

**ESTUDIO PATOLÓGICO A ESTRUCTURA ELEVADA DE ALMACENAMIENTO,
EN EL MUNICIPIO DE NARIÑO - CUNDINAMARCA**

Presentado por:

Yesenia Macias Altamiranda
Paula Andrea Usme Ciro
Ervin Felipe Padilla Lozano

Asesor:

Osmar Albert Gamba Gómez

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Civil
Especialización en Patología de la Construcción

2025

Tabla de contenido

1	RESUMEN.....	3
2	HISTORIA CLÍNICA.....	4
2.1	Descripción de la estructura	5
2.2	Línea histórica	5
2.3	Análisis del entorno climático	6
3	METODOLOGÍA.....	7
4	ANÁLISIS DE DATOS	9
5	DIAGNÓSTICO	12
6	PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	14
7	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	14
8	CRONOGRAMA	17
9.	PRESUPUESTO.....	18
10	RESULTADOS.....	18
10.1	Resultados previstos.....	18
10.2	Mejora en la comprensión de las patologías.....	19
10.3	soluciones viables de mantenimiento.	20
10.4	Impacto esperado.....	20
11	BIBLIOGRAFÍA.....	20

1 RESUMEN

El almacenamiento y distribución de agua potable es esencial para el desarrollo de las comunidades, especialmente en zonas donde se requiere conducción por gravedad. La falta de mantenimiento en las estructuras destinadas a este fin compromete no solo su eficiencia operativa, sino también su seguridad estructural. Este estudio tiene como objetivo realizar una valoración técnica de una torre elevada de almacenamiento de agua construido en 1974 en el municipio de Nariño, Cundinamarca, actualmente se encuentra fuera de servicio, a fin de establecer el grado de deterioro estructural y definir las acciones de intervención.

La metodología se basó en inspecciones visuales detalladas y la aplicación de ensayos destructivos y no destructivos. Se realizaron diferentes pruebas entre ellas, esclerometría, velocidad de pulso ultrasónico, extracción de núcleo para ensayos a compresión, medición de profundidad de carbonatación, mapeo de fisuras, evaluación de potencial de corrosión uniforme y análisis de contenido de cloruros.

Los resultados nos muestran una pérdida del 53% de la resistencia mecánica del concreto en varias zonas críticas, con lecturas promedio de 15 Mpa frente a valores esperados a 28 Mpa. La profundidad de carbonatación supera los 15mm en la mayoría de los elementos, comprometiendo la pasivación del acero. Se identificaron niveles elevados de cloruros (≥ 0.4 % respecto al peso del cemento) y un porcentaje de sección corroída en los estribos del 60 a 70. Asimismo, el mapeo de fisuras mostró grietas activas mayores a 1mm en columnas y vigas.

Estos hallazgos reflejan un avanzado estado de deterioro que compromete la estabilidad y durabilidad de la estructura, por lo que se realiza este estudio detalladamente.

Palabras clave: tanque de almacenamiento, patología, UPV,

Abstract.

The storage and distribution of potable water is fundamental to community development, particularly in regions requiring gravity-fed systems. However, the absence of periodic maintenance in elevated storage structures compromises both hydraulic functionality and structural integrity. This study presents a pathological

assessment of an elevated reinforced concrete water tank constructed in 1974 in the municipality of Nariño, Cundinamarca, currently decommissioned, with the objective of evaluating its degradation level and proposing suitable rehabilitation strategies.

The applied methodology comprised a comprehensive visual inspection and the implementation of destructive and non-destructive testing techniques. These included rebound hammer testing, ultrasonic pulse velocity (UPV) measurements, core sampling for compressive strength determination, carbonation depth profiling, crack pattern mapping, half-cell potential measurements for corrosion activity, and chloride ion concentration analysis.

Test results indicated a significant reduction in mechanical performance, with a 53% loss of compressive strength in critical zones—mean values of 15 MPa versus the design strength of 28 MPa. Carbonation fronts surpassed 15 mm in most structural components, leading to depassivation of reinforcement steel. Chloride concentrations exceeded the corrosion threshold ($\geq 0.4\%$ by cement weight), while corrosion mapping revealed stirrup cross-sectional losses ranging from 60% to 70%. Crack mapping identified active fissures exceeding 1 mm in width on both columns and beams, indicative of ongoing structural distress.

These findings reflect an advanced state of deterioration that compromises the stability and durability of the structure, justifying the need for this detailed study.

