



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LARGO PLAZO DE ELEMENTOS
DE CONCRETO ARMADO EXPUESTOS A CONDICIONES
AMBIENTALES ADVERSAS.**

TUTOR

MGTR. LUIS FERNANDO VILLAVICENCIO CAVERO.

AUTORES

RENÉ ALFONSO BARRERA TOSCANO

JORDY JOEL MORA SUAREZ

GUAYAQUIL

2024

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Análisis de la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado expuestos a condiciones ambientales adversas.	
AUTOR/ES: Barrera Toscano Rene Alfonso Mora Suárez Jordy Joel	TUTOR: Ing. Luis Fernando Villavicencio Cavero
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil
FACULTAD: INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION	CARRERA: INGENIERIA CIVIL
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2024	N. DE PÁGS: 112
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y construcción	
PALABRAS CLAVE: Hormigón armado; durabilidad; corrosión; ambiente; mantenimiento.	
RESUMEN: El presente estudio aborda el análisis de la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado expuestos a condiciones ambientales adversas. El objetivo principal es identificar los factores críticos que afectan la durabilidad de estas estructuras. La metodología emplea un enfoque mixto que integra métodos cuantitativos y cualitativos. Los métodos cuantitativos se centran en medir tasas de deterioro y evaluar la eficacia de técnicas de mitigación a través de datos precisos, mientras que el componente cualitativo explora experiencias y decisiones de profesionales en diseño y mantenimiento de estructuras. Los principales resultados destacan que la humedad compromete la resistencia estructural facilitando la carbonatación y la corrosión del acero de refuerzo. La implementación de inhibidores de corrosión y el uso de aditivos como microsílíce y fibras de polímero muestran ser efectivos en mejorar la durabilidad del concreto. Las prácticas de mantenimiento preventivo y el uso de tecnologías avanzadas como sensores incrustados son esenciales para prolongar la vida útil del concreto armado. La conclusión resalta que la adopción de un enfoque integral que incluya	

mejoras en el material y mantenimiento continuo es crucial para mejorar la resistencia a largo plazo del concreto armado en condiciones adversas.

N. DE REGISTRO (en base de datos):

N. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (Web):

ADJUNTO PDF:

SI

NO

CONTACTO CON AUTOR/ES:

Barrera Toscano Rene Alfonso
Mora Suárez Jordy Joel

Teléfono:

+593 958971774

+593 982782265

E-mail:

rbarrerat@ulvr.edu.ec

jmorasu@ulvr.edu.ec

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:

PhD. Marcial Calero Amores

Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241

E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec

Mgtr. Jorge Torres Rodríguez

Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 242

E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec

CERTIFICADO DE SIMILITUD

TESIS BARRERA RENE Y MORA JORDY (PLAGIO).pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.dspace.espol.edu.ec

Fuente de Internet

1%

2

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.upse.edu.ec

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado



Firmado electrónicamente por:
LUIS FERNANDO
VILLAVICENCIO
CAVERO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados Rene Alfonso Barrera Toscano Y Jordy Joel Mora Suarez, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, **ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LARGO PLAZO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO EXPUESTOS A CONDICIONES AMBIENTALES ADVERSAS**, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)



Firma:

RENE ALFONSO BARRERA TOSCANO

C.I. 1250610175



Firma:

JORDY JOEL MORA SUÁREZ

C.I. 0951016302

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LARGO PLAZO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO EXPUESTOS A CONDICIONES AMBIENTALES ADVERSAS**, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de ingeniería, industria y construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: **Análisis de la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado expuestos a condiciones ambientales adversas**, presentado por los estudiantes RENE ALFONSO BARRERA TOSCANO Y JORDY JOEL MORA SUÁREZ como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.



Firmado electrónicamente por:
LUIS FERNANDO
VILLAVICENCIO
CAVERO

Firma:

Ing. Luis Fernando Villavicencio Caveró, Mtr.

C.C. 0920174026

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo y aliento a lo largo de este proceso. Su amor incondicional, paciencia y sacrificio han sido fundamentales para alcanzar este logro. A mis hermanos, gracias por su comprensión, aliento y por estar siempre presentes en los momentos más importantes.

A mi novia, mi agradecimiento más profundo por su constante apoyo, comprensión y motivación. Tu fe en mí y tu paciencia han sido invaluable para superar los desafíos que encontré en el camino.

A todos ustedes, les debo mucho más de lo que las palabras pueden expresar. Este logro es tan suyo como mío.

Rene Alfonso Barrera Toscano.

Antes que todo, agradezco a Dios por poder cumplir con mis metas y aprender más sobre mis estudios universitarios.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos en todos estos años de estudios, gracias por a ustedes que me dan aliento hemos logrado llegar hasta aquí y ser mejores cada día.

A mi pequeño hogar, mi novia y hijo por ser parte de este sacrificio ya que día a día me animaban para ser mejor persona para ustedes.

A mis amigos que creen en mí en lo capaz que puedo lograr a cumplir mis sueños.

A todas las personas que me apoyaron para poder realizar este trabajo con éxito en especial a los que nos ayudaron y compartieron conocimientos sobre el tema.

Jordy Joel Mora Suárez

DEDICATORIA

*A mi madre, Elsia Toscano, por acompañarme en cada
paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y
profesional.*

*También se la dedico a mi padre Pedro Barrera, desde el
cielo eres esa luz que me daba fuerzas para continuar.*

*A mis hermanos, por todo su apoyo incondicional, espero
les sirva de ejemplo de que todo se puede lograr. Dios los
bendiga siempre.*

Rene Alfonso Barrera Toscano.

Dedico esta tesis con todo mi amor y gratitud a mis padres, mi novia, mi hijo y mi familia, en especial a mi madre Nelly Suárez, pues sin ella no lo había logrado. El esfuerzo y sacrificio para brindarme todo el amor, comprensión, apoyo incondicional, momentos juntos y sobre todo en mis estudios universitarios. Por eso doy todo mi trabajo como recompensa de toda tu paciencia y amor por mí, Te Amo Mamá.

Jordy Joel Mora Suárez

RESUMEN

El presente estudio aborda el análisis de la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado expuestos a condiciones ambientales adversas. El objetivo principal es identificar los factores críticos que afectan la durabilidad de estas estructuras. La metodología emplea un enfoque mixto que integra métodos cuantitativos y cualitativos. Los métodos cuantitativos se centran en medir tasas de deterioro y evaluar la eficacia de técnicas de mitigación a través de datos precisos, mientras que el componente cualitativo explora experiencias y decisiones de profesionales en diseño y mantenimiento de estructuras. Los principales resultados destacan que la humedad compromete la resistencia estructural facilitando la carbonatación y la corrosión del acero de refuerzo. La implementación de inhibidores de corrosión y el uso de aditivos como microsílíce y fibras de polímero muestran ser efectivos en mejorar la durabilidad del concreto. Las prácticas de mantenimiento preventivo y el uso de tecnologías avanzadas como sensores incrustados son esenciales para prolongar la vida útil del concreto armado. La conclusión resalta que la adopción de un enfoque integral que incluya mejoras en el material y mantenimiento continuo es crucial para mejorar la resistencia a largo plazo del concreto armado en condiciones adversas.

Palabras Claves: Hormigón armado; durabilidad; corrosión; ambiente; mantenimiento.

ABSTRACT

The present study addresses the analysis of the long-term resistance of reinforced concrete elements exposed to adverse environmental conditions. The main objective is to identify the critical factors that affect the durability of these structures. The methodology uses a mixed approach that integrates quantitative and qualitative methods. Quantitative methods focus on measuring deterioration rates and evaluating the effectiveness of mitigation techniques through accurate data, while the qualitative component explores experiences and decisions of professionals in the design and maintenance of structures. The main results highlight that moisture compromises the structural resistance by facilitating the carbonation and corrosion of the reinforcing steel. The implementation of corrosion inhibitors and the use of additives such as microsilicate and polymer fibers show that they are effective in improving the durability of concrete. Preventive maintenance practices and the use of advanced technologies such as embedded sensors are essential to extend the useful life of reinforced concrete. The conclusion highlights that the adoption of a comprehensive approach that includes improvements in material and continuous maintenance is crucial to improve the long-term resistance of reinforced concrete in adverse conditions.

Keywords: Reinforced concrete - durability- corrosion- environment- maintenance.

ÍNDICE GENERAL

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	ii
CERTIFICADO DE SIMILITUD.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES..	v
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
ENFOQUE DE LA PROPUESTA	3
1.1 Tema	3
1.2 Planteamiento del Problema.....	3
1.3 Formulación del Problema.....	5
1.4 Objetivo General.....	5
1.5 Objetivos Específicos	5
1.6 Idea a Defender.....	6
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO REFERENCIAL	7
2.1 Marco Teórico:	7
2.1.1 Antecedentes	7
2.2 Fundamento teórico.....	9
2.2.1 Concreto Armado.....	9
2.2.2 Condiciones Ambientales Adversas y su Impacto en el Concreto .	14
2.2.4 Inhibidores de Corrosión y Aditivos Especiales.....	30

2.3 MARCO LEGAL.....	37
CAPÍTULO III.....	42
MARCO METODOLÓGICO.....	42
3.1 Enfoque de la investigación:.....	42
3.2 Alcance de la investigación:	43
3.3 Justificación del Enfoque Correlacional.....	43
3.4 Desarrollo de la Investigación Correlacional	44
3.5 Técnica e instrumentos para obtener los datos	44
3.5.1 Técnica: Ensayos de Laboratorio.....	45
3.5.2 Técnica: Experimento	45
3.5.3 Técnica: Estudio de Caso	45
3.6 Población y muestra.....	46
3.6.1 Población	46
3.6.2 Muestra	47
3.6.2 Tipo de Muestreo Representativo	48
CAPÍTULO IV	49
PROPUESTA O INFORME	49
4.1 Presentación y análisis de resultados	49
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Línea de investigación institucional	6
Tabla 2. Cargo o Puesto	57
Tabla 3. Años de experiencia en el sector	58
Tabla 4. Tipo de estructura	59
Tabla 5. Edad de la estructura	60
Tabla 6. Condiciones Ambientales	61
Tabla 7. Tipo de Deterioro	62
Tabla 8. Evaluación De La Resistencia	63
Tabla 9. Medidas de mantenimiento	64
Tabla 10. Uso de Aditivos	65
Tabla 11. Impacto de Aditivos	66
Tabla 12. Suficiencia de Prácticas	67
Tabla 13. Recomendación de Prácticas	68
Tabla 14. Ensayo de resistencia	70
Tabla 15. Ensayo de la columna c1	73
Tabla 16. Ensayo columna c2	74
Tabla 17. Ensayo de columna c3	75
Tabla 18. Ensayo de columna c 4	76
Tabla 19. Ensayo de la Columna C-5	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cargo o Puesto	58
Figura 2. Años de experiencia	59
Figura 3. Tipo de Estructura	60
Figura 4. Edad de la estructura.....	61
Figura 5. Condiciones Ambientales.....	62
Figura 6. Tipo de Deterioro.....	63
Figura 7. Evaluación de la resistencia	64
Figura 8. Medidas de mantenimiento.....	65
Figura 9. Uso de aditivos	66
Figura 10. Impacto de Aditivos.....	67
Figura 11. Suficiencia de Prácticas	68
Figura 12. Recomendación de Prácticas.....	69
Figura 13. Esquemas para el ensayo de la columna 1	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Extracción del núcleo.....	86
Anexo 2. Ubicación del taladro	87
Anexo 3. Prueba de Esclerometría.....	88
Anexo 4. Equipo de prueba de resistencia	89
Anexo 5. Núcleo del concreto	90
Anexo 6. Taladro saca muestra	91
Anexo 7. Resultados de resistencia a compresión.....	92
Anexo 8. Resultado del esclerómetro columna c-1 y determinación de la carbonatación en hormigón.....	93
Anexo 9. Resultado del esclerómetro columna c-2 y c-3.....	94
Anexo 10. Resultado del esclerómetro columna c-4 y c-5	95

INTRODUCCIÓN

La durabilidad y resistencia de los elementos de concreto armado bajo condiciones ambientales adversas es un tema de gran relevancia en la ingeniería civil, particularmente en el contexto de la sostenibilidad y la seguridad de infraestructuras críticas. El concreto armado, una amalgama de concreto y acero, se encuentra en el corazón de muchas estructuras modernas, desde edificios residenciales y comerciales hasta puentes y represas. Sin embargo, su integridad estructural puede verse comprometida bajo la influencia de condiciones ambientales severas, lo que plantea desafíos significativos en términos de mantenimiento y longevidad.

Este estudio se enfoca en una evaluación técnica detallada de los mecanismos de deterioro que afectan al concreto armado en ambientes hostiles. Entre estos mecanismos, la carbonatación del concreto, un proceso químico donde el dióxido de carbono reacciona con los hidróxidos en el concreto para formar carbonatos, reduce el pH del concreto, comprometiendo la pasivación del acero de refuerzo y acelerando la corrosión. Además, la presencia de cloruros, especialmente en zonas costeras o en regiones donde se utilizan sales para el control de hielo, puede provocar la corrosión por picaduras del acero, un fenómeno localizado que resulta en la pérdida de sección transversal del refuerzo y reduce su capacidad de carga.

Otro factor crítico es la reacción álcali-sílice (RAS), donde los álcalis en el concreto reaccionan con ciertas formas de sílice en los agregados, generando un gel expansivo que puede causar fisuras y daños estructurales. Este fenómeno es especialmente preocupante en estructuras sujetas a ciclos de humectación y secado o en ambientes con alta humedad.

Para abordar estos desafíos, se exploran estrategias avanzadas en diseño y selección de materiales. Esto incluye el uso de concretos de alto desempeño (CAD) con adiciones minerales como cenizas volantes, escoria de alto horno, o metacaolín, que no solo mejoran la densidad y reducen la permeabilidad del concreto, sino que también pueden mitigar la RAS y la carbonatación. Además, el empleo de aceros inoxidables o recubrimientos protectores para el acero de refuerzo puede ser efectivo contra la corrosión.

En términos de diseño estructural, la consideración de factores adicionales de seguridad y la inclusión de barreras físicas o químicas para proteger contra la penetración de agentes corrosivos son esenciales. Además, el diseño debe incorporar un drenaje eficiente y considerar la dilatación térmica y las contracciones para prevenir fisuras inducidas por el estrés.

