$L_{\text{línea}} = \frac{701.5}{4} = 175 \text{ mm}$$

Se adopta una longitud constructiva de:

$$L_{\text{línea}} = 180 \text{ mm}$$

En lo que respecta al dimensionamiento de la Placa Pasante se tiene un espesor de 12 mm y ancho de 250 mm, mientras que para la longitud de la placa se tiene las siguientes consideraciones:

- Solape lado 1: 180 mm
- Holgura constructiva: 25 mm
- Ancho proyectado del tubo inclinado ( $\sim 45^\circ$ ): 220 mm
- Holgura constructiva: 25 mm
- Solape lado 2: 180 mm

$$L_{\text{placa}} = 180 + 25 + 220 + 25 + 180 = 630 \text{ mm}$$

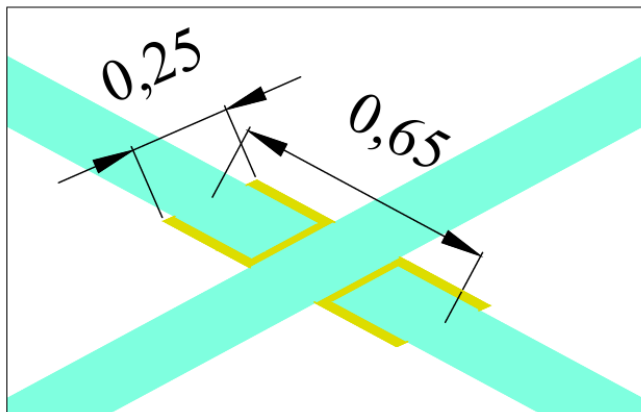
Se adopta finalmente:

650X250X12 mm

A continuación, se muestra el detalle en la Figura 28 de como quedaría la conexión central de los arriostramientos.

### Figura 28

*Vista de nudo central del arriostramiento*



En el Anexo C se presenta el detalle constructivo correspondiente a las conexiones, pernos y placas de anclaje empleadas en los arriostramientos.

### 3.2.4 Columnas metálicas reforzadas

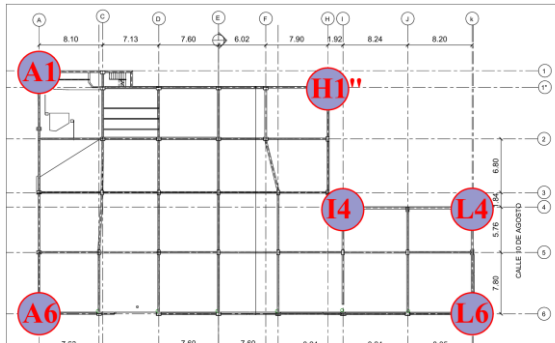
#### 3.2.4.1 Descripción general del refuerzo estructural.

El refuerzo mediante placas metálicas se aplicó a seis columnas ubicadas estratégicamente en las esquinas del edificio, únicamente en el primer nivel, tal como se muestra en la Figura 29. Esta decisión responde a que la planta baja concentra las mayores demandas de cortante basal, momentos flectores y efectos de segundo orden, propios del comportamiento global de la estructura bajo acción sísmica.

Asimismo, el incremento de rigidez en el primer nivel permite reducir de forma significativa las derivas iniciales y controlar la rotación torsional del sistema estructural, especialmente en edificaciones con configuración en planta tipo “L”, donde los efectos torsionales son más severos.

**Figura 29**

*Ubicación de las columnas a reforzar en la planta baja*

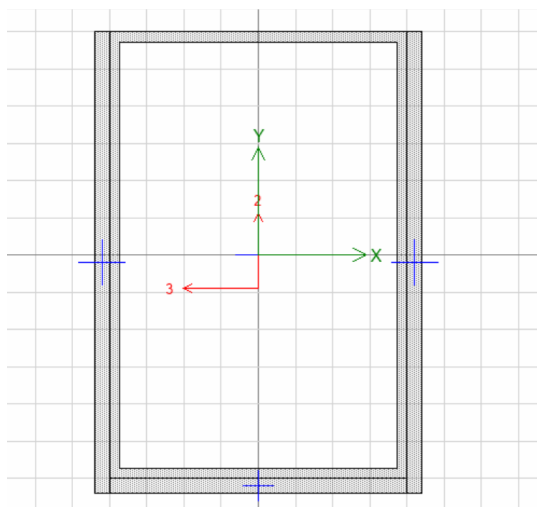


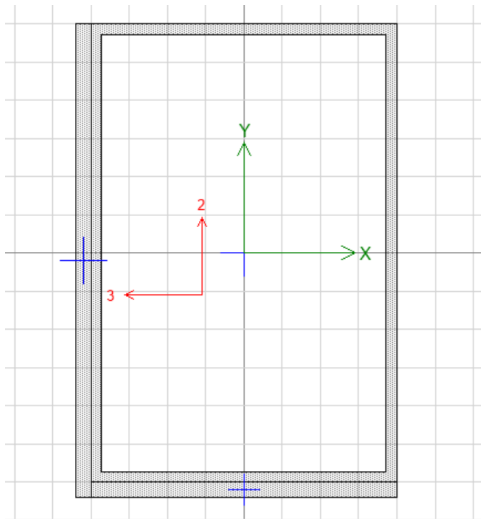
### 3.2.4.2 Configuración del refuerzo con placas soldadas.

El refuerzo se ejecuta mediante la adición de placas de acero estructural soldadas exteriormente a las columnas tubulares existentes. El espesor adoptado para todas las placas es de 20 mm, valor que permite incrementar de forma significativa la rigidez flexional sin generar problemas constructivos o de soldabilidad. Las Figura 30 y Figura 31 muestran el esquema general del refuerzo aplicado en el modelo estructural.

**Figura 30**

*Dimensiones de columna I4 reforzada*



**Figura 31***Dimensiones de la columna H1'' reforzada*

Las columnas reforzadas y su configuración geométrica se resumen en la Tabla 18

**Tabla 18***Columnas reforzadas en planta baja*

<b>Columna</b>	<b>Sección original (mm)</b>	<b>Lados reforzados</b>
A1	600 × 400	1 lado de 600 mm y 2 lados de 400 mm
A6	600 × 600	Todos los lados
H1''	400 × 600	1 lado de 600 mm y 1 lado de 400 mm
I4	400 × 600	1 lado de 400 mm y 2 lados de 600 mm
L4	400 × 600	1 lado de 400 mm y 2 lados de 600 mm
L6	600 × 600	Todos los lados

El detalle constructivo correspondiente a cada una de las columnas que fueron reforzadas se presenta en el Anexo C.

### 3.2.4.3 Justificación estructural del refuerzo en el primer nivel.

El refuerzo se limita al primer nivel debido a que en este nivel se concentran:

- Las mayores fuerzas cortantes sísmicas.
- Los mayores momentos flectores en columnas.

- Los efectos P-Δ más significativos.
- La mayor contribución a la rigidez lateral global del sistema.

Incrementar la rigidez en esta zona reduce las derivas inter-piso, mejora el control del desplazamiento lateral y disminuye la demanda sobre los niveles superiores, mejorando el comportamiento sísmico global de la edificación.

#### 3.2.4.4 Cálculo del incremento de rigidez por aumento de inercia.

La rigidez flexional de un elemento puede expresarse de manera proporcional como la ecuación 3.15:

$$k \propto \frac{EI}{L^3} \quad (3.15)$$

Dado que el módulo de elasticidad del acero (E) y la longitud efectiva (L) permanecen constantes, el incremento de rigidez depende directamente del aumento del momento de inercia.

Para secciones rectangulares macizas, el momento de inercia respecto a su eje fuerte se calcula mediante la ecuación 3.16:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (3.16)$$

Donde:

b= ancho exterior de la sección

h= altura exterior de la sección

Para secciones tubulares rectangulares, el momento de inercia respecto a su eje fuerte se calcula mediante las ecuaciones 3.17 y 3.18:

$$I_x = \frac{bh^3 - (b - 2t)(h - 2t)^3}{12} \quad (3.17)$$

$$I_y = \frac{hb^3 - (h - 2t)(b - 2t)^3}{12} \quad (3.18)$$

Donde:

b= ancho exterior de la sección

$h$ = altura exterior de la sección

$t$ = espesor de la pared

El espesor total reforzado se obtiene con la ecuación 3.19:

$$t_{total} = t_{original} + 20 \text{ mm} \quad (3.19)$$

Se debe tener en cuenta la inercia de secciones compuestas del Teorema de ejes paralelos permite considerar correctamente el efecto de la posición del refuerzo. Cuando se adicionan placas de refuerzo, la inercia total se obtiene mediante la ecuación 3.20:

$$I = \sum(I_c + Ad^2) \quad (3.20)$$

donde:

$I_c$ : inercia de la placa respecto a su eje centroidal

$A$ : área de la placa

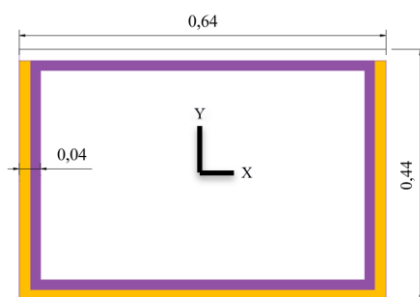
$d$ : distancia entre el centroide de la placa y el eje neutro global

### 3.2.4.5 Detalle de cálculo demostrativo para la Columna A1.

Datos geométricos de la columna de la Figura 32:

#### Figura 32

*Dimensiones de la columna demostrativa*



# A1

Sección:  $600 \times 400 \text{ mm}$

Espesor original:  $t=17\text{mm}$

Espesor reforzado calculado con la ecuación 3.19:

$$t_{total} = 17 + 20 = 37 \text{ mm}$$

### **Inercia de la sección original:**

Dimensiones internas:

$$b_i = 600 - 2(17) = 566 \text{ mm}$$

$$h_i = 400 - 2(17) = 366 \text{ mm}$$

Inercias iniciales sin refuerzo obtenidas al sustituir los valores en las ecuaciones 3.17 y 3.18:

$$I_{x0} = \frac{600(400^3) - 566(366^3)}{12} = 8.89 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_{y0} = \frac{400(600^3) - 366(566^3)}{12} = 1.68 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

### **Propiedades de la Sección Reforzada**

Dado que el refuerzo consiste en una placa inferior y dos laterales, la sección deja de ser simétrica respecto al eje horizontal. Por consiguiente, el centroide geométrico se desplaza hacia la zona donde se concentra mayor área de acero.

#### **Áreas y ubicación de componentes**

**En lo que respecta a la columna original se tiene:**

$$A_0 = 32,844 \text{ mm}^2$$

$$y_0 = 0$$

#### **Inercia de las placas de refuerzo:**

Placa inferior (600 × 20 mm)

El área de la placa se debe calcular con la ecuación 3.21:

$$A = bt \quad (3.21)$$

Donde:

b= ancho de la sección

t= altura de la sección

Sustituyendo

$$A = 600(20) = 12,000 \text{ mm}^2$$

Distancia al eje X:

$$d = -\frac{400}{2} - \frac{20}{2} = -210 \text{ mm}$$

Placa lateral 2 unidades (400 × 20 mm)

El área de la placa se debe calcular con la ecuación 3.21:

$$A = 2(400)(20) = 16,000 \text{ mm}^2$$

Distancia al eje X, centradas respecto a la columna original:

$$d = 0$$

Determinación del Nuevo Eje Neutro ya que este desciende respecto al centro original debido al aporte de la placa inferior, mismo que se halla con la ecuación 3.22:

$$Y = \frac{\sum(A_i y_i)}{\sum A_i} \quad (3.22)$$

Donde:

$A_i$  = Areas iniciales de todos los componentes de la columna.

$y_i$  = Ubicación de componentes respecto al eje central.

Sustituyendo en la ecuación 3.22 se obtiene:

$$Y = \frac{-252000}{60844} = -41.42 \text{ mm}$$

### **Inercia Final respecto al Eje X ( $I_{x1}$ )**

Aporte Columna Original:

Aporte total obtenido al sustituir los valores en la ecuación 3.20:

$$I_{x,\text{orig}} = 8.875 \times 10^8 + 32,844(41.42)^2 = 9.438 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

Aporte Placas Laterales al sustituir los valores en la ecuación 3.20:

$$I_c = 2\left(\frac{20(400)^3}{12}\right) = 2.133 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_{x,lat} = 2.133 \times 10^8 + 16,000(41.42)^2 = 2.407 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

Aporte Placa Inferior al sustituir los valores en la ecuación 3.20:

$$I_{x,inf} = 2.133 \times 10^8 + 12,000(-210 - (-41.42))^2 = 3.411 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

Inercia total es la suma de las inercias respectivas de cada componente como se observa en la ecuación 3.23:

$$I_{x1} = I_{x,orig} + I_{x,lat} + I_{x,inf} \quad (3.23)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.23, da como resultado:

$$I_{x1} = (9.438 + 2.407 + 3.411) \times 10^8 = 1.526 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

### **Inercia Final respecto al Eje Y ( $I_{y1}$ )**

Debido a la simetría lateral, el eje neutro en Y se mantiene en el centro ( $x=0$ ).

Placas laterales de  $400 \times 20$  mm se hacen los mismos cálculos, quedando como resultado:

$$A = 8,000 \text{ mm}^2$$

$$d = \frac{600}{2} + \frac{20}{2} = 310 \text{ mm}$$

$$I_c = \frac{400(20)^3}{12} = 266,667 \text{ mm}^4$$

$$I_{y,lat} = 266,667 + 8,000(310)^2 = 7.69 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_{y,lat} = 2(7.69 \times 10^8) = 1.54 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Inercia de la placa inferior obtenida con la ecuación 3.16:

$$I_{y,inf} = \frac{20(600)^3}{12} = 3.60 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

Inercia total respecto al eje Y es la suma de las inercias respectivas de cada componente como se observa en la ecuación 3.24:

$$I_{y1} = I_{y,orig} + I_{y,lat} + I_{y,inf} \quad (3.24)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.23, da como resultado:

$$I_{y1} = (1.68 + 1.537 + 0.36) \times 10^9 = 1.526 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_{y1} = 3.577 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

#### **Factor de incremento de rigidez:**

Una vez determinadas las inercias iniciales y finales de la sección reforzada, se procede a calcular el factor de incremento de rigidez, el cual representa cuántas veces aumenta la rigidez flexional de la columna debido al refuerzo con placas metálicas.

Este factor se define como la relación entre la inercia final de la sección reforzada y la inercia inicial de la sección original, como se observa en la ecuación 3.24:

$$FI = \frac{I_{\text{final}}}{I_{\text{inicial}}} \quad (3.24)$$

Donde:

$I_{\text{final}}$  = Inercia final respecto al eje analizado

$I_{\text{inicial}}$  = Inercia inicial respecto al eje analizado

Sustituyendo las inercias respectivas en la ecuación 3.24:

$$FI_x = \frac{I_{x1}}{I_{x0}} = \frac{1.526 \times 10^9}{8.875 \times 10^8} = 1.72$$

$$FI_y = \frac{I_{y1}}{I_{y0}} = \frac{3.577 \times 10^9}{1.68 \times 10^9} = 2.13$$

Por lo tanto, el refuerzo mediante placas de 20 mm incrementa la rigidez flexional de la columna A1 entre el 72 % y 113 %, dependiendo del eje de análisis.

#### **3.2.4.6 Resultados globales del refuerzo.**

Los resultados obtenidos para todas las columnas reforzadas se resumen en la Tabla 19, donde se evidencia un incremento significativo de la rigidez flexional

**Tabla 19**

*Tabla de resultados para las 6 columnas reforzadas del nivel de planta baja*

<b>Columna</b>	<b>Sección (mm)</b>	<b>FIx</b>	<b>FIy</b>
A1	600×400×17	1.72	2.13
A6	600×600×22	2.42	2.42
H1"	400×600×14	1.65	1.92
I4	400×600×14	1.98	3.00
L4	400×600×17	1.96	2.92
L6	600×600×22	2.42	2.42

En el Anexo B, específicamente en la Tabla 29, se presentan los resultados correspondientes para cada uno de los pisos que serán intervenidos mediante el refuerzo estructural.

El incremento del espesor reduce significativamente el vacío interno de los perfiles tubulares, lo que se traduce en un aumento del momento de inercia entre 1.65 y 3.00 veces, dependiendo de la geometría y del eje analizado.

Este incremento se refleja directamente en un aumento equivalente de la rigidez flexional del primer nivel, contribuyendo de manera efectiva a la reducción de derivas laterales, disminución del giro torsional del edificio y Mejorando del desempeño sísmico global.

#### **3.2.4.7 Criterios de diseño y ejecución del refuerzo.**

##### **Preparación de superficies**

- Limpieza mecánica completa mediante chorro de arena o disco abrasivo hasta grado SSPC-SP 10 (metal casi blanco).
- Eliminación total de óxidos, pintura y contaminantes.

##### **Configuración de la soldadura (núcleo del refuerzo)**

- Se descarta el uso de pernos debido a la pérdida de sección neta y a la reducción de rigidez por holguras.
- Las placas de 20 mm se unen mediante soldadura de penetración completa (CJP) con bisel a 45°, conforme a AWS D1.1.
- Para garantizar acción compuesta, se emplean soldaduras de tapón (plug welds) según AISC 360-22, Sección J2.3, dimensionadas para resistir el cortante longitudinal y prevenir el pandeo local de las placas.
- Diámetro típico de perforación: 40 mm, relleno con electrodo E7018.

### **Conexión viga–columna**

- Las vigas se conectan mediante soldadura de penetración completa directamente a la placa de refuerzo.
- Esta configuración evita la distorsión local de la pared del tubo y garantiza continuidad en la transmisión de momentos.

### **3.2.5 Análisis de Resultados: Derivas de Piso**

El reforzamiento propuesto permitió corregir este comportamiento mediante la combinación de placas metálicas en las columnas periféricas esquineras del primer nivel y la incorporación de arriostramientos en dirección Y en los pisos críticos. Las placas metálicas aumentaron la rigidez a flexión de las columnas del piso 1, lo que ayudó a controlar la deformada global del edificio y a reducir el giro torsional desde la base. Por su parte, los arriostramientos aportaron rigidez lateral adicional a través de un mecanismo axial eficiente, siendo especialmente efectivos en los pisos 2, 3, 4 y 5, donde inicialmente se presentaban las mayores derivas.

La reducción porcentual se calculó mediante la ecuación 3.25:

$$\% \text{ Reduccion} = \left( 1 - \frac{\text{Deriva inicial}}{\text{Deriva final}} \right) \times 100 \quad (3.25)$$

Como resultado, se logró una reducción significativa de las derivas, con disminuciones que varían aproximadamente entre el 13% y el 39% debidamente calculadas con la ecuación 3.25, dependiendo del nivel y de la dirección de análisis. Finalmente, todas las derivas de entrespacio, tanto en dirección X como en dirección Y, cumplen con el límite del 2% exigido por la normativa NEC como se puede observar en la Tabla 20, confirmando que el reforzamiento adoptado mejora de manera efectiva el comportamiento sísmico del edificio y mitiga los efectos asociados a su irregularidad en planta.

**Tabla 20**

*Comparativa de derivas iniciales y finales con reforzamiento propuesto (direcciones X e Y)*

Piso	Combinación de Carga	Dirección	Deriva	Deriva	Reducción %	Comprobación NEC < 2%
			inicial Inelástica (%)	final Inelástica (%)		
4 - 5	Sismo en X	Y	2.12	1.80	18	Cumple
3 - 4	Sismo en X	Y	2.35	1.88	18	Cumple
2 - 3	Sismo en X	X	2.10	1.91	25	Cumple
2 - 3	Sismo en X	Y	2.57	1.97	10	Cumple
1 - 2	Sismo en X	X	2.20	1.92	30	Cumple
1 - 2	Sismo en X	Y	2.69	1.93	14	Cumple
1 - 2	Sismo en Y	Y	2.08	1.84	39	Cumple
PB-1	Sismo en X	Y	2.48	1.81	13	Cumple
PB-1	Sismo en Y	Y	2.14	1.92	37	Cumple

En la parte de Anexos B, en la Tabla 31 se muestran los resultados de las derivas finales de los todos los pisos del edificio.

### **3.2.6 Análisis de los reforzamientos en general**

En este capítulo se desarrolló el diseño de las principales intervenciones estructurales propuestas para el edificio, considerando tanto la rehabilitación de los paños perimetrales de losa

como la implementación de reforzamientos destinados al control de derivas sísmicas, a partir de las deficiencias identificadas en el análisis previo.

La intervención en las losas se orientó a recuperar la protección del acero de refuerzo y mejorar la durabilidad del elemento, mediante la remoción del concreto carbonatado y la reconstrucción del recubrimiento hasta cumplir con el espesor mínimo exigido por la normativa.

El uso de morteros compatibles, inhibidores de corrosión y recubrimientos anticarbonatación permite restituir condiciones adecuadas de protección sin alterar la capacidad estructural original de la losa, garantizando su correcto desempeño a flexión.

Por su parte, el diseño de los reforzamientos estructurales se enfocó en mejorar el comportamiento sísmico global del edificio, reduciendo las derivas excesivas y los efectos torsionales. La combinación de arriostramientos metálicos en los niveles más críticos y el refuerzo de las columnas perimetrales del primer nivel permitió incrementar de manera efectiva la rigidez lateral del sistema, aprovechando el trabajo axial de los arriostramientos y el aumento del momento de inercia de las columnas reforzadas.

Como resultado, se obtuvo una reducción significativa de las derivas de entrepiso, logrando que todos los niveles cumplan con el límite del 2 % establecido por la NEC. En conjunto, las soluciones propuestas resultan técnicamente coherentes, normativamente válidas y constructivamente viables, contribuyendo a mejorar el desempeño estructural y la seguridad sísmica del edificio.

## Capítulo 4

## 4 ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

### 4.1 Descripción del proyecto

El análisis de impacto ambiental forma parte esencial del proceso de rehabilitación estructural del Edificio Centro Park, ubicado en el centro urbano de Guayaquil, como se observa en la Figura 5 donde se intervienen losas y columnas afectadas por corrosión y carbonatación. La intervención contempla actividades como remoción localizada de hormigón, preparación de superficies, aplicación de imprimantes y adhesivos epóxicos, colocación de morteros de alta resistencia y la instalación del sistema de refuerzo con placas metálicas y arriostramientos. Estas actividades generan impactos principalmente sobre el aire, el suelo, la movilidad interna del edificio y la seguridad del personal, por lo que requieren una evaluación ambiental detallada.

El alcance del estudio de este capítulo comprende todas las áreas internas del parqueadero donde se ejecutarán las reparaciones, así como los frentes urbanos adyacentes sobre las calles Clemente Ballén y Pedro Carbo, donde se pueden percibir parcialmente emisiones de polvo y generación de ruido. El proyecto no implica aprovechamiento de recursos naturales más allá del consumo puntual de agua para humectación y energía eléctrica para equipos, y no interviene cuerpos de agua ni áreas ambientales sensibles.

El análisis utiliza una metodología cuali-cuantitativa basada en matrices de identificación y valoración de impactos, que permite caracterizar la magnitud, duración y reversibilidad de cada impacto. En lo que respecta al manejo de materiales epóxicos y residuos peligrosos se realizará conforme al Código Orgánico del Ambiente ([COA], 2017) y su reglamento, priorizando la segregación, contención y entrega a gestores autorizados.

El proyecto contribuye directamente al ODS 9 y al ODS 11 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015) al prolongar la vida útil de la edificación, reducir futuras intervenciones invasivas y mantener condiciones seguras para usuarios y trabajadores.

## 4.2 Línea base ambiental

La caracterización ambiental del sitio evidencia un entorno urbano, altamente intervenido y con presencia constante de actividad comercial y vehicular.

### 4.2.1 Medio físico

#### ➤ **Clima:**

El centro de Guayaquil presenta condiciones cálidas y húmedas durante todo el año, con una estación lluviosa marcada y alta humedad relativa, factores que influyen en la dispersión de contaminantes atmosféricos. Estas características se evidencian en los análisis meteorológicos asociados a la dinámica del material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad (Moran-Zuloaga et al., 2021).

#### ➤ **Aire:**

La zona céntrica registra concentraciones relevantes de material particulado y gases generados principalmente por el tráfico vehicular. Diversos estudios demuestran que el tránsito es la fuente dominante de emisiones dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en áreas urbanas del centro de Guayaquil (Patiño-Aroca et al., 2024; Moran-Zuloaga et al., 2021), mientras mediciones locales con contadores de partículas confirman niveles elevados de material particulado en sector urbano consolidado (Dávalos Piloza, 2020; Maldonado, 2023).

#### ➤ **Ruido:**

El casco central presenta niveles sonoros que superan límites de confort, especialmente durante horas laborales, debido al congestionamiento vehicular y actividades comerciales. Estudios específicos en el centro documentan la superación de los límites diurnos por tráfico intenso (Arizaga Quintero, s.f.; Duque-Aldaz, 2022; "Análisis de contaminación", 2022)

#### ➤ **Suelo:**

El área corresponde a una zona completamente impermeabilizada, característica del casco comercial. Investigaciones sobre la isla de calor y la configuración urbana indican que el centro de Guayaquil presenta superficies selladas, poca cobertura vegetal y mayor acumulación térmica (Portés, 2017; Torres-Espinoza & Delgado, 2013).

#### **4.2.2 Medio biótico**

##### **➤ Fauna:**

La fauna se limita a especies urbanas comunes como palomas y gorriones, típicas de zonas altamente intervenidas. Por otro lado, no reportan presencia de ecosistemas sensibles ni especies protegidas en el centro urbano.

#### **4.2.3 Medio socioeconómico**

##### **➤ Zonificación:**

El entorno del edificio está destinado a actividades comerciales, oficinas y servicios, con flujo constante de peatones, trabajadores y usuarios del parqueadero, característico del área central de Guayaquil.

Esta línea base permite identificar los principales componentes susceptibles de recibir impactos: aire, ruido, superficie urbana/suelo impermeabilizado, fauna urbana y componente socioeconómico.

### **4.3 Actividades del proyecto**

Las actividades del proyecto se dividen en dos fases principales. Por un lado, se tiene la fase de construcción, donde se interviene directamente a la estructura de la edificación, y la fase de mantenimiento orientada a garantizar el desempeño y la durabilidad del sistema de refuerzo durante la vida útil restante de la edificación.

#### **4.3.1 Fase de Construcción**

##### **1. Preparación de superficies y remoción de hormigón**

Esta actividad comprende demolición puntual, corte, picado, lijado y limpieza mecánica de recubrimientos deteriorados en losas y columnas. Su objetivo es retirar hormigón carbonatado, eliminar desprendimientos, exponer acero corroído y preparar superficies para asegurar la adherencia entre concreto antiguo-nuevo.

## **2. Manejo de materiales de imprimantes y de reparación con adhesivos epóxicos**

Esta actividad incluye la aplicación de imprimantes, adhesivos epóxicos y recubrimientos anticarbonatación para garantizar la adherencia entre concreto viejo y nuevo, para proteger las superficies reparadas frente a la carbonatación y corrosión. En esta etapa se dosifica el inhibidor de corrosión, aunque aún no se elabora el mortero; únicamente se preparan sus componentes.

## **3. Colocación de mortero de alta resistencia**

Consiste en preparar el mortero en concretera convencional, incorporando el inhibidor de corrosión previamente dosificado. Este mortero se coloca sobre las zonas deterioradas, asegurando su unión con el concreto existente mediante el puente de adherencia epóxica aplicado en la etapa anterior. La actividad restaura la sección estructural y protege al acero expuesto, generando únicamente residuos no peligrosos de mezcla sobrante y empaques.

## **4. Instalación de placas metálicas soldadas en columnas tubulares**

Esta actividad comprende el posicionamiento, alineación y soldadura de placas de acero estructural sobre columnas metálicas tubulares existentes, con el objetivo de incrementar su capacidad resistente y rigidez. Se emplean procesos de soldadura controlados, generando emisiones puntuales, ruido localizado y residuos propios de la actividad metalmecánica.

## **5. Instalación de sistemas de arriostramiento metálico**

Incluye el montaje y fijación de elementos de arriostramiento en planta baja y en los pisos del 1 al 4, conectados a vigas y columnas mediante placas y soldaduras. Estos sistemas mejoran el comportamiento global del edificio frente a acciones laterales.

## **6. Gestión de residuos no peligrosos y peligrosos**

Durante la intervención se generan residuos no peligrosos como escombros, restos de recubrimiento, plásticos, cartón y empaques, así como residuos peligrosos, principalmente envases contaminados con resinas epóxicas, aditivos, pinturas anticarbonatación, sobrantes de resina y solventes o lacas usados. Todos estos residuos deben ser segregados en la fuente, almacenados temporalmente en contenedores etiquetados y entregados a gestores ambientales autorizados, en cumplimiento del COA y el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente ([RCOA], 2019). Una gestión adecuada evita la contaminación del suelo y reduce riesgos para trabajadores y usuarios.