Keywords: storage tanks, structural pathology, Ultrasonic Pulse Velocity

2 HISTORIA CLÍNICA

La historia clínica de un paciente es crucial, para contextualizar y determinar las patologías y sus causas. En este caso debido a la antigüedad de la estructura, falta de documentación perdida en un incendio ocurrido el 4 de agosto de 2015. Sin embargo, mediante el uso de recursos alternativos como inspecciones visuales, auscultaciones del paciente, análisis fotográfico histórico y conversaciones con propietarios de la estructura se ha logrado reconstruir parte significativa de su historia estructural. (Ver anexo H)

La estructura objeto de estudio el tanque elevado de almacenamiento, construido aproximadamente en el año 1974, 50 años de antigüedad. Actualmente, se encuentra fuera de servicio debido a las lesiones severas que presenta y ha sido abandonado, sin que se le realicen mantenimientos

preventivos. Esto ha generado riesgos potenciales para las construcciones vecinas, especialmente la estación de servicio Biomax y viviendas colindantes.

Este tanque se encuentra ubicado en el Municipio de Nariño, departamento de Cundinamarca, en la provincia del Alto Magdalena. Su localización geográfica es: corredor vial Girardot, honda, Puerto Salgar ruta 4508.

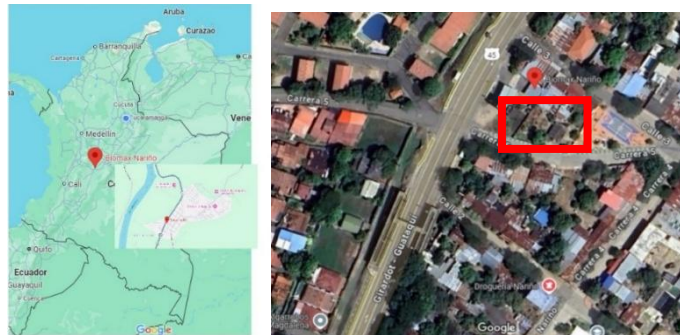


Ilustración 1. Localización del paciente, Fuente: Google Maps

2.1 Descripción de la estructura

Con los recursos alternativos se logra clasificar la siguiente información.

Tabla 1- Información de la estructura.

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA			
Geometría		Especificaciones técnicas	
Altura total	22.20 m	Concreto	
Altura libre entrepiso	3.60 m	Vigas	280 Mpa
Dimensiones vigas	0.36x0.34 m	Columnas	280 Mpa
Dimensiones columnas	0.36x0.36 m	Tanque	280 Mpa
Longitud vigas	4.3 m	Acero de refuerzo	
		Barras diámetros > 1/4"y 1"	420 Mpa
		Malla electrosoldada	420 Mpa

2.2 Línea histórica

En medio de conversaciones con la entidad propietaria se logra obtener información relevante para el análisis del paciente como lo es un plan maestro del Año 2012, a través de Google Street View se identificaron imágenes tomadas entre 2013 y 2022, a las cuales se le realiza un análisis de daños, reparaciones y su historia sintetizada en la siguiente tabla.

Tabla 2. Línea de tiempo de la estructura.

Año	Observaciones principales
2012	En el documento “Revisión y ajustes plan maestro de acueducto y alcantarillado” indica El tanque elevado para la fecha, por su ubicación, altura y modelación hidráulica no satisface las presiones del sector que alimenta. Adicional presenta problemas constructivos, que al intentar integrarlo al sistema crearía problemas de presión y de sectorización que no son fácil de manejar operativamente.
2013	Desprendimientos parciales del recubrimiento de concreto en vigas, Lavado diferencial en fachadas, Humedades evidente y vegetación creciente en la base
2014	Reducción de vegetación (posible temporada seca). Se confirma rebose frecuente del tanque, Fallos en el sistema de control de llenado
2021	Crecimiento de vegetación en la junta entre la placa base y las paredes del tanque
2022	Desprendimiento grave del recubrimiento en la parte inferior de las vigas, desintegración parcial de los aceros de refuerzo por corrosión, riesgo aumentado para la zona

El rebose de tanque presuntamente es causado por fallas en el sistema de control, lo que expuso la estructura al constante vertimiento de aguas clorada, favoreciendo la corrosión. A la fecha, las lesiones identificadas en el plan maestro no han recibido intervención ni mantenimiento