El monitoreo continuo y las inspecciones regulares son fundamentales para detectar signos tempranos de deterioro. La implementación de tecnologías como sensores incrustados para el monitoreo de la corrosión, la humedad y las grietas, así como técnicas no destructivas de evaluación, como la tomografía de resistividad eléctrica y la termografía, son esenciales para una gestión proactiva de la salud estructural.

Finalmente, la investigación continua en el campo de los materiales avanzados, como los concretos auto reparadores o los compuestos de fibra de vidrio, ofrece promesas para futuras aplicaciones en entornos adversos. Estas innovaciones podrían revolucionar la forma en que se diseñan, construyen y mantienen las estructuras de concreto armado, asegurando su resiliencia y funcionalidad a largo plazo.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema

Análisis de la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado expuestos a condiciones ambientales adversas.

1.2 Planteamiento del Problema

El concreto armado es un material ampliamente utilizado en la construcción debido a su resistencia y durabilidad. Sin embargo, cuando se expone a condiciones ambientales adversas, como la exposición a la sal, la humedad, las temperaturas extremas y los productos químicos, puede experimentar una degradación significativa a lo largo del tiempo.

La provincia de Santa Elena, situada en la región costera de Ecuador, se enfrenta a desafíos significativos, relacionados con la durabilidad y resistencia a largo plazo, de las estructuras de concreto armado, expuestas a condiciones ambientales extremas.

La combinación de la brisa marina, la alta salinidad del aire y del suelo, así como la constante amenaza de la erosión costera, plantea interrogantes críticos sobre la capacidad de las construcciones para resistir el deterioro y mantener la integridad estructural a lo largo del tiempo.

A pesar de los avances en tecnología de materiales y técnicas de construcción, la falta de un entendimiento holístico de los mecanismos específicos de deterioro, en este entorno costero ha dado lugar a limitaciones significativas en la efectividad de las estrategias de protección y mantenimiento existentes.

La resistencia y durabilidad del concreto armado son vitales para la integridad estructural y la vida útil de las estructuras de concreto. Sin embargo, en condiciones ambientales adversas, estos elementos pueden experimentar una serie de

problemas, como la corrosión del acero de refuerzo, la disolución y lixiviación de los componentes del concreto, la formación de productos de corrosión expansivos y la fisuración, que pueden comprometer su resistencia y durabilidad a largo plazo.

La calidad del concreto utilizado en la construcción es uno de los factores que influyen en la resistencia a largo plazo. Un concreto de alta calidad, con la proporción adecuada de cemento, agregados y agua, puede ser más resistente a las condiciones ambientales adversas.

De acuerdo a Pérez (2015), el diseño estructural también juega un papel crucial en la resistencia a largo plazo de los elementos de concreto armado. Un diseño adecuado, que tenga en cuenta las cargas y las condiciones ambientales a las que estará expuesto el concreto armado, puede contribuir a su durabilidad.

La protección y el mantenimiento adecuados son fundamentales para preservar la resistencia a largo plazo de los elementos de concreto armado expuestos a condiciones adversas. Esto puede incluir la aplicación de recubrimientos protectores, la limpieza regular y la reparación de posibles daños.

Es importante tener en cuenta que la resistencia a largo plazo puede variar según el contexto y las características específicas del proyecto de construcción.

La calidad del concreto, junto con un diseño estructural cuidadoso, es crucial para la durabilidad a largo plazo de estructuras sometidas a condiciones ambientales adversas.

La selección de una mezcla de concreto adecuada, que equilibre cemento, agregados y agua, resulta esencial para resistir estos desafíos. Asimismo, el diseño estructural debe contemplar las cargas esperadas y el entorno específico de la estructura.

Además, para mantener la integridad del concreto armado, es fundamental una protección y mantenimiento constantes, incluyendo la aplicación de recubrimientos y reparaciones periódicas. Estas prácticas son decisivas para

preservar la resistencia y funcionalidad de las estructuras a lo largo del tiempo, adaptándose a las particularidades de cada proyecto.

El proyecto de investigación contribuirá significativamente al campo de la ingeniería civil, especialmente en el diseño y mantenimiento de estructuras de concreto armado. Los hallazgos del análisis de resistencia serán fundamentales para desarrollar prácticas de diseño más robustas y estrategias de mantenimiento más eficientes.

Esto no solo mejorará la durabilidad y la integridad estructural de estas estructuras frente a condiciones adversas, sino que también incrementará la eficiencia y sostenibilidad de las infraestructuras en general. En última instancia, el proyecto tiene el potencial de establecer nuevos estándares en la construcción y conservación de infraestructuras resilientes y duraderas.

1.3 Formulación del Problema

¿Cómo afecta la exposición a condiciones ambientales adversas, como la humedad, la temperatura extrema y la corrosión, a la resistencia a largo plazo de los elementos de concreto armado?

1.4 Objetivo General

Analizar la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado expuestos a condiciones ambientales adversas, identificando los factores críticos que afectan la durabilidad de las estructuras.

1.5 Objetivos Específicos

1. Evaluar el impacto de la humedad en la resistencia a largo plazo del concreto armado.
2. Estudiar el efecto de la temperatura extrema en la resistencia del concreto armado.
3. Comprender los mecanismos de corrosión y su impacto en la resistencia a largo plazo del concreto armado expuesto a condiciones ambientales adversas.

1.6 Idea a Defender

Si se implementa el análisis de resistencia a largo plazo de los elementos de concreto, se podrá detectar a tiempo el daño ocasionado por el ambiente y así garantizar la seguridad de las viviendas de los que la habitan y esto lograr obtener una estructura más eficiente y fuerte a estos cambios bruscos que existen en el medio ambiente.

1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Tabla 1. Línea de investigación institucional

Dominio	Línea institucional	Líneas de Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Materiales de construcción

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, (2023)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico:

2.1.1 Antecedentes

Según Bautista & Inca (2023), Estudio comparativo entre estructuras de hormigón armado y acero para edificaciones de 4 pisos destinadas a centros educativos en Santa Elena. Metodología: Análisis detallado de las características, ventajas y desventajas de ambas opciones estructurales. Clasificación del suelo y definición de un espectro de respuesta elástico adaptado a las condiciones locales, cumpliendo con normativas NEC-2015, ACI 318-19 y AISC 341-16. Dando como resultado Identificación de fortalezas y debilidades de cada sistema estructural y evaluación económica de su viabilidad. Se concluyó que el estudio proporciona información valiosa para la toma de decisiones en el diseño y construcción de edificaciones educativas, ponderando aspectos como seguridad y eficiencia estructural.

Aunque este estudio se centra en la comparación entre hormigón armado y acero en estructuras educativas, ofrece insights relevantes para el análisis de la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado. La metodología y los hallazgos sobre la durabilidad y eficiencia estructural pueden ser aplicables al estudio de la resistencia de concreto armado bajo condiciones ambientales adversas, especialmente en lo que respecta a normativas de construcción y adaptación a condiciones geográficas específicas.

Mientras que Zuluaga et al. (2023), Tema: Evaluación de las condiciones del concreto a compresión cuando es modificado con fibras naturales de cáñamo. Metodología: Experimentación con diferentes porcentajes de fibra de cáñamo en concreto, análisis de resistencia a compresión y construcción de gráficos para interpretar los resultados. El porcentaje óptimo de fibra de cáñamo es del 0.5%, aumentando la resistencia del concreto en un 16% a los 28 días. Un porcentaje de

1.5% reduce la resistencia en un 10%. Se concluye que la fibra de cáñamo puede mejorar significativamente la resistencia a compresión del concreto en proporciones adecuadas.

Este estudio aporta al entendimiento de cómo las modificaciones en la composición del concreto, como la adición de fibras naturales, pueden influir en su resistencia a largo plazo. Esto es relevante para el análisis de estructuras de concreto armado bajo condiciones ambientales adversas, ya que ofrece alternativas para mejorar la durabilidad y resistencia de estas estructuras.

Guanoluisa & Tenempaguay (2021), Modelado y simulación del impacto de usos de inhibidores de corrosión en elementos de hormigón armado. Metodología: Uso del software Service Life 365 para modelar y simular el impacto de inhibidores de corrosión en hormigón armado, especialmente en ambientes salinos. Resultados: La implementación de inhibidores de corrosión resultó en un significativo aumento en la vida útil de las estructuras, especialmente en ambientes con alta incidencia de cloruros como la ciudad de Manta, Ecuador. Conclusión: Se determinó que ciertas dosificaciones de inhibidores pueden mejorar hasta en un 50% el rendimiento de estructuras de hormigón, particularmente con una relación agua/cemento menor a 0.50.

Este estudio es directamente relevante para el análisis de la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado bajo condiciones adversas, ya que explora cómo los inhibidores de corrosión pueden mejorar la durabilidad y resistencia en ambientes con alta exposición a cloruros, un factor crítico en la degradación de estas estructuras.

Valverde & Vargas (2020), en su estudio Influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas del concreto con aditivos. Fue una investigación documental bibliográfica utilizando métodos deductivos, cuantitativos, y diseño experimental, enfocándose en el efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas del concreto con aditivos. Como resultado en climas fríos, el uso de aditivo superplastificante mejora las propiedades mecánicas del concreto. En climas cálidos, la combinación de superplastificante y cenizas volantes aumenta significativamente

la resistencia del concreto. En conclusión, los aditivos superplastificantes incrementan las propiedades mecánicas del concreto en diferentes condiciones climáticas.

Este estudio es relevante para entender cómo las condiciones climáticas y la adición de ciertos aditivos afectan la durabilidad y resistencia del concreto armado, lo cual es crucial al analizar su comportamiento a largo plazo bajo condiciones ambientales adversas.

Torres et al. (2023), en su estudio experimental y comparativo de la resistencia a la compresión de muestras de concreto hidráulico sometido a diversas técnicas de curado. Metodología: Experimentación con cuatro técnicas de curado en concreto hidráulico y análisis de su resistencia a la compresión. Dando como resultado que las muestras curadas con láminas de plástico de polietileno mostraron mayor resistencia a la compresión. El proceso de curado es crucial para la resistencia del concreto en construcciones civiles, siendo el curado con láminas de polietileno el más efectivo.

Este estudio destaca la importancia del proceso de curado en la resistencia y durabilidad del concreto, lo cual es fundamental al considerar la resistencia a largo plazo de estructuras de concreto armado en condiciones ambientales adversas.

2.2 Fundamento teórico

2.2.1 Concreto Armado

- **Definición y Composición**

El concreto armado, una composición híbrida de concreto y acero, se caracteriza por su capacidad para resistir tanto esfuerzos de compresión como de tracción, aprovechando las propiedades complementarias de sus componentes. Su definición y composición se centran en la sinergia entre el concreto, capaz de resistir compresiones significativas, y el acero, que responde eficazmente a las tensiones de tracción (Smith & Collins, 2019).

La historia del concreto armado revela una evolución notable desde sus primeros usos en el siglo XIX, con desarrollos significativos en tecnología y técnicas de diseño que han ampliado su aplicación en la construcción moderna (Mehta & Monteiro, 2021).

Los componentes básicos del concreto armado incluyen el cemento, que actúa como aglutinante; los agregados, que proporcionan masa y estabilidad; el agua, esencial en la reacción de hidratación del cemento; y el refuerzo de acero, que aporta resistencia a la tracción y ductilidad (Neville & Brooks, 2020). Esta combinación de materiales da lugar a un material compuesto con características mejoradas en comparación con sus componentes individuales.

En términos de variantes y tecnologías modernas, el campo del concreto armado ha experimentado avances significativos. El desarrollo de concretos de alta resistencia, por ejemplo, ha permitido la creación de estructuras más delgadas y ligeras con mayores capacidades de carga y durabilidad. Estas tecnologías modernas incluyen la adición de fibras, aditivos químicos y mejoras en la granulometría de los agregados, los cuales han sido cruciales para aumentar la resistencia, reducir la permeabilidad y mejorar la trabajabilidad del concreto (Li & Zhao, 2022).

- **Propiedades Básicas**

La comprensión detallada de las propiedades básicas del concreto armado es esencial para su aplicación efectiva en proyectos de ingeniería civil. Estas propiedades, que incluyen aspectos mecánicos, térmicos, acústicos, así como la durabilidad y permeabilidad, determinan el comportamiento del material bajo diversas condiciones y cargas.

- **Propiedades Mecánicas**

Resistencia: La resistencia del concreto armado es una combinación de la resistencia a la compresión del concreto y la resistencia a la tracción del acero. La resistencia a la compresión del concreto se mide típicamente en megapascuales (MPa) y varía según la proporción de la mezcla y el tipo de cemento utilizado. El acero

proporciona resistencia a la tracción, permitiendo que el concreto armado soporte cargas de tracción y flexión (Neville & Brooks, 2020).

Ductilidad: La ductilidad del concreto armado refiere a su capacidad para soportar deformaciones significativas sin fallo. Esto es especialmente importante en estructuras que deben resistir cargas dinámicas, como sismos. La inclusión de acero permite que el concreto se deforme bajo tensión sin romperse (Smith & Collins, 2019).

Tenacidad: La tenacidad del concreto armado está relacionada con su capacidad para absorber energía antes de fracturarse. Esta propiedad es vital en estructuras sometidas a impactos o cargas cíclicas, como puentes y carreteras. Las innovaciones, como la adición de fibras de acero o polímeros, pueden mejorar significativamente la tenacidad del concreto (Mehta & Monteiro, 2021).

- **Propiedades Térmicas y Acústicas**

Conductividad Térmica: El concreto tiene una conductividad térmica relativamente baja, lo que significa que actúa como un buen aislante térmico. Esta propiedad es beneficiosa para mantener la eficiencia energética de los edificios, reduciendo la necesidad de calefacción y refrigeración (Neville & Brooks, 2020).

Capacidad de Almacenamiento Térmico: El concreto armado es capaz de absorber y retener calor, lo cual es útil para estabilizar las variaciones de temperatura en el interior de las edificaciones, contribuyendo a la comodidad térmica y a la eficiencia energética.

Aislamiento Acústico: Debido a su densidad y masa, el concreto armado ofrece un excelente aislamiento acústico, lo que lo hace idóneo para edificaciones en áreas ruidosas o para estructuras que requieren control del ruido, como auditorios y hospitales (Li & Zhao, 2022).

