



Universidad Santo Tomás

Especialización en Patología de la Construcción

Módulo:

Trabajo de Grado

Título del trabajo:

**Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el
barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander**

Presentado por:

Gerson Jair Guerrero Parada

Karolay Andrea Acuña Cuesta

Docente:

Ing. Mg. Diana Mylena Zambrano Vásquez

04 de julio del 2024



TABLA DE CONTENIDO

| | Página |
|---|---------------|
| GLOSARIO | 12 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 14 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 16 |
| 3. OBJETIVOS | 17 |
| 3.1 Objetivo General..... | 17 |
| 3.2 Objetivos Específicos..... | 17 |
| 4. MARCO REFERENCIAL..... | 18 |
| 4.1 Marco Teórico..... | 18 |
| 4.1.1 Corrosión..... | 18 |
| 4.2 Marco Conceptual | 21 |
| 4.3 Marco Legal | 25 |
| 4.4 Marco Histórico..... | 29 |
| 5. ALCANCES | 32 |
| 6. LIMITACIONES | 34 |
| 7. METODOLOGÍA..... | 35 |
| 7.1 Descripción de la Selección del Paciente..... | 36 |



| | |
|--|----|
| 7.2 Preparación y Planteamiento del Estudio | 38 |
| 7.2.1 Inspección preliminar del paciente | 38 |
| 7.2.2 <i>Recopilación de información necesaria para el estudio</i> | 38 |
| 7.2.3 <i>Permisos y autorizaciones para abordar estudio del paciente</i> | 39 |
| 7.2.4 Definición del equipo de trabajo que realizará la exploración | 44 |
| 7.2.5 Definición de los medios para realizar la exploración..... | 44 |
| 7.3 Historia Clínica | 46 |
| 7.3.2 Responsables del estudio..... | 46 |
| 7.3.3 Fecha de realización del estudio..... | 46 |
| 7.3.4 Datos generales del paciente..... | 47 |
| 7.3.5 Historia de sismo en la zona de estudio..... | 61 |
| 7.3.6 En la construcción civil | 63 |
| 7.3.7 Aplicación patológica | 71 |
| 7.3.8 Datos específicos de las lesiones..... | 72 |
| 7.3.9 Descripción de la patología más relevante | 73 |
| 7.3.10 Datos generales del entorno | 74 |
| 7.3.11 Arquitectura..... | 83 |
| 8 ETAPA DE ESTUDIO..... | 85 |



| | |
|---|-----|
| 8.1 Ferrosacán electrónico..... | 85 |
| 8.2 Recubrimientos evidenciados en revisión por ferrosacan..... | 85 |
| 8.3 Extracción de núcleos..... | 87 |
| 8.4 Carbonatación superficial..... | 92 |
| 8.5 Carbonatación profunda..... | 94 |
| 8.6 Despasivación del acero de refuerzo..... | 98 |
| 8.7 Regatas sobre concreto..... | 99 |
| 8.8 Esclerometría..... | 100 |
| 9 DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO..... | 104 |
| 10 FICHAS DE DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO..... | 121 |
| 11 CRONOGRAMA DE TRABAJO..... | 122 |
| 12 PRESUPUESTO..... | 126 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 129 |
| ANEXOS..... | 130 |



LISTADO DE IMÁGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 1 <i>Cátodos y ánodos</i> | 19 |
| Imagen 2 <i>Material Corroído</i> | 19 |
| Imagen 3 <i>Tipos de corrosión</i> | 20 |
| Imagen 4 <i>Vista en planta del tanque de almacenamiento y su entorno</i> | 37 |
| Imagen 5 <i>Presentación de estudiantes de Posgrado, solicitud de información técnica y autorización de ingreso</i> | 39 |
| Imagen 6 <i>Respuesta a la solicitud de información técnica y autorización de ingreso por parte de la empresa Aqualia Villa del Rosario SAS ESP</i> | 42 |
| Imagen 7 <i>Localización de Villa del Rosario en Colombia</i> | 48 |
| Imagen 8 <i>Localización de Villa del Rosario en Norte de Santander</i> | 49 |
| Imagen 9 <i>Localización del tanque de almacenamiento de agua potable en el municipio de Villa del Rosario. Vista aérea a 3000 metros</i> | |



..... 50

Imagen 10 *Localización del tanque de almacenamiento de agua potable en el municipio de Villa del Rosario. Vista aérea a 1000 metros*

..... 51

Imagen 11 *Localización del tanque de almacenamiento de agua potable en el municipio de Villa del Rosario. Vista aérea a 100 metros*

..... 52

Imagen 12 *Vista aérea del tanque a 80 metros. Locación general del tanque de almacenamiento*

..... 53

Imagen 13 *Detalle sin escala en corte de volumetría del tanque*

..... 55

Imagen 14 *Vista de volumetría del tanque de almacenamiento*

..... 56

Imagen 15 *Vista en planta de disposición de láminas de piso*

..... 58

Imagen 16 *Vista lateral de las láminas del tanque*

..... 59

Imagen 17 *Vista en corte sin escala de unión entre base y lateral metálico del tanque*

..... 60

Imagen 18 *Vista actual del interior del tanque de almacenamiento*



| | |
|---|----|
| ..... | 65 |
| Imagen 19 <i>Vista actual del interior del tanque de almacenamiento</i> | |
| ..... | 66 |
| Imagen 20 <i>Vista de soldadura y disposición de la lámina en anillo inferior</i> | |
| ..... | 67 |
| Imagen 21 <i>Vista de la verticalidad del tanque</i> | |
| ..... | 68 |
| Imagen 22 <i>Vista de los apoyos de la cubierta</i> | |
| ..... | 69 |
| Imagen 23 <i>Vista de los restos de tuberías, escalera y pasarelas</i> | |
| ..... | 70 |
| Imagen 24 <i>Daños localizados en el interior del tanque de almacenamiento de agua potable</i> | |
| ..... | 71 |
| Imagen 25 <i>Vista de la lámina metálica de fondo del tanque en estado de corrosión excesiva</i> | |
| ..... | 74 |
| Imagen 26 <i>Vista aérea inclinada a 60 metros de la altimetría de la meseta</i> | |
| ..... | 79 |
| Imagen 27 <i>Excavación manual simple junto a la mole de concreto</i> | |
| ..... | 80 |



Imagen 28 *Restos de geodrén saturado*
..... 82

Imagen 29 *Arquitectura del tanque*
..... 84

Imagen 30 *Extracción de núcleos en la periferia de la mole de concreto*
..... 87

Imagen 31 *Extracción de núcleos en la mole de concreto*
..... 89

Imagen 32 *Espécimen con carbonatación superficial*
..... 93

Imagen 33 *Estructuras de almacenamiento de agua con carbonatación y despasivación*
..... 94

Imagen 34 *Prueba de carbonatación*
..... 95

Imagen 35 *Prueba de carbonatación*
..... 96

Imagen 36 *Prueba de carbonatación*
..... 97

Imagen 37 *Prueba de revisión de aceros de refuerzo*
..... 99

Imagen 38 *Prueba de esclerometría*



| | |
|--|-----|
| ..... | 100 |
| Imagen 39 <i>Prueba de esclerometría</i> | |
| ..... | 102 |
| Imagen 40 <i>Vista interior del cilindro metálico</i> | |
| ..... | 105 |
| Imagen 41 <i>Corte del tanque con columna y cubierta colapsada</i> | |
| ..... | 108 |
| Imagen 42 <i>Vista de soldadura y disposición de la lámina en anillo inferior</i> | |
| ..... | 111 |
| Imagen 43 <i>Vista de los apoyos de la cubierta</i> | |
| ..... | 112 |
| Imagen 44 <i>Vista de los restos de tuberías, escalera y pasarelas</i> | |
| ..... | 113 |
| Imagen 45 <i>Vista en planta de área de mayor lesión por corrosión excesiva</i> | |
| ..... | 114 |
| Imagen 46 <i>Vista del área de mayor lesión ante corrosión excesiva</i> | |
| ..... | 115 |
| Imagen 47 <i>Vista interior del piso del tanque</i> | |
| ..... | 116 |
| Imagen 48 <i>Vista de piso en estado de corrosión</i> | |
| ..... | 117 |



Imagen 49 *Extracción de espécimen de piso*

..... 119

Imagen 50 *Orificio de piso con vista de concreto inferior*

..... 120

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 *Normas técnicas de referencia de Diseño*

..... 26

Tabla 2 *Normas técnicas de referencia de Materiales*

..... 27

Tabla 3 *Láminas*

..... 27

Tabla 4 *Barras planas*

..... 28

Tabla 5 *Normas técnicas de referencia de Soldaduras*

..... 28

Tabla 6 *Norma técnica control de calidad*

..... 29

Tabla 7 *Tanques de almacenamiento de agua potable entregados a la empresa Aqualia*

Villa del Rosario SAS ESP para su operación



| | |
|---|-----|
| ..... | 30 |
| Tabla 8 <i>Alturas representativas del tanque</i> | |
| ..... | 56 |
| Tabla 9 <i>Recubrimientos obtenidos por ferrocán</i> | |
| ..... | 85 |
| Tabla 10 <i>Resultados para resistencia a la compresión de núcleos de concreto</i> | |
| ..... | 90 |
| Tabla 11 <i>Localización de puntos a analizar</i> | |
| ..... | 106 |
| Tabla 12 <i>Presupuesto de intervención del tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario</i> | |
| ..... | 126 |



GLOSARIO

Diagnóstico inicial: Evaluación preliminar realizada para identificar las causas de los fenómenos patológicos que afectan una estructura. Incluye la identificación de factores desencadenantes, evolución, manifestaciones y estado actual de los problemas observados.

Patología estructural: Estudio de las enfermedades o daños que afectan a las estructuras construidas. Se enfoca en la identificación, análisis y solución de problemas que comprometen la integridad de una estructura.

Fenómenos patológicos: Procesos de deterioro y daño que afectan la apariencia, operatividad e integridad estructural de una construcción. Incluyen causas internas y externas que contribuyen a la degradación de los materiales y la estructura.

Ensayos destructivos y no destructivos: Pruebas realizadas para evaluar las propiedades y el estado de los materiales de la estructura. Los ensayos destructivos implican la alteración o destrucción de la muestra, mientras que los ensayos no destructivos permiten evaluar sin dañar la estructura.

Arcillas: Tipo de suelo compuesto por partículas muy finas que tienen alta capacidad de retención de agua y son plásticas cuando están húmedas.

Estructura mixta: Construcción que combina diferentes materiales, en este caso, acero laminado y concreto reforzado, para formar una unidad estructural.

Láminas: Placas de metal utilizadas en la construcción de la base y parte superior del tanque de almacenamiento. Las dimensiones específicas de estas láminas son importantes para la evaluación estructural.



Mole de concreto: Masa de concreto reforzado que forma la base de soporte para el tanque de almacenamiento de agua potable. Proporciona estabilidad y soporte estructural.

Rasante: Nivel de la superficie de la meseta donde se encuentra construido el tanque. Se utiliza como referencia para medir alturas relativas de la estructura y la excavación.

Corrosión por cloruros: Proceso electroquímico que deteriora las estructuras metálicas debido a la presencia de iones de cloruro. Es especialmente perjudicial para las superficies metálicas y puede llevar a la desintegración de los componentes estructurales.



1. INTRODUCCIÓN

Este estudio patológico se enfoca en analizar la estructura de un tanque de almacenamiento de agua potable metálico soportado sobre una mole de concreto, el cual pertenece al sistema de distribución de acueducto ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, departamento Norte de Santander, Colombia.

El tanque de almacenamiento de agua potable del barrio Navarro Wolf es una estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. El conjunto se apoya en un suelo combinado por arcillas, arenas y cantos. Se ubica en la parte más alta del barrio Navarro Wolf del municipio de Villa del Rosario donde el terreno forma una meseta corta.

La estructura es una construcción de aproximadamente 35 años, no ha tenido remodelaciones o reparaciones significativas de tipo arquitectónico o estructural, se divide superficial y volumétricamente en dos niveles con respecto al suelo de corona de la meseta del barrio Navarro Wolf.

Se efectúa un diagnóstico inicial para determinar las causas subyacentes de los fenómenos patológicos que podrían impactar la apariencia, la operatividad y la integridad estructural. En este sentido, se examinan el origen, los factores desencadenantes, su evolución, manifestaciones y estado presente del sistema.

Durante el estudio patológico, se definen metodologías y procesos que incluyen la etapa de exploración inicial, inspecciones en sitio y pruebas destructivas y no destructivas, lo cual permite evaluar el estado actual de la estructura, identificar las características de los materiales empleados y comprender los factores que originan las lesiones. Con la finalidad de sugerir las acciones preventivas y correctivas adecuadas para mejorar su funcionamiento, durabilidad y apariencia del tanque de almacenamiento de agua potable.

Una parte crucial de los datos iniciales que facilitarán la comprensión del proyecto de construcción y la identificación de algunas de las causas detrás de los fenómenos patológicos fue proporcionada por la empresa Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP., quien es la Entidad que opera el sistema de acueducto y alcantarillado en el municipio de Villa del Rosario.

Posteriormente, mediante inspecciones de campo y ensayos realizados en la estructura metálica y la mole de concreto, se evalúan las condiciones actuales y corrobora la información documentada. Es así como se identifica la corrosión por cloruros como la mayor lesión presentada en la estructura, este es un fenómeno que afecta a las estructuras metálicas, especialmente aquellas que están en contacto con iones cloruros que son particularmente dañinos y llevan a la deterioración de la superficie, pudiendo incluso provocar la desintegración del componente en situaciones extremas. Es fundamental aplicar sistemas de protección contra la corrosión para asegurar la longevidad y la estabilidad de elementos metálicos en entornos críticos.



2. JUSTIFICACIÓN

A pesar de los avances significativos en la estabilidad estructural de las edificaciones, evidenciados por una extensa investigación en suelos, materiales de construcción y parámetros de diseño, persisten desafíos que afectan la integridad de las estructuras. Los daños en las edificaciones pueden ser atribuidos a una combinación de factores naturales, actividades humanas y la interacción entre ambos. Específicamente, los eventos sísmicos representan un desafío particular para la estabilidad estructural, manifestándose a través de movimientos de placas tectónicas, erupciones volcánicas y erosión interna de la tierra.

La incorporación de materiales innovadores en la construcción ha dado lugar a la necesidad de normativas y técnicas constructivas que garanticen la seguridad y resistencia de las estructuras. Organismos como el American Concrete Institute (ACI) lideran la investigación y el desarrollo de normativas de sismo resistencia, las cuales son adoptadas por países como Colombia para estandarizar el diseño, la construcción y el mantenimiento de diversas estructuras.

En esta situación, se resalta la relevancia de realizar un estudio patológico del tanque de almacenamiento de agua potable mencionado, con el propósito de analizar la factibilidad continua de utilizar el tanque como depósito de agua potable, y con esto, emitir un concepto sobre la idoneidad del mismo para seguir prestando este servicio, para asegurar la protección y el bienestar de la comunidad que lo utiliza. Además, el estudio busca alertar sobre posibles riesgos asociados con su uso a lo largo del tiempo y proporcionar recomendaciones para su mantenimiento y rehabilitación periódica.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diagnosticar la estructura del tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, departamento Norte de Santander, Colombia.

3.2 Objetivos Específicos

Examinar la composición estructural (diversidad de materiales metálicos y de concreto, características, clasificación, especificaciones técnicas, métodos de tratamiento, usos).

Determinar las causas que generan los deterioros en la estructura.

Detallar las lesiones que se presentan y sus mecanismos de protección.

Registrar fotográficamente la inspección visual realizada.

Identificar el alcance y la gravedad de la patología.

Realizar ensayos destructivos y no destructivos para verificar las propiedades de los materiales.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Marco Teórico

4.1.1 Corrosión

La corrosión es un proceso intrínseco y progresivo, fundamentado en reacciones electroquímicas de oxidación-reducción, que ocurre naturalmente en materiales expuestos a su entorno. Este fenómeno conlleva a la deterioración gradual de los materiales, principalmente metales, mediante la formación de productos corrosivos, afectando su integridad estructural y funcionalidad. Este fenómeno puede resultar en la pérdida de masa del material, cambio en sus propiedades físicas y químicas; asimismo, la velocidad y magnitud de la corrosión están influenciadas por diversos factores ambientales y propiedades de los materiales, determinando su impacto y la necesidad de medidas preventivas o correctivas para preservar su calidad y durabilidad.

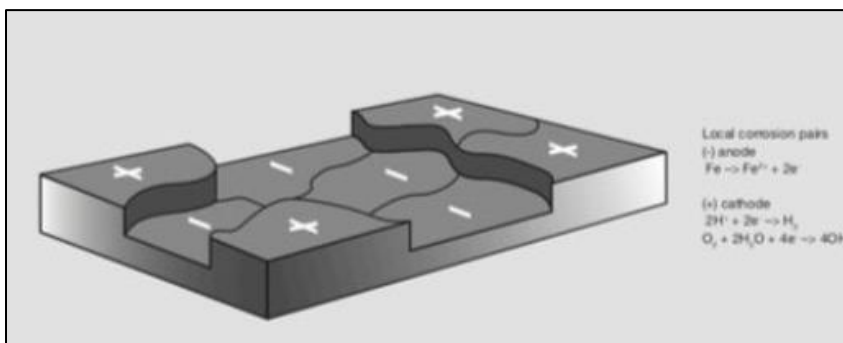
Este proceso puede ser desglosado en dos etapas principales:

Reacción Anódica: En esta etapa inicial, los electrones son liberados en la superficie del metal. Esto resulta en la formación de iones metálicos a partir de los átomos de metal que se oxidan. Esta reacción de oxidación es fundamental para el inicio del proceso corrosivo.

Reacción Catódica: Durante esta etapa, los iones metálicos producidos en la reacción anódica reaccionan con agentes oxidantes presentes en el ambiente, como el oxígeno o los iones hidroxilo. Estos agentes oxidantes facilitan la reducción de los iones metálicos, formando compuestos que pueden disolverse o depositarse en la superficie del metal. Esta reacción de reducción es esencial para el avance del proceso corrosivo.

Imagen 1

Cátodos y ánodos



Fuente: Adaptado de TEKNOS

La presencia de agua, sales, ácidos, bases u otras sustancias corrosivas en el ambiente puede acelerar el proceso de corrosión al proporcionar un medio conductor para las reacciones electroquímicas. Estas sustancias facilitan la transferencia de electrones entre el ánodo y el cátodo, lo que aumenta la velocidad de deterioro del metal.

Imagen 2

Material Corroído



Fuente: Adaptado de TEKNOS

Tipos de corrosión

Cada tipo de corrosión requiere un enfoque específico para prevenirla y controlarla. Se deben considerar factores ambientales, materiales y otros elementos influyentes en la corrosión. Esto incluye la humedad, sustancias corrosivas, temperatura y salinidad del ambiente, se tienen los siguientes tipos de corrosión:

Imagen 3

Tipos de corrosión

| ITEM | TIPO DE CORROSIÓN | BREVE EXPLICACION |
|------|--------------------------|---|
| 1 | Electroquímica | Involucrando al menos una reacción anódica y una catódica. |
| 2 | Química | Sin involucrar una reacción electroquímica. |
| 3 | Gaseosa | Con gas seco como único ambiente corrosivo y sin ninguna fase líquida en la superficie del metal. |
| 4 | Atmosférica | El ambiente corrosivo formado por la atmósfera de la tierra y la temperatura del ambiente. |
| 5 | Marina | El agua de mar como principal agente del ambiente corrosivo. |
| 6 | Subsuelo | En metales enterrados con el suelo como ambiente corrosivo. Se entiende el término suelo como no solo el material natural existente en el sitio, sino también como los rellenos granulares. |
| 7 | Microbiótica | Asociada con la acción de microorganismos en el sistema de corrosión. |
| 8 | Bacteriana | Debido a la acción de bacterias. |
| 9 | General | Procedente sobre toda la superficie del metal expuesto al ambiente corrosivo. |
| 10 | Localizada | Concentrada en sitios específicos de la superficie del metal expuesto. |
| 11 | Uniforme | Ocurre casi a la misma tasa o velocidad sobre toda la superficie. |
| 12 | Galvánica | Debida a la acción de la celda de corrosión. |
| 13 | Bimetálica | Donde los electrodos son formados por materiales distintos (corrosión por contacto). |
| 14 | Por corriente inducida | Debido a la acción de una fuente externa (corriente eléctrica). |
| 15 | Por corrientes parásitas | Causada por la corriente fluyendo a través de caminos distintos a los de los circuitos inducidos. |
| 16 | Por picadura | Corrosión localizada con picaduras sobre la superficie del metal. |
| 17 | Por grietas | Corrosión localizada asociada y tomando lugar dentro, o inmediatamente alrededor, de una apertura estrecha o luz formada entre la superficie del metal y otra superficie. |
| 18 | Depositada | Corrosión localizada, asociada con y tomando lugar bajo o inmediatamente alrededor de los depósitos de corrosión. |
| 19 | Nivel de agua | A lo largo y como consecuencia de la presencia del nivel de gas o líquido. |
| 20 | Selectiva | De una aleación donde sus componentes en proporciones diferentes de las proporciones que componen la aleación. |
| 21 | Remoción de zinc | Corrosión selectiva. |
| 22 | Grafítica | Remoción parcial de los constituyentes metálicos, dejando el grafito. |
| 23 | Intergranular | Dentro o adyacente a los granos de los bordes del metal. |
| 24 | Soldadura | Asociada con la presencia de la unión soldada y tomando lugar en la soldadura y en sus vecindades. |
| 25 | Marca de cuchillo | Resultante de una ranura estrecha dentro o adyacente del lomo de una soldadura o de la parte agarrada. |
| 26 | Por capas | De capas internas de metal forjado, resultando ocasionalmente en exfoliación. |

Fuente: “Corrosión en las estructuras de acero”, Ósmar Gamba.

Aspectos que afectan la corrosión

Los elementos determinantes en el proceso de corrosión abarcan la prolongación de la exposición a la humedad, particularmente en ambientes marinos, la composición superficial del

metal, la temperatura, el pH ambiental, la conductividad eléctrica y la composición química del metal. Además, diversos tipos de entornos atmosféricos pueden contribuir a la corrosión, como los ambientes rurales no costeros, los ambientes marinos con alta humedad y presencia de cloruros, y los ambientes urbanos afectados por la polución de partículas provenientes de la combustión, emisiones de humo y acumulación de hollín.

