



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

“ESTUDIO Y DISEÑO DE SOLUCIONES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE UN RESERVORIO DE AGUA POTABLE UBICADO EN LA PARROQUIA CHANDUY DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTOR:**

SALVADOR RIVAS ALEXIS EFREN

**TUTOR:**

Ing. RICHARD RAMIREZ PALMA Mg.

**La Libertad – Ecuador**

2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

“ESTUDIO Y DISEÑO DE SOLUCIONES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE UN RESERVORIO DE AGUA POTABLE UBICADO EN LA PARROQUIA CHANDUY DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTOR:**

SALVADOR RIVAS ALEXIS EFREN

**TUTOR:**

Ing. RICHARD RAMIREZ PALMA Mg.

**La Libertad – Ecuador**

2024

# 3..1 ESPECIALISTA - SALVADOR ALEXIS - ESPECIALISTA - compilato ultimo de lo ultimo



Nombre del documento: 3..1ESPECIALISTA - SALVADOR ALEXIS - ESPECIALISTA - compilato ultimo de lo ultimo.docx  
ID del documento: af4b8baec4ac385354ff48b54ecda2be782c805f  
Tamaño del documento original: 15,93 MB

Depositante: RICHARD IVAN RAMIREZ PALMA  
Fecha de depósito: 18/7/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 18/7/2025

Número de palabras: 14.383  
Número de caracteres: 97.321

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

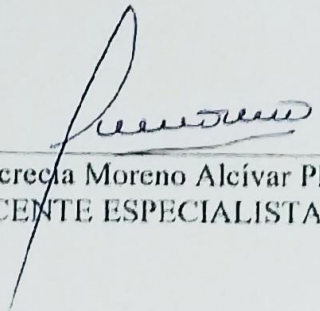
### Fuentes principales detectadas

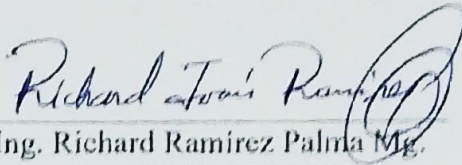
Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>TESIS SANCHEZ GARCIA.docx</b>   TESIS SANCHEZ GARCIA #d011d0 Viene de de mi grupo 6 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (144 palabras)
2	<b>Documento de otro usuario</b> #28426 Viene de de otro grupo 7 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (62 palabras)
3	<b>Documento de otro usuario</b> #ad2874 Viene de de otro grupo 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (57 palabras)
4	<b>Documento de otro usuario</b> #324714 Viene de de otro grupo 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (42 palabras)
5	<b>proyecto #2.docx</b>   proyecto #2.docx #670e75 Viene de de mi grupo 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)

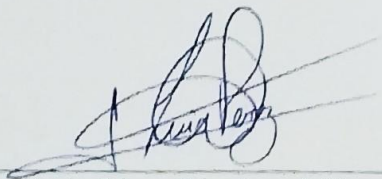
### Fuentes con similitudes fortuitas

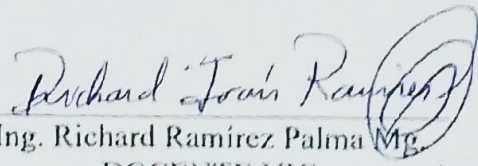
Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>PLAGIO CHECKTesis_Dominguez Limones &amp; Ramos Orrala.docx</b>   PLA... #ca38a0 Viene de de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
2	<b>Diseño y Análisis Estructural de Cargas No Sísmicas para una Viviend...</b> #d02172 Viene de de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
3	<b>Documento de otro usuario</b> #18dc37 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
4	<b>dspace.ups.edu.ec</b> https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8911/1/UPS-CT005145.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)
5	<b>geotecniaymecanicasuelosabc.com</b>   Corte Directo - Geotecnia y Mecanica de S... https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/corte-directo-2/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.   
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar PhD.  
DOCENTE ESPECIALISTA

f.   
Ing. Richard Ramírez Palma Mg.  
DOCENTE TUTOR

f.   
Ing. Luis Pérez Pánchez, MSc.  
DOCENTE ESPECIALISTA

f.   
Ing. Richard Ramírez Palma Mg.  
DOCENTE UIC

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **SALVADOR RIVAS ALEXIS EFREN** declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“ESTUDIO Y DISEÑO DE SOLUCIONES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE UN RESERVORIO DE AGUA POTABLE UBICADO EN LA PARROQUIA CHANDUY DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente. Atentamente,

f. Plaxis Efrén Salvador Rivas

**Salvador Rivas Alexis Efrén**

C.I. 0927264762

AUTOR

# CERTIFICADO DE TUTOR

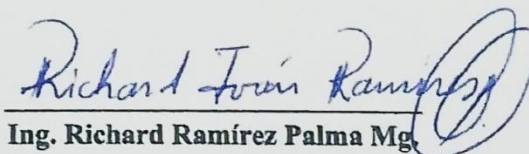
Ing. Richard Ramírez Palma Mg.

**TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “**ESTUDIO Y DISEÑO DE SOLUCIONES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE UN RESERVORIO DE AGUA POTABLE UBICADO EN LA PARROQUIA CHANDUY DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**”, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Sr. **SALVADOR RIVAS ALEXIS EFREN**, egresado de la carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR

  
Ing. Richard Ramírez Palma Mg.  
C.I. 0912246451

**Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES**

*Magíster En Diseño Y Evaluación*

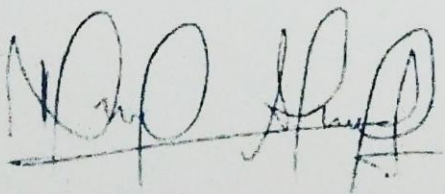
*De Modelos Educativos*

La libertad, julio 12 del 2025.

## Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de integración curricular en opción al título de **INGENIERO/A CIVIL** de: **SALVADOR RIVAS ALEXIS EFRÉN**, cuyo tema es: **"ESTUDIO Y DISEÑO DE SOLUCIONES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE UN RESERVORIO DE AGUA POTABLE UBICADO EN LA PARROQUIA CHANDUY DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA"**, me permito declarar que el trabajo de investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.



**Lic. Alexi Herrera R, MSc.**  
Docente de Español A: Literatura

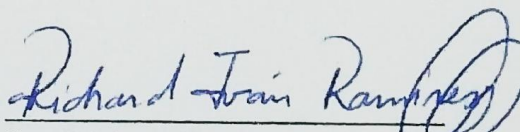
# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

Ing. Richard Ramírez Palma Mg.

**TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

En mi calidad de tutor de trabajo de investigación para titulación del “ESTUDIO Y DISEÑO DE SOLUCIONES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE UN RESERVORIO DE AGUA POTABLE UBICADO EN LA PARROQUIA CHANDUY DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”, elaborado por el estudiante SALVADOR RIVAS ALEXIS EFREN, egresado de la CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL, de la FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, me permito declarar que una vez analizado en el sistema de anti plagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 5% de la valoración permitida.



Richard Ramírez Palma Mg.

Ing. Richard Ramírez Palma Mg.

C.I. 0912246451

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a Dios, por brindarme la sabiduría, la fuerza y la constancia necesarias para cumplir este sueño tan anhelado.

A mis padres, hermanos y a mis abuelos maternos y paternos, quienes descansan en paz, porque, aunque ya no estén presentes físicamente conmigo, su amor, sus enseñanzas y sus ejemplos han sido el principal motor y motivación para no rendirme y así poder culminar con éxito mis estudios universitarios.

**Alexis Efren Salvador Rivas**

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mi agradecimiento a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar mi carrera.

A mi familia, por su apoyo incondicional en cada paso de este camino.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por ofrecerme la oportunidad de crecer profesionalmente.

Y a Ing. Richard Ramírez, por su valiosa orientación en el desarrollo de este proyecto.

**Alexis Efren Salvador Rivas**

# CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	vii
CAPÍTULO I:.....	16
1. INTRODUCCIÓN .....	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	17
HIPÓTESIS .....	20
1.1.1. Hipótesis General.....	20
1.1.2. Hipótesis específicas.....	21
OBJETIVOS.....	21
1.1.3. Objetivo General.....	21
1.1.4. Objetivos específicos.....	21
1.1.5. ALCANCE.....	22
VARIABLES.....	22
1.1.6. Variables independientes.....	22
1.1.7. Variables Dependientes.....	22
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	23
RESERVORIOS DE AGUA POTABLE.....	23
2.1.1. Importancia del Mantenimiento de Reservorios.....	24
TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	24
2.1.2. Mantenimiento Preventivo.....	24
2.1.3. Mantenimiento Correctivo.....	25
2.1.4. Mantenimiento Predictivo.....	25
PATOLOGÍAS DEL HORMIGÓN.....	26

2.1.5.	Carbonatación .....	26
2.1.6.	Ataque por Sulfatos.....	27
2.1.7.	Reacción Álcali-Agregado (RAA).....	28
2.1.8.	Congelación y deshielo .....	29
2.1.9.	Cuando se debilita el hormigón.....	33
TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO.....		35
2.1.10.	Inspección Visual .....	35
2.1.11.	Pruebas de Ultrasonido.....	36
2.1.12.	Esclerometría.....	37
2.1.13.	Pruebas de Carbonatación .....	37
2.1.14.	Medición de Humedad .....	38
2.1.15.	Estructural Endoscopia.....	38
2.1.16.	Análisis de la Corrosión de las Armaduras .....	38
2.1.17.	Análisis de la Corrosión de las Armaduras .....	39
NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE .....		39
2.1.18.	Normativa Nacional.....	39
2.1.19.	Normativa Internacional ACI.....	39
2.1.20.	ASPECTOS TÉCNICOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE TANQUES ELEVADOS DE HORMIGÓN ARMADO .....	40
2.1.21.	Consideraciones de diseño. ....	42
2.1.22.	Métodos de diseño.....	43
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	44
CONSIDERACIONES DEL SITIO .....		44
3.1.1.	Análisis de Cargas Actuantes.....	44
3.1.2.	Control de los Agrietamientos .....	45

3.1.3.	Medidas de control:.....	45
	METODOLOGÍA DEL O.E.1. VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LA ESTRUCTURA CON LAS NORMATIVAS TÉCNICAS Y DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL VIGENTES MEDIANTE LA COMPARACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL CON LOS REQUISITOS DEL CÓDIGO NEC O ACI 318 PARA DETERMINAR SI ES VIABLE SU MANTENIMIENTO, REFUERZO O SI SE REQUIERE SU DEMOLICIÓN. ....	46
3.1.4.	Condiciones de Estanqueidad .....	47
	METODOLOGÍA DEL O.E.2. REALIZAR LOS ENSAYOS ESTRUCTURALES MEDIANTE EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN OBTENIDA EN CAMPO, CON EL FIN DE COMPROBAR SI PROCEDE O NO REALIZAR ALGÚN TIPO DE MANTENIMIENTO ESTRUCTURAL. ....	48
	METODOLOGÍA DEL O.E.3. MODELAR ESTRUCTURALMENTE EL RESERVORIO UTILIZANDO SOFTWARE ESPECIALIZADO DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, PARA ANALIZAR SU COMPORTAMIENTO BAJO CARGAS ACTUALES Y COMPARARLO CON LAS EXIGENCIAS NORMATIVAS VIGENTES. ....	54
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	56
4.1	. ANÁLISIS VISUAL DEL RESERVORIO .....	56
4.1.1.	Armado del reservorio.....	56
4.1.2.	Vida útil de la estructura .....	63
4.1.3.	Fisuración y desprendimiento de recubrimiento:.....	66
4.1.4.	Desprendimiento en zonas que son clave: .....	67
4.1.5.	Ausencia de recubrimiento mínimo: .....	67
4.1.6.	Ensayo de carbonatación.....	67
4.1.7.	ensayos de esclerometría.....	70

Análisis de laboratorio de suelos.....	73
4.1.8. Granulometría .....	73
4.1.9. Límites De Atterberg.....	74
4.1.10. Proctor Modificado.....	77
4.1.11. Ensayo de corte directo .....	79
ANALISIS ESTRUCTURAL DE RESERVORIO ELEVADO UBICADO EN MANANTIAL DE CHANDUY .....	84
4.1.12. Deformaciones.....	91
4.1.13. Esfuerzos y momentos.....	92
4.1.14. Capacidad de la resistencia a la compresión .....	92
4.1.15. DISCUSION DE RESULTADOS .....	93
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	96
CONCLUSIONES .....	96
RECOMENDACIÓN.....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXOS.....	105

## LISTA DE TABLAS

<i>Figura 1 Reservorio.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2 Mantenimiento preventivo.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3 Mantenimiento correctivo.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4 Mantenimiento predictivo.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 5 Carbonatación del concreto.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6 Ataque de sulfatos.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 7 Reacción álcali-agregado.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8 Congelación y deshielo.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 9 Corrosión del acero de refuerzo.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 10 Ataque químico y físico por sales.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 11 Descascaramiento del hormigón.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 12 Inspección Visual.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 13 Prueba de ultrasonido.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 14 Esclerometría.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15 Fenolftaleína, alcohol etílico.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 16 Vista Frontal lateral del reservorio.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 17 Armado del acero longitudinal.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 18 Armado de cimentaciones.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 19 Armado de riostras.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 20 Vista en planta del armado.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 21 Ficha para determinar su patología.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 22 Fotos del deterioro del reservorio campo.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 23 Ficha para determinar su patología.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 24 Fotos del deterioro del reservorio campo.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 25 Columna de hormigón con fenolftaleína.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 26 Núcleos de hormigón.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 27 PH de concreto bueno y sano.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 28 Ensayo de esclerometría con martillo Schmidt. Altura 5 metros.....</i>	<i>71</i>

<i>Figura 29 Ensayo de esclerometría con martillo Schmidt. Altura 10 metros .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 30 Ensayo de esclerometría con martillo Schmidt. Altura 20 metros .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 31 Determinación de ensayo granulometría.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 32 Resultados Obtenidos del ensayo de Limites de Atterberg.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 33 Curva de limite líquido. ....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 34 Curva plástica de Casa Grande.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 35 Resultados del Proctor Modificado. ....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 36 Grafica Densidad Seca Máxima. ....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 37 Resumen de las 3 muestras. ....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 38 Resumen de las 3 muestras. ....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 39 Muestra de suelo. ....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 40 Diagramas de esfuerzo cortante y esfuerzo normal. ....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 41 Datos cohesión 6.73kpa y ángulo de fricción 22,8°. ....</i>	<i>83</i>

# **“ESTUDIO Y DISEÑO DE SOLUCIONES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE UN RESERVORIO DE AGUA POTABLE UBICADO EN LA PARROQUIA CHANDUY DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA.”**

**Autor:** Alexis Efrén Salvador Rivas

**Tutor:** Mg. Richard Ramírez Palma

## **RESUMEN**

El estudio examina la condición de un gran tanque de almacenamiento de agua en el área de Chanduy, construido hace más de tres décadas y no en uso desde 2015. Se realizaron controles visuales, pruebas de dureza y pruebas de carbonatación para evaluar el desgaste de los refuerzos de concreto y de acero, además de un análisis estructural que usa SAP2000 para imitar su respuesta a los requisitos oficiales de peso. La realización de los ensayos correspondientes nos mostró que la resistencia del hormigón no es ni siquiera la mínima recomendada ( $280 \text{ kg/cm}^2$ ) en lo que respecta a los tanques elevados, pues existían valores que ni siquiera alcanzaban los  $144 \text{ kg/cm}^2$ . La carbonatación era capaz de llegar hasta el grosor completo de la pieza lo cual había hecho posible que el acero se empezará a oxidar en condiciones poco deseables. Las inspecciones han dejado entrever la existencia de deformaciones y tensiones relevantes en una serie de puntos en concreto, esto último nos hace pensar que el edificio no se queda ajustado a lo que las actuales normas de seguridad exigen. Se concluyó que el tanque elevado de agua no está apto para un mantenimiento, por lo que la solución más óptima sería que entre en proceso de demolición, para así evitar futuros accidentes laborales debido al estado que presenta la estructura. En base a esto se se propone levantar una nueva edificación según las normas NEC y ACI, empleando materiales de calidad y un diseño antisísmico, junto con un plan de mantenimiento para asegurar su durabilidad.

**“STUDY AND DESIGN OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE MAINTENANCE OF A DRINKING WATER RESERVOIR LOCATED IN THE CHANDUY PARISH OF THE PROVINCE OF SANTA ELENA.”**

**Autor:** Alexis Efrén Salvador Rivas

**Tutor:** Mg. Richard Ramírez Palma

## **SUMMARY**

The study examines the condition of a large water storage tank in the Chanduy area, built more than three decades ago and out of use since 2015. Visual inspections, hardness tests, and carbonation tests were performed to assess the wear of the concrete and steel reinforcements, in addition to a structural analysis using SAP2000 to mimic its response to official weight requirements. The corresponding tests showed us that the concrete's strength falls short of even the minimum recommended (280 kg/cm<sup>2</sup>) for elevated tanks, with values not even reaching 144 kg/cm<sup>2</sup>. Carbonation was capable of reaching the entire thickness of the element, which had allowed the steel to begin to rust under undesirable conditions. The inspections revealed significant deformations and stresses at several specific points, leading us to believe that the building does not meet current safety standards. It was concluded that the elevated water tank is not suitable for maintenance, so the best solution would be to demolish it to prevent future workplace accidents due to the structure's condition. Based on this, a new building is proposed to be built in compliance with NEC and ACI standards, using quality materials and seismic design, along with a maintenance plan to ensure its durability.

# CAPÍTULO I:

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, numerosas edificaciones que han tenido servicio por largos períodos o han experimentado degradación por desastres naturales y acciones antropogénicas. Los sismos de alta magnitud provocan que sea frecuente observar daños estructurales significativos en edificaciones antiguas. Este fenómeno se atribuye a dos factores principales: la presencia de un gran número de edificaciones construido bajo normativas sísmicas obsoletas y carentes de criterios de diseño actualizados para resistencia sísmica y la existencia de estructuras diseñadas por desempeño donde se admite daño estructural no colapsante bajo aceleraciones espectrales cercanas a los espectros elásticos de diseño para el sismo máximo considerado(Tena-Colunga, 2024)

Las estructuras existentes antes de una intervención siguen una evaluación detallada del grado de daño, esta metodología determina las estrategias para la reposición de elementos dañados y reforzamiento localizado hasta rehabilitaciones integrales(Shendkar et al., 2025).con estas acciones busca asegurar la capacidad de la estructura y extender su vida útil, enfocándose en el objetivo de mejorar los residuos urbanos y sostenibilidad de construcciones. (Skalomenos et al., 2025)

Los avances en el campo del diseño estructural se implementan principalmente en edificaciones de nueva construcción, y en menor proporción en procesos de rehabilitación de estructuras preexistentes. No obstante, el parque edificatorio existente está compuesto mayoritariamente por construcciones antiguas. En este contexto, la mitigación del riesgo sísmico requiere una disminución de la vulnerabilidad estructural. Actualmente, no se dispone de una metodología estandarizada para la estimación precisa de la vulnerabilidad sísmica, ya sea en edificaciones o en estructuras en general. La evaluación del riesgo o vulnerabilidad sísmica a nivel estructural depende fundamentalmente del acceso a información detallada y confiable sobre los elementos estructurales analizados, lo

cual permite determinar con mayor precisión el daño potencial ante un evento sísmico. (López, 2014)

La evaluación de este tipo de estructuras requería la aplicación de técnicas no destructivas (esclerometría), como para la evaluación del fisurado, la carbonatación y la corrosión del hormigón armado, pero también otros factores que afectan su capacidad estructural y funcional. (Basset Salom, 2023)

El daño de estructuras de hormigón armado en reservorios de agua potable conlleva a realizar evaluación técnica rigurosa de las patologías presentes y la implementación de estrategias de rehabilitación efectivas. En particular, las construcciones antiguas, como el reservorio de la parroquia Chanduy, están expuestas a procesos de degradación acelerada debido a la acción de agentes ambientales, sobrecargas y falta de mantenimiento. La evaluación de estas estructuras implica el uso de técnicas no destructivas, como ultrasonidos y esclerometría, así como el análisis de fisuración, carbonatación y corrosión de armaduras factores que comprometen su capacidad estructural y funcional.

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El depósito con la que se eleva el agua potable, en este caso, un tanque de agua, construido con hormigón armado y ubicado en Chanduy, Ecuador, tiene importantes daños. En cualquier parte que se pueda observar se aprecian varias grietas en la obra, la capa de recubrimiento se ha desprendido, la armadura está corroída, se producen infiltraciones de forma persistente, condiciones estas que son valoradas como características de las obras de hormigón que no están protegiéndose convenientemente según (A. M. Neville, 2011). Las debilidades físicas del tanque lo han deteriorado gravemente. Este problema afecta su resistencia y su funcionamiento y pone en grave amenaza el abastecimiento de agua a los habitantes del lugar. Los estudios recientes alrededor de este tipo de daño explican que son paisaje habitual en infraestructuras hidráulicas antiguas que han estado expuestas a climas poco favorables y a la falta de mantenimiento de forma continua. (A. M. Neville, 2013)

Estudios en estructuras similares revelan que cuando la carbonatación del hormigón supera el recubrimiento y alcanza las armaduras, se inicia un proceso de corrosión que reduce significativamente la vida útil de la estructura, Aunque existen metodologías avanzadas para evaluación estructural, como el uso de inteligencia artificial en el análisis de fisuras y sensores embebidos para monitoreo de corrosión su aplicación en contextos rurales de países en desarrollo sigue siendo limitada.

El presente trabajo se centra en tres vacíos de investigación importantes: (1) la falta de diagnósticos, amparados en metodologías actuales de valoración estructural; (2) la falta de protocolos de rehabilitación que recojan las características socioeconómicas de las zonas rurales y (3) la relativamente poca información sobre el comportamiento a largo plazo de los materiales de reparación en ambientes altamente agresivos (los planos de la estructura que no existe son reportados por los municipios).