2.3 Análisis del entorno climático

La estructura se encuentra en una zona con clima cálido húmedo, con una temperatura media anual de 27°C, humedad relativa promedio del 80% y precipitaciones superiores a los 1.200 mm anuales, datos tomados del IDEAM e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Estos factores, junto con la exposición directa a la intemperie y la falta de impermeabilización, han acelerado procesos como:

- **Carbonatación del concreto:** Favorecida por la presencia de CO₂, atmosférico en un ambiente húmedo y cálido

- **Corrosión presentada en el acero de refuerzo:** Impulsada por la acción combinada de agua lluvia, rebose clorado del tanque y pérdida de recubrimiento
- **Expansión por oxidación** Generando fisuras longitudinales, delaminaciones y desprendimiento del concreto en las zonas más críticas.

3 METODOLOGÍA

Una vez realizada la auscultación y el registro de las lesiones, se definieron los ensayos requeridos para evaluar el grado de deterioro de la estructura. Se presenta una tabla detallada con las etapas del proceso.

Tabla 3. Etapas del proceso. Fuente: Formato trabajo opción de grado Universidad Santo Tomás

Etapas	Descripción	Instrumentos Utilizados	Resultados esperados
Inspección Visual	Evaluación detallada de fisura, desprendimiento y corrosión uniforme mediante fotografías y mapeos ver Anexo I	Cámara fotográfica, Linterna, cinta métrica, registro de inspección.	Mapeo de patologías superficiales clasificadas por tipo (estructurales / no estructurales)
Levantamiento Geométrico	Medición de deformaciones y desplome para comparar con planos originales ver Anexo H	Cinta métrica, estación total, nivel laser, levantamiento existente	Planos actualizados con desviaciones estructurales y zonas críticas
Evaluación de grietas	Análisis del tipo tamaño y ubicación de las grietas para determinar su origen	Lupa, fisurómetro, calibrador vernier, testigos de yeso	Se encuentra por desprendimiento de material, reboce de tanque y humedades. Clasificación del tipo y origen de las fisuras.
Ensayos de carbonatación	Determinar la profundidad de la carbonatación para	Fenolftaleína, martillo, cincel, regla	La profundidad de carbonatación supera los 15 –

	evaluar la protección del acero. (Ver Anexo E)		25 mm en la mayoría de los elementos, comprometiendo la pasivación del acero.
Medición de corrosión	Evaluación del potencial de corrosión atmosférica en el acero de refuerzo	Celda potencial de electrodos de referencia Cu/CuSo4	Clasificación del riesgo de corrosión Alto
Pruebas de esclerometría	Medición de la resistencia superficial del concreto, se busca obtener un estimado de áreas con pérdida de la resistencia, la esclerometría es ideal dado que proporciona una estimación rápida. (Ver Anexo F)	Esclerómetro de rebote (martillo de Schmidt)	Estimación de la resistencia a la compresión 5.6 MPa, vigas y columnas degradadas
Ultrasonido en concreto	Detección de fisuras, vacíos o defectos internos no visibles en la estructura. Aporta información volumétrica sobre la zona internas degradada. Al realizarlo con la esclerometría permite obtener mayor certeza en el resultado. (Ver Anexo G)	Equipo de ultrasonido	Localización de anomalías internas, baja homogeneidad, pérdida de masa, fisurado
Análisis de humedad	Determinar la presencia,	Higrómetro, termohigrómetro, detector de	zonas con afectación por humedad


	distribución y causa de la humedad	humedad por contacto	principalmente tanque de almacenamiento
Extracción de núcleos	Obtención de muestras de concreto para pruebas de resistencia y análisis petrográfico en laboratorio	Perforadora con broca diamantada, extractor de núcleos	Determinación de resistencia, porosidad y composición del concreto.
Determinación del recubrimiento del acero	Evaluar si el espesor de recubrimiento cumple con los estándares para la protección del acero de refuerzo	Pachómetro	Recubrimiento deficiente en vigas y columnas
Análisis químico del concreto	Identificación de la composición química del concreto y presencia de agentes agresivos (sulfatos, cloruros)	Muestra de polvo del concreto, espectrofotómetro	Altos contenido de cloruros, PH < 9 indica pérdida de la protección del acero, altos niveles de humedad 6% - a 12% en vigas y placa
Prueba de adherencia Acero-concreto	Determinar la calidad de la unión entre el acero de refuerzo y el concreto	Máquina de tracción directa	Deslizamiento elevado, fuerza de adherencia reducida 40 a 60 % de lo teórico diseñado

4 ANÁLISIS DE DATOS

La evaluación técnica de la información se realiza con base en los datos obtenidos durante la inspección visual, los ensayos destructivos y no destructivos, y el registro fotográfico, los resultados de los ensayos realizados en campo se muestran en los anexos E al G. A continuación, se presenta la relación entre los aspectos analizado.