4.2 Marco Conceptual

Acero Estructural

El acero estructural es una aleación compuesta principalmente de hierro y carbono, pero también contiene pequeñas cantidades de otros elementos como silicio, manganeso, fósforo y azufre, los cuales contribuyen a sus propiedades específicas. Este tipo de acero se produce mediante un proceso de laminado en caliente y se utiliza en una amplia gama de estructuras, especialmente en la construcción de edificios.

Una de las características clave del acero estructural es su ductilidad, lo que significa que puede experimentar considerables deformaciones mecánicas sin fracturarse, lo que resulta fundamental para resistir las tensiones causadas por las cargas aplicadas.

Propiedades Mecánicas del Acero Estructural

El acero estructural se distingue por sus propiedades mecánicas, las cuales son el resultado de una compleja interacción entre su composición química, el proceso de fabricación empleado, los tratamientos térmicos aplicados y la naturaleza de las cargas a las que se somete. Estas características, que incluyen resistencia, ductilidad y capacidad de absorción de cargas,



definen la robustez y la confiabilidad de este material en aplicaciones estructurales que demandan altos estándares de rendimiento. Entre sus propiedades más importantes tenemos:

- **Resistencia a la tracción:** Capacidad para soportar fuerzas de tracción sin experimentar fracturas, siendo usualmente alta en el acero estructural.
- **Resistencia a la compresión:** Capacidad para soportar fuerzas de compresión sin experimentar deformaciones permanentes, haciéndolo adecuado para soportar cargas verticales como columnas.
- **Ductilidad:** Capacidad para deformarse plásticamente antes de fracturarse, permitiendo deformaciones seguras bajo cargas extremas.
- **Tenacidad:** Capacidad para absorber energía antes de fracturarse, especialmente crucial en condiciones de carga cíclica o impactos súbitos.
- **Módulo de elasticidad:** Indica la respuesta elástica del acero bajo carga, con valores altos en el acero estructural, restaurar su configuración inicial luego de ser sometido a fuerzas.

Ventajas del Acero Estructural

El acero estructural presenta múltiples ventajas en la construcción:

- **Ductilidad y tenacidad:** Ofrece advertencia temprana de posibles fallos y absorción de energía ante cargas extremas.
- **Versatilidad en el diseño:** Puede formarse en variedad de perfiles y secciones, adaptándose a necesidades específicas.



- **Eficiencia constructiva:** Su prefabricación agiliza procesos y reduce desperdicios.
- **Resistencia al fuego:** Soporta altas temperaturas y puede mejorarse con recubrimientos contra incendios.
- **Durabilidad y bajo mantenimiento:** Larga vida útil con inspección y reparación sencillas.

Desventajas del Acero Estructural

A pesar de sus ventajas, el acero estructural presenta desafíos como:

- **Costo inicial elevado:** Comparado con otros materiales, su fabricación puede resultar más costosa.
- **Susceptibilidad a la corrosión:** Requiere medidas de protección en ambientes corrosivos para evitar deterioro.
- **Conductividad térmica alta:** Transmite fácilmente calor y frío.
- **Costo de mantenimiento:** Requiere pintura periódica y protección contra la corrosión.
- **Susceptibilidad al pandeo:** Columnas largas y delgadas pueden requerir refuerzos adicionales.

Tanque de Almacenamiento de Agua Potable

Los tanques de almacenamiento de agua potable son estructuras diseñadas para contener grandes volúmenes de agua destinados al suministro público, industrial o doméstico. Estos



tanques son fundamentales en la infraestructura de abastecimiento de agua, proporcionando una reserva estratégica para satisfacer demandas fluctuantes y emergencias.

Diseño y Construcción

Los tanques de almacenamiento de agua potable varían en diseño y construcción según su ubicación, capacidad y requisitos específicos. Pueden ser elevados, enterrados o apoyados en el suelo, contruidos con materiales como concreto, acero o polímeros reforzados.

Funcionalidad y Componentes

Los tanques de agua potable constan de varios componentes esenciales:

- **Recipiente:** La estructura que contiene el agua, diseñada para garantizar la calidad y seguridad del almacenamiento.
- **Tapa y Entrada de Inspección:** Acceso para inspección, limpieza y mantenimiento del tanque.
- **Sistema de Distribución:** Conexiones para entrada y salida de agua, así como dispositivos de control y medición.
- **Recubrimiento y Aislamiento:** Protección contra la corrosión, contaminación y pérdida de temperatura.

Propiedades y Características

Los tanques de almacenamiento de agua potable deben cumplir con estándares y normativas específicas para asegurar la calidad y potabilidad del agua. Entre sus propiedades y características destacan:



- **Impermeabilidad:** Prevención de fugas y filtraciones para mantener la integridad del agua almacenada.
- **Resistencia Estructural:** Capacidad para soportar cargas hidrostáticas y externas, garantizando la estabilidad y seguridad.
- **Higiene y Seguridad:** Materiales y acabados que evitan la contaminación del agua y cumplen con regulaciones sanitarias.
- **Durabilidad y Mantenimiento:** Capacidad para resistir condiciones ambientales adversas y facilidad de inspección y reparación.

4.3 Marco Legal

El Título C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida. Para asegurarse que los materiales utilizados en la obra sean de la calidad especificada, deben realizarse los ensayos correspondientes sobre muestras representativas de los materiales de la construcción. (Tomado del C.3.1.1. Título C. NSR-10).¹

En términos generales de fabricación y diseño de estructuras compuestas con acero estructural, estos se basan mediante reglamentos específicos, códigos de construcción y normas vigentes. En Colombia, la NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente)

¹ Resumen tomado de la página Web: [Los sistemas estructurales permitidos en Colombia. \(legis.com.co\)](http://legis.com.co)

determina los procedimientos para el diseño, requisitos, mantenimiento de estructuras en acero y construcción, con la finalidad de asegurar la resistencia sísmica en las edificaciones y la seguridad de las mismas.

En el título F de la NSR-10, llamado Estructuras Metálicas, se determinan las pautas de diseños de las estructuras conformadas por elementos de aluminio o acero, remachados, atornillados o soldados.

Las normas técnicas de referencia son aplicables de acuerdo con lo siguiente:

Tabla 1

Normas técnicas de referencia de Diseño

| Código | Descripción |
|-------------|--|
| NSR-10 | Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente |
| NTC 5832 | Norma Técnica Colombiana (NTC) 5832 |
| AISC 303-10 | Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges |
| AISC 360-10 | Specification for Structural Steel Buildings |
| AISC 341-10 | Seismic Provisions for Structural Steel Buildings |
| AISC 358-10 | Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic applications |
| AISI S100 | North American Specification for the design of Cold-formed steel structural members |

Tabla 2*Normas técnicas de referencia de Materiales*

| Código | Descripción |
|------------------|---|
| ASTM A36/A36M | Especificación estándar para acero estructural |
| ASTM A529/A529M | Especificación estándar para acero al carbono y acero de baja aleación |
| ASTM A572/A572M | Especificación estándar para acero de alta resistencia y baja aleación |
| ASTM A588/A588M | Especificación estándar para acero de alta resistencia y baja aleación resistente a la corrosión atmosférica |
| ASTM A709/A709M | Especificación estándar para acero estructural para puentes |
| ASTM A913/A913M | Especificación estándar para acero de alta resistencia y baja aleación templado en la fábrica |
| ASTM A992/A992M | Especificación estándar para perfiles estructurales de acero de alta resistencia y baja aleación |
| ASTM A1043/1043M | Especificación estándar para perfiles estructurales de acero de alta resistencia y baja aleación templado en la fábrica |

Tabla 3*Láminas*

| Código | Descripción |
|-------------------|--|
| ASTM A36/A36M | Especificación estándar para acero estructural |
| ASTM A572/A572M | Especificación estándar para acero de alta resistencia y baja aleación |
| ASTM A1011/A1011M | Especificación estándar para acero al carbono laminado en caliente |
| ASTM A1043/A1043M | Especificación estándar para acero estructural templado en la fábrica |



Tabla 4

Barras planas

| Código | Descripción |
|-----------------|--|
| ASTM A36/A36M | Especificación estándar para acero estructural |
| ASTM A529/A529M | Especificación estándar para acero al carbono y acero de baja aleación |
| ASTM A572/A572M | Especificación estándar para acero de alta resistencia y baja aleación |
| ASTM A709/A709M | Especificación estándar para acero estructural para puentes |

Tabla 5

Normas técnicas de referencia de Soldaduras

| Código | Descripción |
|----------------|--|
| NSR-10 | Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente |
| NTC 5832 | Prácticas normalizadas para fabricación y montaje de estructuras en acero |
| NTC 2057 | Código para calificar el procedimiento para soldar y la habilidad del soldador |
| ASTM SE-165 | Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination |
| AWS D1.1/D1.1M | Structural Welding Code – Steel |
| AWS D1.6/D1.6M | Structural Welding Code – Stainless Steel |
| AWS A2.1 | Welding symbol chart |
| AWS A2.4 | Standard Symbols for Welding, Brazing and Non-destructive examination |
| AWS A5.1 | Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding |
| AWS QC7 | Standard for AWS Certified Welders |
| AWS QC13 | Specification for the Certification of Welding Supervisors |

Tabla 6

Norma técnica control de calidad

| Código | Descripción |
|---------------|--|
| NTC ISO 10005 | Directrices para los planes de calidad |

4.4 Marco Histórico

Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP es la empresa que opera el sistema de acueducto y alcantarillado en el municipio de Villa del Rosario, departamento del Norte de Santander, en el marco del contrato de operación No. 072/2020 celebrado entre las empresas Eicviro ESP (entidad descentralizada de la Administración Municipal) y Aqualia S.A.S. ESP desde el 01 de abril del 2020.

En el Anexo Técnico del contrato de operación 072/2020 cuyo objeto es la “Operación, ampliación, rehabilitación, mantenimiento de la infraestructura y gestión comercial de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado en el municipio de Villa del Rosario (Norte de Santander)”, se relaciona la infraestructura en operación entregada a Aqualia Villa del Rosario SAS ESP, entre estos, el tanque de almacenamiento de agua potable en el barrio Navarro Wolf, con una capacidad de almacenamiento de 1.200 m3.

Tabla 7

Tanques de almacenamiento de agua potable entregados a la empresa Aqualia Villa del Rosario SAS ESP para su operación

| Tanques existentes | | | | |
|---------------------------|-------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------|
| Tanque | Tipo | Volumen (m³) | Localización | El agua llega por |
| Tanque 1 | Concreto | 1.200 | PTAP | Gravedad |
| Tanque 2 | Metálico | 2.330 | PTAP | Gravedad |
| Australiano | Metálico | 1.600 | Ciudad | Bombeo desde Tanque 2 |
| Navarro Wolf | Metálico | 1.200 | Ciudad | Bombeo desde Montevideo |
| Montevideo | Concreto | 1.000 | Ciudad | Gravedad |
| San Gregorio | Concreto | 1.200 | Ciudad | Gravedad |
| Total | | 8.530 | | |

Nota: Adaptado del Anexo Técnico del contrato de operación 072/2020 celebrado entre las empresas Eicviro ESP y Aqualia Villa del Rosario SAS ESP.

Sin embargo, en la entrega de la infraestructura no se relaciona documentación técnica ni diseños de la estructura en mención. De acuerdo con el apoyo historial de trabajadores de la Administración Municipal, informan que la construcción del tanque de almacenamiento en el barrio Navarro Wolf data entre los años 1990 y 1995 aproximadamente, toda vez que son fechas de construcción de la tipicidad de tanques metálicos circulares.

Dada la fecha de posible construcción del tanque, existía para la época la norma oficial de construcción dada por el CCCSR, (Código Colombiano de las Construcciones Sismorresistentes) y también del apoyo de las normas API (American Petroleum Institute).



El tanque de almacenamiento de agua potable en el barrio Navarro hace parte del sistema de distribución de acueducto y abastece a los usuarios ubicados en cuatro (4) barrios llamados Navarro Wolf, Lomitas, Trapiches y Portal de los Alcázares, teniendo en cuenta que la frecuencia en la prestación del servicio para este sector es de cada (8) días.

5. ALCANCES

El estudio patológico del tanque de almacenamiento de agua potable en el barrio Navarro Wolf tiene como objetivo principal evaluar el estado actual de la estructura, identificar las posibles patologías presentes y proponer medidas adecuadas para su intervención y mejora. Este estudio se divide en dos fases principales:

Evaluación Inicial del Estado Estructural

Durante esta etapa inicial, se llevarán a cabo actividades destinadas a recopilar información relevante y a realizar inspecciones preliminares que permitan establecer una base para el estudio detallado. El alcance de esta fase incluye:

Recopilación y revisión de documentos relacionados con el diseño, construcción, mantenimiento y operación del tanque de almacenamiento.

Inspección visual de la estructura para identificar posibles signos de deterioro, daño o deficiencias constructivas.

Evaluación de la historia de mantenimiento y reparaciones anteriores del tanque.

Identificación preliminar de las posibles patologías presentes y de las áreas que requieren atención especial.

Diagnostico patológico e intervención:

En esta fase posterior, se profundizará en el análisis del estado del tanque de almacenamiento, sus materiales constituyentes y las causas subyacentes de las patologías identificadas. El alcance de esta etapa comprende:



Evaluación detallada de la estructura y sus componentes, incluyendo el análisis de los materiales utilizados.

Realización de ensayos específicos para obtener información adicional sobre el estado de la estructura, como pruebas de carbonatación, despasivación, fisuración, pérdida de material, entre otros.

Diagnóstico preciso de las patologías presentes en el tanque de almacenamiento.

Propuesta de medidas correctivas y preventivas para abordar las deficiencias encontradas, incluyendo recomendaciones para rehabilitación, reparación o reforzamiento estructural según sea necesario.



6. LIMITACIONES

El estudio patológico del tanque de almacenamiento de agua potable en el barrio Navarro Wolf tiene una limitación especial en la estructura de la mole de concreto (cimentación) para la ejecución de estudios directos e indirectos, el mismo depósito metálico impide llegar a zonas ocultas del concreto de la base y en su defecto las consideraciones por no accesibilidad son las siguientes:

- La realización de lecturas con el ferroskan electrónico del acero de refuerzo en el interior de la mole de concreto se vio limitada, con la excepción del borde libre. En el área central, el equipo no proporcionó información debido a que la lámina de fondo del tanque actuó como una barrera, impidiendo la penetración de las ondas electromagnéticas para radiar el interior del concreto.
- El servicio de almacenamiento y suministro de agua potable requería una espera de aproximadamente 20 días para la realización de pruebas, lo que impactaba negativamente en las operaciones de la empresa. Esta demora afectaba la toma de muestras y las subsiguientes reparaciones e instalaciones en la base o en partes de ella.
- Las pruebas de carbonatación, despasivación, fisuración, pérdida de material, entre otros exámenes, no se llevaron a cabo en el interior de la estructura de concreto debido a la ubicación, peso y distribución del depósito metálico.



7. METODOLOGÍA

La metodología empleada en el estudio patológico del Tanque de Almacenamiento de Agua Potable inicialmente se basa en la recopilación exhaustiva de información, inspecciones visuales detalladas y la aplicación de diversas técnicas de exploración. El objetivo principal es identificar y comprender las posibles patologías que afectan al tanque, así como determinar las causas subyacentes de estas patologías para proponer soluciones efectivas que aseguren su funcionamiento óptimo y prolonguen su vida útil.

Para realizar una evaluación exhaustiva del tanque, se llevaron a cabo diferentes actividades, entre las que se incluyeron levantamientos arquitectónicos para comprender su estructura, análisis detallados de la lámina del tanque para detectar posibles daños o deterioros, inspecciones minuciosas de la mole de concreto para identificar cualquier anomalía, observaciones utilizando tecnologías como el ferrosacan y la regata para evaluar la disposición del acero de refuerzo, extracción de núcleos de concreto para analizar su resistencia y calidad, así como pruebas de esclerometría y carbonatación para evaluar la integridad del concreto.

Cada uno de estos aspectos contribuyó a obtener una visión completa y detallada del estado del tanque, facilitando así la toma de decisiones respecto a su mantenimiento y eventual rehabilitación. La metodología implementada permitió no solo identificar las posibles patologías presentes en la estructura, sino también comprender sus causas subyacentes y proponer soluciones adecuadas para mitigar los riesgos y asegurar la integridad y funcionalidad a largo plazo del tanque de almacenamiento de agua potable.



7.1 Descripción de la Selección del Paciente

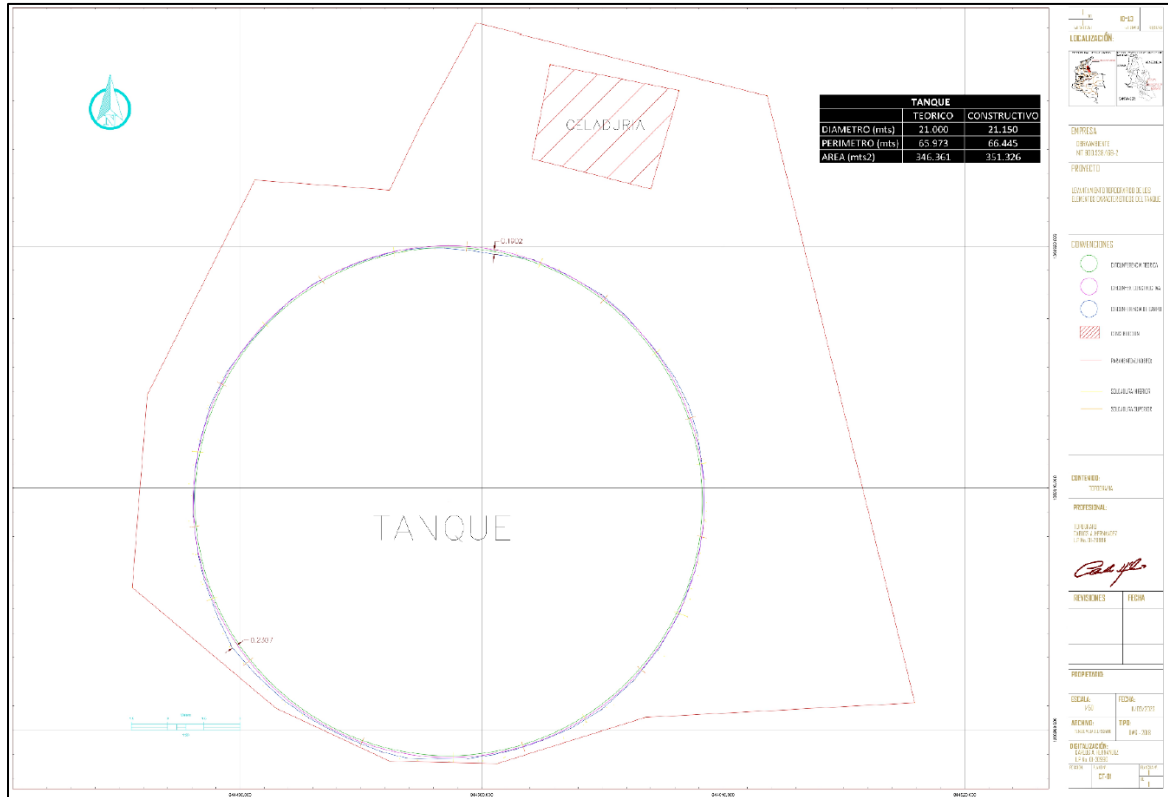
El paciente seleccionado es el tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, infraestructura perteneciente al sistema de distribución de acueducto en el municipio de Villa del Rosario, departamento de Norte de Santander, Colombia.

El tanque de almacenamiento en mención se compone de dos volúmenes integrados en dos cilindros metálicos regulares superpuestos. El cilindro superior o depósito metálico circular tiene una altura de 3.79 metros desarrollados a partir de la cota cero. Tómese la cota cero (0,0) como la línea de transición entre el tanque metálico y la mole de concreto. Debajo de este nivel a -1.30 metros se desarrolla una torta de concreto o mole, lograda en formaleta semicurva. El tanque no posee cubierta debido a colapso de la misma por efecto de corrosión excesiva.



Imagen 4

Vista en planta del tanque de almacenamiento y su entorno



Nota: Adaptado de documentación técnica de la empresa Aqualia Villa del Rosario SAS ESP.

El tanque de almacenamiento en mención es la única estructura en el sector que almacena agua potable y abastece por medio de gravedad a los usuarios localizados en los barrios Navarro Wolf, Lomitas, Trapiches y Portal de los Alcázares en el municipio de Villa del Rosario, por lo que resulta de vital importancia el mantenimiento y conservación.



7.2 Preparación y Planteamiento del Estudio

7.2.1 Inspección preliminar del paciente

Se lleva a cabo una inspección visual preliminar exhaustiva del tanque de almacenamiento de agua potable el día 08 de marzo del 2024 para verificar e identificar posibles daños o lesiones evidenciados por el personal operativo de la empresa Aqualia Villa del Rosario SAS ESP. Se realizó registro fotográfico de las lesiones que se evidenciaron visualmente, observando que hay lesiones que podrían comprometer el funcionamiento adecuado de la estructura en el corto o mediano plazo.

Asimismo, se evaluaron las condiciones ambientales a las que está expuesto el tanque de almacenamiento de agua potable en el barrio Navarro Wolf, así como otros factores que podrían afectar la estructura.

La inspección visual detallada establece un registro minucioso de los daños identificados durante la fase preliminar, mediante la clasificación de los mismos según su naturaleza y origen, tales como daños físicos, mecánicos, químicos, biológicos y antropogénicos. Esta sistematización facilita la evaluación del grado de afectación de la estructura. Para ello, se diseñaron formatos de registro fotográfico, clasificación y tipificación de lesiones, los cuales se presentan a continuación y se completan en los anexos.

7.2.2 Recopilación de información necesaria para el estudio



Se realiza la solicitud al Jefe de Servicios de la empresa Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP, con la finalidad de que nos faciliten información de estudios y diseños, informes de la etapa de ejecución y/o construcción e historial de mantenimiento.