Se plantea como objetivo de la investigación proponer planes de restauración de un tanque elevado de agua potable en la Parroquia Chanduy, Ecuador. Estas estrategias no solo tienen como objetivo mejorar la operatividad y durabilidad del reservorio, sino que también están alineadas con los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) conforme a la Agenda 2030 aunando esfuerzos más amplios de lograr un acceso universal y equitativo al agua potable, donde (Naciones Unidas, 2018) en su sexto objetivo “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” lista como metas asegurar que todas las personas tengan acceso equitativo y asequible al agua potable, donde se considera que el diseño de propuestas de rehabilitación promuevan un uso más eficiente de los recursos hídricos, el estudio contribuye a la meta de aumentar considerablemente la eficiencia en el uso del agua y garantizar su sostenibilidad en la región. (ONU, 2025)

El problema de investigación puede enmarcarse en la siguiente pregunta:  
**P.G.** ¿Cuáles son las estrategias más efectivas para la rehabilitación de un reservorio de agua potable de concreto armado en la Parroquia Chanduy

considerando su contexto geográfico, condiciones climáticas y necesidades de la comunidad? de la cual se derivan tres preguntas específicas: **P.E.1:** ¿Cuál es el estado actual del reservorio de agua potable en términos de su estructura, revestimiento interior y sistemas de tuberías? **P.E.2:** ¿Cuál es la calidad del agua almacenada en el reservorio en términos de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y cómo se compara con los estándares de calidad del agua potable? y **P.E.3:** ¿Qué propuestas de rehabilitación son necesarias para fortalecer la estructura del reservorio y mejorar su sistema de captación y drenaje, con el fin de garantizar su operatividad y durabilidad a largo plazo?

## **ANTECEDENTES**

El estado del arte o antecedentes de estudio describen aspectos relevantes sobre investigaciones y estudios realizados recopilando información de carácter internacional, nacional y local. (Guevara Patiño, 2016)

En el reservorio de hormigón armado, el cual se encuentra en el lugar de Cochaongo del distrito y provincia de Yungay, se ha conseguido información acerca del estado en el que se puede encontrar dicha estructura. El principal propósito dado fue determinar los diferentes tipos de patologías y los tipos de espacios que eran objeto de patologías, los cuales fueron observados en campo mediante el uso de una matriz técnica de evaluación y una tabla de recolección de datos. Los resultados concluyeron afirmando que la condición de servicio del reservorio se encuentra en estado de regularidad, ya que existían grietas. Sin embargo, la aplicación de alguno de los métodos de reparación previstos permite recuperar su plena condición de servicio. Por tanto, se concluyó que la condición del servicio del reservorio es de regularidad, en tanto que no existe fuga de líquido, sino los correspondientes problemas de tipo estructural.

Se refiere el estudio de Villa Morales y Martínez Arévalo (2022), “Influencia de la fibra de acero reciclada en la resistencia a la compresión de bloques de concreto” que se realizó en México, cuyo objetivo era conocer los efectos de la incorporación de fibras recicladas de acero en bloques de concreto. El procedimiento consistió en caracterizar la resistencia de bloques fabricados con

diferentes proporciones de fibra, concluyendo que la resistencia a compresión aumentó de forma significativa, mejorando hasta un 20% las muestras óptimas. (Villa Morales, 2022)

El trabajo de titulación de Cárdenas Llumiquinga (2018) de Ecuador titulado "Análisis comparativo de la resistencia de bloques de hormigón y de hormigón con adición de fibras de polipropileno" manifiesta como objetivo la comparación de la característica de resistencia de los bloques convencionales y los bloques con refuerzo con polipropileno. El autor realizó ensayos de resistencia, de absorción de agua, de peso específico, extrayéndose que los bloques de hormigón con adición de fibras de polipropileno presentan menor absorción, pero mayor resistencia. (Cárdenas, 2018)

En Bolivia, Muñoz Chambi y Quispe Mamani (2019) realizaron un estudio sobre la "Influencia de la adición de fibra de polipropileno reciclado en la resistencia a la compresión de bloques de concreto no estructurales". La finalidad esencial de este proyecto de investigación es analizar de qué manera la inclusión de este material reciclado afectaba las propiedades mecánicas de los bloques. Los resultados obtenidos mostraron que, al incorporar fibra de manera controlada, se incrementaba la resistencia a compresión además de conseguir un mejor desempeño ante la aparición de las fisuras. (Mamani & Rodriguez, 2024)

## **HIPÓTESIS**

### **1.1.1. Hipótesis General.**

Este debido para la mejora de la funcionalidad del agua potable del tanque elevado de hormigón armado de la Parroquia Chanduy, Ecuador, vendrán a dar lugar a un importante aumento en su funcionalidad; garantizando así un suministro del agua potable; segura y fiable para la dotación de agua potable para el abastecimiento de toda la población de la localidad.

### **1.1.2. Hipótesis específicas.**

**H.E.1.:** Conforme a la puesta en relación de los resultados obtenidos del análisis estructural con las exigencias de la actual norma (NEC, ACI y ASCE), se confirmará que el reservorio no cubre las exigencias de seguridad estructural exigidas por la norma, limitando su actual uso y obligando a una decisión técnica o de refuerzo o de demolición.

**H.E.2.:** El propósito es que, tras realizar ensayos estructurales a partir del levantamiento de información obtenida en campo y detectado mediante la realización de pruebas no destructivas como la esclerometría y la inspección visual; se confirmará la pérdida de capacidad estructural y se comprobará si hay que hacer algún tipo de mantenimiento estructural o no.

**H.E.3.:** El modelo estructural del reservorio, programado dentro del marco de un programa de ordenador, nos permitirá obtener conclusiones que corroborarán que la estructura realizaría unos mínimos requisitos de resistencia y estabilidad que describen la normativa vigente para cargas de servicio, cumpliendo así la vulnerabilidad de la mencionada estructura y la adopción de medidas de refuerzo o la de su derribo.

## **OBJETIVOS**

### **1.1.3. Objetivo General.**

Analizar el estado actual del reservorio de agua potable ubicado en la parroquia Chanduy de acuerdo a las normativas vigentes, con la finalidad de diagnosticar si la estructura es apta o no para un mantenimiento.

### **1.1.4. Objetivos específicos.**

**O.E.1:** Verificar el cumplimiento de la estructura con las normativas técnicas y de seguridad estructural vigentes mediante la comparación del modelo estructural con los requisitos del código NEC o ACI 318 para determinar si es viable su mantenimiento, refuerzo o si se requiere su demolición.

**O.E.2:** Realizar los ensayos estructurales mediante el levantamiento de información obtenida en campo, con el fin de comprobar si procede o no realizar algún tipo de mantenimiento estructural.

**O.E.3:** Modelar estructuralmente el reservorio utilizando software especializado de ingeniería estructural, para analizar su comportamiento bajo cargas actuales y compararlo con las exigencias normativas vigentes.

### **1.1.5. ALCANCE**

El alcance de esta investigación se enfoca en un análisis previo antes de realizar algún tipo de mantenimiento al reservorio de agua potable de hormigón armado, para verificar si la estructura es apta o no para un mantenimiento, evaluando los aspectos que componen a nivel estructural, ubicado en la Parroquia Chanduy, de la provincia de Santa Elena, Ecuador. Los métodos de evaluación estructural como conceptos de diseño pueden ser aplicados a estructuras de hormigón armado de almacenaje de agua, se tomará en cuenta las consideraciones ambientales y sociales durante el proceso de diseño de las propuestas de mantenimiento, incluyendo la minimización de impactos ambientales y la participación comunitaria en el proceso de toma de decisiones.

## **VARIABLES**

### **1.1.6. Variables independientes.**

Condiciones del recubrimiento de hormigón sobre el acero de refuerzo.

Nivel de carbonatación del hormigón en la estructura.

Resistencia a la compresión del hormigón ( $f_c$ ).

### **1.1.7. Variables Dependientes**

Estado estructural del tanque elevado de agua potable.

## 2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### RESERVORIOS DE AGUA POTABLE

El agua potable es un recurso vital para el desarrollo humano y su almacenamiento seguro es una prioridad en la planificación de los sistemas de abastecimiento. Los reservorios de agua potable cumplen la función de almacenar volúmenes de agua para asegurar su disponibilidad en momentos de alta demanda o ante contingencias en la red de distribución. Estos pueden ser de diversas tipologías: enterrados, superficiales o elevados, y se diseñan en función de criterios hidráulicos, estructurales, sanitarios y operativos. (Metzgar, 2001)

Su correcta operación garantiza el suministro continuo y seguro de agua a la población, mientras que su deterioro puede comprometer la salud pública y el servicio. Por esta razón, es indispensable realizar estudios periódicos para evaluar su estado estructural y sanitario, así como diseñar planes de mantenimiento adecuados que permitan extender su vida útil.

#### **Figura 1**

*Reservorio.*



*Nota: Tomado de (Richmond, 1915)*

### **2.1.1. Importancia del Mantenimiento de Reservorios.**

Conservar en perfecto estado los tanques de agua potable para el consumo humano es esencial, y para lograrlo, es crucial mantener la infraestructura. Esto se consigue mediante revisiones, aseo y arreglos regulares, lo cual ayuda a frenar el deterioro de las instalaciones y a proteger la pureza del agua que guardan. ((EPA), 2002)

Con el tiempo, es común que los tanques de agua acumulen sedimentos, desarrollen fisuras, sufran corrosión en sus componentes metálicos y pierdan su capacidad de impermeabilización. Un buen plan de mantenimiento ayuda a evitar daños graves, que podrían poner en riesgo la estructura y resultar muy caros de reparar o reemplazar. Además, un depósito bien cuidado garantiza la salubridad del agua, evitando problemas de salud provocados por el crecimiento de bacterias, hongos y otros microbios dañinos. ((NSCEP), Finished Water Storage Facilities, 2002)

## **TIPOS DE MANTENIMIENTO**

El proceso para un mantenimiento de tanques elevados de agua se puede clasificarse en tres categorías principales:

### **2.1.2. Mantenimiento Preventivo**

Consiste en la realización de inspecciones periódicas, limpiezas internas, y reparaciones menores para evitar que el deterioro de la infraestructura alcance niveles críticos. Este tipo de mantenimiento contiene actividades como la verificación del estado de las juntas de dilatación, control de la impermeabilización, inspección visual de grietas y fisuras, entre otros. ((NSCEP), Finished Water Storage Facilities, 2002)

## Figura 2

*Mantenimiento preventivo.*



*Nota: Tomado de (Solutions, 2025)*

### 2.1.3. Mantenimiento Correctivo

Se ejecuta cuando se detectan daños que afectan el funcionamiento o la seguridad del reservorio. Incluye reparaciones de fisuras activas, sustitución de componentes estructurales, rehabilitación de sistemas de impermeabilización y reparación de daños en válvulas, tuberías o accesorios. ((NSCEP), Finished Water Storage Facilities, 2002)

## Figura 3

*Mantenimiento correctivo.*



*Nota: Tomado de (Proyectos actuales, 2021)*

### 2.1.4. Mantenimiento Predictivo

Aplica tecnologías de monitoreo y técnicas de análisis para anticipar fallos estructurales o funcionales. Utiliza herramientas como sensores de humedad, termografías infrarrojas, ultrasonidos, inspecciones robotizadas o modelaciones estructurales, para identificar de manera temprana las zonas que requieren intervención. ((NSCEP), Finished Water Storage Facilities, 2002)

## Figura 4

*Mantenimiento predictivo.*



*Nota: Tomado de (Casa, 2019)*

## **PATOLOGÍAS DEL HORMIGÓN.**

El concreto, al ser el material más utilizado en la construcción a nivel mundial, está sujeto a diversos mecanismos de deterioro que comprometen su durabilidad y desempeño estructural. La resistencia del hormigón armado se define como la capacidad que tiene el hormigón para poder resistir a condiciones ambientales adversas y conservar su integridad funcional a lo largo de su vida útil, depende no solo de una correcta proporción y calidad de los materiales, sino también de los procedimientos de colocación, curado y mantenimiento.

### **2.1.5. Carbonatación**

La carbonatación consiste en una reacción química. En ella, el dióxido de carbono presente en el aire reacciona con componentes hidróxidos del hormigón, principalmente el hidróxido de calcio o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Esto produce carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), bajando el pH del hormigón y deteriorando la barrera protectora que evita que el acero se oxide. (Neville, Propiedades del concreto (5.<sup>a</sup> ed.), 2013). Acorde a la Guía de Durabilidad del Concreto ACI PRC-201.2-23, aunque la carbonatación no causa expansión ni daño directo al concreto, facilita la corrosión del acero, especialmente cuando se combina con humedad. (American Concrete Institute (ACI)., 2023b)

## Figura 5

*Carbonatación del concreto.*



*Nota: Tomado de (Aguirre, 2018)*

### **2.1.6. Ataque por Sulfatos**

El ataque por sulfatos es una reacción deletérea entre los sulfatos presentes en el suelo o el agua y los compuestos hidratados del cemento, como el aluminato tricálcico hidratado, generando etringita expansiva. Esto causa expansión, fisuración y pérdida de resistencia del concreto. (Neville, *Propiedades del concreto* (5.<sup>a</sup> ed.), 2013). La guía ACI para durabilidad de concreto en su capítulo 6. “*Ataque por sales*” distingue entre:

- **Ataque externo por sulfatos**, proveniente del ambiente.
- **Ataque interno**, por presencia de fuentes de sulfato en los materiales constituyentes.

Se recomienda el uso de cemento resistente a sulfatos Tipo V, acorde a normativa ASTM C150 el control de la permeabilidad y el empleo de pozolanas

reactivas como la escoria o la ceniza volante para mejorar la resistencia química. (American Concrete Institute (ACI), 2023)

### **Figura 6**

*Ataque de sulfatos.*



*Nota: Tomado de (Fuad, Ataque de sulfatos en el hormigón, 2023)*

#### **2.1.7. Reacción Álcali-Agregado (RAA)**

En el hormigón, se produce una reacción química conocida como reacción álcali-agregado (RAA). Esta surge de la interacción entre los álcalis, que provienen del cemento, y determinados elementos sensibles dentro de los agregados. El resultado de esta interacción puede ser la formación de un gel que se expande, provocando grietas y daños en el hormigón, lo cual debilita la edificación. (ACI PRC-201.2-23, Cap. 5.1; Hobbs, 1988). (Institute, ACI PRC-201.2-23: Guide to Durable Concrete, 2023)

Se distinguen, fundamentalmente, dos clases:

- La reacción álcali-sílice (RAS): la que ocurre con mayor asiduidad.

- La reacción álcali-carbonato (RAC): se presenta con menos frecuencia.

Para evitar que esto suceda, el ACI recomienda:

- Vigilar la cantidad total de álcalis que contiene el hormigón.
- Para prevenir problemas, es crucial usar agregados pétreos que no muestren reactividad, siguiendo las directrices de la norma ASTM C295.
- Incorporar componentes puzolánicos, como, por ejemplo, cenizas volantes o humo de sílice, resulta de gran ayuda.

### **Figura 7**

*Reacción álcali-agregado.*



*Nota: Tomado de (Fuad, Ataque de sulfatos en el hormigón, 2023)*

#### **2.1.8. Congelación y deshielo**

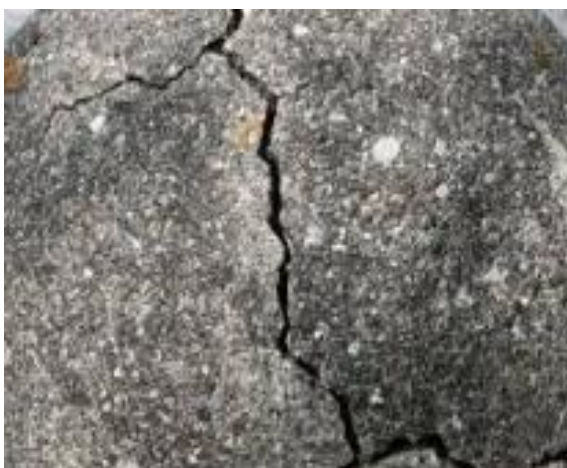
El concreto saturado expuesto a ciclos de **congelación y deshielo** sufre daño debido al aumento de volumen del agua al congelarse, generando **presiones internas que causan fisuras y desprendimiento superficial** (scaling). (Powers, 1945)

Según el **ACI PRC-201.2-23 (Cap. 4)**, la protección se logra mediante:

- Uso de **agentes incorporadores de aire** que generan una red de microburbujas que alivian la presión.
- Diseño de mezcla con baja relación agua/cemento.
- Curado adecuado para reducir porosidad.

### **Figura 8**

*Congelación y deshielo.*



*Nota: Tomado de (ingenieria, 2014)*

## **5. Corrosión del acero de refuerzo**

La oxidación del soporte de metal es la condición más frecuente y dañina. Comienza cuando el concreto se vuelve menos básico (debido a la carbonatación o los cloruros) y permite la creación de compuestos de hierro hinchado. Esto causa largas grietas, separación y debilitamiento de la unión. (ACI PRC-201.2-23, Cap. 9.2).

Factores que agravan la corrosión:

- Alta permeabilidad del hormigón
- Baja cobertura de acero

- Presencia de sales de descongelación o un ambiente marino

Las recomendaciones incluyen:

- Usar concreto con bajo paso de agua (relación  $a/c < 0.45$ )
- Aumentar el recubrimiento de acero
- Incorporar inhibidores de corrosión o utilizar acero galvanizado

### **Figura 9**

*Corrosión del acero de refuerzo.*



*Nota: Tomado de (Cárdenas M. , 2018)*

## **6. Ataque químico y físico por sales**

El ataque por **sales** puede ser:

- **Químico**, como el de cloruros, que promueve la corrosión.
- **Físico**, por **cristalización de sales en los poros** cuando hay evaporación capilar, generando presiones destructivas (Cap. 8, ACI PRC-201.2-23).

Es común en zonas áridas y estructuras expuestas a aguas salobres o de deshielo. Las soluciones incluyen tratamientos repelentes al agua, selladores superficiales y uso de mezclas densas.

## **Figura 10**

*Ataque químico y físico por sales.*



*Nota: Tomado de (Sate, 2019)*

## **7. Descascaramiento del hormigón**

Uno de los problemas más comunes en las estructuras de hormigón, particularmente más antiguas, es el spalling, es decir, el descascaramiento del hormigón. En el caso del spalling. Se forman agrietamientos y desprendimiento de piezas de concreto pequeñas, pero más notables, a menudo exponiendo la armadura de refuerzo. Si no se lo corrige, el descascaramiento puede ser peligroso no solo para la estabilidad, sino también para la vida y la salud de las personas en el edificio. (Mehta, 2014)

## **Figura 11**

*Descascaramiento del hormigón.*



*Nota: Tomado de (Salazar, 2022)*

## **Causas comunes de descascaramiento:**

**El acero corroído:** La humedad y el agua pueden ingresar al hormigón, deteriorando el acero de refuerzo, esto produce fragilidad en el hormigón que sirve de recubrimiento. Por ende, si existe presencia de humedad y el cambio de clima puede llegar a causar deterioro del hormigón, lo que a su vez genera rupturas y desprendimiento del mismo. (A. M. M. P. K. , & M. P. J. M. Neville, 2011)

### **2.1.9. Cuando se debilita el hormigón**

El hormigón, tan gustoso como actor, tiene una curiosa forma de expresar su descontento. No se queja, como no podía ser de otra manera, con palabras, sino con grietas, desconchados y un silencio rajado que nos dice mucho más de lo que puede entenderse. A simple vista parece duro como una promesa electoral; pero basta un golpe certero que se hace de verdad o un invierno a destajo para que se muestre su estructura.

#### **2.1.9.1. El golpe que deja marca**

Un edificio, como un cuerpo cansado, también tiene sus puntos débiles. Si ya arrastra problemas estructurales, un golpe fuerte —una colisión accidental o una vibración mal calculada— puede hacer que el concreto se raje como una vieja taza de porcelana. No es solo el impacto, es el historial. La grieta, en estos casos, no es solo física; es una herida en la memoria del edificio.

#### **2.1.9.2. Errores que se mezclan**

No todos los problemas vienen de fuera. A veces, el daño está en la receta. Una mezcla mal hecha, con más improvisación que ciencia, puede condenar al concreto desde su nacimiento. Demasiada agua, poco cemento, grava insuficiente, o peor aún: la prisa del constructor que quiere terminar antes del almuerzo. Así se construyen los futuros desastres.

#### **2.1.9.3. De qué forma se puede evitar que el concreto se deshaga como pan viejo**

Controlar el descascarado —proceso que en el concreto es tal que se despieza como una piel quemada por el sol— conlleva algo que en las obras no siempre abunda: paciencia.

**Aprovechar materiales de calidad:** Es una obviedad, pero no lo es tanto. La buena mezcla —con proporciones adecuadas y materiales convenientes para el clima— puede ser la diferencia entre tener una estructura sólida y hacer un cartón piedra.

**Curado correcto:** El concreto, como el vino, necesita tiempo. Curarlo bien, mantenerlo húmedo y protegido durante sus primeros días de vida, disminuye su porosidad y mejora su durabilidad. No hay milagros: solo química y constancia.

**Aire incorporado:** ¿Quién diría que meterle burbujas al concreto puede hacerlo más fuerte? Pues sí. Especialmente en climas fríos, añadir aire ayuda a que el material resista los ciclos de congelación y descongelación, que suelen ser más devastadores que un terremoto menor.

**Defensa contra la humedad:** Impermeabilizar no es un lujo, es un seguro de vida. Barreras, membranas o simples capas de protección pueden evitar que el agua se infiltre como espía silencioso que corroe desde dentro.

**Cuidado con las sales:** Las sales para derretir hielo pueden acelerar la corrosión del acero que refuerza el concreto. Como tantas cosas en la vida, lo que parece solución inmediata es veneno a largo plazo.