- **Durabilidad y Permeabilidad**

Durabilidad: La durabilidad del concreto armado depende de factores como la calidad de la mezcla, el proceso de curado, y la protección del acero de refuerzo contra la corrosión. Un concreto bien diseñado y curado puede tener una vida útil de varias décadas, incluso en condiciones ambientales adversas (Mehta & Monteiro, 2021).

Permeabilidad: La permeabilidad del concreto se refiere a su capacidad para permitir el paso de fluidos. Un concreto de baja permeabilidad es crucial para prevenir la corrosión del acero de refuerzo y el deterioro debido a la penetración de agentes dañinos como cloruros y dióxido de carbono. La permeabilidad puede ser reducida mediante el uso de aditivos y una proporción adecuada de agua en la mezcla (Smith & Collins, 2019).

- **Usos y Aplicaciones en Ingeniería Civil**

El concreto armado, debido a su versatilidad y resistencia, se ha convertido en un material esencial en la ingeniería civil, utilizándose en una amplia gama de aplicaciones. La adaptabilidad de este material permite su uso en diversas estructuras, desde edificaciones hasta infraestructuras de transporte y obras hidráulicas.

- **Edificaciones y Estructuras**

Rascacielos: El concreto armado es fundamental en la construcción de rascacielos debido a su resistencia a la compresión y capacidad para soportar cargas verticales enormes. La rigidez del concreto armado también ayuda a resistir las fuerzas del viento y las vibraciones (Mehta & Monteiro, 2021).

Puentes: Los puentes de concreto armado ofrecen durabilidad y capacidad para soportar cargas variables, como el tráfico vehicular. La flexibilidad en el diseño

permite la creación de diversas formas y tamaños, adaptándose a diferentes necesidades y entornos (Smith & Collins, 2019).

Túneles: En la construcción de túneles, el concreto armado es valorado por su resistencia y capacidad para soportar las presiones del terreno y del agua subterránea, garantizando la seguridad y estabilidad de estas estructuras subterráneas (Neville & Brooks, 2020).

- **Infraestructuras de Transporte**

Aeropuertos: El concreto armado se utiliza en pistas de aterrizaje, hangares y terminales de aeropuertos. Su resistencia y durabilidad lo hacen ideal para soportar el peso y el movimiento constante de aeronaves, así como las variaciones climáticas (Li & Zhao, 2022).

Carreteras: Las carreteras de concreto armado son conocidas por su longevidad y bajo mantenimiento. Además, ofrecen una superficie firme y durable, capaz de soportar el tráfico pesado y las condiciones climáticas adversas (Mehta & Monteiro, 2021).

- **Obras Hidráulicas**

Presas: El concreto armado es un material predilecto para la construcción de presas debido a su resistencia a la compresión y capacidad para soportar enormes presiones hidrostáticas. Además, es resistente a la erosión causada por el agua y los sedimentos (Smith & Collins, 2019).

Canales: En la construcción de canales, el concreto armado se utiliza para garantizar una estructura impermeable y resistente. Su capacidad para resistir la erosión y el desgaste garantiza la eficiencia y durabilidad de estas estructuras de conducción de agua (Neville & Brooks, 2020).

2.2.2 Condiciones Ambientales Adversas y su Impacto en el Concreto

- **Tipos de Condiciones Ambientales Adversas**

Las condiciones adversas que afectan al concreto incluyen un amplio espectro que va desde factores climáticos extremos hasta la exposición a agentes químicos corrosivos. Estos elementos pueden causar deterioro físico y químico en el concreto, afectando su integridad estructural y su durabilidad. Factores como la variación extrema de temperaturas, la humedad, la salinidad ambiental, la exposición a ácidos y bases, y la contaminación por gases industriales son algunos ejemplos de estas condiciones (Neville & Brooks, 2020).

- **Exposición a Ciclos de Congelación y Deshielo**

Los ciclos de congelación y deshielo representan un desafío significativo, especialmente en climas fríos. La absorción de agua seguida de la congelación provoca una expansión interna, y su repetición puede causar la ruptura del concreto a nivel microscópico. Este fenómeno deteriora progresivamente la estructura del concreto, llevando a la formación de fisuras, escamaciones y, finalmente, fallas estructurales. El empleo de aditivos como aire incluido y el uso de agregados de calidad pueden ayudar a mitigar estos efectos al mejorar la resistencia del concreto a los ciclos de congelación y deshielo (Mehta & Monteiro, 2021).

- **Ambientes Costeros y Exposición a Cloruros**

En zonas costeras, la presencia de iones de cloruro es una de las principales causas de deterioro del concreto armado. Estos iones penetran el concreto y alcanzan el acero de refuerzo, provocando su corrosión. La corrosión del acero no solo reduce su sección efectiva, sino que también genera productos de corrosión que ocupan un mayor volumen que el acero original, generando tensiones internas que pueden provocar la fisuración y el desprendimiento del concreto. El uso de barras de refuerzo galvanizadas, recubrimientos epóxicos o acero inoxidable, junto con concretos de baja permeabilidad, son estrategias efectivas para combatir la corrosión inducida por cloruros (Smith & Collins, 2019).

- **Contaminación Química y Ambiental**

La exposición a la contaminación química y ambiental, como ácidos industriales y gases corrosivos, puede acelerar el deterioro químico del concreto. La carbonatación, un proceso en el que el CO₂ atmosférico reacciona con los componentes del concreto, reduce el pH del material, comprometiendo la pasivación del acero de refuerzo y facilitando su corrosión. Además, la exposición a ambientes ácidos puede provocar la disolución de los componentes del concreto, reduciendo su masa y resistencia. El diseño de mezclas de concreto con aditivos como cenizas volantes y escoria de alto horno puede aumentar la resistencia del concreto a estos agentes, así como la aplicación de recubrimientos protectores para limitar la exposición directa a estos ambientes (Li & Zhao, 2022).

- **Mecanismos de Deterioro Físico y Químico**

Los mecanismos de deterioro del concreto pueden ser complejos y multifacéticos. El deterioro físico incluye daños causados por factores mecánicos y ambientales, como la abrasión, los impactos, y los ciclos de temperatura. El deterioro químico, por otro lado, implica reacciones químicas entre el concreto y su entorno que alteran su composición química, como la carbonatación y la reacción álcali-sílice. Estos procesos pueden actuar de manera conjunta, exacerbando el daño y acelerando la degradación del concreto (Smith & Collins, 2019).

- **Erosión y Desgaste Superficial**

La erosión y el desgaste superficial son procesos que resultan en la eliminación gradual del material de la superficie del concreto. Estos pueden ser causados por la fricción constante, el impacto de partículas en suspensión, o el flujo de agua a alta velocidad. En estructuras expuestas a un alto tráfico o en entornos naturales con condiciones climáticas severas, la erosión puede ser significativa, llevando a la pérdida de la capa superficial y la exposición del material subyacente, lo que puede comprometer la estabilidad estructural y la estética de la estructura (Neville & Brooks, 2020).

- **Carbonatación y Reducción del pH**

La carbonatación ocurre cuando el dióxido de carbono en el aire reacciona con el hidróxido de calcio en el concreto para formar carbonato de calcio, un proceso que reduce el pH del concreto. Un pH más bajo disminuye la pasividad del acero de refuerzo, haciéndolo susceptible a la corrosión.

Este proceso es particularmente problemático en estructuras de concreto armado, ya que la corrosión del acero puede llevar a la expansión y fisuración del concreto circundante, comprometiendo su integridad estructural (Mehta & Monteiro, 2021).

- **Reacción Álcali-Sílice y Expansión del Concreto**

La reacción álcali-sílice es una reacción química entre los álcalis en el concreto (como el sodio y el potasio del cemento) y los agregados silíceos reactivos. Esta reacción produce un gel que, al absorber agua, se expande y genera presiones internas en el concreto.

La resultante expansión y fisuración compromete la integridad estructural del concreto y puede ser particularmente destructiva en estructuras masivas o en aquellas expuestas a alta humedad. La prevención de la RAS incluye el uso de agregados no reactivos, cementos con bajos contenidos de álcalis, y aditivos como la ceniza volante y la escoria de alto horno que pueden reducir la reactividad de los álcalis (Li & Zhao, 2022).

Estos mecanismos de deterioro destacan la importancia de considerar las condiciones ambientales y de servicio en el diseño y mantenimiento de estructuras de concreto, así como la necesidad de investigación y desarrollo continuos para mejorar la durabilidad del concreto en entornos desafiantes.

- **Corrosión del Acero de Refuerzo**

La corrosión del acero de refuerzo en el concreto armado es un fenómeno complejo y multifacético, afectando significativamente la durabilidad y la integridad estructural de las construcciones. La comprensión detallada de este proceso y los factores que lo influyen es esencial para el desarrollo de estrategias efectivas de mitigación.

- **Proceso de Corrosión en Diferentes Ambientes**

El proceso de corrosión del acero de refuerzo en el concreto varía considerablemente según el ambiente. En zonas costeras, los iones de cloruro del agua de mar aceleran la corrosión. En áreas urbanas e industriales, los contaminantes atmosféricos como los óxidos de azufre y nitrógeno pueden contribuir a una corrosión ácida más rápida. En climas fríos, el uso de sales para deshielo puede aumentar la concentración de cloruros, provocando una corrosión más intensa. Cada uno de estos entornos requiere consideraciones específicas en el diseño y la selección de materiales para proteger eficazmente el acero de refuerzo contra la corrosión (Neville & Brooks, 2020).

- **Factores que Afectan la Corrosión**

Humedad: La humedad es crucial para la corrosión, ya que facilita la conducción de iones y el transporte de oxígeno, elementos esenciales en las reacciones electroquímicas de la corrosión. En condiciones de alta humedad o en presencia de agua, el proceso de corrosión se acelera.

Temperatura: La temperatura afecta la velocidad de las reacciones químicas y electroquímicas involucradas en la corrosión. En general, un aumento en la temperatura acelera la tasa de corrosión, aunque esto puede variar dependiendo de otros factores ambientales y de la composición del concreto y del acero.

Concentración de Cloruros: Los cloruros son especialmente perniciosos para el acero de refuerzo, ya que pueden penetrar la capa pasiva de óxido en el acero y acelerar significativamente el proceso de corrosión. La fuente de los cloruros puede ser ambiental (como en zonas costeras) o de actividades humanas (como el uso de sales de deshielo en carreteras) (Smith & Collins, 2019).

- **Impacto en la Integridad Estructural y Reducción de la Vida Útil**

La corrosión del acero de refuerzo no solo disminuye la capacidad portante del acero al reducir su sección transversal, sino que también genera productos de corrosión que tienen un volumen mayor que el acero original. Esta expansión puede causar fisuras en el concreto circundante, lo que a su vez facilita la entrada de más agentes corrosivos y acelera el proceso de deterioro.

Además, la fisuración y la delaminación del concreto comprometen la integridad estructural del elemento, pudiendo llevar a fallos estructurales prematuros y reducir significativamente la vida útil de la estructura. Estos problemas no solo son costosos de reparar, sino que también representan un riesgo significativo para la seguridad (Mehta & Monteiro, 2021).

Dada la seriedad de estos impactos, la elección de materiales resistentes a la corrosión, el diseño adecuado de la mezcla de concreto, y la implementación de técnicas efectivas de protección y mantenimiento son fundamentales para prolongar la vida útil de las estructuras de concreto armado y garantizar su seguridad y funcionalidad a largo plazo.

2.2.3 Evaluación y Diagnóstico del Deterioro

- **Métodos de Inspección y Diagnóstico**

La evaluación y diagnóstico del deterioro en estructuras de concreto armado son fundamentales para garantizar su seguridad y funcionalidad. La implementación

de métodos de inspección y diagnóstico adecuados permite identificar problemas potenciales y realizar las intervenciones necesarias de manera oportuna.

- **Métodos de Inspección y Diagnóstico**

La inspección y el diagnóstico del deterioro del concreto implican una combinación de técnicas que permiten evaluar la condición actual de la estructura. Estos métodos varían desde inspecciones visuales hasta pruebas más sofisticadas que pueden detectar problemas ocultos dentro de la estructura. La selección del método adecuado depende de varios factores, incluyendo el tipo de estructura, la naturaleza y gravedad del daño sospechado, y las limitaciones de acceso (Neville & Brooks, 2020).

- **Técnicas No Destructivas**

- **Ultrasonido:** Esta técnica utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para detectar discontinuidades y anomalías en el concreto. Es útil para evaluar la homogeneidad del material, la profundidad de las fisuras, y la presencia de vacíos o delaminaciones.
- **Radar de Penetración Terrestre (GPR):** El GPR es eficaz para localizar el acero de refuerzo y detectar la presencia de vacíos, fisuras y zonas de humedad dentro del concreto. Utiliza ondas de radio de alta frecuencia que se reflejan en los materiales internos, proporcionando una imagen del subsuelo o de estructuras enterradas.
- **Termografía:** La termografía infrarroja detecta variaciones en la temperatura superficial del concreto, lo que puede indicar áreas de deterioro, como la delaminación o la humedad atrapada (Smith & Collins, 2019).

- **Pruebas de Laboratorio**

- **Análisis de Núcleos:** Esta prueba implica la extracción de muestras cilíndricas del concreto de una estructura existente. Los núcleos se analizan para determinar propiedades como la resistencia a la compresión, la densidad y la permeabilidad. También pueden proporcionar información sobre la calidad del concreto y la profundidad de la carbonatación.
- **Pruebas de Resistencia:** Las pruebas de resistencia, como la prueba de compresión y flexión, son fundamentales para evaluar la capacidad del concreto para soportar cargas. Estas pruebas ayudan a determinar si el concreto todavía cumple con los requisitos de diseño originales y si se ha visto comprometido debido a procesos de deterioro (Mehta & Monteiro, 2021).

La combinación de técnicas no destructivas y pruebas de laboratorio proporciona una evaluación exhaustiva del estado del concreto armado, permitiendo la identificación temprana de problemas y la implementación de estrategias de reparación y mantenimiento adecuadas.

- **Modelación y Predicción del Deterioro**

La modelación y predicción del deterioro en estructuras de concreto armado es un componente esencial de la ingeniería civil moderna, ya que aborda la necesidad de mantener la integridad y funcionalidad de las infraestructuras a lo largo del tiempo. Este campo abarca el uso de modelos matemáticos, simulaciones computacionales y técnicas avanzadas de análisis para anticipar cómo factores como la carga estructural, el ambiente corrosivo, la fatiga de los materiales y el envejecimiento pueden influir en el desempeño de las estructuras.