De la cual se obtiene el catastro de redes de distribución de salida y entrada al tanque, el plan de mantenimiento preventivo (fechas de lavado interno del tanque) e informe topográfico. No se obtienen diseños estructurales, arquitectónicos ni información técnica del proceso de ejecución, ya que la Entidad no cuenta con ello. Sin embargo, nos permitieron hacer acompañamiento del proceso del estudio de suelos y estudio de patología de la estructura.

7.2.3 Permisos y autorizaciones para abordar estudio del paciente

Imagen 5

Presentación de estudiantes de Posgrado, solicitud de información técnica y autorización de ingreso



Villa del Rosario, 01 de marzo del 2024

Ingeniero
DIEGO HERNÁN HURTADO VARÓN
Jefe de Servicios
Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP
Villa del Rosario – Norte de Santander

| | |
|--|-----------------------|
| aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP. | |
| Área técnica | |
| Fecha: | 01 - Marzo - 2024 |
| Hora: | 09:12 am N. Anexos: 6 |
| N. Radicado: | 134849 |
| Firma: | |

Referencia: Estudio Patológico realizado al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander.

Asunto: Presentación de estudiantes y solicitud de información técnica.

Cordial saludo,

Por medio de la presente nos permitimos presentarnos, **Karolay Andrea Acuña Cuesta** identificada con cédula de ciudadanía 1.102.879.704 y **Gerson Jair Guerrero Parada** identificado con cédula de ciudadanía 1.090.383.196, como estudiantes de segundo semestre del **Posgrado en Especialización de Patología de la Construcción de la Universidad Santo Tomás**.

Actualmente nos encontramos cursando los espacios académicos de Metodología para la Intervención y Trabajo Profesional Integrado.

Lo anterior, teniendo en cuenta que desde el Posgrado en Especialización en Patología de la Construcción, nos brindarán el apoyo correspondiente para desarrollar el trabajo de grado para poder optar el título de Posgrado, por esta razón se requiere que apliquemos nuestros conocimientos teóricos, en un paciente específico (edificio, obra, etc.), para este caso, el tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, en el municipio de Villa del Rosario, departamento del Norte de Santander, el cual será propuesto por nosotros y presentado al Coordinador de la Especialización.

De acuerdo con lo anterior, solicitamos amablemente su apoyo para que podamos realizar este trabajo con su autorización como Jefe de Servicio de la empresa Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP.


Es importante aclarar que se realizarán ensayos invasivos y no invasivos, conforme al estado del paciente.

NIT. 810.012.357-6

SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ - PBX: (571) 587 87 97. Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180.
Carrera 9.ª n.º 51-11 / contactenos@usantotomas.edu.co
www.usta.edu.co


DIVISIÓN DE EDUCACIÓN ABIERTA Y A DISTANCIA -DUAD-
PBX: (571) 595 00 00 ext. 2044 Carrera 10.ª n.º 72-50 / admisiones@ustadistancia.edu.co
www.ustadistancia.edu.co





UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

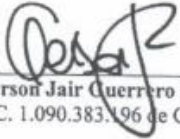
VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES: 1704


2


Así mismo, se destaca que la realización de este trabajo es únicamente académica, por lo tanto, no tiene fines económicos ni legales.

Por tal motivo, solicitamos toda la información técnica disponible del contrato de la referencia.

Cordialmente,



Gerson Jair Guerrero Parada
C.C. 1.090.383.196 de Cúcuta



Karolay Acuña Cuesta
C.C. 1.102.879.704 de Sincelejo

NIT. 860.012.357-6

SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ - PBX: (571) 587 87 97 Línea gratuita nacional: 01 8000 111 180
Carrera 9.ª n.º 51-11 / contactenos@usantotomas.edu.co
www.usta.edu.co


DIVISIÓN DE EDUCACIÓN ABIERTA Y A DISTANCIA -DUAD-
PBX: (571) 595 00 00 ext. 2044 Carrera 10.ª n.º 72-50 / admisiones@ustadistancia.edu.co
www.ustadistancia.edu.co

Nota: Elaboración propia.



Imagen 6

Respuesta a la solicitud de información técnica y autorización de ingreso por parte de la empresa Aqualia Villa del Rosario SAS ESP



Tu compañía del agua

Villa del Rosario, 06 de marzo del 2024

Ingenieros
KAROLAY ANDREA ACUÑA CUESTA
GERSON JAIR GUERRERO PARADA
Estudiantes de Posgrado en Especialización en Patología de la Construcción
Universidad Santo Tomás

Asunto: Respuesta presentación de estudiantes y solicitud de información técnica.

Aqualia Villa del Rosario S.A. ESP., envía un cordial saludo, en respuesta al PQR-34849 radicado el 01 de marzo del 2024, en el cual refiere:

"Lo anterior, teniendo en cuenta que desde el Posgrado en Especialización en Patología de la Construcción, nos brindarán el apoyo correspondiente para desarrollar el trabajo de grado para poder optar el título de Posgrado, por esta razón se requiere que apliquemos nuestros conocimientos teóricos, en un paciente específico (edificio, obra, etc.), para este caso, el tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navaro Wolf, en el municipio de Villa del Rosario, departamento del Norte de Santander, el cual será propuesto por nosotros y presentado al Coordinador de la Especialización.

De acuerdo con lo anterior, solicitamos amablemente su apoyo para que podamos realizar este trabajo con su autorización como Jefe de Servicio de la empresa Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP.

Es importante aclarar que se realizarán ensayos no invasivos, conforme al estado del paciente."

A continuación, damos respuesta a sus peticiones en los siguientes términos:

Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP es la empresa que opera el sistema de acueducto y alcantarillado en el Municipio de Villa del Rosario en el marco del contrato de operación No. 072/2020 celebrado entre las empresas Eicviro ESP y Aqualia S.A.S. ESP desde el 01 de abril del 2020.

Ahora bien, con el fin de brindar respuesta a lo solicitado en el requerimiento, y actuando como Jefe de Servicio de Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP, una vez revisada la información técnica del tanque de almacenamiento de agua

Calle 23 N. 12-20 barrio Gran Colombia, Villa del Rosario – Norte de Santander
Teléfonos: Comercial 6075704123

Página 1 de 2

AQUALIA VILLA DEL ROSARIO SAS ESP - NIT 901.368.043-5



potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, que reposa en el Área Técnica y Proyectos, se recopila y se remite en medio digital lo siguiente:

- Catastro de redes de distribución de salida y entrada al tanque de almacenamiento.
- Plan de mantenimiento preventivo ejecutado desde el inicio de la operación hasta la fecha.
- Informe topográfico del tanque de almacenamiento.

Esta información se entrega sin protección y debe ser manejada confidencialmente y en estricta reserva, por lo que no debe ser modificada como tampoco revelada a terceros ajenos al proceso de formación profesional, so pena que la Entidad pueda adelantar acciones pertinentes sobre el mal uso de la información.

Finalmente, se autoriza el ingreso a las instalaciones operada por esta Entidad y adelantar el estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander, únicamente con fines académicos, sin fines económicos ni legales.

Se expide la presente certificación a los seis (06) días del mes de marzo del 2024, en el municipio de Villa del Rosario.

Cordialmente,

Diego Hernán Hurtado Varón
Jefe de Servicios
Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP

Proyectó: Ing. Paula C. Barreto C. – Auxiliar Técnico Operativo

AQUALIA VILLA DEL ROSARIO SAS ESP - NIT 901.368.043-5

Calle 23 N. 12-20 barrio Gran Colombia, Villa del Rosario – Norte de Santander
Teléfonos: Comercial 6075704123

Página 2 de 2

Nota: Fuente Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP.



7.2.4 Definición del equipo de trabajo que realizará la exploración

El equipo de trabajo y de estudio encargado de realizar la patología del tanque de almacenamiento al tanque de almacenamiento ubicado en el barrio Navarro Wolf está conformado por profesionales del área de Ingeniería Civil, a cargo de la Ingeniera Civil Karolay Acuña Cuesta y el Profesional en Construcción en Arquitectura e Ingeniería Gerson Jair Guerrero Parada, con la finalidad de diagnosticar y evaluar los daños presentes, y posibles problemas en la infraestructura, evidenciando las lesiones, sus causas y estableciendo las soluciones pertinentes y adecuadas.

7.2.5 Definición de los medios para realizar la exploración

Para la toma de información en el sitio y posterior análisis se usaron los siguientes medios:

- Vehículos para transporte de personal, equipos y muestras.
- GPS.
- Nivel estacionario.
- Estación topográfica
- Cintra métrica de 50 metros.
- Cinta métrica de 3 metros.
- Distanciómetro digital
- Cámara fotográfica.
- Extractora de núcleos.



- Esclerómetro.
- Ferroscañ electrónico.
- Macetas de diferentes pesos.
- Llaves inglesas.
- Cinceles.
- Calibrador mecánico.
- Kit para medir PH.
- Fenolftaleína al 2%.
- Laboratorio de mecánica de materiales
- Marcador.
- Balanza electrónica.
- Taladro eléctrico y brocas.
- Escobilla de 2”.
- Soplador.
- Escuadra.
- Nylon.
- Tanque auxiliar de agua
- Atomizadores
- Endoscopio industrial
- Planta eléctrica.



- Escaleras.
- Soldadores.
- Pulidoras.
- Pinturas y anticorrosivos.
- Otros equipos.

7.3 Historia Clínica

7.3.2 Responsables del estudio

Los responsables del estudio patológico del tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf en el municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander, son los siguientes profesionales:

- Ingeniera Civil, Karolay Andrea Acuña Cuesta, egresada de la Universidad de Sucre, en el año 2019.
- Profesional en Construcción en Arquitectura e Ingeniería, Gerson Jair Guerrero Parada, egresado de la Universidad Santo Tomás, en el año 2022.

7.3.3 Fecha de realización del estudio

El estudio inicia el día ocho (08) de marzo del 2024, una vez aprobado el caso de estudio de Patología del tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf en el municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. Sin embargo, se continúa con el desarrollo de la metodología planteada a lo largo del presente semestre de Posgrado.

7.3.4 Datos generales del paciente

- **Nombre:**

Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander.

- **Localización**

El tanque de almacenamiento de agua potable está localizado en el municipio de Villa del Rosario, ubicado en el departamento de Norte de Santander, sobre la frontera con Venezuela. Villa del Rosario tiene una superficie de más de 228 Km². El municipio cuenta con una población aprox. de 112.798 habitantes, ocupando la tercera posición en población del departamento después de Cúcuta y Ocaña. Villa del Rosario hace parte del Área Metropolitana de Cúcuta. Es patrimonio cultural de la nación, mediante la Ley 2270 del 23 de septiembre de 2022. Hace parte de la Red de pueblos patrimonio de Colombia.

Villa del Rosario se localiza exactamente en las coordenadas 7°50'2''N y 72°28'27''O. Su altitud es de 440 m.s.n.m. Su temperatura promedio es de 22°C a 31 °C a lo largo del año.

Se divide administrativamente en 5 corregimientos y 4 veredas. Limita al norte con Venezuela y Cúcuta, al sur con Ragonvalia y Chinácota, al oriente con Venezuela y al occidente con Los Patios. Su único río es el Táchira.²

² Resumen tomado de la página Web: [Villa del Rosario \(Norte de Santander\) - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)



Imagen 7

Localización de Villa del Rosario en Colombia



Nota: Adaptado de Villa del Rosario (Norte de Santander) - Wikipedia, la enciclopedia libre



Imagen 8

Localización de Villa del Rosario en Norte de Santander



Nota: Adaptado de [Villa del Rosario \(Norte de Santander\) - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

El tanque de almacenamiento de agua potable se ubica en la parte más alta del barrio Navarro Wolf del municipio de Villa del Rosario, donde el terreno forma una meseta corta.
Coordenadas de sitio 7.8574° N, 72.4874° O.



Imagen 9

Localización del tanque de almacenamiento de agua potable en el municipio de Villa del Rosario. Vista aérea a 3000 metros



Nota: Adaptado de Google Earth.

Imagen 10

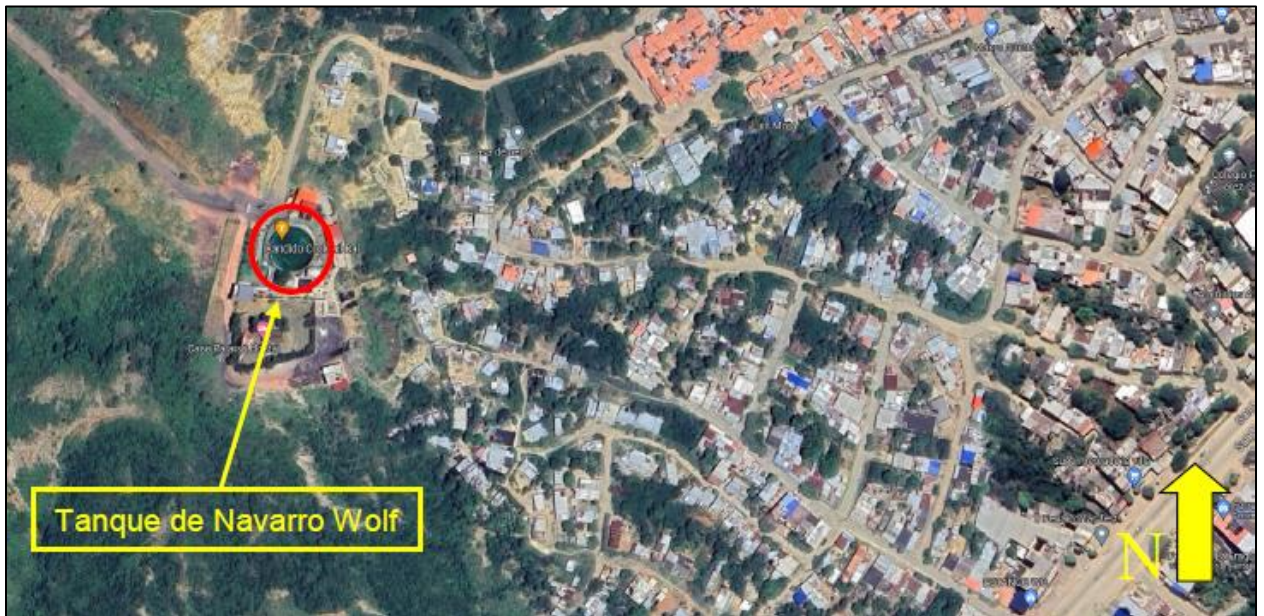
Localización del tanque de almacenamiento de agua potable en el municipio de Villa del Rosario. Vista aérea a 1000 metros



Nota: Adaptado de Google Earth.

Imagen 11

Localización del tanque de almacenamiento de agua potable en el municipio de Villa del Rosario. Vista aérea a 100 metros



Nota: Adaptado de Google Earth.

El sitio de ubicación del tanque pertenece a la parte final al occidente del barrio Navarro Wolf.

Las locaciones del sitio se dividen en el tanque como tal, una habitación que sirve para alojar la vigilancia, un baño portátil, redes de distribución de llegada y salida de agua tratada, circulaciones en suelo natural y cerramiento metálico.

Imagen 12

Vista aérea del tanque a 80 metros. Locación general del tanque de almacenamiento



Nota: Adaptado de Google Earth.

- **Uso:**

Su uso es única y exclusivamente para el almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto operado por la empresa Aqualia Villa del Rosario SAS ESP.



- **Fecha de construcción:**

El período de construcción del tanque no se pudo precisar con exactitud, los pocos documentos hallados y el apoyo historial datan la estructura entre los años 1990 y 1995 aproximadamente, toda vez que son las fechas de construcción de la tipicidad de tanques metálicos circulares.

- **Sistema constructivo y estructural:**

El Tanque de almacenamiento de agua potable del barrio Navarro Wolf en el municipio de Villa del Rosario es una estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. El conjunto se apoya en un suelo combinado por arcillas, arenas y cantos.

El tanque se compone de dos volúmenes integrados en dos cilindros regulares superpuestos. El cilindro superior o depósito metálico circular tiene una altura de 3.79 metros desarrollados a partir de la cota cero. Tómesse la cota cero (0,0) como la línea de transición entre el tanque metálico y la mole de concreto. Debajo de este nivel a -1.30 metros se desarrolla una torta de concreto o mole, lograda en formaleta semicurva. El tanque no posee cubierta debido a colapso de la misma por efecto de corrosión excesiva la cual será analizada más adelante.

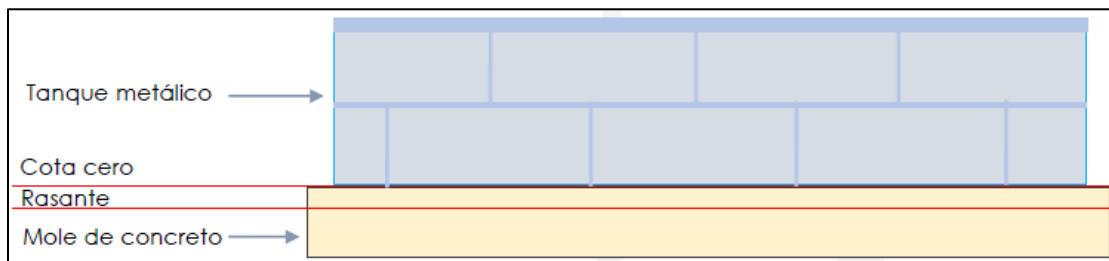
Dada la fecha de posible construcción del tanque, existía para la época la Norma Oficial de Construcción dada por el CCCSR, (Código Colombiano de las Construcciones Sismorresistentes), y también del apoyo de las normas API (American Petroleum Institute). Estructuralmente posee en la superestructura un cilindro metálico sin pósito compuesto por láminas soldadas entre si con trabazón horizontal. No posee riostras ni elementos verticales que



confinen la lámina, el cilindro actúa como una sola unidad estable al llenado. La placa base o mole comparte superestructura y estructura al tener embebido en suelo una porción de 1.0 metro y sobre la rasante actual una porción de 0,30 metros.

Imagen 13

Detalle sin escala en corte de volumetría del tanque



Nota: Elaboración propia.

Imagen 14

Vista de volumetría del tanque de almacenamiento



Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con el perfil del tanque se tienen las siguientes dimensiones de arriba hacia abajo:

Tabla 8

Alturas representativas del tanque

| Descripción | Unidades | Dimensión | Observaciones |
|-----------------------------------|----------|-----------|---------------------------------------|
| Altura de perfil de borde | 1 | 0.05 | Incluida en altura de lámina superior |
| Altura lateral de lámina metálica | 2 | 3.72 | |
| Base metálica de lámina saliente | 35 | 0.008 | |



| | | | |
|--|---|--------------|---|
| Espacio libre entre lamina base y mole de concreto | 1 | 0.01 | |
| Mole de concreto | 1 | 1.30 | 30 cm sobre rasante + 100 cm bajo rasante |
| Parcial | | 4.088 | Sobre rasante |
| Parcial | | 1.0 | Bajo rasante |
| TOTAL | | 5.088 | |

Nota: Elaboración propia.

El diámetro teórico del tanque metálico es de 21.00 m y el constructivo medido en un borde promedio superior es de 20,85 m, esta diferencia se debe a una serie de deformaciones en la circunferencia que fueron provocadas por tensiones puntuales en el colapso de la cubierta.

- **Técnica constructiva:**

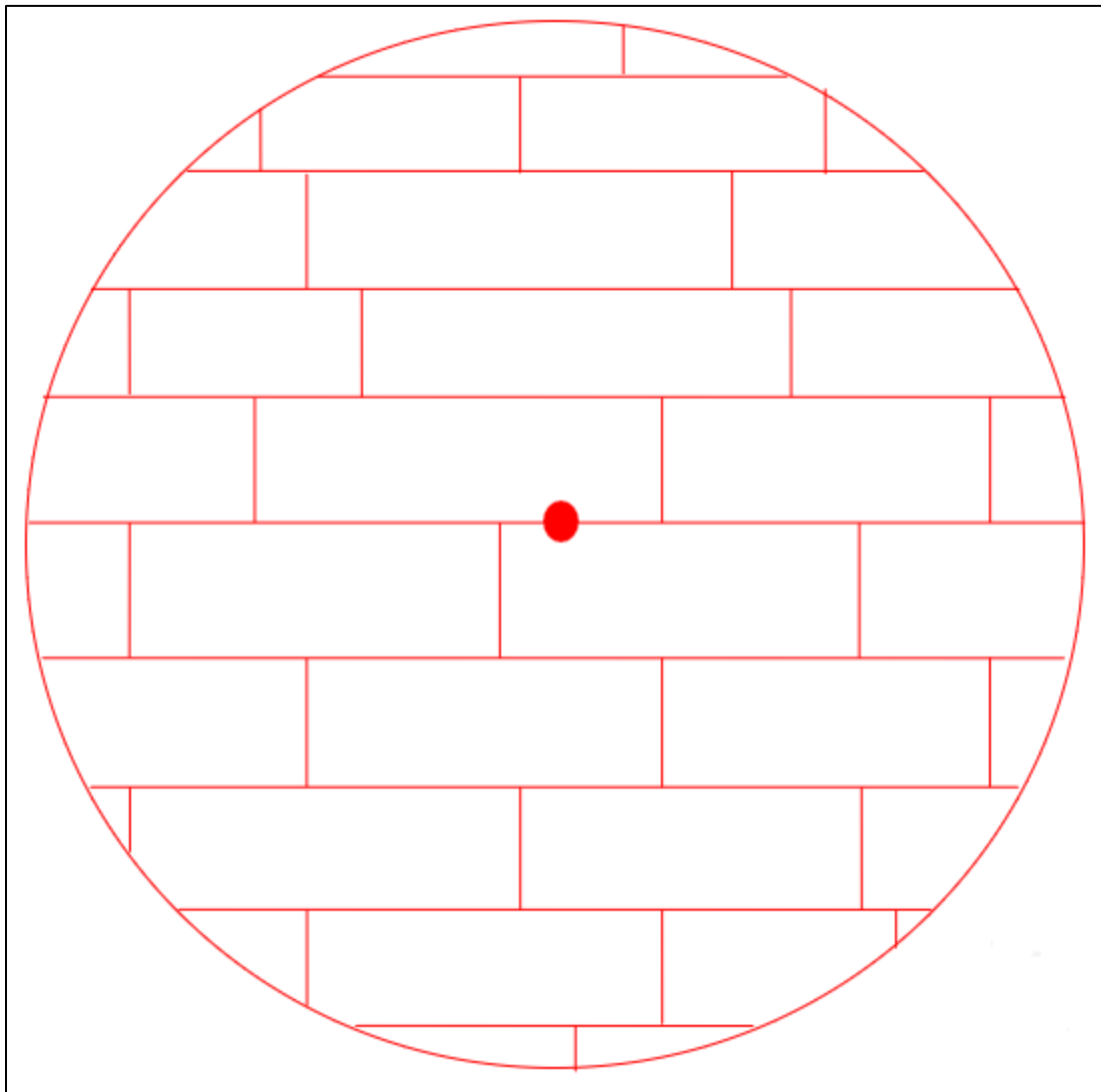
En la base datos de la empresa Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP no fue posible hallar documentación referente a la técnica constructiva empleada en el tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf.