Tabla 4. Interpretación de resultados. Fuente: Formato trabajo opción de grado Universidad Santo Tomás

Aspecto analizado	Datos recopilados	Método de análisis	Resultados del análisis
Estado general del paciente	-Desplome vertical: 3.7 cm -Fisuras $\geq 0.2\text{mm}$ en 90% de vigas y columnas.	-Comparación con norma NSR-10 capítulo C.6.5 Límites de tolerancia -Análisis fotogramétrico, fisurómetro y testigos de yeso (ver anexo A)	Incumplimiento normativo (desplome $\geq 2.5\text{ cm}$) -Fisuras principalmente pasivas.
Condiciones ambientales	-Humedad relativa promedio. 80% -Presencia de cloruros 1.5 % del peso del cemento	Análisis de humedad, estudios químicos del concreto, recolección de datos climatológicos (ver anexo B)	Humedad relativa aumenta el riesgo de carbonatación y hace vulnerable a la estructura a la penetración de cloruros, lo que acelero el proceso de corrosión atmosférica del acero.
Patologías estructurales	-Profundidad de carbonatación: El concreto no reacciona a la aplicación. -Pérdida de recubrimiento: 95% en vigas, 10% en columnas	Prueba de carbonatación (fenolftaleína), inspección visual. (ver anexo C)	-El concreto ya se encuentra carbonatado (se evidencia corrosión en las armaduras) - Acero expuesto y corroído debido a la pérdida de recubrimiento
Calidad del concreto	-Resistencia del concreto $< 21\text{ Mpa}$	Pruebas de esclerometría y ultrasonido	-Concreto de baja resistencia

<p>Corrosión del acero de refuerzo</p>	<p>-Porcentaje de corrosión: 39% en acero longitudinal de vigas, 55% en acero transversal de vigas. -Porcentaje de corrosión: en el acero expuesto de las columnas se evidencia corrosión activa generalizada en un 5% de los elementos</p>	<p>Análisis visual, medición del diámetro del acero de refuerzo, Medición de potencial de corrosión.</p> 	<p>-Pérdida de capacidad y ductilidad del acero -Mayor riesgo a falla frágil y deformaciones</p>
<p>Cumplimiento normativo</p>	<p>-Resistencia del concreto < 21 Mpa -Recubrimiento = 3.5 cm -Dimensiones de los elementos Vigas: 0.36x0.34 Columnas: 0.36x.0.36</p>	<p>Análisis comparativo con los valores establecidos en la norma NSR-10</p>	<p>-La resistencia del concreto no debe ser inferior a 21 Mpa -El recubrimiento mínimo para concreto expuesto a la intemperie es de 4.0 cm (C.7.7.1) -El ancho de las vigas no debe ser menor a que 20 cm (C.21.3.4) -La dimensión menor de la sección transversal de la columna, no debe ser menor de 25 cm (C.21.3.5)</p>

5 DIAGNÓSTICO

Tabla 5. Estudio patológico. Fuente: Formato trabajo opción de grado Universidad Santo Tomás

Aspecto analizado	Descripción	Hallazgos	Recomendaciones
Estado general de la estructura	Inspección visual y técnica de la estructura	<ul style="list-style-type: none"> -Desplome de 3.7 cm (NSR-10 limite 2.5 cm) -Fisuras pasivas ≥ 0.2 mm -Vigas y columnas con fisuras en un 90% 	<ul style="list-style-type: none"> -Monitoreo de desplome y asentamientos cada dos meses. -Aplicación de sello de fisuras. (Sika Injection 304) -Reforzamiento de vigas y columnas.
Vigas y Columnas	<ul style="list-style-type: none"> -Pérdida de recubrimiento de los elementos -Corrosión del acero de refuerzo. -Disminución de la resistencia del concreto 	<ul style="list-style-type: none"> -Porcentaje de corrosión: 39% en acero longitudinal de vigas, 55% en acero transversal de vigas. -Porcentaje de corrosión: en el acero expuesto de las columnas se evidencia corrosión por carbonatación en un 5% de los elementos. -Pérdida de recubrimiento inferior en vigas: 95 % de los elementos. -Pérdida de recubrimiento en columnas: 10 % de los elementos. -Recubrimiento no cumple con la norma < 4.0 cm 	<ul style="list-style-type: none"> -Eliminar material no integro -Reforzar el elemento (Según diseño de especialista) -Fundir con un concreto fluido o de baja retracción (Sika Concrelito RE, Sika ViscoCrete), asegurando el recubrimiento de 4.0 cm o superior según lo indique el diseñador. -Aplicar puente de adherencia antes de la fundida (Sikadur 32 Primer) -Proteger contra la humedad (Sikaguard)