### **2.1.9.3. Cuando ya es tarde**

Cuando ya hay problemas en el hormigón, sólo rellenar las fallas no es suficiente. Hay que dar con la raíz del problema, y nunca mejor dicho, hay que deshacerse del hormigón suelto y roto, con el hacha en la mano, hasta llegar a la superficie sana.

**Como en una relación que se ha roto:** no se parchea lo que ya no aguanta, se rehace desde el fondo.

**Limpiar la superficie:** Hay que limpiar la superficie, eliminando el polvo, los escombros o partículas sin unir.

**Colocar un puente de unión:** Con la ayuda de una estructura de unión puede conseguirse una buena unión entre el hormigón viejo y el nuevo.

**Rellenar con mortero o hormigón nuevo:** Puede aplicar un pegante nuevo o pasta de cemento para recalzar el punto de desgaste y recuperar la superficie.

**Proteger la reparación:** La adecuada protección que ofrece la restauración contra la humedad y demás factores ambientales es importante. Para acabar, el desencofrado del hormigón puede comprometer la durabilidad de los edificios. Una buena selección de las materias, un buen edificio y un buen mantenimiento pueden ayudar a evitarlo, pero si ocurre, la reparación correcta puede restaurar la fortaleza de la estructura.

## **TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO**

Para el diseño de soluciones técnicas de mantenimiento, es indispensable un diagnóstico detallado del estado actual del reservorio. A continuación, se describen las principales técnicas utilizadas:

### **2.1.10. Inspección Visual**

Es cuando se realiza una inspección visual minuciosa de la estructura, tanto por dentro como por fuera. Esta inspección permite identificar daños evidentes como fisuras, grietas, desprendimientos de recubrimientos, corrosión visible en las armaduras expuestas, así como problemas de humedad, eflorescencias y deformaciones. La inspección visual se la debe llevarse a cabo de manera sistemática, utilizando fotografía, mapas de daños y croquis que indiquen la ubicación de las patologías. Aunque es una técnica básica, es fundamental como primer paso en cualquier evaluación. (Soto, 2015)

## Figura 12

*Inspección Visual.*



*Nota: Tomado de (Vecteezy., 2024)*

### 2.1.11. Pruebas de Ultrasonido

El examen por ultrasonido es un método muy útil para evaluar la calidad del hormigón pues se podrán verificar posibles fisuras internas o cambios de densidad en el hormigón. Funciona en base a la propagación de ondas sonoras de alta frecuencia a través de la estructura, cuya velocidad o atenuación sirven para detectar zonas "sospechosas". Además, reconocimiento no destructivo es muy eficaz y rápido para el reconocimiento de fallos. (International., ASTM C597-16: Standard test method for pulse velocity through concrete. West Conshohocken, PA., 2016)

## Figura 13

*Prueba de ultrasonido.*



*Nota: Tomado de (CJE Ingenieros SAC., 2024)*

### 2.1.12. Esclerometría

La prueba de esclerometría o ensayo de rebote se realiza utilizando un esclerómetro tipo Schmidt, que mide la dureza superficial del concreto mediante el rebote de un martillo calibrado. Este ensayo proporciona una estimación indirecta de la resistencia a compresión del material, útil para identificar zonas debilitadas. (International., ASTM C805/C805M-18: Standard test method for rebound number of hardened concrete using a spring-driven impact hammer. West Conshohocken, PA., 2018)

#### Figura 14

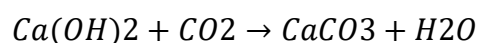
*Esclerometría.*



*Nota: Tomada de (SACOSI., 2011)*

### 2.1.13. Pruebas de Carbonatación

La carbonatación es un proceso químico natural en el cual el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) penetra el concreto y reacciona con el hidróxido de calcio, reduciendo el pH, este fenómeno que reduce la alcalinidad del concreto y facilita la corrosión del acero de refuerzo. La reacción responde a:



Como consecuencias, la reducción del pH provoca una pérdida de pasivación del acero, propende la corrosión y la fisuración y desprendimiento del recubrimiento (Ahmadian et al., 2024).

La prueba de carbonatación consiste en aplicar una solución indicadora de pH (fenolftaleína) sobre superficies fracturadas, para medir la profundidad del frente de carbonatación (Mehta & Monteiro, 2014). La fenolftaleína es un indicador de pH que se utiliza comúnmente para detectar la presencia de carbonatación en el concreto:

- **pH > 9.5** Fenolftaleína cambia a color rosado/violeta, indicador de concreto no carbonatado.
- **pH < 9.0** No hay cambio de color indicador de un concreto carbonatado.

#### **2.1.14. Medición de Humedad**

La existencia de humedad en las paredes o suelos de la cámara de almacenamiento puede ser un efecto de condiciones de infiltraciones, fallos en los dispositivos de impermeabilización, grietas activas... Hay máquinas, como los higrómetros de contacto, o sensores de humedad que permiten realizar cartografías de las zonas con humedad sin perjudicar la estructura.

#### **2.1.15. Estructural Endoscopia**

Pequeñas cámaras (endoscopios) se utilizan para el examen de zonas de difícil acceso, es decir, agujeros, ductos o juntas de dilatación. Esta técnica se utiliza principalmente en reservorios con gran volumen o geometría complicada.

#### **2.1.16. Análisis de la Corrosión de las Armaduras**

Siguiendo técnicas tales como media celda, resistividad eléctrica se puede evaluar el estado de corrosión del acero de refuerzo determinando las zonas de mayor posibilidad de sufrir falla estructural por pérdida de sección.

Se utilizan cámaras muy pequeñas (endoscopios) que permiten inspeccionar zonas de difícil acceso, tales como cavidades internas, ductos o juntas de dilatación.

Esta técnica es particularmente atractiva para reservorios grandes o de geometría compleja.

### **2.1.17. Análisis de la Corrosión de las Armaduras**

Con el análisis mediante técnicas como potencial de media celda o resistividad eléctrica es posible evaluar el estado de corrosión del acero de la armadura y de esta forma identificar las zonas con mayor potencial de fallo estructural por pérdida de sección.

## **NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE**

El diseño, construcción, evaluación y mantenimiento de reservorios de agua potable debe cumplir con normas nacionales e internacionales que garanticen la seguridad estructural y sanitaria. Entre ellas destacan:

### **2.1.18. Normativa Nacional**

Estas normativas establecen criterios sobre cargas mínimas, materiales aceptados, procedimientos constructivos y mantenimiento preventivo.

- Norma INEN 1108:2011 – Sistemas de abastecimiento de agua potable. Requisitos generales.
- Norma INEN 2200:2012 – Tanques elevados de hormigón armado para almacenamiento de agua potable. Requisitos de diseño y construcción.
- Código de la Construcción NEC-SE-HIDRÁULICAS y NEC-SE-Estructurales.

### **2.1.19. Normativa Internacional ACI**

La normativa del American Concrete Institute (ACI) es de referencia internacional en el diseño y mantenimiento de estructuras de concreto, y en el caso de los reservorios de agua potable se aplican principalmente las siguientes: ACI 350 "Código de requisitos para las estructuras de concreto en ingeniería ambiental": estipula los requisitos de diseño, construcción y mantenimiento de las estructuras de concreto que permiten el almacenamiento de líquidos, como, por ejemplo, los

reservorios, contemplando, entre otros, los aspectos de durabilidad, control de agrietamientos y exposición a ambientes agresivos. ACI 350.1 "Especificación para las pruebas de estanqueidad de las estructuras de concreto en ingeniería ambiental": especifica los procedimientos para la realización de la prueba de estanqueidad de las estructuras de almacenamiento de líquidos. ACI 318 "Código de requisitos para el concreto estructural": establece los principios generales para el diseño del concreto estructural, contemplando los requisitos de resistencia, las armaduras, los recubrimientos mínimos y el control de calidad. Las normas citadas, entre otras cuestiones, proponen:

- Diseñar juntas adecuadas para controlar fisuras.
- Utilizar concretos con baja permeabilidad y alta durabilidad.
- Emplear recubrimientos mayores para armaduras en contacto con agua potable.
- Ejecutar ensayos de control de calidad en sitio durante la construcción y mantenimiento.
- Inspeccionar periódicamente el lugar, teniendo un mantenimiento programado, siguiendo protocolos específicos.

## **2.1.20. ASPECTOS TÉCNICOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE TANQUES ELEVADOS DE HORMIGÓN ARMADO**

### **2.1.20.1. Introducción al Diseño de Tanques Elevados**

Las torres de agua de hormigón armado son estructuras pensadas para almacenar y distribuir el agua destinada al consumo humano, aprovechando para ello la energía potencial que proporciona su altura, dado que son estructuras fijas y estáticas (o largas e intensas). El diseño de, entre otras cosas, la torre de agua de hormigón armado responde a determinantes de carácter hidráulico, sanitario y, principalmente, estructural, dado que, las torres de agua de hormigón armado consideran la influencia (deformaciones y tensiones, etc.) de cargas permanentes, cargas variables, cargas sísmicas correspondientes al lugar donde se ubican y en

zonas litorales también la consideración de cargas de viento importantes.(Vecteezy., 2024)

### **2.1.20.2. Materiales.**

Los materiales empleados en la construcción de tanques elevados de almacenamiento de agua; ya sean completamente de concreto o con estructuras de soporte de concreto y recipiente de acero; deben cumplir con exigencias de calidad que aseguren la durabilidad y resistencia estructural de la obra. Todos los elementos de concreto que no tienen contacto directo con el agua almacenada, se deben seguir los lineamientos (American Concrete Institute (ACI)., 2023a). Se establecen resistencias mínimas a compresión para los distintos elementos estructurales:

- Para pedestales: 28 MPa (4000 psi).
- Para cimentaciones y entresijos intermedios: 24 MPa (3500 psi).

La normativa permite el uso de aditivos químicos para alcanzar las propiedades deseadas del concreto fresco y endurecido, siempre que garantice su compatibilidad mutua y su aplicación siga las recomendaciones técnicas pertinentes. Podemos encontrar aditivos útiles como los reductores de agua de alto rango tipos F y G (C09 Committee, 2020b) y aditivos para reducir la retracción por secado y productos incorporadores de aire.

Los elementos estructurales de los tanques de concreto en contacto directo con el agua almacenada deben diseñarse conforme a los lineamientos descritos en el código ACI 350. Esto incluye tanto el concreto como los materiales de pretensado, sellos, juntas hidráulicas y recubrimientos exteriores (American Concrete Institute (ACI), 2008). Se establece una resistencia mínima a compresión diferenciada según la función del elemento:

- Para pedestales: 28 MPa (4000 psi).
- En cimentaciones y entresijos intermedios de 24 MPa (3500 psi).

### **2.1.21. Consideraciones de diseño.**

El proyecto de estas estructuras necesita buscar un análisis muy detallado de los esfuerzos que están actuando sobre el tanque y su soporte y también sobre la aplicación de un estricto cumplimiento de las exigencias para la durabilidad, estanqueidad y control de las fisuras del hormigón expuesto al agua potable.

#### **2.1.21.1. Cimentación**

Una cimentación auténtica garantiza la suficiente capacidad para resistir no sólo las cargas de servicio verticales procedentes del tanque y el soporte, sino también momentos, cortantes y fuerzas sísmicas. Puede aplicarse el método de diseño por tensiones admisibles para analizar las interacciones suelo-estructura: asentamientos, volteo, deslizamiento.(Bowles, 1996)

#### **2.1.21.2. Pedestal.**

El pedestal debe ser diseñado como un elemento estructural primario de soporte. Debe resistir los esfuerzos axiales, cortantes y momentos derivados de las combinaciones de carga, especialmente las sísmicas. Se recomienda emplear criterios de diseño de ductilidad y utilizar el ACI 318 como norma base.(American Concrete Institute., 2019b)

#### **2.1.21.3. Recipiente**

El tanque o vaso debe asegurar la contención del agua sin pérdidas, así como protección contra contaminación externa. Debe considerarse la resistencia frente a las sollicitaciones internas por presión hidrostática y externas por acciones ambientales (viento, sismo, temperatura).

#### **2.1.21.4. Otros elementos de concreto.**

Losas interiores, plataformas y demás elementos estructurales deben diseñarse conforme al ACI 318 y las disposiciones adicionales establecidas en esta guía.

#### **2.1.21.5. Elementos no estructurales**

Elementos metálicos como escaleras, pasarelas y barandas deben cumplir con las normas nacionales aplicables, incluyendo las exigencias de seguridad industrial establecidas por OSHA o su homologo local.

#### **2.1.22. Métodos de diseño.**

##### **2.1.22.1. Strength design**

Se utilizarán las correspondientes a los elementos que no se encuentran en contacto con agua las del ACI 318, y las del ACI 350 para los que sí lo están. Las combinaciones de carga factorizadas que se tendrán que considerar son las que se establecen, y los factores de reducción de resistencia ( $\phi$ ) se utilizarán conforme a ACI 318-99.

##### **2.1.22.2. Método alternativo de diseño**

Es factible el uso del método alternativo de diseño ACI 318-99 o ACI 350 para aquellos casos en los que se justifican técnicamente. Se utilizarán combinaciones de carga no factorizadas específicas para la evaluación de la seguridad y del buen funcionamiento del tanque.

### 3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

#### CONSIDERACIONES DEL SITIO

La parroquia Chanduy, perteneciente al cantón Santa Elena, de la provincia de Santa Elena, manifiesta unas condiciones ambientales especiales que deben tenerse en cuenta en el estudio de mantenimiento de los reservorios, ya que es una zona costera de clima cálido-seco, con una exposición a los vientos cargados de sales del mar y con variaciones relativamente elevadas de la temperatura durante el año.

Estos aspectos provocan la corrosión de las armaduras expuestas y la degradación del hormigón en el caso de existir. La incidencia de humedad salina incrementa la necesidad de protección de las superficies de concreto y la implementación de medidas específicas de impermeabilización y refuerzo.

Por tanto, los materiales seleccionados para las reparaciones y soluciones técnicas de mantenimiento deben ser resistentes a la acción de sales y contar con propiedades de alta durabilidad en ambientes marinos.

##### 3.1.1. Análisis de Cargas Actuantes

El diseño estructural de un tanque elevado debe considerar. Las combinaciones de cargas han de seguir las prescripciones recogidas por ACI 350-06 y ACI 318-19, aplicando los factores de carga con la finalidad de obtener los estados límites de diseño adecuados.

**Cargas muertas:** Peso propio del tanque, fuste del tanque, pesos de accesorios y peso del agua almacenada en el tanque.

**Cargas vivas:** Cargas de mantenimiento, cargas de personal, cargas de equipos temporales.

**Presión hidrostática:** Presión del agua variable en función de la profundidad de dicha agua.

**Carga de viento:** Carga de viento determinada en función de la altura total del tanque de almacenamiento y normas propias de cargas de viento (como ASCE 7).

**Carga sísmica:** Carga sísmica es importante, sobre todo para zonas sísmicas, y el tanque de almacenamiento se propone como un sistema masa-resorte equivalente, teniendo en cuenta la masa convectiva (masa de agua en movimiento) y la masa impulsiva (masa de agua rígida).

**Cargas térmicas:** Las propias variaciones de la temperatura ambiente y las radiaciones solares.

### **3.1.2. Control de los Agrietamientos**

Llevar una gestión del grado de presencia de fisuras y de agrietamientos en diseño de los tanques de almacenamiento de agua potable y de tantas otras estructuras de hormigón resulta fundamental para determinar el nivel de deterioro.

### **3.1.3. Medidas de control:**

- Limitación de esfuerzos de tracción en el concreto.
- Incremento de recubrimientos mínimos de refuerzo (mínimo de 50 mm, según ACI 350).
- Uso de refuerzo de temperatura y contracción distribuido en ambas caras de la sección.
- Disposición de juntas de control adecuadas para controlar el agrietamiento por retracción.

**METODOLOGÍA DEL O.E.1. VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO DE LA ESTRUCTURA CON LAS NORMATIVAS TÉCNICAS Y DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL VIGENTES MEDIANTE LA COMPARACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL CON LOS REQUISITOS DEL CÓDIGO NEC O ACI 318 PARA DETERMINAR SI ES VIABLE SU MANTENIMIENTO, REFUERZO O SI SE REQUIERE SU DEMOLICIÓN.**

Para verificar el cumplimiento de la estructura a las normativas técnicas y de seguridad estructural vigentes, se hará un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en el modelo estructural (fuerzas internas, deformaciones y capacidad portante) y lo indicado en los criterios prescritos en los códigos de referencia que se consideran: en nuestra región, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), el ACI 318-19 y el ASCE 7-16.

Se revisarán las exigencias estructurales de resistencia a flexión, cortante, compresión y torsión, como también los factores de seguridad, y los coeficientes de reducción de resistencia que son aplicables en una estructura existente. Se evaluará también el cumplimiento de requisitos como:

Recubrimiento mínimo de las armaduras y condiciones de protección frente a corrosión.

Límite de deformaciones admisibles (estado límite de servicio).

Resistencia al colapso (estado límite último).

Adicionalmente, se valorará el grado de confiabilidad de los elementos estructurales y se compararán los factores de utilización obtenidos (relación demanda/capacidad) con los valores máximos permitidos por las normas.

Finalmente se recogerán todos los resultados en una tabla comparativa normativa que manifestará si se debe cumplir, si se debe reforzar o si la única alternativa técnica posible es la demolición controlada, lo cual permitirá fundamentar la toma de decisiones que garanticen la seguridad estructural y funcionalidad del reservorio de agua potable.

### **3.1.4. Condiciones de Estanqueidad**

La estanqueidad estructural del depósito no debe depender de recubrimientos externos ni de tratamientos superficiales, sino de un correcto diseño del concreto y el control de fisuración.

#### **Prácticas recomendadas:**

- Diseño de mezclas de concreto con baja relación agua-cemento ( $a/c \leq 0,45$ ).
- • Uso de aditivos impermeabilizantes. • Curado prolongado y cuidadoso evitando la retracción plástica.
- • Ensayos de estanqueidad de obra de acuerdo a ACI 350.1.

Para evaluar el estado actual del reservorio de agua potable, se realizará un relevamiento exhaustivo de la información existente, rescatando antecedentes, planos y datos históricos de la estructura. Posteriormente, se realizará una inspección visual detallada de los elementos estructurales, donde se identificarán fisuras, desprendimiento del recubrimiento, corrosión del refuerzo y posibles fallas locales. Adicionalmente se realizarán ensayos no destructivos como el ensayo de esclerometría (martillo de Schmidt) a fin de obtener la resistencia superficial del concreto, y se realizará la prueba de fenolftaleína para verificar la carbonatación y el pH del recubrimiento. Estas actividades permitirán diagnosticar la integridad estructural y establecer el nivel de deterioro conforme a los criterios de las normativas aplicables, como el ACI 437R-19 y el ACI 201.2R-16.

## **METODOLOGÍA DEL O.E.2. REALIZAR LOS ENSAYOS ESTRUCTURALES MEDIANTE EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN OBTENIDA EN CAMPO, CON EL FIN DE COMPROBAR SI PROCEDE O NO REALIZAR ALGÚN TIPO DE MANTENIMIENTO ESTRUCTURAL.**

Para llevar a cabo una evaluación acerca del estado actual del reservorio de agua potable se comenzará con una recopilación de información documental y antecedentes técnicos del proyecto. En esta etapa se contempla la revisión de planos estructurales, memorias de cálculo originales (si se posee mano), registros fotográficos previos y ciertos datos relevantes del histórico de mantenimiento, reparaciones previas o temas relacionados con actuaciones realizadas.

Acto seguido se procederá a llevar a cabo una inspección minuciosa de toda la estructura, considerando los aspectos del fuste, de la losa de base del tanque, de la unión de los distintos elementos, etc. Durante esta inspección, se identificarán y clasificarán las fisuras (según su orientación, longitud, ancho y profundidad), el grado de desprendimiento del recubrimiento de concreto, la presencia de eflorescencias, zonas afectadas por corrosión y áreas con filtraciones de agua o humedad.

### **Esclerometría**

Se realizará el ensayo de esclerometría o prueba con martillo de Schmidt, siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM C805, para determinar la resistencia superficial del concreto en distintos puntos representativos de la estructura. (ASTM C805 / C805M – 18., 2018)

**Concepto:**

El ensayo de esclerometría o ensayo con martillo Schmidt, se realiza mediante un ensayo no destructivo de detección de la resistencia a compresión del hormigón in situ. Se basa en la dureza superficial del concreto, la cual es reflejo de su resistencia mecánica y estado de conservación. El ensayo consiste en impactar la superficie del concreto con un martillo de resorte calibrado, martillo Schmidt, el cual aplica una determinada cantidad de energía. Un émbolo se puede desplazar al chocar contra el concreto, a partir de donde se obtiene un índice de rebote o índice esclerométrico (IE) luego de su recorrido anterior al golpe. Este índice permite obtener una medida indirecta de la resistencia a compresión, la cual se corrige por la orientación en la que se ha impactado (vertical ascendente, x descendente o lateral), así como por la edad y, por lo tanto, por las condiciones del concreto.(Malhotra, 2004)

Este tipo de ensayo permite determinar la homogeneidad del concreto en diferentes puntos de la estructura, encontrando zonas de baja resistencia o zonas de deterioro localizado. Es especialmente útil en estudios de diagnóstico de estructuras existentes, ya que:

- No requiere extracción de testigos ni daña significativamente la estructura.
- Permite obtener resultados inmediatos en campo.
- Sirve como complemento a otros ensayos (por ejemplo, extracción de testigos, ultrasonido).