## **7. Transporte de herramientas, equipos y materiales**

Incluye el traslado interno y externo de herramientas, resinas, morteros y escombros. Esta actividad puede generar ruido, movimientos repetitivos y riesgos menores de derrames, pero es indispensable para asegurar la continuidad de la obra y el abastecimiento del sistema de refuerzo.

### ***4.3.2 Fase de Mantenimiento***

El sistema de refuerzo metálico y arriostramiento requiere un mantenimiento básico orientado a preservar la protección anticorrosiva y el buen estado de las uniones soldadas. Sin embargo, para garantizar su durabilidad en condiciones de alta humedad y exposición a gases vehiculares y material particulado, se consideran las siguientes actividades:

## **8. Limpieza superficial y remoción de polvo adherido o Smog vehicular**

El material particulado y el smog de vehículos pueden adherirse a las superficies o zonas reforzadas. La limpieza manual evita acumulación que pueda afectar el curado o acelerar procesos de degradación superficial. Es una actividad de impacto mínimo.

## **10. Sellado puntual de recubrimientos**

Si se identifican zonas con deterioro localizado, se aplican pequeñas cantidades de resina epóxica o protector superficial. Aunque el volumen es bajo, los residuos generados siguen considerándose peligrosos y se gestionan bajo el mismo protocolo que en fase de construcción.

#### 4.4 Identificación de impactos ambientales

La identificación de los impactos se realizó mediante la Matriz de Leopold modificada, propuesta por Leopold et al. (1971), una herramienta clásica en estudios de impacto ambiental que permite relacionar cada actividad del proyecto con los componentes ambientales potencialmente afectados. Como se observa en la Tabla 21, la matriz fue adaptada a las once actividades específicas definidas para la fase de construcción y mantenimiento.

**Tabla 21**

*Matriz de identificación de impactos ambientales*

<b>Componente Ambiental</b>	<b>Actividades</b>	<b>Impacto Identificado</b>	<b>Naturaleza</b>	<b>Observación</b>
				Afecta
Aire	1. Preparación de superficies y remoción de hormigón	Emisión de polvo y partículas	Negativo	temporalmente la calidad del aire por material particulado generado durante el picado y lijado.
Aire	7. Transporte interno y externo de herramientas, equipos y materiales	Emisiones indirectas y resuspensión de polvo	Negativo	Impacto temporal asociado a carga, descarga y desplazamiento interno de materiales.

Aire	8. Limpieza superficial y control de depósitos de polvo	Dispersión puntual de partículas acumuladas	Negativo	Impacto bajo y controlable mediante limpieza húmeda.
Ruido	1. Preparación de superficies y remoción de hormigón	Incremento de niveles de ruido por uso de herramientas eléctricas	Negativo	Impacto temporal, perceptible en áreas internas del edificio.
Ruido	4. Instalación de placas metálicas soldadas en columnas tubulares	Ruido por procesos de soldadura y montaje metálico	Negativo	Impacto localizado y de duración limitada.
Ruido	7. Transporte de herramientas, equipos y materiales	Ruidos por maniobras y desplazamientos	Negativo	Bajo a moderado; mitigable con señalización y ordenamiento.
Suelo / Superficie urbana	6. Gestión de residuos no peligrosos y peligrosos	Acumulación temporal de escombros y residuos metalmeccánicos	Negativo	Riesgo de dispersión o contaminación si no se controla adecuadamente.

	2. Tratamiento			
Suelo / Superficie urbana	del acero existente y aplicación de sistemas anticorrosivos	Contaminación por derrames de imprimantes o pinturas	Negativo	Requiere almacenamiento controlado y bandejas de retención.
Suelo / Superficie urbana	3. Colocación de mortero de alta resistencia	Restos de mezcla sobre superficies impermeables	Negativo	Residuo no peligroso; requiere limpieza manual inmediata.
Fauna urbana	1. Movimiento de personal y uso de equipos	Perturbación temporal de aves urbanas	Negativo	Impacto leve, reversible y de corta duración.
Socioeconómico	7. Transporte de herramientas, equipos y materiales	Interferencias puntuales en circulación interna	Negativo	Impacto menor, gestionable mediante señalización y coordinación.
Todos	4. Instalación de placas metálicas soldadas en columnas tubulares	Incremento de capacidad estructural y rigidez	Positivo	Mejora la seguridad estructural y prolonga la vida útil del edificio.

Todos	5. Instalación de sistemas de arriostramiento metálico	Mejora del comportamiento estructural ante cargas laterales	Positivo	Aporta estabilidad global y reduce vulnerabilidad sísmica. Contribuye a la durabilidad del refuerzo y a la reducción de intervenciones futuras.
Todos	9. Reaplicación puntual de recubrimientos protectores	Conservación del sistema estructural reforzado	Positivo	

#### 4.5 Valoración de impactos ambientales

La valoración de los impactos se realizó mediante la metodología propuesta por Conesa (2009), utilizando una escala numérica de 0 a 5 para los criterios de intensidad, extensión, duración, reversibilidad y probabilidad, donde 0 representa el nivel mínimo y 5 el máximo. La puntuación final del impacto se obtiene mediante la suma de los criterios, clasificándose como bajo (0–7), moderado (8–15) o alto (16–25). Como se observa en la Tabla 22, esta valoración permitió determinar la severidad ambiental de cada actividad del proyecto y priorizar las medidas de mitigación.

##### Criterios empleados

- **Intensidad (I):** magnitud del efecto generado.
- **Extensión (E):** área afectada.
- **Duración (D):** tiempo de persistencia del impacto.
- **Reversibilidad (R):** posibilidad de retornar a la condición inicial.
- **Probabilidad (P):** posibilidad de ocurrencia.

**Tabla 22***Valoración de impactos ambientales*

<b>Actividad</b>	<b>Impacto Identificado</b>	<b>I</b>	<b>E</b>	<b>D</b>	<b>R</b>	<b>P</b>	<b>V</b>	<b>Categoría</b>
1. Preparación de superficies y remoción de hormigón	Emisión de polvo y partículas	3	2	2	1	4	12	Moderado
7. Transporte interno y externo de herramientas, equipos y materiales	Resuspensión de polvo y emisiones indirectas	2	2	1	1	3	9	Moderado
8. Limpieza superficial y control de depósitos de polvo	Dispersión de partículas acumuladas	1	1	1	1	2	6	Bajo
1. Preparación de superficies y remoción de hormigón	Ruido por uso de herramientas eléctricas	3	2	2	1	4	12	Moderado
4. Instalación de placas metálicas soldadas en columnas tubulares	Ruido por procesos de soldadura y montaje	3	1	2	1	3	10	Moderado
7. Transporte de herramientas, equipos y materiales	Ruido por maniobras y desplazamientos	2	1	1	1	3	8	Moderado
6. Gestión de residuos no peligrosos y peligrosos	Acumulación temporal de escombros y residuos metalmecánicos	3	1	2	1	4	11	Moderado
2. Tratamiento del acero existente y aplicación de sistemas anticorrosivos	Riesgo de contaminación por derrames	3	1	2	2	3	11	Moderado
3. Colocación de mortero de alta resistencia	Restos de mezcla sobre superficie impermeable	1	1	1	1	3	7	Bajo
1. Movimiento de personal y uso de equipos	Perturbación temporal de fauna urbana	1	1	1	0	3	6	Bajo

7. Transporte de herramientas, equipos y materiales	Interferencias puntuales en circulación interna	1	2	1	1	3	8	Moderado
9. Reaplicación puntual de recubrimientos protectores	Contacto controlado con pinturas o selladores	1	1	1	1	2	6	Bajo
4. Instalación de placas metálicas soldadas en columnas tubulares	Incremento de capacidad estructural	5	4	5	0	5	19	Alto Positivo
5. Instalación de sistemas de arriostramiento metálico	Mejora del comportamiento estructural global	5	4	5	0	5	19	Alto Positivo
9. Reaplicación puntual de recubrimientos protectores	Conservación y prolongación de la vida útil del refuerzo	4	3	4	0	4	15	Moderado Positivo

---

Los impactos moderados corresponden a actividades asociadas a la preparación de superficies, remoción de hormigón, procesos de soldadura, transporte de materiales y gestión de residuos, las cuales generan emisiones de polvo, incremento de niveles de ruido y generación de residuos sólidos. Su valoración se explica principalmente por una intensidad media y una alta probabilidad de ocurrencia; sin embargo, estos impactos son temporales, localizados y reversibles, ya que se presentan únicamente durante la fase de ejecución de las actividades constructivas.

Los impactos bajos se relacionan con actividades de intervención mínima, tales como la limpieza superficial, la reaplicación puntual de recubrimientos protectores y la generación de restos menores de mortero o materiales, las cuales presentan baja intensidad, extensión limitada y rápida reversibilidad, sin generar afectaciones significativas sobre los componentes ambientales analizados.

Por otro lado, los impactos positivos de mayor magnitud se asocian a la instalación de placas metálicas soldadas en columnas tubulares y a la implementación de sistemas de arriostramiento metálico, los cuales aportan beneficios estructurales permanentes, una amplia extensión a nivel del edificio y una alta probabilidad de mejora en la seguridad, rigidez y durabilidad de la edificación frente a cargas gravitacionales y sísmicas.

Englobando, estos resultados respaldan la selección del refuerzo estructural mediante placas metálicas y arriostramientos como una alternativa técnicamente eficiente y ambientalmente viable, ya que concentra impactos negativos controlables y temporales durante su ejecución, mientras que los beneficios estructurales y funcionales se mantienen a largo plazo, contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia de la infraestructura existente.

#### **4.6 Propuestas de medidas de prevención/mitigación**

Las medidas propuestas se estructuran en función de los impactos moderados y bajos identificados en la valoración ambiental, priorizando el control de emisiones, ruido, manejo de materiales químicos, gestión adecuada de residuos y afectaciones socioeconómicas temporales.

##### ***4.6.1 Plan para el control de emisiones de partículas al aire***

###### **Actividades relacionadas:**

Preparación de superficies y remoción de hormigón, transporte de herramientas y materiales, limpieza superficial.

###### **Impactos mitigados:**

Emisión de polvo, resuspensión de material particulado durante el transporte y la limpieza.

###### **Medidas:**

- Humectación previa de las superficies antes del picado o lijado.

- Uso obligatorio de herramientas con recolector de polvo (lijadoras con sistema de extracción).
- Barrido húmedo para evitar resuspensión de material.
- Cobertura de materiales pulverulentos durante transporte interno.
- Uso de mascarillas P100 para trabajadores expuestos.

#### **4.6.2 *Plan de control de ruido durante la intervención***

##### **Actividades relacionadas:**

Remoción de hormigón, instalación de placas metálicas soldadas, montaje de arriostramientos y transporte de materiales.

##### **Impactos mitigados:**

Incremento de niveles de ruido en áreas internas del edificio y molestias temporales a los usuarios.

##### **Medidas:**

- Uso obligatorio de protectores auditivos por parte del personal que opere equipos ruidosos.
- Ejecución de actividades ruidosas únicamente en horarios permitidos (08h00–17h00).
- Señalización preventiva en zonas internas del parqueadero.
- Mantenimiento adecuado de equipos para reducir vibraciones y decibeles.

#### **4.6.3 *Manejo seguro de materiales químicos y procesos de soldadura***

##### **Actividades relacionadas:**

Tratamiento del acero existente, aplicación de sistemas anticorrosivos, soldadura de placas metálicas y reaplicación puntual de recubrimientos protectores.

##### **Impactos mitigados:**

Riesgo de contaminación por derrames, exposición a vapores, humos de soldadura y afectaciones a la salud ocupacional.

**Medidas:**

- Almacenamiento doblemente contenido (bandejas de retención).
- Manipulación con guantes de nitrilo, gafas y ventilación adecuada.
- Capacitación obligatoria para manejo de químicos antes del inicio de obra.
- Uso de kits absorbentes en caso de derrames.
- Prohibición de verter restos de resina en el sistema de alcantarillado.

**4.6.4 Gestión integral de residuos no peligrosos y peligrosos**

**Actividades relacionadas:**

Remoción de hormigón, colocación de mortero, instalación de placas y arriostramientos, aplicación de recubrimientos anticorrosivos.

**Impactos mitigados:**

Contaminación de superficies impermeables, riesgos asociados a residuos químicos y metalmecánicos.

**Medidas:**

- Separación de residuos: escombros, plásticos, cartón, chatarra metálica y residuos peligrosos.
- Contenedores diferenciados y etiquetados dentro del edificio.
- Retiro periódico por gestores autorizados por la autoridad ambiental nacional (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2021).
- Prohibición de acumulación de escombros en zonas de circulación vehicular.
- Limpieza diaria del área de trabajo.

#### ***4.6.5 Plan de ordenamiento y seguridad en áreas internas del edificio***

##### **Actividades relacionadas:**

Transporte de herramientas, equipos y materiales, ejecución de trabajos de refuerzo estructural.

##### **Impactos mitigados:**

Interferencias puntuales en la circulación interna y riesgos para usuarios y trabajadores.

##### **Medidas:**

- Delimitación física del área de trabajo con cintas y barreras plásticas.
- Desvío temporal de rutas internas mediante señalización visible.
- Control de acceso para evitar ingreso de usuarios a zonas activas.
- Caminos exclusivos para transporte de materiales para evitar interferencias.

#### ***4.6.6 Plan de conservación del sistema de refuerzo estructural***

##### **Actividades relacionadas:**

Limpieza superficial y reaplicación puntual de recubrimientos protectores.

##### **Impactos mitigados:**

Degradación prematura del sistema de refuerzo y necesidad de intervenciones futuras de mayor impacto.

##### **Medidas:**

- Limpieza manual de material particulado acumulado en zonas reforzadas.
- Sellado inmediato ante detección de fallas de recubrimiento.
- Registro fotográfico y documentado de cada intervención.
- Coordinación de inspecciones fuera de horas pico para reducir impacto a usuarios.

#### **4.6.7 Plan de capacitación y seguridad ocupacional**

**Impactos mitigados:** Accidentes laborales, exposición a agentes químicos, errores operativos durante soldadura y montaje.

**Medidas:**

- Inducción obligatoria en:
  - manejo de químicos,
  - manipulación de resinas epóxicas,
  - uso de EPP,
  - gestión de residuos peligrosos,
  - procedimientos ante derrames o accidentes.
- Supervisión permanente durante actividades críticas.

#### **4.7 Resultados de medidas**

El análisis realizado permitió verificar que las medidas de prevención y mitigación propuestas fueron efectivas para controlar los impactos ambientales generados durante la fase de construcción y mantenimiento del refuerzo estructural mediante placas metálicas en columnas y sistemas de arriostramiento. Las actividades de preparación de superficies, montaje de perfiles, corte y soldadura de elementos metálicos, así como el ordenamiento interno de las áreas de trabajo, fueron ejecutadas bajo criterios de control ambiental que evitaron afectaciones significativas al entorno del edificio.

El control de emisiones de polvo mediante la humectación de superficies, junto con la correcta gestión de residuos sólidos, escombros y residuos metálicos, permitió reducir la dispersión de material particulado durante las actividades de demolición puntual y corte de acero. De igual manera, los residuos generados por procesos de soldadura, tales como escoria y consumibles metálicos, fueron gestionados de forma diferenciada, evitando su acumulación en áreas de circulación interna.

En relación con las actividades de corte y soldadura, las medidas implementadas, tales como el uso obligatorio de equipos de protección personal, ventilación adecuada en áreas confinadas, pantallas de protección contra chispas y la delimitación de zonas de trabajo, permitieron mitigar los impactos asociados a la generación de ruido, humos metálicos y riesgos de incendio. Estos impactos, inherentes al sistema de refuerzo metálico, se presentaron de manera temporal y controlada, sin generar efectos permanentes sobre la calidad del aire ni sobre la seguridad de los usuarios del parqueadero.

Asimismo, la aplicación de horarios definidos para las labores de mayor intensidad sonora, junto con la señalización preventiva y el control de accesos, redujo de forma significativa las interferencias socioeconómicas temporales. Estas medidas permitieron mantener la operatividad del edificio durante la ejecución de los trabajos, minimizando molestias a los usuarios y trabajadores. De igual manera, los impactos catalogados como bajos, asociados a actividades de limpieza superficial, inspecciones periódicas y mantenimiento preventivo del sistema de refuerzo metálico, presentaron una afectación mínima sobre el entorno físico y social. Estas tareas se caracterizan por su baja intensidad, limitada extensión y alta reversibilidad.

En contraste, los impactos positivos de mayor relevancia se vinculan directamente a la mejora del comportamiento estructural del edificio mediante la incorporación de placas metálicas y arriostramientos. Esta intervención permitió incrementar la rigidez lateral del sistema estructural, reducir las derivas sísmicas y prolongar la vida útil de la edificación, disminuyendo la probabilidad de intervenciones correctivas futuras y contribuyendo a la sostenibilidad técnica del proyecto.

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que el proyecto no genera impactos ambientales graves y que los impactos negativos identificados, incluidos aquellos asociados al corte y soldadura de elementos metálicos, pueden ser controlados eficazmente mediante la

aplicación adecuada de las medidas de mitigación propuestas. La solución adoptada resulta compatible con el entorno urbano del centro de Guayaquil y se alinea con los principios de infraestructura resiliente y desarrollo sostenible.

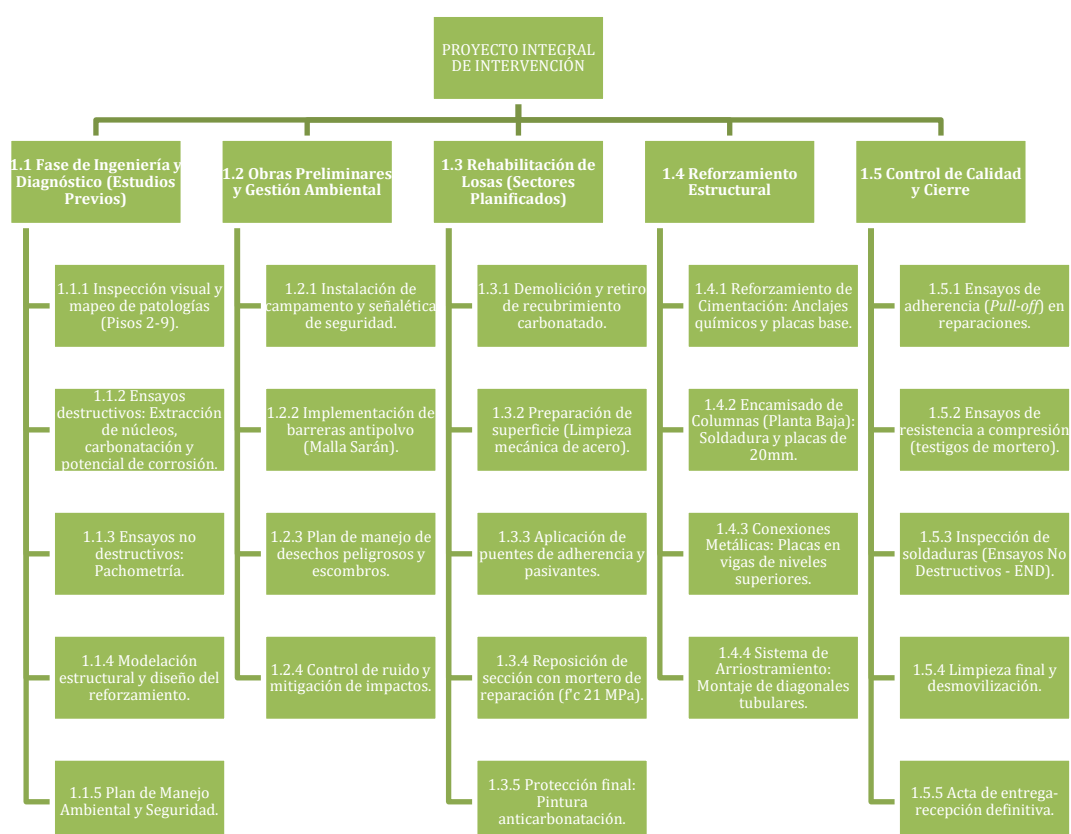
## **Capítulo 5**

## 5 PRESUPUESTO

### 5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

Para garantizar una gestión eficiente del alcance y evitar desviaciones durante la fase constructiva, se ha organizado el proyecto bajo una Estructura de Desglose de Trabajo (EDT). Esta herramienta permite visualizar los entregables del proyecto en niveles jerárquicos, facilitando el control de la intervención en un edificio que continuará parcialmente operativo.

Para el proyecto de rehabilitación y reforzamiento del edificio de parques, la EDT se ha estructurado en cinco niveles principales de gestión, abarcando desde la fase de estudios definitivos hasta el cierre y entrega de la obra. A continuación, se presenta el desglose jerárquico de los entregables:



## 5.2 Especificaciones Técnicas

Este apartado establece el marco normativo, los estándares de calidad de los materiales y los procedimientos constructivos que rigen la ejecución de los diseños de rehabilitación y reforzamiento. Teniendo como objetivo proveer la información técnica suficiente para los rendimientos y costos unitarios que se definen en el presupuesto.

### Marco Normativo y Reglamentario

Todos los procedimientos y materiales deberán cumplir con las siguientes normativas vigentes, priorizando la seguridad estructural y la durabilidad:

- **NEC-15 (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2015):** Capítulos de Estructuras de Acero y Hormigón Armado.
- **ACI 562-19 (American Concrete Institute [ACI], 2019):** Para los criterios de remoción de concreto y preparación de sustrato.
- **ACI 318-19 (ACI, 2019):** Requisitos de reglamento para concreto estructural.
- **AISC 360-16 (American Institute of Steel Construction [AISC], 2016):** Para el diseño y montaje de los elementos de acero (arriostramientos y placas).
- **AWS D1.1 (American Welding Society [AWS], 2020):** Estándar obligatorio para todas las soldaduras, específicamente para las uniones de penetración completa (CJP) en el encamisado de columnas.
- **Normas ASTM (ASTM International, 2021):** Específicamente la ASTM C1583 (ASTM International, 2017) para adherencia, ASTM A36 (Acero al carbono) y ASTM A193 (Pernos de alta resistencia).

### Descripción General de los Diseños

El proyecto contempla dos macro-actividades de intervención técnica:

#### A. Rehabilitación de Losas

El diseño de rehabilitación responde a la patología de corrosión por carbonatación. Se especifica la intervención en 4,726.16 m<sup>2</sup> de losa, mediante la técnica de parcheo profundo en cielo raso.

- **Proceso:** Demolición mecánica de 3.5 cm de recubrimiento (zona carbonatada), limpieza abrasiva del acero de refuerzo existente, pasivación química y restitución de la sección con mortero de reparación estructural.
- **Protección:** Se incluye la aplicación final de un recubrimiento anticarbonatación para frenar el ingreso futuro de CO<sub>2</sub>.

## **B. Reforzamiento Estructural**

El diseño estructural busca controlar las derivas de piso y rigidizar la estructura ante cargas sísmicas.

- **Encamisado de Columnas:** Intervención en 6 columnas críticas en la planta baja mediante la instalación de placas de acero ASTM A36 de 20 mm de espesor. Las uniones se realizan mediante soldadura de penetración completa y soldaduras de tapón en perforaciones de 40 mm para garantizar la acción compuesta.
- **Arriostramientos Metálicos:** Incorporación de diagonales de acero anclados a la estructura existente.
  - **Conexión en Planta Baja:** Anclaje a cimentación mediante varillas roscadas ASTM A193 B7 con adhesivo epóxico.
  - **Conexión en Pisos Superiores:** Fijación a vigas mediante pernos de alta resistencia ASTM A325.

## **Especificaciones de Materiales**

Para garantizar la coherencia técnica con los Análisis de Precios Unitarios, se definen las siguientes calidades mínimas:

- **Mortero de Reparación:** Mezcla elaborada en obra o pre-dosificada que garantice una resistencia a la compresión  $f_c$  de 21 MPa a los 28 días. Debe incluir obligatoriamente un inhibidor de corrosión tipo amino-alcohol dosificado al 3% del peso del cemento.
- **Puente de Adherencia:** Adhesivo epóxico de dos componentes, insensible a la humedad, con adherencia al concreto  $> 15$  MPa.
- **Acero Estructural:** Planchas y perfiles tubulares de acero al carbono calidad ASTM A36 ( $F_y = 2530$  kg/cm<sup>2</sup>).
- **Soldadura:** Electrodo revestidos de bajo hidrógeno clasificación AWS E7018, aptos para todas las posiciones.
- **Anclajes Químicos:** Varillas roscadas Grado B7 instaladas con resina epóxica pura de curado lento y alta capacidad de carga (Referencia: Sika AnchorFix-3001 [Sika, 2023] o Hilti RE-500 [Hilti, 2022]).

### Equipos y Maquinaria Mínima Requerida

La ejecución requiere equipos especializados para trabajos en altura y corte de metal:

- **Demolición y Perforación:** Rotomartillos industriales, taladros percutores con brocas SDS-Max y taladros de base magnética para perforación de acero en sitio.
- **Soldadura y Corte:** Máquinas soldadoras rectificadoras de corriente continua para garantizar la penetración en las placas, y equipos de oxicorte con botellas industriales.
- **Acceso y Carga:** Andamios metálicos tubulares certificados para trabajos en cielo raso y minicargadora para el desalojo continuo de escombros esponjados.

### 5.3 Rubros y análisis de precios unitarios

En esta sección se definen y describen detalladamente las actividades necesarias para la ejecución del proyecto, así como la metodología empleada para la determinación de sus costos

unitarios. El análisis se ha dividido en dos fases operativas: la fase de estudios e ingeniería, la cual ya ha sido ejecutada y la fase de construcción que es la proyectada.

### **Metodología para el Análisis de Precios Unitarios (APU)**

La estructuración de los precios unitarios se ha realizado considerando los costos directos e indirectos vigentes en el mercado local de Guayaquil en 2025-2026, bajo los siguientes criterios:

1. **Mano de Obra:** Los costos horarios de las cuadrillas (albañiles, soldadores calificados, peones) se basan en las tablas salariales sectoriales vigentes emitidas por la Contraloría General del Estado (2025) y la Cámara de la Construcción de Guayaquil (2025). Se ha incluido un Factor de Sobrecosto (FSC) para cubrir beneficios sociales, aportes al IESS y décimos.
2. **Materiales:** Los valores corresponden a cotizaciones actualizadas de proveedores locales, considerando precios puestos en obra. Se han incluido porcentajes de desperdicio técnico (5% para aceros y 10% para morteros y hormigones).
3. **Equipos y Herramientas:** Se consideran las tarifas comerciales de alquiler por hora para maquinaria pesada y equipos menores, incluyendo costos de operación, combustible y depreciación.
4. **Costos Indirectos:** Se establece un porcentaje para cubrir gastos administrativos, dirección técnica, costos financieros, utilidades e imprevistos, aplicable sobre el costo directo.

### **Descripción de Rubros: Fase 1 - Ingeniería y Diagnóstico**

Estos rubros corresponden a las actividades técnicas especializadas y ensayos de laboratorio realizados para determinar el estado actual de la estructura y definir la solución de diseño.

- **Levantamiento de Patologías:** Inspección visual detallada y mapeo de daños en losas y elementos estructurales desde el nivel 2 hasta el nivel 9.
- **Ensayos Destructivos y No Destructivos:** Incluye la extracción de núcleos de hormigón, pruebas de carbonatación con fenolftaleína, medición de potencial de corrosión y escaneo de acero.
- **Ensayos Mecánicos:** Extracción y prueba a tracción de muestras de acero de refuerzo existente para validar su fluencia.
- **Ingeniería de Diseño:** Modelación estructural computacional, análisis sísmico y proyección de vida útil de la reparación.

### **Descripción de Rubros: Fase 2 - Ejecución de Obra**

Los rubros de construcción se han agrupado según la naturaleza de la intervención técnica:

#### **A. Grupo: Rehabilitación de Losas**

Comprende las actividades para la recuperación de la capacidad de servicio de los entresijos afectados por carbonatación:

- **Picado de Recubrimiento:** Demolición mecánica controlada del concreto contaminado en el cielo raso (espesor promedio 3.5 cm) hasta exponer la armadura, incluyendo el acarreo interno del material.
- **Limpieza y Tratamiento de Armadura:** Preparación superficial del acero mediante medios mecánicos hasta grado metal blanco y aplicación de puente de adherencia epóxico para garantizar la unión con el nuevo material.
- **Mortero de Reparación Estructural:** Suministro y aplicación de mortero polimérico o elaborado en obra de alta resistencia, adicionado con inhibidores de corrosión.
- **Pintura Anticarbonatación:** Aplicación de recubrimiento elastomérico protector en dos manos para impedir el ingreso futuro de CO<sub>2</sub>.

- **Desalojo de Escombros:** Carga, transporte y disposición final de los residuos de demolición en botaderos autorizados, considerando el volumen esponjado.