Sin embargo, en la inspección visual se pudo evidenciar que originalmente sobre la mole de concreto se instaló el tanque metálico cilíndrico con cubierta cónica formando un solo elemento. La base la componen 35 secciones de lámina de diferentes formas y tamaños que van desde pequeñas formas triangulares hasta laminas completas de 2.40 x 6.00 metros.

Estas secciones se unieron entre sí por cordones superiores de soldadura haciendo traslajos similares a los logrados en los muros de mampostería, esto con el propósito de bloquear una línea de falla entre laminas sucesivas.

Imagen 15

Vista en planta de disposición de láminas de piso



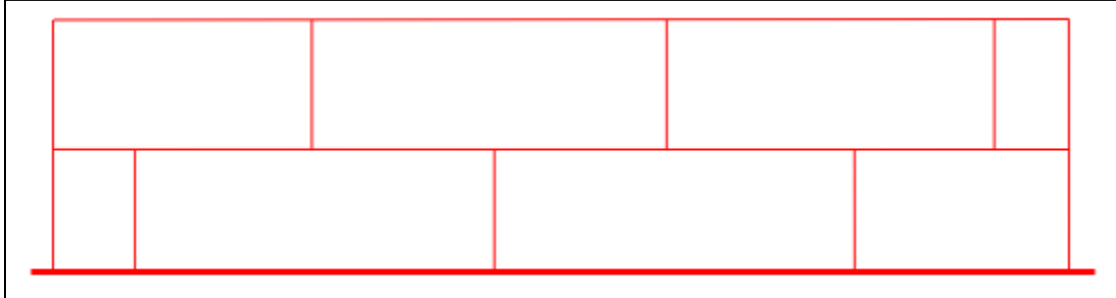
Nota: Elaboración propia.

Lateralmente el tanque se compone de diez (10) láminas de dimensiones 6.1 m * 1.86 m y una (1) lámina de dimensiones 5.44 m * 1.86 m, en la parte superior diez (10) láminas de dimensiones 6.1 m * 1.86 m y una (1) lámina de dimensiones 5.44 m * 1.86 m.



Imagen 16

Vista lateral de las láminas del tanque

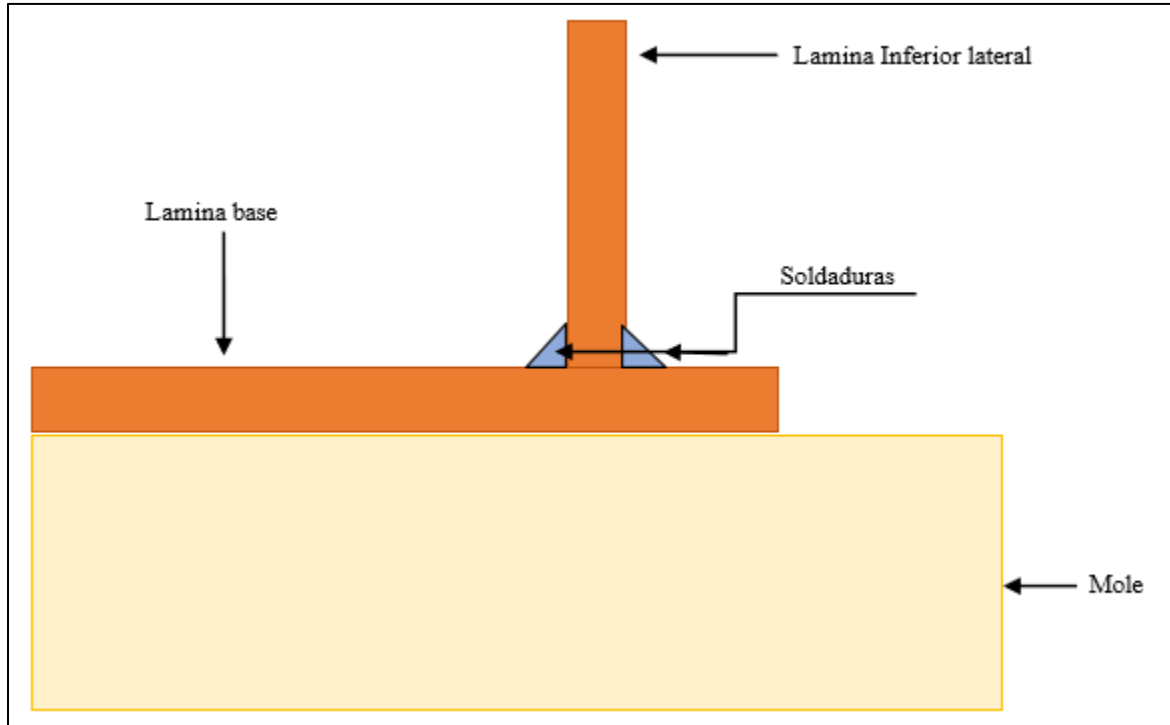


Nota: Elaboración propia.

La base del tanque está conformada por los remates de las láminas de fondo que sobresalen de la vertical y que se soldaron a la lámina lateral inferior mediante cordones de soldadura a intradós y extradós para conformar el vértice inferior radial.

Imagen 17

Vista en corte sin escala de unión entre base y lateral metálico del tanque



Nota: Elaboración propia.

- **Uso actual y previsto del sector:**

El uso actual y previsto del sector es donde se encuentra el tanque de almacenamiento es minero energético, colinda al costado sur con un restaurante y al norte con un hostel.

- **Importancia del paciente**

Es de vital importancia la funcionalidad óptima del tanque de almacenamiento ubicado en el barrio Navarro Wolf, debido a que desarrolla las siguientes funciones:

- Suministrar agua potable a los usuarios de un sector determinado del municipio.
- Almacenar agua potable con la finalidad de compensar las variaciones de consumo en el transcurso del día por los usuarios y el caudal de entrada al tanque de almacenamiento.
- Mantener las presiones en la prestación del servicio en las redes secundarias o de distribución.
- Suministrar la cantidad suficiente de agua potable en caso de ocurrir situaciones de emergencia que afectan la prestación del servicio. Dichas afectaciones pueden ser de tipo natural (creciente de la fuente río Táchira o alta turbidez) o de tipo material (rotura de tuberías, conducciones, redes primarias y secundarias, limpieza y mantenimiento de la infraestructura de captación y tratamiento).³

7.3.5 Historia de sismo en la zona de estudio

Desde el año 1900 se evidencian 258 sismos en promedio por año cerca del municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander, de la siguiente manera:

³ Resumen tomado de Título B. Sistemas de Acueducto. Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS-2000. Bogotá. (2000). Pág. B.195

- Magnitud 5 o más: 0.51 sismos por año (o 1 sismo cada 2 años).
- Magnitud 4 o más: 3.2 sismos por año.
- Magnitud 3 o más: 20.3 sismos por año.
- Magnitud 2 o más: 85 sismos por año (o 7.1 sismos por mes).
- Magnitud 1 o más: 257 sismos por año (o 21.4 sismos por mes).

Villa del Rosario ha tenido un alto nivel de actividad sísmica. El municipio ha tenido al menos 28 terremotos arriba magnitud 5 desde 1970, lo que sugiere que los terremotos más grandes de este tamaño ocurren con poca frecuencia, probablemente en promedio aproximadamente cada 1 a 5 años.⁴

El 18 de mayo de 1875 ocurrió uno de los sismos más destructivos en la historia del país. Quedaron destruidas casi en su totalidad las poblaciones de Cúcuta y Villa del Rosario en Colombia y poblaciones limítrofes de Venezuela. El evento, registrado a las 11:15 a.m., tuvo una intensidad de 6.8 de Magnitud de Momento (Mw), con epicentro en Cúcuta y localizado a una profundidad de 15 kilómetros.

De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano, el movimiento causó graves daños en las construcciones, así:

⁴ Resumen tomado de la página Web: [Estadísticas sísmicas: Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia](#) - [gráficos y tablas detalladas, actividad sísmica actual y pasada \(volcanodiscovery.com\)](#)



- Cúcuta: La mayoría de las construcciones como la iglesia, cárcel municipal, pulperías y en general las viviendas que conformaban la población quedaron destruidas o inhabitables.
- Villa del Rosario: La mayoría de las viviendas quedaron destruidas, entre ellas la iglesia, la Casa de Gobierno ‘La Bagatela’, la casa natal del General Santander y el templo del Congreso, famoso por haber albergado el Congreso Constituyente de 1821.

Es de mucha importancia mencionar que el tanque se encuentra localizado dentro de la zona sísmica correspondiente al nororiente colombiano caracterizada por nichos sísmicos de relevante importancia, la cual la ubican dentro de zona de amenaza sísmica alta establecida en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR – 10 Título A, y se expresan por medio del espectro elástico de diseño, por medio de familias de acelerogramas y la verificación del umbral de daño. Según el espectro de diseño, los valores de A_a y A_v , para la zona del valle de Cúcuta son de 0,35 y 0,30 respectivamente.

7.3.6 En la construcción civil

- **Tipo de cimentación:**

La cimentación del tanque de almacenamiento se desarrolla mediante una mole o torta de concreto de forma circular, embebida en el terreno a una profundidad de 1.0 metro y 0.30 metros sobre la rasante actual.

No se cuenta con planos estructurales del tanque de almacenamiento.



- **Altura:**

El cilindro superior o depósito metálico circular tiene una altura de 3.79 metros desarrollados a partir de la cota cero. Tómese la cota cero (0,0) como la línea de transición entre el tanque metálico y la mole de concreto. Debajo de este nivel, la mole de concreto está a -1.30 metros.

- **Área:**

El área útil del tanque de almacenamiento es de 346.36 m², y el área donde se encuentra localizada la estructura, cuyo límite es el cerramiento perimetral del tanque es de 753.51 m².

- **Estado general de la construcción:**

La debilidad estructural del anillo superior donde originalmente se apoyó la cubierta, sumado a la corrosión excesiva en las platinas, permitió unas compresiones radiales que deformaron el material empujándolo hacia afuera, posteriormente con el colapso de la cubierta, el fenómeno se invirtió y se crearon tensiones hacia adentro.

No obstante, los dos movimientos no afectaron la integridad del material, no hubo tensión excesiva para el rango de fluencia, no se presentó doblés que incriminara separación del material y no se alcanzó a afectar la soldadura más próxima.



Imagen 18

Vista actual del interior del tanque de almacenamiento



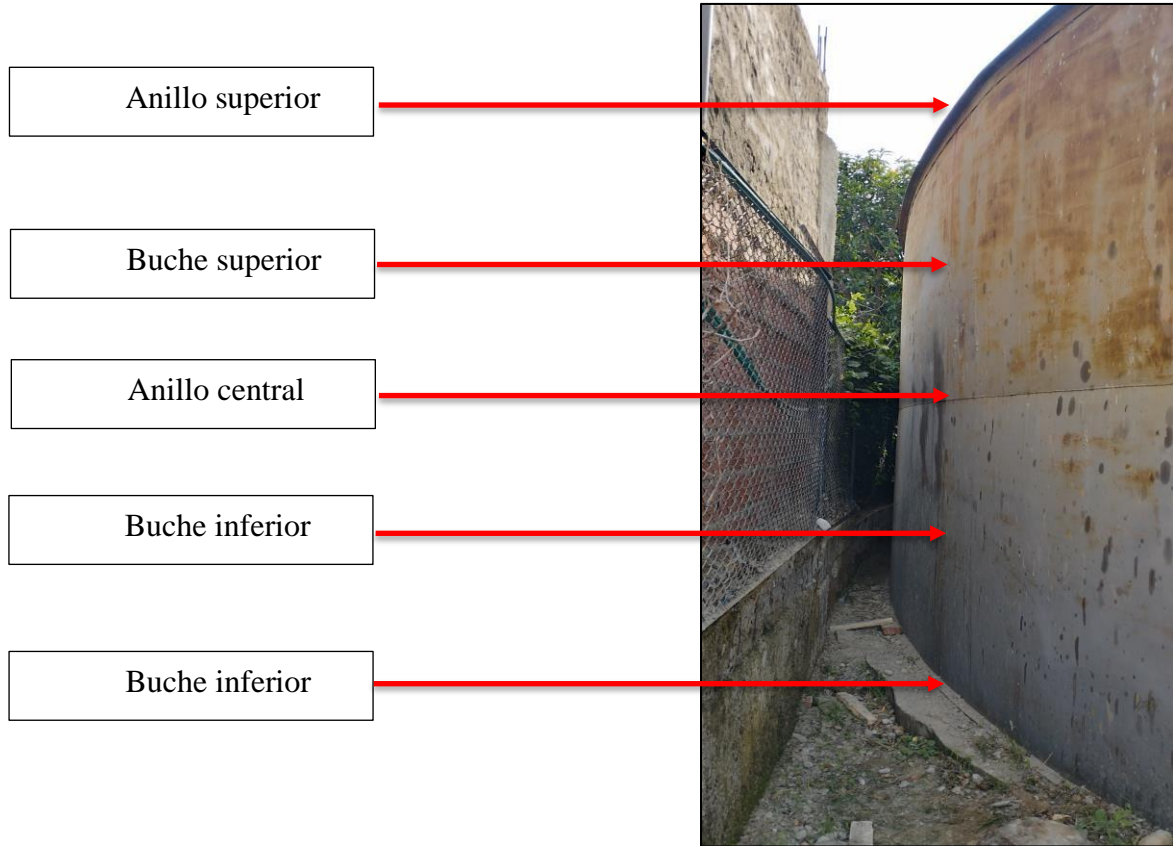
Nota: Elaboración propia.

En la siguiente imagen, se puede apreciar la formación de dos buches conformados por tres anillos a saber platina superior, soldadura intermedia y vértice inferior. El mayor de los buches respecto de la vertical teórica de la lámina fue de 1.03 cm, medida que no afecta el comportamiento general de la lámina ante la presión de agua.



Imagen 19

Vista actual del interior del tanque de almacenamiento



Nota: Elaboración propia.

La unión del anillo inferior presenta buena consistencia en cuanto a firmeza de las soldaduras, el baño de fusión es parejo sin rebabas ni goteos, las gargantas y piernas conservan distancias aceptables, el volumen de fundida es homogéneo y densificado a tal punto que no se observaron fugas de agua para 1.0 metros de cabeza de llenado. No se hallaron trazas de corrosión, ni escorias, ni laminado.



Imagen 20

Vista de soldadura y disposición de la lámina en anillo inferior



Nota: Elaboración propia.

En el interior del tanque, la soldadura de pata no presenta desprendimientos o alargamientos en tensión que previnieran momentos excesivos por carga hidráulica, eso indica también que no se han presentado pérdidas de verticalidad de las láminas en el corte, apoya esta tesis el hecho de que el colapso de la cubierta, aunque dejó algunas zonas deformadas en el borde

superior, no afectó el paramento ni el ángulo de unión. La circunferencia actuó como pivote del sistema evitando tensiones excesivas en la soldadura.

Imagen 21

Vista de la verticalidad del tanque



Nota: Elaboración propia.

No obstante, el anillo superior que se afectó por el colapso de la cubierta dejó unas deformaciones hacia el interior del tanque alterando de manera poco significativa la circunferencia.

La soldadura y su entorno de la lámina en el anillo superior, los apoyos de la anterior cubierta y la lámina inferior del tanque presenta alto deterioro por corrosión.



Imagen 22

Vista de los apoyos de la cubierta



Nota: Elaboración propia.

Imagen 23

Vista de los restos de tuberías, escalera y pasarelas



Nota: Elaboración propia.

- **Fidelidad de los planos:**

Pese haber solicitado información a la empresa Aqualia Villa del Rosario S.A.S. ESP, no se encontraron los planos récord del proyecto ejecutado.

- **Constatación del estado del paciente:**

Tras realizar la inspección visual general preliminar del tanque de almacenamiento de agua potable en el barrio Navarro Wolf, el día 08 de marzo del 2024, se constataron los daños localizados y mencionados anteriormente, encontrándose lesiones graves en la estructura metálica.

Imagen 24

Daños localizados en el interior del tanque de almacenamiento de agua potable



Nota: Elaboración propia.

7.3.7 Aplicación patológica

Pediátrica.

7.3.8 Datos específicos de las lesiones

La evaluación física y los levantamientos de daños de la estructura metálica del tanque de almacenamiento se establecen en las seis (6) fichas de clasificación y tipificación de lesiones. A continuación, se establece una descripción detallada de las lesiones observadas:

- **Corrosión atmosférica:** Es un proceso de desgaste progresivo que se presenta en la mayoría de los materiales de construcción que están expuestos permanentemente a la atmósfera. Este tipo de corrosión considerado en el grupo electroquímico se genera como consecuencia de la interrelación entre los materiales metálicos y los componentes que mantiene el aire, tales como la humedad, el oxígeno, productos químicos y agentes contaminantes.
- **Corrosión localizada:** Este tipo de corrosión genera un riesgo altamente potencial en las estructuras metálicas, ya que es compleja su detección, debido a que esta lesión se localiza en zonas puntuales del material. Este tipo de corrosión se genera principalmente por las condiciones del medio ambiente, las características físicas y geometría de la estructura o del material.⁵
- **Humedad:** Esta lesión presente en las estructuras metálicas tiene un impacto determinante en su durabilidad y rendimiento. La presencia de esta lesión agiliza

⁵ Resumen tomado de la página Web: [Corrosión en materiales metálicos: Definiciones y cómo prevenirla \(ingenieriaquimicareviews.com\)](http://ingenieriaquimicareviews.com)

el proceso de corrosión en las estructuras metálicas, cuando hay presencia de agentes corrosivos y oxígeno.

Cuando las estructuras metálicas están expuestas permanentemente en zona húmedas, el agua actúa como un agente electrolítico generando una reacción electroquímica ocasionando la corrosión. Para que se genere oxidación en una estructura metálica, el agua aporta los iones necesarios y facilita la transferencia de electrones, este proceso conlleva a que se origine la corrosión.

- **Desprendimiento:** Esta lesión describe el proceso en el que una sección o capa de la estructura metálica se desprende total o parcialmente de la superficie de la estructura.
- **Manchas:** Esta lesión en las estructuras metálicas detectan fácilmente, ya que algunas áreas presentan pigmentación, alteración de la superficie o decoloración originado por la corrosión.
- **Porosidad:** Esta lesión se identifica por la aparición de poros o espacios vacíos en la estructura metálica. La distribución de estas cavidades o poros se pueden ser de manera irregular o uniforme en la estructura metálica.⁶

7.3.9 Descripción de la patología más relevante

⁶ Resumen tomado de Estudio de Patología de la Construcción Centro de Integración Ciudadana – CIC

Sevilla IV Etapa, Sincelejo, Sucre. Universidad Santo Tomás. 2023.

La patología más relevante del tanque de almacenamiento metálico es el alto deterioro por corrosión excesiva que generó algunas cavidades laminadas. Esta lesión afectó la mayor parte de la lámina metálica del fondo del tanque evolucionando más rápido debido a la concentración de químicos en el agua potable como cloro, sulfatos, hipocloritos, entre otros.

Imagen 25

Vista de la lámina metálica de fondo del tanque en estado de corrosión excesiva



Nota: Elaboración propia.

7.3.10 Datos generales del entorno

- Medio Ambiente



Villa del Rosario, ubicado en el departamento de Norte de Santander, se caracteriza por una variada cobertura vegetal que incluye bosques secos tropicales y zonas de vegetación secundaria, típicas de regiones tropicales y humedad estacional.

Adicionalmente, la humedad relativa en Villa del Rosario varía a lo largo del año, alcanzando niveles superiores al 80% durante la temporada de lluvias, que va de abril a noviembre. En la temporada seca, la humedad desciende, manteniéndose generalmente entre el 60% y el 70%.

Por otra parte, Villa del Rosario presenta un relieve plano, con algunas zonas ligeramente onduladas, y una altitud promedio de unos 320 metros sobre el nivel del mar. Los suelos de la región son principalmente de tipo aluvial, formados por sedimentos depositados por los ríos locales.

Con respecto a los cuerpos de agua importantes de Villa del Rosario, incluyendo ríos y quebradas, se tiene el río Táchira es uno de los principales cuerpos de agua que atraviesa la región, sirviendo de límite natural con Venezuela. Además, existen numerosas quebradas y arroyos que contribuyen al sistema hídrico local, siendo vitales para el suministro de agua.

- **Temperatura**

El municipio de Villa del Rosario, localizado en el departamento de Norte de Santander, se caracteriza por un clima tropical, con temperaturas que presentan variaciones moderadas a lo largo del año. La temperatura media anual se sitúa en torno a los 26 °C, con registros mínimos y máximos que oscilan entre los 20 °C y los 32 °C, respectivamente.

Durante los meses más cálidos, generalmente entre junio y agosto, las temperaturas pueden superar los 32 °C, creando condiciones de calor intenso que afectan a las infraestructuras. En contraste, los meses más frescos, que suelen abarcar de diciembre a febrero, las temperaturas mínimas raramente descienden por debajo de los 20 °C, lo que resulta en un clima relativamente cálido incluso en la época menos calurosa del año.

Este patrón térmico tiene implicaciones importantes para el diseño y mantenimiento de estructuras, incluido el tanque de almacenamiento de agua potable, ya que las fluctuaciones de temperatura pueden afectar la expansión y contracción de los materiales, así como los procesos de corrosión y degradación.