La capacidad de prever el comportamiento futuro de las estructuras permite a los ingenieros planificar intervenciones preventivas, como reparaciones, refuerzos o renovaciones, antes de que ocurran fallos críticos. Esto no solo garantiza la seguridad de los usuarios, sino que también optimiza el uso de recursos al reducir costos

asociados con reparaciones de emergencia y prolongar la vida útil de las infraestructuras.

Además, la modelación predictiva es crucial para el desarrollo de estrategias de mantenimiento basadas en la condición de las estructuras, lo que permite priorizar las intervenciones y asignar recursos de manera más eficiente. También contribuye a la sostenibilidad del entorno construido, minimizando la necesidad de reemplazos frecuentes y fomentando prácticas de construcción más resilientes. En el contexto de infraestructuras críticas, como puentes, carreteras, edificios y sistemas de transporte, la modelación del deterioro es vital para garantizar su continuidad operativa y la seguridad pública, destacando la importancia de una gestión proactiva y bien informada en la ingeniería civil.

- **Modelos de Predicción de Vida Útil**

Los modelos de predicción de vida útil son herramientas fundamentales en la ingeniería civil para estimar la durabilidad y el comportamiento a largo plazo de las estructuras de concreto armado sometidas a diversas condiciones ambientales y de carga. Su importancia radica en la capacidad de anticipar el tiempo de servicio seguro de una estructura, optimizando así las estrategias de mantenimiento, rehabilitación y gestión de activos.

Estos modelos se desarrollan a partir de una comprensión profunda de los mecanismos de deterioro, tales como la carbonatación, la corrosión del acero de refuerzo, la penetración de cloruros, el ataque de sulfatos, entre otros, que afectan la integridad del concreto armado. La integración de datos históricos, resultados experimentales, y el uso de técnicas avanzadas de modelado matemático y simulación computacional permiten mejorar la precisión de las predicciones. Existen diferentes tipos de modelos de predicción de vida útil, incluyendo modelos empíricos, semi-empíricos, y aquellos basados en teorías de deterioro más complejas.

Los modelos empíricos se fundamentan en la observación de datos experimentales y en el ajuste de ecuaciones para describir el comportamiento del concreto bajo condiciones específicas. Los modelos semi-empíricos combinan datos

experimentales con principios teóricos para proporcionar predicciones más generalizadas. Por otro lado, los modelos teóricos se basan en una comprensión detallada de los mecanismos físicos, químicos y mecánicos que rigen el deterioro del material. Por ejemplo, los modelos de carbonatación y corrosión son ampliamente utilizados para predecir tanto el tiempo hasta la iniciación de la corrosión del acero de refuerzo como la velocidad de reducción de la sección transversal del mismo, factores críticos que influyen en la durabilidad y capacidad estructural (Mehta & Monteiro, 2021).

- **Simulaciones Computacionales y Análisis Estructural**

Las simulaciones computacionales y el análisis estructural emplean software avanzado y algoritmos para modelar el comportamiento de las estructuras de concreto bajo cargas y condiciones específicas. Estas herramientas permiten visualizar el impacto del deterioro a lo largo del tiempo y evaluar cómo diferentes estrategias de mantenimiento y reparación pueden extender la vida útil de la estructura.

El análisis estructural puede incluir la modelación del comportamiento del concreto y del acero de refuerzo bajo cargas dinámicas y estáticas, la evaluación de la probabilidad y consecuencias de fallos estructurales, y la simulación de escenarios de deterioro, como la propagación de fisuras o la corrosión del acero de refuerzo.

Además, se pueden utilizar métodos de elementos finitos para modelar con precisión las respuestas estructurales y predecir el inicio y la progresión del deterioro en componentes críticos (Smith & Collins, 2019).

La aplicación de estos modelos y simulaciones es fundamental para la gestión de activos en ingeniería civil, ya que proporciona una base para la toma de decisiones informadas sobre mantenimiento, rehabilitación y reemplazo de infraestructuras, ayudando a garantizar la seguridad, la fiabilidad y la eficiencia económica de las estructuras de concreto armado.

- **Estrategias de Protección y Mantenimiento**

Las estrategias de protección y mantenimiento son fundamentales para prolongar la vida útil de las estructuras de concreto armado y garantizar su funcionalidad y seguridad. Estas estrategias incluyen la selección cuidadosa de materiales durante la fase de diseño y la incorporación de innovaciones tecnológicas en las mezclas de concreto.

- **Diseño y Selección de Materiales**

El diseño y la selección de materiales adecuados son fundamentales para garantizar la durabilidad y el desempeño a largo plazo de las estructuras de concreto armado. Este proceso no solo implica elegir materiales que sean compatibles con las condiciones específicas del entorno en el que se utilizará la estructura, sino también anticiparse a los posibles factores de deterioro, tales como la corrosión del acero de refuerzo, la carbonatación del concreto, la penetración de cloruros, los ciclos de congelación y deshielo, y otros ataques químicos y físicos.

La selección de materiales comienza con la elección de un tipo de concreto adecuado que cumpla con los requisitos estructurales y de durabilidad del proyecto. Factores como la resistencia a la compresión, la trabajabilidad, la durabilidad y la capacidad de resistir la permeabilidad a los gases y líquidos son consideraciones esenciales. La relación agua-cemento es un factor crítico en la mezcla de concreto, ya que influye directamente en la porosidad, permeabilidad y, en última instancia, en la resistencia a los agentes agresivos. Un contenido de agua reducido y una correcta dosificación de cemento mejoran la densidad del concreto, lo que resulta en una estructura más resistente a los procesos de degradación.

Además, la cobertura adecuada del acero de refuerzo es vital para protegerlo de la exposición a agentes corrosivos, como el dióxido de carbono y los cloruros presentes en el ambiente. El espesor de la cobertura debe ser suficiente para evitar la penetración de estos agentes durante la vida útil proyectada de la estructura.

Aditivos como los reductores de agua, los superplastificantes, los inhibidores de corrosión y los selladores pueden ser empleados para mejorar la calidad del concreto y proporcionar una capa adicional de protección contra los agentes de deterioro.

La elección de agregados de calidad también juega un papel crucial. Los agregados deben ser seleccionados en función de su tamaño, forma, textura y resistencia a la reacción con álcalis, asegurando su estabilidad y compatibilidad con la matriz de cemento. El uso de agregados reciclados o alternativos puede ser considerado, siempre y cuando cumplan con los estándares de durabilidad y resistencia.

La innovación en el diseño de mezclas de concreto, que incorpora materiales cementantes suplementarios como la escoria de alto horno, las cenizas volantes y la microsílíce, puede mejorar significativamente la durabilidad y sostenibilidad del concreto, al reducir su permeabilidad y aumentar su resistencia a la corrosión y otros mecanismos de deterioro (Mehta & Monteiro, 2021). De esta manera, una cuidadosa selección de materiales y un diseño de mezcla optimizado son esenciales para garantizar que las estructuras de concreto armado cumplan con sus expectativas de rendimiento y vida útil, minimizando los costos de mantenimiento y prolongando su operatividad segura.

- **Innovaciones en Mezclas de Concreto**

La integración de microfibras y nanomateriales en las mezclas de concreto representa un avance significativo en la tecnología de materiales de construcción, destacándose como una estrategia efectiva para mejorar tanto la durabilidad como la resistencia mecánica del concreto. Estas innovaciones responden a la necesidad de desarrollar materiales más eficientes, sostenibles y de mayor rendimiento para aplicaciones en infraestructuras modernas, especialmente en entornos agresivos o de alta demanda estructural.

Las microfibras, como las de acero, polímero (como polipropileno) o vidrio, juegan un papel crucial en el mejoramiento de las propiedades del concreto. Estas fibras, cuando se dispersan uniformemente en la matriz de cemento, actúan como un

refuerzo secundario que mejora la tenacidad del concreto y controla la propagación de fisuras desde etapas tempranas, reduciendo el riesgo de fracturas y mejorando la capacidad de absorción de energía. Este comportamiento es especialmente beneficioso en aplicaciones donde la resistencia al impacto, a la abrasión y a los ciclos de carga es crítica, como en pavimentos, túneles, presas y estructuras sometidas a vibraciones.

Por otro lado, los nanomateriales, como los nanotubos de carbono, la nanosílice, y los óxidos metálicos, ofrecen mejoras sustanciales en la microestructura del concreto. Los nanotubos de carbono, por ejemplo, pueden reforzar la matriz de cemento a nivel molecular, aumentando la resistencia a la compresión y la flexión, además de proporcionar conductividad eléctrica para aplicaciones especializadas. La incorporación de nanosílice puede mejorar la reacción pozoalánica, reducir la porosidad y aumentar la densidad del concreto, lo que a su vez mejora la resistencia a la penetración de sustancias perjudiciales, como cloruros y sulfatos. Esto es fundamental para estructuras expuestas a ambientes marinos o sujetos a deshielo, donde la corrosión del acero de refuerzo es una preocupación significativa (Smith & Collins, 2019).

Estas innovaciones en mezclas de concreto no solo mejoran las propiedades mecánicas y de durabilidad, sino que también permiten una mayor eficiencia en el diseño y una reducción de los costos asociados con el mantenimiento y la rehabilitación de estructuras. El uso de estos materiales avanzados también abre posibilidades para el desarrollo de concretos funcionales, como los autocompactantes, los autorreparables y los de alta resistencia, que pueden adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto.

- **Selección de Acero de Refuerzo Resistente a la Corrosión**

La elección del acero de refuerzo es un factor crítico en la durabilidad del concreto armado. El uso de aceros resistentes a la corrosión, como el acero inoxidable, los aceros galvanizados o los aceros recubiertos con epóxico, puede ser una opción efectiva en entornos propensos a la corrosión. Estos materiales pueden resistir la corrosión en ambientes con alta concentración de cloruros o en condiciones

de alta humedad, reduciendo significativamente el riesgo de deterioro y aumentando la vida útil de la estructura (Neville & Brooks, 2020).

La implementación de estas estrategias de protección y mantenimiento en la fase de diseño y durante la vida útil de la estructura es esencial para optimizar su rendimiento y durabilidad, asegurando así la seguridad y la eficiencia de las infraestructuras de concreto armado.

- **Métodos de Protección**

Los métodos de protección para estructuras de concreto armado son vitales para mitigar el deterioro y prolongar su vida útil. El uso de inhibidores de corrosión, aditivos especiales y recubrimientos avanzados son estrategias clave en este ámbito.

La protección de las estructuras de concreto armado implica la implementación de diversas técnicas y materiales diseñados para prevenir o ralentizar los procesos de deterioro, especialmente la corrosión del acero de refuerzo. Estos métodos se enfocan en crear barreras contra los agentes de deterioro o en modificar las propiedades del concreto para mejorar su resistencia a dichos agentes (Neville & Brooks, 2020).

2.2.5. Innovaciones Tecnológicas en la Construcción con Concreto Armado

En la última década, el desarrollo de nuevas tecnologías ha transformado el uso del concreto armado, permitiendo la creación de estructuras más eficientes, sostenibles y duraderas. Estas innovaciones abarcan desde materiales avanzados hasta técnicas de construcción automatizadas. A continuación, se presentan innovaciones clave con datos y citas recientes que destacan su impacto en la industria de la construcción.

1. Concretos Autorreparables

El concreto autorreparable es una innovación revolucionaria en el sector de la construcción. Desde 2019, estudios han demostrado mejoras significativas en la

durabilidad de las estructuras gracias a esta tecnología. Un estudio de la Universidad de Gante en 2020 reveló que los concretos autorreparables con aditivos bacterianos pueden extender la vida útil de las estructuras en un 50% al reducir la penetración de agua y cloruros en más del 80% en comparación con el concreto convencional (Wang et al., 2020). Además, el costo adicional de estos aditivos se ha reducido en un 35% en los últimos tres años, lo que hace que esta tecnología sea más accesible y viable económicamente para aplicaciones comerciales.

Un caso real de aplicación es el proyecto del puente de Hamari en Finlandia, donde se utilizó concreto autorreparable en elementos críticos. Los resultados preliminares indicaron una disminución del 70% en el costo de mantenimiento proyectado durante los primeros 20 años del puente, lo que subraya el potencial de esta tecnología para reducir los costos operativos a largo plazo (Hosseini et al., 2021).

2. Uso de Nanotecnología en el Concreto

Desde 2019, el uso de nanotecnología en el concreto ha avanzado significativamente. Las nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2) y nanosílice se han utilizado para mejorar las propiedades mecánicas y químicas del concreto. Un estudio de 2021 realizado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) encontró que la adición de solo un 0.1% en peso de nanotubos de carbono puede aumentar la resistencia a la tracción del concreto hasta en un 40% y reducir la permeabilidad a los iones cloruro en un 70%, mejorando significativamente la resistencia a la corrosión del acero de refuerzo (Al-Rub et al., 2021).

En el contexto práctico, en 2019, el Aeropuerto Internacional de Hong Kong comenzó a utilizar concreto mejorado con nanotecnología para pavimentos de alta resistencia en sus pistas. Este material ha demostrado reducir las fisuras por contracción plástica y mejorar la resistencia a largo plazo del concreto, extendiendo su vida útil en un 25% en comparación con los pavimentos tradicionales (Wong et al., 2020).

3. Concreto de Alto Desempeño (CAD) y Concreto Autocompactante (CAC)

El CAD y el CAC han mostrado mejoras significativas en las propiedades estructurales y en la eficiencia de la construcción. Un estudio del American Concrete Institute (ACI) en 2019 informó que el CAD con adición de ceniza volante y escoria de alto horno puede lograr una resistencia a la compresión superior a 100 MPa, con una reducción del 60% en la penetración de cloruros en comparación con concretos convencionales de alta resistencia (Neville & Brooks, 2019).

En aplicaciones reales, en el año 2020, el Puente de Queensferry Crossing en Escocia utilizó CAC para mejorar la velocidad de construcción y reducir el tiempo de compactación en un 40%, logrando una reducción general del tiempo de construcción en un 20%.

4. Integración de Fibras y Polímeros en el Concreto

El uso de fibras de alto rendimiento y polímeros reforzados con fibra (PRF) en el concreto ha permitido mejorar la durabilidad y resistencia de las estructuras de manera significativa. Un estudio en 2021 realizado por la Universidad de California, Berkeley, mostró que el concreto reforzado con fibras de acero y polímeros puede incrementar la tenacidad del material en más del 100% y reducir las fisuras hasta en un 60% bajo cargas dinámicas (Xu et al., 2021).