## **B. Grupo: Reforzamiento Estructural**

Abarca el suministro, fabricación y montaje de elementos de acero para el incremento de la rigidez global:

- **Arriostramientos Metálicos:** Instalación de diagonales tubulares de acero estructural en los niveles superiores, incluyendo cortes y soldaduras.
- **Encamisado de Columnas (Planta Baja):** Refuerzo mediante placas de acero, unidas con soldadura de penetración completa y soldaduras de tapón.
- **Placas de Conexión y Anclaje:**
  - *En Vigas:* Placas de acero ancladas mediante pernos de alta resistencia en los niveles 1 al 4.
  - *En Cimentación:* Placas base ancladas mediante varillas roscadas y adhesivo epóxico estructural en Planta Baja.

## **C. Grupo: Control de Calidad y Gestión Ambiental**

Rubros transversales para el aseguramiento técnico y cumplimiento normativo:

- **Ensayos de Control de Calidad:** Pruebas de adherencia en reparaciones, rotura de cilindros de mortero y ensayos no destructivos en soldaduras críticas.
- **Plan de Manejo Ambiental:** Implementación de barreras antipolvo, gestión diferenciada de desechos peligrosos, kits de derrames y limpieza final técnica de la obra.

### **5.4 Cantidades de obra**

La determinación de las cantidades de obra constituye la base técnica para el dimensionamiento de los recursos del proyecto. El cómputo métrico se realizó a partir de los

planos de diseño estructural, los levantamientos patológicos y las especificaciones técnicas definidas en los capítulos precedentes.

El detalle pormenorizado de los cálculos geométricos, planillas de acero y esquemas de áreas de intervención se adjunta en el **Anexo x: Memoria de Cálculo de Cantidades**. A continuación, se resume la metodología empleada y las tablas consolidadas por fase.

### **Metodología de Cuantificación**

Para asegurar la precisión del presupuesto y la logística, se aplicaron los siguientes criterios de medición:

1. **Rubros de Superficie (m<sup>2</sup>):** Se cuantificó el área neta de los paños afectados en los planos de planta (Niveles 2 al 9), descontando vacíos de ductos y escaleras, tanto para la inspección visual (Fase 1) como para la demolición y reparación (Fase 2).
2. **Rubros de Peso (Kg):** Para el acero estructural, se calculó el peso teórico multiplicando el volumen de cada elemento por la densidad del acero ( $\rho = 7,850 \text{ kgm}^3$ ).
3. **Rubros de Muestreo (Und):** Se contabilizaron las unidades de ensayo físico (núcleos, probetas) y los puntos de medición electroquímica ejecutados durante el diagnóstico.

### **Cantidades Fase 1: Ingeniería y Diagnóstico (Ejecutado)**

Estas cantidades corresponden al trabajo de campo y gabinete realizado para determinar el estado de la estructura.

**Tabla 23**

*Cantidades de estudio y ensayos*

<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
0.01	Levantamiento de Patologías y Mapeo de Daños	m <sup>2</sup>	4,726.00
0.02	Extracción de Núcleos de Hormigón	Und	12.00
0.03	Ensayo de Carbonatación	Pto	25.00
0.04	Medición de Potencial de Corrosión	Jor	3.00

0.05	Evaluación de Espesor de Recubrimiento del Acero	Glb	1.00
0.06	Ensayos Mecánicos de Acero Existente	Und	3.00
0.07	Modelación Estructural y Análisis Sísmico	Glb	1.00

### Cantidades Fase 2: Ejecución de Obra (Proyectado)

Corresponden a los volúmenes de material requeridos para la intervención física.

**Tabla 24**

*Cantidades de obra civil*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD
<b>1.00</b>	<b>GRUPO 1: REHABILITACIÓN DE LOSAS</b>		
1.01	Picado de recubrimiento losa (espesor 3.5cm)	M2	4,726.16
1.02	Limpieza Mecánica + Puente de Adherencia Epóxico	M2	4,726.16
1.03	Mortero de Reparación $f_c=21\text{MPa}$ inc. Inhibidor	M2	4,726.16
1.04	Pintura Anticarbonatación (2 manos)	M2	4,726.16
1.05	Desalojo de Escombros (Volumen Esponjado)	M3	223.32
<b>2.00</b>	<b>GRUPO 2: REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL</b>		
2.01	Suministro e Inst. Arriostramientos Metálicos (Tubos)	Kg	1,659.94
2.02	Encamisado Columnas PB (Placas 20mm soldadas)	Kg	6,690.56
2.03	Placas Conexión Vigas Pisos 1-4 (Inc. Pernos A325)	Und	8.00
2.04	Placas Anclaje Cimentación PB (Inc. B7 y Epóxico)	Und	2.00
<b>3.00</b>	<b>GRUPO 3: CONTROL DE CALIDAD (Obra)</b>		
3.01	Ensayos de Adherencia ( <i>Pull-off</i> ) ASTM C1583	Ensayo	18.00
3.02	Toma y Rotura de Cilindros/Cubos Mortero	Set	27.00
3.03	Inspección de Soldaduras (Tintas Penetrantes)	Global	1.00
<b>4.00</b>	<b>GRUPO 4: PLAN DE MANEJO AMBIENTAL</b>		
4.01	Barreras visuales y antipolvo (Malla Sarán)	M2	200.00
4.02	Gestión de desechos peligrosos (Gestor Autorizado)	Kg	50.00
4.03	Kits de control de derrames químicos	Unidad	2.00
4.04	Señalización de Seguridad y Limpieza Final	Global	1.00

## 2.5 Costo del proyecto

El costo total de inversión para la intervención integral se ha determinado consolidando los tres componentes del ciclo de vida del proyecto: Fase 1 (Ingeniería y Diagnóstico ya ejecutados), Fase 2 (Construcción y Obra Civil) y Fase 3 (Fiscalización Técnica).

### Presupuesto Fase 1: Ingeniería y Diagnóstico (Ejecutado)

Corresponde a la valoración económica de las actividades de evaluación patológica, ensayos de laboratorio y diseño ingenieril realizados previamente.

**Tabla 25**

*Detalle de costos de Ingeniería y estudios*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P. UNI. (\$)	TOTAL (\$)
0.01	Levantamiento de Patologías y Mapeo	M2	4,726.00	0.80	3,780.80
0.02	Extracción de Núcleos de Hormigón	Und	12.00	65.00	780.00
0.03	Ensayo de Carbonatación	Und	25.00	15.00	375.00
0.04	Medición de Potencial de Corrosión	Glb	1.00	450.00	1,350.00
0.05	Evaluación de Espesor de Recubrimiento	Glb	1.00	250.00	250.00
0.06	Ensayos Mecánicos de Acero Existente	Glb	1.00	80.00	240.00
0.07	Modelación Estructural y Análisis Sísmico	Glb	1.00	3,500.00	3,500.00
0.08	Estudio de Vida Útil y Durabilidad	Glb	1.00	1,200.00	1,200.00
(A)	<b>SUBTOTAL FASE 1 (ESTUDIOS)</b>				<b>\$11,475.80</b>

## Presupuesto Fase 2: Construcción (Obra Civil)

Representa el monto requerido para la contratación de la ejecución física, desglosado por rubros operativos. Cabe recalcar que para cada rubro se tienen su memoria técnica y su respectivo análisis de precio unitario, estos se encuentran en el anexo D y el anexo E respectivamente.

**Tabla 26**

*Presupuesto general de obra*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANT.	P. UNITARIO (\$)	TOTAL (\$)
<b>1.00</b>	<b>REHABILITACIÓN DE LOSAS (NIVELES 2-9)</b>				
1.01	Picado de recubrimiento losa (3.5cm) inc. acarreo	M2	4,726.16	13.82	65,315.53
1.02	Limpieza Mecánica + Puente Adherencia Epóxico	M2	4,726.16	19.55	92,396.43
1.03	Mortero Hecho en Obra $f_c=21\text{MPa}$ + Inhibidor	M2	4,726.16	25.76	121,745.88
1.04	Pintura Anticarbonatación (2 manos)	M2	4,726.16	12.29	58,084.51
1.05	Desalojo de Escombros (Volumen Esponjado)	M3	223.32	13.69	3,057.25
<b>2.00</b>	<b>REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL</b>				
2.01	Suministro e Inst. Arriostramientos Metálicos	Kg	1,659.94	4.75	7,884.72
2.02	Encamisado Columnas PB (Placas 20mm soldadas)	Kg	6,690.56	5.44	36,396.65
2.03	Placas Conexión Vigas Pisos 1-4 (Inc. Pernos A325)	Und	8.00	139.55	1,116.40

2.04	Placas Anclaje Cimentación PB (Inc. B7+Epóxico)	Und	2.00	154.93	309.86
<b>3.00</b>	<b>CONTROL DE CALIDAD Y ENSAYOS (QC)</b>				
3.01	Ensayos de Adherencia ( <i>Pull-off</i> ) ASTM C1583	Ens	18.00	45.00	810.00
3.02	Rotura de Cilindros/Cubos Mortero	Set	27.00	15.00	405.00
3.03	Inspección de Soldaduras (Tintas Penetrantes)	Glb	1.00	350.00	350.00
3.04	Pachometría / Escaneo de acero previo	Jor	2.00	120.00	240.00
<b>4.00</b>	<b>PLAN DE MANEJO AMBIENTAL Y SEGURIDAD</b>				
4.01	Barreras visuales y antipolvo (Malla Sarán)	M2	200.00	2.50	500.00
4.02	Gestión de desechos peligrosos (Gestor Ambiental)	Kg	50.00	3.50	175.00
4.03	Kits de control de derrames químicos	Und	2.00	85.00	170.00
4.04	Señalización y Limpieza Final Técnica	Glb	1.00	650.00	650.00
	<b>COSTO DIRECTO DE OBRA</b>				\$ 389,606.72
	Costos Indirectos (18% Utilidad y Adm.)	Global	1.00	70,129.21	70,129.21
<b>(B)</b>	<b>TOTAL PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN</b>				<b>\$459,735.93</b>

**Presupuesto Fase 3: Fiscalización y Control**

Se establece el rubro para la supervisión técnica, calculado como un porcentaje referencial (5%) del monto de construcción para garantizar el cumplimiento de la NEC-15 y especificaciones.

**Tabla 27**

*Costos de fiscalización*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANT.	P. UNITARIO (\$)	TOTAL (\$)
5.01	Servicio de fiscalización técnica y Ambiental	Global	1.00	22,986.80	22,986.80
(C)	<b>SUBTOTAL FASE 3 (FISCALIZACIÓN)</b>				\$22,986.80

## 5.5 Cronograma de obra

Para la planificación temporal del proyecto se ha utilizado el Método de la Ruta Crítica (CPM), considerando las restricciones físicas, la disponibilidad de recursos y los tiempos tecnológicos de fraguado de los materiales. La programación detalla la secuencia lógica de actividades necesarias para completar el alcance en el tiempo estipulado, garantizando la seguridad operativa del edificio durante la intervención.

El detalle pormenorizado de la programación, incluyendo la red de precedencias, asignación de recursos por tarea y diagrama de barras completo, se adjunta en el Anexo F.

La estimación de la duración total del proyecto, establecida en **145 días laborables**, se fundamenta en las siguientes premisas de ejecución:

1. **Jornada Laboral:** Se consideran semanas de trabajo de lunes a viernes (8 horas/día) y sábados media jornada para limpieza y mantenimiento (4 horas/día).
2. **Simultaneidad de Frentes:** El proyecto ataca dos frentes independientes en paralelo para optimizar el tiempo:

- *Frente A (Losas)*: Trabaja de manera ascendente (Tren de trabajo) desde el Nivel 2 hasta el Nivel 9.
  - *Frente B (Estructura)*: Trabaja de manera independiente en Planta Baja (encamisados) y luego asciende instalando arriostramientos.
3. **Secuencialidad Rítmica**: Para la rehabilitación de losas, se ha programado un desfase (*lag*) entre actividades. Mientras se realiza la demolición en un piso superior, se ejecutan trabajos de mortero y acabados en los pisos inferiores, evitando la saturación de personal en un mismo nivel.
4. **Restricciones Técnicas**: Se ha respetado el tiempo de curado del mortero de reparación (mínimo 28 días o según especificación del inhibidor) antes de la aplicación de la pintura anticarbonatación, lo cual define la ruta crítica de los acabados.

### Ruta Crítica del Proyecto

El análisis determina que la Ruta Crítica (la secuencia de actividades que no tiene holgura y define la duración final) pasa a través del Grupo de Rehabilitación de Losas. Específicamente, la cadena de Picado -> Preparación Superficial -> Aplicación de Mortero en los 8 niveles sucesivos es la que condiciona la fecha de entrega.

El reforzamiento estructural (encamisados y arriostramientos), aunque es técnicamente complejo, tiene una duración menor y cuenta con holgura suficiente para ejecutarse sin retrasar la entrega final.

### Cronograma de Obra Resumido

A continuación, se presenta el cronograma maestro consolidado por fases operativas con su respectivo diagrama de Gantt como se ve en la Tabla 28:

**Tabla 28**

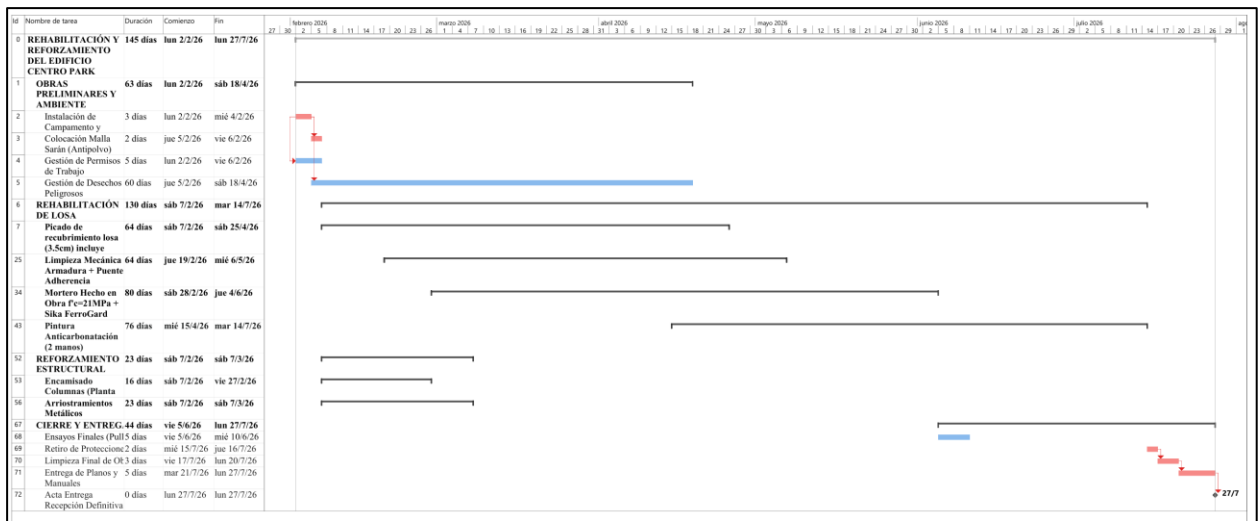
*Cronograma resumido*

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
-----------------	----------	----------	-----

<b>REHABILITACIÓN Y REFORZAMIENTO DEL EDIFICIO CENTRO PARK</b>	<b>145 días</b>	<b>lun 2/2/26</b>	<b>lun 27/7/26</b>
<b>OBRAS PRELIMINARES Y AMBIENTE</b>	<b>63 días</b>	<b>lun 2/2/26</b>	<b>sáb 18/4/26</b>
Instalación de Campamento y Señalética	3 días	lun 2/2/26	mié 4/2/26
Colocación Malla Sarán (Antipolvo)	2 días	jue 5/2/26	vie 6/2/26
Gestión de Permisos de Trabajo	5 días	lun 2/2/26	vie 6/2/26
Gestión de Desechos Peligrosos	60 días	jue 5/2/26	sáb 18/4/26
<b>REHABILITACIÓN DE LOSA</b>	<b>130 días</b>	<b>sáb 7/2/26</b>	<b>mar 14/7/26</b>
Picado de recubrimiento losa (3.5cm) incluye acarreo interno	64 días	sáb 7/2/26	sáb 25/4/26
Limpieza Mecánica Armadura + Puente Adherencia Epóxico	64 días	jue 19/2/26	mié 6/5/26
Mortero Hecho en Obra $f'c=21\text{MPa}$ inc. inhibidor	80 días	sáb 28/2/26	jue 4/6/26
Pintura Anticarbonatación (2 manos)	76 días	mié 15/4/26	mar 14/7/26
<b>REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>23 días</b>	<b>sáb 7/2/26</b>	<b>sáb 7/3/26</b>
Encamisado Columnas (Planta Baja)	16 días	sáb 7/2/26	vie 27/2/26
Arriostramientos Metálicos	23 días	sáb 7/2/26	sáb 7/3/26
<b>CIERRE Y ENTREGA</b>	<b>44 días</b>	<b>vie 5/6/26</b>	<b>lun 27/7/26</b>
Ensayos Finales (Pull-off)	5 días	vie 5/6/26	mié 10/6/26
Retiro de Protecciones	2 días	mié 15/7/26	jue 16/7/26
Limpieza Final de Obra	3 días	vie 17/7/26	lun 20/7/26
Entrega de Planos y Manuales	5 días	mar 21/7/26	lun 27/7/26
Acta Entrega Recepción Definitiva	0 días	lun 27/7/26	lun 27/7/26

Figura 33

Diagrama de Grantt de las actividades realizadas en el proyecto



El cronograma del proyecto fue elaborado utilizando un software de gestión y planeación de obra civiles, el cual permitió organizar de manera clara las actividades necesarias para la ejecución de la obra, tal como se muestra en la Figura 33. El tiempo total estimado para el desarrollo del proyecto es de aproximadamente 5 meses, considerando una jornada laboral de lunes a sábado y los feriados nacionales aplicables en la ciudad de Guayaquil. Para una mejor comprensión y control de la ejecución, la planificación se dividió en cuatro etapas principales: obras preliminares y seguridad, rehabilitación de losas, reforzamiento estructural metálico y gestión ambiental con limpieza final. Esta distribución facilita el seguimiento de los trabajos a lo largo del proyecto y permite tener una visión general del avance de la obra hasta su finalización.

## **Capítulo 6**

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

El análisis estructural y de durabilidad desarrollado en el presente trabajo permitió conocer con mayor precisión el estado real del edificio de parqueos y las principales deficiencias que presenta. A partir de la evaluación realizada, se identificaron limitaciones tanto en el comportamiento lateral de la estructura como en la condición de las losas, las cuales se ven influenciadas por el uso continuo de la edificación y por las condiciones ambientales propias de la ciudad de Guayaquil.

Los resultados obtenidos del modelo estructural evidenciaron que, en su condición inicial, la edificación presentaba derivas laterales que no cumplían plenamente con los límites establecidos por la normativa ecuatoriana. Ante esta situación, la propuesta de refuerzo estructural mediante el uso de placas metálicas en columnas y la incorporación de sistemas de arriostramiento permitió mejorar de forma significativa el desempeño global del edificio. Luego de la intervención, se observó una reducción clara de las derivas en todos los niveles, logrando cumplir con los requisitos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Por otro lado, la intervención planteada en las losas, basada en la aplicación de capas de recubrimiento, demostró ser una alternativa adecuada para mejorar la durabilidad del sistema estructural. Esta solución contribuye a proteger los elementos existentes frente al deterioro generado por la humedad y otros agentes ambientales, ayudando a prolongar la vida útil de la edificación y a reducir la probabilidad de daños futuros.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir que la combinación de refuerzos metálicos y mejoras en las losas cumple con los objetivos planteados al inicio del proyecto. La propuesta desarrollada no solo mejora el comportamiento estructural del edificio frente a acciones sísmicas, sino que también fortalece su durabilidad, constituyéndose en una solución técnica viable para la rehabilitación de edificaciones existentes con características similares.

## 6.2 Recomendaciones

Durante la etapa de construcción, se recomienda prestar especial atención a los procesos de soldadura y fijación de las placas metálicas, garantizando que estos trabajos se realicen conforme a las especificaciones técnicas y normas de calidad correspondientes. Un adecuado control en esta fase resulta fundamental para que el refuerzo estructural funcione de manera eficiente y cumpla con el desempeño esperado.

En cuanto a la intervención en las losas, se sugiere utilizar materiales de recubrimiento adecuados para ambientes expuestos a humedad, así como asegurar una correcta aplicación de los mismos. Esto permitirá maximizar los beneficios del recubrimiento y contribuir de forma efectiva a la mejora de la durabilidad del sistema estructural.

Finalmente, se recomienda que futuros estudios consideren análisis más avanzados del comportamiento estructural, como evaluaciones no lineales o estudios bajo distintos escenarios sísmicos. Asimismo, se sugiere implementar un plan de mantenimiento periódico que permita monitorear el estado de los elementos reforzados y asegurar que las mejoras realizadas se mantengan a lo largo del tiempo.

## 7 Referencias

- Alexander, M., Bentur, A., & Mindess, S. (2017). Durability of concrete: Design and construction. *Durability of Concrete: Design and Construction*, 1–324.  
<https://doi.org/10.1201/9781315118413/durability-concrete-sidney-mindess-mark-alexander-arnon-bentur/rights-and-permissions>
- Andrade, C., & Alonso, C. (1996). Corrosion rate monitoring in the laboratory and on-site. *Construction and Building Materials*, 10(5), 315–328. [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00044-5](https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00044-5)
- Asociación de Fabricantes de Morteros y SATE (ANFAPA). (s.f.). Deterioro del hormigón por ataques químicos. <https://anfapa.com/articulos-tecnicos-morteros-de-reparacion-de-hormigon/1200/deterioro-del-hormigon-por-ataques-quimicos>
- Arizaga Quintero, J. (s. f.). *Evaluación de la contaminación acústica en zonas urbanas consolidadas*. Universidad de Guayaquil.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Registro Oficial Suplemento No. 983.  
<https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente/>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. Registro Oficial Suplemento No. 507.  
<https://www.ambiente.gob.ec/reglamento-al-codigo-organico-del-ambiente-rcoa/>
- American Concrete Institute. (2008). *Guide for the Design, Construction, and Repair of Ferrocement (ACI 549.1R-93)*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute. (2010). *Use of Epoxy Compounds with Concrete (ACI 503R-93)*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute. (2016). *Guide to Curing Concrete (ACI 308R-16)*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute. (2017). *Report on Service-Life Prediction (ACI 365.1R-17)*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute. (2019). *Control of Cracking in Concrete Structures (ACI 224R-01)*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-19)*. Farmington Hills, MI.

- American Concrete Institute. (2019). *Protection of Metals in Concrete Against Corrosion (ACI 222R-19)*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute. (2019). *Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation (ACI 364.1R-19)*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute. (2021). *Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures and Commentary (ACI 562-21)*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute. (2014). *Concrete Repair Guide (ACI 546R-14)*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute. (2016). *Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-16)*. Farmington Hills, MI.
- American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-16)*. Chicago, IL.
- American Welding Society. (2020). *Structural Welding Code – Steel (AWS D1.1/D1.1M:2020)*. Miami, FL.
- ASTM International. (2020). *ASTM A36/A36M-19: Standard Specification for Carbon Structural Steel*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2020). *ASTM A193/A193M-20: Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting Materials for High Temperature or High Pressure Service and Other Special Purpose Applications*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2021). *ASTM C39/C39M-21: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2020). *ASTM C42/C42M-20: Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2017). *ASTM C157/C157M-17: Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2014). *ASTM C469/C469M-14: Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2017). *ASTM C496/C496M-17: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2015). *ASTM C876-15: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*. West Conshohocken, PA.

- ASTM International. (2020). *ASTM C881/C881M-20a: Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2021). *ASTM C1059/C1059M-21: Standard Specification for Latex Agents for Bonding Fresh to Hardened Concrete*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2017). *ASTM C1583/C1583M-13: Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method)*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2021). *ASTM E165/E165M-18: Standard Practice for Liquid Penetrant Testing for General Industry*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2020). *ASTM A370-20: Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. West Conshohocken, PA.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2020). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (9th ed.). Washington, DC.
- Ballim, Y., & Reid, J. C. (2003). Reinforcement corrosion and the deflection of RC beams—an experimental critique of current test methods. *Cement and Concrete Composites*, 25(6), 625–632. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00076-8](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00076-8)
- Bueno, G. M., Carneiro, E. R., Ramão, A. C. L., Piva, G. O., & Tutikian, B. F. (2019). Evaluation of reinforced concrete structural durability in the post-occupation phase - A case study in Novo Hamburgo/RS. *REM - International Engineering Journal*, 72(1), 9–16. <https://doi.org/10.1590/0370-44672018720040>
- Castañeda Valdés, A., Corvo Pérez, F., Pech Pech, I., Marrero Águila, R., & Bastidas-Arteaga, E. (2024). Durability Requirements for Reinforced Concrete Structures Placed in a Hostile Tropical Coastal Environment. *Buildings 2024, Vol. 14, Page 2494*, 14(8), 2494. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS14082494>
- Cámara de la Construcción de Guayaquil. (2025). Revista técnica de costos y salarios.
- Cho, H. C., Lee, S. H., Park, M., & Kim, K. S. (2025). Remaining Service Life Evaluation of Reinforced Concrete Buildings Considering Failure Probability of Members. *International Journal of Concrete Structures and Materials 2024 19:1*, 19(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/S40069-024-00749-X>
- Corvo Perez, F. (1984). Atmospheric corrosion of steel in a humid tropical climate - influence of pollution, humidity, temperature, solar radiation and rainfall. *Corrosion*, 40(4), 170–175. <https://doi.org/10.5006/1.3581934>

- Comité Euro-International du Béton & Fédération Internationale de la Précontrainte. (2010). *CEB-FIP Model Code 2010*. Thomas Telford Publishing.
- Contraloría General del Estado. (2025). Tabla de sueldos y salarios mínimos sectoriales.
- Conesa Fernández-Vítora, V. (2009). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (4.ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Dávalos Pilozo, J. A. (2020). *Evaluación de material particulado PM10 y PM2.5 en sectores urbanos de Guayaquil* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil].
- Duque-Aldaz, A. (2022). *Análisis de niveles de ruido ambiental en el casco central de Guayaquil*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Eadic.com. (s.f.). Ataques químicos al hormigón. <https://eadic.com/blog/entrada/ataques-quimicos-al-hormigon/>
- European Committee for Standardization. (2004). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - Part 2: Surface protection systems for concrete (EN 1504-2)*. Brussels, Belgium.
- European Committee for Standardization. (2008). *Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - Part 9: General principles for use of products and systems (EN 1504-9)*. Brussels, Belgium.
- Fuhaid, A. F. Al, & Niaz, A. (2022). Carbonation and Corrosion Problems in Reinforced Concrete Structures. *Buildings 2022, Vol. 12, Page 586, 12(5)*, 586.  
<https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12050586>
- Guayaquil Weather & Climate | Year-Round Guide with Graphs*. (n.d.). Retrieved November 19, 2025, from [https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine,guayaquil,Ecuador#google\\_vignette](https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine,guayaquil,Ecuador#google_vignette)
- Hanžič, L., Robič, S., Machner, A., Bjørndal, M. H., De Weerd, K., Gu, Y., Bary, B., Carreras, R. M. L., & Šajna, A. (2021). Experimental Carbonation Study for a Durability Assessment of Novel Cementitious Materials. *Materials 2021, Vol. 14, Page 6253, 14(21)*, 6253.  
<https://doi.org/10.3390/MA14216253>
- Hasan, M., Bompa, D., Edwards, D. J., Lai, J., De Silva, N., Fonna, S., Saidi, T., Hasibuan, P., Bukhary, F., Dawood, R., & Mubarak, A. (2025). Carbonation Depth, Corrosion Assessment, Repairing, and Strengthening of 49-Year-Old Marine Reinforced Concrete

- Structures. *Buildings* 2025, Vol. 15, Page 4088, 15(22), 4088.  
<https://doi.org/10.3390/BUILDINGS15224088>
- Hosen, M. A., Shammam, M. I., Kaaf, K. A. Al, Jumaat, M. Z., Alengaram, U. J., Sulong, N. H. R., & Hashim, H. Bin. (2024). Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) for Structural Capacity Enhancement of RC Beams Incorporating Innovative Side Hybrid (SH) Technique. *Buildings* 2024, Vol. 14, Page 1919, 14(7), 1919.  
<https://doi.org/10.3390/BUILDINGS14071919>
- Imam, A., Mishra, S., Bind, Y. K., Imam, A., Mishra, S., & Bind, Y. K. (2018). Review study towards corrosion mechanism and its impact on the durability of concrete structures. *AIMS Materials Science* 2018 2:276, 5(2), 276–300.  
<https://doi.org/10.3934/MATERSCI.2018.2.276>
- International Organization for Standardization. (2017). *Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 2: Classification of environments (ISO 12944-2:2017)*. Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization. (2018). *Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 5: Protective paint systems (ISO 12944-5:2018)*. Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization. (2011). *Buildings and constructed assets – Service life planning (ISO 15686)*. Geneva, Switzerland.
- International Federation for Structural Concrete (fib). (2010). *fib Model Code for Concrete Structures 2010*. Lausanne, Switzerland.
- Koulouris, K., & Apostolopoulos, C. (2021). Study of the Residual Bond Strength between Corroded Steel Bars and Concrete—A Comparison with the Recommendations of Fib Model Code 2010. *Metals* 2021, Vol. 11, Page 757, 11(5), 757.  
<https://doi.org/10.3390/MET11050757>
- Kurihara, R., Ito, Y., Cai, Q., & Chijiwa, N. (2022). The Influence of Interlock Loss between Rebar and Concrete on Bond Performance of RC Member. *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 1079, 12(3), 1079. <https://doi.org/10.3390/APP12031079>
- Kurihara, T., Mitani, R., & Kanakubo, T. (2025). Effect of Longitudinal Crack Width Variation on Bond Behavior Degradation Due to Rebar Corrosion in Reinforced Concrete. *Materials*, 18(18), 4335. <https://doi.org/10.3390/MA18184335/S1>

- Lai, C. M., Yeh, C. Y., Kang, S. Y., & Chang, H. Y. (2021). Effects of Shear Tabs and High-Strength Bolts in Seismic Performance of Steel Moment Connections. *Buildings 2021, Vol. 11, Page 415, 11(9)*, 415. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS11090415>
- Lavrentyev, A., Shcherban, E., Stel, S., Devaraj, R., Olofinjana, A., & Gerber, C. (2023). Making a Case for Hybrid GFRP-Steel Reinforcement System in Concrete Beams: An Overview. *Applied Sciences 2023, Vol. 13, Page 1463, 13(3)*, 1463. <https://doi.org/10.3390/APP13031463>
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact*. U.S. Geological Survey Circular 645.
- Liu, J., Ou, G., Qiu, Q., Xing, F., Tang, K., & Zeng, J. (2018). Atmospheric chloride deposition in field concrete at coastal region. *Construction and Building Materials, 190*, 1015–1022. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.09.094>
- Liu, Y., Zhang, W. P., Jiang, C., Wu, F., Qiu, J. L., Wang, R. L., & Zheng, N. H. (2025). Flexural behavior of reinforced concrete beams subjected to natural corrosion in marine environment. *Engineering Structures, 334*, 120248. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2025.120248>
- rtarquitectura.com. (s.f.). Carbonatación en el hormigón: causas y efectos. <https://rtarquitectura.com/carbonatacion-en-el-hormigon-causas-y-efectos/>
- Ma, J., Yang, Q., Peng, X., & Xia, K. (2025). Review on Durability Deterioration and Mitigation of Concrete Structures. *Coatings 2025, Vol. 15, Page 982, 15(9)*, 982. <https://doi.org/10.3390/COATINGS15090982>
- Martínez, I., Ramón, J. E., & Castillo. (2021). On-site corrosion monitoring experience in concrete structures: potential improvements on the current-controlled polarization resistance method. *Materiales de Construcción, 71(344)*, e265–e265. <https://doi.org/10.3989/MC.2021.11221>
- Medeiros-Junior, Munhoz, R. A. ;, & Medeiros, G. S. ; (2019). *Correlations between water absorption, electrical resistivity and compressive strength of concrete with different contents of pozzolan*. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i2.335>
- Medvedev, V., Pustovgar, A., Zhang, B., & Senouci, A. (2023). A Review of Concrete Carbonation and Approaches to Its Research under Irradiation. *Buildings 2023, Vol. 13, Page 1998, 13(8)*, 1998. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13081998>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15): Estructuras de Hormigón Armado (NEC-SE-HM). Quito, Ecuador.

- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15): Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente (NEC-SE-DS). Quito, Ecuador.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15): Cargas (no sísmicas) (NEC-SE-CG). Quito, Ecuador. (Agregar si usaste cargas vivas/muertas generales).
- Maldonado, M. (2023). *Monitoreo de partículas en suspensión en áreas de alto tráfico vehicular del centro de Guayaquil*. Universidad Politécnica del Litoral.
- Moran-Zuloaga, D., Córdova-Peñañiel, J., & Reyes-Ortiz, M. (2021). Análisis de la dinámica de PM10 y PM2.5 en zonas urbanas de Guayaquil. *Revista Politécnica*, 47(2), 55–66.
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Norsuzailina, M. S., & Sinin, H. (2013). Efflorescence phenomenon on concrete structures. *Advanced Materials Research*, 626, 747–750.  
<https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.626.747>
- Patiño-Aroca, A., Vega-Muñoz, J., & Zambrano-Santos, R. (2024). Emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al tráfico vehicular en áreas urbanas del Ecuador. *Revista Científica Ingeniería y Ambiente*, 8(1), 23–35.
- Presidencia de la República del Ecuador. (2019). Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial Suplemento 507.
- Portés, M. (2017). *Isla de calor urbana y configuración del espacio construido en Guayaquil*. Universidad de Especialidades Espíritu Santo.
- Reyes-quijije, M., Rocha-tamayo, A., García-troncoso, N., Baykara, H., & Cornejo, M. H. (2022). Preparation, Characterization, and Life Cycle Assessment of Aerated Concrete Blocks: A Case Study in Guayaquil City, Ecuador. *Applied Sciences 2022, Vol. 12, Page 1913*, 12(4), 1913. <https://doi.org/10.3390/APP12041913>
- Saura Gómez, P., Sánchez Montero, J., Torres Martín, J. E., Chinchón-Payá, S., Rebolledo Ramos, N., & Galao Malo, Ó. (2023). Carbonation-Induced Corrosion of Reinforced Concrete Elements according to Their Positions in the Buildings. *Corrosion and Materials Degradation*, 4(3), 345–363. <https://doi.org/10.3390/CMD4030018/S1>
- Syll, A. S., & Kanakubo, T. (2022). Impact of Corrosion on the Bond Strength between Concrete and Rebar: A Systematic Review. *Materials 2022, Vol. 15, Page 7016*, 15(19), 7016. <https://doi.org/10.3390/MA15197016>

- Society for Protective Coatings. (2004). *SSPC-SP 3: Power Tool Cleaning*. Pittsburgh, PA.
- Society for Protective Coatings. (2004). *SSPC-SP 10: Near-White Metal Blast Cleaning*. Pittsburgh, PA.
- Torres-Espinoza, J., & Delgado, C. (2013). Urbanización y superficies impermeables en ciudades tropicales. *Revista Hábitat Sustentable*, 3(2), 14–25.
- Troconis De Rincón, O., Montenegro, J. C., Vera, R., Carvajal, A. M., De Gutiérrez, R. M., Del Vasto, S., Saborio, E., Torres-Acosta, A., Pérez-Quiroz, J., Martínez-Madrid, M., Lomeli-González, M. G., Araujo-Arreola, N., Martínez-Molina, W., Alonso-Guzmán, E., Castro-Borges, P., Balancan-Zapata, M., Pérez-López, T., Sosa-Baz, M., Baltazar-Zamora, M., ... Mendoza, K. (2016). Reinforced Concrete Durability in Marine Environments DURACON Project: Long-Term Exposure. *Corrosion*, 72(6), 824–833. <https://doi.org/10.5006/1893>
- Tuutti, K. (1982). *Corrosion of steel in concrete*.  
<https://portal.research.lu.se/en/publications/corrosion-of-steel-in-concrete/>
- Zhang, B., Senouci, A., Medvedev, V., & Pustovgar, A. (2023). A Review of Concrete Carbonation and Approaches to Its Research under Irradiation. *Buildings 2023, Vol. 13, Page 1998*, 13(8), 1998. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13081998>
- Zhang, C., Li, J., Yu, M., Lu, Y., & Liu, S. (2024). Mechanism and Performance Control Methods of Sulfate Attack on Concrete: A Review. *Materials 2024, Vol. 17, Page 4836*, 17(19), 4836. <https://doi.org/10.3390/MA17194836>
- Zhang, W., Zhang, H., Gu, X., & Liu, W. (2018). Structural behavior of corroded reinforced concrete beams under sustained loading. *Construction and Building Materials*, 174, 675–683. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.04.145>




## **PLANOS Y ANEXOS**



## 8 Anexos


### 8.1 Anexos A

#### Levantamiento de Patologías y daños en elementos estructurales





A continuación, se presentan las patologías observadas en la estructura del Edificio de Centro Park.

NIVEL 1	
Descripción	Imagen
Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los Eje I–J, después del eje 6	
Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes J–L, después del eje 6	
Corrosión en viga, eje L–6	





<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes G–H y 1–2</p>	
<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes D–E y 2–3</p>	

Nivel 2	
Descripción	Imagen
<p>1. Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes J–L, después del eje 6</p>	

NIVEL 3	
Descripción	Imagen




<p>Corrosión en viga entre ejes J-L, después del eje 6</p>	
<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes H-G, después del eje 6</p>	
<p>Corrosión en viga en eje E, después del eje 6</p>	
<p>Corrosión en viga en eje B, después del eje 6</p>	


**Nivel 4**


Descripción	Imagen
Corrosión en viga entre ejes J-L, en eje 6	
Evidencia de corte y reemplazo de viga (toda la viga de borde con corrosión) Eje I-J, después del eje 6	
Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes A-B y 3-5	
Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes B-D y 3-5	


**NIVEL 5**




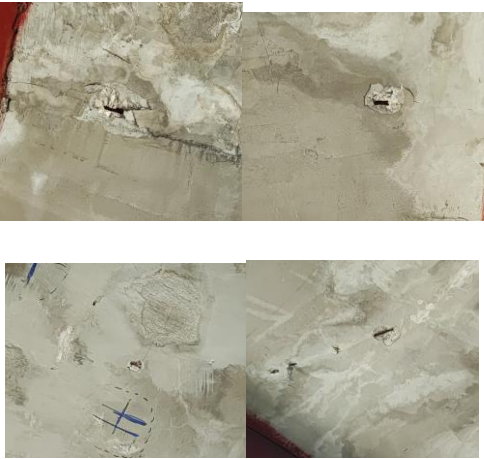
Descripción	Imagen
-------------	--------





<p>Daños en rampa de piso 6, parte inferior</p>	
<p>Acero con corrosión, eje J, después del eje 6</p>	
<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo en eje J, después del eje 6</p>	
<p>Acero con corrosión, eje B, después del eje 6</p>	

<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes D-E y 2-3</p>	
---	--


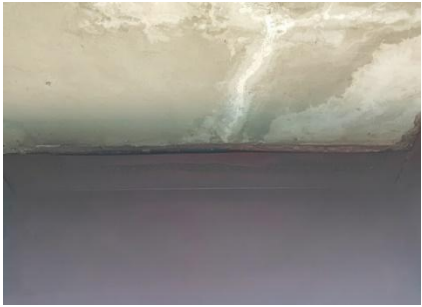


NIVEL 6	
Descripción	Imagen
<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes E-G y 5-6</p>	

NIVEL 7	
Descripción	Imagen
<p>Extracción y soldadura de placa de acero, entre ejes J-L, después del eje 6</p>	

<p>Corrosión en viga en eje J, después del eje 6</p>	
<p>Corrosión en viga entre ejes J-I, después del eje 6</p>	
<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes J-I, después del eje 6</p>	
<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes I-G, después del eje 6</p>	



<p>Evidencia de retiro y soldadura de placa, ejes G–E, después del eje 6</p>	
<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes G–E, después del eje 6</p>	
<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes E–F, después del eje 6</p>	
<p>Presencia de soldadura, ejes B–D, después del eje 6</p>	

<p>Presencia de soldadura, ejes A-B, después del eje 6</p>	
<p>Acero con corrosión, eje B, después del eje 6</p>	
<p>Descascaramiento de losa por corrosión de acero de refuerzo entre los ejes A-B, después del eje 6</p>	

<p>Presencia de soldadura, entre ejes 3-5 y antes del eje A</p>	
<p>Presencia de soldadura, entre ejes 3-5 y antes del eje A</p>	
<p>Hueco profundo sin acero visible, entre ejes C-D y 5-6</p>	
<p>Hueco profundo sin acero visible, entre ejes D-E y 5-6</p>	

Nivel 8

Descripción	Imagen
-------------	--------

<p>Área de ensayo, después del eje L y después del 6</p>	
<p>Corrosión, entre ejes 3–5 y antes del eje A</p>	

## 8.2 Anexos B

**Tabla 29**

*Reforzamiento de todas las columnas*

Columna	Sección (mm)	Ix inicial (mm <sup>4</sup> )	Ix final (mm <sup>4</sup> )	Flx	Iy inicial (mm <sup>4</sup> )	Iy final (mm <sup>4</sup> )	Fly
A1	600×400×17	8.89E8	1.42E9	1.72	1.68E9	3.22E9	2.13
A6	600×600×22	2.45E9	5.92E9	2.42	2.45E9	5.92E9	2.42
H1''	400×600×14	1.54E9	2.54E9	1.65	9.50E8	1.82E9	1.92
I4	400×600×14	1.54E9	3.05E9	1.98	9.50E8	2.85E9	3.00
L4	400×600×17	1.68E9	3.29E9	1.96	1.03E9	3.01E9	2.92
L6	600×600×22	2.45E9	5.92E9	2.42	2.45E9	5.92E9	2.42

**Tabla 30**

*Derivas iniciales de todos los pisos*

Piso	Dirección	Derivas Inelásticas	Nodos	Comprobación >2%
------	-----------	------------------------	-------	---------------------

---

Sobrecubierta	X	0.000374	170	0.26928
Sobrecubierta	Y	0.000569	174	0.40968
Sobrecubierta	X	0.000164	174	0.11808
Sobrecubierta	Y	0.000726	174	0.52272
Cubierta	X	0.000932	129	0.67104
Cubierta	Y	0.001109	42	0.79848
Cubierta	X	0.000226	2	0.16272
Cubierta	Y	0.000705	180	0.5076
Story8	X	0.001383	129	0.99576
Story8	Y	0.001625	42	1.17
Story8	X	0.000229	2	0.16488
Story8	Y	0.001101	4	0.79272
Story7	X	0.001817	129	1.30824
Story7	Y	0.00213	42	1.5336
Story7	X	0.000261	2	0.18792
Story7	Y	0.001381	61	0.99432
Story6	X	0.00218	129	1.5696
Story6	Y	0.002594	42	1.86768
Story6	X	0.000287	2	0.20664
Story6	Y	0.001637	61	1.17864
Story5	X	0.00248	129	1.7856
Story5	Y	0.002951	42	2.12472
Story5	X	0.00031	2	0.2232
Story5	Y	0.001869	61	1.34568
Story4	X	0.002715	129	1.9548
Story4	Y	0.003266	42	2.35152
Story4	X	0.000337	2	0.24264
Story4	Y	0.002074	61	1.49328
Story3	X	0.002914	129	2.09808
Story3	Y	0.00357	42	2.5704
Story3	X	0.000412	2	0.29664
Story3	Y	0.002346	61	1.68912
Story2	X	0.00305	34	2.196

Story2	Y	0.003734	42	2.68848
Story2	X	0.000684	2	0.49248
Story2	Y	0.002888	180	2.07936
Story1	X	0.002521	21	1.81512
Story1	Y	0.003441	147	2.47752
Story1	X	0.000507	10	0.36504
Story1	Y	0.002968	173	2.13696

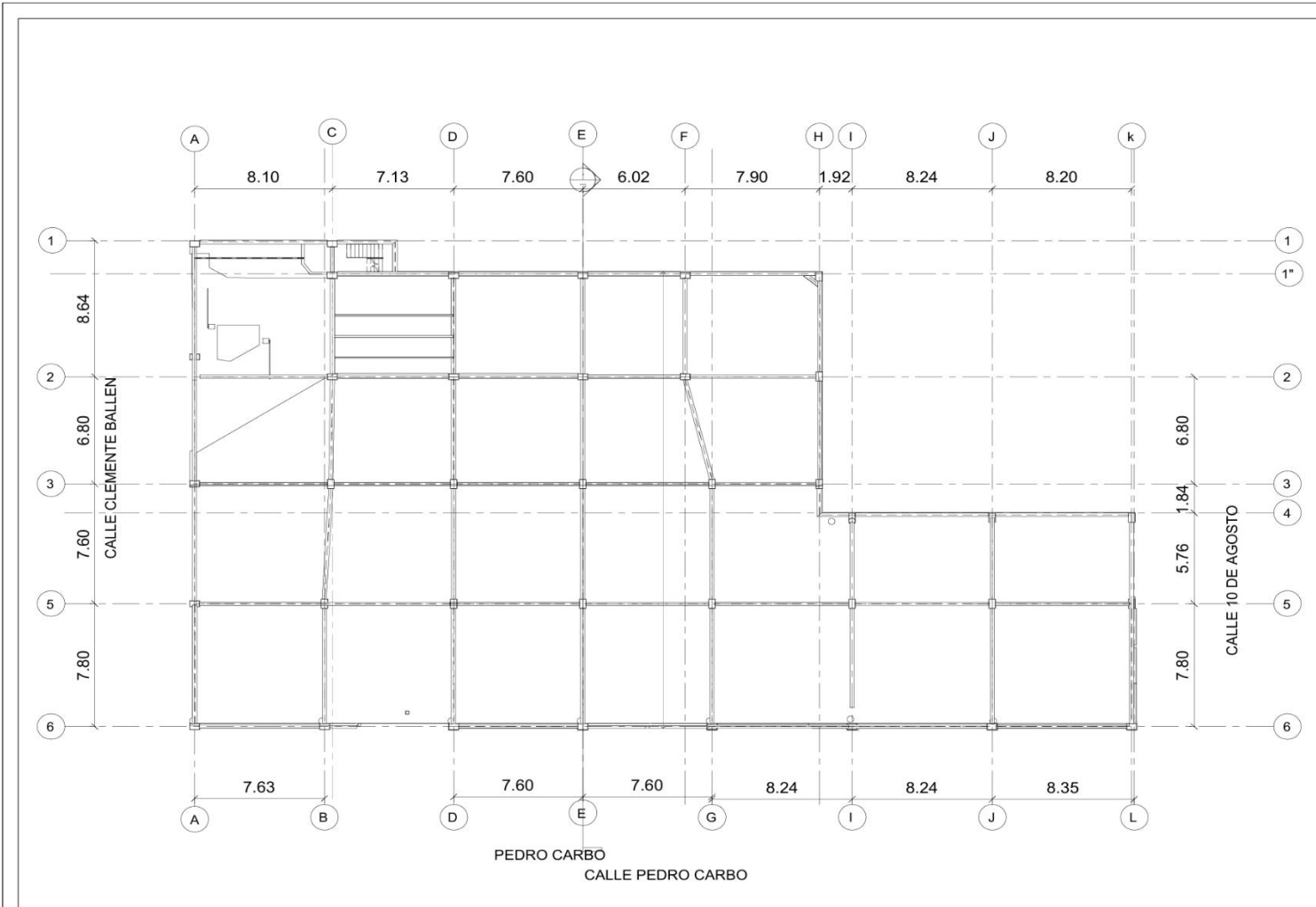
**Tabla 31***Derivas finales de todos los pisos*

<b>Piso</b>	<b>Dirección</b>	<b>Deriva Inelástica</b>	<b>Nodo</b>	<b>Comprobación &gt;2%</b>
Sobrecubierta	X	0.000391	170	0.28152
Sobrecubierta	Y	0.000606	174	0.43632
Sobrecubierta	X	0.000188	174	0.13536
Sobrecubierta	Y	0.000656	174	0.47232
Cubierta	X	0.000982	129	0.70704
Cubierta	Y	0.001198	42	0.86256
Cubierta	X	0.000361	129	0.25992
Cubierta	Y	0.000856	42	0.61632
Story8	X	0.001451	129	1.04472
Story8	Y	0.001723	42	1.24056
Story8	X	0.000494	129	0.35568
Story8	Y	0.001186	42	0.85392
Story7	X	0.001878	129	1.35216
Story7	Y	0.002251	42	1.62072
Story7	X	0.000604	129	0.43488
Story7	Y	0.0015	42	1.08
Story6	X	0.002183	129	1.57176
Story6	Y	0.002631	42	1.89432
Story6	X	0.000664	42	0.47808
Story6	Y	0.001713	42	1.23336

Story5	X	0.002379	129	1.71288
Story5	Y	0.002496	42	1.79712
Story5	X	0.000671	129	0.48312
Story5	Y	0.001615	61	1.1628
Story4	X	0.002524	129	1.81728
Story4	Y	0.002608	42	1.87776
Story4	X	0.000673	129	0.48456
Story4	Y	0.001859	61	1.33848
Story3	X	0.002646	129	1.90512
Story3	Y	0.002731	42	1.96632
Story3	X	0.000684	129	0.49248
Story3	Y	0.002152	61	1.54944
Story2	X	0.002668	34	1.92096
Story2	Y	0.002679	61	1.92888
Story2	X	0.00086	2	0.6192
Story2	Y	0.002554	180	1.83888
Story1	X	0.00215	9	1.548
Story1	Y	0.002485	147	1.7892
Story1	X	0.000709	10	0.51048
Story1	Y	0.00266	173	1.9152

---

8.3 Anexos C



**ESC: 2:1**  
**VISTA EN PLANTA**

**ZONA DE IMPLANTACIÓN**

**SIMBOLOGÍA:**

**OBSERVACIONES:**

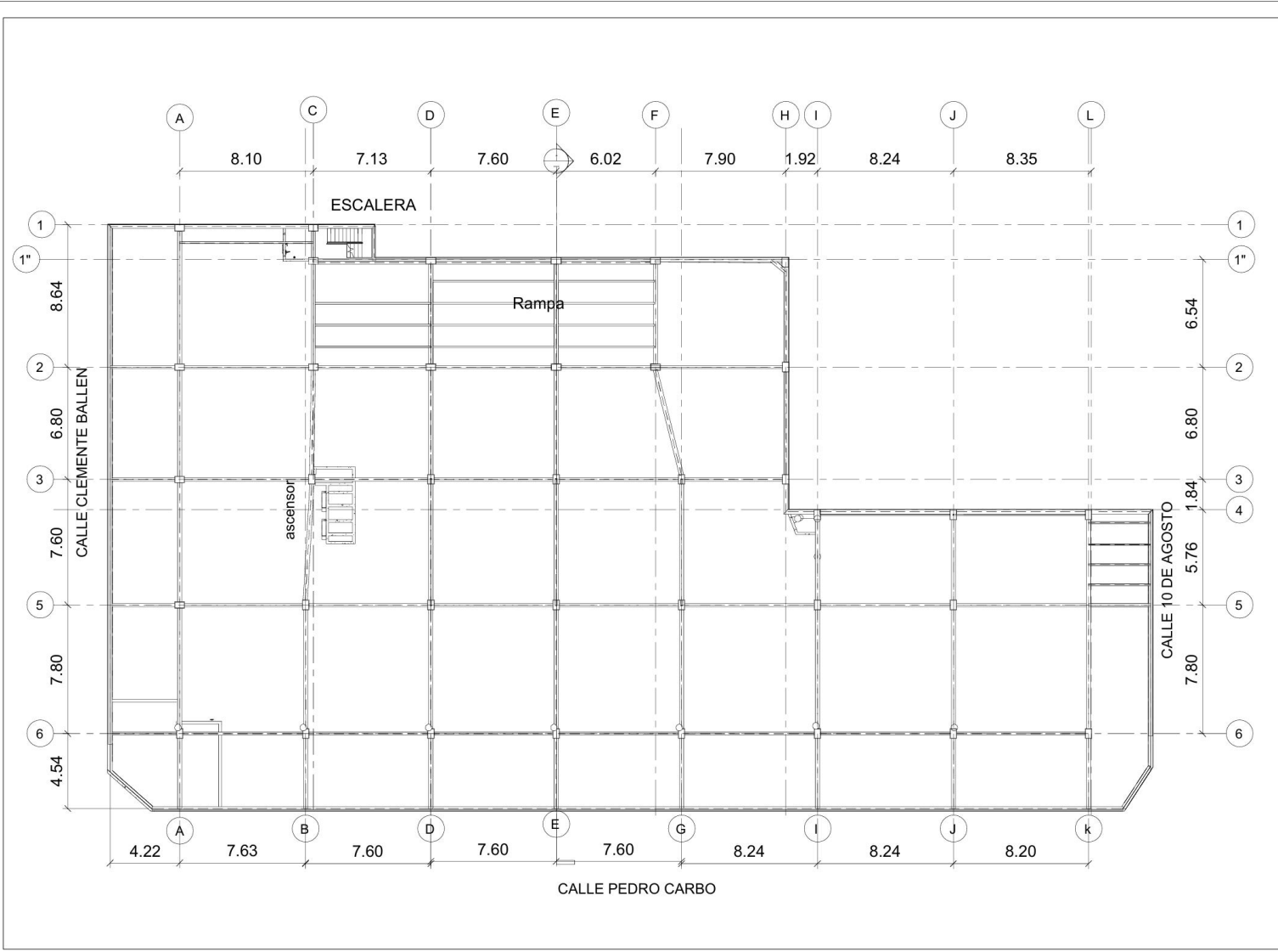
- Todas las dimensiones se encuentran en metros, salvo indicación contraria.

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

**PROYECTO:**  
Diseño, evaluación estructural y durabilidad de losas en el edificio de parques de 9 niveles en Guayaquil: análisis de estados límite, proyección de vida útil y alternativas de intervención.

**CONTENIDO:**  
PLANTA BAJA DEL EDIFICIO CENTROPARK

<b>Profesor de Materia Integradora:</b> Lenín Dender Aguilar, M.Sc.	<b>Tutor de Materia Integradora:</b> Luis Sánchez Calderón, M.Sc. Ph.D.
<b>Estudiantes:</b> Néstor Andrés Villacis Serrano Mike Angelo Mocha Guaman	<b>Período:</b> II PAO 2025
<b>Láminas:</b> 1/8	<b>Formato:</b> Indicadas



**ESC: 2:1**  
**VISTA EN PLANTA**

**ZONA DE IMPLANTACIÓN**

**SIMBOLOGÍA:**

**OBSERVACIONES:**

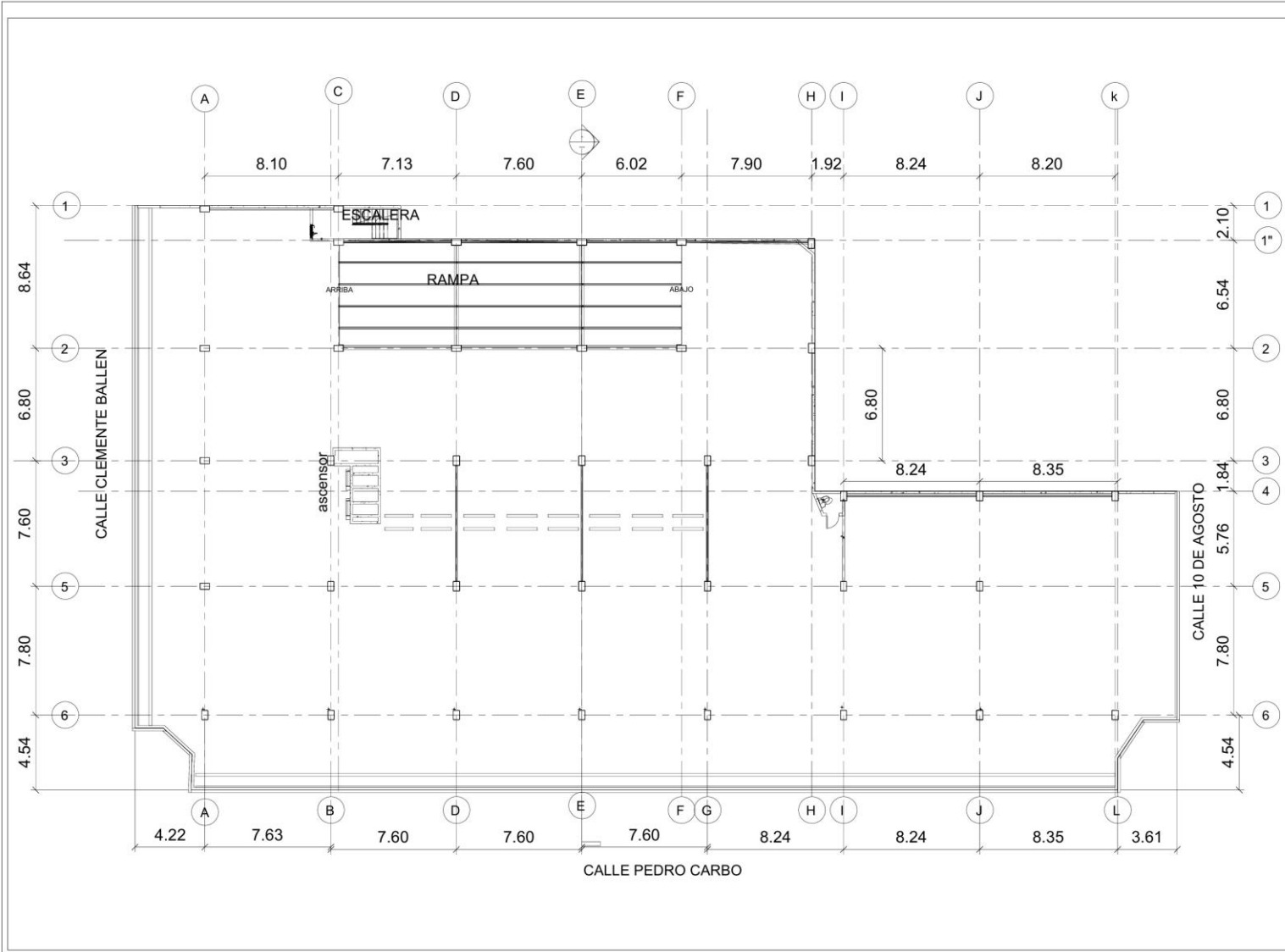
- Todas las dimensiones se encuentran en metros, salvo indicación contraria.