- **Precipitaciones**

Este municipio presenta un régimen de precipitaciones característico de un clima tropical, con una marcada estacionalidad en la distribución de las lluvias a lo largo del año. La precipitación media anual en la región se sitúa alrededor de los 1,100 milímetros, distribuidos en dos estaciones principales: la temporada de lluvias y la temporada seca.

La temporada de lluvias, que se extiende aproximadamente desde abril hasta noviembre, se caracteriza por intensas y frecuentes precipitaciones. Los meses de mayor pluviosidad suelen ser mayo, octubre y noviembre, con precipitaciones mensuales que pueden superar los 200 milímetros. Durante estos periodos, las lluvias pueden ser torrenciales y acompañadas de tormentas eléctricas, lo que incrementa el riesgo de inundaciones y erosión del suelo, especialmente en áreas con poca cobertura vegetal.



Por otro lado, la temporada seca, que abarca los meses de diciembre a marzo, se distingue por una notable reducción en las precipitaciones, con registros que a menudo no superan los 50 milímetros mensuales.

- **Nivel freático y escorrentías**

El nivel freático y las escorrentías son factores determinantes en la evaluación y mantenimiento de estructuras como el tanque de almacenamiento de agua potable. Así las cosas, se tiene que el nivel freático varía considerablemente dependiendo de la topografía, la estacionalidad de las precipitaciones y la naturaleza de los suelos. En las áreas más bajas y planas, el nivel freático tiende a ser más alto, lo que puede resultar en una mayor susceptibilidad a la saturación del suelo y a la presencia de aguas subterráneas cerca de la superficie.

En contraste, durante la temporada seca, el nivel freático desciende debido a la reducción de la recarga y al aumento de la extracción de agua subterránea para consumo humano y agrícola. Este descenso puede influir en la estabilidad del suelo y la capacidad de soporte de la cimentación del tanque de almacenamiento de agua potable.

En cuanto a las escorrentías superficiales en Villa del Rosario son influenciadas por las precipitaciones, la topografía y la cobertura vegetal. Durante los periodos de lluvias intensas, el terreno montañoso y las áreas urbanizadas pueden generar escorrentías rápidas y voluminosas, que incrementan el riesgo de erosión del suelo y la formación de canales de drenaje naturales. Estas escorrentías pueden transportar sedimentos y contaminantes, afectando la calidad del agua en los cuerpos receptores.



Adicionalmente, en el nivel donde se encuentra ubicado el tanque, no se encontró nivel freático en la exploración manual realizada a 1.0 m de profundidad, debido a que el suelo de cimentación del tanque es arcilloso y granular, permitiendo que las aguas lluvias y los posibles derrames y deterioros de tuberías de entrada y salida se infiltren a tal profundidad y velocidad. Cabe señalar que el nivel freático de la zona por tratarse de una meseta es poco probable que aparezca de forma inmediata; por lo tanto, no se prevé que se presenten problemas por la presencia de dicho nivel.

- **Topografía**

El municipio de Villa del Rosario, ubicado en el departamento de Norte de Santander, se distingue por una topografía variada que incluye mesetas, llanuras y colinas, lo cual contribuye a un paisaje dinámico y multifacético. La meseta donde se encuentra el tanque de almacenamiento de agua potable en el barrio Navarro Wolf es representativa de estas formaciones geográficas. Estas mesetas ofrecen áreas elevadas adecuadas para la construcción de infraestructuras esenciales, como sistemas de almacenamiento de agua, debido a su relativa estabilidad y buen drenaje natural.

El sitio de ubicación del tanque se caracteriza por una meseta corta, donde se erige la estructura del tanque, con respecto a la cota máxima de la loma circundante. En el contexto del estudio, se define la rasante como la cota máxima de la meseta, con el cilindro metálico alcanzando su máxima elevación hacia arriba, mientras que la mole de concreto se encuentra excavada en una profundidad de hasta 1.0 metro, sin considerar el suelo de soporte. La parte del

tanque analizada corresponde a las cotas más altas y profundas de la cimentación, excluyendo el suelo de soporte.

Alrededor de la locación se encuentran algunas construcciones comerciales, distantes aproximadamente 40 cm en el lado más corto y hasta 11.77 metros en el lado ancho.

Imagen 26

Vista aérea inclinada a 60 metros de la altimetría de la meseta



Nota: Adaptado de Google Earth.

- **Estudio de suelos**

Se realizaron excavaciones manuales simples junto a la mole de concreto para verificar la siguiente información:



Profundidad de emplazamiento: La mole se desplantó sobre un estrato a 1.0 metro de profundidad medido desde la rasante, el contorno obedece a una matriz de arcillas, arenas y cantos.

Geodrén: En la excavación se hallaron trozos deteriorados de geodrén de baja tenacidad muy saturados con material de alta plasticidad, este material al parecer se ubicó en la transición para crear una especie de filtro. La función de la tela no es específica y su estado es de rotura y desprendimiento total.

Nivel freático: No se encontró agua o humedad representativa en el terreno a 1.0 metro de profundidad excepto un caso aislado junto a tuberías de llegada donde había humedad por goteos.

Imagen 27

Excavación manual simple junto a la mole de concreto



Nota: Fuente propia.



Imagen 28

Restos de geodrén saturado



Nota: Fuente propia.



7.3.11 Arquitectura

Arquitectónicamente el tanque se compone de dos volúmenes integrados en dos cilindros regulares superpuestos. El cilindro superior o depósito metálico circular tiene una altura de 3.79 metros desarrollados a partir de la cota cero. Tómese la cota cero (0,0) como la línea de transición entre el tanque metálico y la mole de concreto. Debajo de este nivel a -1.30 metros se desarrolla una torta de concreto o mole, lograda en formaleta semicurva. El tanque no posee cubierta debido a colapso de la misma por efecto de corrosión excesiva la cual será analizada más adelante.

Asimismo, se realiza el levantamiento topográfico revela las dimensiones del tanque, considerando las circunferencias registradas en campo para la base, el punto medio y la corona del tanque:

Diámetro (m): 21.150

Perímetro (m): 66.445

Área (m²): 351.326

Además, se registraron las dimensiones de las láminas utilizadas tanto en la base como en la parte superior del tanque:

Láminas de la base:

Diez (10) láminas de dimensiones 6.1 x 1.86 m

Una (1) lámina de dimensiones 5.44 x 1.86 m

Láminas de la parte superior:

Diez (10) láminas de dimensiones 6.1 x 1.86 m



Una (1) lámina de dimensiones 5.44 x 1.86 m

Imagen 29

Arquitectura del tanque



Nota: Fuente propia.

8 ETAPA DE ESTUDIO

8.1 Ferrosacán electrónico

Mediante esta prueba se busca verificar los aceros en obra, de igual forma determinar la ubicación de aceros de refuerzo para disponer el orificio para extracción de núcleos, asimismo, comprobación de espaciamiento y diámetros de las barras de acero.

Dada la dificultad para realizar lecturas del centro de la mole debido al piso metálico del tanque se procedió a hacer lecturas meramente perimetrales a altura entre cotas cero y rasante. El tanque para efectos de mediciones con ferrosacan se dividió radialmente en 12 partes iguales partiendo del sitio de ingreso de tuberías de gran diámetro por el costado sur oriental. (borde de concreto #)

8.2 Recubrimientos evidenciados en revisión por ferrosacan

Tabla 9

Recubrimientos obtenidos por ferrosacán

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | RECUBRIMIENTO (cm) | OBSERVACIÓN |
|----------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| Borde de concreto 1 - 30° | 4.0 | Valoración atípica de recubrimiento |
| Borde de concreto 2 – 60° | 3.9 | Valoración atípica de recubrimiento |
| Borde de concreto 3 – 90° | 4.0 | Valoración atípica de recubrimiento |
| Borde de concreto 4 – 120° | 4.1 | Valoración atípica de recubrimiento |

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | RECUBRIMIENTO (cm) | OBSERVACIÓN |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Borde de concreto 5 – 150° | 4.4 | Valoración atípica de recubrimiento |
| Borde de concreto 6 – 180° | 4.0 | Valoración atípica de recubrimiento |
| Borde de concreto 7 – 210° | 5.0 | Valoración atípica de recubrimiento |
| Borde de concreto 8 – 240° | 7.3 | Valoración atípica de recubrimiento |
| Borde de concreto 9 – 270° | 3.8 | Valoración atípica de recubrimiento |
| Borde de concreto 10 – 300° | 2.7 | Valoración atípica de recubrimiento |
| Borde de concreto 11– 330° | 4.4 | Valoración atípica de recubrimiento |
| Borde de concreto 12 - 360° | 4.6 | Valoración atípica de recubrimiento |

Nota: Fuente propia.

Los datos anteriores definen un bajo control en etapa de construcción en el recubrimiento del acero, esta tendencia alimenta la despasivación del acero al ponerlo más cerca de la cara contaminada sin tener una distancia típica que lo proteja.

No obstante, al no hallar trazas de carbonatación significativas se recomienda para conservación del concreto, hacer una limpieza con retiro de la cara contaminada y la aplicación general de algún aislante o pintura epoxica vinílica. El procedimiento conlleva retiro mecánico con destronque de hasta 12 mm con disco o medios similares.



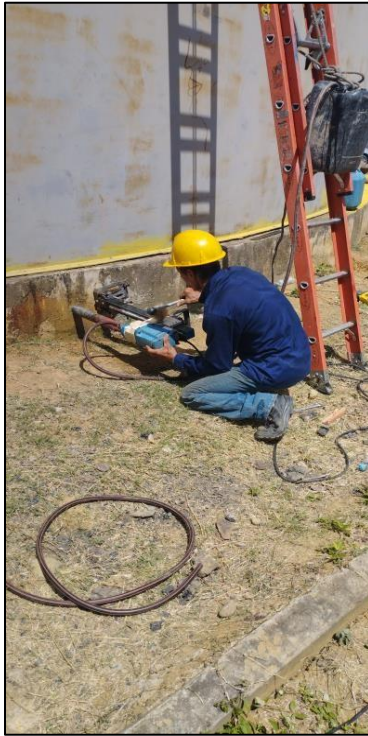
Esta situación se debe habitualmente a que en el vaciado del concreto se deforma la formaleta circular en secciones y se adhiere a las barras perimetrales, situación que no afecta la integridad del concreto y del mismo acero de refuerzo y no afecta la estabilidad de la mole. Las 12 mediciones se tomaron cada 30° en el sentido antihorario.

8.3 Extracción de núcleos

Esta labor consistió en extraer núcleos representativos de la estructura principal con el objeto de verificar la resistencia a la compresión del concreto. Es de anotar que en el acero principal y el de cortante las barras están muy juntas lo cual conllevó tener especial cuidado de no romper este elemento con las brocas, para tal efecto se usó broca estándar de 2”.

Imagen 30

Extracción de núcleos en la periferia de la mole de concreto



Nota: Fuente propia.

Imagen 31

Extracción de núcleos en la mole de concreto



Nota: Fuente propia.



Tabla 10

Resultados para resistencia a la compresión de núcleos de concreto

| NUCLEO # | | ESTRUCTURA | FECHA | | EDAD (Días) | ALTURA (cm) | DIAMETRO (cm) | PESO (grs) | DENSIDAD (kgs/cm3) | CARGA ROTURA (kgs) | RESISTENCIA | | % Resistencia Especificada |
|-------------|------|----------------|----------|----------|-------------|-------------|---------------|------------|--------------------|--------------------|-------------|------|----------------------------|
| Laboratorio | Obra | | Tomado | Ensayo | | | | | | | MPa | PSI | |
| | | | DD.MM.AA | DD.MM.AA | | | | | | | | | |
| N1 - C4 | N1 | TANQUE DE AGUA | 12-08-23 | 11-10-23 | 60 | 13.0 | 5.0 | 557 | 2.182 | 4806 | 24.0 | 3412 | 113.7 |
| N2 - C5 | N2 | | 12-08-23 | 11-10-23 | 60 | 12.0 | 5.0 | 523 | 2.220 | 3915 | 19.5 | 2780 | 92.7 |
| N3 - C1 | N3 | | 12-08-23 | 11-10-23 | 60 | 8.5 | 5.0 | 360 | 2.157 | 3286 | 16.2 | 2303 | 76.8 |
| N4 - C6 | N4 | | 12-08-23 | 11-10-23 | 60 | 7.5 | 5.0 | 307 | 2.085 | 3560 | 17.4 | 2476 | 82.5 |
| N5 - C2 | N5 | | 12-08-23 | 11-10-23 | 60 | 10.5 | 5.0 | 452 | 2.192 | 6498 | 32.4 | 4613 | 153.8 |
| N6 - C7 | N6 | | 12-08-23 | 11-10-23 | 60 | 10.0 | 5.0 | 439 | 2.236 | 4755 | 23.7 | 3370 | 112.3 |
| N7 - C3 | N7 | | 12-08-23 | 11-10-23 | 60 | 9.0 | 5.0 | 375 | 2.122 | 3027 | 15.0 | 2129 | 71.0 |
| N8 - C8 | N8 | | 12-08-23 | 11-10-23 | 60 | 10.0 | 5.0 | 422 | 2.149 | 5280 | 26.3 | 3742 | 124.7 |
| PROMEDIO | | | | | | | | | | | 21.8 | 3103 | 103.4 |

Nota: Fuente propia.

De acuerdo con los resultados de laboratorio, anexos, los cilindros arrojaron valores que no definen en términos generales una resistencia típica para concretos que realizan trabajos estructurales.

Tradicionalmente una resistencia de diseño está por encima de los 3.000 PSI (21 MPa). La base de comparación porcentual se realiza entonces sobre los 3.000 PSI de un concreto ideal, pero salta la duda sobre el valor usado por el calculista para el parámetro $f'c$ en el diseño original de la mole.

Comenta la norma NSR-10 en C.5.6.5.4 que el concreto de la zona representada por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si el promedio de tres núcleos es por lo menos igual al 85 % de $f'c$, y ningún núcleo tiene una resistencia menor del 75% de $f'c$. Cuando los



núcleos den valores erráticos, se debe permitir extraer núcleos adicionales de la misma zona.

C.5.6.5.5. Si los criterios de C.5.6.5.4 no se cumplen, y si la seguridad estructural permanece en duda, la autoridad competente está facultada para ordenar pruebas de carga de acuerdo con el Capítulo C.20 para la parte dudosa de la estructura, o para tomar otras medidas según las circunstancias.

Según esto, el comparativo que se aplica a las lecturas de los núcleos extraídos está ampliamente ligado al diseño de la mezcla en la construcción de la mole. Al no hallar información relevante del tanque para diseño estructural completo, no es posible hacer dichas correlaciones y la resistencia obtenida sería un dato inocuo.

Las resistencias obtenidas no guardan proporcionalidad entre si toda vez que son elementos radialmente continuos. En los núcleos 2, 3 y 4 la resistencia cae a un 76% (2.303 PSI) para concretos situados hacia el costado oriental, pero suben hasta un 153% (4.613 PSI) hacia el norte. Si tenemos en cuenta que la mole de concreto no tiene patologías representativas que indiquen mal comportamiento del concreto, y que ha mantenido en el periodo de uso una integralidad estructural aceptable, las resistencias entonces, a pesar de ser bajas en algunos puntos, seguirían siendo aptas para alojar el tanque.

En cuanto a la prueba de carga, está claro que, en la situación crítica de llenado completo del tanque, éste ha mantenido condiciones óptimas estructurales. No obstante, las resistencias obtenidas marcan un paralelo con la no existencia en la mole de patologías típicas a concretos de baja calidad tales como exposiciones, fisuración, grietas, dilataciones, pérdida de material, carbonataciones, erosiones y baja resistencia al impacto.

Esto haría pensar que el actual concreto es apto para resistir el trabajo impuesto de carga, no obstante para no crear una disyuntiva técnica entre lo que sucedió originalmente con el diseño de la mezcla, los resultados de la patología y las recomendaciones de la norma, se recomienda a la empresa realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica en adopción de reforzamiento estructural para verificar la conveniencia del concreto respecto de las condiciones más críticas, esto es tanque lleno con sismo de diseño.

En total se realizaron ocho (8) núcleos repartidos radialmente con broca de 2", los especímenes se obtuvieron de forma normal, se realizó el protocolo respectivo en cuanto a hidratación, corte, refrentado, peso, longitud, fallado y lectura del núcleo. El balance de valores obtenidos se proyecta hacia el interior de la mole donde se prevé resistencias similares debido a que estas estructuras tradicionalmente se funden de manera monolítica, por lo tanto, es válido pensar que la zona oculta contiene compresiones aproximadas.

Para valorar las zonas intermedias entre extracción de núcleos (rango de 45°) y aquellas que arrojaron valores dispersos o bajos, se procedió a estimar la resistencia por esclerometría y hacer el correspondiente comparativo (Ver resultados por esclerometría).

La extracción, refrentado, falla, lectura y ajuste de resistencias se realizó con la empresa Consultoría y Geotecnia en pavimentos de la ciudad de Cúcuta.

8.4 Carbonatación superficial

Esta prueba se realizó en la cabeza de los núcleos de concreto extraído, la curva promedio de la lesión por carbonatos es típica y tiende a volverse negativa, en la mayoría de núcleos se



observa sin frente carbonatado, sin embargo, existe una ligera contaminación en varios de ellos que pueden promediarse a 10 mm. La carbonatación superficial es un indicador primario de cómo está el elemento estructural a nivel de protección inmediata lo que indica que la estructura estuvo protegida y la lesión no ha penetrado significativamente el concreto.

El medio ambiente de la meseta es propicio para alejar la contaminación por CO₂, factores como viento constante fuerte, la no presencia de fábricas y vías cercanas, vegetación pobre y escasa, hacen ideal la protección indirecta del concreto. No obstante, se deberá hacer un devastado o retiro de capa de recubrimiento de los primeros 12 mm de concreto e instalar una nueva capa y protegerla posteriormente con pinturas epoxicas, vinilos a base de agua, impermeabilizaciones a base de bitúmenes o acrílicos.

Imagen 32

Espécimen con carbonatación superficial



Nota: Fuente propia.



8.5 Carbonatación profunda

El monóxido de carbono de vehículos, fábricas y otras actividades humanas, animales y vegetales se convierten en CO₂ y este se adhiere a las estructuras de concreto no protegidas, viaja dentro de ellas en todos los sentidos y le causa una enfermedad conocida como carbonatación. Ese dióxido de carbono deteriora y rebaja el PH del concreto y altera un componente químico del cemento y reduce su efectividad a tal punto de volverlo inservible en cuanto a cohesión. Si bien es un proceso lento y prácticamente natural, las estructuras deben ser valoradas periódicamente para evitar su propagación ya que de no hacerlo puede llegar a deteriorar el acero de refuerzo en otra lesión conocida como despasivación.

Para medir la carbonatación profunda (frente carbonatado) se recurrió a los cilindros de concreto extraídos. La enfermedad no se encontró a un ritmo típico de frente carbonatado sino con tonos parejos. las trazas son firmes y sin dispersión. Se utilizó fenolftaleína al 2% de concentración.

Imagen 33

Estructuras de almacenamiento de agua con carbonatación y despasivación





Nota: Fuente propia.

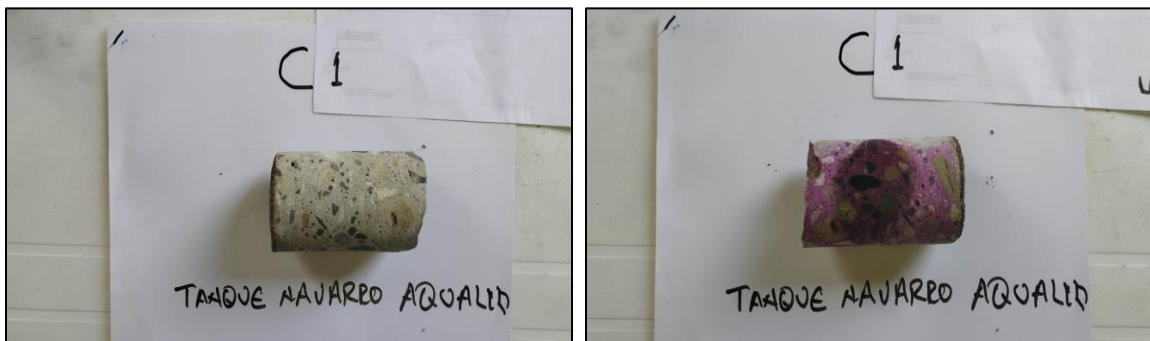
Las imágenes anteriores, muestran tres columnas afectadas por el proceso de carbonatación, obsérvese como el concreto pierde su adherencia, se fisura, agrieta y se expulsa del medio original en trozos.

El acero, que en presencia de carbonatación en el concreto entra en estado despasivado, se convierte prácticamente en hojillas o molienda de hierro y se precipita al suelo sin forma de recuperación. Para el caso del concreto profundo en la mole no se encontró carbonatación significativa. Se deberá, además de hacer la limpieza recomendada anteriormente, valorar mínimo cada dos años la mole con el fin de conservar el estado negativo de carbonatos y evitar la propagación de la lesión.

En las fotos siguientes se observa la prueba de carbonatación profunda a los núcleos extraídos.

Imagen 34

Prueba de carbonatación



Nota: Fuente propia.



Imagen 35

Prueba de carbonatación



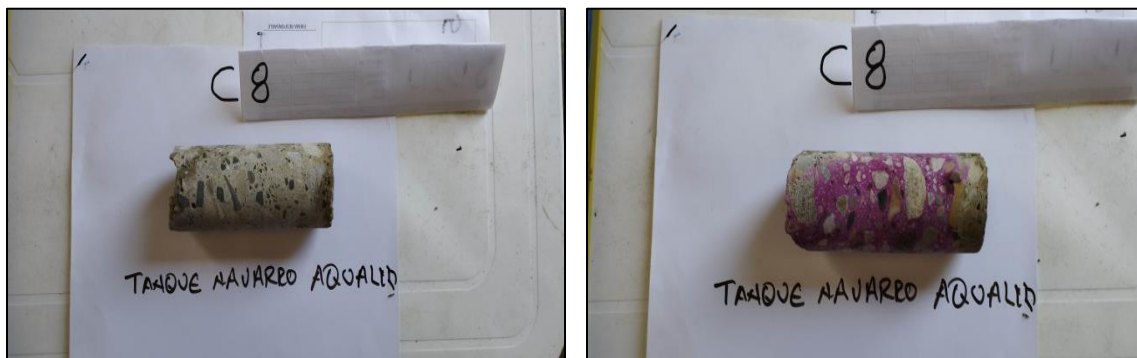


Nota: Fuente propia.