En 2020, el viaducto de Morandi en Génova, Italia, se reconstruyó utilizando PRF para garantizar una vida útil prolongada y una mayor resistencia a la corrosión. Este enfoque permitió una rápida rehabilitación del viaducto, reduciendo los tiempos de construcción en un 30% y aumentando la capacidad de carga en un 50% en comparación con las técnicas de refuerzo tradicionales (Biondini & Frangopol, 2020).

5. Sensores Incrustados para Monitoreo en Tiempo Real

Los sensores incrustados y las tecnologías de monitoreo de salud estructural han ganado tracción en proyectos recientes. Según un informe de 2019 del World

Economic Forum, el uso de sensores en estructuras de concreto armado permite una detección temprana de deterioro y la implementación de mantenimiento predictivo, reduciendo los costos de reparación en un 40% en comparación con el enfoque reactivo (World Economic Forum, 2019).

Un ejemplo notable es el Puente de Brooklyn en Nueva York, donde se han instalado sensores de fibra óptica desde 2020 para monitorear la corrosión del acero de refuerzo y la formación de grietas. Este sistema ha permitido a los ingenieros anticipar problemas estructurales y planificar intervenciones de mantenimiento preventivo, evitando posibles fallos y extendiendo la vida útil del puente (Li et al., 2021).

6. Modelado Avanzado y Simulación Digital

El uso de herramientas de modelado digital, como el Building Information Modeling (BIM) y el Análisis de Elementos Finitos (FEA), se ha convertido en una práctica estándar en proyectos complejos. Según un estudio de 2020 de la National Institute of Building Sciences, la implementación de BIM en la planificación de proyectos de concreto armado ha reducido los costos de construcción en un 25% y el tiempo de entrega en un 30% mediante la optimización de diseños y la prevención de problemas en la etapa de construcción (National Institute of Building Sciences, 2020).

El nuevo rascacielos One Vanderbilt en Nueva York, terminado en 2020, utilizó modelado BIM avanzado para optimizar el diseño estructural y planificar la construcción. Este enfoque permitió la integración de sistemas de monitoreo en tiempo real y materiales avanzados, mejorando la seguridad y eficiencia del proyecto (Marx et al., 2020).

7. Impresión 3D de Concreto

La impresión 3D con concreto ha sido reconocida como una tecnología disruptiva que permite la creación de componentes complejos y la reducción de los costos de construcción. En 2020, el proyecto de viviendas impresas en 3D en Tabasco, México, demostró que es posible construir casas de concretos resistentes

a terremotos en menos de 24 horas, con un costo de materiales reducido en un 30% en comparación con los métodos convencionales (ICON & New Story, 2020).

Un estudio de 2021 de la Universidad de Eindhoven encontró que la impresión 3D de concreto puede reducir el uso de material en un 60% y disminuir la huella de carbono de la construcción en un 50%, lo que representa un avance significativo hacia prácticas de construcción más sostenibles (Salet et al., 2021).

Las innovaciones tecnológicas en la construcción con concreto armado han mostrado mejoras significativas en la durabilidad, eficiencia, y sostenibilidad de las infraestructuras. Desde concretos autorreparables y nanotecnología hasta sensores incrustados y modelado avanzado, cada tecnología proporciona una ventaja única para enfrentar los desafíos modernos de la construcción. Los ingenieros civiles deben adoptar y adaptarse a estas tecnologías emergentes para maximizar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de los proyectos futuros.

2.2.6 Inhibidores de Corrosión y Aditivos Especiales

- **Recubrimientos y Selladores Avanzados**

1. **Recubrimientos Protectores:** Los recubrimientos para el acero de refuerzo, como los epóxicos, galvanizados o de acero inoxidable, ofrecen una barrera efectiva contra la penetración de cloruros y la humedad, reduciendo significativamente el riesgo de corrosión. Estos recubrimientos son aplicados antes de la colocación del acero en el concreto.
2. **Selladores de Concreto:** Los selladores se aplican a la superficie del concreto para prevenir la penetración de agua y agentes contaminantes. Estos pueden ser a base de silicona, acrílicos o poliuretanos, y actúan llenando los poros y capilares del concreto, ofreciendo una protección adicional contra la humedad, los cloruros y otros agentes corrosivos (Smith & Collins, 2019).

3. La selección e implementación adecuadas de estos métodos de protección son fundamentales para garantizar la longevidad y la integridad estructural de las construcciones de concreto armado, especialmente en entornos con alto riesgo de deterioro.

- **Técnicas de Reparación y Refuerzo**

Las técnicas de reparación y refuerzo son esenciales para restaurar la funcionalidad y la integridad de las estructuras de concreto armado que han experimentado deterioro. Entre estas técnicas, la reparación con concreto proyectado y los sistemas de refuerzo externo, como los laminados de carbono, juegan un papel crucial.

- **Reparación con Concreto Proyectado**

La reparación con concreto proyectado, también conocida como "shotcrete" o "gunitado", es una técnica efectiva para restaurar el concreto deteriorado. Consiste en proyectar con alta presión una mezcla de concreto o mortero sobre la superficie dañada. Esta técnica es particularmente útil para reparar fisuras, áreas delgadas de concreto o desprendimientos en superficies verticales u horizontales.

El concreto proyectado puede incluir aditivos y fibras para mejorar su adhesión, resistencia y durabilidad. Es una solución versátil que puede utilizarse en una variedad de aplicaciones, desde la reparación de estructuras de concreto en edificios hasta la restauración de túneles y presas (Mehta & Monteiro, 2021).

- **Sistemas de Refuerzo Externo (FRP, Laminados de Carbono)**

Los sistemas de refuerzo externo, como los laminados de fibra de carbono (FRP), se utilizan para mejorar la capacidad portante y la resistencia a cargas de las estructuras de concreto existentes. Estos sistemas involucran la aplicación de láminas de materiales compuestos de fibra de carbono sobre la superficie del concreto. Los

laminados de carbono son ligeros, resistentes y pueden instalarse de manera eficiente.

El refuerzo externo es particularmente útil cuando se necesita aumentar la resistencia de una estructura sin la necesidad de una demolición extensa o modificaciones internas. Puede aplicarse en vigas, columnas, muros y otros elementos estructurales. (Smith & Collins, 2019)

Estas técnicas de reparación y refuerzo son esenciales para extender la vida útil de las estructuras de concreto armado, especialmente cuando se enfrentan a problemas de deterioro o cargas adicionales. La elección de la técnica adecuada depende de la naturaleza y la gravedad del daño, así como de los requisitos específicos de la estructura.

2.2.7 Impacto Económico del Mantenimiento y Rehabilitación del Concreto Armado

El mantenimiento y la rehabilitación de estructuras de concreto armado son aspectos fundamentales en la gestión de infraestructuras, especialmente en el contexto de los desafíos crecientes asociados con el envejecimiento de estas estructuras, la exposición a condiciones ambientales adversas y la demanda de infraestructuras más sostenibles.

Los costos involucrados en el mantenimiento y la rehabilitación son significativos, tanto en términos directos como indirectos, y su gestión adecuada puede influir de manera determinante en la eficiencia económica y en la seguridad estructural. A continuación, se detalla el impacto económico del mantenimiento y la rehabilitación de estructuras de concreto armado, con datos recientes que ilustran su relevancia y magnitud.

1. Costos Comparativos de Mantenimiento Preventivo y Correctivo

El mantenimiento de estructuras de concreto armado se puede clasificar principalmente en dos enfoques: mantenimiento preventivo y mantenimiento

correctivo. El mantenimiento preventivo implica la planificación y ejecución de actividades regulares que eviten la aparición de problemas estructurales graves, mientras que el mantenimiento correctivo se lleva a cabo en respuesta a problemas ya manifestados, generalmente después de que una estructura ha comenzado a mostrar signos de deterioro.

Costo del Mantenimiento Preventivo: Según un informe de 2021 del *American Society of Civil Engineers (ASCE)*, el costo del mantenimiento preventivo puede oscilar entre el 1% y el 3% del costo inicial de construcción de una estructura por año. Por ejemplo, para un puente de concreto típico con un costo de construcción de \$10 millones, el costo anual de mantenimiento preventivo puede ser de aproximadamente \$100,000 a \$300,000. Estas intervenciones incluyen actividades como la aplicación de recubrimientos protectores, sellado de juntas, inspección de fisuras y la limpieza de la superficie del concreto para evitar la penetración de cloruros y otros agentes corrosivos (ASCE, 2021).

Costo del Mantenimiento Correctivo: En contraste, los costos del mantenimiento correctivo pueden ser considerablemente más altos. El mismo informe de ASCE estima que los costos de reparación por daños estructurales, como el refuerzo de acero corroído, la reparación de concreto dañado o la sustitución de componentes estructurales, pueden alcanzar entre el 15% y el 25% del costo original de construcción. En el ejemplo anterior del puente, esto se traduce en costos de reparación de hasta \$2.5 millones. Esta diferencia en costos subraya la importancia de una estrategia de mantenimiento preventivo bien planificada para minimizar intervenciones costosas y prolongar la vida útil de las infraestructuras.

2. Rehabilitación y Reforzamiento de Infraestructuras Existentes

La rehabilitación de estructuras de concreto armado es una práctica esencial, especialmente para infraestructuras que han alcanzado o están cerca del final de su vida útil diseñada. Las operaciones de rehabilitación pueden incluir la reparación de concreto deteriorado, el refuerzo de acero de refuerzo, la instalación de recubrimientos adicionales o el uso de polímeros reforzados con fibra (PRF) para mejorar la capacidad de carga de la estructura.

Costos de Rehabilitación: Un estudio de 2019 del *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)* reveló que el costo promedio de rehabilitación de un puente de concreto en Estados Unidos es de aproximadamente \$200,000, mientras que el costo de reemplazo de un puente puede superar los \$1,000,000. Este costo incluye actividades como la aplicación de capas adicionales de concreto reforzado, la instalación de sistemas de protección catódica para mitigar la corrosión del acero de refuerzo, y la incorporación de refuerzos de PRF para mejorar la durabilidad y capacidad estructural del puente (NCHRP, 2019).

Beneficios del Uso de Polímeros Reforzados con Fibra (PRF): El uso de PRF, como laminados de fibra de carbono o vidrio, es una técnica avanzada que permite rehabilitar estructuras existentes de manera más rápida y económica en comparación con los métodos tradicionales. Estos materiales no solo son más ligeros y fáciles de aplicar, sino que también ofrecen una alta resistencia a la corrosión y una excelente capacidad de carga. Por ejemplo, la rehabilitación del Viaducto de Morandi en Génova, Italia, en 2020, utilizó PRF para aumentar la capacidad de carga de la estructura en un 50% y reducir los tiempos de construcción en un 30%, logrando un ahorro significativo en comparación con el reemplazo completo del viaducto. (Biondini & Frangopol, 2020).

3. Impacto de las Innovaciones Tecnológicas en el Mantenimiento y Rehabilitación

Las innovaciones tecnológicas están jugando un papel crucial en la reducción de costos y en la mejora de la eficiencia de las operaciones de mantenimiento y rehabilitación. Entre estas innovaciones, destacan los concretos autorreparables, la nanotecnología aplicada al concreto, y el uso de sensores incrustados para el monitoreo continuo de la salud estructural.

Concretos Autorreparables: La tecnología de concreto autorreparable ha demostrado reducir los costos de mantenimiento a lo largo de la vida útil de una estructura en hasta un 70%. Este tipo de concreto utiliza microcápsulas, agentes biológicos o polímeros que reaccionan al contacto con el agua o la fisuración,

activando un proceso de curado que sella automáticamente las fisuras. Un estudio de 2021 de la *Technical University of Delft* demostró que la implementación de concreto autorreparable en puentes y túneles podría ahorrar aproximadamente \$100 millones anuales en Europa debido a la reducción de la necesidad de reparaciones frecuentes (Jonkers et al., 2021).

Nanotecnología en el Concreto: El uso de nanotecnología, como nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2) y nanotubos de carbono (CNTs), permite mejorar las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto, reduciendo la frecuencia y el costo del mantenimiento. Un estudio de 2021 del *Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)* concluyó que la adición de solo un 0.1% en peso de nanotubos de carbono al concreto puede reducir la permeabilidad a los iones cloruro en un 70%, lo que minimiza la corrosión del acero de refuerzo y prolonga la vida útil de la estructura, reduciendo los costos de mantenimiento en un 40% (Al-Rub et al., 2021).

Sensores Incrustados para Monitoreo en Tiempo Real: La integración de sensores incrustados en el concreto permite monitorear en tiempo real variables como la corrosión, humedad, temperatura y tensiones internas, proporcionando datos valiosos para la planificación del mantenimiento. Según el *World Economic Forum* (2020), el uso de sensores para el monitoreo predictivo puede reducir los costos de mantenimiento de grandes infraestructuras entre un 20% y un 40% al permitir intervenciones planificadas y oportunas antes de que ocurra un deterioro significativo (World Economic Forum, 2020).

4. Costos Indirectos Asociados con el Mantenimiento y Rehabilitación

Además de los costos directos de mantenimiento y rehabilitación, los costos indirectos pueden ser igualmente significativos. Estos costos incluyen impactos económicos relacionados con el cierre de infraestructuras, retrasos en el tráfico, pérdida de productividad y posibles impactos en la seguridad pública.

Ejemplo de Impacto Económico Indirecto: El colapso del Viaducto de Génova en 2018 es un ejemplo relevante del impacto económico de la falta de

mantenimiento adecuado. El colapso no solo resultó en la pérdida de vidas y un daño catastrófico a la infraestructura, sino que también provocó un impacto económico estimado en más de 500 millones de euros en pérdidas directas e indirectas, incluyendo la interrupción del tráfico, la pérdida de productividad, y el costo de construcción de un nuevo viaducto (Ministerio de Infraestructura y Transporte de Italia, 2019). Este caso subraya la importancia de una estrategia de mantenimiento proactiva para evitar consecuencias económicas y sociales desastrosas.