		-Resistencia del concreto de 15 Mpa.	
Placa de fondo del tanque	-Humedad, eflorescencias -Perdida de recubrimiento del elemento -Oxidación -Lixiviación visible	-Eflorescencias -Perdida del recubrimiento en un 40% -Armaduras oxidadas	Picar concreto afectado o suelto Realizar limpieza del acero. Realizar reparación de la placa con concreto de reparación estructural (Sika MonoTop 122) -Proteger contra la humedad (Sikaguard)
Muros del tanque	- Ensuciamiento -Fisuras -Grietas pasivas (monitoreadas)	-Manchas de color negro en un 80% de las paredes exteriores del tanque. -Grietas aproximadamente de 1 cm de ancho	Extracción electroquímica de cloruros. Limpieza de los muros y sello de fisuras (Sika Injection 304) Reparación de grietas con concreto de reparación. (Sika MonoTop 627) Impermeabilización interna con membrana (SikaTop Seal 107) e impregnación con hidrofugante para paredes exteriores
Condiciones ambientales	-Humedad relativa alta -Exposición a agentes químicos	-Humedad relativa de la región del 80% -Vertimiento de agua con cloruros debido al rebose del tanque	Impermeabilización con hidrofugante de los elementos de la estructura. Mantenimiento anual.
Cumplimiento normativo	-Recubrimiento -Resistencia del concreto	No cumple con requisitos mínimos de recubrimiento y resistencia del concreto.	Se recomienda ejecutar un reforzamiento estructural en vigas y columnas con el fin de incrementar la capacidad

			resistente de los elementos, asegurar el adecuado desempeño del acero de refuerzo y garantizar el cumplimiento de los requisitos de recubrimiento
Seguridad estructural	Estabilidad del tanque en su estado actual	Hay riesgo de fallas progresivos en los elementos estructurales afectados	Restringir el acceso y evaluar si es viable la rehabilitación o se requiere demolición controlada.

6 PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Tabla 6. Propuesta de intervención

Área/ componente	Propuesta de intervención	Objetivo
Columnas (1-2-3-4) y vigas del nivel (1-2-3-4)	Encamisado de los elementos según la norma ACI 562-21	-Restaurar la capacidad estructural - Garantizar recubrimiento mínimo de 4 cm (NSR-10 Sec. C.9.5)
Placa Maciza	-Escarificación (5 cm) + aplicación de membrana de poliurea (VersaFlex®, ASTM D6943, espesor de 3 mm).	-Eliminar Cloruros de la Superficiales. - Impermeabilizar contra filtraciones.
Paredes del tanque	-Lavado con agua a presión + aplicación de pintura anticorrosiva (ISO 12944-5).	-Reducir la porosidad superficial. - Proteger contra humedad y agentes químicos.

7 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

Tabla 7. Análisis de vulnerabilidad. Fuente: Formato trabajo opción de grado Universidad Santo Tomás

Ubicación	Nariño Cundinamarca
Descripción geológica	El área presenta afloramiento de unidades sedimentarias del Cretácico superior principalmente la formación tabla, compuesta por

	lutitas, areniscas, limolitas y conglomerados finos. Estas litologías muestran grados variables de cementación y meteorización, con estructuras sedimentarias subhorizontales y alta heterogeneidad en el subsuelo
Histórico de sismos	5 sismos, 4.1 de magnitud el 05/03/1995
Vecinos colindantes	EDS BIOMAX, Carrera 5, Ruta 45, 2 casa.
Sistema constructivo	Concreto reforzado
Materiales	Acero, cemento, Agregados pétreos, agua.
Cimentación	Zapatas aisladas
Sistema estructural	Pórtico o concreto armado básico