**Equipo y materiales:**

- Esclerómetro o martillo de Schmidt
- Tabla o gráfica de correlación
- Herramientas de limpieza
- Materiales para marcar

## **Carbonatación**

El análisis de la carbonatación es un tipo de ensayo que se efectúa en el hormigón para indicar hasta qué profundidad se puede registrar la penetración del CO<sub>2</sub> desde su superficie hacia el interior del edificio. La carbonatación tiene lugar cuando el CO<sub>2</sub> es capaz de penetrar en el interior del hormigón y producir un fenómeno incluso de disminución de la carbonatación del hormigón, lo que podría conseguir poner en riesgo la protección que tienen las armaduras de la misma corrosión.(Mehta, 2014)

En el presente estudio, se realizaron mediciones en cuatro áreas representativas del reservorio de agua potable. Los resultados obtenidos se compararon con las curvas de calibración del fabricante y se ajustaron según la normativa aplicable (ASTM C805 y recomendaciones de la ACI 228.1R), para estimar la resistencia promedio a compresión en cada punto evaluado.

La evaluación de la profundidad de carbonatación se realizará mediante la prueba de fenolftaleína, para la cual se aplicará la solución indicadora sobre superficies que se van a mostrar bien por cortes o perforaciones, y que servirán para medir la pérdida de alcalinidad protectora.

### **Equipo y materiales:**

- Fenolftaleína
- Alcohol etílico al 70%
- Pulverizador o botella con atomizador
- Una regla

## **Figura 15**

*Fenolftaleína, alcohol etílico.*



Los resultados de estos ensayos se documentarán cuidadosamente, comparando los valores obtenidos con las especificaciones mínimas de resistencia y durabilidad establecidas en normas como la ACI 437R-19 y la ACI 201.2R-16. Así, se obtendrá un diagnóstico preciso del estado actual del concreto y del refuerzo de acero, estableciendo el nivel de deterioro y las zonas críticas de la estructura.

### **Ensayo de Corte Directo**

El ensayo de corte directo es una prueba de laboratorio en la geotecnia para determinar la resistencia al corte de los suelos, mediante el empleo de una carga normal constante y un desplazamiento horizontal de forma controlada en un plano de fallo determinado. La muestra se coloca en una caja de corte horizontalmente dividida, se le aplica una carga normal, mientras una parte de la caja de corte se desliza horizontalmente respecto a la otra parte de la caja de corte hasta que se produce el fallo del suelo. (Das, 2010)

Este ensayo puede realizarse bajo tres condiciones:

- Consolidado-Drenado (CD)
- Consolidado-No Drenado (CU)
- No Consolidado-No Drenado (UU)

En el ensayo, se obtienen valores del esfuerzo cortante pico y (opcionalmente) del esfuerzo residual, los cuales permiten determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo: cohesión (c) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ ), según el criterio de Mohr-Coulomb.

Se determina c y  $\phi$  con regresión lineal (pendiente y ordenada al origen de la recta ajustada).

Resultados que se pueden obtener:

- Esfuerzo cortante máximo (pico)
- Esfuerzo residual (opcional)
- Comportamiento del suelo bajo corte: friccional, cohesivo o mixto

### **Cálculos Fundamentales en el Ensayo**

1. Área de la muestra (A)

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

- D: diámetro de la muestra (m)
- Usada para convertir carga en esfuerzo

2. Esfuerzo normal aplicado ( $\sigma$ )

$$\sigma = \frac{P_n}{A}$$

- $P_n$ : carga normal (N)
- A: área de la muestra (m<sup>2</sup>)

### 3. Esfuerzo cortante ( $\tau$ )

$$\tau = \frac{Fs}{A}$$

- Fs.: carga de corte (fuerza horizontal) en Newtons
- A: área de la muestra

### 4. Gráfica $\tau$ vs $\sigma$ (criterio de Mohr-Coulomb)

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\phi)$$

Donde:

- $\tau$ : esfuerzo cortante en el pico (kPa)
- $\sigma$ : esfuerzo normal (kPa)
- c: cohesión del suelo (kPa)
- $\phi$ : ángulo de fricción interna ( $^{\circ}$ )

Se determina **c** y  **$\phi$**  con regresión lineal (pendiente y ordenada al origen de la recta ajustada).

Resultados que se pueden obtener

- Cohesión aparente (c)
- Ángulo de fricción interna ( $\phi$ )
- Esfuerzo cortante máximo (pico)
- Esfuerzo residual (opcional)
- Comportamiento del suelo bajo corte: friccional, cohesivo o mixto

## **METODOLOGÍA DEL O.E.3. MODELAR ESTRUCTURALMENTE EL RESERVORIO UTILIZANDO SOFTWARE ESPECIALIZADO DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, PARA ANALIZAR SU COMPORTAMIENTO BAJO CARGAS ACTUALES Y COMPARARLO CON LAS EXIGENCIAS NORMATIVAS VIGENTES.**

Para poder modelar estructuralmente el reservorio de agua potable en cuestión, se obtendrán precisas mediciones geométricas de la estructura mediante mediciones directas en campo y levantamientos topográficos, las cuales serán complementadas con los planos originales de la estructura si estos están disponibles. Las mediciones de las cuales se tiene el objetivo obtener son la de: las dimensiones de la plantilla del tanque, la altura del fuste, el espesor de los muros y los detalles de las armaduras visibles o registradas. (American Concrete Institute., 2019a)

Se generará un modelo en tres dimensiones con algún software de análisis estructural como SAP2000, ETABS, STAAD.Pro que permitan simular el comportamiento global y puntual de la estructura. El modelo será capaz de definir los materiales:

Propiedades del concreto (resistencia a compresión corregida con los datos de esclerometría y consideraciones de deterioro).

Propiedades del acero de refuerzo (conservadoras, considerando la posible pérdida de sección por corrosión observada).

Además, se definirán las condiciones de apoyo y de vinculación entre los elementos estructurales, así como las cargas gravitacionales (peso propio y cargas de agua) y ambientales (viento y, si corresponde, sismo) actuales, conforme a las especificaciones de la NEC 2015 y los coeficientes de carga recomendados por la ASCE 7-16.

A partir de la simulación estructural, se obtendrán resultados como: distribución de esfuerzos internos (momentos flectores, cortantes y axiales), deformaciones, desplazamientos globales y locales, y la identificación de posibles mecanismos de falla. Estos resultados permitirán comparar la capacidad portante actual con los requerimientos normativos vigentes y establecer un diagnóstico preciso del comportamiento estructural del reservorio frente a las cargas de servicio actuales.

## 4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. ANÁLISIS VISUAL DEL RESERVORIO

#### 4.1.1. Armado del reservorio

##### RECUBRIMIENTOS

Diámetro del tanque: 4.91m

Altura del tanque: 25.1 m

Riostra:  $R = 4$  cm

Muros:  $R = 4$  cm

Paredes tanque:  $R = 4$  cm

Resistencia del concreto por ensayo de esclerometro:  $f_c = 180$  kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia del acero de refuerzo:  $f_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>

Los ganchos de los estribos irán doblados,  $10\emptyset$ , en la forma indicada y no a escuadra, de lo contrario no cumplirán su función.

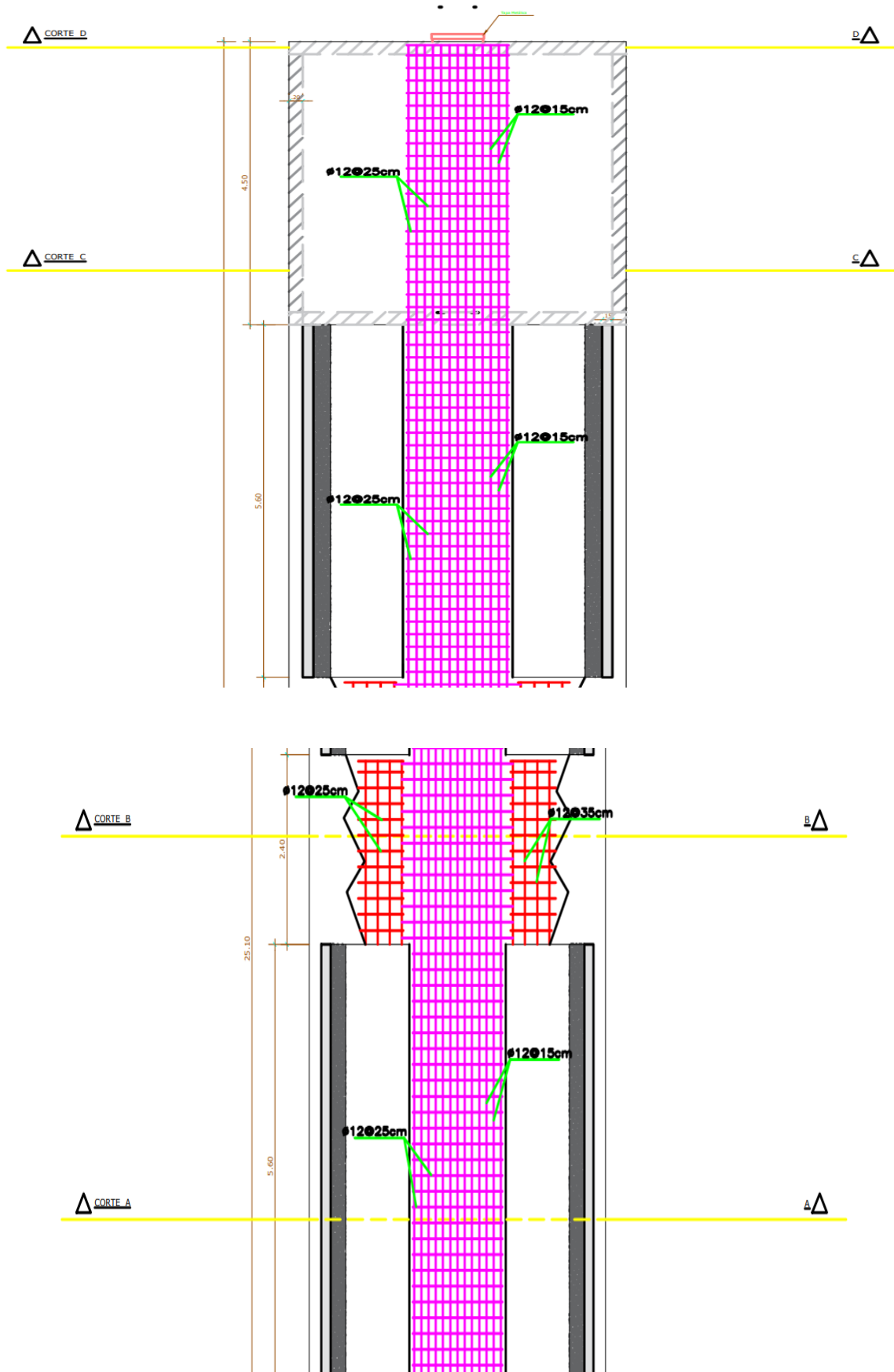
Bajo ningún concepto los elementos estructurales tales como vigas de cimentación y muros columnas, paredes del tanque y losas de tapa fondo y acceso del tanque serán atravesados, longitudinalmente, por tubos o paquetes de tubos de cualquier tipo de instalaciones.

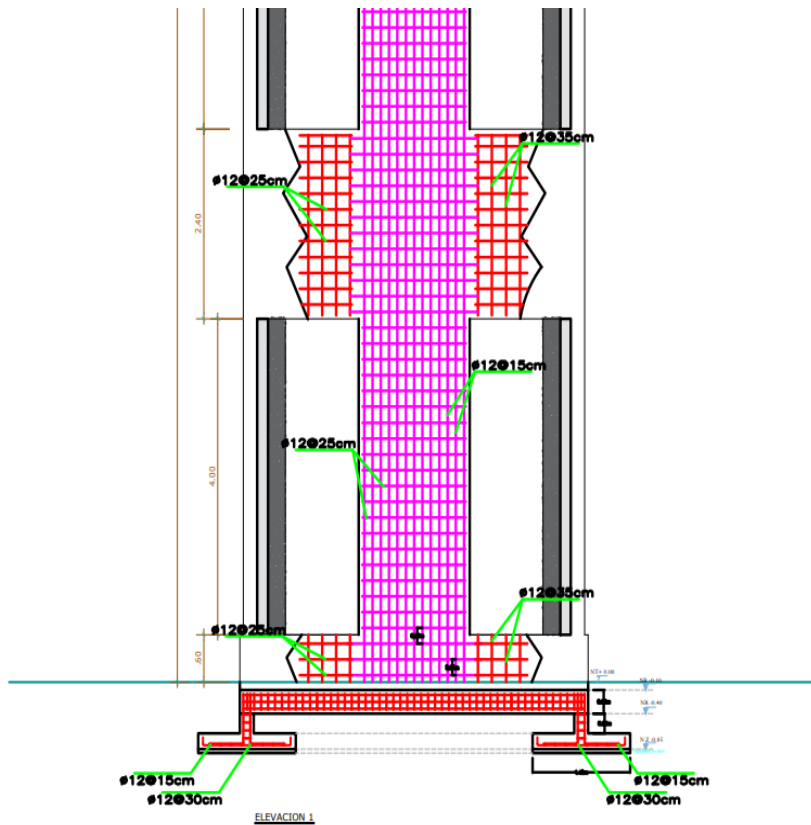
Las medidas, en general, están indicadas en metros (m) y las mediadas prevalecen sobre la escala del dibujo.

Los planos estructurales serán confrontados con los respectivos planos arquitectónicos.

**Figura 16**

*Vista Frontal lateral del reservorio.*





*Nota: Autoría Propia*

Acero longitudinal en el perímetro más crítico es de 12mm cada 25 cm de separación

Acero longitudinal en el perímetro fuera de la zona crítica es de 12mm cada 35 cm de separación

Doble malla con acero  $\varnothing$  12 mm cada 20 cm de separación

Refuerzo alrededor del boquete de la tapa de acceso con  $\varnothing$  12 mm

Se muestra las secciones de perfiles y vitsa en planta de las cimentaciones

Ganchos y doblados de longitud necesaria para aceros longitudinales y estribos

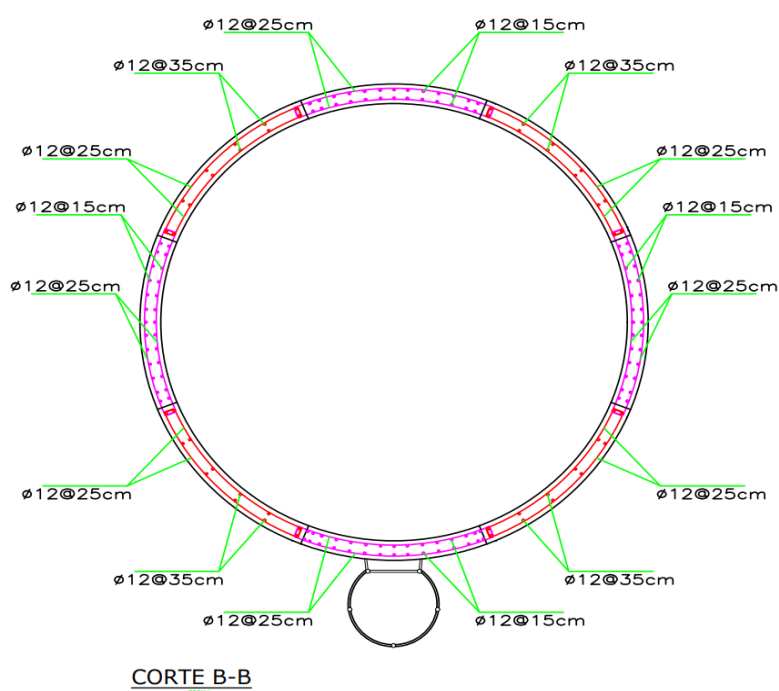
Longitud mínima de traslape:  $l_t = 50 db$

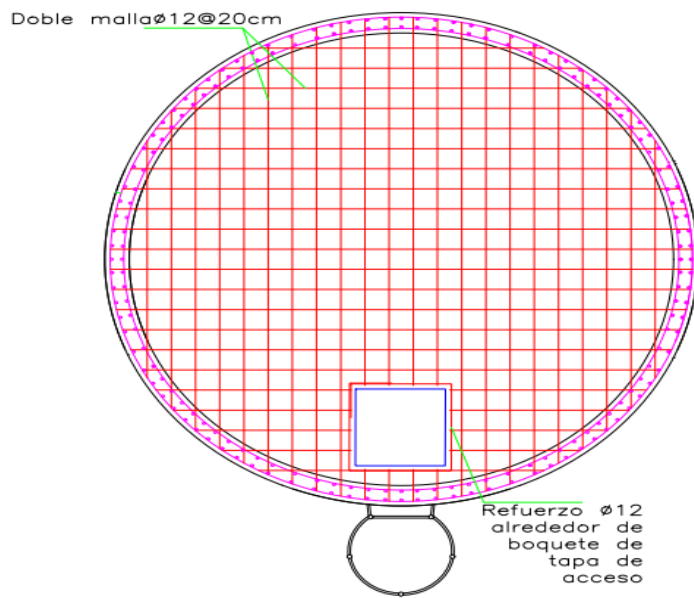
Cimientos:  $R = 5 \text{ cm}$

Tapa de  $0.76 \text{ m} \times 0.74 \text{ m}$

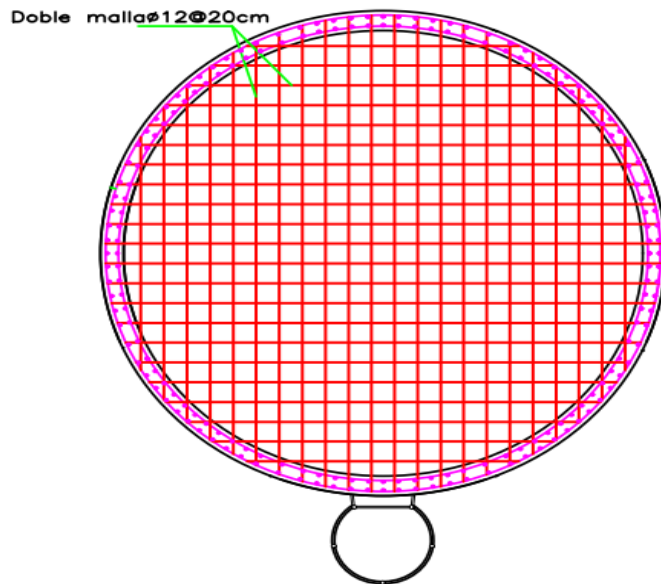
### Figura 17

*Armado del acero longitudinal.*





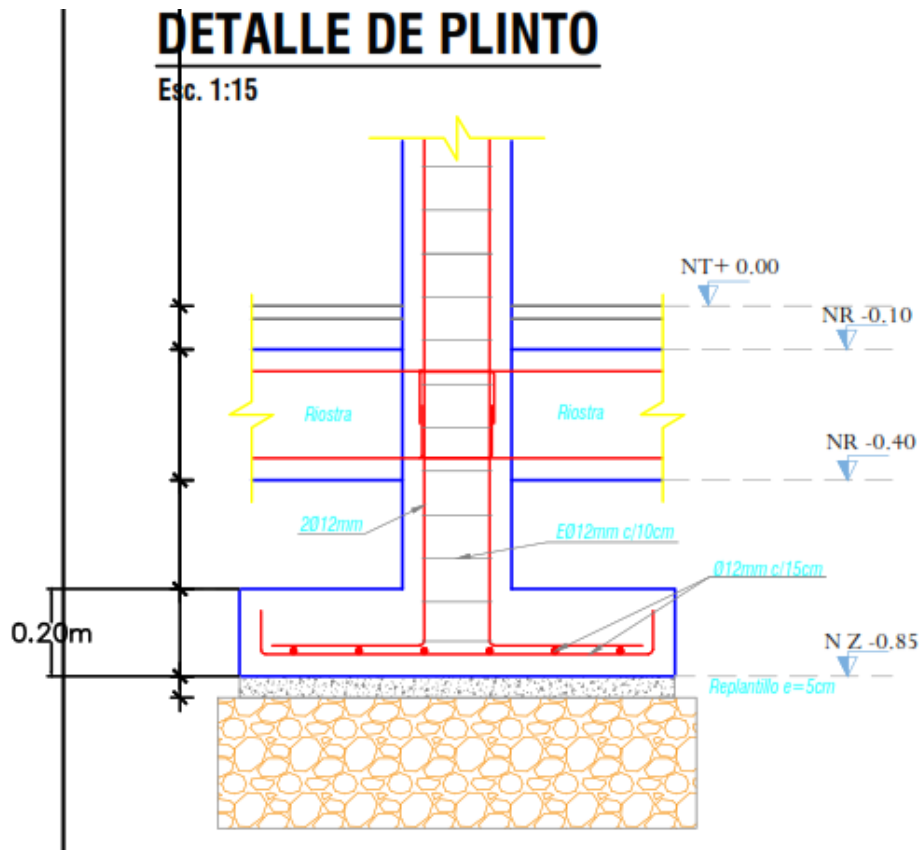
DETALLE LOSA DE TAPA DE TANQUE



DETALLE LOSA DE FONDO DE TANQUE

**Figura 18**

*Armado de cimentaciones.*



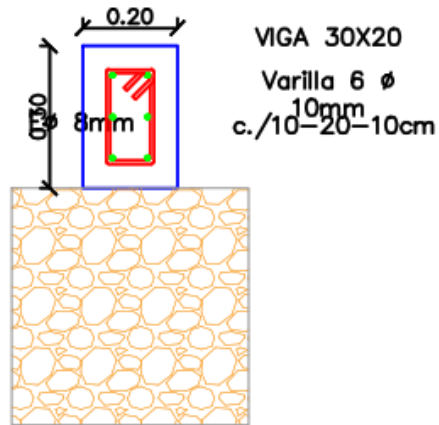
*Nota: Autoría Propia*

**Figura 19**

*Armado de riostras.*

## **DETALLE DE RIOSTRA**

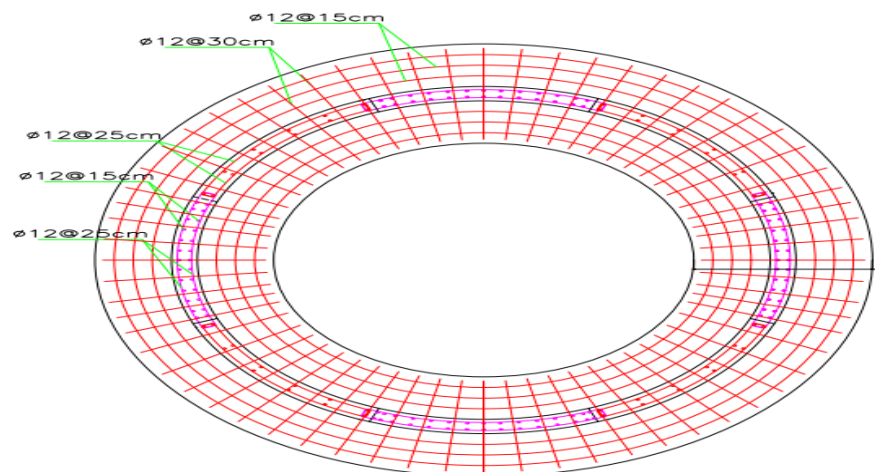
Esc. 1:15



*Nota: Autoría Propia*

**Figura 20**

*Vista en planta del armado.*



**DETALLE DE CIMENTACIÓN**

*Nota: Autoría Propia*

#### **4.1.2. Vida útil de la estructura**

De acuerdo con lo estipulado en el Capítulo 1 del ACI 318-19, una estructura de concreto ha de ser diseñada para tener una vida útil mínima de 50 años para construcciones convencionales, y de entre 75 a 100 años para las que son consideradas infraestructuras críticas.