5. Optimización de Costos a través de Planificación y Gestión Eficiente

La planificación y gestión eficiente de los programas de mantenimiento y rehabilitación son clave para minimizar los costos y maximizar la vida útil de las infraestructuras de concreto armado. En este sentido, el uso de herramientas modernas de gestión de activos y modelado de información de construcción (BIM) ha demostrado ser altamente efectivo.

Implementación del BIM y Gestión de Activos: El uso del BIM permite a los gestores de infraestructuras planificar mejor las intervenciones de mantenimiento y rehabilitación basadas en datos precisos sobre el deterioro estructural y las necesidades futuras. Un estudio de 2020 del *National Institute of Building Sciences* encontró que el uso de BIM en la planificación del ciclo de vida de proyectos de infraestructura puede reducir los costos de mantenimiento y rehabilitación en un 30% al mejorar la coordinación entre los equipos de trabajo, prever posibles problemas antes de la construcción, y asegurar que las decisiones se basen en datos en tiempo real.

Planificación a Largo Plazo: Además, la implementación de sistemas de gestión de activos como el *Asset Management* ayuda a las autoridades y propietarios de infraestructuras a priorizar las inversiones en mantenimiento y rehabilitación de manera que se maximice el retorno de la inversión y se minimicen los costos a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura. Este enfoque también permite la evaluación continua del rendimiento estructural, facilitando la toma de decisiones basada en la condición actual y futura de las infraestructuras.

El impacto económico del mantenimiento y rehabilitación del concreto armado es significativo y multifacético, afectando tanto los costos directos como los indirectos de la infraestructura. Las estrategias proactivas de mantenimiento preventivo, junto con el uso de tecnologías innovadoras como concretos autorreparables, nanotecnología y sistemas de monitoreo en tiempo real, son esenciales para reducir los costos y garantizar la seguridad y sostenibilidad de las infraestructuras. Una gestión eficiente y una planificación basada en datos, como el uso del BIM, son fundamentales para maximizar la eficiencia económica y minimizar los riesgos asociados con el envejecimiento de las infraestructuras de concreto armado.

2.3 MARCO LEGAL

En el presente proyecto las leyes y normativas que se deben considerar son las siguientes:

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento, y uso de armas 22 químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

Art. 38, numeral 6.- Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

Art. 54.- Las personas o entidades que presten servicios públicos o que produzcan o comercialicen bienes de consumo, serán responsables civil y

penalmente por la deficiente prestación del servicio, por la calidad defectuosa del producto, o cuando sus condiciones no estén de acuerdo con la publicidad efectuada o con la descripción que incorpore. Las personas serán responsables por la mala práctica en el ejercicio de su profesión, arte u oficio, en especial aquella que ponga en riesgo la integridad o la vida de las personas. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

Art. 66, numeral 15.- El derecho a desarrollar actividades económicas, en forma individual o colectiva, conforme a los principios de solidaridad, responsabilidad social y ambiental. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

2.3.2. Código Orgánico Ambiental (Coa)

El Código Orgánico del Ambiente (COA) es la legislación más relevante en materia ambiental en el país en la actualidad, ya que regula los temas necesarios para una gestión ambiental adecuada. (MAE, 2019)

Art. 1.- Objeto. Este Código tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o Sumak Kawsay.

Las disposiciones de este Código regularán los derechos, deberes y garantías ambientales contenidos en la Constitución, así como los instrumentos que fortalecen su ejercicio, los que deberán asegurar la sostenibilidad, conservación, protección y restauración del ambiente, sin perjuicio de lo que establezcan otras leyes sobre la materia que garanticen los mismos fines. (MAE, 2019)

Art. 3.- Fines. Son fines de este Código:

1. Regular los derechos, garantías y principios relacionados con el ambiente sano y la naturaleza, previstos en la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado;

2. Establecer los principios y lineamientos ambientales que orienten las políticas públicas del Estado. La política nacional ambiental deberá estar incorporada obligatoriamente en los instrumentos y procesos de planificación, decisión y ejecución, a cargo de los organismos y entidades del sector público;

3. Establecer los instrumentos fundamentales del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su aplicación;

4. Establecer, implementar e incentivar los mecanismos e instrumentos para la conservación, uso sostenible y restauración de los ecosistemas, biodiversidad y sus componentes, patrimonio genético, Patrimonio Forestal Nacional, servicios ambientales, zona marino costera y recursos naturales;

5. Regular las actividades que generen impacto y daño ambiental, a través de normas y parámetros que promuevan el respeto a la naturaleza, a la diversidad cultural, así como a los derechos de las generaciones presentes y futuras;

7. Prevenir, minimizar, evitar y controlar los impactos ambientales, así como establecer las medidas de reparación y restauración de los espacios naturales degradados;

8. Garantizar la participación de las personas de manera equitativa en la conservación, protección, restauración y reparación integral de la naturaleza, así como en la generación de sus beneficios;

9. Establecer los mecanismos que promuevan y fomenten la generación de información ambiental, así como la articulación y coordinación de las entidades públicas, privadas y de la sociedad civil responsables de realizar actividades de gestión e investigación ambiental, de conformidad con los requerimientos y prioridades estatales;

Reglamento al Código Orgánico del Ambiente.

Art. 1.- Objeto y ámbito. - El presente Reglamento desarrolla y estructura la normativa necesaria para dotar de aplicabilidad a lo dispuesto en el Código Orgánico del Ambiente.

Constituye normativa de obligatorio cumplimiento para todas las entidades, organismos y dependencias que comprenden el sector público central y autónomo

descentralizado, personas naturales y jurídicas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, que se encuentren permanente o temporalmente en el territorio nacional. (MAE, 2019)

Art. 28.- Fines de la investigación ambiental. - La investigación ambiental, como instrumento del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, tendrá los siguientes fines:

- a) Desarrollar y adquirir nuevos conocimientos e información ambiental;
- b) Contar con datos científicos y técnicos sobre el medio ambiente, con el objeto de construir políticas y estrategias ambientales nacionales; y,
- c) Contar con una base de información científica y técnica que fundamente la toma de decisiones sobre la gestión ambiental, orientadas a prevenir y solucionar problemas ambientales, promover el desarrollo sostenible, garantizar la tutela de los derechos de naturaleza y de las personas. (MAE, 2019).

Art. 33.- Financiamiento de proyectos de investigación ambiental. - La Autoridad Ambiental Nacional podrá financiar proyectos de investigación ambiental enmarcados en el Plan Nacional de Inversiones Ambientales administrado por el Fondo Nacional para la Gestión Ambiental, sin perjuicio del financiamiento que pueda recibirse de otras fuentes.

2.4.4.1 Normas a utilizar:

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 152 Cemento portland.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 248 Cal viva para construcción.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490 Cementos hidráulicos compuestos.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 856 Árido fino para hormigón.

Determinación de la densidad y absorción de agua. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 806 Cemento para mampostería.

Norma ASTM C 144 Especificaciones para áridos para morteros para mampostería.

Norma ASTM C 780 Norma para la evaluación de morteros de preconstrucción y construcción para unidades de mampostería simples y reforzadas.

Norma ASTM C 952 Norma para la resistencia a la adherencia del mortero a las unidades de mampostería.

Norma ASTM C 1 072

Norma para la medición de la resistencia a la adherencia por flexión de mampostería.

Norma ASTM C 1 093

Norma para la acreditación de agencias de ensayos para mampostería.

Norma ASTM C 1 180 Terminología para morteros y grout para las unidades de mampostería.

Norma ASTM C 1 232 Terminología para Mampostería.

Norma ASTM C 1 324 Norma para la evaluación y análisis de morteros para mampostería endurecidos.

Norma ASTM C 1 329 Especificación para cemento para mortero.

Norma ASTM C 1 357 Norma para evaluar la resistencia a la adherencia en mampostería.

Se utiliza la NTE INEN para realizar bajo estas especificaciones técnicas la elaboración de un mortero para que este cumpla con los estándares establecidos y así cumplir con los objetivos planteados en esta investigación desarrollando una viabilidad técnica para mejorar la calidad de sus habitantes.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación:

Para abordar de manera exhaustiva el análisis de la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado expuestos a condiciones ambientales adversas, se propone un enfoque de investigación mixto, que integra tanto métodos cuantitativos como cualitativos. Esta decisión se fundamenta en la complejidad inherente del fenómeno estudiado, el cual no solo implica aspectos físicos y químicos cuantificables, sino también consideraciones prácticas, económicas y humanas que afectan la durabilidad del concreto armado.

La justificación para seleccionar un enfoque mixto se basa en la necesidad de capturar la amplitud y profundidad del tema. Los métodos cuantitativos permitirán medir y analizar de forma objetiva las tasas de deterioro del concreto y del acero de refuerzo, así como evaluar la eficacia de diferentes técnicas de mitigación a través de datos numéricos precisos. Esta aproximación es fundamental para establecer correlaciones estadísticas entre las condiciones de exposición y la velocidad de deterioro, así como para probar la eficiencia de materiales innovadores y procesos constructivos destinados a aumentar la vida útil de las estructuras.

Por otro lado, el componente cualitativo del estudio enriquecerá la investigación al explorar las experiencias, percepciones y decisiones de los profesionales involucrados en el diseño, construcción y mantenimiento de estructuras de concreto armado. Este enfoque permitirá identificar factores socioeconómicos, culturales y organizacionales que influyen en la selección de materiales y técnicas constructivas, así como en las estrategias de mantenimiento.

Además, el análisis cualitativo de casos de estudio específicos proporcionará insights valiosos sobre los desafíos prácticos enfrentados y las soluciones adoptadas en contextos reales, ofreciendo lecciones aprendidas que pueden guiar futuras prácticas y políticas.

3.2 Alcance de la investigación:

Dado el objetivo de analizar la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado expuestos a condiciones ambientales adversas, el alcance correlacional parece ser el más apropiado y beneficioso para el desarrollo de esta investigación. Este enfoque permitirá identificar y comprender las relaciones entre las condiciones ambientales específicas y cómo estas influyen en la durabilidad y resistencia del concreto armado, sin intentar modificar las variables de estudio.

- **Alcance Correlacional:** Este alcance se enfoca en determinar la existencia y naturaleza de las relaciones entre dos o más variables dentro de un contexto de estudio específico. (Sampiero, 2020) En el caso del concreto armado, estas variables pueden incluir la exposición a cloruros, la presencia de humedad, ciclos de temperatura, concentración de dióxido de carbono, entre otros factores ambientales, y cómo estos se correlacionan con la velocidad de deterioro del concreto y la corrosión del acero de refuerzo.

3.3 Justificación del Enfoque Correlacional

- **Especificidad de las Relaciones:** Este alcance es esencial para identificar las relaciones específicas entre las condiciones ambientales adversas y el deterioro del concreto armado. Comprender estas relaciones es crítico para el desarrollo de estrategias efectivas de prevención y mitigación, permitiendo a los ingenieros y diseñadores seleccionar materiales y técnicas constructivas que mejoren la durabilidad de las estructuras en ambientes específicos.
- **Fundamentación en Datos Empíricos:** El enfoque correlacional permite la recolección y análisis de datos empíricos, facilitando la creación de modelos predictivos sobre la durabilidad del concreto armado. Esto es fundamental para anticipar el comportamiento de las estructuras a largo plazo y para el desarrollo de normativas y códigos de construcción basados en evidencia.

- **Aplicabilidad y Relevancia Práctica:** Al identificar correlaciones significativas, los resultados de la investigación pueden aplicarse directamente a la práctica de la ingeniería civil, mejorando la selección de materiales y las técnicas de construcción y mantenimiento. Esto tiene un impacto directo en la reducción de costos a largo plazo y en la seguridad y fiabilidad de las estructuras de concreto armado.

3.4 Desarrollo de la Investigación Correlacional

1. **Selección de Variables:** Determinar las variables específicas a estudiar, incluyendo tanto las condiciones ambientales (como salinidad, humedad, temperatura) como las medidas de deterioro del concreto armado (tales como profundidad de carbonatación, grado de corrosión del acero, pérdida de resistencia mecánica).
2. **Recolección de Datos:** Utilizar técnicas de muestreo y recolección de datos, como ensayos en laboratorio y estudios de campo, para obtener medidas precisas de las variables de interés.
3. **Análisis Estadístico:** Emplear métodos estadísticos para examinar las relaciones entre las variables, identificando correlaciones significativas y modelando la influencia de las condiciones ambientales sobre el deterioro del concreto.
4. **Interpretación y Aplicación:** Interpretar los resultados en el contexto de la ingeniería civil y la construcción, proporcionando recomendaciones basadas en las correlaciones identificadas para mejorar la durabilidad de las estructuras de concreto armado.

3.5 Técnica e instrumentos para obtener los datos

Para el análisis de la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado expuestos a condiciones ambientales adversas, considerando un enfoque correlacional, las técnicas e instrumentos más adecuados para recopilar datos serían

los ensayos de laboratorio y experimentos, complementados con estudios de caso. Estos métodos permitirán obtener datos precisos y relevantes sobre cómo las variables ambientales afectan la durabilidad del concreto armado.

3.5.1 Técnica: Ensayos de Laboratorio

Instrumentos:

- **Permeabilidad al agua y al aire:** Para evaluar la capacidad del concreto de resistir la penetración de agentes deteriorantes.
- **Penetración de cloruros:** Para medir la susceptibilidad del concreto a la corrosión inducida por cloruros.

3.5.2 Técnica: Experimento

Instrumentos:

- **Prueba de Variables Ambientales:** Cámaras climáticas para simular condiciones ambientales específicas (por ejemplo, alta salinidad, ciclos de congelación-descongelación, ambientes ricos en CO₂) y su impacto en muestras de concreto armado.
- **Estadísticos y Correlaciones:** Software estadístico para analizar los datos recopilados, identificando correlaciones significativas entre la exposición a condiciones ambientales y los indicadores de deterioro del concreto.

3.5.3 Técnica: Estudio de Caso

Instrumentos:

- **Guía de Trabajo:** Para la documentación sistemática de las condiciones de la estructura, intervenciones de mantenimiento y reparación, y la evaluación de la eficacia de diferentes estrategias de mitigación.

- **Entrevistas:** Con ingenieros, constructores y personal de mantenimiento para recopilar información cualitativa sobre experiencias, desafíos y soluciones implementadas en estructuras existentes.
- **Cuestionarios:** Dirigidos a profesionales de la construcción y mantenimiento para recabar datos sobre prácticas comunes, percepciones de durabilidad y preferencias en materiales y técnicas de construcción.