Tabla 8. Matriz de vulnerabilidad. Fuente: Base de datos del Moodle de cursos Universidad Santo Tomás

MATRIZ DE VULNERABILIDAD SÍSMICA CUALITATIVA			
1. FACTORES ESTRUCTURALES			
Criterio	Evaluación (Alta/Media/Baja)	Normativa de Referencia	Observaciones
Configuración en planta (Regularidad, simetría)	Alta	NSR-10 Capítulo A.3.3	La planta es regular, pero sin sistema de redundancia estructural; fallos pueden comprometer estabilidad general.
Configuración en altura (Discontinuidades, masa)	Alta	NSR-10 Capítulo A.3.4	Discontinuidad evidente entre el fuste y el tanque; concentración de masa en la parte superior genera incremento en el momento de inercia ampliando la fuerza sísmica en la estructura.
Sistema resistente (Pórticos, muros, dual)	Media	NSR-10 Capítulo C.	El sistema depende exclusivamente de columnas; no cuenta con muros o sistema dual.

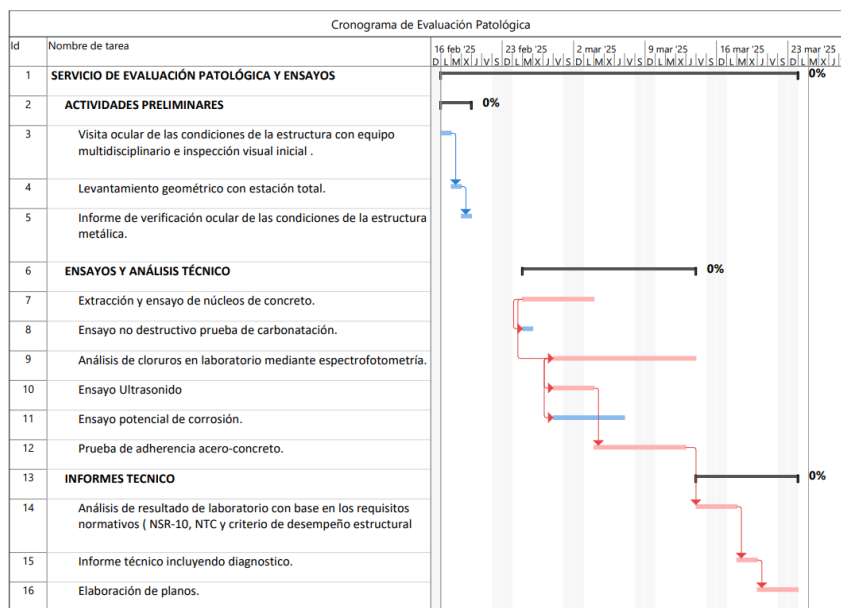
<p>Detalles sismorresistentes (Armadura s, conexiones)</p>	<p>Alta</p>	<p>NSR-10 Capítulo D.1.3</p>	<p>Se evidencian deficiencias en recubrimiento, anclajes, y mal estado de conexiones por corrosión, esto generar perdida en la capacidad de carga.</p>
<p>Daños preexistentes (Fisuras, deformaciones, desprendimientos)</p>	<p>Alta</p>	<p>NSR-10 Cap. C.8 y ACI 562</p>	<p>La corrosión activa y la perdida de sección del acero reducen la capacidad de carga de las vigas y columnas, debilitando el sistema frente a esfuerzos sísmicos. Las figuras longitudinales comprometen la ductilidad, mientras que el desprendimiento del recubrimiento afecta la capacidad de disipar energía. Estas patologías crean zonas rígidas con concentraciones de esfuerzos, elevando el riesgo de colapso localizado ante movimientos sísmicos moderado o severos</p>
2. FACTORES NO ESTRUCTURALES			
Criterio	Evaluación	Normativa	Observaciones
<p>Elementos no estructurales (Fachadas, tabiques)</p>	<p>Media</p>	<p>NSR-10 Capítulo F.1</p>	<p>Aunque el tanque no tiene cerramientos convencionales, la corrosión generalizada ha generado desprendimientos</p>

			potencialmente peligrosos.
Equipos críticos (Anclajes, sistemas mecánicos)	Media	NSR-10 Cap. F.2 / NTC 4570	El sistema de rebose es defectuoso, y su mal funcionamiento ha acelerado el crecimiento de las lesiones generadas.
Comportamiento o ante carga dinámica	alta	NRR-10 Cap. A.7.2 y C.8	La estructura presenta daño acumulado que limita su capacidad de deformación. La pérdida de rigidez y continuidad reduce la resistencia ante sollicitaciones sísmicas

8 CRONOGRAMA

Se presenta una secuencia de actividades lógicas y técnica que garantice una ejecución eficiente. A continuación, se presenta el cronograma a ejecutar.