La estructura que en estos momentos contemplamos fue edificada entre 1995 y 2025, lo que denomina la misma de la estructura como la antigua, 30 años de antigüedad. Se ha determinado que, desde 2015, el edificio no se encuentra en servicio y no ha recibido el adecuado mantenimiento en los últimos 10 años, por lo que la condición del mismo se va incrementando en ritmo. Por lo que se puede convenir en que la misma presenta una vida útil esperada más reducida considerando la vida diseñada a la hora de la construcción. Además, la sección 20.6.1.3 del ACI 318-19, indica que el mínimo recubrimiento necesario para los elementos estructurales de concreto que van en contacto con agua o tierra es de 50 mm.


Las inspecciones efectuadas in situ, han venido a evidenciar que el recubrimiento efectivo en varios elementos es del entorno de 40 mm, es decir, 10 mm menos del exigido por normativa. Esta ausencia de cumplimiento exige una mayor atención, ya que pone en peligro la protección del acero de refuerzo contra agentes perjudiciales, siendo la humedad y los cloruros dos ejemplos, lo que contribuye a acentuar el deterioro estructural observado y contribuye a estrechar la vida útil de la estructura.

Las imágenes del reservorio muestran una estructura de hormigón armado con evidentes signos de deterioro avanzado. A continuación, se describen los principales hallazgos observados en las fotografías:

## Ficha técnica del reservorio

**Figura 21**

*Ficha para determinar su patología.*

		"DETERMINACION Y ELEVACION DE PATOLOGIAS DEL HORMIGON EN EL RESERVORIO DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA CHANDUY DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA".					
UNIDAD MUESTRA	1						
AUTOR	ALEXIS EFREN SALVADOR RIVAS	UBICACIÓN		PARROQUIA CHANDUY-PROVINCIA DE SANTA ELENA			
ASECOR	ING. GEOVANNY MARCELO RENDON FIGUEROA	FECHA		10/01/2025			
	<b>PATOLOGIAS</b>	<b>LEVE</b>	<b>MODERADO</b>	<b>SEVERO</b>			
1	GRIETAS	≥ 2 mm	2-3 mm	> 3mm			
2	FISURAS	< 0,05 mm	0,05-1 mm	> 1mm			
3	DESCASCARAMIENTO	< 10 mm	10-20 mm	> 20 mm			
	<b>PATOLOGIAS</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>AREA AFECTADA</b>			<b>% AREA AFECTADA</b>	<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>
			<b>LARGO(m)</b>	<b>ANCHO (m)</b>	<b>AREA AFECTADA m2</b>		
	GRIETAS	4,00	1,00	0,20	0,20	20	SEVERO
							

*Nota: Tomado del formato (Alva Ortega, 2019)*

**Figura 22**



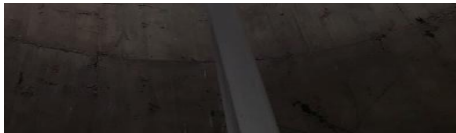
*Fotos del deterioro del reservorio campo.*



*Nota: autoría propia*

### Figura 23

Ficha para determinar su patología.

FISURAS	2,00	0,80	0,10	0,08	12,50	SEVERO
						
GRIETAS	4,00	2,00	0,08	0,16	4,00	SEVERO
						
GRIETAS	3,00	2,00	0,06	0,12	3,00	MODERADO
						




Nota: autoría propia

### Figura 24

Fotos del deterioro del reservorio campo.



Nota: autoría propia

DESCASCARAMIENTO	NA	2,50	1,80	4,50	72	SEVERO
						
DESCASCARAMIENTO	NA	4,50	1,20	5,40	26,7	SEVERO
						
DESCASCARAMIENTO	NA	4,00	1,3	5,20	32,5	SEVERO
						

#### 4.1.3. Fisuración y desprendimiento de recubrimiento:

Se identifican fisuras verticales y diagonales de considerable longitud en los fustes y en la base del tanque: las fisuras presentan anchos variables, superando en algunos casos los 10 mm, lo que indica un nivel de daño severo, en varias zonas, el recubrimiento de concreto se ha desprendido, dejando expuesta la armadura longitudinal y transversal. Las armaduras expuestas presentan signos de corrosión a un avanzado grado, con la formación de óxido y pérdida de sección efectiva en algunos tramos, sugiriendo así, a su vez, la falta de adherencia y la resistencia del refuerzo, lo cual hace que en determinada manera se comprometa la estabilidad de la estructura, que a expensas de esta se verá igualmente comprometida.

#### **4.1.4. Desprendimiento en zonas que son clave:**

Se reproduce solape recubrimiento en determinados puntos que son las zonas que tienen carácter de transición entre el fuste y el bien, la cual ve comprometida su capacidad de transferencia de esfuerzos en las zonas que son las claves. Las aristas o los bordes de la losa de base presentan rotura o pérdida de material en este proceso.(Brizuela Valenzuela, 2014)

#### **4.1.5. Ausencia de recubrimiento mínimo:**

La pérdida del recubrimiento mínimo en muchos puntos ha dejado la armadura sin protección de agentes agresivos como la carbonatación y la humedad. La falta de recubrimiento y la corrosión activa sugieren que la durabilidad de la estructura está gravemente comprometida.

#### **4.1.6. Ensayo de carbonatación**

Para poder modelar estructuralmente el reservorio de agua potable en cuestión, se obtendrán precisas mediciones geométricas de la estructura mediante mediciones directas en campo y levantamientos topográficos, las cuales serán complementadas con los planos originales de la estructura si estos están disponibles. Las mediciones de las cuales se tiene el objetivo obtener son la de: las dimensiones de la plantilla del tanque, la altura del fuste, el espesor de los muros y los detalles de las armaduras visibles o registradas.

Se generará un modelo en tres dimensiones con algún software de análisis estructural como SAP2000, ETABS, STAAD.Pro que permitan simular el comportamiento global y puntual de la estructura. El modelo será capaz de definir los materiales:4.1.4. Ensayo de carbonatación

La medición de la carbonatación de fenolftaleína realizada "in situ" no evidenció coloración del concreto expuesto, lo que implica que la carbonatación ya avanzó hasta el núcleo del concreto recubierto, perdiéndose, por lo tanto, el ambiente alcalino del mismo que protege al acero de refuerzo. Ensayo de esclerometría.

Dentro de los métodos de evaluación estructural del reservorio de agua potable se llevó a cabo una evaluación del concreto "in situ" que se basó en muestras de núcleos de concreto obtenidos de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C42/C42M, obteniéndose cuatro (4) muestras cilíndricas de 150 mm de diámetro, mediante perforación con un equipo de corte diamantado en zonas representativas del elemento estructural.

Se limpiaron y prepararon los núcleos extraídos antes de aplicarse los indicadores químicos, y utilizados en la evaluación específica fenolftaleína. La segunda etapa o fase inicial es de gran relevancia pues garantiza la certeza del ensayo de carbonatación, partiendo de una condición que sea que la superficie tiene que estar totalmente exenta de cualquier tipo de contaminante que pudiera hacer variar la reacción del ensayo con el indicador químico.

"Previo a utilizar fenolftaleína para ensayar la muestra deseada, se llevó a cabo un control de la efectividad del reactivo aplicando la fenolftaleína en una porción de hormigón de una columna estructural, la cual resultó positiva, como se puede observar por el cambio a color rosado, evidenciando el pH alcalino y el adecuado funcionamiento del indicador."

### **Figura 25**

*Columna de hormigón con fenolftaleína.*



*Nota : Autoria Propia*

### **Figura 26**

*Núcleos de hormigón.*



*Nota: Autoría Propia*

Se empleó una solución de fenolftaleína al 1 % en el ensayo que fue realizado en el corazón de los núcleos obtenidos de los testigos que conformaron el reservorio, conforme a la norma ASTM C42/C42M. Apenas se observó color rosa en la prueba, lo que significa que la infección de carbonatación en el hormigón es elevada de forma que también hay una pérdida de alcalinidad ( $\text{pH} < 9$ ) que compromete la protección del acero de la armadura. Este resultado contradice las exigencias para la durabilidad que determinan la NEC-SE-DS, el ACI 201.2R-16 y el ACI 318-19 (Sección 19.3.2.1) los cuales también indican la protección de determinados agentes agresivos. Tal como indica la ASCE 7, esto sería un peligro para la vida del elemento lo que indicaría que se debe hacer una intervención técnica inmediata.

**Figura 27**

*PH de concreto bueno y sano.*



*Nota: Autoría Propia*

#### **4.1.7. ensayos de esclerometría**

Se realizaron cuatro muestras representativas del reservorio. A continuación, se detallan los resultados y su interpretación:

##### **Muestra 1:**

- **Promedio de resistencia a compresión:** 221 kg/cm<sup>2</sup>
- **IE corregido:** 0,22
- **Clasificación:** Concreto de resistencia moderada.

Sin embargo, presenta una dispersión en los valores medidos que sugiere heterogeneidad en la calidad del concreto.

##### **Muestra 2:**

- **Promedio de resistencia a compresión:** 157 kg/cm<sup>2</sup>
- **IE corregido:** 0,27
- **Clasificación:** Concreto de baja resistencia, con valores críticos cercanos a los límites mínimos aceptables para estructuras de baja exigencia.

##### **Muestra 3:**

- **Promedio de resistencia a compresión:** 200 kg/cm<sup>2</sup>
- **IE corregido:** 0,23
- **Clasificación:** Concreto de resistencia moderada, aunque no suficiente para elementos portantes expuestos a solicitaciones elevadas.

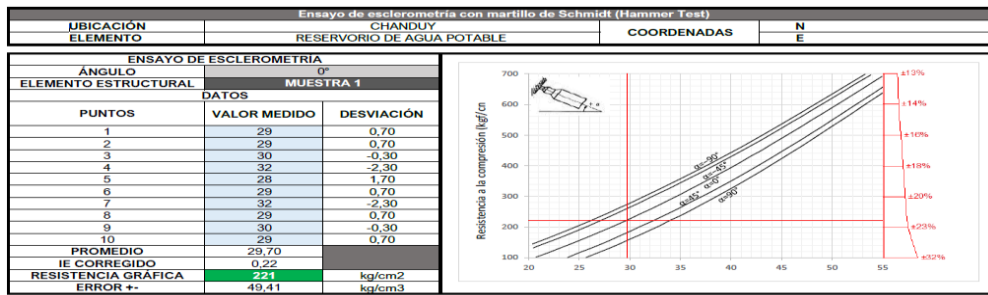
#### **Muestra 4:**

- **Promedio de resistencia a compresión:** 144 kg/cm<sup>2</sup> (concretamente “concreto pobre” según la ficha del laboratorio)
- **IE corregido:** No aplica
- **Clasificación:** Concreto deficiente, sin capacidad portante confiable.

El rango de resistencias obtenidas (de 144 a 221 kg/cm<sup>2</sup>) indica una calidad muy variable del concreto, con zonas de resistencia insuficiente para las cargas y esfuerzos que soporta la estructura. La heterogeneidad de resultados es consistente con las observaciones visuales de daño avanzado y con la falta de recubrimiento protector.

#### **Figura 28**

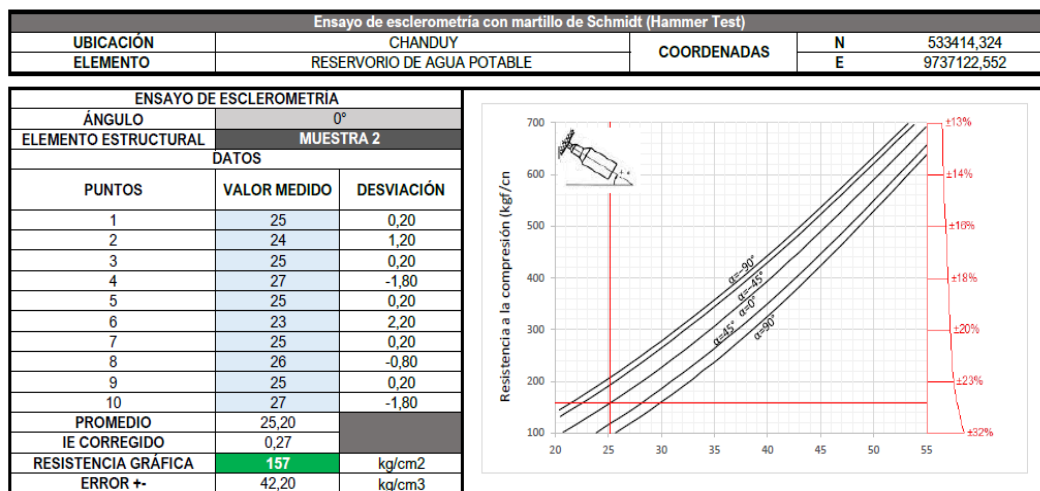
*Ensayo de esclerometría con martillo Schmidt. Altura 5 metros*



Nota: Autoría Propia

Figura 29

Ensayo de esclerometría con martillo Schmidt. Altura 10 metros



Nota: Autoría Propia

Figura 30

Ensayo de esclerometría con martillo Schmidt. Altura 20 metros

Ensayo de esclerometría con martillo de Schmidt (Hammer Test)			
UBICACIÓN	CHANDUY		COORDENADAS
ELEMENTO	RESERVORIO DE AGUA POTABLE		N 533414.324 E 9737122.552
ENSAYO DE ESCLEROMETRIA			
ÁNGULO	0°		
ELEMENTO ESTRUCTURAL	MUESTRA 4		
DATOS			
PUNTOS	VALOR MEDIDO	DESVIACIÓN	
1	15	-0,60	
2	13	1,40	
3	14	0,40	
4	15	-0,60	
5	16	-1,60	
6	13	1,40	
7	13	1,40	
8	17	-2,60	
9	15	-0,60	
10	13	1,40	
PROMEDIO	14,40		
IE CORREGIDO	NO APLICA		
RESISTENCIA GRÁFICA	CONCRETO POBRE	kg/cm2	
ERROR +/-		kg/cm3	

*Nota: Autoría Propia*

## Análisis de laboratorio de suelos

En el presente se efectúan los análisis pertinentes para determinar las características del suelo y analizar la viabilidad del diseño propuesto, considerando entre los factores determinantes:



- Granulometría.
- Los límites de Atterberg.
- El Proctor Modificado.

### 4.1.8. Granulometría

Es un análisis enfocado en determinar las características físicas de un tipo de suelo en específico y clasificarlo según el tipo de partículas que lo componen, los parámetros a considerar se basan en su tamaño y respectiva distribución. Para el presente trabajo se efectuó una perforación (Calicata), de la cual se obtuvieron muestras variadas en función de los estratos en el punto de perforación, la siguiente ilustración refleja los resultados obtenidos al realizar el respectivo proceso de Tamizaje.

## Figura 31

### Determinación de ensayo granulometría.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MACANICA DE SUELO			
 			
TRABAJO DE TITULACIÓN UBICACION: PARROQUIA CHANDUY FECHA: 28 DE FEBRERO DEL 2025 COORDENADAS: 2°24'09" S 80°40'50" O DETERMINACION DE GRANULOMETRIA SECA			
CALICATA 1 - ESTRATO 1		CALICATA 1 - ESTRATO 2	
N° ENSAYOS	1	N° ENSAYOS	1
PESO HUMEDO + RECIPIENTE	0.636	PESO HUMEDO + RECIPIENTE	0.601
PESO SECO + RECIPIENTE	0.622	PESO SECO + RECIPIENTE	0.586
HUMEDAD	0.014	HUMEDAD	0.015
RECIPIENTE	DS	RECIPIENTE	L5
RETENIDO TAMIZ # 4	51.76	RETENIDO TAMIZ # 4	44.45
RETENIDO TAMIZ # 10	67.36	RETENIDO TAMIZ # 10	40.65
RETENIDO TAMIZ # 40	105.31	RETENIDO TAMIZ # 40	94.79
RETENIDO TAMIZ # 200	295.45	RETENIDO TAMIZ # 200	330.87
PESO SECO DESPUES DE LAVADO	519.88	PESO SECO DESPUES DE LAVADO	510.76
CALICATA 1 - ESTRATO 3		CALICATA 1 - ESTRATO 4	
N° ENSAYOS	1	N° ENSAYOS	1
PESO HUMEDO + RECIPIENTE	0.584	PESO HUMEDO + RECIPIENTE	0.515
PESO SECO + RECIPIENTE	0.557	PESO SECO + RECIPIENTE	0.490
HUMEDAD	0.027	HUMEDAD	0.025
RECIPIENTE	V14	RECIPIENTE	V22
RETENIDO TAMIZ # 4	41.72	RETENIDO TAMIZ # 4	40.53
RETENIDO TAMIZ # 10	41.33	RETENIDO TAMIZ # 10	43.12
RETENIDO TAMIZ # 40	82.40	RETENIDO TAMIZ # 40	74.82
RETENIDO TAMIZ # 200	281.02	RETENIDO TAMIZ # 200	253.64
PESO SECO DESPUES DE LAVADO	446.47	PESO SECO DESPUES DE LAVADO	412.11

*Nota: Autoría Propia*

De los resultados obtenidos del ensayo de granulometría realizado, se obtiene que las muestras en su totalidad presentan un grado de humedad bajo, esto es una señal de suelos con gran presencia de secos. Analizando más a fondo los resultados del tercer y cuarto estrato, se visualiza un grado un poco mayor de humedad, lo que puede reflejar que en el área hay más contenido de finos o también esto se puede deber a presencia de agua. Según el porcentaje de partículas retenido en el tamiz 200, se clasifica el suelo de manera general como un material con predominancia de finos y un suelo de baja permeabilidad.

#### 4.1.9. Límites De Atterberg

El ensayo de los límites de Atterberg es un estudio centrado en caracterizar el comportamiento de suelos que cuentan con características físicas que los determinan como un tipo de suelo fino, se analizan factores específicos de una muestra y entre estos se destaca el grado de humedad, el límite de plasticidad y el límite de consistencia.

Para el presente trabajo se efectuaron cuatro calicatas, de las cuales se tomaron diferentes tipos de muestras y se sometieron a pruebas de laboratorio, en base a estos resultados de la granulometría se procedió a determinar el % de

humedad, el límite líquido y el límite plástico, los resultados obtenidos se evidencian en la siguiente ilustración.