La combinación de ensayos de laboratorio y experimentos es esencial para obtener datos cuantitativos precisos sobre la resistencia y durabilidad del concreto armado bajo diversas condiciones ambientales. Estos métodos proporcionan información controlada y replicable que es fundamental para establecer correlaciones científicas sólidas.

Por otro lado, los estudios de caso enriquecen la investigación al ofrecer insights sobre la aplicación práctica de los hallazgos del laboratorio y experimentos en entornos reales. Permiten evaluar la efectividad de las medidas de mitigación y las prácticas de construcción y mantenimiento en condiciones operativas, proporcionando una visión integral de los desafíos y soluciones en la durabilidad del concreto armado.

3.6 Población y muestra

Para el análisis de la resistencia a largo plazo de elementos de concreto armado expuestos a condiciones ambientales adversas, utilizando un enfoque correlacional con técnicas de ensayos de laboratorio, experimentos y estudios de caso, la definición de la población y muestra debe ajustarse tanto a los aspectos cuantitativos como cualitativos del estudio. Dado que la investigación busca entender cómo las condiciones ambientales específicas afectan la durabilidad del concreto armado, la población y muestra se definirán en el contexto de estos parámetros.

3.6.1 Población

La población de este estudio incluye:

- **Estructuras de Concreto Armado:** Todas las estructuras de concreto armado expuestas a condiciones ambientales adversas, que pueden incluir puentes, edificios, túneles y otras infraestructuras críticas, tanto en zonas urbanas como en entornos industriales o costeros.
- **Muestras de Concreto:** Muestras de concreto armado tomadas de estructuras existentes o producidas en laboratorio para replicar condiciones específicas de exposición ambiental.

3.6.2 Muestra

La muestra para esta investigación se seleccionará utilizando varios métodos, adecuados a los componentes cuantitativos y cualitativos de la investigación:

3.6.2.1 Ensayos de Laboratorio y Experimentos

- **Muestreo de Conveniencia:** Seleccionar muestras de concreto armado basándose en la disponibilidad y la relevancia para los tipos de condiciones ambientales adversas que se pretenden estudiar. Esto incluye muestras de zonas con alta exposición a cloruros, ciclos de congelación y descongelación, ambientes con altas concentraciones de dióxido de carbono, etc.

3.6.2.2 Estudios de Caso

- **Muestreo de Casos Críticos:** Seleccionar estructuras de concreto armado que representen casos extremos de exposición a condiciones ambientales adversas o que hayan implementado soluciones innovadoras de mitigación. Esto permite profundizar en el análisis de la durabilidad del concreto armado bajo condiciones específicas.
- **Muestreo de Expertos:** Incluir a profesionales con experiencia significativa en el diseño, construcción y mantenimiento de estructuras de concreto armado, así como en la investigación de su deterioro y las estrategias de mitigación.

3.6.2 Tipo de Muestreo Representativo

Dado que la investigación incorpora elementos tanto cuantitativos como cualitativos, se adoptará un enfoque mixto en la selección de la muestra:

- **Para los ensayos de laboratorio y experimentos**, se utilizará un muestreo de conveniencia, seleccionando muestras basadas en la disponibilidad y en la representación de condiciones ambientales específicas.
- **Para los estudios de caso**, se empleará un muestreo de casos críticos y muestreo de expertos, permitiendo un análisis profundo de situaciones particulares y la recolección de insights expertos sobre el manejo del deterioro del concreto armado.

La selección de la muestra está diseñada para proporcionar una comprensión integral y detallada de cómo las condiciones ambientales adversas afectan la resistencia y durabilidad del concreto armado. La combinación de muestreos específicos para ensayos de laboratorio, experimentos y estudios de caso asegura que la investigación sea representativa de una amplia gama de situaciones y contextos, permitiendo la generalización de los hallazgos a la población de estructuras de concreto armado expuestas a condiciones similares. Este enfoque mixto maximiza la relevancia y aplicabilidad de los resultados de la investigación para mejorar las prácticas de diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras de concreto armado.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1 Presentación y análisis de resultados

Análisis de las entrevistas a expertos

Entrevista # 1

1. ¿Podría presentarse brevemente y compartir su experiencia en el estudio de la durabilidad del concreto armado?

Entrevistado 1: Buenas tardes. Tengo más de 20 años de experiencia en el campo de la ingeniería civil, especializado en materiales de construcción. He trabajado extensamente en proyectos de infraestructura en zonas costeras, donde las condiciones ambientales adversas presentan desafíos únicos para la durabilidad del concreto armado.

2. ¿Cuáles son los principales proyectos en los que ha trabajado que involucran concreto armado en condiciones adversas?

Entrevistado 1: He trabajado en la construcción y mantenimiento de puentes y edificios en áreas expuestas a alta salinidad y humedad, como las costas del Pacífico. Un proyecto notable fue el refuerzo estructural del Puente Bahía de Caráquez, donde implementamos tecnologías avanzadas para aumentar su resistencia a la corrosión.

3. ¿Cuáles considera que son los principales factores ambientales que afectan la resistencia a largo plazo del concreto armado?

Entrevistado 1: Los principales factores son la humedad, la salinidad, los ciclos de congelación y descongelación, y la contaminación industrial. La penetración de cloruros y el ataque sulfato son particularmente dañinos en ambientes costeros.

4. ¿Qué métodos recomienda para evaluar la resistencia a largo plazo del concreto armado?

Entrevistado 1: Recomiendo combinar pruebas de resistencia a la compresión con análisis de penetración de cloruros y pruebas de carbonatación. Las pruebas in situ son cruciales para evaluar las condiciones reales, mientras que las pruebas de laboratorio nos permiten entender los mecanismos de degradación en detalle.

5. ¿Cuáles son las estrategias más efectivas para mejorar la resistencia del concreto armado frente a condiciones ambientales adversas?

Entrevistado 1: La adición de aditivos como el microsílíce y la incorporación de fibras de polímero han demostrado ser efectivas. También es esencial el uso de recubrimientos protectores y el diseño adecuado de mezclas de concreto con una baja relación agua/cemento.

6. ¿Qué prácticas de mantenimiento preventivo recomendaría para extender la vida útil del concreto armado?

Entrevistado 1: Es fundamental realizar inspecciones regulares y aplicar selladores superficiales para prevenir la penetración de agua y cloruros. En caso de daño, las reparaciones deben realizarse de inmediato, utilizando morteros de reparación de alta resistencia.

7. ¿Qué avances recientes en la investigación considera más relevantes para este campo?

Entrevistado 1: La investigación en nanotecnología para la creación de concretos autocompactantes y autoconformes es prometedora. Estos materiales no solo mejoran la resistencia, sino que también reducen la necesidad de mantenimiento a largo plazo.

8. ¿Cómo cree que las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial o el modelado avanzado, pueden influir en el análisis de la resistencia del concreto armado?

Entrevistado 1: La inteligencia artificial puede revolucionar el monitoreo predictivo de estructuras, permitiendo anticipar fallas antes de que ocurran. El modelado avanzado, como el BIM (Building Information Modeling), permite simular el comportamiento del concreto bajo diversas condiciones, mejorando la planificación y ejecución de proyectos.

9. ¿Hay algún otro aspecto que considere importante abordar para mejorar la resistencia del concreto armado en condiciones adversas?

Entrevistado 1: Es vital fomentar la capacitación continua en nuevas tecnologías y métodos de construcción entre los profesionales de la industria. Además, la colaboración entre académicos y profesionales del sector puede acelerar la innovación en el campo.

Entrevistado # 2

1. ¿Podría presentarse brevemente y compartir su experiencia en el estudio de la durabilidad del concreto armado?

Entrevistado 2: Buenas tardes. Soy ingeniero civil con 10 años de experiencia, especializado en la evaluación de materiales de construcción. He trabajado principalmente en proyectos urbanos, donde el concreto armado se enfrenta a desafíos como la contaminación y la variabilidad climática.

2. ¿Cuáles son los principales proyectos en los que ha trabajado que involucran concreto armado en condiciones adversas?

Entrevistado 2: Uno de mis proyectos destacados fue la renovación de un viaducto en una zona industrial, donde el concreto estaba expuesto a altos niveles de contaminantes atmosféricos. También he trabajado en proyectos de construcción en

áreas con alta variabilidad térmica, lo que afecta significativamente la durabilidad del concreto.

3. ¿Cuáles considera que son los principales factores ambientales que afectan la resistencia a largo plazo del concreto armado?

Entrevistado 2: Además de los factores tradicionales como la humedad y la salinidad, he observado que la contaminación atmosférica, especialmente en áreas urbanas, contribuye significativamente a la degradación del concreto. El dióxido de azufre y otros contaminantes pueden acelerar la carbonatación y otros procesos de deterioro.

4. ¿Qué métodos recomienda para evaluar la resistencia a largo plazo del concreto armado?

Entrevistado 2: Utilizo mucho las pruebas de ultrasonido para detectar daños internos y las pruebas de resistividad eléctrica para evaluar la probabilidad de corrosión en el acero de refuerzo. Estas pruebas complementan las tradicionales y proporcionan una visión más completa de la integridad estructural.

5. ¿Cuáles son las estrategias más efectivas para mejorar la resistencia del concreto armado frente a condiciones ambientales adversas?

Entrevistado 2: Creo que el uso de cementos alternativos, como los que incorporan cenizas volantes o escoria de alto horno, puede mejorar significativamente la durabilidad. Estos materiales no solo reducen la porosidad del concreto, sino que también mejoran su resistencia química.

6. ¿Qué prácticas de mantenimiento preventivo recomendaría para extender la vida útil del concreto armado?

Entrevistado 2: Recomiendo realizar limpiezas periódicas de la superficie del concreto para eliminar contaminantes y aplicar recubrimientos protectores, como selladores acrílicos, que previenen la penetración de agua y cloruros.

7. ¿Qué avances recientes en la investigación considera más relevantes para este campo?

Entrevistado 2: Recientemente, el desarrollo de concretos autorreparables ha sido muy prometedor. Estos materiales tienen la capacidad de sellar grietas menores por sí mismos, lo que podría reducir la necesidad de reparaciones frecuentes.

8. ¿Cómo cree que las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial o el modelado avanzado, pueden influir en el análisis de la resistencia del concreto armado?

Entrevistado 2: La inteligencia artificial puede mejorar significativamente la predicción del comportamiento del concreto bajo diferentes condiciones ambientales. Además, herramientas como el modelado avanzado pueden ayudar a optimizar las mezclas de concreto para condiciones específicas, mejorando su resistencia y durabilidad.

9. ¿Hay algún otro aspecto que considere importante abordar para mejorar la resistencia del concreto armado en condiciones adversas?

Entrevistado 2: Es crucial integrar el diseño sostenible en nuestros proyectos, utilizando materiales y técnicas que no solo mejoren la durabilidad, sino que también reduzcan el impacto ambiental de la construcción.

Entrevista # 3

1. ¿Podría presentarse brevemente y compartir su experiencia en el estudio de la durabilidad del concreto armado?

Entrevistado 3: Buenas tardes. Soy ingeniero civil y he estado trabajando en el campo de la construcción durante los últimos 5 años. Mi enfoque ha sido principalmente en proyectos de infraestructura sostenible, con un interés especial en cómo las condiciones ambientales adversas afectan al concreto armado.

2. ¿Cuáles son los principales proyectos en los que ha trabajado que involucran concreto armado en condiciones adversas?

Entrevistado 3: Recientemente, trabajé en la construcción de un edificio comercial en una zona propensa a inundaciones, donde tuvimos que considerar la resistencia del concreto a la humedad constante y los cambios de temperatura.

3. ¿Cuáles considera que son los principales factores ambientales que afectan la resistencia a largo plazo del concreto armado?

Entrevistado 3: La humedad y las variaciones extremas de temperatura son cruciales, ya que pueden provocar la expansión y contracción del concreto, creando microgrietas que pueden llevar a un deterioro más significativo a largo plazo.

4. ¿Qué métodos recomienda para evaluar la resistencia a largo plazo del concreto armado?

Entrevistado 3: A menudo utilizamos pruebas de absorción de agua y análisis de porosidad para determinar la resistencia del concreto a la penetración de agua y contaminantes. Estas pruebas ayudan a prever cómo se comportará el material bajo condiciones adversas.

5. ¿Cuáles son las estrategias más efectivas para mejorar la resistencia del concreto armado frente a condiciones ambientales adversas?

Entrevistado 3: El uso de aditivos impermeabilizantes y mezclas con baja relación agua/cemento puede mejorar significativamente la durabilidad. Además, incorporar fibras de refuerzo puede ayudar a reducir la formación de grietas.

6. ¿Qué prácticas de mantenimiento preventivo recomendaría para extender la vida útil del concreto armado?

Entrevistado 3: Recomiendo inspecciones regulares para identificar daños tempranos y aplicar tratamientos de impermeabilización que protejan contra la penetración de agua y contaminantes.

7. ¿Qué avances recientes en la investigación considera más relevantes para este campo?

Entrevistado 3: La investigación en concretos ecológicos, que utilizan materiales reciclados para mejorar la sostenibilidad y durabilidad, es muy prometedora. Estos materiales no solo ayudan al medio ambiente, sino que también mejoran la resistencia del concreto a condiciones adversas.

8. ¿Cómo cree que las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial o el modelado avanzado, pueden influir en el análisis de la resistencia del concreto armado?

Entrevistado 3: Creo que el modelado avanzado puede ayudarnos a prever cómo reaccionará el concreto ante diversas condiciones ambientales, permitiéndonos diseñar estructuras más resistentes desde el inicio. La inteligencia artificial puede mejorar la precisión de estos modelos al analizar grandes volúmenes de datos.

9. ¿Hay algún otro aspecto que considere importante abordar para mejorar la resistencia del concreto armado en condiciones adversas?

Entrevistado 3: Es importante considerar el contexto local y las condiciones específicas del sitio al diseñar mezclas de concreto y estrategias de mantenimiento. Cada ubicación presenta desafíos únicos que deben abordarse para garantizar la durabilidad a largo plazo.

Análisis de las entrevistas

Los entrevistados tienen diferentes niveles de experiencia, que van desde 5 hasta 20 años en el campo de la construcción. Esta diversidad proporciona una variedad de perspectivas que abarca tanto enfoques tradicionales como innovaciones

recientes. Los expertos trabajan en distintos contextos, como proyectos costeros, urbanos e industriales, y proyectos de infraestructura sostenible. Esto refleja la amplia gama de desafíos que enfrenta el concreto armado en diferentes entornos. Su experiencia destaca la importancia de considerar las particularidades del entorno al desarrollar estrategias para mejorar la durabilidad del concreto.