Tabla 9. Cronograma



9. PRESUPUESTO.

A continuación, se presenta el presupuesto estimado para la ejecución del estudio patológico de la estructura. Este incluye actividades técnicas, los recursos humanos, los equipos requeridos y ensayos específicos.

Tabla 10. Presupuesto.

SERVICIO DE EVALUACIÓN PATOLÓGICO Y ENSAYOS						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	%
1 ACTIVIDADES PRELIMINARES					\$ 2,654,884	24.96%
1.1	Visita ocular de las condiciones de la estructura con equipo multidisciplinario e inspección visual inicial incluye mano de obra de la actividad, revisión preliminar de lesiones viables (fisuras, desplazamientos, corrosión), toma de registros fotográficos, anotaciones en libreta técnica.	Visita	1.0	\$ 1,200,000	\$ 1,200,000	11.59%
1.2	Levantamiento geométrico con estación total, identificación de desplazamientos, asentamientos, y geometría estructural. Se toma como base para análisis de deformaciones y para contrastar con planos originales si estos.	dia	1.0	\$ 884,884	\$ 884,884	9%
1.3	Informe de verificación ocular de las condiciones de la estructura metálica, trabajo de campo e inspección visual inicial.	dia	1.0	\$ 500,000	\$ 500,000	5%
2 ENSAYOS Y ANÁLISIS TÉCNICO					\$ 4,270,000	41.24%
2.1	Extracción y ensayo de núcleos de concreto Perforación cilíndrica y extracción de testigos de concreto (Ø = 12") Ensayo de resistencia a la compresión, análisis petrográfico y determinación de durabilidad. Incluye rehabilitación del punto de extracción.	und	3.0	\$ 350,000	\$ 1,050,000	10.14%
2.2	Ensayo no destructivo prueba de carbonatación, indicador de fenil-ftalato.	Punto-ensayo	6.0	\$ 80,000	\$ 480,000	4.64%
2.3	Análisis de cloruros en laboratorio mediante espectrofotometría, a partir de muestras tomadas en sitio	Muestra	3.0	\$ 180,000	\$ 540,000	5%
2.4	Ensayo Ultrasonido para evaluar homogeneidad del concreto, detección de zonas de bajas densidad, vacíos internos y fisuras no viables.	dia	1.0	\$ 900,000	\$ 900,000	9%
2.5	Ensayo potencial de corrosión.	Punto-ensayo	10.0	\$ 70,000	\$ 700,000	7%
2.6	Pruebas de adherencia acero-concreto, evaluación puntual del grado de adherencia entre el acero y el concreto mediante prueba directa, análisis visual y comparación con condiciones normales de edificios estructurales	und	2.0	\$ 300,000	\$ 600,000	6%
3 INFORMES TÉCNICO					\$ 2,900,000	28.01%
3.1	Análisis de resultado de laboratorio con base en los requisitos normativos (ASB-10, NYC y otros) de desempeño estructural	gib	1.0	\$ 900,000	\$ 900,000	9%
3.2	Informe técnico incluyendo diagnóstico detallado, clasificación de lesiones, propuesta de intervención o reparación, con respaldo normativo, medio magnético	gib	1.0	\$ 1,200,000	\$ 1,200,000	12%
3.3	Elaboración de planos, modelos del estado actual del paciente (daños, fisuras, deformaciones) con detalles técnicos representativos, en medio magnético	gib	1.0	\$ 800,000	\$ 800,000	8%
4 GASTOS LOGÍSTICOS					\$ 600,000	5.79%
4.1	Transporte y viáticos del equipo, incluye transporte terrestre del equipo técnico, alquiler de vehículos o equipos de medición complementarios.	gib	1.0	\$ 600,000	\$ 600,000	6%
COSTO DIRECTO					\$ 10,354,884	100.00%
ARJ (20%)					\$ 2,070,977	
COSTO TOTAL					\$ 12,425,861	

10 RESULTADOS.

Como parte del desarrollo del estudio patológico realizado al tanque elevado, se identificaron y analizaron las principales causas de deterioro estructural, permitiendo formular propuestas técnicas viables para su recuperación. A continuación, se describen los logros esperados del proyecto, los aprendizajes obtenidos durante el proceso del análisis patológico y evaluación, así como las soluciones de mantenimiento estructural recomendadas.