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

**PROYECTO:**  
Diseño, evaluación estructural y durabilidad de losas en el edificio de parqueos de 9 niveles en Guayaquil: análisis de estados límite, proyección de vida útil y alternativas de intervención.

**CONTENIDO:**  
PLANTA 1 Y 2 DEL EDIFICIO CENTROPARK

<p><b>Profesor de Materia Integradora:</b> Lenin Dender Aguilar, M.Sc.</p>	<p><b>Tutor de Materia Integradora:</b> Luis Sanchez Calderón, M.Sc. PhD.</p>
<p><b>Estudiantes:</b> Néstor Andrés Villacis Serrano Mike Angelo Mocha Guaman</p>	<p><b>Período:</b> II PAO 2025</p>
<p><b>Láminas:</b> 2/8</p>	<p><b>Escala:</b> Indicadas</p>



**ZONA DE IMPLANTACIÓN**



**SIMBOLOGÍA:**

**OBSERVACIONES:**

- Todas las dimensiones se encuentran en metros, salvo indicación contraria.



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

**PROYECTO:**  
 Diseño, evaluación estructural y durabilidad de losas en el edificio de parqueos de 9 niveles en Guayaquil: análisis de estados límite, proyección de vida útil y alternativas de intervención.

**CONTENIDO:**

PLANTA DEL 3 AL 8 DEL EDIFICIO CENTROPARK

Profesor de Materia Integradora:  
 Lenin Dender Aguilar, M.Sc.

Tutor de Materia Integradora:  
 Luis Sanchez Calderón, M.Sc. PhD.

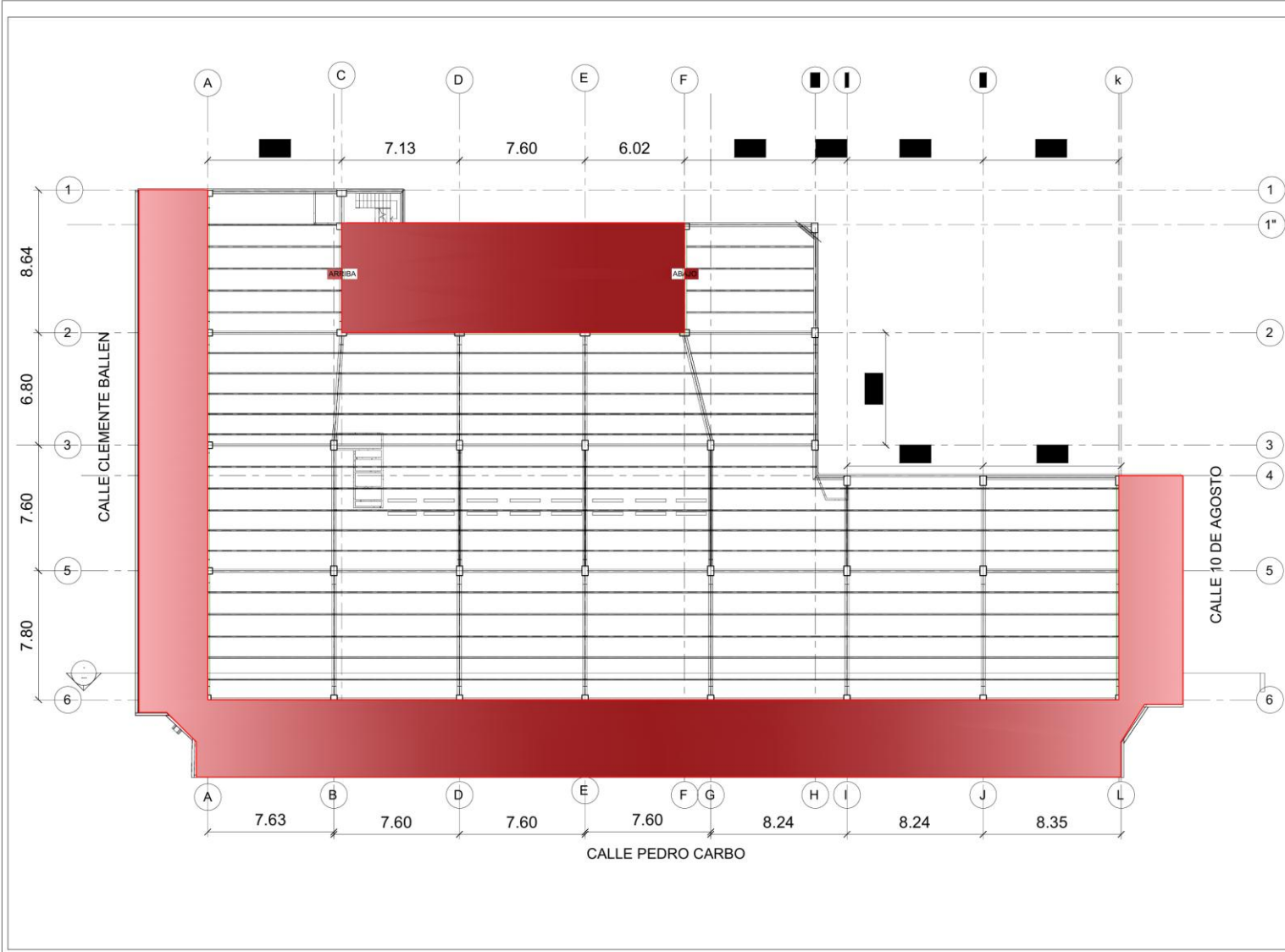
Estudiantes:  
 Néstor Andrés Villacis Serrano  
 Mike Angelo Mocha Guaman

Período:  
 II PAO 2025

Lámina:  
 3/8

Escala:  
 Indicadas

**ESC: 2:1**  
**VISTA EN PLANTA**



**SIMBOLOGÍA:**

■ Paños de losas a intervenir

**OBSERVACIONES:**

- Todas las dimensiones se encuentran en metros, salvo indicación contraria.

Paños de losas a intervenir:  
 Paños de losas de los niveles 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9  
 Rampas de conexión de los niveles  
 Planta baja-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8

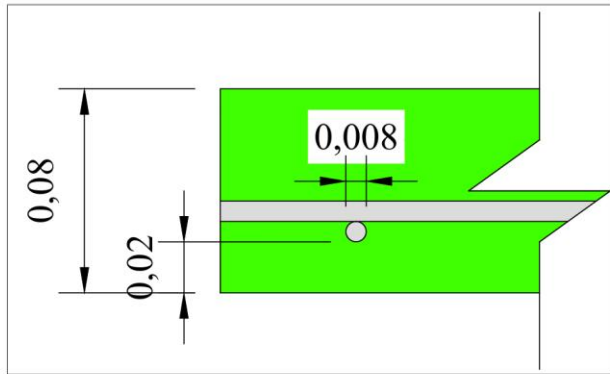
**espol**  
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**PROYECTO:**  
 Diseño, evaluación estructural y durabilidad de losas en el edificio de parqueos de 9 niveles en Guayaquil: análisis de estados límite, proyección de vida útil y alternativas de intervención.

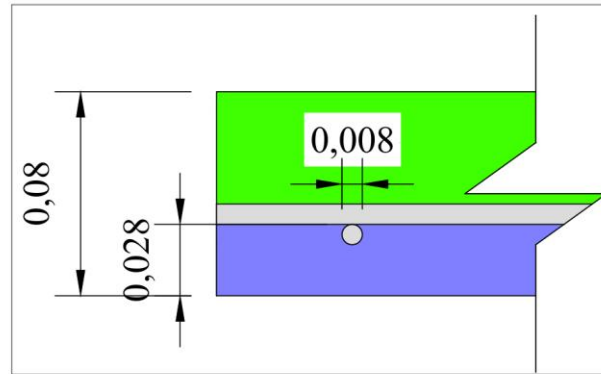
**CONTENIDO:**  
 AREA DE INTERVENCIÓN DE LOSAS

Profesor de Materia Integradora: Lenin Dender Aguilar, M.Sc.	Tutor de Materia Integradora: Luis Sanchez Calderón, M.Sc. PhD.
Estudiantes: Néstor Andrés Villacis Serrano Mike Angelo Mocha Guaman	Período: II PAO 2025
Láminas: 4/8	Escala: Indicadas

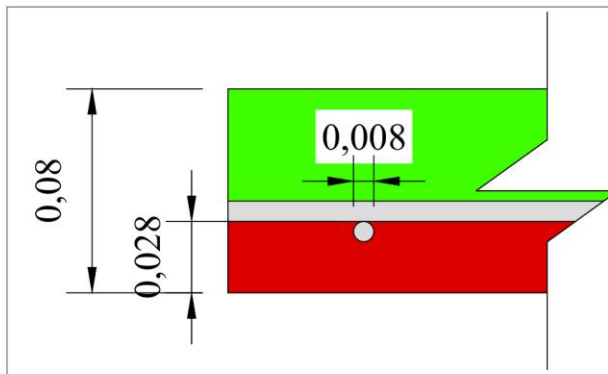
**ESC: 3:1**  
**VISTA EN PLANTA**



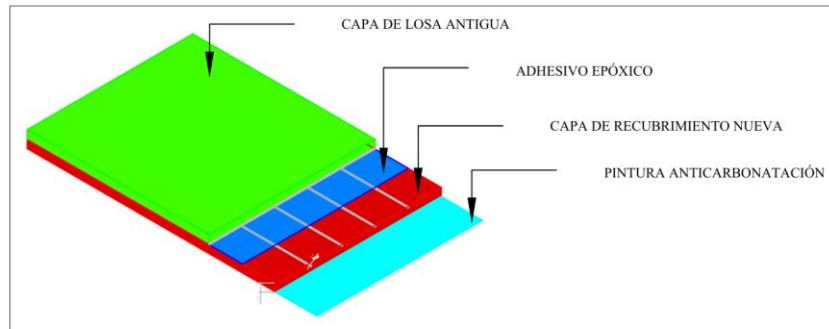
**ESC: 400:1**  
**Losa Actual**



**ESC: 400:1**  
**Altura actual de Carbonatación en losa**



**ESC: 400:1**  
**Losa con nuevo recubrimiento**



**ESC: 30:1**  
**Capas de los elementos de la losa**

**OBSERVACIONES:**

- Se removerá completamente el hormigón carbonatado hasta alcanzar concreto sano, verificado con fenolfaleína.
- Las armaduras expuestas se limpiarán mecánicamente conforme a SSPC-SP 3.
- Se aplicará puente de adherencia previo a la reparación (epóxico ASTM C881 o lechada modificada ASTM C1059).
- El mortero de reparación será cementicio, de baja retracción, con inhibidor de corrosión.
- Propiedades mínimas del mortero:  $F'c \geq 21\text{MPa}$ , Adherencia  $\geq 1,5\text{MPa}$ .
- La colocación se realizará en capas  $\leq 25\text{mm}$ , con curado húmedo mínimo de 72 h.
- Se aplicará revestimiento anticarbonatación con barrera  $Sd \geq 50\text{m}$ .
- Todas las dimensiones se encuentran en metros, salvo indicación contraria.

**ZONA DE IMPLANTACIÓN**



**SIMBOLOGÍA:**

- Losa Antigua
- Altura de Carbonatación
- Armadura de la Losa
- Losa Reforzada
- Adhesivo Epóxico
- Pintura Anticarbonatación

**OBSERVACIONES:**



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

**PROYECTO:**  
Diseño, evaluación estructural y durabilidad de losas en el edificio de parques de 9 niveles en Guayaquil: análisis de estados límite, proyección de vida útil y alternativas de intervención.

**CONTENIDO:**

DETALLAMIENTO DE LA LOSA ACTUAL, LOSA REFORZADA Y METODOLOGÍA PARA REFUERZO

Profesor de Materia Integradora:  
Lenin Dender Aguilar, M.Sc.

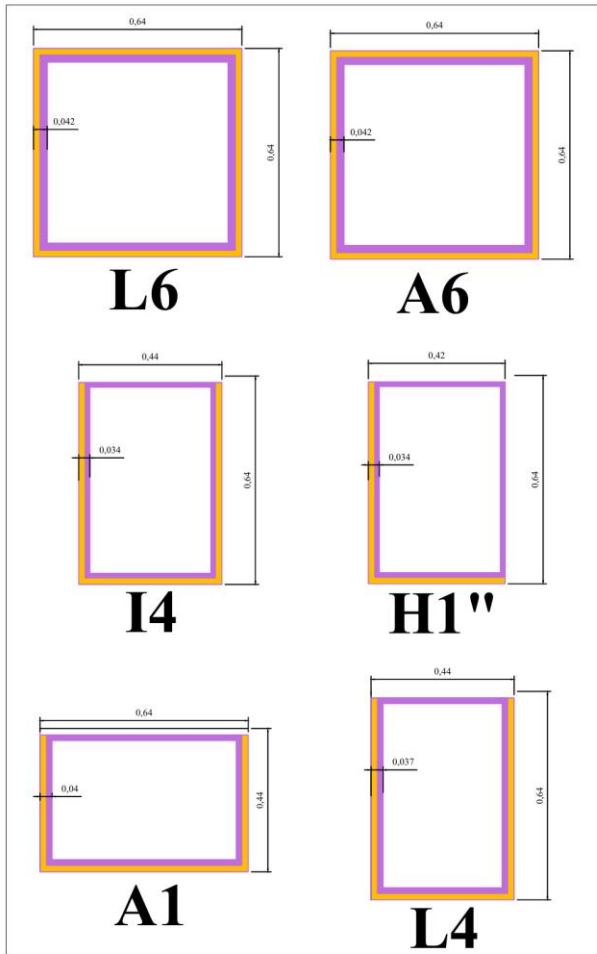
Tutor de Materia Integradora:  
Luis Sanchez Calderón, M.Sc. PhD.

Estudiante:  
Néstor Andrés Villacis Serrano Mike Angelo Mocha Guaman

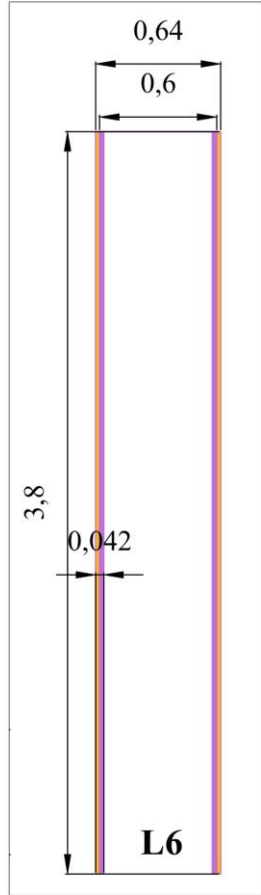
Período:  
II PAO 2025

Líneas:  
5/8

Formato:  
Indicadas



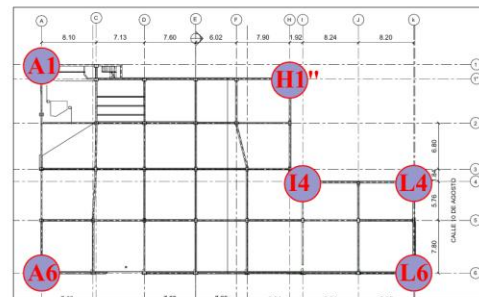
ESC: 50:1  
Perfiles de Columnas Reforzadas



ESC: 30:1  
Vista longitudinal de columna

**OBSERVACIONES:**

- Las placas de refuerzo son de acero estructural ASTM A36, con espesor 20 mm.
- Las placas cubren la totalidad de las caras de 600 mm y 400 mm de la columna existente.
- La transferencia de esfuerzos entre la columna original y las placas se realiza exclusivamente mediante soldadura, garantizando acción compuesta.
- La preparación superficial se realizará hasta metal blanco, conforme a SSPC-SP 10.
- Previo a la soldadura, las placas deberán ajustarse mecánicamente eliminando holguras.
- Las uniones longitudinales entre placas se ejecutarán con soldadura de ranura de penetración completa (CJP), con bisel de 45°, conforme a AWS D1.1.
- Se dispondrán soldaduras de tapón (plug welds) para asegurar la acción compuesta y evitar pandeo local de las placas.
- Los tapones se ejecutarán en perforaciones de Ø 40 mm, con electrodo E7018, conforme a AISC 360-22, J2.3.
- Los patines de la viga IPR se soldarán directamente a la placa de refuerzo mediante soldadura de ranura de penetración completa.
- Todas las soldaduras deberán ejecutarse e inspeccionarse conforme a AWS D1.1.
- Todas las dimensiones se encuentran en metros, salvo indicación contraria.



Ubicación de las columnas reforzadas

**ZONA DE IMPLANTACIÓN**



**SIMBOLOGÍA:**

- Placa de Reforzamiento
- Columna Actual

**OBSERVACIONES:**



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

**PROYECTO:**

Diseño, evaluación estructural y durabilidad de losas en el edificio de parqueos de 9 niveles en Guayaquil: análisis de estados límite, proyección de vida útil y alternativas de intervención.

**CONTENIDO:**

DETALLE DE LAS COLUMNAS REFORZADAS CON METODOLOGÍA PARA REFORZAMIENTO

Profesor de Materia Integradora:  
Lenín Dender Aguilar, M.Sc.

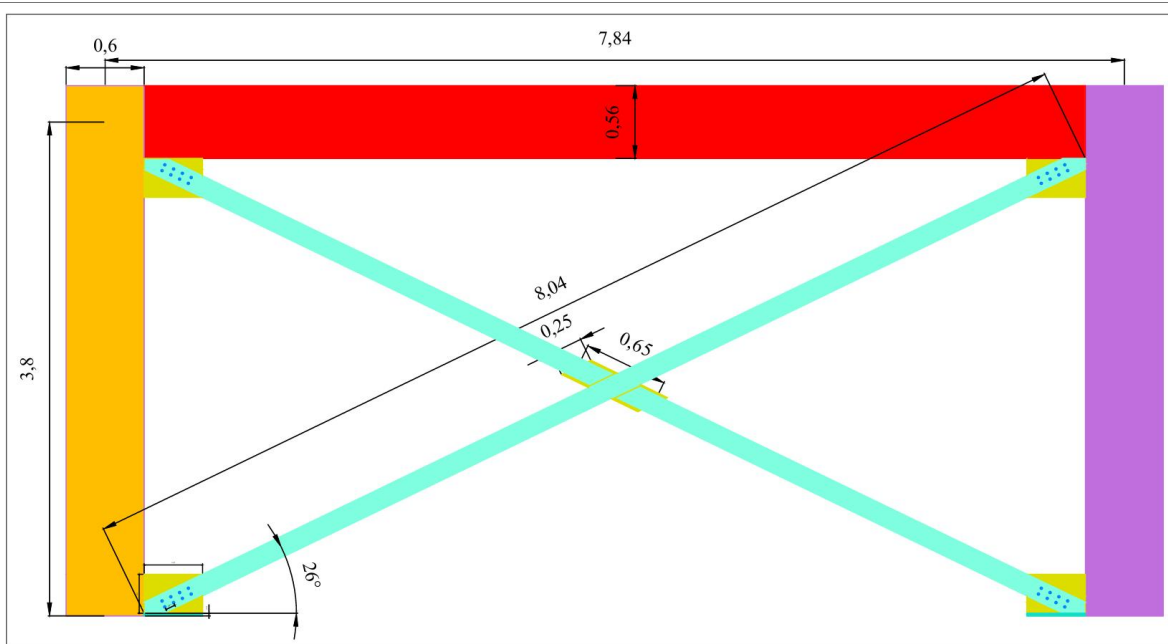
Tutor de Materia Integradora:  
Luis Sánchez Calderón, M.Sc. PhD.

Estudiantes:  
Néstor Andrés Villacis Serrano  
Mike Angelo Mocha Guaman

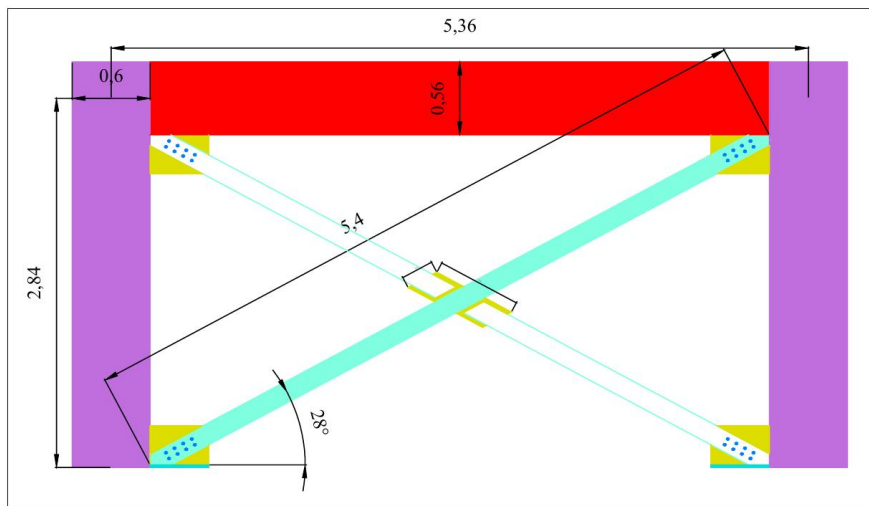
Período:  
II PAO 2025

Lámina:  
6/8

Estado:  
Indicadas

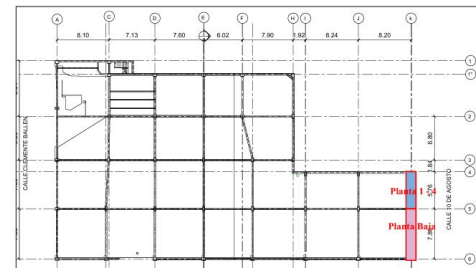


**ESC: 20:1 ARRIOSTRAMIENTO PARA PLANTA BAJA**



**ESC: 20:1 ARRIOSTRAMIENTO PARA PLANTAS 1, 2, 3 Y 4**

**Ubicación de los Arriostramientos**



**OBSERVACIONES:**

- Tipo de acero ASTM A36.
- Esfuerzo de Fluencia  $F_y$  de 250 MPa.
- Esfuerzo Último  $F_u$  de 400 MPa.
- Módulo de Elasticidad  $E$  de 200 000 MPa.
- Las placas cartela son de acero ASTM A36, con espesor 12 mm.
- Las conexiones empalmadas utilizan pernos ASTM A325 de 3/4" (19 mm).
- El número de pernos por conexión es el indicado en planos, no siendo menor a 8.
- Las separaciones y distancias a borde de los pernos cumplen AISC 360-16.
- Las cartelas se sueldan a vigas y columnas mediante soldadura de filete continuo de 6 mm.
- El electrodo a emplear será E70XX, conforme a AWS D1.1.
- El nudo central se resuelve mediante placa pasante soldada.
- Todas las soldaduras deberán ejecutarse e inspeccionarse conforme a AWS D1.1.
- Todas las dimensiones se encuentran en metros, salvo indicación contraria.

**ZONA DE IMPLANTACIÓN**



**SIMBOLOGÍA:**

- Viga
- Columna
- Arriostramiento
- Conexiones

**OBSERVACIONES:**

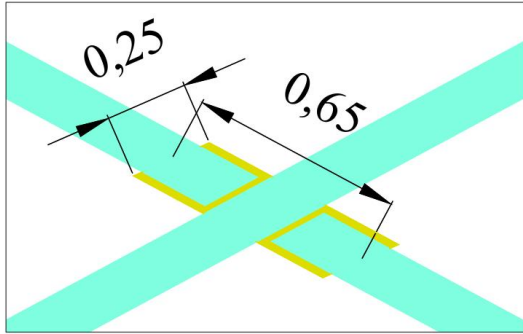


**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

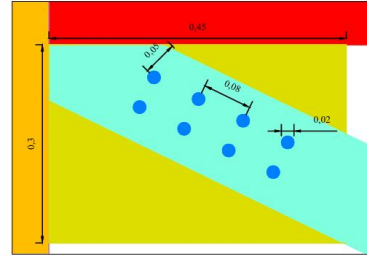
**PROYECTO:**  
Diseño, evaluación estructural y durabilidad de losas en el edificio de parques de 9 niveles en Guayaquil: análisis de estados límite, proyección de vida útil y alternativas de intervención.

**CONTENIDO:**  
DETALLE DE ARRIOSTRAMIENTOS CON SUS RESPECTIVAS CONEXIONES Y METODOLOGÍA DE REFORZAMIENTO

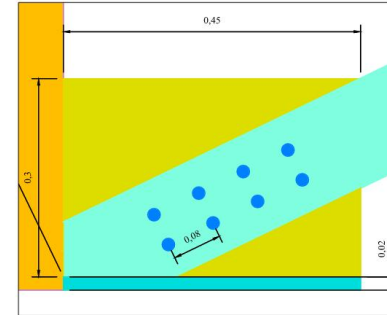
Profesor de Materia Integradora: Lenin Dender Aguilar, M.Sc.	Tutor de Materia Integradora: Luis Sanchez Calderón, M.Sc. PhD.
Estudiantes: Néstor Andrés Villacis Serrano Mike Angelo Mocha Guaman	Período: II PAO 2025
Lámina: 7/8	Escala: Indicadas



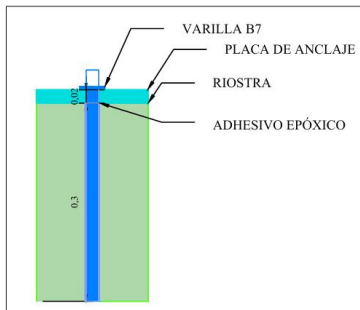
**ESC: 50:1**  
**CONEXIÓN DE ARRIOSTRE**  
**NODO CENTRAL**



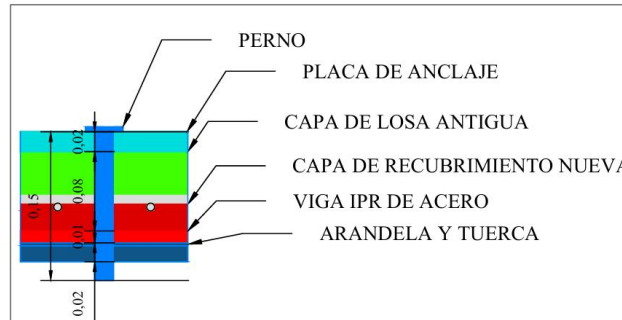
**ESC: 100:1**  
**CONEXIÓN DE**  
**ARRIOSTRE CON**  
**VIGA Y COLUMNA**



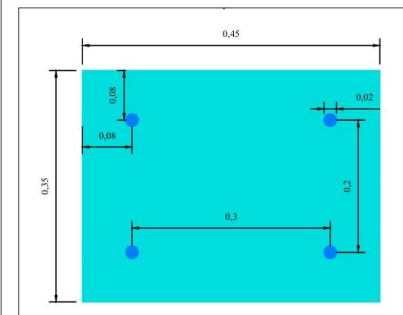
**ESC: 100:1**  
**CONEXIÓN DE**  
**ARRIOSTRE CON**  
**PLACA DE ANCLAJE**  
**Y COLUMNA**



**ESC: 100:1**  
**PERNO DE PLANTA**  
**BAJA**



**ESC: 200:1**  
**PERNO DE LOS PISOS**  
**1-2-3-4**



**ESC: 100:1**  
**PLACA DE ANCLAJE**

**ZONA DE IMPLANTACIÓN**



**SIMBOLOGÍA:**

- Viga
- Columna
- Arriostramento
- Conexiones
- Placa de Anclaje
- Perno

**OBSERVACIONES:**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA**  
**DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN**  
**CIENCIAS DE LA TIERRA**

**PROYECTO:**

Diseño, evaluación estructural y durabilidad de losas en el edificio de parques de 9 niveles en Guayaquil: análisis de estados límite, proyección de vida útil y alternativas de intervención.

**CONTENIDO:**

DETALLE DE ARRIOSTRAMIENTOS CON SUS RESPECTIVAS CONEXIONES Y METODOLOGÍA DE REFORZAMIENTO

Profesor de Materia Integradora:

Lenín Dender  
Aguilar, M.Sc.

Tutor de Materia Integradora:

Luis Sanchez  
Calderón, M.Sc.  
PhD.