**Figura 32**

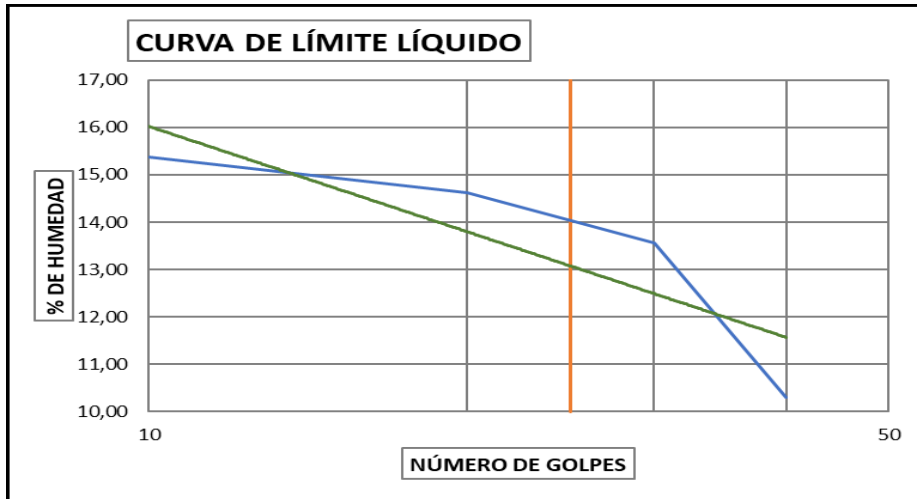
*Resultados Obtenidos del ensayo de Limites de Atterberg.*

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA		FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA		CARRERA INGENIERIA CIVIL		LABORATORIO DE MACANICA DE SUELO		
TRABAJO DE TITULACIÓN UBICACIÓN: PARROQUIA CHANDUY FECHA: 28 DE FEBRERO DEL 2025 COORDENADAS: 2°24'09"S 80°40'50"O								
<b>DETERMINACIÓN DE LIMITES DE ATTERBERG</b>								
<b>CALICATA</b>								
<b>LIMITE LIQUIDO</b>					<b>LIMITE PLASTICO</b>			
Nº ENSAYOS	1	2	3	4	1	2	3	4
Nº DE RECIPIENTE	2	P2	P4	6	R	Z	X	ZM
PESO DE RECIPIENTE (W <sub>r</sub> )	9,31	9,21	9,16	9,33	16,95	16,92	17,17	17,39
PESO DE REC. + PESO DE SUELO HUM. (W1)	14,56	13,05	15,02	14,36	68,34	73,32	79,01	85,51
PESO DE REC. + PESO DE SUELO SECO. (W2)	13,86	12,56	14,32	13,89	65,30	69,35	74,36	79,63
PESO DE AGUA (W <sub>w</sub> =W1-W2)	0,70	0,49	0,70	0,47	3,04	3,97	4,65	5,88
PESO DE SUELO SECO (W <sub>s</sub> =W2-W <sub>r</sub> )	4,55	3,35	5,16	4,56	48,35	52,43	57,19	62,24
CONTENIDO DE HUMEDAD % $c = (W_w/W_s) * 100$	15,38	14,63	13,57	10,31	6,29	7,57	8,13	9,45
NUMERO DE GOLPES	10	20	30	40	<b>LL</b>	13,47	<b>LP</b>	7,86

*Nota: Autoría Propia*

**Figura 33**

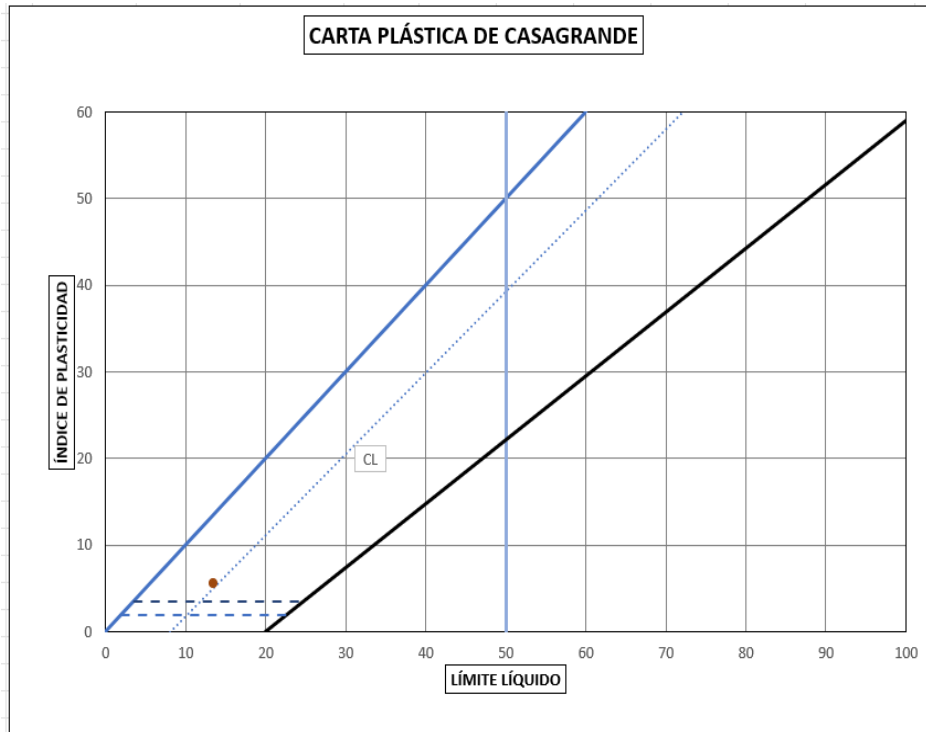
*Curva de limite líquido.*



*Nota: Autoría Propia*

**Figura 34**

*Curva plástica de Casa Grande.*



*Nota: Autoría Propia*

De los resultados obtenidos al culminar los ensayos de límites se puede determinar que tenemos un valor final como límite plástico de 7.86 y un límite líquido de 13.47 dando como valor de índice plástico 5.61 según la ecuación:

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 13.47 - 7.86$$

$$IP = 5.61$$

Al dimensionar el índice de plasticidad en la carta plástica de casa grande y siguiendo lo estipulado en el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, se determina que el tipo de suelo es un CL, lo que lo ubica como una arcilla de baja plasticidad.

#### **4.1.10. Proctor Modificado**

Este ensayo se enfoca en determinar el grado de compactación máxima del suelo y su porcentaje de humedad óptima, en este tipo de prueba interviene como factor determinante la energía de compactación y se considera como valor agregado la densidad seca – humedad del material.

Como criterios base para la elaboración del respectivo ensayo y la posterior obtención de resultados, se consideraron los siguientes parámetros:

<b>CRITERIO</b>	<b>VALOR</b>
Masa De Cilindro (P7)	6245
Vol. Del Cilindro (V)	2046,80
Masa Del Martillo (Kg)	4,50
Altura De Caída De Martillo (Cm)	45,72
Tipo Del Ensayo	Modificado

Número De Capas	5
Número De Golpes Por Capa	56,00

El ensayo se efectúa considerando cinco capas, cada una con un espesor determinado y a la cual se le aplica un contenido de humedad diferente, obtenemos como resultado una densidad seca máxima de  $1.96 \text{ g/cm}^3$ , con un porcentaje de humedad de 8,2 %, tales resultados se pueden evidenciar en la ilustración número 6.

### Figura 35

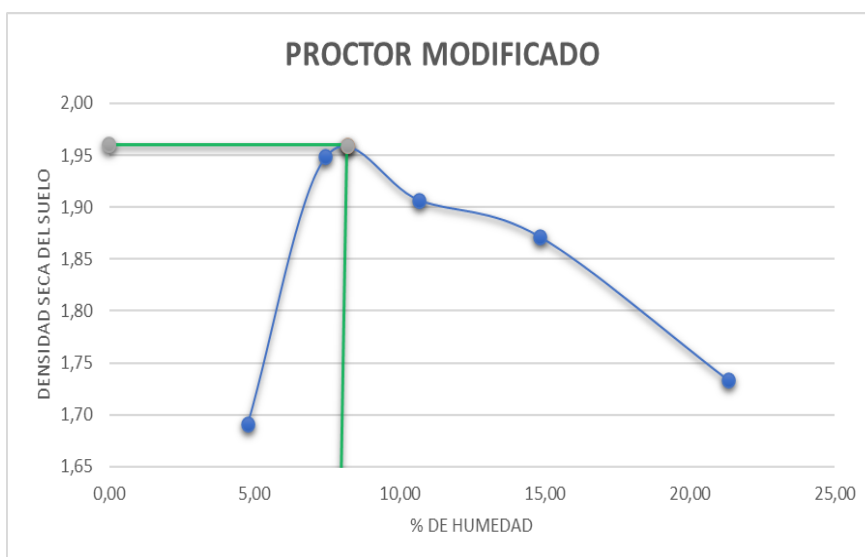
*Resultados del Proctor Modificado.*

UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MACANICA DE SUELO					
TRABAJO DE TITULACIÓN UBICACIÓN: PARROQUIA CHANDUY FECHA: 28 DE FEBRERO DEL 2025 COORDENADAS: 2°24'09"S 80°40'50"O					
PROCTOR MODIFICADO					
DATOS DEL ENSAYO					
PUNTO	1	2	3	4	5
TIPO DE MATERIAL	GRUESO	GRUESO	GRUESO	GRUESO	GRUESO
NÚMERO DE RECIPIENTE	2	0	A4	Z	M2
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (P1)	102,91	89,36	87,60	86,50	98,65
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	99,00	84,26	80,75	77,45	84,36
MASA DE AGUA (P3=P1-P2)	3,91	5,10	6,85	9,05	14,29
MASA DE RECIPIENTE (P4)	16,92	15,73	16,57	16,42	17,32
MASA DE MUESTRA SECA (P5=P2-P4)	82,08	68,53	64,18	61,03	67,04
% DE HUMEDAD (W= P3X100/ P5)	4,76	7,44	10,67	14,83	21,32
% DE HUMEDAD PROMEDIO	4,76	7,44	10,67	14,83	21,32
% DE HUMEDAD AÑADIDA AL SUELO	TN	100,00	200,00	300,00	400,00
MASA CILINDRO + SUELO HUMEDO (P6)	9871,00	10530,00	10565,00	10644,00	10549,00
MASA DEL SUELO HUMEDO ( P8= P6 - P7)	3626	4285	4320	4399	4304
DENSIDAD HUMEDA DEL SUELO( Dh=P8/v)	1,77	2,09	2,11	2,15	2,10
DENSIDAD SECA DEL SUELO (Ds=Dh/((1+w)/100)	1,69	1,95	1,91	1,87	1,73

*Nota: Autoría Propia*

**Figura 36**

*Grafica Densidad Seca Máxima.*



Nota: Autoría Propia

#### **4.1.11. Ensayo de corte directo**

Material y herramienta utilizadas :

Muestra de suelo: 3 especímenes(arena mal graduada)

Balanza (para pesar la muestra seca y húmeda)

Anillos o moldes metálicos

Dispositivo de corte directo

Horno (para secado de la muestra y cálculo de humedad)

Cronómetro o software de adquisición de datos

Guantes, espátulas, cuchillas, y otros utensilios de preparación

Se llevaron a cabo tres ensayos de corte directo en muestras de suelo tipo arena mal graduada (SP), que fueron extraídas a 1 metro de profundidad en la zona de Parroquia Chanduy. Todo esto se realizó siguiendo la norma ASTM D3080, en condiciones no consolidadas y no drenadas (UU). Cada muestra se colocó en una caja de corte de dimensiones estándar (30,4 mm de diámetro y 50,6 mm de altura), a la que se le aplicó una carga normal constante. Después, se generó un desplazamiento horizontal controlado a una velocidad de 1,27 mm/min, registrando el esfuerzo cortante hasta alcanzar el valor máximo.

Todos estos datos fueron obtenidos mediante una máquina de corte directo equipada con una caja que permite aplicar desplazamientos horizontales controlados a la mitad inferior de la muestra. Una vez finalizado el ensayo, los datos fueron recopilados mediante un software especializado, el cual generó un informe técnico con los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

### Figura 37

*Resumen de las 3 muestras.*

	Specimen Number							
Initial	1	2	3	4	5	6	7	8
Moisture (%):	-207,3	-207,3	-207,3					
Dry Density (g/cm³):	-1,776	-1,768	-1,768					
Void Ratio:	-2,504	-2,510	-2,510					
Saturation (%):	221,1	220,6	220,6					
Diameter (mm):	50,600	50,600	50,600					
Height (mm):	30,400	30,400	30,400					
Final	1	2	3	4	5	6	7	8
Moisture (%):	0,0	0,0	0,0					
Dry Density (g/cm³):	841025,900	841025,900	841025,900					
Void Ratio:	-1,000	-1,000	-1,000					
Saturation (%):	0,0	0,0	0,0					
Height (mm):	1,197	1,197	1,197					
Normal Stress (Kpa):	48,347	96,596	193,387					
Peak Shear Stress (Kpa):	20,921	54,717	80,467					
Residual Stress (Kpa):	NA	NA	NA					
Horizontal Deformation (%):	2,2	5,1	6,3					
Rate (mm/min):	1,27000	1,27000	1,27000					

Project Name: Chanduy Inalterada Project Number: CHI

Checked By: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

Report Created: 22/5/2025

Page 1

*Nota: Autoría Propia*

### Figura 38

Resumen de las 3 muestras.

Information Parameters	Specimen Number							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Liquid Limit:	0	0	0					
Plastic Limit:	0	0	0					
Specific Gravity:	2,67	2,67	2,67					
Specific Gravity Method:	ASSUMED ASSUMED ASSUMED							
Initial Parameters	1	2	3	4	5	6	7	8
Test Temperature (°C):	29,0	29,0	29,0					
Sample Shape:	ROUND	ROUND	ROUND					
Height (mm):	30,400	30,400	30,400					
Diameter (mm):	50,600	50,600	50,600					
Area (cm²):	20,109	20,109	20,109					
Volume (cm³):	61,131	61,131	61,131					
Moisture (%):	-207,3	-207,3	-207,3					
Dry Density (g/cm³):	-1,776	-1,768	-1,768					
Wet Density (g/cm³):	1,906	1,898	1,898					
Saturation (%):	221,129	220,581	220,581					
Void Ratio:	-2,504	-2,510	-2,510					
Porosity (%):	166,5	166,2	166,2					
Consolidation Parameters	1	2	3	4	5	6	7	8
Initial Reference Height (mm):	30,400	30,400	30,400					
Final Reference Height (mm):	1,197	1,197	1,197					
Height (mm):	1,197	1,197	1,197					
Final Parameters	1	2	3	4	5	6	7	8
Moisture Content (%):	0,0	0,0	0,0					
Dry Density (g/cm³):	841025,900	841025,900	841025,900					
Wet Density (g/cm³):	841025,900	841025,900	841025,900					
Saturation (%):	0,000	0,000	0,000					
Void Ratio:	-1,000	-1,000	-1,000					
Porosity (%):	-31499000,0	-31499000,0	-31499000,0					

Project Name: Chanduy Inalterada Project Number: CHI

Checked By: \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_

Nota: Autoría Propia

### Figura 39

Muestra de suelo.



Nota: Autoría Propia

## Figura 40

Diagramas de esfuerzo cortante y esfuerzo normal.

### Direct Shear Test

ASTM D3080

#### Specimen 1

Test Description: Chanduy  
Other Associated Tests: No consolidado no drenado  
Device Details: HM 5750D  
Test Specification: Remoldeada  
Test Time: 22/5/2025  
Technician: UPSE  
Specimen Code: JM1  
Specimen Description: Arena mal graduada  
Specific Gravity: 2,67  
Plastic Limit: 0  
Test Remarks:

Sampling Method:  
Specimen Lab #: 1  
Liquid Limit: 0

#### Specimen 2

Test Description: Chanduy Inalterada  
Other Associated Tests: No consolidado no drenado  
Device Details: HM 5750D  
Test Specification: Inalterada  
Test Time: 22/5/2025  
Technician: UPSE  
Specimen Code: CH2  
Specimen Description: Arena mal graduada  
Specific Gravity: 2,67  
Plastic Limit: 0  
Test Remarks:

Sampling Method:  
Specimen Lab #: 2  
Liquid Limit: 0

#### Specimen 3

Test Description: Chanduy Inalterada  
Other Associated Tests: No consolidado no drenado  
Device Details: HM 5750D  
Test Specification: Inalterada  
Test Time: 22/5/2025  
Technician: UPSE  
Specimen Code: CH3  
Specimen Description: Arena Mal graduada  
Specific Gravity: 2,67  
Plastic Limit: 0  
Test Remarks:

Sampling Method:  
Specimen Lab #: 3  
Liquid Limit: 0

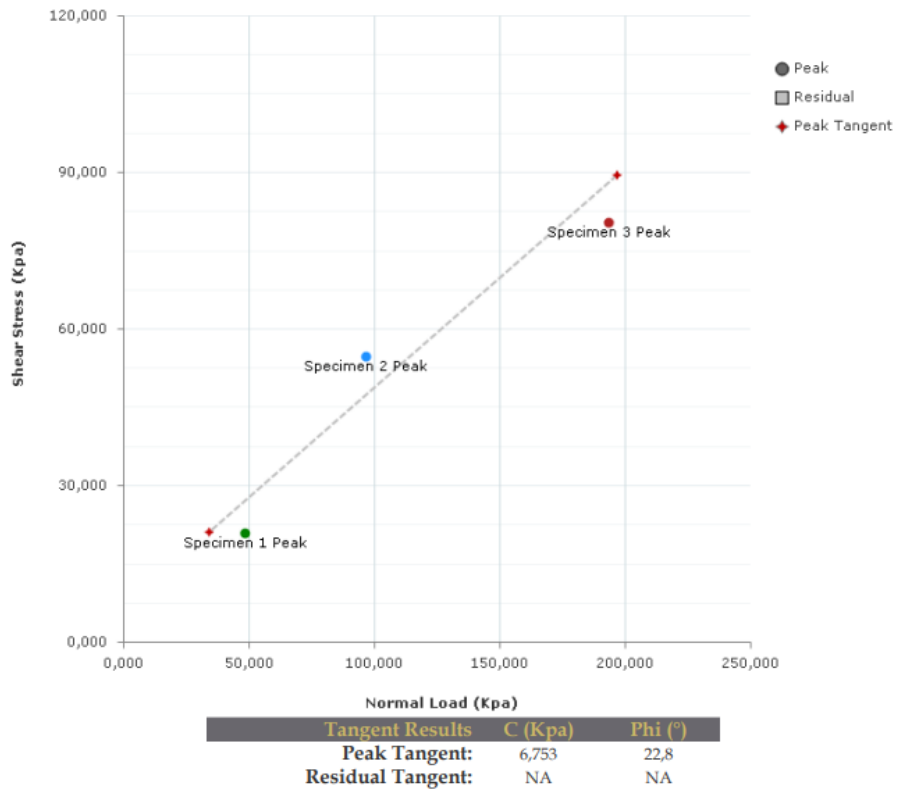
Nota: Autoría Propia

### Figura 41

Datos cohesión 6.73kpa y ángulo de fricción 22,8°.

#### Direct Shear Test - Shear Stress Vs. Normal Stress

ASTM D3080

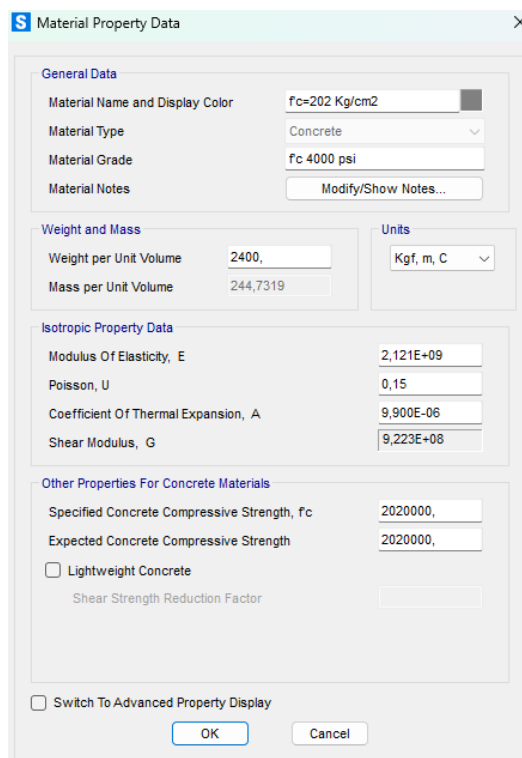


Nota: Autoría Propia

## ANALISIS ESTRUCTURAL DE RESERVORIO ELEVADO UBICADO EN MANANTIAL DE CHANDUY

El reservorio elevado estudiado, de acuerdo con el levantamiento arquitectónico hecho tiene las siguientes características, una altura final de 25,10 m tomado desde la base, el tanque elevado un diámetro de 4,91 m y una altura del tanque de 4,50 m, en su estructura de soporte cuenta con muros arco desde el nivel cero hasta el nivel 20,60 m con secciones huecas.

De acuerdo con la información obtenida mediante un ensayo de esclerometría la resistencia  $f'_c$  promedio del hormigón es de 180 kg/cm<sup>2</sup>, y el acero de refuerzo con una resistencia  $f_y$  de 4200 kg/cm<sup>3</sup>, todos estos datos son necesarios para realizar el análisis estructural en el software SAP2000, a continuación, se ingresan estos datos del hormigón y acero en el software mencionado.

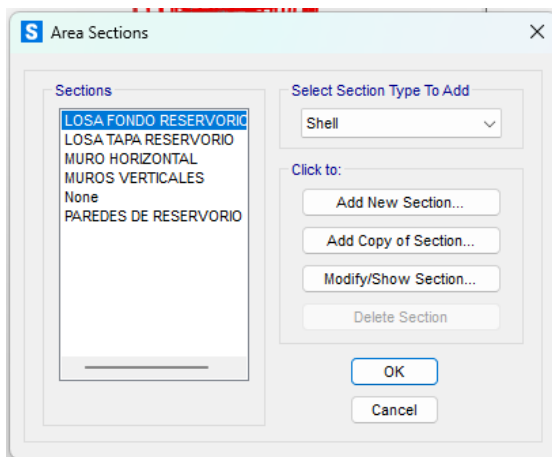


The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The dialog is organized into several sections:

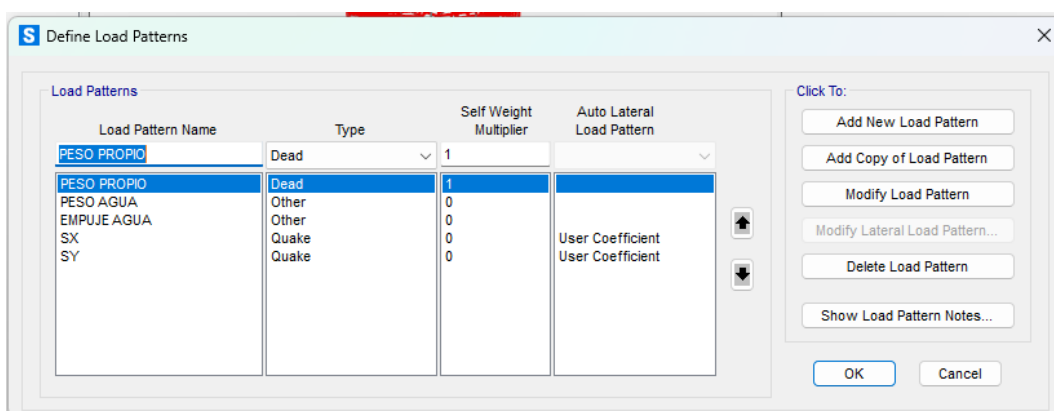
- General Data:** Material Name and Display Color (f'c=202 Kg/cm2), Material Type (Concrete), Material Grade (f'c 4000 psi), and Material Notes (Modify/Show Notes...).
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume (2400), Mass per Unit Volume (244,7319), and Units (Kg, m, C).
- Isotropic Property Data:** Modulus Of Elasticity, E (2,121E+09), Poisson, U (0,15), Coefficient Of Thermal Expansion, A (9,900E-06), and Shear Modulus, G (9,223E+08).
- Other Properties For Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub> (2020000), Expected Concrete Compressive Strength (2020000), and a checkbox for Lightweight Concrete (unchecked). The Shear Strength Reduction Factor field is disabled.
- Switch To Advanced Property Display:** A checkbox (unchecked) at the bottom.