Imagen 36

Prueba de carbonatación





Nota: Fuente propia.

8.6 Despasivación del acero de refuerzo

No se evidenció despasivación de acero de refuerzo en las regatas perimetrales excepto en un acero frente a la caseta de vigilancia, en este sitio una oquedad en la fundida original de la mole permitió un ingreso de la lesión y afectó particularmente este acero. Su recuperación es simplemente limpiar con método abrasivo para eliminar la lesión.

Respecto a los demás aceros inspeccionados en las regatas perimetrales, se halló que las venas conservan los cortes parejos y sin abolladuras, la batea es firme y con rebaba muy bien adherida lo que define buen comportamiento de los dos materiales.

No se evidenciaron movimientos en el eje longitudinal que crearan túnel de arrastre para procesos de tensión excesiva.

8.7 Regatas sobre concreto

Esta prueba se realizó para verificar la consistencia del concreto reforzado, así mismo se usó para prueba de carbonatación superficial y verificación del estado del acero de refuerzo. Para tal propósito se desnudó la zona de concreto perimetral con pulidora y cincel a fin de llegar al acero de refuerzo.

Imagen 37

Prueba de revisión de aceros de refuerzo



Nota: Fuente propia.



8.8 Esclerometría

Esta prueba se realizó con el propósito de estimar la resistencia a la compresión del concreto con método alternativo, tomando como base los resultados de los núcleos. En la prueba se utilizó un esclerómetro mecánico, la zona escogida guarda alternancia con los núcleos con el fin de hacer las correlaciones respectivas. Las áreas escogidas se devastaron para dejar la cara expuesta y lisa del concreto con piedra abrasiva en un recuadro de 30x30 centímetros, se limpió con soplador y cepillo, se armó y marcó la cuadrícula de trabajo y se procedió con los impactos los cuales se consignaron en las respectivas planillas.

Debido a los valores de carbonatación general negativa, no se hace ajuste para variaciones en la estimación de la resistencia del concreto.

Imagen 38

Prueba de esclerometría

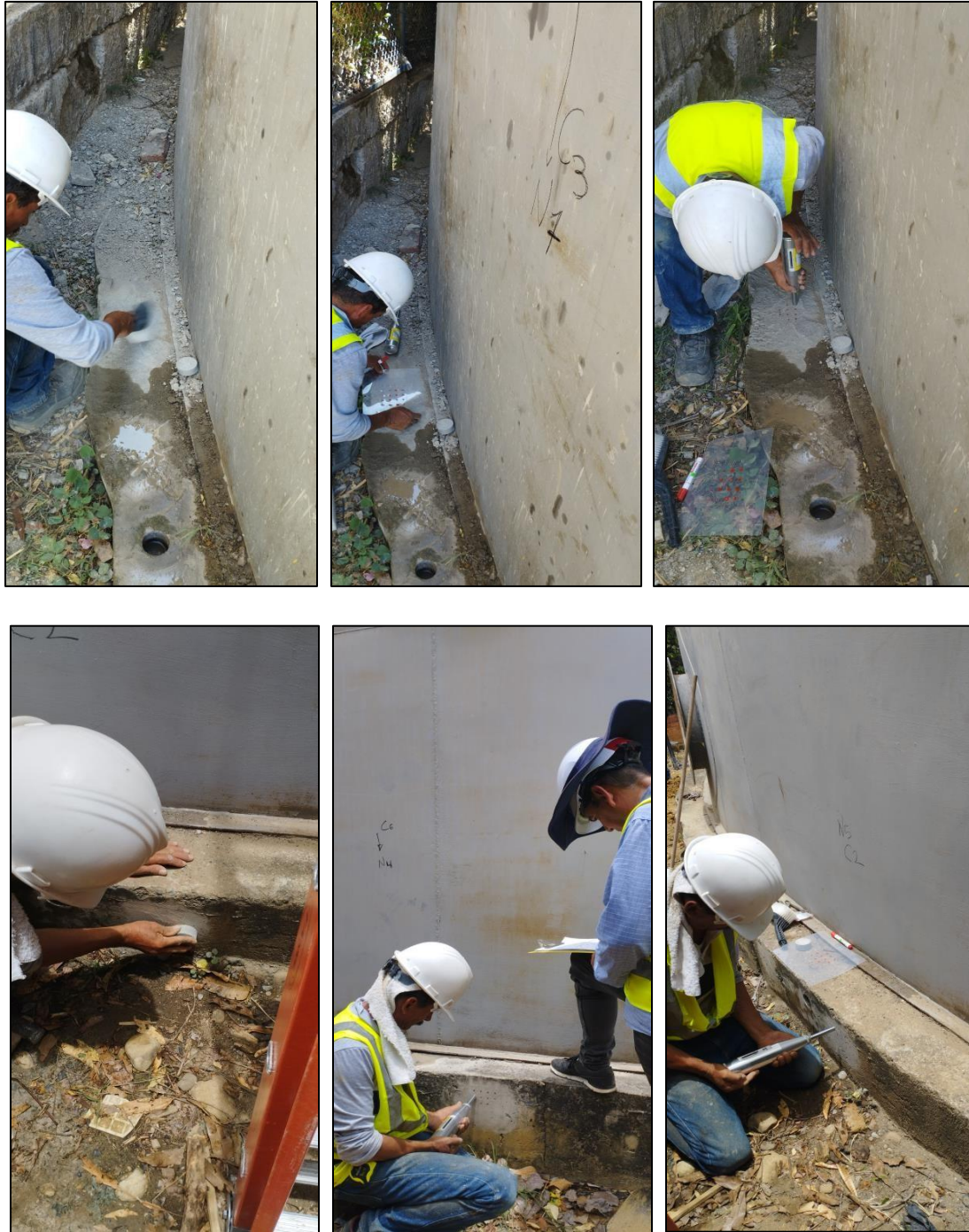


Nota: Fuente propia.



Imagen 39

Prueba de esclerometría





Nota: Fuente propia.

La prueba de esclerometría es un método indirecto para medir por rebote, principio de Schmidt, la resistencia del concreto y su resultado debe ser comparado con el obtenido en mediciones exactas como los núcleos.

En ese orden de ideas se obtuvieron, valores muy dispersos entre pruebas lo cual indica que el estimativo típico de resistencia guarda relación directa con los núcleos.

9 DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO

- **Deformaciones del tanque:**

La estructura del tanque presenta debilidades notables, especialmente en el anillo superior que originalmente sostenía la cubierta. Esta debilidad, combinada con una corrosión excesiva en las platinas, ha causado compresiones radiales que deformaron el material hacia afuera.

Posteriormente, el colapso de la cubierta invirtió el fenómeno, creando tensiones hacia adentro.

A pesar de estos movimientos, la integridad del material no se vio comprometida. No hubo tensión suficiente para exceder el rango de fluencia del material, ni se observó doblés que causara la separación del material, y la soldadura más cercana no fue afectada. Por lo tanto, la reparación de esta deformación es sencilla y se detallará en secciones posteriores.

Recomendación: En el diseño y construcción de la nueva cubierta, se recomienda no utilizar el concepto de apoyo sobre un anillo de lámina y platina a menos que esta zona de esfuerzos sea reforzada tanto perimetral como radialmente. La valoración de un refuerzo estructural es esencial para evitar futuros problemas similares.



Imagen 40

Vista interior del cilindro metálico



Nota: Fuente propia.

El diámetro teórico del tanque metálico es de 21.00 m y el constructivo medido en un borde promedio superior es de 20,85 m, esta diferencia se debe a una serie de deformaciones en la circunferencia que fueron provocadas por tensiones puntuales en el colapso de la cubierta.

En el levantamiento topográfico de deformaciones en planta del tanque, se hallaron hasta 57 puntos fuera del intradós y extradós del radio teórico tomado en el centro geométrico del tanque. Sobresalen dos deformaciones al norte (diagonal derecha de la caseta de celaduría) y uno al sur occidente de 19 y 23 cms respectivamente, las demás están en un rango de entre 2 y 15 cms.

En el levantamiento de deformaciones o inclinaciones en corte (perdida de verticalidad) del tanque, se hallaron hasta 19 puntos fuera de la vertical teórica tomando de referencia una horizontal sobre la mole de concreto base teórica del tanque.

Las pérdidas de verticalidad más representativas están en el rango de 1.03 hasta 23.0 cms, coincidiendo la más desplazada con la deformación en planta. Cabe destacar que las deformaciones verticales se deben a impactos directos sobre la lámina durante el colapso de la cubierta, además de considerar los abultamientos originados por la presión hidrostática en el centro vertical de cada lámina.

En la siguiente tabla se resume y define la ubicación y la prueba tomada.

Tabla 11

Localización de puntos a analizar

| PUNTO | LOCALIZACIÓN | PRUEBA EFECTUADA | VALOR (PSI) | CARACTERÍSTICA |
|----------|---------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------------------------|
| C1 – C8 | Núcleos en la periferia | Estructura portante | 2.129 – 4.613 | Ver resultados en estudio de núcleos |
| F1 – F8 | Carbonatación superficial | Sobre regatas y sobre núcleos | 12 mm máx. | Positivo para carbonatos |
| F9 – F16 | Carbonatación profunda | Sobre núcleos | Sin valor | Sin carbonatos |



| PUNTO | LOCALIZACIÓN | PRUEBA EFECTUADA | VALOR (PSI) | CARACTERÍSTICA |
|----------|-------------------|------------------------|-------------|-----------------------|
| I1 – I8 | Despasivación | Acero de regatas | Sin valor | Sin despasivación |
| I1 – I12 | zona general | Revisión por ferroscañ | N.A. | Diversidad de estados |
| P1 – P4 | Zona de soldadura | Tensión | | Positivo para tensión |
| F5 - F7 | Zona de corrosión | Tensión | | Positivo para tensión |

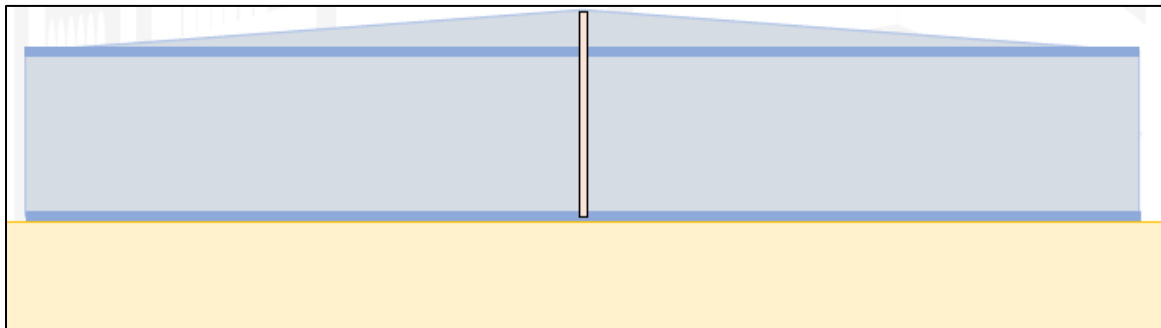
Nota: Fuente propia.

- **Corrosión Excesiva:**

La estructura poseía una cubierta metálica circular tipo cono prismado apoyado en el borde superior del taque y tendido hacia el centro geométrico mediante secciones (quesos) apoyados al centro por una columna metálica. La rigidez del queso se logró mediante cercha metálica tipo celosía igual al radio del cono.

Imagen 41

Corte del tanque con columna y cubierta colapsada



Nota: Fuente propia.

En la valoración del apoyo central metálico se observó deterioro por corrosión excesiva en la cubierta que generó unas cavidades laminadas cercanas a los 90° (ángulo crítico que indujo la cizalla) en los dos extremos fracturados. Si bien la lesión afectó a toda la columna en su altura, la parte inferior sufrió evolución más rápida por concentración de químicos en el agua como, cloros, sulfatos, hipocloritos, entre otros.

El espesor o calibre “e” original del tubo columna de 4.0 mm entró en corrosión prematura por intradós y extradós a tal punto de crear la unión y posterior falla de los dos frentes corroídos a 90° .

De otra parte, el tubo columna al estar en tensión radial transmitió los esfuerzos de cortante a la parte baja de la misma y propició el colapso coadyuvado por la cizalla, que en presencia de corrosión excesiva produjo la fractura del elemento y posterior colapso de la cubierta.



Adicionalmente, el remate de lámina, unidad superior del cilindro soldada con una platina de 2" x 1/4", la cual se realizó por la cara exterior mediante soldadura zonificada y la otra por el borde superior.

Esta soldadura y su entorno presenta alto deterioro por corrosión y debe ser retirado el conjunto de borde superior que incluye la misma porción de lámina, esto es 2". Una vez realizado el retiro con pulidora u oxicorte, se procede a armar el nuevo borde de la misma manera usando el mismo tipo de platina, pero soldado al nuevo remate, eso disminuye la altura del tanque en aproximadamente 7 centímetros.

- **Fisuración prematura y actual:**

El proceso de vaciado de la mole de concreto, aunque simple, se realizó en su momento con buenas técnicas constructivas lo que permitió que no se presentara fisuración prematura, el perfil de concreto es íntegro sin fisuración aparente. Es bueno aclarar también que el presente estudio no pudo tener acceso a ciertas zonas para determinar el estado del concreto especialmente al centro de la mole, esto se debió a que la base metálica por prestación del servicio no puede ser removida integralmente. Por lo tanto, los resultados generales de la modelación contienen información ideal y proyectada.

- **Carbonatación:**

La medición del frente carbonatado se realizó para la superficie en las regatas y corona del núcleo, y para la carbonatación profunda se usó el perfil del núcleo extraído. En los dos casos no se halló la enfermedad de manera significativa excepto para algunos especímenes no representativos.



- **Despasivación del acero de refuerzo:**

De igual forma, se realizó una verificación directa del acero de refuerzo en la periferia de la mole donde tampoco se encontró indicios de la lesión, cabe señalar que el acero de refuerzo de borde (acceso directo) es el material más vulnerable a contraer la enfermedad por su cercanía con el medio ambiente y con el concreto carbonatado, al no existir carbonatos se bloquea la despasivación del acero de borde también, y en una eventual proyección de daño interior hacia el centro geométrico del tanque quedaría descartada.

- **Desprendimientos:**

En cuanto al interior del tanque la soldadura de pata no presenta desprendimientos o alargamientos en tensión que previnieran momentos excesivos por carga hidráulica, eso indica también que no se han presentado pérdidas de verticalidad de las láminas en el corte, apoya esta tesis el hecho de que el colapso de la cubierta, aunque dejó algunas zonas deformadas en el borde superior, no afectó el paramento ni el ángulo de unión. La circunferencia actuó como pivote del sistema evitando tensiones excesivas en la soldadura.



Imagen 42

Vista de soldadura y disposición de la lámina en anillo inferior



Nota: Fuente propia.

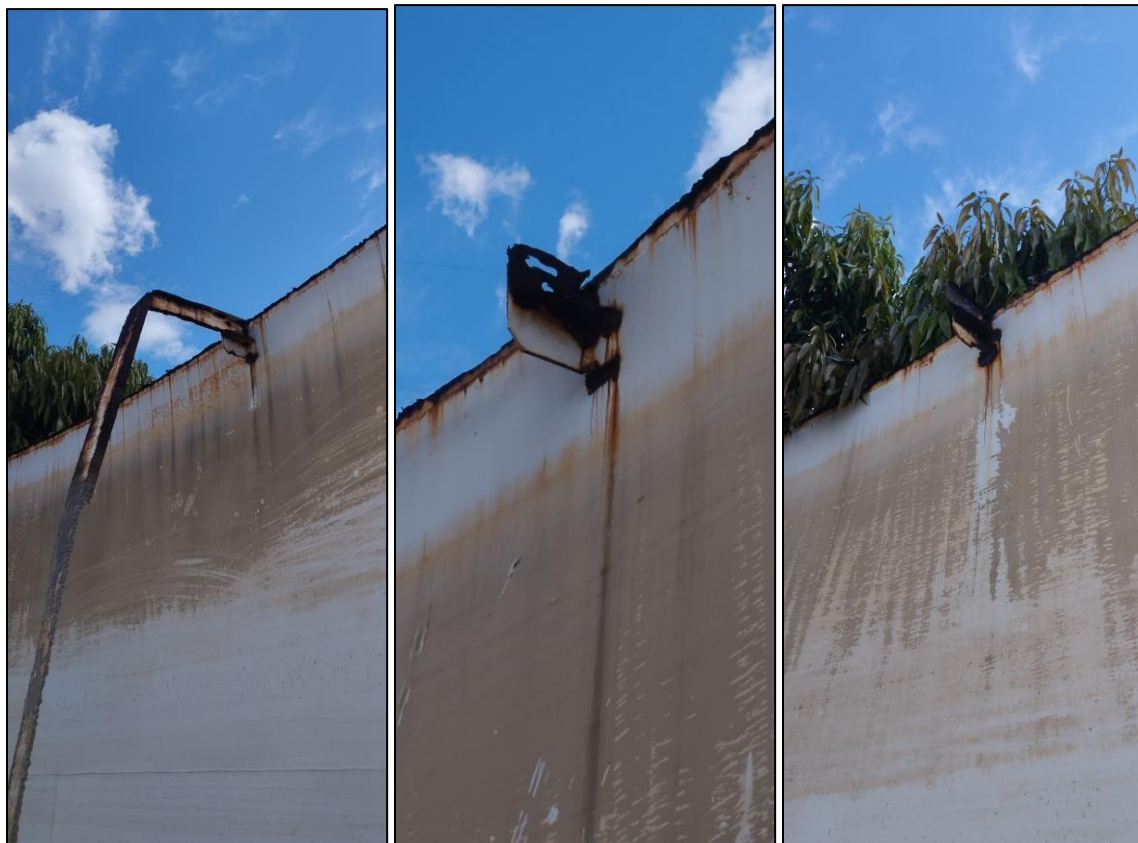
- **Corrosión en apoyos de cubierta:**

Los apoyos de la anterior cubierta presentan alto deterioro por corrosión, los restos de algunos de ellos deberán ser retirados por completo incluyendo la base soldada y su entorno que puede ser de hasta 5 centímetros. Posterior a esto se reemplaza con platina rectangular (según el

retiro) y se suelda con cordón corrido en el perímetro, las platinas deberán tener mínimo 5 cm de mayor tamaño por cada cara respecto del orificio retirado.

Imagen 43

Vista de los apoyos de la cubierta



Nota: Fuente propia.



Imagen 44

Vista de los restos de tuberías, escalera y pasarelas



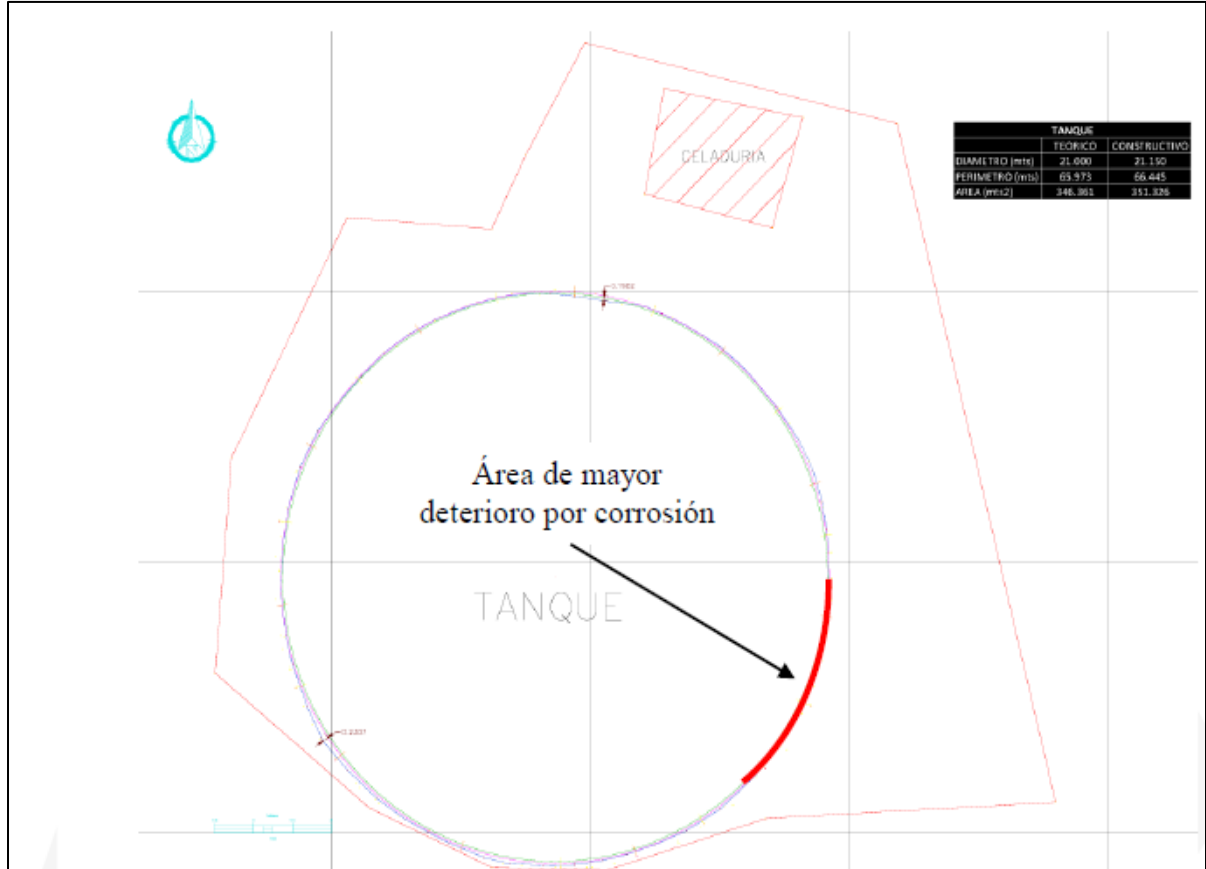
Nota: Fuente propia.

La misma situación de retiro aplica para los restos de tuberías, escalera y pasarelas.