Estudiantes:

Néstor Andrés  
Villacis Serrano  
Mike Angelo Mocha  
Guaman

Período:

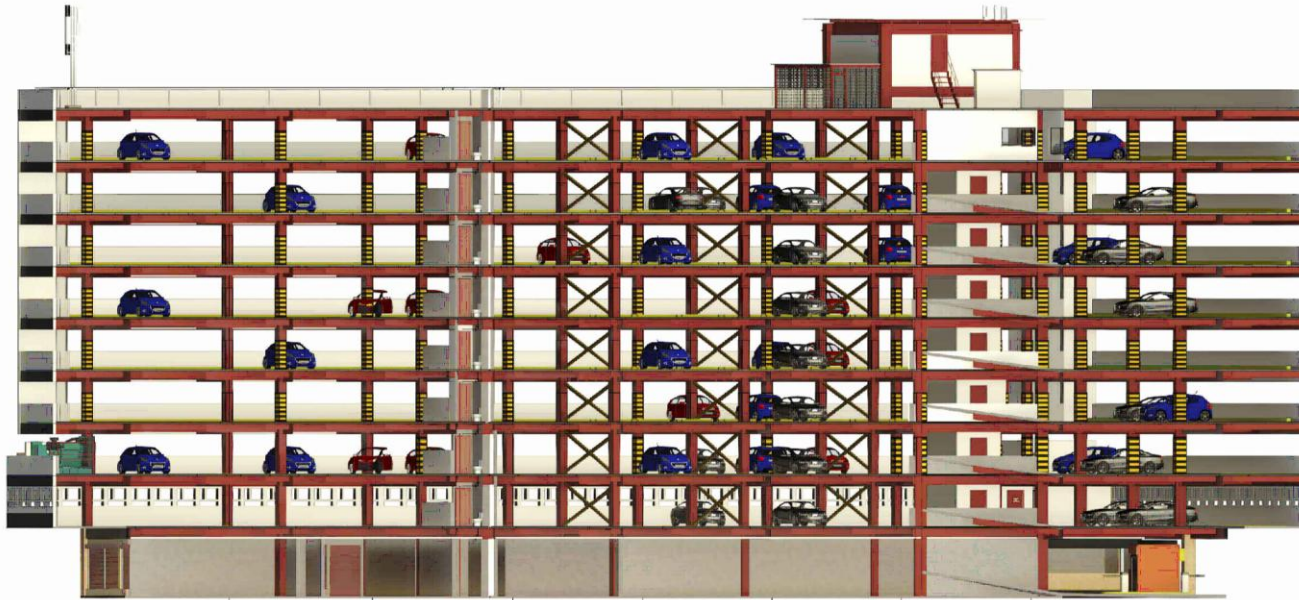
II PAO 2025

Lámina:

8/8

Escala:

Indicadas



CORTE A-A  
1 : 125

ZONA DE IMPLANTACIÓN



SIMBOLOGÍA:

OBSERVACIONES:

- Todas las dimensiones se encuentran en metros, salvo indicación contraria.



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

**PROYECTO:**  
Diseño, evaluación estructural y durabilidad de losas en el edificio de parqueos de 9 niveles en Guayaquil: análisis de estados límite, proyección de vida útil y alternativas de intervención.

CONTENIDO:

CORTE A-A

Profesor de Materia Integradora:  
Lenín Dender  
Aguilar, M.Sc.

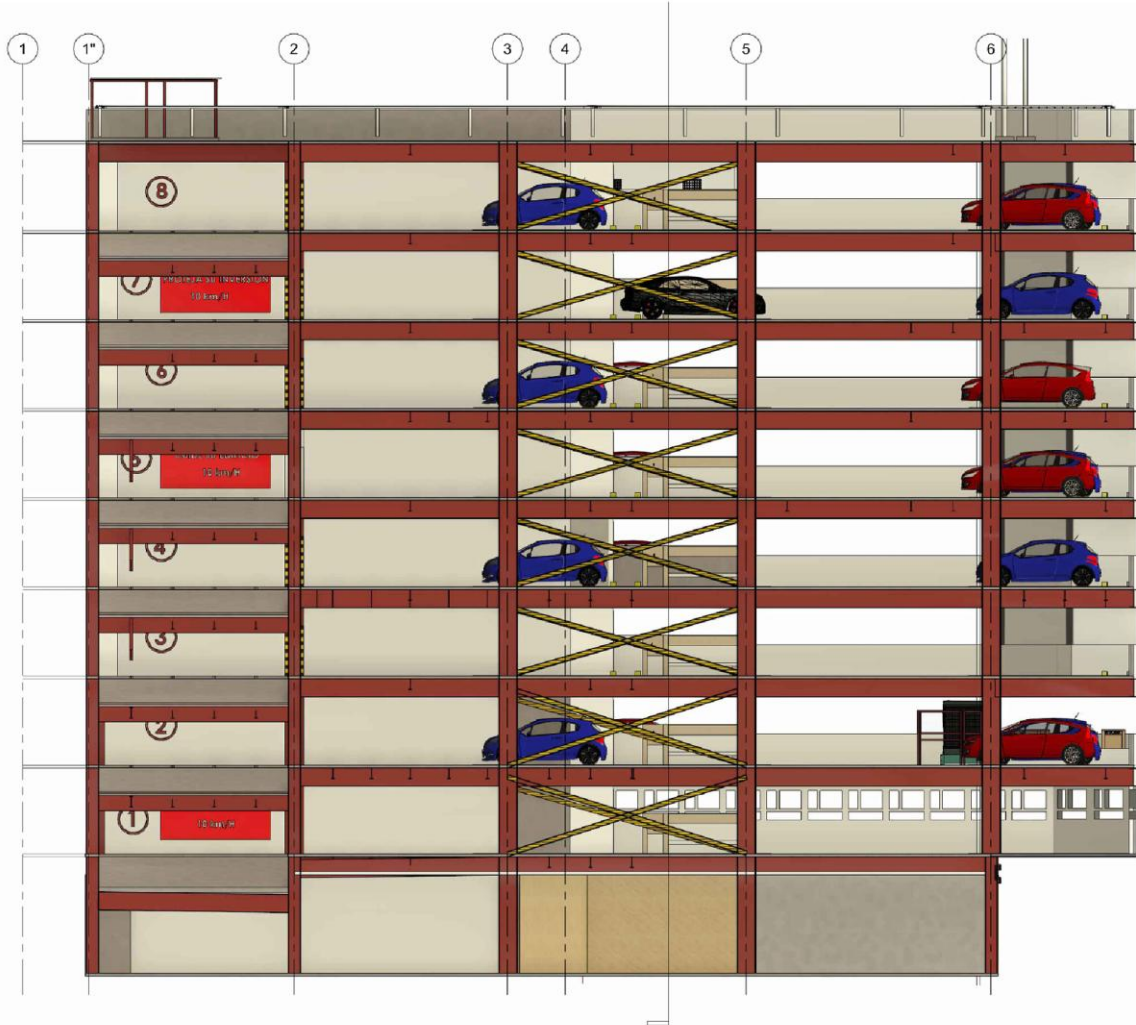
Tutor de Materia Integradora:  
Luis Sanchez  
Calderón, M.Sc.  
PhD.

Estudiantes:  
Néstor Andrés  
Villacis Serrano  
Mike Angelo Mocha  
Guaman

Período:  
II PAO 2025

Lámina:  
REVIT 1

Escala:  
Indicadas



Corte B-B  
1: 75

ZONA DE IMPLANTACIÓN



SIMBOLOGÍA:

OBSERVACIONES:

- Todas las dimensiones se encuentran en metros, salvo indicación contraria.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**PROYECTO:**  
Diseño, evaluación estructural y durabilidad de losas en el edificio de parqueos de 9 niveles en Guayaquil: análisis de estados límite, proyección de vida útil y alternativas de intervención.

CONTENIDO:

PLANTA DEL 3 AL 8 DEL EDIFICIO CENTROPARK

Profesor de Materia Integradora:  
Lenin Dender Aguilar, M.Sc.

Tutor de Materia Integradora:  
Luis Sanchez Calderón, M.Sc. PhD.

Estudiantes:  
Néstor Andrés Villacis Serrano  
Mike Angelo Mocha Guaman

Período:  
II PAO 2025

Límites:  
REVIT 2

Escala:  
Indicadas

## **8.4 Anexos D**

### **MEMORIA TÉCNICA DE LOS RUBROS Y ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)**

#### **1.01 PICADO DE RECUBRIMIENTO LOSA (3.5 cm) INC. ACARREO**

Justificación y Rendimiento: La actividad consiste en picar concreto de  $f_c=280$  kg/cm<sup>2</sup> en posición invertida o "sobre cabeza", lo cual genera una fatiga significativa en el operario. Tomando como referencia que un albañil con rotomartillo en piso logra 2.0 m<sup>2</sup>/h y que en techo el rendimiento desciende al 50-60%, adoptamos para el cálculo un avance de equipo (Albañil + Peón) de 1.11 m<sup>2</sup>/h. Esto resulta en un Factor de Rendimiento (R) de 0.90 horas/m<sup>2</sup>, lo que implica un tiempo operativo de aproximadamente 54 minutos por metro cuadrado.

Cálculo de Materiales: El desgaste de insumos se desglosa considerando que una punta de cincel de calidad (\$12.00 USD) tiene una vida útil promedio de 40 m<sup>2</sup> de picado duro, resultando en un costo unitario de 0.30 USD/m<sup>2</sup>. Adicionalmente, se utilizan lijas o discos de corte para definir los bordes con amoladora pequeña y evitar daños perimetrales; estimando que un disco (\$2.50 USD) rinde 10 m<sup>2</sup>, se asigna un costo de 0.25 USD/m<sup>2</sup>.

#### **1.02 LIMPIEZA MECÁNICA + PUENTE DE ADHERENCIA EPÓXICO**

Cálculo de Superficie y Materiales: La geometría de la losa presenta varillas de 8 mm espaciadas cada 20 cm en dos direcciones. Esto genera una longitud lineal a limpiar de 5 metros en sentido X y 5 metros en sentido Y, sumando un total de 10 metros lineales de varilla por cada m<sup>2</sup> de losa. Para el consumo de epóxico (tipo Sikadur-32), aunque la ficha técnica sugiere entre 0.30 y 0.50 kg/m<sup>2</sup>, adoptamos un promedio de 0.45 kg/m<sup>2</sup> debido a la alta rugosidad de la superficie picada y la necesidad de cubrir los 10 metros de acero.

Rendimiento de Mano de Obra: El proceso involucra el uso de amoladora con copa de acero sobre cabeza, limpieza de polvo y aplicación manual con brocha. Se estiman 20 minutos para la limpieza mecánica y 15 minutos para la aplicación del epóxico, totalizando entre 35 y 40

minutos por unidad. Por consiguiente, se adopta un Factor R de 0.70 horas/m<sup>2</sup> para asegurar una ejecución técnica adecuada.

### **1.03 MORTERO HECHO EN OBRA $f'_c = 21$ MPa + INHIBIDOR**

Volumen y Dosificación: El volumen geométrico para un espesor de 3.5 cm es de 0.035 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Considerando un desperdicio técnico y rebote del 10%, el volumen real a preparar asciende a 0.0385 m<sup>3</sup>. La dosificación para alcanzar  $f'_c=21$  MPa utiliza una proporción volumétrica aproximada de 1:3 (Cemento:Arena). Se requieren 400 kg de cemento por metro cúbico de mortero, lo que resulta en 15.4 kg (0.31 sacos) por unidad. El consumo de arena gruesa, aplicando un factor de esponjamiento de 1.05, es de 0.040 m<sup>3</sup>. Se incorpora el aditivo inhibidor Sika FerroGard 901 al 3% del peso del cemento, equivalente a 0.46 kg (aprox. 0.4 litros).

Rendimiento: La aplicación de mortero en techo mediante el método de capeado, regleado y acabado final permite que una cuadrilla cubra aproximadamente 10 m<sup>2</sup> por jornada. Esto arroja un cálculo de 0.80 horas/m<sup>2</sup>. Sin embargo, para ser conservadores y garantizar el cuidado de los niveles de losa, utilizaremos un Factor R de 1.00 hora/m<sup>2</sup>.

### **1.04 PINTURA ANTICARBONATACIÓN (2 MANOS)**

Consumo de Material: Se especifica una pintura acrílica protectora (tipo Sikagard-550 W Elastic). El consumo teórico es de 0.30 kg/m<sup>2</sup> por mano, sumando 0.60 kg/m<sup>2</sup> para el sistema de dos manos. Debido a la aplicación en cielo raso y la pérdida por goteo en rodillos, se considera un desperdicio del 15%, resultando en una cantidad adoptada de 0.70 kg/m<sup>2</sup> (aproximadamente 0.55 Litros/m<sup>2</sup>).

Rendimiento: Los tiempos operativos se distribuyen en 12 minutos para la primera mano (imprimación), 10 minutos para la segunda mano (acabado) y 5 minutos para recortes y detalles, sumando 27 minutos netos. Se adopta un Factor R de 0.45 horas/m<sup>2</sup> para garantizar una cobertura total sin porosidad.

### **1.05 DESALOJO DE ESCOMBROS (VOLUMEN ESPONJADO)**

Factor de Esponjamiento y Volúmenes: Para el concreto demolido se utiliza un coeficiente volumétrico de expansión de 1.35 (35% de abundamiento). Partiendo de un volumen sólido en banco de 165.42 m<sup>3</sup> (derivado de 4,726.16 m<sup>2</sup> x 0.035 m), el volumen esponjado real a desalojar es de 223.32 m<sup>3</sup>.

Rendimiento del Ciclo: Considerando una volqueta de 8 m<sup>3</sup> y un ciclo completo de 120 minutos (30 min carga + 45 min ida + 15 min descarga + 30 min retorno), el equipo transporta 8 m<sup>3</sup> cada 2 horas. Esto determina un Rendimiento R de 0.25 horas/m<sup>3</sup>.

### **2.01 SUMINISTRO E INSTALACIÓN ARRIOSTRAMIENTOS METÁLICOS**

Composición del Acero: El peso estructural total calculado es de 1,659.94 kg, compuesto por 1,329.06 kg de Tubos 100x150x6mm (80% del peso) y 330.88 kg de Placas de conexión de 12mm (20% del peso). Adicionalmente, se considera un ratio de 0.096 pernos por cada kilogramo de acero estructural.

Rendimiento de Fabricación y Montaje: Dado que el proceso incluye corte, biselado, soldadura de campo y perneado, una cuadrilla de soldador y ayudante procesa un promedio de 12 kg/hora. El Factor R resultante es de 0.0833 horas/kg.

### **2.02 ENCAMISADO COLUMNAS PB (PLACAS 20mm SOLDADAS)**

Peso y Material: Se instalarán placas de acero de 20 mm de espesor (157.00 kg/m<sup>2</sup>) sobre un área total de 42.615 m<sup>2</sup>, generando un peso total del rubro de 6,690.56 kg. Para el análisis de costo se considera el uso de plancha estándar de 1220x2440 mm a un precio referencial de corte de 1.18 USD/kg.

Factor Crítico de Soldadura: El volumen de soldadura para uniones en V en placas de 20 mm requiere depositar 1.96 kg de material por metro lineal. Un soldador en posición vertical ascendente (3G) deposita 1.2 kg/h con una eficiencia real del 30% (Factor de Marcha), lo que

implica 5.44 horas hombre por metro de soldadura. Relacionando esto con el peso de la placa, el rendimiento global adoptado es de 0.12 horas/kg.

### **2.03 Y 2.04 PLACAS DE ANCLAJE Y CONEXIÓN**

Insumos Diferenciados: La placa base estándar de 0.45x0.35x0.02 m tiene un peso de 24.73 kg. Para los Pisos 1-4 (Rubro 2.03), el insumo principal son 4 pernos A325, mientras que para la Planta Baja (Rubro 2.04) se utilizan 4 varillas B7 más adhesivo epóxico.

Rendimiento por Ubicación: En los Pisos 1-4, el izaje, perforación e instalación de pernos A325 toma un total de 3.5 horas/unidad. En Planta Baja, debido a la dificultad de perforación en la riostra y la inyección normativa de epóxico, el tiempo se incrementa a 4.0 horas/unidad.

### **3.01 ENSAYO DE ADHERENCIA (PULL-OFF) – ASTM C1583**

Criterio Técnico y Cantidad: Se realizarán 18 ensayos en total, distribuidos en 2 pruebas por losa para los 8 niveles intervenidos (validando zona central y borde) más 2 ensayos de calibración inicial. El criterio de aceptación exige una ruptura superior a 1.5 MPa con falla en el sustrato.

Justificación del Rendimiento: El flujo de trabajo por lotes incluye 20 minutos de preparación superficial y pegado, 20 minutos de corte perimetral (“coring”) con copa diamantada y 20 minutos de ejecución de tracción. El tiempo de curado del adhesivo se considera tiempo muerto no operativo. El total activo es de 60 minutos, resultando en un Factor R de 1.00 hora/ensayo.

### **3.02 TOMA Y ROTURA DE CUBOS DE MORTERO – ASTM C109**

Muestreo: Se planifican 27 sets de muestras (3 cubos por set). Esto cubre 3 muestreos por piso para los 8 niveles (inicio, medio y fin del vaciado) más 3 sets iniciales para la validación del diseño de mezcla (Trial Batch). Se busca garantizar una resistencia  $f_c \geq 210$  kg/cm<sup>2</sup>.

Rendimiento: El tiempo de técnico incluye 15 minutos de muestreo y homogeneización, 15 minutos de llenado de moldes en capas con apisonado y 10 minutos de etiquetado y protección. El rendimiento adoptado es de 0.50 horas/set.

### **3.03 INSPECCIÓN DE SOLDADURAS (TINTAS PENETRANTES) – AWS D1.1**

Alcance: Se contempla 1 visita técnica integral (Global) al finalizar la soldadura de las 6 columnas de Planta Baja. El inspector nivel II revisará el 100% visualmente y aplicará tintas según ASTM E165 en puntos críticos para detectar discontinuidades superficiales.

Desglose de la Jornada: El rendimiento de 8.00 horas/global incluye 2 horas de limpieza previa de las juntas, 2 horas de aplicación y tiempo de penetración (dwell time), 3 horas de revelado e inspección detallada, y 1 hora para la elaboración del informe de liberación en sitio.

### **3.04 PACHOMETRÍA / ESCANEO DE ACERO**

Objetivo y Cantidad: Se requieren 2 jornadas completas de escaneo para evitar cortes de acero estructural durante las perforaciones y mapear zonas libres para ensayos. La primera jornada se dedica a las columnas de Planta Baja y la segunda al recorrido de vigas en los Pisos 1 al 4.

Rendimiento: Cada jornada de 8 horas abarca calibración del equipo y marcado de cuadrícula (1 h), escaneo "Quickscan" (4 h), marcado físico con spray sobre el hormigón (2 h) y verificación cruzada con las placas a fabricar (1 h). Factor R de 8.00 horas/jornada.

### **4.01 BARRERAS VISUALES Y ANTIPOLVO (MALLA SARÁN)**

Especificación y Cantidad: Se utilizará malla Sarán al 80% de sombra para permitir el paso del viento y evitar el "efecto vela", reteniendo a la vez el material particulado. Se presupuestan 200 m<sup>2</sup> bajo una estrategia de frente móvil reutilizable, cubriendo el perímetro activo de trabajo más un 10% de traslape.

Rendimiento: La instalación, mantenimiento y rotación de la malla implica habilitado, fijación con alambre galvanizado y desmontaje. Una pareja de ayudante y peón instala 100 m<sup>2</sup> por día, lo que resulta en un cálculo de 0.16 horas/m<sup>2</sup>, ajustado a un Factor R de 0.15 horas/m<sup>2</sup>.

#### **4.02 GESTIÓN DE DESECHOS PELIGROSOS**

Identificación y Cantidad Se estima la gestión de 50 kg de residuos peligrosos, consistentes en envases metálicos de epóxicos y pinturas, así como material absorbente contaminado (waypes). El cálculo se deriva del peso promedio de 60-80 envases vacíos más el material de limpieza.

Logística: El rendimiento de 0.10 horas/kg corresponde a la logística de segregación en la fuente, pesaje, etiquetado y traslado a la bodega temporal, estimando 6 minutos de manipulación por cada kilogramo de residuo.

#### **4.03 KIT DE CONTROL DE DERRAMES QUÍMICOS**

Composición: Se implementan 2 unidades (1 estacionaria en bodega y 1 móvil en frente de trabajo). Cada kit debe contener salchichas absorbentes para contención, paños oleofílicos y material granular, además de EPP específico (guantes de nitrilo).

Rendimiento de Implementación: El tiempo de 0.50 horas/unidad cubre la verificación y armado lógico del contenedor (0.25 h) y la inducción básica al personal sobre su uso correcto y secuencia de respuesta (0.25 h).

#### **4.04 SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD Y LIMPIEZA FINAL**

Alcance Global: Este rubro "Suma Alzada" abarca la señalización normativa (INEN-ISO 3864-1, IESS) durante la obra y la limpieza técnica final con hidrolavadora (hydro-blasting) para entregar los 4,700 m<sup>2</sup> libres de manchas químicas y polvo.

Rendimiento Se calcula en base a una semana de cierre (40 horas equipo). Esto incluye el mantenimiento continuo de la señalética y una jornada intensiva de lavado final donde una cuadrilla avanza aproximadamente 1,000 m<sup>2</sup>/día. El Factor R adoptado es de 40.0 horas/Global.

## 8.5 Anexos E

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 1.01 HOJA: 1  
 DETALLE: PICADO DE RECUBRIMIENTO LOSA (3.5 CM) - INCLUYE ACARREO INTERNO DE: 17 UNIDAD: m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Rotomartillo Industrial (11kg)	1,0000	3,5000	3,50000	0,9000	3,15000
Andamios Metálicos (2 cuerpos)	1,00000	1,00000	1,00000	0,90000	0,90000
Herramientas menores	-	-	-	-	0,43875
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>4,48875</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Albañil (Operador Equipo)	1,00000	5,50000	5,50000	0,90000	4,95000
Peón (Ayudante)	1,00000	4,25000	4,25000	0,90000	3,82500
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>8,77500</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Punta Cíncel Plano/Punta (Desgaste)	Unidad	0,025	12	0,30000	
Disco Diamantado 4.5" (Corte bordes)	Unidad	0,1	2,5	0,25000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>0,55000</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 13,81375</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					<b>\$ 2,76275</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0,00%</b>					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 16,57650</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 16,58</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
 FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA: 2

DE: 17

UNIDAD: m2

RUBRO: 1.02

DETALLE: LIMPIEZA MECÁNICA DE ARMADURA Y APLICACIÓN DE PUENTE DE ADHERENCIA EPÓXICO

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Amoladora Pequeña (4.5")	1,00000	1,5000	1,50000	0,7000	1,05000
Andamios Metálicos (2 cuerpos)	1,00000	1,00000	1,00000	0,70000	0,70000
Herramientas menores	-	-	-	-	0,34125
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>2,09125</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Albañil (Operador Equipo)	1,00000	5,50000	5,50000	0,70000	3,85000
Peón (Ayudante)	1,00000	4,25000	4,25000	0,70000	2,97500
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>6,82500</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Puente Adherencia Epóxico (Sikadur 32)	kg	0,45	22	9,90000	
Copa Grata Trenzada 4" (Acero)	Unidad	0,04	12	0,48000	
Brocha 3" (Aplicación)	Unidad	0,1	1,5	0,15000	
Thinner (Limpieza equipos)	L	0,05	2	0,10000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>10,63000</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 19,54625</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					<b>\$ 3,90925</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0,00%</b>					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 23,45550</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 23,46</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 1.03 **HOJA:** 3  
**DETALE:** RELLENO CON MORTERO 21MPA (HECHO EN OBRA) + INHIBIDOR (Espesor 3.5 cm) **DE:** 17  
**UNIDAD:** m2

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Concretera 1 saco	1,00000	3,5000	3,50000	1,0000	3,50000
Andamios Metálicos (2 cuerpos)	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
Herramientas menores	-	-	-	-	0,48750
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>4,98750</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Albañil (Operador Equipo)	1,00000	5,50000	5,50000	1,00000	5,50000
Peón (Ayudante)	1,00000	4,25000	4,25000	1,00000	4,25000
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>9,75000</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Cemento Portland (Tipo I/IP)	Saco 50 kg	0,31	8,5	2,63500	
Arena Gruesa Lavada (s/piedra)	m3	0,04	25	1,00000	
Sika FerroGard 901 (Inhibidor)	kg	0,46	16	7,36000	
Thinner (Limpieza equipos)	m3	0,01	2	0,02000	
Agua Potable					
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>11,01500</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 25,75250</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					<b>\$ 5,15050</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0,00%</b>					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 30,90300</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 30,90</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
 FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 1.04 **HOJA:** 4  
**DETALLE:** PINTURA ANTICARBONATACIÓN (2 MANOS) - CIELO RASO **DE:** 17  
**UNIDAD:** m2

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Andamios Metálicos (2 cuerpos)	1,00000	1,00000	1,00000	0,45000	0,45000
Herramientas menores	-	-	-	-	0,21938
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,66938</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Pintor (Operador Equipo)	1,00000	5,50000	5,50000	0,45000	2,47500
Peón (Ayudante)	1,00000	4,25000	4,25000	0,45000	1,91250
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>4,38750</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Pintura Anticarbonatación (Sikagard)	L	0,55	12	6,60000	
Rodillo Felpa Antigota (9")	Unidad	0,05	4,5	0,22500	
Brocha 3" (Recortes)	Unidad	0,05	1,5	0,07500	
Plástico/Cartón Protección piso	m2	1,1	0,3	0,33000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>7,23000</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 12,28688</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					<b>\$ 2,45738</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0,00%</b>					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 14,74425</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 14,74</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 1.05 HOJA: 5  
 DETALLE: DESALOJO DE ESCOMBROS (CARGUÍO Y TRANSPORTE A BOTADERO) DE: 17 UNIDAD: m3

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Volqueta 8m3	1,00000	25,0000	25,00000	0,2500	6,25000
Minicargadora (Bobcat)	0,50000	18,00000	9,00000	0,25000	2,25000
Herramientas menores	-	-	-	-	0,12813
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>8,62813</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Chofer Profesional (Tipo E)	1,00000	6,00000	6,00000	0,25000	1,50000
Peón (Ayudante)	1,00000	4,25000	4,25000	0,25000	1,06250
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>2,56250</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Tasa Municipal Botadero	m3	1	2,5	2,50000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>2,50000</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
(Incluido en Equipo)					
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,00</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 13,69063</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>					<b>20,00%</b>
					<b>\$ 2,73813</b>
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					<b>0,00%</b>
					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 16,42875</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 16,43</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
 FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 2.01 **HOJA:** 6  
**DETALLE:** SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ARRIOSTRAMIENTOS (TUBO + PLACAS 12MM +  
 PERNOS **DE:** 17  
**UNIDAD:** kg

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Soldadora Industrial (250A)	1,00000	4,5000	4,50000	0,0833	0,37485
Equipo Oxicorte / Tronzadora	0,50000	3,00000	1,50000	0,0833	0,12495
Andamios / Tecele de montaje	1,00000	2,00000	2,00000	0,0833	0,16660
Herramientas menores	-	-	-	-	0,04894
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,71534</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Soldador Calificado (4G/6G)	1,00000	7,50000	7,50000	0,0833	0,62475
Peón (Ayudante)	1,00000	4,25000	4,25000	0,0833	0,35403
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,97878</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Tubo Estructural 100x150x6mm	kg	0,84	2,2	1,84800	
Plancha Acero A36 (12mm)	kg	0,22	1,9	0,41800	
Perno Grado 8.8 (c/tuerca/arandela)	Unidad	0,096	3,5	0,33600	
Electrodos 7018 (Soldadura)	kg	0,035	4,5	0,15750	
Discos Corte/Desbaste	Unidad	0,02	2,5	0,05000	
Fondo Anticorrosivo (Taller/Sitio)	L	0,015	6	0,09000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>2,89950</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Transporte Materiales (Camión)	Global	0,001	150	0,15000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,15</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 4,74361</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					<b>\$ 0,94872</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0,00%</b>					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 5,69234</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 5,69</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 2.02 HOJA: 7  
 DETALLE: ENCAMISADO DE COLUMNAS (PLACAS 20MM, SOLDADURA CJP Y TAPONES) DE: 17 UNIDAD: kg

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Soldadora Industrial 400A (Rectificadora)	1,00000	5,0000	5,00000	0,1200	0,60000
Equipo de Oxicorte (Botellas grandes)	0,80000	3,50000	2,80000	0,1200	0,33600
Taladro Base Magnética (Para Tapones)	0,50000	4,00000	2,00000	0,1200	0,24000
Andamios Metálicos	1,00000	1,00000	1,00000	0,1200	0,12000
Herramientas menores	-	-	-	-	0,08400
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>1,38000</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Soldador Homologado (AWS D1.1 - Ayudante Mecánico / Armador)	1,00000	8,50000	8,50000	0,1200	1,02000
	1,00000	5,50000	5,50000	0,1200	0,66000
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>1,68000</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Plancha Acero A36 (20mm) - Opción 1220x2440	kg	1,1	1,18	1,29800	
Electrodos 7018 (1/8" y 5/32")	kg	0,06	4,5	0,27000	
Gases (Oxígeno + Acetileno)	m3	0,08	6	0,48000	
Discos de Desbaste y Corte 9"	Unidad	0,04	4,5	0,18000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>2,22800</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Transporte Planchas (Camión Grúa)	kg	1,00000	0,15000	0,15000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,15</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 5,43800</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					<b>\$ 1,08760</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0,00%</b>					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 6,52560</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 6,53</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 2.03 **HOJA:** 8  
**DETALLE:** PLACAS DE CONEXIÓN EN VIGAS (PISOS 1-4) INC. 4 PERNOS A325 **DE:** 17  
**UNIDAD:** Unidad