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are located at the bottom of the dialog.

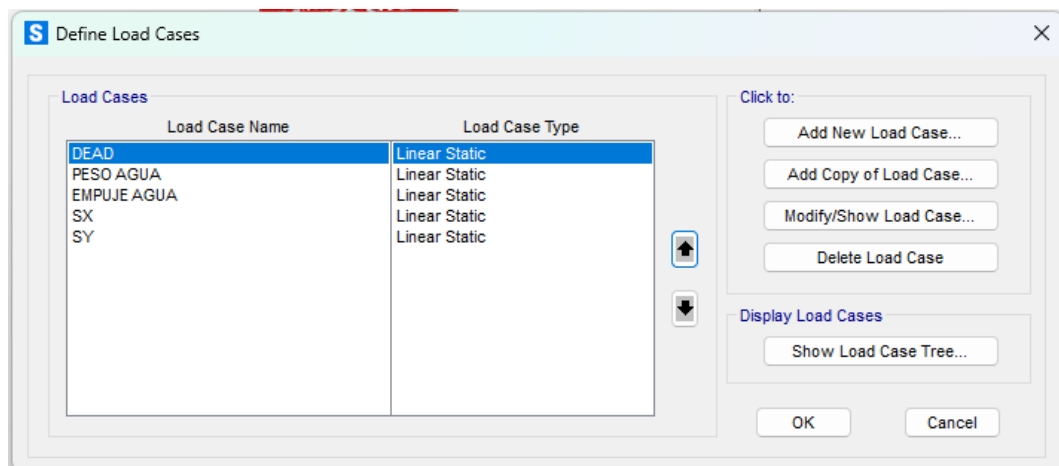
Luego se realiza la creación de los elementos estructurales o secciones como son llamadas en el software, como son los muros horizontales y verticales de soporte del tanque, también las paredes del tanque, y sus losas de fondo del tanque y de tapa respectivamente.



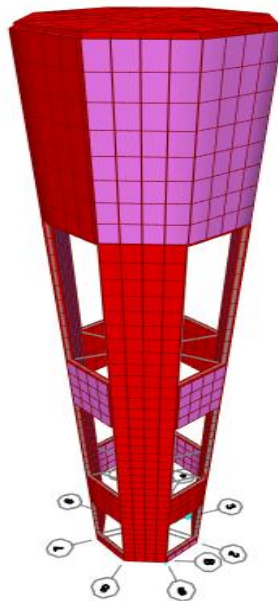
A continuación, se definen los patrones de carga aplicados en la estructura del reservorio elevado.



Se configuran los casos de carga a ejecutar en el modelo estructural.



Luego ya se realiza el modelado de la estructura de acuerdo con la forma detallada en el relevamiento arquitectónico y estructural, para un mejor análisis también es necesario realizar una discretización de sus elementos por lo cual se consideró una división en formas aproximadas de 60x60cm y tener resultados mas finitos.



Se asignan datos de la presión que ejerce el agua en las paredes del reservorio, desde la parte alta hasta la parte baja del tanque.

**S Assign Joint Pattern Data** [X]

General  
 Joint Pattern Name: EMPUJE DEL AGUA

Pattern Assignment Type  
 X, Y, Z Multipliers (Pattern Value = Ax + By + Cz + D)  
 Z Coordinate at Zero Pressure and Weight per Unit Volume

Pattern Value = Ax + By + Cz + D  
 Constant A: 0 1/m  
 Constant B: 0 1/m  
 Constant C: -1000 1/m  
 Constant D: 25100

Restrictions  
 Use All Values  
 Zero Negative Values  
 Zero Positive Values

Options  
 Add to Existing Values  
 Replace Existing Values  
 Delete Existing Values

Reset Form to Default Values  
 OK Close Apply

**S Assign Area Surface Pressure Loads** [X]

Load Pattern  
 Load Pattern: EMPUJE AGUA

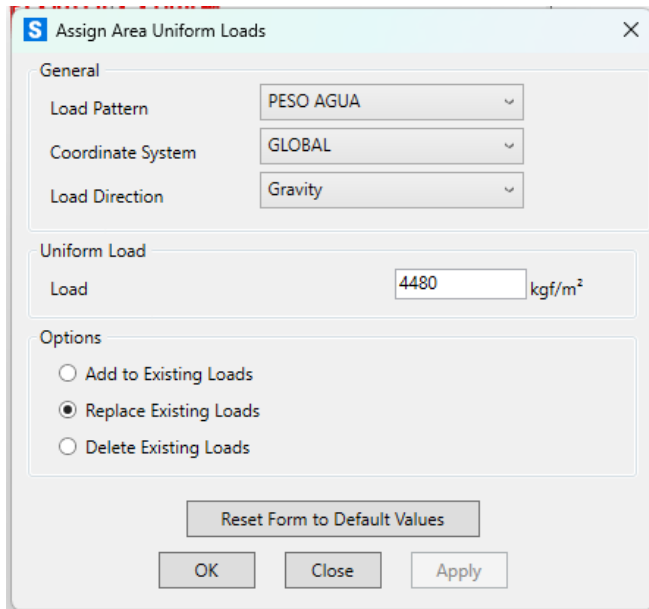
Loaded Face  
 Top  
 Bottom  
 Edge  
 Edge Face Number: [ ]

Pressure  
 By Element  
 Pressure: 1 kgf/m<sup>2</sup>  
 By Joint Pattern  
 Joint Pattern: [ ]  
 Multiplier: [ ]

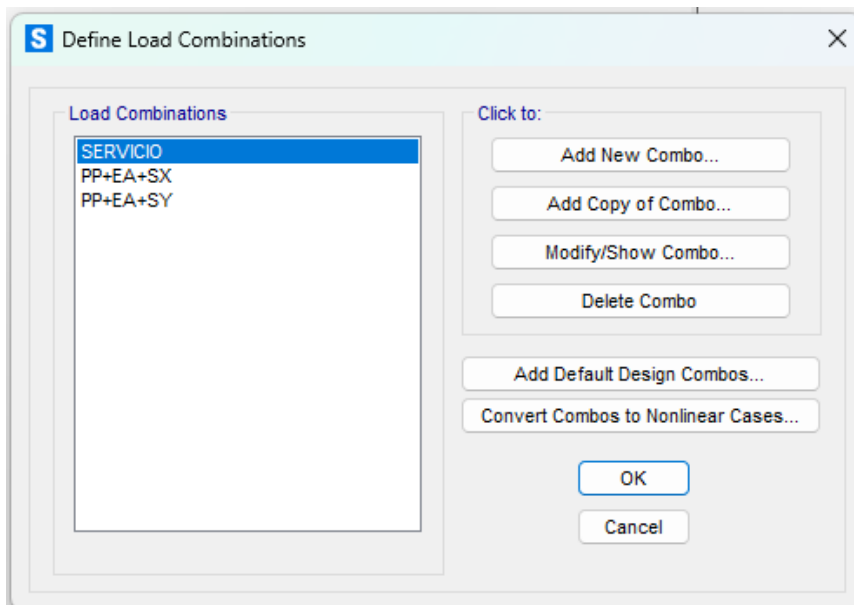
Options  
 Add to Existing Loads  
 Replace Existing Loads  
 Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values  
 OK Close Apply

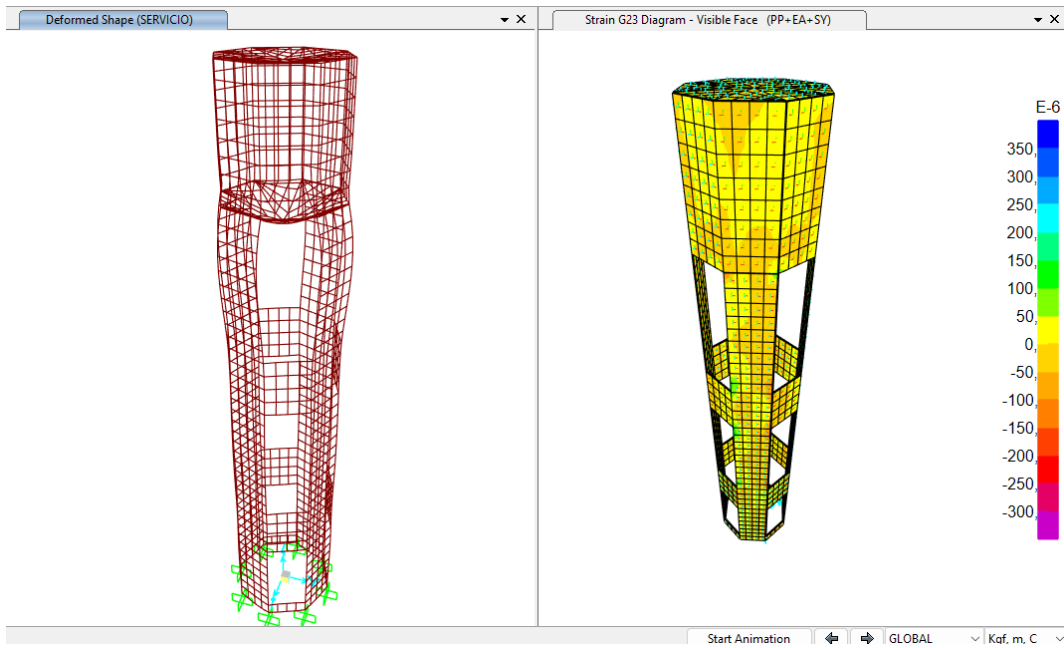
Después se aplica la carga ejercida por el agua en la losa de fondo del reservorio, con un valor de 4480,00 kg/m<sup>2</sup>, hallado con la división del volumen del agua almacenada sobre el área de la losa de fondo.



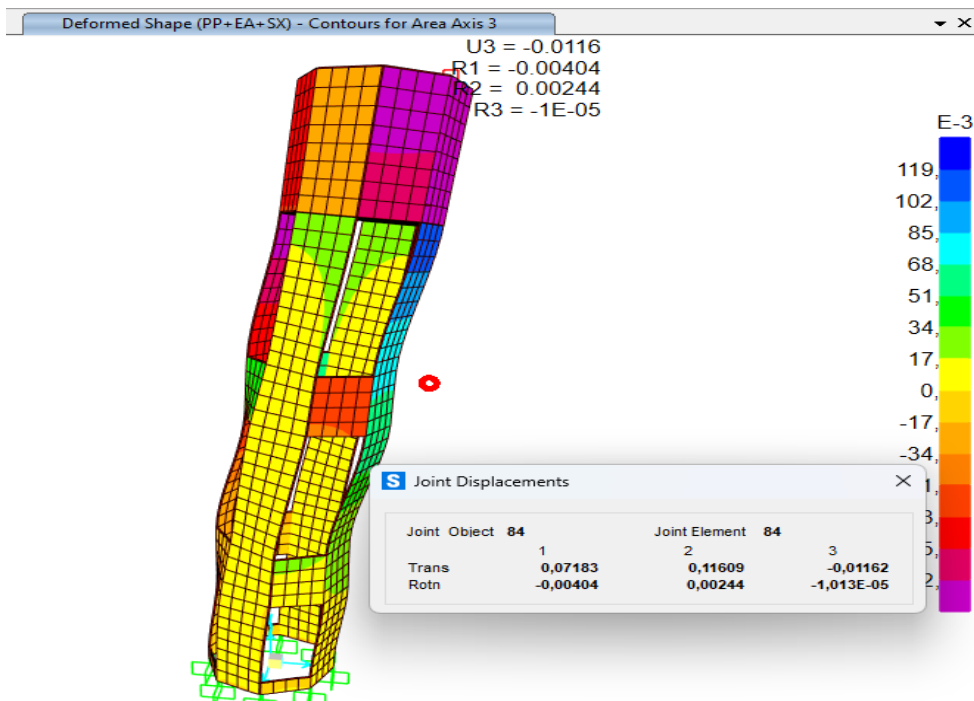
Se definen las combinaciones de carga incluida la aplicación de la carga de sismo en el sentido X y en el sentido Y.



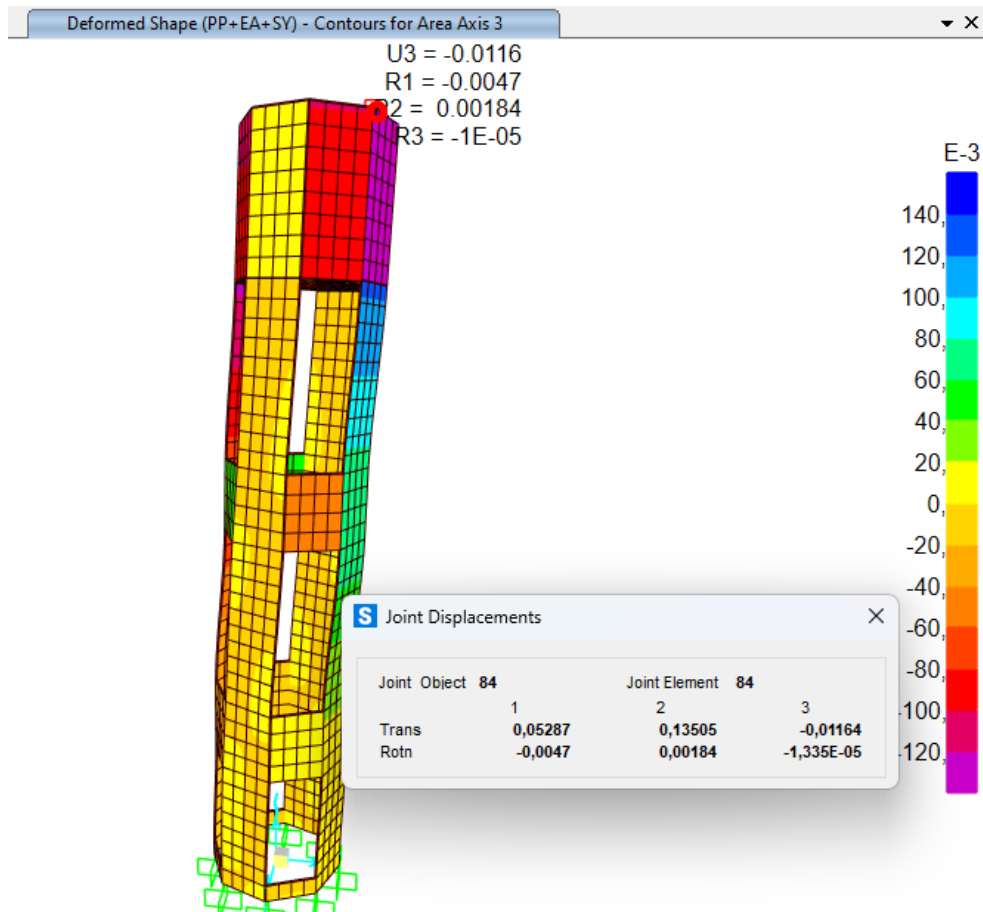
Se ejecuta el análisis del software para conocer las deformaciones, esfuerzos y momentos generados en el modelo estructural.



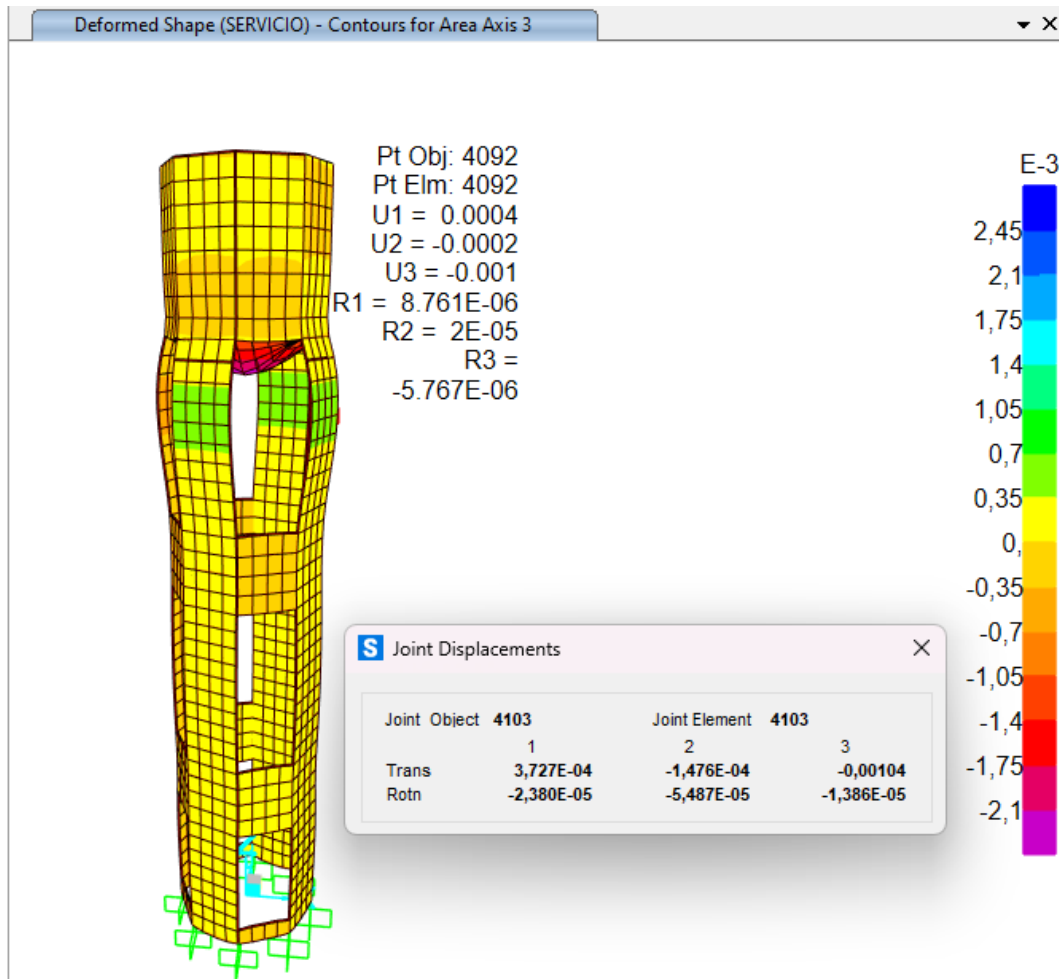
De acuerdo con los resultados obtenidos se realiza el análisis de las deformaciones obtenidas con la combinada aplicando el peso propio, el empuje del agua y el sismo en sentido x, se obtuvieron los siguientes resultados de los puntos más críticos:



De acuerdo con los resultados obtenidos se realiza el análisis de las deformaciones obtenidas con la combinada aplicando el peso propio, el empuje del agua y el sismo en sentido x, se obtuvieron los siguientes resultados de los puntos más críticos:



De acuerdo con los resultados obtenidos se realiza el análisis de las deformaciones obtenidas con la combinada aplicando el peso propio, el empuje del agua, se obtuvieron los siguientes resultados de los puntos más críticos:



#### 4.1.12. Deformaciones

La norma ecuatoriana de la construcción – Diseño sismo-resistente (NEC-se-DS, 2015); impone que el límite de las derivas de las estructuras de hormigón armado, metálicas, de madera es del 2 %.

El análisis estructural efectuado muestra que los puntos críticos son los desplazamientos de la parte superior de la estructura (zona del tanque) y cuando se ejerce la carga del sismo de diseño, se determina que la deformación es de 0.011 m; valor que cumple con los límites establecidos en la norma.

#### **4.1.13. Esfuerzos y momentos**

Se pudieron observar concentraciones de momentos flectores y esfuerzos cortantes en las conexiones existentes entre el depósito y los fustes de soporte. Las zonas críticas son precisamente las que tienen más tendencia a provocar grietas por flexión y cortante, y más si se tiene en cuenta el estado avanzado de deterioro del hormigón y la corrosión activa de las armaduras que se observaron en la inspección visual.

#### **4.1.14. Capacidad de la resistencia a la compresión**

Realizadas las pruebas de laboratorio para la determinación de la resistencia del concreto, a efectos de modelamiento estructural, se obtuvo una media de resistencia a compresión de aproximadamente 180 kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, mediante la prueba de esclerometría en algunas zonas y en distintas alturas, se registraron zonas con concreto pobre y valores de compresión de entre 144 y 157 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, los resultados demuestran que hay algunas zonas con resistencia que no cumplen con los valores mínimos exigidos por la NEC-2015 y los exigidos por el ACI 318-19.

En el ejercicio de la ingeniería estructural, se recomienda usar un concreto de resistencia mínima  $f'_c=28$  MPa (4000 psi) información que se urbaniza a las estructuras expuestas a condiciones de exposición del agua o de estructura con requerimientos severos, donde se exige una mayor durabilidad o control de la fisuración. Según la Tabla 19.3.2.1 del Capítulo 19 del ACI 318-19, para concreto de baja permeabilidad, el valor mínimo requerido de resistencia a compresión es  $f'_c = 28$  MPa ( $\approx 280$  kg/cm<sup>2</sup>).

## **Estado estructural general: SEVERAMENTE DETERIORADO – INESTABLE**

- Estado del hormigón: Baja resistencia media (157 a 221 kg/cm<sup>2</sup>), alta dispersión y zonas con valores extremos (mínimos <150 kg/cm<sup>2</sup>).
- Daños severos: Desprendimiento de hormigón de recubrimiento, corrosión activa, carbonatación profunda, fisuras estructurales.
- Riesgo de colapso: Alto, por la pérdida de sección estructural y posible fallo frágil en la base del depósito.
- Recomendaciones inaplazables: o Prohibir el acceso y vallado del mismo. o Instalación de señalización indicando “riesgo de colapso”.

Programación de su demolición controlada en caso de no apreciarse su refuerzo estructural completo.