10.1 Resultados previstos.

Como resultado de este estudio, se entregarán insumos claves para la toma de decisiones en el proceso de recuperación y mantenimiento de la estructura. Además del informe técnico, se desarrollarán herramientas como una matriz de clasificación de daños y protocolo de intervención por fases, que permitirán priorizar y ejecutar acciones correctivas de forma eficiente.

10.2 Mejora en la comprensión de las patologías

El desarrollo del estudio patológico permitió fortalecer significativamente la comprensión de los mecanismos de daño estructural, en este caso puntual del concreto envejecido. A continuación, se detallan los principales aprendizajes adquiridos:

Causas de la patología.

- Se identificó que la humedad constante generada por el rebose del tanque sumada a la falta de impermeabilización fue el factor principal que propició la carbonatación profunda y posterior corrosión en el acero de refuerzo.
- La utilización de agregado redondeados de río en el concreto, afectó la adherencia interna del concreto, haciéndolo más susceptible al desprendimiento superficial, adicionalmente la mala práctica constructiva facilitó esta exposición directa del acero, acelerando su deterioro.

Patrones observados

- Las fisuras y desprendimientos aparecen principalmente en zonas donde se combinan: humedad alta, exposición directa al ambiente y concentración de esfuerzos, como en las uniones vigas y columnas.
- Se identificó que los elementos que no presentan lesiones visibles podrían tener fisuras internas o pérdida de sección no aparente, lo que evidencia la necesidad de combinar inspecciones visuales con ensayos no destructivos.
- La torre mostró una mayor degradación en los sectores más expuestos al sol y a la lluvia, especialmente en la base, donde la humedad por capilaridad y la vegetación aceleran el deterioro por condiciones ambientales agresivas.

Impacto.

Si no se interviene las zonas con corrosión activa, continuará la pérdida de sección de acero, generando fisuración paralela y finalmente fallo estructural por agotamiento del refuerzo.

- La pérdida progresiva del concreto de recubrimiento en columnas y vigas compromete el equilibrio general de la torre, aumentando el riesgo de colapso parcial con afectación directa a edificaciones vecinas.
- La falta de intervención preventiva conlleva a mayores costos a mediano plazo, ya que el avance de la corrosión generalizada podría hacer inviable la rehabilitación y obligar a una demolición total de la estructura.

10.3 soluciones viables de mantenimiento.

- Se propone una intervención localizada, que combine limpieza del acero, aplicación de inhibidores, morteros técnicos y recubrimientos protectores.
- Se sugiere un refuerzo estructural parcial en columnas y viga, mediante encamisados o chaquetas de refuerzo, para recuperar capacidad resistente.
- Se recomienda implementar barreras físicas y de drenajes que eviten la permanencia de humedad en la base de la torre.

10.4 Impacto esperado.

- La aplicación del protocolo evitara el colapso progresivo de elementos estructurales y prolongara la vida útil de la estructura en al menos 20 años.
- Se contribuirá a mejorar las condiciones de seguridad en el entorno inmediato, protegiendo viviendas y estaciones de servicio cercanas
- Se dejará instalada una metodología replicable, útil para los futuros estudios técnicos en estructura y diseño de soluciones sostenibles.

11 BIBLIOGRAFÍA

Broto, C. (2005). *Enciclopedia broto de patologías de la construcción*. Barcelona: Barcelona: Links International.

SIKA. (16 de Noviembre de 2024). *SIKA*. Reforzamiento de estructuras en concreto: técnicas y materiales:
<https://col.sika.com/dms/getdocument.get/c5fbb55d-9240-3b09-9eee-edf695806345/Reforzamiento%20Estructuras%202017.pdf>

SIKA. (16 de Noviembre de 2024). *SIKA*. La Reparación y Protección del horgimón armado:
<https://esp.sika.com/dam/dms/es01/5/Reparacion%20y%20Proteccion%20del%20Hormigon%20Armado.pdf>

Sísmica, A. C. (2010). *Reglamento Colombiana de Construcción Sismo Resistente*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

ICONTEC. (s.f.). *Normas Técnicas Colombianas (NTC)*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ASTM International. (s.f.). *ASTM Standards*. ASTM International.