Imagen 45

Vista en planta de área de mayor lesión por corrosión excesiva



Nota: Fuente propia.

Imagen 46

Vista del área de mayor lesión ante corrosión excesiva



Nota: Fuente propia.

- **Corrosión superficial tipo oquedad en piso en lámina:**

El piso del cilindro metálico se compone de una serie trabada de láminas de sección 2,40 x 6,0 metros unidas una junto a la otra mediante cordón de soldadura superior. El estado de la soldadura es óptimo y no se observaron lesiones asociadas a la calidad de la misma. En cuanto a la lámina estas unidades de 8,0 mm de espesor presentan un deterioro superficial tipo oquedad producido por agente corrosivo.

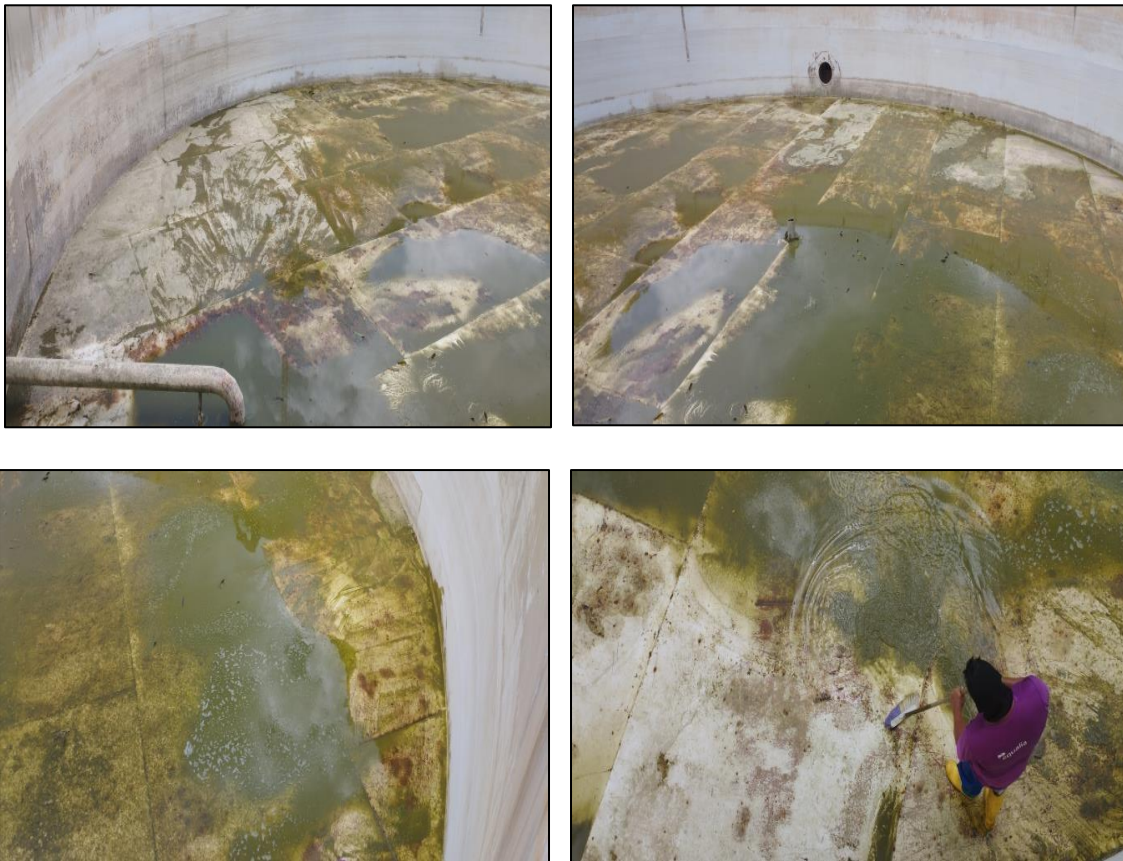
Sobre el piso se obtuvo espécimen que se llevó al laboratorio, en sitio se midió la pérdida de espesor y este se promedió en un 16% con lo cual deberá realizarse la limpieza abrasiva indicada anteriormente para las paredes y proceder con la instalación de superficie nueva.



Durante los estudios a esta superficie se le detectó unos embobamientos hacia arriba de algunas de las láminas, las cuales suenan al pisarlas. Esto se debió a que en etapa de instalado el calor de las soldaduras ablandó el material y propició la deformación por temple. Este es un aspecto secundario y no afecta la operación del piso como unidad de llenado y sellado.

Imagen 47

Vista interior del piso del tanque



Nota: Fuente propia.



Imagen 48

Vista de piso en estado de corrosión





Nota: Fuente propia.

El concreto ubicado en la parte central del círculo cuya exposición se debió al retiro del espécimen para prueba de tensión, presenta buen aspecto y no tiene patologías asociadas a mala calidad del material, aunque se trata de un espacio muy pequeño para hacer valoraciones extendidas, la hipótesis de sistema de base y la periferia sana de la mole indican una vez más que la integralidad del concreto es general.



Imagen 49

Extracción de espécimen de piso



Nota: Fuente propia.



Imagen 50

Orificio de piso con vista de concreto inferior





Nota: Fuente propia.



10 FICHAS DE DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO

En la sección de los Anexos, se presentan las fichas de diagnóstico patológico que detallan las observaciones y evaluaciones realizadas en diversas partes de la estructura del tanque de almacenamiento.

| UNIVERSIDAD SANTO TOMAS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA | | ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL DE ALTA CALIDAD MULTICAMPUS | | Cronograma de intervención del tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario | | | Día | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|-------------------|---|------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| Ítem | Nombre de la tarea | Duración (días) | Fecha de inicio | Fecha de finalización | Tarea precedente | Estado | 21.07.2024 | 22.07.2024 | 23.07.2024 | 24.07.2024 | 25.07.2024 | 26.07.2024 | 27.07.2024 | 28.07.2024 | 29.07.2024 | 30.07.2024 | 31.07.2024 | 01.08.2024 | 02.08.2024 | 03.08.2024 | 04.08.2024 | 05.08.2024 | 06.08.2024 | 07.08.2024 | 08.08.2024 | 09.08.2024 | 10.08.2024 | 11.08.2024 | 12.08.2024 | 13.08.2024 | 14.08.2024 | |
| | PLAN DE TRABAJO | 75 | 02.07.2024 | 15.09.2024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | DEMOLICIONES | 2 | 02.07.2024 | 04.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | Demolición controlada de superficie carbonatada h=0,30 m. E=0,02 m. | 2 | 02.07.2024 | 04.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | DESMONTES | 6 | 02.07.2024 | 08.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 | Desmante de franja superior | 1 | 02.07.2024 | 03.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | Desmante de apoyos de cubierta colapsada | 1 | 03.07.2024 | 04.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.3 | Desmante de conexiones de tuberías a láminas | 1 | 04.07.2024 | 05.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.4 | Desmante de escalera interna | 1 | 06.07.2024 | 07.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | Desmante de pasarela | 1 | 07.07.2024 | 08.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.6 | Desmante de boquillas de tuberías de salida y llegada | 1 | 07.07.2024 | 08.07.2024 | 2.3 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.7 | Desmante de tubo central antigua columna soporte | 1 | 07.07.2024 | 08.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | LIMPIEZAS ABRASIVAS MECÁNICAS | 13 | 09.07.2024 | 22.07.2024 | 2 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 | Limpieza de láminas en buen estado interna y externa | 6 | 09.07.2024 | 15.07.2024 | 2.6 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | Limpieza de láminas laterales internas y externas en mal estado por corrosión excesiva | 6 | 09.07.2024 | 15.07.2024 | 2.6 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 | Limpieza de láminas de piso en mal estado por corrosión excesiva | 6 | 15.07.2024 | 21.07.2024 | 2.7 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.4 | Limpieza de franja inferior | 1 | 21.07.2024 | 22.07.2024 | 2.1 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | REPOSICIONES | 23 | 22.07.2024 | 14.08.2024 | 3 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 | Reposición lámina lateral 3.2 mm | 10 | 22.07.2024 | 01.08.2024 | 3.2 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 | Reposición franja superior platina de borde | 1 | 02.08.2024 | 03.08.2024 | 3.4 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.3 | Reposición lámina de piso 3.2 mm | 10 | 04.08.2024 | 14.08.2024 | 3.3 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | PROTECCIONES | 7 | 04.08.2024 | 11.08.2024 | 4 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.1 | Pintura especializada para lámina interna, externa y piso | 7 | 15.08.2024 | 22.08.2024 | 4.1 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 | Pintura no especializada para lámina interna, externa y piso | 7 | 23.08.2024 | 30.08.2024 | 5.1 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.3 | Concreto en zona de demolición por carbonatación | 0 | 30.08.2024 | 30.08.2024 | 1.1 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.4 | Pintura vinilica aislante para concreto nuevo | 0 | 31.08.2024 | 31.08.2024 | 5.3 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.5 | Sistema de recubrimiento interno en fibra de vidrio y yelco | 15 | 31.08.2024 | 15.09.2024 | 5.2 | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | SISTEMA DE PROTECCIÓN INDUSTRIAL | 75 | 02.07.2024 | 15.09.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 | Sistema de protección industrial especializado según directrices de Aqualia Villa del Rosario | 75 | 02.07.2024 | 15.09.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

|   | | | Cronograma de intervención del tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario | | | | Año 2024 | | | | | | | | | |
|---|---|-----------------|---|-----------------------|------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Ítem | Nombre de la tarea | Duración (días) | Fecha de inicio | Fecha de finalización | Tarea precedente | Estado | 09.09.2024 | 10.09.2024 | 11.09.2024 | 12.09.2024 | 13.09.2024 | 14.09.2024 | 15.09.2024 | 16.09.2024 | 17.09.2024 | 18.09.2024 |
| | PLAN DE TRABAJO | 75 | 02.07.2024 | 15.09.2024 | | | | | | | | | | | | |
| 1 | DEMOLICIONES | 2 | 02.07.2024 | 04.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |
| 1.1 | Demolición controlada de superficie carbonatada h=0,30 m. E=0,02 m. | 2 | 02.07.2024 | 04.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |
| 2 | DESMONTES | 6 | 02.07.2024 | 08.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |
| 2.1 | Desmante de franja superior | 1 | 02.07.2024 | 03.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |
| 2.2 | Desmante de apoyos de cubierta colapsada | 1 | 03.07.2024 | 04.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |
| 2.3 | Desmante de conexiones de tuberías a láminas | 1 | 04.07.2024 | 05.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |
| 2.4 | Desmante de escalera interna | 1 | 06.07.2024 | 07.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |
| 2.5 | Desmante de pasarela | 1 | 07.07.2024 | 08.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |
| 2.6 | Desmante de boquillas de tuberías de salida y llegada | 1 | 07.07.2024 | 08.07.2024 | 2.3 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 2.7 | Desmante de tubo central antigua columna soporte | 1 | 07.07.2024 | 08.07.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |
| 3 | LIMPIEZAS ABRASIVAS MECÁNICAS | 13 | 09.07.2024 | 22.07.2024 | 2 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 3.1 | Limpieza de láminas en buen estado interna y externa | 6 | 09.07.2024 | 15.07.2024 | 2.6 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 3.2 | Limpieza de láminas laterales internas y externas en mal estado por corrosión excesiva | 6 | 09.07.2024 | 15.07.2024 | 2.6 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 3.3 | Limpieza de láminas de piso en mal estado por corrosión excesiva | 6 | 15.07.2024 | 21.07.2024 | 2.7 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 3.4 | Limpieza de franja inferior | 1 | 21.07.2024 | 22.07.2024 | 2.1 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 4 | REPOSICIONES | 23 | 22.07.2024 | 14.08.2024 | 3 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 4.1 | Reposición lámina lateral 3.2 mm | 10 | 22.07.2024 | 01.08.2024 | 3.2 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 4.2 | Reposición franja superior platina de borde | 1 | 02.08.2024 | 03.08.2024 | 3.4 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 4.3 | Reposición lámina de piso 3.2 mm | 10 | 04.08.2024 | 14.08.2024 | 3.3 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 5 | PROTECCIONES | 7 | 04.08.2024 | 11.08.2024 | 4 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 5.1 | Pintura especializada para lámina interna, externa y piso | 7 | 15.08.2024 | 22.08.2024 | 4.1 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 5.2 | Pintura no especializada para lámina interna, externa y piso | 7 | 23.08.2024 | 30.08.2024 | 5.1 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 5.3 | Concreto en zona de demolición por carbonatación | 0 | 30.08.2024 | 30.08.2024 | 1.1 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 5.4 | Pintura vinílica aislante para concreto nuevo | 0 | 31.08.2024 | 31.08.2024 | 5.3 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 5.5 | Sistema de recubrimiento interno en fibra de vidrio y yelco | 15 | 31.08.2024 | 15.09.2024 | 5.2 | Abierto | | | | | | | | | | |
| 6 | SISTEMA DE PROTECCIÓN INDUSTRIAL | 75 | 02.07.2024 | 15.09.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |
| 6.1 | Sistema de protección industrial especializado según directrices de Aqualia Villa del Rosario | 75 | 02.07.2024 | 15.09.2024 | - | Abierto | | | | | | | | | | |

12 PRESUPUESTO

Tabla 12

Presupuesto de intervención del tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario

| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR PARCIAL |
|------------|---|--------|----------|----------------|----------------------|
| 1.0 | DEMOLICIONES | | | | \$ 1,188,000 |
| 1.1 | Demolición controlada de superficie carbonatada h=0,30 m. E=0,02 m. | ml | 66.0 | \$ 18,000 | \$ 1,188,000 |
| 2.0 | DESMONTES | | | | \$ 4,678,400 |
| 2.1 | Desmote de franja superior | ml | 66.0 | \$ 22,400 | \$ 1,478,400 |
| 2.2 | Desmote de apoyos de cubierta colapsada | Und | 15.0 | \$ 106,000 | \$ 1,590,000 |
| 2.3 | Desmote de conexiones de tuberías a láminas | Und | 6.0 | \$ 85,000 | \$ 510,000 |
| 2.4 | Desmote de escalera interna | Global | 1.0 | \$ 70,000 | \$ 70,000 |
| 2.5 | Desmote de pasarela | Global | 1.0 | \$ 210,000 | \$ 210,000 |
| 2.6 | Desmote de boquillas de tuberías de salida y llegada | Global | 1.0 | \$ 750,000 | \$ 750,000 |
| 2.7 | Desmote de tubo central antigua columna soporte | Und | 1.0 | \$ 70,000 | \$ 70,000 |
| 3.0 | LIMPIEZAS ABRASIVAS MECÁNICAS | | | | \$ 26,729,800 |
| 3.1 | Limpieza de láminas en buen estado interna y externa | m2 | 369.0 | \$ 22,000 | \$ 8,118,000 |
| 3.2 | Limpieza de láminas laterales internas y externas | m2 | 125.0 | \$ 35,000 | \$ 4,375,000 |



| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR PARCIAL |
|------------|--|--------|----------|----------------|-----------------------|
| | en mal estado por corrosión excesiva | | | | |
| 3.3 | Limpieza de láminas de piso en mal estado por corrosión excesiva | m2 | 351.0 | \$ 39,000 | \$ 13,689,000 |
| 3.4 | Limpieza de franja inferior | ml | 66.0 | \$ 8,300 | \$ 547,800 |
| 4.0 | REPOSICIONES | | | | \$ 73,491,800 |
| 4.1 | Reposición lámina lateral 3.2 mm | m2 | 56.0 | \$ 208,000 | \$ 11,648,000 |
| 4.2 | Reposición franja superior platina de borde | ml | 66.0 | \$ 22,300 | \$ 1,471,800 |
| 4.3 | Reposición lámina de piso 3.2 mm | m2 | 351.0 | \$ 172,000 | \$ 60,372,000 |
| 5.0 | PROTECCIONES | | | | \$ 195,347,910 |
| 5.1 | Pintura especializada para lámina interna, externa y piso | m2 | 843.0 | \$ 34,200 | \$ 28,830,600 |
| 5.2 | Pintura no especializada para lámina interna, externa y piso | m2 | 241.0 | \$ 15,000 | \$ 3,615,000 |
| 5.3 | Concreto en zona de demolición por carbonatación | ml | 66.0 | \$ 74,200 | \$ 4,897,200 |
| 5.4 | Pintura vinílica aislante para concreto nuevo | ml | 66.0 | \$ 16,600 | \$ 1,095,600 |
| 5.5 | Sistema de recubrimiento interno en fibra de vidrio y yelco | m2 | 597.0 | \$ 262,830 | \$ 156,909,510 |
| 6.0 | SISTEMA DE PROTECCIÓN INDUSTRIAL | | | | \$ 4,000,000 |
| 6.1 | Sistema de protección industrial especializado | Global | 1.0 | \$ 4,000,000 | \$ 4,000,000 |



| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR PARCIAL |
|--------------------------------|---|--------|----------|----------------|-----------------------|
| | según directrices de Aqualia Villa del Rosario | | | | |
| TOTAL COSTOS DIRECTOS | | | | | \$ 305,435,910 |
| Administración | | | 18% | | \$ 54,978,464 |
| Imprevisto | | | 5% | | \$ 15,271,796 |
| Utilidad | | | 5% | | \$ 15,271,796 |
| IVA sobre Utilidad | | | 19% | | \$ 2,901,641 |
| TOTAL COSTOS INDIRECTOS | | | | | \$ 88,423,696 |
| COSTO TOTAL | | | | | \$ 393,859,606 |

Nota: Elaboración propia.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Estudio de Patología de la Construcción Centro de Integración Ciudadana – CIC Sevilla
IV Etapa, Sincelejo, Sucre. Universidad Santo Tomás. 2023.

Título B. Sistemas de Acueducto. Reglamento Técnico del sector de agua potable y
saneamiento básico. RAS-2000. Bogotá. (2000). Pág. B.195

Webgrafía de apoyo:

[Los sistemas estructurales permitidos en Colombia. \(legis.com.co\)](http://legis.com.co)

[Villa del Rosario \(Norte de Santander\) - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

[Estadísticas sísmicas: Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia - gráficos y tablas
detalladas, actividad sísmica actual y pasada \(volcanodiscovery.com\)](#)

[Corrosión en materiales metálicos: Definiciones y cómo prevenirla
\(ingenieriaquimicareviews.com\)](#)



ANEXOS



CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LESIONES

Ficha No. 1
Fecha: 08/03/2024

| | | | | | | | |
|--|--------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|---------|-------------------|-------------------------|
| REALIZADO POR: Karolay Andrea Acuña Cuesta, Gerson Jair Guerrero Parada | | | | | | | |
| INFORMACION DEL PACIENTE | | | | | | | |
| NOMBRE: Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | | | | |
| LOCALIZACION: 7.8574° N, 72.4874° O. | | | | | | | |
| USO: Almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto. | | | | | | | |
| APLICACIÓN PATOLOGÍA: Pediátrico. | | | | | | | |
| SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. | | | | | | | |
| INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE LA LESION | | | | | | | |
| ELEMENTO: Tanque de agua de potable. | | | | | | | |
| MATERIAL: Acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica. | | | | | | | |
| CALIFICACIÓN: | LEVE | | MODERADO | X | SEVERO | | |
| TIPO DE LESIÓN: | | | | | | | |
| PRIMARIA: | (P) | | | SECUNDARIA: | | | (S) |
| FÍSICA: | P | Humedad | Filtración | Suciedad | Erosión | Manchas | Vibración |
| MECÁNICA: | | Deforma X | Grieta | Fisuras | Roturas | Desprend | Desplomes |
| | | Desnivel | Alabeo | Desgaste | Colapsa | Dilatado | Quemado |
| QUÍMICA: | S | Carbonatación | | Oxidaciones/Corrosión | | X | Lixiviación/Exfoliación |
| ORGANISMOS VIVOS: | | VEGETAL | | ANIMAL | | MOHOS Y HONGOS | |
| ANTROPO-GENICOS: | | Mal proceso constructivo | Intervenciones inadecuadas | Falta de mantenimiento | X | Diseño Inadecuado | |
| CAUSA: | | | | | | | |
| DIRECTA: | Agente atmosférico | | | INDIRECTA: | Humedad | | |
| DESCRIPCION DEL ELEMENTO AFECTADO: | | | | | | | |
| La estructura del tanque presenta particularmente en el anillo superior que sostenía la cubierta, lo que ha resultado en deformaciones significativas. Estas deformaciones radiales hacia afuera fueron causadas por tensiones puntuales durante el colapso de la cubierta, seguidas de tensiones hacia adentro. A pesar de estas deformaciones, la integridad del material no se vio comprometida, aunque se observó corrosión excesiva en las platinas. Además, se detectaron deformaciones verticales y abultamientos por la presión hidrostática en el centro de cada lámina. Estas condiciones requerirán una evaluación y posibles acciones correctivas para garantizar la estabilidad y funcionalidad del tanque. | | | | | | | |





CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LESIONES

Ficha No. 2

Fecha: 08/03/2024

| | | | | | | | |
|---|--------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|-------------------|
| REALIZADO POR: Karolay Andrea Acuña Cuesta, Gerson Jair Guerrero Parada | | | | | | | |
| INFORMACION DEL PACIENTE | | | | | | | |
| NOMBRE: Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | | | | |
| LOCALIZACION: 7.8574° N, 72.4874° O. | | | | | | | |
| USO: Almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto. | | | | | | | |
| APLICACION PATOLOGIA: Pediátrico. | | | | | | | |
| SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. | | | | | | | |
| INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE LA LESION | | | | | | | |
| ELEMENTO: Apoyo central metálico del tanque. | | | | | | | |
| MATERIAL: Acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica. | | | | | | | |
| CALIFICACIÓN: | LEVE | | MODERADO | | SEVERO | | X |
| TIPO DE LESION: | | | | | | | |
| PRIMARIA: | (P) | | | SECUNDARIA: | | | (S) |
| FÍSICA: | P | Humedad | Filtración | Suciedad | Erosión | Manchas | Vibración |
| MECÁNICA: | | Deforma | Grieta | Fisuras | Roturas | Desprend | X Desplomes |
| | | Desnivel | Alabeo | Desgaste | Colapsa | Dilatado | Quemado |
| QUÍMICA: | S | Carbonatación | | Oxidaciones/Corrosión | X | Lixiviación/Exfoliación | |
| ORGANISMOS VIVOS: | | VEGETAL | | ANIMAL | MOHOS Y HONGOS | | |
| ANTROPOGENICOS: | | Mal proceso constructivo | Intervenciones inadecuadas | Falta de mantenimiento | | X | Diseño Inadecuado |
| CAUSA: | | | | | | | |
| DIRECTA: | Agente atmosférico | | | INDIRECTA: | | | Humedad |
| DESCRIPCION DEL ELEMENTO AFECTADO: | | | | | | | |
| El apoyo central metálico presenta un deterioro significativo debido a la corrosión excesiva en la cubierta, generando cavidades laminadas y fracturas en los extremos. Esta lesión afectó toda la columna, especialmente la parte inferior, debido a la rápida evolución de la corrosión. El espesor original del tubo columna se vio comprometido por corrosión prematura, resultando en la falla de los frentes corroídos. La tensión radial del tubo contribuyó al colapso de la estructura, exacerbado por la cizalla. Se observó un alto deterioro por corrosión en la soldadura y su entorno | | | | | | | |