### **4.1.15. DISCUSION DE RESULTADOS**

OG) El reservorio presenta deformaciones globales importantes que no se hacen evidentes en la estructura principal, especialmente en la parte superior donde radica el armado del tanque. Se muestra la falla con un alto grado de deterioro estructural, evidenciada con imágenes la existencia de patologías de grietas, fisuras, descaramiento del hormigón, oxidación de las armaduras e, incluso, desprendimiento parcial del hormigón en la cara interna del tanque, patología que se puede observar en la inspección con escáner de varillas realizada por el estructurista aplicándolo aun de forma no invasiva. Estas condiciones son la expresión de una alta peligrosidad estructural, con potencial de colapso parcial o total de la estructura en cualquier momento.

De manera complementaria, aquí se analiza la vida útil de la estructura, que fue erigida hace 30 años y dejó de ser utilizada aproximadamente hace 10 años. Durante este tiempo ningún tipo de mantenimiento se prestó a las estructuras,

aumentando el deterioro interno de la estructura y evitando que ésta alcanzara los 50 años de vida útil requeridos por normativa y estipulados como mínimo. Por lo tanto, los resultados demuestran que hay algunas zonas con resistencia que no cumplen con los valores mínimos exigidos por la NEC-2015 y los exigidos por el ACI 318-19.

En el ejercicio de la ingeniería estructural, se recomienda usar un concreto de resistencia mínima  $f'_c=28$  MPa (4000 psi) información que se urbaniza a las estructuras expuestas a condiciones de exposición del agua o de estructura con requerimientos severos, donde se exige una mayor durabilidad o control de la fisuración.

Dado que se habla de un reservorio se considera una obra prioritaria para el abastecimiento de agua potable a toda la población de Chanduy, la norma pide una vida útil aún mayor, que llegue hasta 75 años como mínimo para este tipo de infraestructura esencial

En cuanto al recubrimiento del acero de refuerzo, se midió un espesor de 4 cm, el cual se encuentra en una escala aceptable. Pero, no cumple con la exigencia mínima de 5 cm establecida por la normativa para estructuras expuestas a condiciones de humedad constante y contacto directo con agua, lo que incrementa el riesgo de corrosión de las armaduras., pero no ajustado a la exigencia mínima de 5 cm que estipula la norma para estructuras expuestas a condiciones de humedad constante y contacto directo con agua, lo que incrementa el riesgo de corrosión de las armaduras.

OE.1) En el cumplimiento por la norma ACI 318-19: La resistencia requerida mínima de lo exigido en la Tabla 19.3.2.1, es  $f'_c = 28$  Mpa. Capítulo 1, sección generalidades la estructura con los requisitos de seguridad y con la vida útil esperada debe ser de 50 años como mínimo y de 75- 100 años en infraestructura crítica. Además, el recubrimiento del acero son 50 mm exigidos por la Sección 20.6.1.3 del ACI de 5 cm en estructuras expuestas a humedad constante o contacto con agua.

Estas condiciones han acelerado el proceso de degradación del concreto, al punto que, tras 30 años de servicio, se observan daños físicos evidentes y un grado de deterioro severo.

OE.2) Aunque no se logró encontrar los planos estructurales con los que fue diseñado el reservorio debido a la pérdida de dicha información, según reportó el Departamento Municipal de Santa Elena. Se realizaron ensayos in situ para obtener parámetros estructurales que permitan su modelado. Entre las pruebas ejecutadas se incluye el ensayo de esclerometría, aplicado a cuatro muestras extraídas en distintas Alturas del reservorio. Los resultados obtenidos fueron :221kg/cm<sup>2</sup> ; 157 kg/cm<sup>2</sup> ; 200kg/cm<sup>2</sup> y 144kg/cm<sup>2</sup>, siendo estos valores inferiores a la resistencia a compresión mínima exigida(en el caso de los coeficientes de seguridad que corresponden a la resistencia a compresión mínima requerida,  $f'_c=280\text{kg/cm}^2$ , según la exigencia que estipula la norma ACI 318.

Del mismo modo, el ensayo de carbonatación confirmó la existencia de la carencia de color en los núcleos del producto extraído, hecho que muestra una elevada penetración del dióxido de carbono y la consiguiente pérdida de la alcalinidad por lo que se entiende que existe una reducción en la resistencia y, por tanto, en la capacidad de la mezcla para proteger el acero de refuerzo contra la corrosión, reduciendo así la durabilidad de la estructura.

OE.3) La modelización de la estructura en SAP2000 produjo un desplazamiento máximo de valor 1,1 cm, que satisface la exigencia de deriva máxima del 2 %, dado que para una altura total de 25,10 metros se permite un desplazamiento lateral de hasta 50 cm, lo cual se ubica dentro de los valores admisibles conforme a los criterios de diseño de estructuras que se recogen en la normativa en vigor.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

El reservorio no es apto para un mantenimiento porque previo realizar este proceso se analizó mediante los ensayos in-situ y adjunto evidencia de las imágenes actuales donde se describe una ficha técnica donde muestra un estudio con alto nivel severo de patología estructural que compromete significativamente su funcionalidad y seguridad. Esto debido que la edificación se encuentra en su etapa final de su vida útil por el aceleramiento del desprendimiento del concreto evidenciado en campo.

No cumple con los requisitos mínimos de calidad del material estructural ni con las condiciones de durabilidad exigidas por el ACEI 318. Ya que una la dosificación de la resistencia es bajo para estructura de tipo reservorio se recomienda diseñar con baja permeabilidad con una mínima  $f'_c = 28$  MPa, el recubrimiento para proteger de la corrosión del acero en condiciones que estén contacto con el agua y tierra es de 5 cm mínimo Sección 20.6.1.3. la vida útil de una estructura como mínima son 50 años, pero en vez de eso el proceso del deterioro estructural se aceleró en 30 años por dejarle dar mantenimiento hace 10 años atrás.

La prueba esclerometría algunas resistencias a la compresión son muy pobres (144 y 157) kg/cm<sup>2</sup> y otras resistencias son aceptable (221 y 2000) en promedio dio una resistencia súper baja de 180kg/cm<sup>2</sup> respecto de la norma considerando un  $f'_c = 280$  kg/cm<sup>2</sup>. esta baja resistencia también se da al determinar la presencia de dióxido de carbono en el concreto que origina la corrosión expande el acero, fisuras y despegues del concreto.

A la vez, los resultados de ensayo son coherentes con la ficha técnica con alto riesgo del colapso del reservorio. El problema principal no está en la unión estructural que se le fundamentó al reservorio, sino en la degradación del concreto, que en sí mismo no fue analizado bajo los diferentes factores ambientales que entran en juego en la durabilidad del mismo.

Las condiciones de intemperie, combinada con la falta de mantenimiento y el entorno en el que fue construida la estructura han acelerado el desgaste del material, comprometiendo su capacidad estructural con el paso del tiempo.

## **RECOMENDACIÓN**

El reservorio ha permanecido fuera de funcionamiento durante los últimos 10 años, por lo que no es viable implementar una rehabilitación directa o mantenimiento, ya que en ese periodo debieron realizarse inspecciones periódicas preventivos para conservar la estructura en condiciones aptas para este tipo de intervención. Además, al momento de elaborar la ficha técnica del estado de la edificación, se debió incluir un análisis más detallado de patologías secundarias, como la presencia de moho y eflorescencia, así como una evaluación más exhaustiva de cada elemento estructural, con el fin de obtener datos más específicos y representativos de la condición real de la estructura.

Se debe implementar un plan de mantenimiento preventivo estructural y monitoreo con inspecciones técnicas y pruebas no destructivas cada 2 años (esclerometría, ultrasonido, carbonatación), para detectar a tiempo fisuras, corrosión o pérdida de la rigidez estructural y así poder prolongar su funcionalidad a largo plazo. Este tipo de estructuras representa una prioridad fundamental en una obra de infraestructura, ya que su funcionalidad es vital para el abastecimiento de agua en la comunidad. Por ello, se debe exigir que cumpla rigurosamente con las disposiciones establecidas en las normativas ACI 318 y NEC 2015

Se recomienda realizar ensayos complementarios para reforzar el diagnóstico del mal estado de la estructura, tales como el ensayo de corrosión del acero mediante celda de cobre-sulfato de cobre, el cual permite medir la probabilidad de corrosión activa del acero de refuerzo. Asimismo, se sugiere aplicar ensayos de permeabilidad o absorción, que permiten determinar el grado de porosidad o filtración del concreto.

Estos ensayos son especialmente relevantes en estructuras como reservorios, que se encuentran en contacto constante con agua y están expuestas a variaciones climáticas

Se propone la rehabilitación del tanque elevado existente, utilizando productos SIKA, debido a la antigüedad que posee (50 años) y la baja resistencia del hormigón del que está construido ( $108 \text{ kg/cm}^2$ ) es baja. La intervención a desarrollar, debería considerar como primer paso una limpieza intensiva a la estructura, luego habría que seguir con la pasivación del acero con SIKA MONOTOP®-910 N, posteriormente la reparación del hormigón con SIKA MONOTOP®-412 S y la impermeabilización de la cara interna del mismo con SIKA TOP® SEAL 107. Para las zonas con problemáticas críticas, se añade la propuesta de un refuerzo con SIKA WRAP®-230 C y SIKADUR®-330, aunque condicionada a la verificación estructural previa, por último, se aplicaría SIKA GARD®-550 W Elastic como protección del exterior. La intervención aplicada garantizaría la restauración de la capacidad estructural del tanque y prolongar la vida útil, lo que a su vez facilitaría una operación más duradera del tanque elevado. De este modo no se recomienda su uso hasta finalizar toda la intervención.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva Ortega, M. D. D. (2019). *Determinación y evaluación de patologías del concreto en el reservorio del sistema de agua potable en la localidad de Cochaongo, distrito de Yungay, provincia de Yungay, región ancash* . Grado académico de bachiller en ingeniería civil.
- American Concrete Institute. (2019a). *ACI 562-19: Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures*. ACI.
- American Concrete Institute. (2019b). *CI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. . ACI.
- American Concrete Institute (ACI). (2023a). *ACI PRC-201.2-23: Guía de durabilidad del concreto*. Farmington Hills, MI: ACI.
- American Concrete Institute (ACI). (2023b). *ACI PRC-201.2-23: Guía de durabilidad del concreto*. . Farmington Hills, MI: ACI.
- ASTM C805 / C805M – 18. (2018). *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. ASTM International.
- Basset Salom, L. (2023). *Proceso de diagnóstico y técnicas de inspección en estructuras de hormigón* .  
<https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/cbd99e64-3a60-4ebd-9932-f7f0c6cd227e/content>
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design (5th ed.* McGraw-Hill.
- Brizuela Valenzuela, D. A. (2014). “*Las aristas o los bordes de la losa de base presentan rotura o pérdida de material en este proceso.*” Universidad Politécnica de Madrid.
- Cárdenas, M. (2018). *La importancia de impermeabilizar, la carbonatación del cemento....* Alchimica Building Chemicals.

- CJE Ingenieros SAC. (2024). *END – Ultrasonido*.  
<https://www.cjeingenieros.com/end-ultrasonido/>.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering (7th ed.)*. Cengage Learning.
- (EPA), U. S. E. P. A. (2002). *Finished Water Storage Facilities*. EPA United States Environmental Protection Agency.
- Guevara Patiño, R. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos?. *Folios Universidad Pedagógica Nacional*.
- López, O. A. (2014). *Guía para la evaluación de edificaciones existentes con fines de adecuación sísmica* (CAF-banco de desarrollo de América Latina, Ed.). Scioteca.
- Malhotra, V. M. , & C. N. J. (2004). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete (2nd ed.)*. RC Press.
- Mamani, S. L. I., & Rodriguez, M. S. K. (2024). *Propiedades físico-mecánicas del concreto  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en pavimentos rígidos con adición de fibras de polipropileno reciclado – Cusco*. Universidad Continental,.
- Mehta, P. K. , & M. P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education.
- Metzgar, V. B. & C. (2001). *Tech Brief – Reservoirs, Towers and Tanks, Drinking water storage facilities*". Reservoirs, Towers, and Tanks – Drinking Water Storage Facilities de Bhardwaj y Metzgar.
- Neville, A. M. (2011). *Propiedades del concreto* (H. I. Pearson Education, Ed.; 5ta ed.). Pearson Real Academia de Ingeniería.
- Neville, A. M. (2013). *Propiedades del concreto (5.a ed.)*. Pearson Educación.

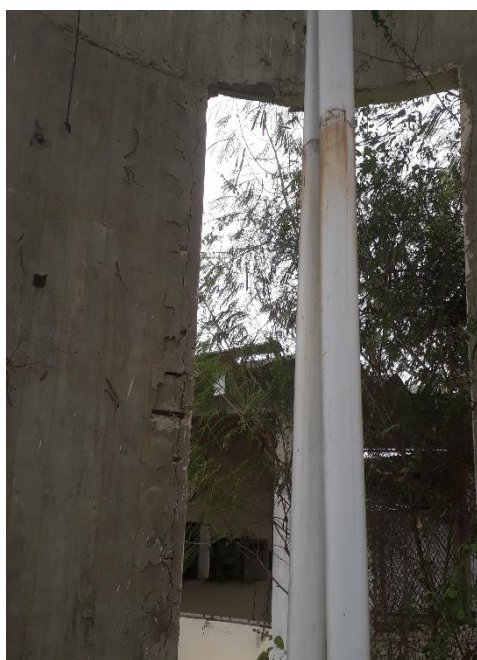
- Neville, A. M. M. P. K. , & M. P. J. M. (2011). *Properties of Concrete (5th ed.)*  
*,Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (4th ed.)*.
- ONU. (2025). *Agua limpia y saneamiento metas del objetivo 6* . Naciones Unidas  
 En Ecuador. <https://ecuador.un.org/es/sdgs/6>
- SACOSI. (2011). *Reparación de fisuras estructurales en TASA Planta Végueta*.  
<https://www.sacosi.com/Reparacion-de-Fisuras-Estructurales-En-Tasa-Planta-Vegueta/>.
- Shendkar, M. R., Tantri, A., & Rao, A. U. (2025). Evaluación sísmica y modernización de estructuras de concreto reforzadas. *J Infraestructo Preservar Resil* 6, 2.
- Skalomenos, K., Chen, D., Lin, X., & et al. (2025). Evaluación de vulnerabilidad sísmica basada en la física del envejecimiento de las acciones de construcción a escala de la ciudad. *Boletín de Ingeniería Sísmica*.
- Soto, M. A. (2015). *Patología y rehabilitación de estructuras de concreto armado*.  
 Limusa.
- Tena-Colunga, A. (2024). Resiliencia sísmica de sistemas estructurales con base en metodologías prácticas de diseño para los objetivos de ocupación inmediata y pronta recuperación. In *Conferencia Magistral, XXIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*.
- Vecteezy. (2024). *Asian female engineer using walkie talkie at construction site standing near the concrete road, highway bridge [Video]*.  
<https://www.vecteezy.com/video/45981930-Asian-Female-Engineer-Using-Walkie-Talkie-at-Construction-Site-Standing-near-the-Concrete-Road-Highway-Bridge>.
- Villa Morales, I. , & M. A. (2022). Influencia de la fibra de acero reciclada en la resistencia a la compresión de bloques de concreto. . *Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ingeniería, México*.

- Alva Ortega, M. D. D. (2019). *Determinación y evaluación de patologías del concreto en el reservorio del sistema de agua potable en la localidad de Cochaongo, distrito de Yungay, provincia de Yungay, región ancash* . Grado académico de bachiller en ingeniería civil.
- American Concrete Institute. (2019a). *ACI 562-19: Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures*. ACI.
- American Concrete Institute. (2019b). *CI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. . ACI.
- American Concrete Institute (ACI). (2023a). *ACI PRC-201.2-23: Guía de durabilidad del concreto*. Farmington Hills, MI: ACI.
- American Concrete Institute (ACI). (2023b). *ACI PRC-201.2-23: Guía de durabilidad del concreto*. . Farmington Hills, MI: ACI.
- ASTM C805 / C805M – 18. (2018). *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. ASTM International.
- Basset Salom, L. (2023). *Proceso de diagnóstico y técnicas de inspección en estructuras de hormigón* .  
<https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/cbd99e64-3a60-4ebd-9932-f7f0c6cd227e/content>
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design (5th ed.* McGraw-Hill.
- Brizuela Valenzuela, D. A. (2014). “*Las aristas o los bordes de la losa de base presentan rotura o pérdida de material en este proceso.*” Universidad Politécnica de Madrid.
- Cárdenas, M. (2018). *La importancia de impermeabilizar, la carbonatación del cemento....* Alchimica Building Chemicals.
- CJE Ingenieros SAC. (2024). *END – Ultrasonido* .  
<https://www.cjeingenieros.com/End-Ultrasonido/> .

- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering (7th ed.)*. Cengage Learning.
- (EPA), U. S. E. P. A. (2002). *Finished Water Storage Facilities*. EPA United States Environmental Protection Agency.
- Guevara Patiño, R. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos?. *Folios Universidad Pedagógica Nacional*.
- López, O. A. (2014). *Guía para la evaluación de edificaciones existentes con fines de adecuación sísmica* (CAF-banco de desarrollo de América Latina, Ed.). Scioteca.
- Malhotra, V. M. , & C. N. J. (2004). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete (2nd ed.)*. RC Press.
- Mamani, S. L. I., & Rodriguez, M. S. K. (2024). *Propiedades físico-mecánicas del concreto  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en pavimentos rígidos con adición de fibras de polipropileno reciclado – Cusco*. Universidad Continental,.
- Mehta, P. K. , & M. P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education.
- Metzgar, V. B. & C. (2001). *Tech Brief – Reservoirs, Towers and Tanks, Drinking water storage facilities*". Reservoirs, Towers, and Tanks – Drinking Water Storage Facilities de Bhardwaj y Metzgar.
- Neville, A. M. (2011). *Propiedades del concreto* (H. I. Pearson Education, Ed.; 5ta ed.). Pearson Real Academia de Ingeniería.
- Neville, A. M. (2013). *Propiedades del concreto (5.a ed.)*. Pearson Educación.
- Neville, A. M. M. P. K. , & M. P. J. M. (2011). *Properties of Concrete (5th ed.) ,Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (4th ed.)*.

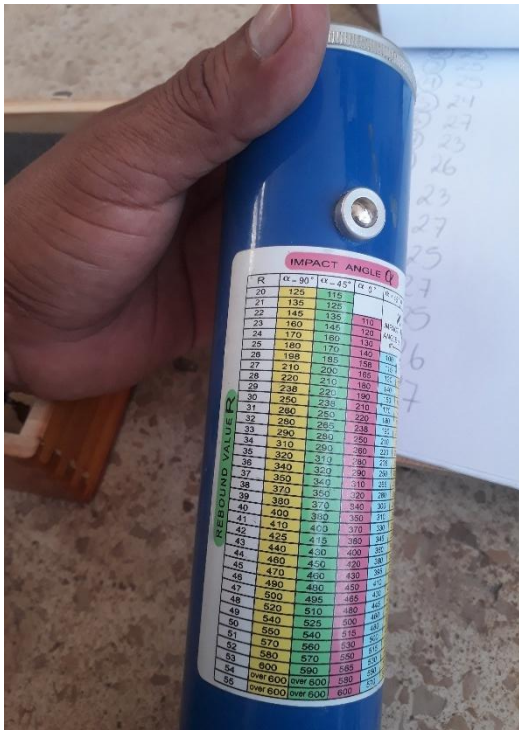
- ONU. (2025). *Agua limpia y saneamiento metas del objetivo 6* . Naciones Unidas En Ecuador. <https://ecuador.un.org/es/sdgs/6>
- SACOSI. (2011). *Reparación de fisuras estructurales en TASA Planta Végueta*. <https://www.sacosi.com/Reparacion-de-Fisuras-Estructurales-En-Tasa-Planta-Vegueta/>.
- Shendkar, M. R., Tantri, A., & Rao, A. U. (2025). Evaluación sísmica y modernización de estructuras de concreto reforzadas. *J Infraestructo Preservar Resil* 6, 2.
- Skalomenos, K., Chen, D., Lin, X., & et al. (2025). Evaluación de vulnerabilidad sísmica basada en la física del envejecimiento de las acciones de construcción a escala de la ciudad. *Boletín de Ingeniería Sísmica*.
- Soto, M. A. (2015). *Patología y rehabilitación de estructuras de concreto armado*. Limusa.
- Tena-Colunga, A. (2024). Resiliencia sísmica de sistemas estructurales con base en metodologías prácticas de diseño para los objetivos de ocupación inmediata y pronta recuperación. In *Conferencia Magistral, XXIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*.
- Vecteezy. (2024). *Asian female engineer using walkie talkie at construction site standing near the concrete road, highway bridge [Video]*. <https://www.vecteezy.com/video/45981930-Asian-Female-Engineer-Using-Walkie-Talkie-at-Construction-Site-Standing-near-the-Concrete-Road-Highway-Bridge>.
- Villa Morales, I. , & M. A. (2022). Influencia de la fibra de acero reciclada en la resistencia a la compresión de bloques de concreto. . *Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ingeniería, México*.

## ANEXOS









REBOUND VALUE	IMPACT ANGLE (°)		
	90°	45°	90°
20	126	116	106
21	135	125	115
22	145	135	125
23	156	146	136
24	170	160	150
25	180	170	160
26	198	185	175
27	210	195	185
28	220	210	195
29	238	225	210
30	250	240	220
31	260	250	230
32	280	265	245
33	290	285	255
34	310	295	270
35	320	310	280
36	340	320	295
37	350	340	310
38	370	350	320
39	380	370	340
40	400	380	350
41	410	400	370
42	425	415	380
43	440	430	400
44	460	450	420
45	470	460	430
46	490	480	450
47	500	495	465
48	520	510	480
49	540	525	500
50	550	540	515
51	570	550	530
52	580	570	550
53	600	590	565
54	over 600	over 600	580
55	over 600	over 600	600