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Soldadora Industrial	1,00000	4,5000	4,50000	3,5000	15,75000
Taladro Magnético / Manual	1,00000	3,50000	3,50000	3,5000	12,25000
Andamios Metálicos	1,00000	1,00000	1,00000	3,5000	3,50000
Herramientas menores	-	-	-	-	1,79375
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>33,29375</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Soldador / Montador	1,00000	6,00000	6,00000	3,5000	21,00000
Peón (Ayudante)	1,00000	4,25000	4,25000	3,5000	14,87500
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>35,87500</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Plancha Acero 20mm (0.45x0.35)	kg	24,73	1,18	29,18140	
Perno A325 3/4" x 150mm (c/tuerca)	Unidad	4	8,5	34,00000	
Electrodos 7018	kg	0,6	4,5	2,70000	
Discos de Corte / Desbaste	Global	1	2,5	2,50000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>68,38140</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Acarreo Materiales	Global	1,00000	2,00000	2,00000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>2,00</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 139,55015</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					<b>\$ 27,91003</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0,00%</b>					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 167,46018</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 167,46</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 2.04 **HOJA:** 9  
**DETALLE:** PLACAS DE ANCLAJE A CIMENTACIÓN (PLANTA BAJA) INC. VARILLAS B7 + EPÓXICO **DE:** 17  
**UNIDAD:** Unidad

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Taladro Percutor Industrial	1,00000	4,5000	4,50000	4,0000	18,00000
Soldadora Industrial	0,50000	4,50000	2,25000	4,0000	9,00000
Andamios Metálicos	1,00000	1,00000	1,00000	4,0000	4,00000
Herramientas menores	-	-	-	-	2,05000
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>33,05000</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Soldador / Montador	1,00000	6,00000	6,00000	4,0000	24,00000
Peón (Ayudante)	1,00000	4,25000	4,25000	4,0000	17,00000
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>41,00000</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Plancha Acero 20mm (0.45x0.35)	kg	24,73	1,18	29,18140	
Varilla B7 3/4" x 300mm (c/tuerca)	Unidad	4	7,5	30,00000	
Epóxico (Cartucho 600ml)	Unidad	0,3	45	13,50000	
Electrodos 7018	kg	0,6	4,5	2,70000	
Discos de Corte / Desbaste	Global	1	3,5	3,50000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>78,88140</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Acarreo Materiales	Global	1,00000	2,00000	2,00000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>2,00</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 154,93140</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>					<b>20,00%</b>
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					<b>0,00%</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 185,91768</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 185,92</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 3.01 **HOJA:** 10  
**DETALLE:** Ensayos de Adherencia (Pull-off) ASTM C1583 **DE:** 17  
**UNIDAD:** Unidad

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Equipo de Pull-Off (Dyna Tester / Elcomete)	1,00000	15,0000	15,00000	1,0000	15,00000
Taladro Manual con broca copa 50mm	1,00000	2,50000	2,50000	1,0000	2,50000
Herramientas menores	-	-	-	-	0,61250
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>18,11250</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Laboratorista Senior (Técnico Certificado)	1,00000	8,00000	8,00000	1,0000	8,00000
Ayudante de Laboratorio	1,00000	4,25000	4,25000	1,0000	4,25000
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>12,25000</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Disco de Acero (Dolly) 50mm (Consumible)	Unidad	1	8	8,00000	
Adhesivo Epóxico de Curado Rápido (Sikadur 31 o sim.)	Global	0,1	35	3,50000	
Insumos Varios (Lijas, acetona, waype)	Global	1	2	2,00000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>13,50000</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Movilización Equipo y Personal (Prorrato)	Global	0,05000	35,00000	1,75000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>1,75</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 45,61250</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>					<b>20,00%</b>
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					<b>0,00%</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 54,73500</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 54,74</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
 FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 3.02 **HOJA:** 11  
**DETALE:** TOMA Y ROTURA DE CUBOS/CILINDROS DE MORTERO (SET X 3) **DE:** 17  
**UNIDAD:** Unidad

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Moldes Metálicos (Cubos 50mm)	3,00000	0,5000	1,50000	0,5000	0,75000
Varilla de Apisonar y Cuchara	1,00000	0,20000	0,20000	0,5000	0,10000
Cono de Fluidéz (Para mortero)	1,00000	0,50000	0,50000	0,5000	0,25000
Herramientas menores	-	-	-	-	0,26875
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>1,36875</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Laboratorista de Obra (Toma de muestra)	1,00000	6,50000	6,50000	0,5000	3,25000
Ayudante (Limpieza de moldes)	1,00000	4,25000	4,25000	0,5000	2,12500
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>5,37500</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Servicio de Laboratorio (Rotura/Compresión)	Global	1	8	8,00000	
Etiquetas y Marcadores	Global	1	0,2	0,20000	
Desmoldante / Aceite Mineral	Global	0,1	1,5	0,15000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>8,35000</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Traslado de Muestras al Lab (Camioneta)	Global	1,00000	0,17000	0,17000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,17</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 15,26375</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					<b>\$ 3,05275</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0,00%</b>					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 18,31650</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 18,32</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
 FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 3.03 **HOJA:** 12  
**DETALLE:** INSPECCIÓN DE SOLDADURAS (TINTAS PENETRANTES) - AWS D1.1 **DE:** 17  
**UNIDAD:** Global

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Kit de Limpieza Mecánica (Gratas, linterna)	1,00000	2,0000	2,00000	8,0000	16,00000
Herramienta Menor (Galga de soldadura, tenazas)	1,00000	1,00000	1,00000	8,0000	8,00000
Herramientas menores	-	-	-	-	11,70000
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>35,70000</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Inspector de Soldadura Certificado (CWI /	1,00000	25,00000	25,00000	8,0000	200,00000
Ayudante (Limpieza y preparación de superficies)	1,00000	4,25000	4,25000	8,0000	34,00000
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>234,00000</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Kit de Tintas (Penetrante, Revelador, Limpiador) - Marca	Global	2	45	90,00000	
Insumos de limpieza (Waype industrial, solvente)	Global	1	15	15,00000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>105,00000</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Viáticos y Movilización Inspector (Logística)	Global	1,00000	30,00000	30,00000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>30,00</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 404,70000</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>					<b>20,00%</b> <b>\$ 80,94000</b>
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					<b>0,00%</b> <b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 485,64000</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 485,64</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
 FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 3.04 **HOJA:** 13  
**DETALLE:** PACHOMETRÍA / ESCANEADO DE ACERO PREVIO (JORNADA) **DE:** 17  
**UNIDAD:** Global

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Escáner de Concreto (Tipo Hilti PS 50 / Bos	1,00000	10,0000	10,00000	8,0000	80,00000
Taladro (Para calas exploratorias si fuese ne	0,50000	2,00000	1,00000	8,0000	8,00000
Herramientas menores	-	-	-	-	5,10000
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>93,10000</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Técnico Operador de Escáner	1,00000	8,50000	8,50000	8,0000	68,00000
Ayudante (Marcaje y limpieza)	1,00000	4,25000	4,25000	8,0000	34,00000
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>102,00000</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Aerosoles de Marcaje (Colores vivos)	Unidad	2	4,5	9,00000	
Tizas industriales, marcadores y cinta	Global	1	5	5,00000	
Pilas / Baterías recargables (Consumo)	Global	1	6	6,00000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>20,00000</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Movilización Equipo Electrónico (Seguro)	Global	1,00000	30,00000	30,00000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>30,00</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 245,10000</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>					<b>20,00%</b>
					<b>\$ 49,02000</b>
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					<b>0,00%</b>
					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 294,12000</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 294,12</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
 FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 4.01 HOJA: 14  
 DETALLE: BARRERAS VISUALES Y ANTIPOLVO (MALLA SARÁN) DE: 17  
 UNIDAD: m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Andamios (Se aprovechan los de obra, cargo)	0,10000	1,00000	0,10000	0,1500	0,01500
Herramientas menores	-	-	-	-	0,06375
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,07875</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Ayudante (Instalador)	1,00000	4,25000	4,25000	0,1500	0,63750
Peón (Apoyo y acarreo)	1,00000	4,25000	4,25000	0,1500	0,63750
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>1,27500</b>
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Malla Sarán Verde 80% Sombra (Rollo 4m ancho)	m2	1,1	0,85	0,93500	
Alambre de amarre galvanizado #18	kg	0,05	2,5	0,12500	
Tiras de madera o Soportes plásticos (Refuerzo)	Global	0,05	1,5	0,07500	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>1,13500</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Acarreo Interno de Material	Global	1,00000	0,05000	0,05000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,05</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 2,53875</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					<b>\$ 0,50775</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0,00%</b>					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 3,04650</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 3,05</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
 FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:** 4.02 **HOJA:** 15  
**DETALLE:** GESTIÓN DE DESECHOS PELIGROSOS (GESTOR AUTORIZADO) **DE:** 17  
**UNIDAD:** kg

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Taladro Percutor Industrial	1,00000	0,2000	0,20000	0,1000	0,02000
Herramientas menores	-	-	-	-	0,02125
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,04125</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón (Ayudante)	1,00000	4,25000	4,25000	0,1000	0,42500
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>0,42500</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Tarifa de Gestor Ambiental (Incineración/Celda Seguridad)	kg	1	2,5	2,50000	
Fundas Rojas Industriales (Galga gruesa 4 mil)	Unidad	0,2	0,4	0,08000	
Etiquetas Adhesivas de Identificación (Norma INEN)	Unidad	1	0,15	0,15000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>2,73000</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Recolección (Prorrateo visita camión gestor)	kg	1,00000	0,31000	0,31000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0,31</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 3,50625</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>					<b>20,00%</b>
					<b>\$ 0,70125</b>
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					<b>0,00%</b>
					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 4,20750</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 4,21</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
 FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 4.03 HOJA: 16  
 DETALLE: KIT DE CONTROL DE DERRAMES QUÍMICOS (CAP. 15 GALONES) DE: 17 UNIDAD: Unidad

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramientas menores	-	-	-	-	0,13750
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,13750</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Bodeguero / Prevencionista (Armado)	1,00000	5,50000	5,50000	0,5000	2,75000
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>2,75000</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Contenedor Plástico (Tanque 20 gl con tapa hermética)	Unidad	1	15	15,00000	
Cordones/Salchichas Absorbentes (3 pulg x 4 pies)	Unidad	4	5,5	22,00000	
Paños Absorbentes (Pack x 20)	Global	1	25	25,00000	
Absorbente Granular Mineral (Saco 5kg)	Saco	1	8	8,00000	
Guantes de Nitrilo (Resistentes a químicos)	Unidad	2	2,5	5,00000	
Gafas de Protección (Splash goggles)	Unidad	1,00000	3,50000	3,50000	
Fundas Rojas y Precintos	Global	1,00000	1,00000	1,00000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>79,50000</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Acarreo Materiales	Global	1,00000	2,73000	2,73000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>2,73</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 85,11750</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20,00%</b>					<b>\$ 17,02350</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0,00%</b>					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 102,14100</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 102,14</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

\_\_\_\_\_  
 FIRMA

## ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 4.04 HOJA: 17  
 DETALLE: SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD Y LIMPIEZA FINAL TÉCNICA DE: 17 UNIDAD: Global

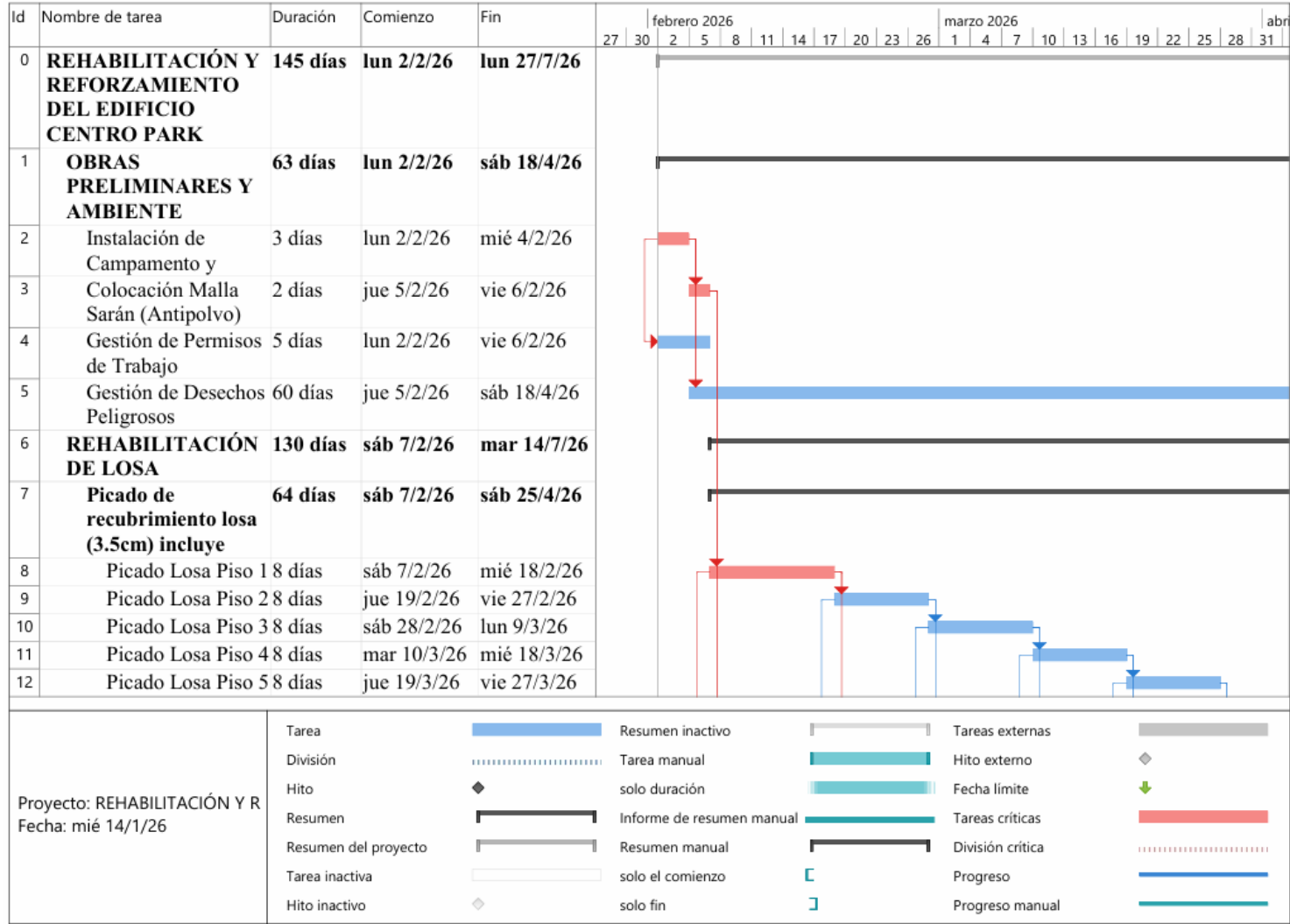
<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Hidrolavadora Industrial (Presión 3000 PSI)	1,00000	3,5000	3,50000	40,0000	140,00000
Aspiradora Industrial (Polvo fino)	0,50000	2,00000	1,00000	40,0000	40,00000
Herramientas menores	-	-	-	-	25,50000
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>205,50000</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón (Limpieza y lavado)	2,00000	4,25000	8,50000	40,0000	340,00000
Peón (Ayudante)	1,00000	4,25000	4,25000	40,0000	170,00000
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>510,00000</b>
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Letreros de Seguridad (Sintra 3mm - "Uso de Casco", etc.)	Unidad	12	8	96,00000	
Cinta de Peligro (Amarilla/Negra) - Rollos 500m	Unidad	4	12	48,00000	
Desengrasante Industrial Biodegradable	Galon	5	15	75,00000	
Disolvente (Thinner) para manchas de pintura	Galon	2	8	16,00000	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>235,00000</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Retiro final de basura menuda (Camioneta)	Global	1,00000	25,00000	25,00000	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>25,00</b>
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>\$ 975,50000</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>					<b>20,00%</b>
					<b>\$ 195,10000</b>
<b>OTROS INDIRECTOS</b>					<b>0,00%</b>
					<b>\$ 0,00000</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>\$ 1.170,60000</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>\$ 1.170,60</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

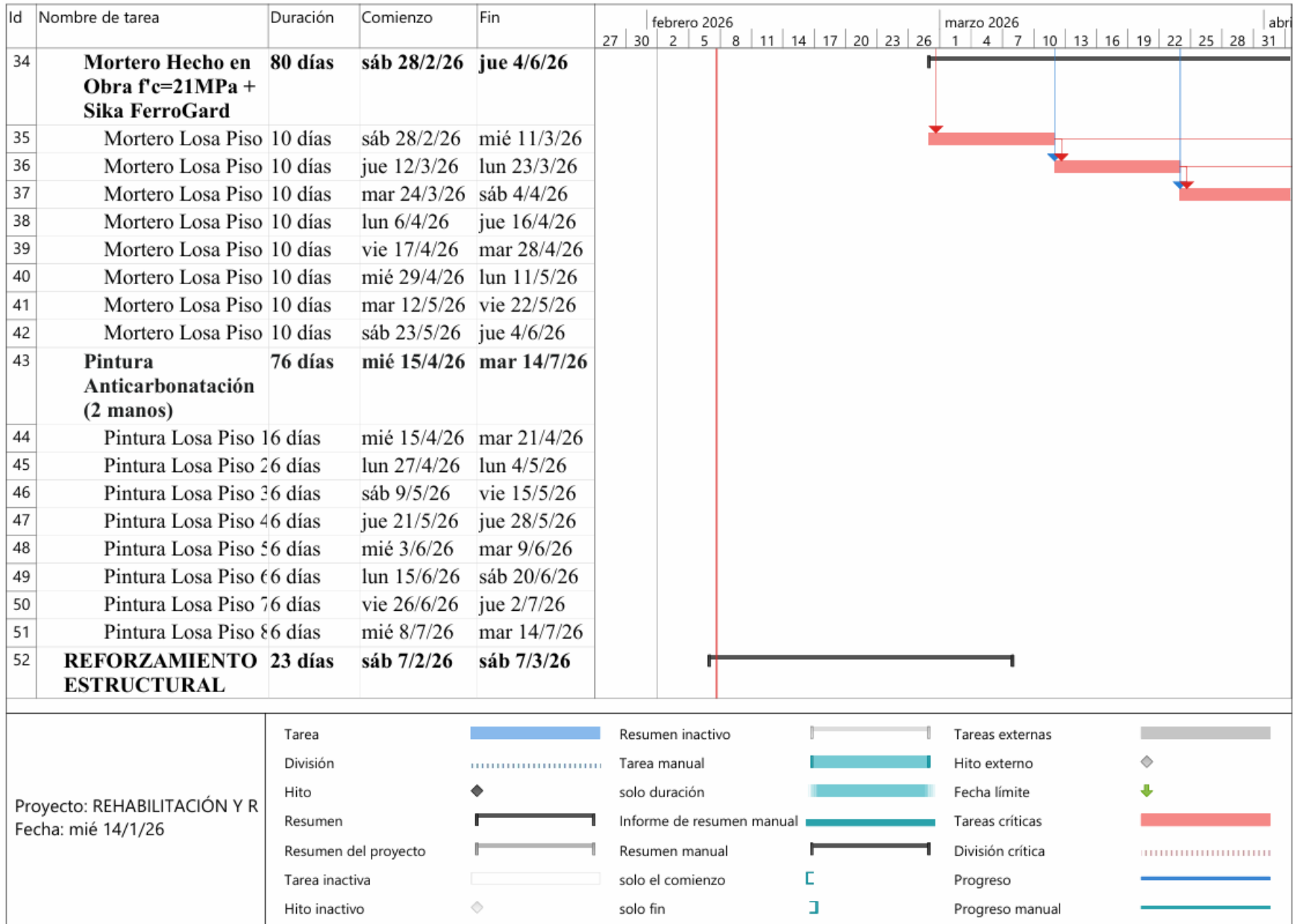
GUAYAQUIL, NOVIEMBRE DEL 2025

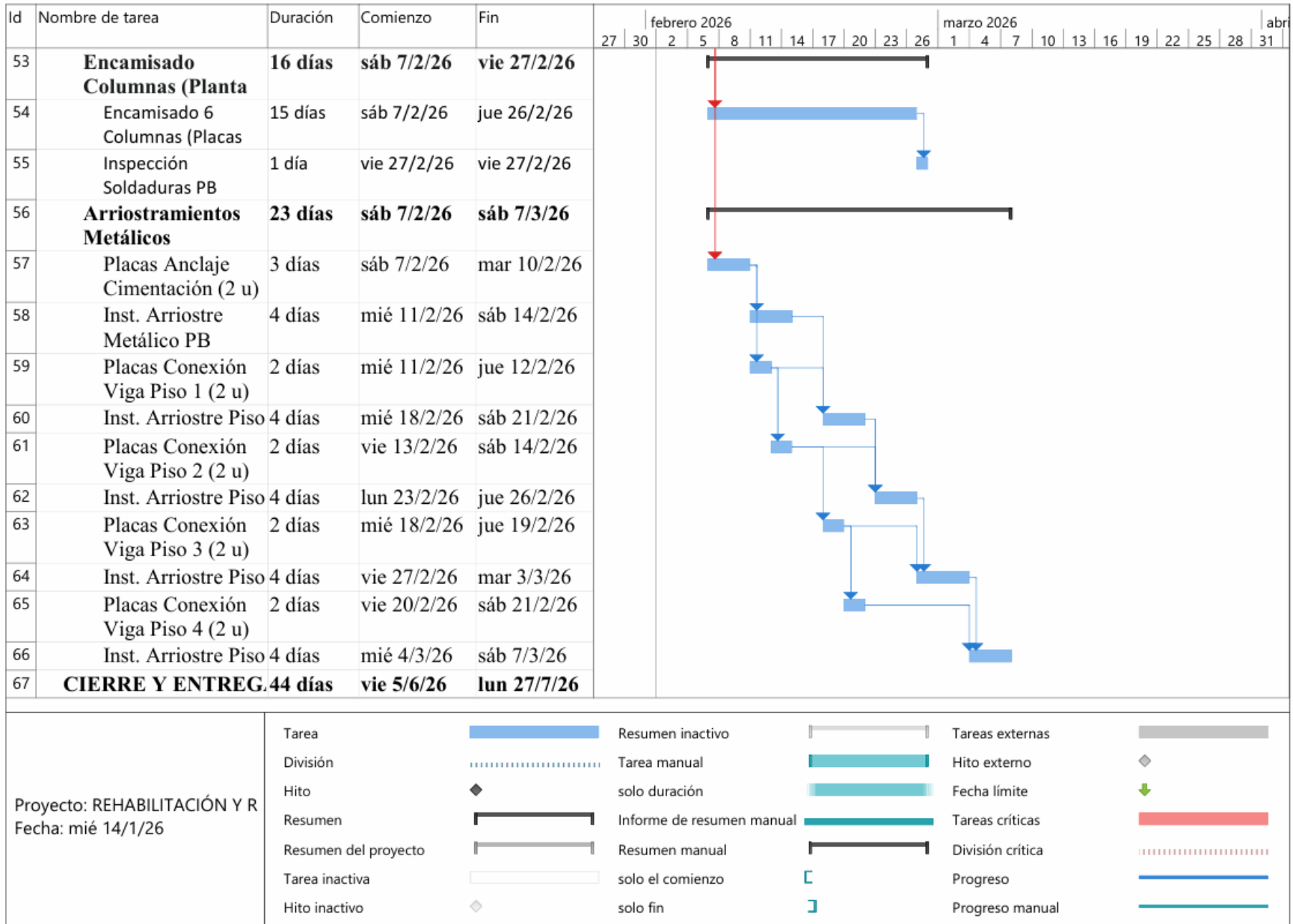
FIRMA

8.6 Anexo F







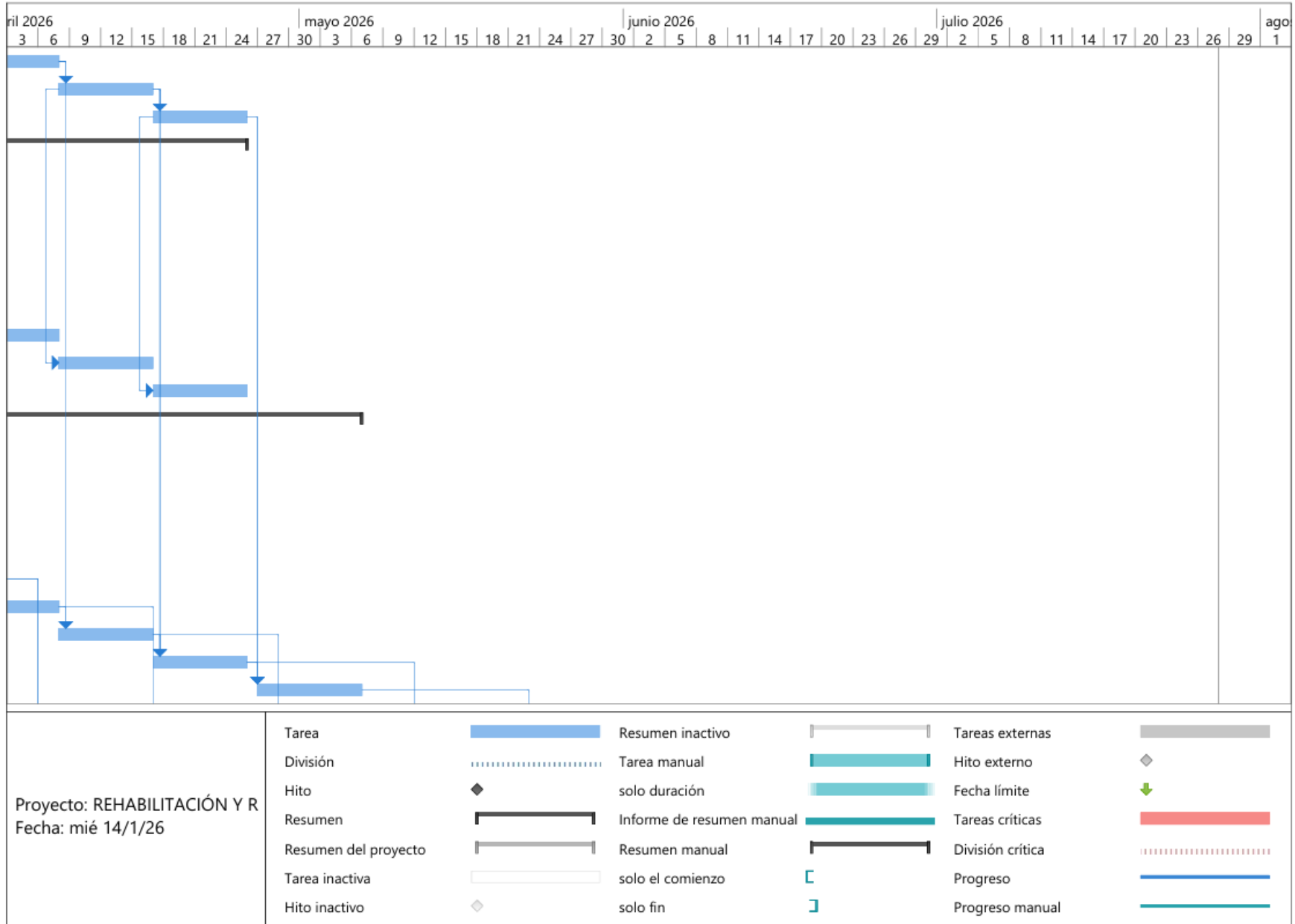


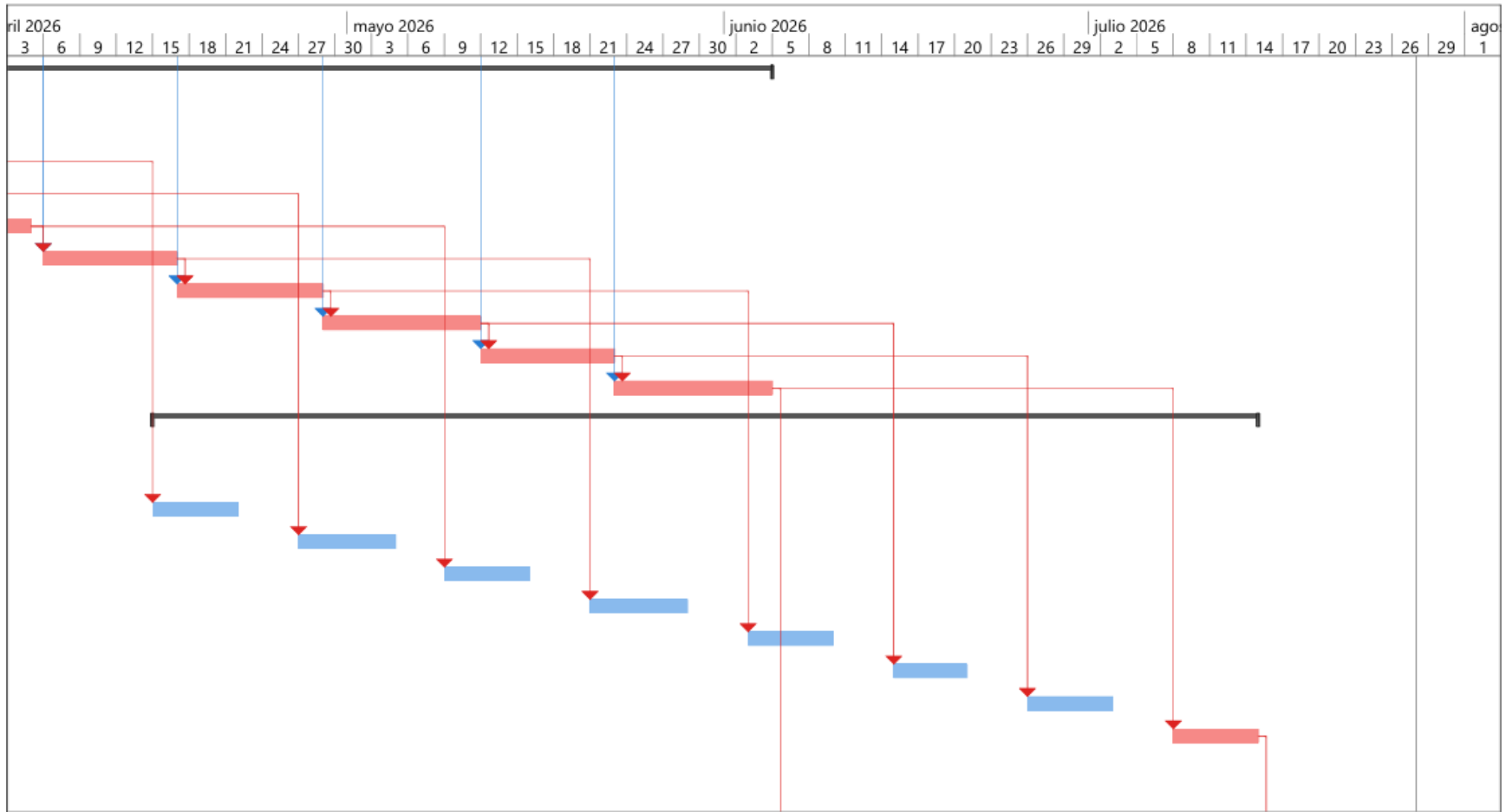




Proyecto: REHABILITACIÓN Y R  
 Fecha: mié 14/1/26

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Tareas críticas	
Resumen del proyecto		Resumen manual		División crítica	
Tarea inactiva		solo el comienzo		Progreso	
Hito inactivo		solo fin		Progreso manual	