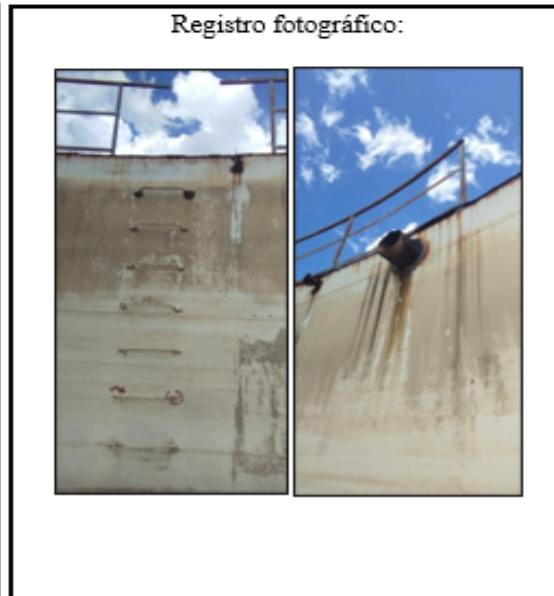




CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LESIONES

Ficha No. 3
Fecha: 08/03/2024

| | | | | | | | | |
|---|--------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|--|
| REALIZADO POR: Karolay Andrea Acuña Cuesta, Gerson Jair Guerrero Parada | | | | | | | | |
| INFORMACION DEL PACIENTE | | | | | | | | |
| NOMBRE: Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | | | | | |
| LOCALIZACION: 7.8574° N, 72.4874° O. | | | | | | | | |
| USO: Almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto. | | | | | | | | |
| APLICACION PATOLOGIA: Pediátrico. | | | | | | | | |
| SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. | | | | | | | | |
| INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE LA LESIÓN | | | | | | | | |
| ELEMENTO: Tuberías, escalera y pasarelas. | | | | | | | | |
| MATERIAL: Acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica. | | | | | | | | |
| CALIFICACIÓN: | LEVE | | MODERADO | X | SEVERO | | | |
| TIPO DE LESIÓN: | | | | | | | | |
| PRIMARIA: | | (P) | | | SECUNDARIA: | | (S) | |
| FÍSICA: | P | Humedad | Filtración | Suciedad | Erosión | Manchas | Vibración | |
| MECÁNICA: | | Deforma | Grieta | Fisuras | Roturas | Desprend | X Desplomes | |
| | | Desnivel | Alabeo | Desgaste | Colapsa | Dilatado | Quemado | |
| QUÍMICA: | S | Carbonatación | | Oxidaciones/Corrosión | X | Lixiviación/Exfoliación | | |
| ORGANISMOS VIVOS: | | VEGETAL | | ANIMAL | | MOHOS Y HONGOS | | |
| ANTROPOGENICOS: | | Mal proceso constructivo | Intervenciones inadecuadas | Falta de mantenimiento | | X | Diseño Inadecuado | |
| CAUSA: | | | | | | | | |
| DIRECTA: | Agente atmosférico | | | INDIRECTA: | Humedad | | | |
| DESCRIPCION DEL ELEMENTO AFECTADO: | | | | | | | | |
| Las áreas afectadas por corrosión excesiva se localizan en varios componentes del tanque, como las bases soldadas, tuberías, escaleras y pasarelas. Para remediar esta situación, los elementos afectados deberán ser retirados por completo, incluyendo la base soldada y su entorno de hasta 5 centímetros. | | | | | | | | |





CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LESIONES

Ficha No. 4
Fecha: 08/03/2024

| | | | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|----------|-------------------|---------|
| REALIZADO POR: Karolay Andrea Acuña Cuesta, Gerson Jair Guerrero Parada | | | | | | | | |
| INFORMACION DEL PACIENTE | | | | | | | | |
| NOMBRE: Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navaro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: 7.8574° N, 72.4874° O. | | | | | | | | |
| USO: Almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto operado. | | | | | | | | |
| APLICACIÓN PATOLOGÍA: Pediátrico. | | | | | | | | |
| SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. | | | | | | | | |
| INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE LA LESIÓN | | | | | | | | |
| ELEMENTO: Mole de concreto. | | | | | | | | |
| MATERIAL: Concreto reforzado. | | | | | | | | |
| CALIFICACIÓN: | LEVE | X | MODERADO | | SEVERO | | | |
| TIPO DE LESIÓN: | | | | | | | | |
| PRIMARIA: | (P) | | | SECUNDARIA: | | | | (S) |
| FÍSICA: | P | Humedad | Filtración | Suciedad | Erosión | Manchas | Vibración | |
| MECÁNICA: | | Deforma | Grieta | Fisuras | Roturas | Desprend | Desplomes | |
| | | Desnivel | Alabeo | Desgaste | Colapsa | Dilatado | Quemado | |
| QUÍMICA: | S | Carbonatación | X | Oxidaciones/Corrosión | Lixiviación/Exfoliación | | | |
| ORGANISMOS VIVOS: | VEGETAL | | ANIMAL | | MOHOS Y HONGOS | | | |
| ANTROPO-GENICOS: | Mal proceso constructivo | | Intervenciones inadecuadas | | Falta de mantenimiento | | Diseño Inadecuado | |
| CAUSA: | | | | | | | | |
| DIRECTA: | Agente atmosférico | | | INDIRECTA: | | | | Humedad |
| DESCRIPCION DEL ELEMENTO AFECTADO: | | | | | | | | |
| La prueba realizada en los núcleos de concreto extraídos reveló una lesión por carbonatación. Aunque la mayoría de los núcleos no muestran un frente carbonatado, se observa una ligera contaminación en varios de ellos, con un promedio de aproximadamente 10 mm. La carbonatación superficial indica que la estructura estuvo protegida y que la lesión no ha penetrado significativamente el concreto. El medio ambiente de la meseta proporciona condiciones ideales para evitar la contaminación por CO ₂ , lo que contribuye a la protección indirecta del concreto. | | | | | | | | |





CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LESIONES

Ficha No. 5

Fecha: 08/03/2024

| | | | | | | | | |
|--|--------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|---------|----------------|-------------------------|-----|
| REALIZADO POR: Karolay Andrea Acuña Cuesta, Gerson Jair Guerrero Parada | | | | | | | | |
| INFORMACION DEL PACIENTE | | | | | | | | |
| NOMBRE: Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | | | | | |
| LOCALIZACION: 7.8574° N, 72.4874° O. | | | | | | | | |
| USO: Almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto. | | | | | | | | |
| APLICACION PATOLOGIA: Pediátrico. | | | | | | | | |
| SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. | | | | | | | | |
| INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE LA LESIÓN | | | | | | | | |
| ELEMENTO: Piso en lámina. | | | | | | | | |
| MATERIAL: Acero. | | | | | | | | |
| CALIFICACIÓN: | LEVE | | MODERADO | X | SEVERO | | | |
| TIPO DE LESIÓN: | | | | | | | | |
| PRIMARIA: | (P) | | | SECUNDARIA: | | | | (S) |
| FÍSICA: | P | Humedad | Filtración | Suciedad | Erosión | Manchas | Vibración | |
| MECÁNICA: | | Deforma | Grieta | Fisuras | Roturas | Desprend | Desplomes | |
| | | Desnivel | Alabeo | Desgaste | Colapsa | Dilatado | Quemado | |
| QUÍMICA: | S | Carbonatación | | Oxidaciones/Corrosión | | X | Lixiviación/Exfoliación | |
| ORGANISMOS VIVOS: | | VEGETAL | | ANIMAL | | MOHOS Y HONGOS | | |
| ANTROPOGENICOS: | | Mal proceso constructivo | Intervenciones inadecuadas | Falta de mantenimiento | | X | Diseño Inadecuado | |
| CAUSA: | | | | | | | | |
| DIRECTA: | Agente atmosférico | | | INDIRECTA: | | Humedad | | |
| DESCRIPCION DEL ELEMENTO AFECTADO: | | | | | | | | |
| deterioro superficial tipo oquedad en las láminas de 8,0 mm de espesor debido a la acción de agentes corrosivos. Aunque la soldadura superior muestra un estado óptimo y no se detectaron lesiones, se observa una pérdida de espesor promedio del 16%, lo que requiere una limpieza abrasiva y la instalación de una nueva superficie. Se detectaron deformaciones menores en algunas láminas debido al calor de las soldaduras durante la instalación, aunque esto no afecta su funcionalidad. El concreto en la parte central del círculo, expuesto durante las pruebas, muestra un buen aspecto y no presenta patologías significativas, lo que sugiere una integridad general del material. | | | | | | | | |





PATOLOGIA DE LOS MECANISMOS DE LA FALLA ESTRUCTURAL

Ficha No. 1

Fecha: 08/03/2024

| | | Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | |
|---|---------------|--|---|-------------------|
| INFORMACION DEL PACIENTE | | | | |
| NOMBRE: Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | |
| LOCALIZACIÓN: Barrio Navarro Wolf municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | |
| USO: Almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto. | | | | |
| APLICACIÓN PATOLÓGIA: Pediátrico | | | | |
| SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. | | | | |
| INFORMACIÓN ESPECÍFICA | | | | |
| ELEMENTO: Tanque de agua de potable. | | | | |
| MATERIAL: Acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica. | | | | |
| UBICACIÓN | DAÑO | | DESCRIPCION DEL DAÑO | |
| | Tipo | Calificación | Criterio | Apariencia Típica |
| Tanque de agua de potable. | Deformaciones | Moderado | La estructura del tanque muestra deformaciones notables debido a debilidades en el anillo superior y corrosión excesiva en las platinas. Estas condiciones causaron compresiones radiales y tensiones inversas tras el colapso de la cubierta. Sin embargo, la integridad del material no se comprometió y la soldadura cercana no fue afectada. La reparación es sencilla y se recomienda reforzar la zona de esfuerzos en el diseño de la nueva cubierta para evitar problemas futuros similares. | |



PATOLOGIA DE LOS MECANISMOS DE LA FALLA ESTRUCTURAL

Ficha No. 2

Fecha: 08/03/2024

| | | Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | |
|--|-----------|---|---|-------------------|
| INFORMACION DEL PACIENTE | | | | |
| NOMBRE: Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | |
| LOCALIZACIÓN: Barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | |
| USO: Almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto. | | | | |
| APLICACIÓN PATOLOGÍA: Pediátrico | | | | |
| SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. | | | | |
| INFORMACIÓN ESPECÍFICA | | | | |
| ELEMENTO: Apoyo central metálico del tanque. | | | | |
| MATERIAL: Acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica | | | | |
| UBICACIÓN | DAÑO | | DESCRIPCION DEL DAÑO | |
| | Tipo | Calificación | Criterio | Apariencia Típica |
| Apoyo central metálico del tanque. | Corrosión | Severa | El apoyo central metálico del tanque muestra un deterioro significativo debido a corrosión excesiva, que generó cavidades laminadas en los extremos fracturados. La parte inferior de la columna sufrió una corrosión más rápida por la concentración de químicos en el agua. Esta corrosión afectó tanto el intradós como el extradós del tubo columna, provocando su falla. Además, el remate de lámina y su soldadura también presentan alto deterioro por corrosión y deben ser reemplazados. | |



PATOLOGIA DE LOS MECANISMOS DE LA FALLA ESTRUCTURAL

Ficha No. 3

Fecha: 08/03/2024


| | | Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | |
|--|-----------|--|---|-------------------|
| INFORMACION DEL PACIENTE | | | | |
| NOMBRE: Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | |
| LOCALIZACIÓN: Barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | |
| USO: Almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto. | | | | |
| APLICACIÓN PATOLOGÍA: Pediátrico | | | | |
| SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. | | | | |
| INFORMACIÓN ESPECÍFICA | | | | |
| ELEMENTO: Tuberías, escalera y pasarelas. | | | | |
| MATERIAL: Acero. | | | | |
| UBICACIÓN | DAÑO | | DESCRIPCION DEL DAÑO | |
| | Tipo | Calificación | Criterio | Apariencia Típica |
| Tanque de agua de potable. | Corrosión | Moderado | Las áreas afectadas por corrosión excesiva se localizan en varios componentes del tanque, como las bases soldadas, tuberías, escaleras y pasarelas. Para remediar esta situación, los elementos afectados deberán ser retirados por completo, incluyendo la base soldada y su entorno de hasta 5 centímetros. | |



PATOLOGIA DE LOS MECANISMOS DE LA FALLA ESTRUCTURAL

Ficha No. 4

Fecha: 08/03/2024

|  | | Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | |
|---|---------------|--|--|---|
| INFORMACION DEL PACIENTE | | | | |
| NOMBRE: Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | |
| LOCALIZACIÓN: Barrio Navarro Wolf municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | |
| USO: Almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto. | | | | |
| APLICACIÓN PATOLOGÍA: Pediátrico | | | | |
| SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. | | | | |
| INFORMACIÓN ESPECÍFICA | | | | |
| ELEMENTO: Mole de concreto. | | | | |
| MATERIAL: Concreto reforzado. | | | | |
| UBICACIÓN | DAÑO | | DESCRIPCION DEL DAÑO | |
| | Tipo | Calificación | Criterio | Apariencia Típica |
| Mole de concreto. | Carbonatación | Leve | La prueba realizada en los núcleos de concreto extraídos reveló una lesión por carbonatación. Aunque la mayoría de los núcleos no muestran un frente carbonatado, se observa una ligera contaminación en varios de ellos, con un promedio de aproximadamente 10 mm. La carbonatación superficial indica que la estructura estuvo protegida y que la lesión no ha penetrado significativamente el concreto. El medio ambiente de la meseta proporciona condiciones ideales para evitar la contaminación por CO ₂ , lo que contribuye a la protección indirecta del concreto. |  |



PATOLOGIA DE LOS MECANISMOS DE LA FALLA ESTRUCTURAL

Ficha No. 5

Fecha: 08/03/2024

| | | Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | |
|---|-----------------------|--|--|-------------------|
| INFORMACION DEL PACIENTE | | | | |
| NOMBRE: Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | |
| LOCALIZACIÓN: Barrio Navarro Wolf municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander. | | | | |
| USO: Almacenamiento y tránsito de agua potable del sistema de distribución de acueducto. | | | | |
| APLICACIÓN PATOLOGÍA: Pediátrico | | | | |
| SISTEMA CONSTRUCTIVO: Estructura mixta lograda en acero laminado en forma de cilindro regular con base metálica y mole de concreto reforzado. | | | | |
| INFORMACIÓN ESPECÍFICA | | | | |
| ELEMENTO: Piso en lámina. | | | | |
| MATERIAL: Acero. | | | | |
| UBICACIÓN | DAÑO | | DESCRIPCION DEL DAÑO | |
| | Tipo | Calificación | Criterio | Apariencia Típica |
| Piso de lámina | Corrosión superficial | Moderado | El piso del cilindro metálico está formado por láminas de 2,40 x 6,0 metros unidas por soldadura superior, cuya calidad es óptima. Las láminas de 8 mm de espesor presentan un deterioro superficial tipo oquedad debido a agentes corrosivos. La pérdida de espesor, promediada en un 16%, requiere limpieza abrasiva y posterior instalación de una nueva superficie. Algunas láminas están abombadas debido al calor de las soldaduras, lo que no afecta la operación del piso. El concreto en el centro del círculo, expuesto por la prueba de tensión, muestra buen estado sin patologías significativas. | |





- **Matriz de Vulnerabilidad. Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander.**

| | ESTRUCTURA | | | | | SUELOS |
|-------------|--|--|---|--|--|--|
| | MATERIAL PRINCIPAL | PLACA | DIÁMETRO CONSTRUCTIVO | APOYOS | ALTURA TOTAL | |
| FOTOGRAFÍAS |  |  |  |  |  |  |

| | ESTRUCTURA | | | | | SUELOS |
|-------------|--------------------------------------|---|-----------------------|--|---|--|
| | MATERIAL PRINCIPAL | PLACA | DIÁMETRO CONSTRUCTIVO | APOYOS | ALTURA TOTAL | |
| DESCRIPCIÓN | Acero laminado y concreto reforzado. | La cimentación del tanque de almacenamiento se desarrolla mediante una mole o torta de concreto de forma circular, embebida en el terreno a una profundidad de 1.0 metro y 0.30 metros sobre la rasante actual. | 20.85 metros. | El apoyo central metálico del tanque, fabricado en acero laminado en forma de cilindro regular con una base metálica, ha experimentado un deterioro significativo debido a la corrosión excesiva en la cubierta. | 3.79 metros para el cilindro metálico, más una torta de concreto de 1.30 metros debajo. | Suelo combinado por arcillas, arenas y cantos. |

Nota: Adaptado por Acuña K., Guerrero G. (2024)

- **Matriz de Vulnerabilidad. Estudio Patológico al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el barrio Navarro Wolf, municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander.**

| | SISMO | FISURAS | VEGETALES | ANIMALES | CUERPOS DE AGUA |
|--------------------|--|---|--|----------|---|
| FOTOGRAFÍAS |  |  |  | |  |

| | SISMO | FISURAS | VEGETALES | ANIMALES | CUERPOS DE AGUA |
|--------------------|--|---|--|--|---|
| DESCRIPCIÓN | <p>Se han registrado un promedio de 258 sismos por año desde 1900, con magnitudes variadas.</p> <p>Destacan:</p> <p>Magnitud 5 o más: 0.51 sismos por año.</p> <p>Magnitud 4 o más: 3.2 sismos por año.</p> <p>Magnitud 3 o más: 20.3 sismos por año.</p> <p>Magnitud 2 o más: 85 sismos por año.</p> <p>Magnitud 1 o más: 257 sismos por año.</p> <p>Según NSR – 10, que establece valores específicos para el diseño sísmico, como los parámetros Aa y Av, que en el valle de Cúcuta son de 0.35 y 0.30 respectivamente.</p> | <p>No se evidencian fisuras en el tanque de almacenamiento de agua potable.</p> | <p>Presencia de vegetación atribuible a predio colindante.</p> | <p>No se evidencian presencia de animales atribuibles a predio colindante.</p> | <p>No se encontró nivel freático en la exploración manual realizada a 1.0 m de profundidad, debido a que el suelo de cimentación del tanque es arcilloso y granular, permitiendo que las aguas lluvias y los posibles derrames y deterioros de tuberías de entrada y salida se infiltren a tal profundidad y velocidad.</p> |

Nota: Adaptado por Acuña K., Guerrero G. (2024)



- **Matriz de Vulnerabilidad con su calificación**

| | |
|---------------------|---|
| Calificación | B2 |
| Color | Riesgos que necesitan MITIGACIÓN: planes de actuación correctivos |

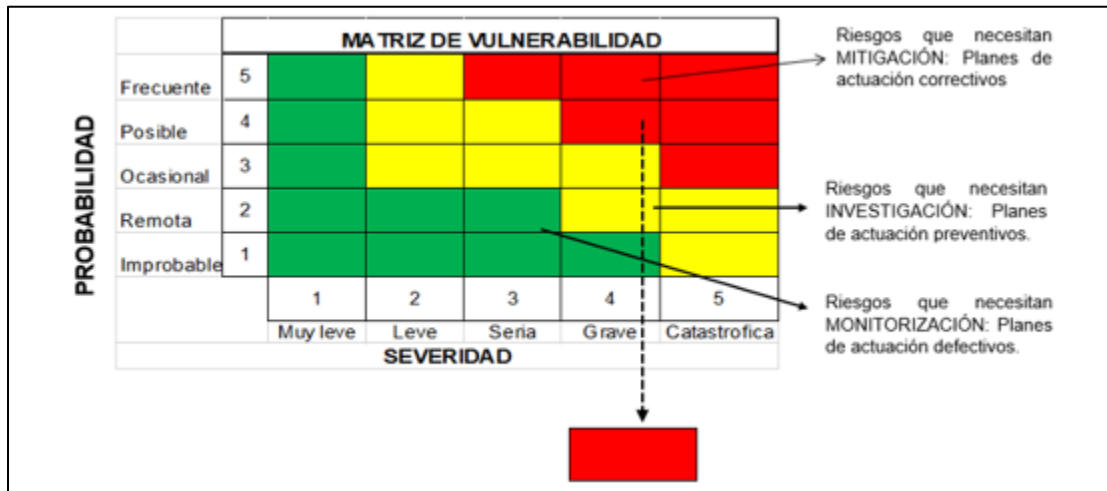
Nota: Adaptado por Acuña K., Guerrero G. (2024)

Para la calificación se tuvo en cuenta la siguiente Tabla:

Etapas y matriz de vulnerabilidad

| Etapas de Vulnerabilidad | | |
|----------------------------|---|-----------|
| Probabilidad de ocurrencia | Definición | Categoría |
| Frecuente | Significativa probabilidad de ocurrencia | A |
| Moderado | Mediana probabilidad de ocurrencia | B |
| Remota | Baja probabilidad de ocurrencia | C |
| Extremadamente remota | Difícil que ocurra | D |

| Clasificación del Riesgo | |
|--------------------------|-------------|
| Categoría | Riesgo |
| 1 | Muy alto |
| 2 | Alto |
| 3 | Medio |
| 4 | Bajo |



Nota: Se muestran los parámetros utilizados para calificar el paciente (Vanegas, 2022).