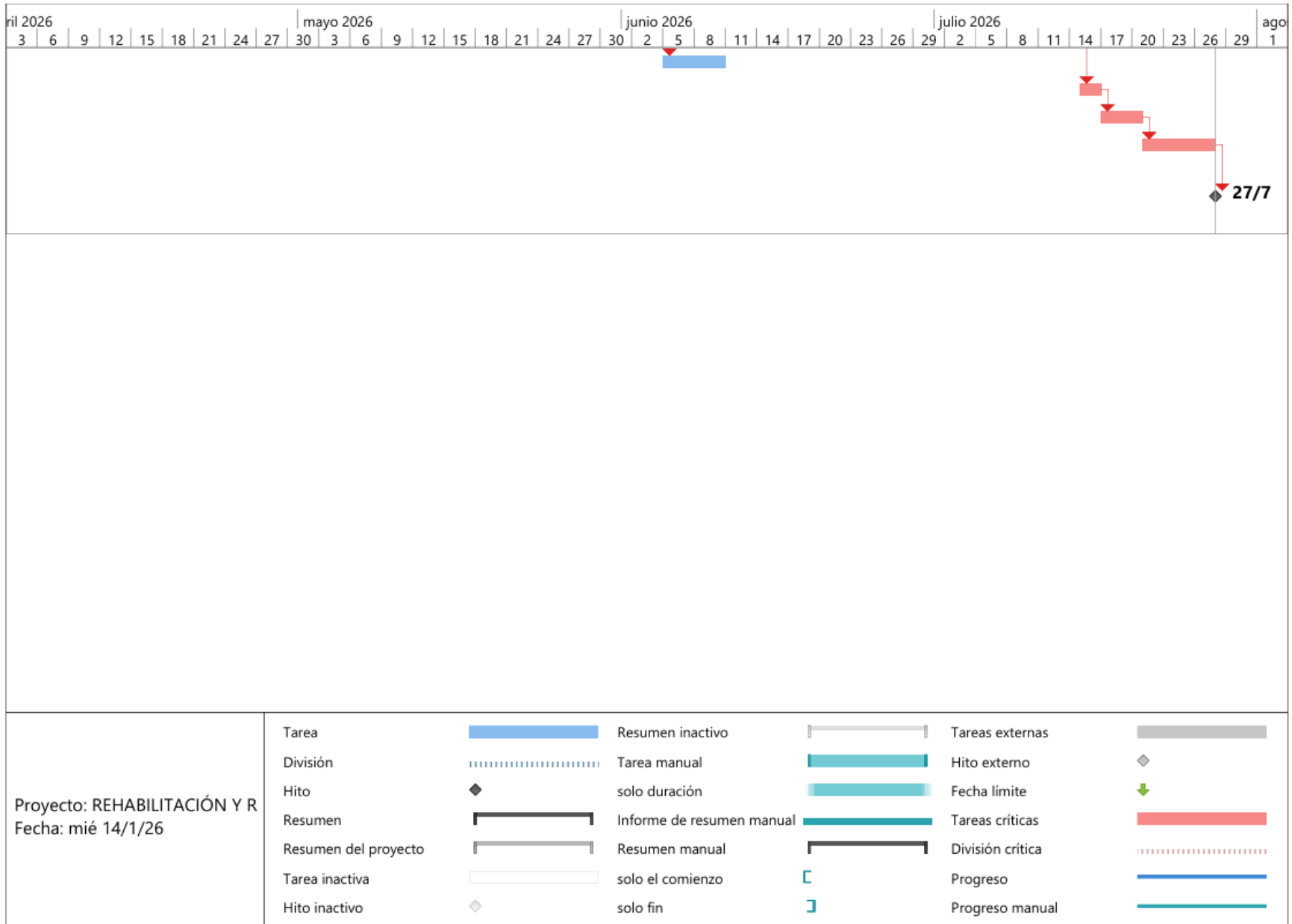


Proyecto: REHABILITACIÓN Y R  
 Fecha: mié 14/1/26

Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
División		Tarea manual		Hito externo	
Hito		solo duración		Fecha límite	
Resumen		Informe de resumen manual		Tareas críticas	
Resumen del proyecto		Resumen manual		División crítica	
Tarea inactiva		solo el comienzo		Progreso	
Hito inactivo		solo fin		Progreso manual	



Proyecto: REHABILITACIÓN Y R Fecha: mié 14/1/26	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Tareas críticas	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		División crítica	
	Tarea inactiva		solo el comienzo		Progreso	
	Hito inactivo		solo fin		Progreso manual	



# DISEÑO, EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y DURABILIDAD DE LOSAS EN EL EDIFICIO DE PARQUEOS DE 9 NIVELES : ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN.

## PROBLEMA

El edificio de parqueos presenta afectaciones en las losas asociadas al deterioro del concreto y un comportamiento estructural lateral deficiente, evidenciado por derivas superiores a los límites normativos antes de la intervención. Estas condiciones comprometen la durabilidad y el desempeño sísmico de la estructura.

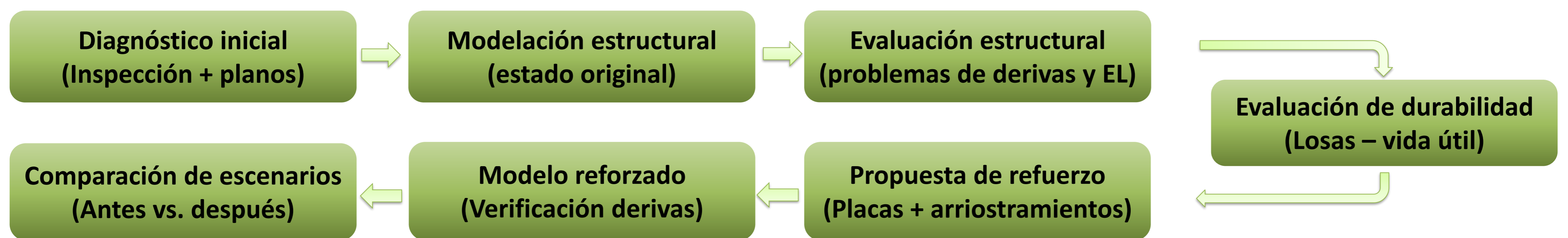


## OBJETIVO GENERAL

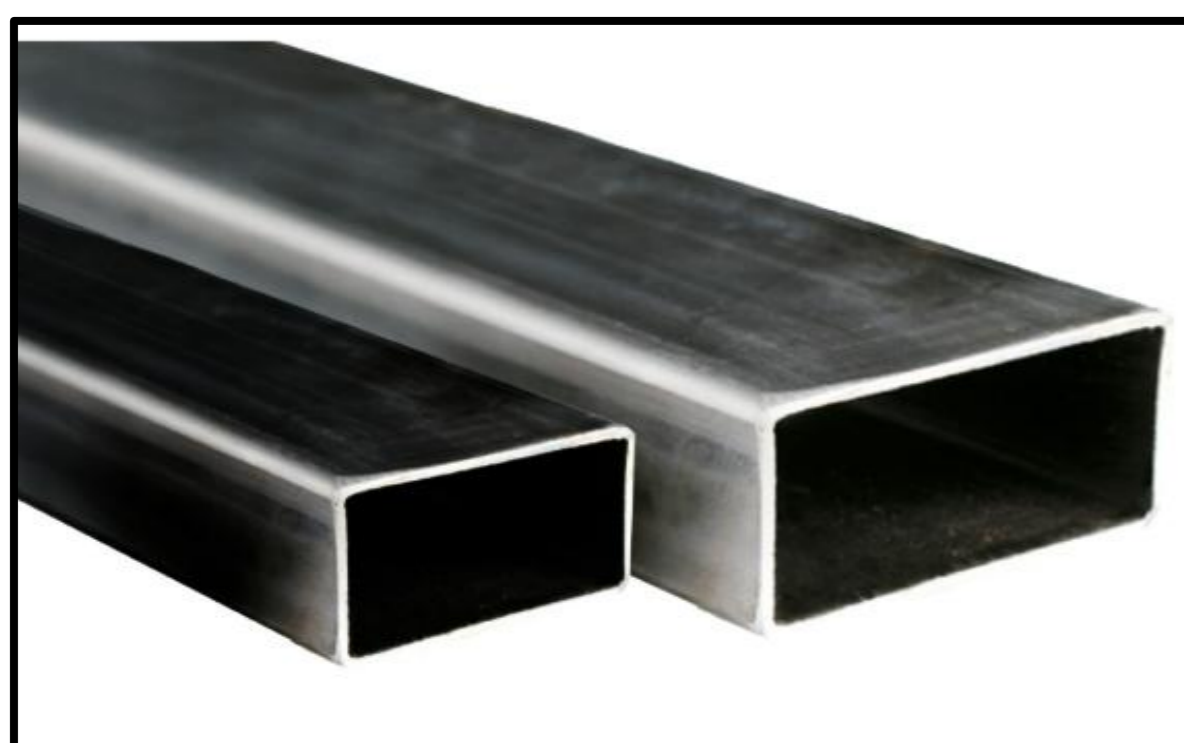
Diseñar alternativa de intervención para las losas de hormigón armado y columnas del edificio de parqueos de acero estructural de 9 niveles en Guayaquil, basándose en la evaluación de capacidad y de la durabilidad estructural para asegurar la funcionalidad, seguridad y vida útil del edificio.



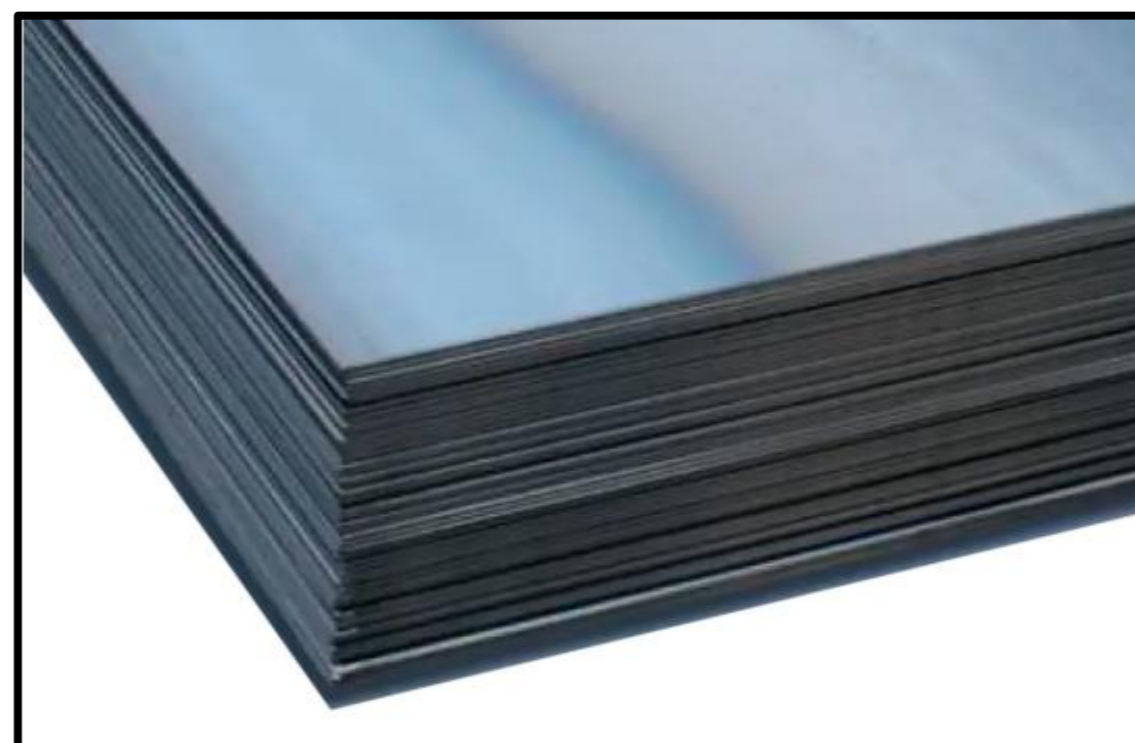
## PROPUESTA



### Materiales considerados en la intervención



Tubo Estructural 150x100x6mm (Arriostramientos)



PLANCHA LAMINADA 20mm (Refuerzo de columnas)



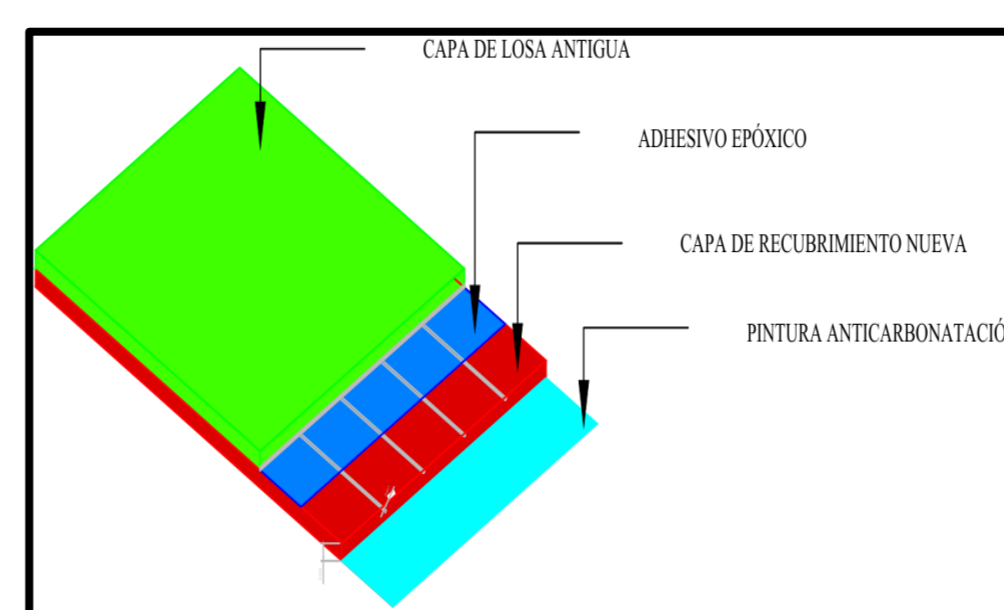
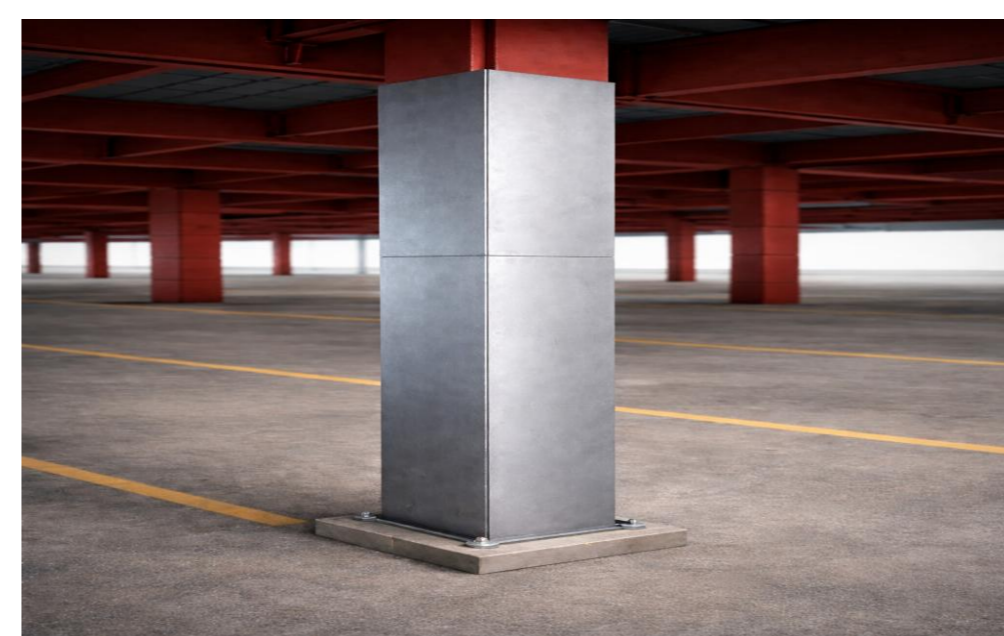
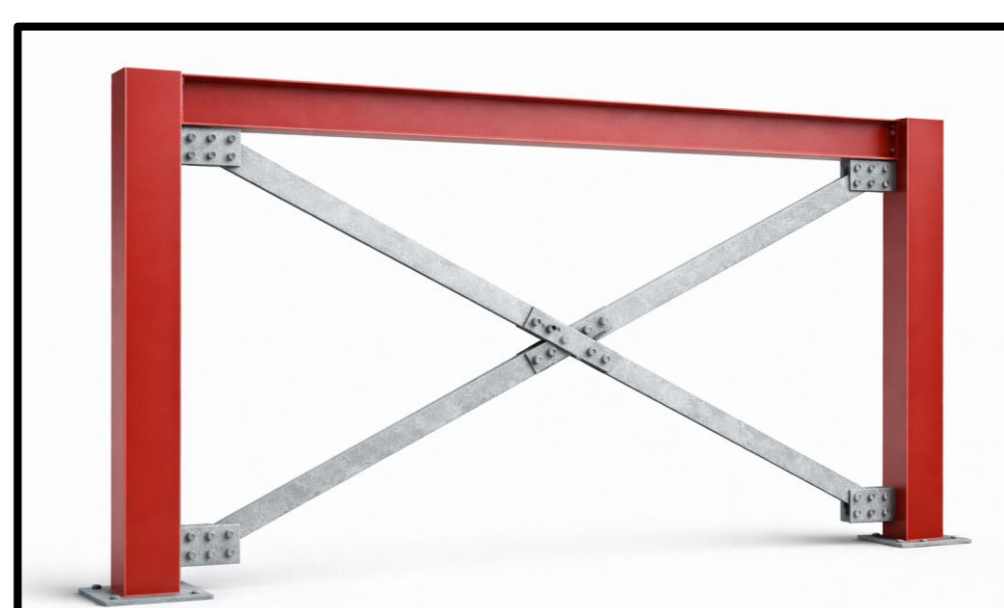
Capa de recubrimiento de mortero nuevo de 30mm en losa

## RESULTADOS

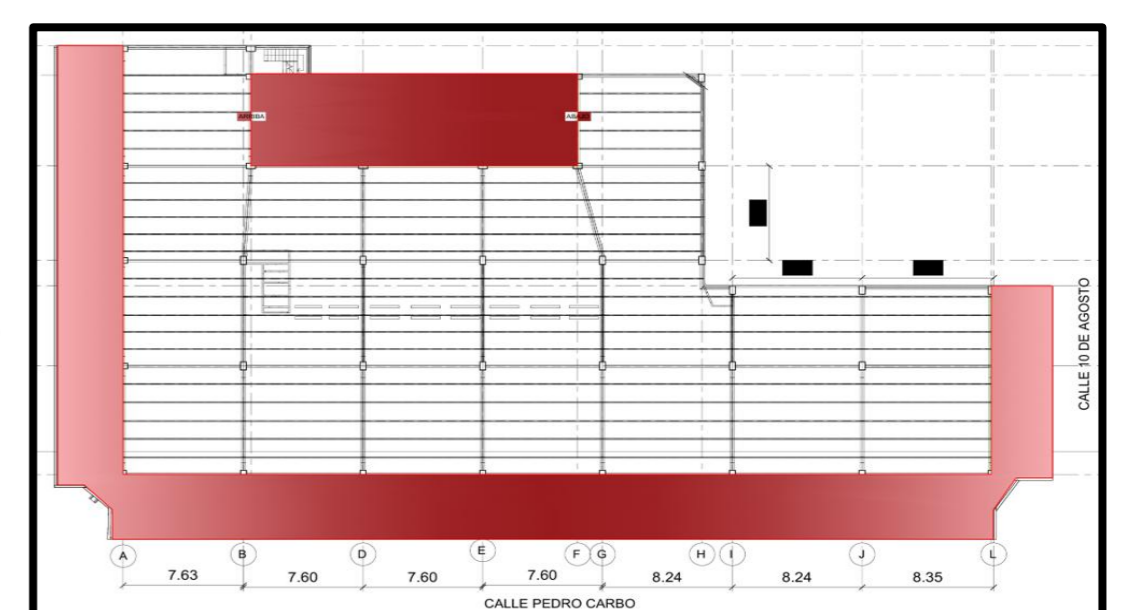
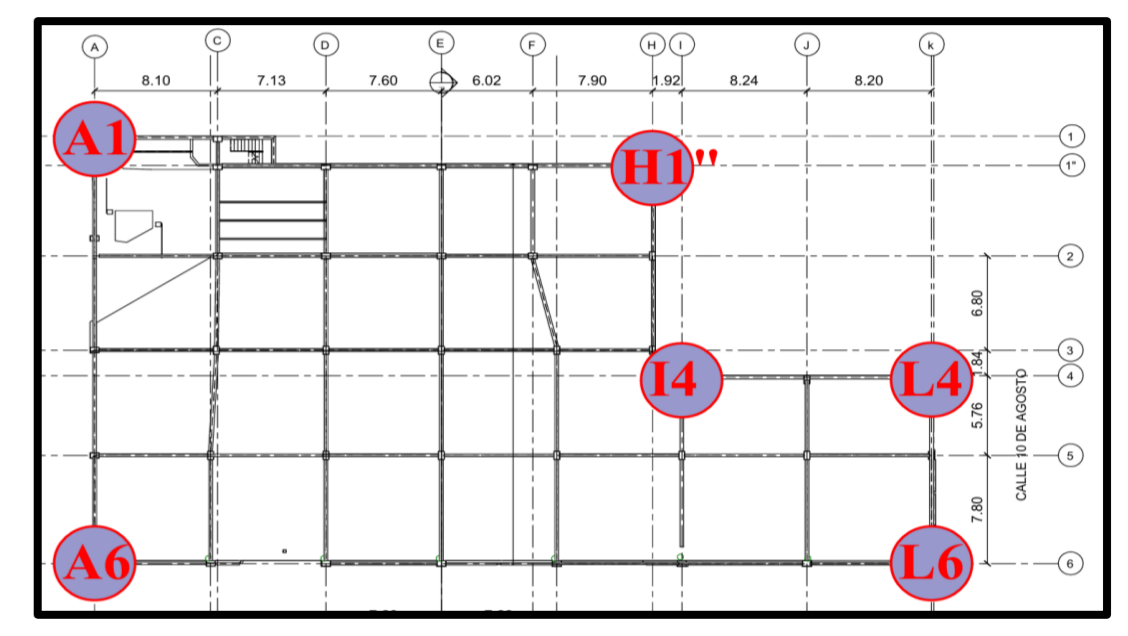
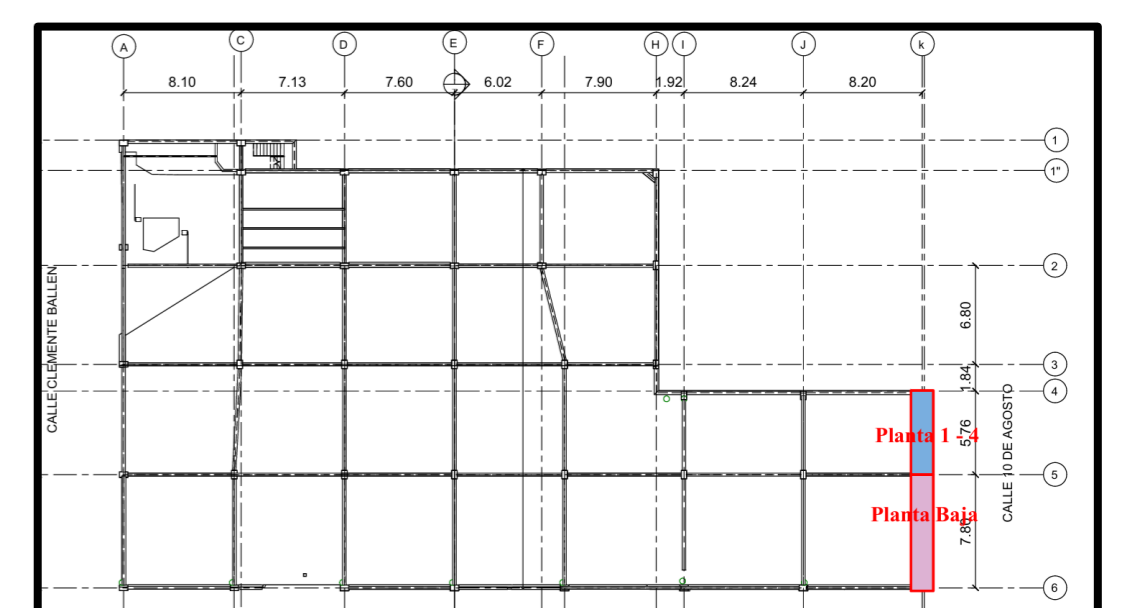
Piso	Deriva inicial	Deriva final	Comprobación NEC < 2%
4 - 5	2.12	1.80	Cumple
3 - 4	2.35	1.88	Cumple
2 - 3	2.10	1.91	Cumple
2 - 3	2.57	1.97	Cumple
1 - 2	2.20	1.92	Cumple
1 - 2	2.69	1.93	Cumple
1 - 2	2.08	1.84	Cumple
PB-1	2.48	1.81	Cumple
PB-1	2.14	1.92	Cumple

La reducción de derivas obtenida mediante placas metálicas y arriostramientos, junto con la intervención en las losas, mejora el desempeño estructural y la vida útil del edificio. Gracias a la rehabilitación, se estima que puede operar de forma segura por aproximadamente 30 años adicionales.

### Diseños



### Ubicación



## CONCLUSIONES

- La evaluación estructural y de durabilidad permitió identificar las principales deficiencias del edificio de parqueos, tanto en el comportamiento lateral como en el estado de las losas.
- El refuerzo estructural mediante placas metálicas en columnas y arriostramientos permitió reducir las derivas en todos los niveles, cumpliendo los límites establecidos por la normativa NEC.
- La intervención en las losas, mediante la aplicación de capas de recubrimiento, contribuye a mejorar la durabilidad del sistema estructural frente a las condiciones ambientales de Guayaquil.



Aumento de la vida útil del edificio