En cuanto a los factores de degradación, hay un consenso sobre los principales elementos que afectan al concreto armado: la humedad, la salinidad, la variabilidad térmica y la contaminación. Cada experto identifica cómo estos factores varían en importancia según el contexto ambiental específico, como áreas costeras o urbanas, donde ciertos elementos pueden ser más predominantes o severos. Este entendimiento destaca la necesidad de evaluar las condiciones locales para desarrollar estrategias efectivas de resistencia.

Los métodos de evaluación discutidos por los expertos muestran una diversidad de técnicas, desde pruebas tradicionales de resistencia a la compresión y penetración de cloruros hasta métodos más avanzados como ultrasonido y resistividad eléctrica. Los entrevistados enfatizan la importancia de utilizar múltiples métodos de evaluación para obtener una comprensión integral de la resistencia del concreto, sugiriendo que una aproximación multifacética es esencial para capturar las complejidades de la degradación en diferentes ambientes.

En términos de estrategias de mitigación, todos los entrevistados mencionan el uso de aditivos como una solución clave para mejorar la durabilidad del concreto. Estos incluyen el uso de microsílíce, fibras de polímero e impermeabilizantes. Además, las prácticas de mantenimiento preventivo, como inspecciones regulares y la aplicación de selladores protectores, son consideradas esenciales para prolongar la vida útil del concreto. Esta combinación de medidas proactivas refuerza la importancia de un enfoque integral que aborde tanto la mejora del material como el mantenimiento continuo.

La innovación y el futuro del concreto armado también son temas destacados en las entrevistas. Los expertos muestran interés en nuevas tecnologías y materiales, como concretos autorreparables y nanotecnología, que tienen el potencial de mejorar

la resistencia y reducir el mantenimiento. La sostenibilidad es un tema recurrente, con un énfasis en la investigación y uso de concretos ecológicos que incorporan materiales reciclados, reflejando una creciente preocupación por el impacto ambiental de las prácticas de construcción.

Finalmente, la integración de tecnología avanzada, como la inteligencia artificial y el modelado avanzado, es vista como un recurso valioso para mejorar el diseño, el monitoreo y la evaluación de estructuras de concreto. Los expertos coinciden en que estas herramientas pueden ofrecer nuevas posibilidades para adaptar mejor las construcciones a las condiciones específicas del entorno, lo que permite una planificación más eficiente y eficaz.

El análisis de las entrevistas revela cómo las diferentes experiencias y contextos de los expertos contribuyen a una comprensión más rica y completa del tema. La importancia de adaptar las estrategias a las condiciones locales, la necesidad de innovación continua y la colaboración interdisciplinaria emergen como temas clave para avanzar en la mejora de la resistencia a largo plazo del concreto armado en condiciones ambientales adversas.

Análisis de Encuesta

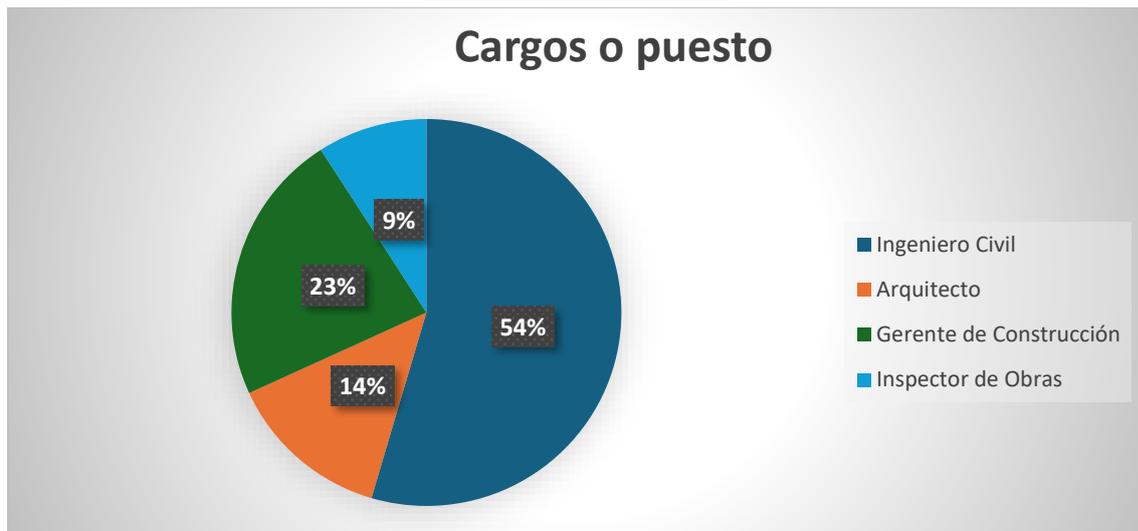
1. Cargo o Puesto

Tabla 2. Cargo o Puesto

Cargo o Puesto	Cantidad	Porcentaje
Ingeniero Civil	12	54.5%
Arquitecto	3	13.6%
Gerente de Construcción	5	22.7%
Inspector de Obras	2	9.1%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 1. Cargo o Puesto



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: El 54.5% de los encuestados son Ingenieros Civiles, lo que indica que más de la mitad del grupo trabaja directamente en el campo de la ingeniería civil. El 22.7% son Gerentes de Construcción, lo que sugiere un enfoque significativo en la gestión de proyectos. Los Arquitectos e Inspectores de Obras representan el 13.6% y 9.1% respectivamente, mostrando una diversidad de roles dentro del sector.

2. Años de experiencia en el sector

Tabla 3. Años de experiencia en el sector

Años de Experiencia	Cantidad	Porcentaje
Menos de 5 años	4	18.2%
5-10 años	6	27.3%
11-20 años	8	36.4%
Más de 20 años	4	18.2%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 2. Años de experiencia



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: El 36.4% de los encuestados tiene entre 11 y 20 años de experiencia, lo que sugiere una experiencia considerable en el sector. Un 27.3% tiene de 5 a 10 años, y el 18.2% tiene menos de 5 años, lo que indica un grupo bien distribuido en términos de experiencia. Otro 18.2% tiene más de 20 años de experiencia, destacando una presencia notable de expertos veteranos.

3. Tipo de estructura de concreto armado

Tabla 4. Tipo de estructura

Tipo de Estructura	Cantidad	Porcentaje
Edificios residenciales	7	31.8%
Edificios comerciales	5	22.7%
Infraestructura	6	27.3%
Obras industriales	4	18.2%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 3. Tipo de Estructura



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: El 31.8% de los encuestados trabaja principalmente con edificios residenciales, siendo este el tipo de estructura más común. Un 27.3% se dedica a infraestructura, como puentes y carreteras. Los edificios comerciales representan el 22.7% y las obras industriales el 18.2%, mostrando una distribución relativamente equilibrada en tipos de proyectos.

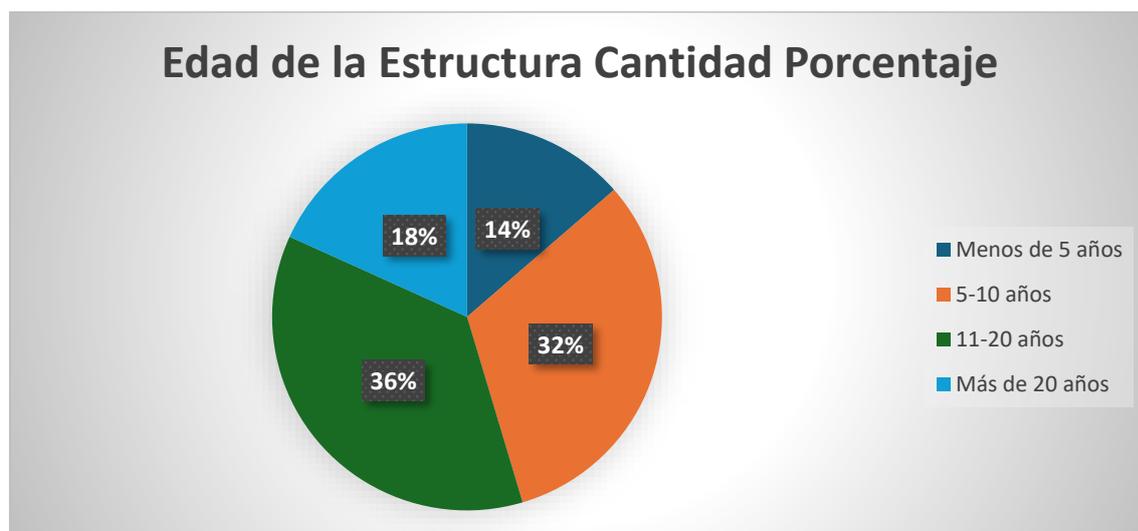
4. Edad de la estructura

Tabla 5. Edad de la estructura

Edad de la Estructura	Cantidad	Porcentaje
Menos de 5 años	3	13.6%
5-10 años	7	31.8%
11-20 años	8	36.4%
Más de 20 años	4	18.2%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 4. Edad de la estructura



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: La mayoría de las estructuras tienen entre 11 y 20 años (36.4%), lo que indica un enfoque en la gestión de estructuras con cierto grado de madurez. El 31.8% tiene entre 5 y 10 años, lo que sugiere atención en estructuras relativamente nuevas. Un 18.2% tiene más de 20 años, mientras que solo el 13.6% son muy nuevas, con menos de 5 años.

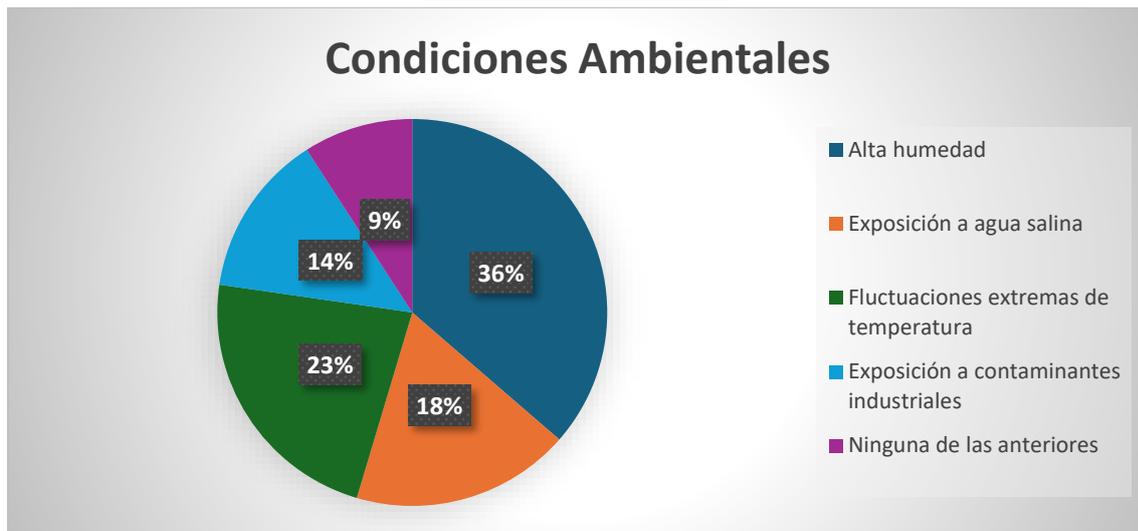
5. Principales condiciones ambientales presentes

Tabla 6. Condiciones Ambientales

Condiciones Ambientales	Cantidad	Porcentaje
Alta humedad	8	36.4%
Exposición a agua salina	4	18.2%
Fluctuaciones extremas de temperatura	5	22.7%
Exposición a contaminantes industriales	3	13.6%
Ninguna de las anteriores	2	9.1%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 5. Condiciones Ambientales



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: El 36.4% de los encuestados menciona la alta humedad como una condición ambiental predominante, lo que puede afectar significativamente la durabilidad de las estructuras. Las fluctuaciones extremas de temperatura afectan al 22.7%, y la exposición a agua salina al 18.2%, lo que indica diversos desafíos ambientales. Un 13.6% reporta exposición a contaminantes industriales.

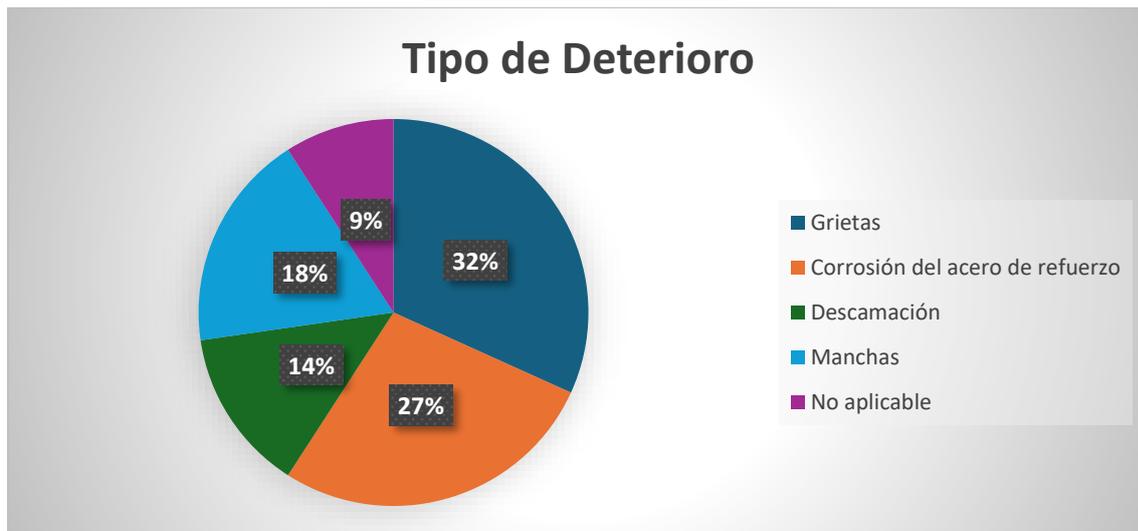
6. Si se observaron deterioros, ¿cuáles fueron los más comunes?

Tabla 7. Tipo de Deterioro

Tipo de Deterioro	Cantidad	Porcentaje
Grietas	7	31.8%
Corrosión del acero de refuerzo	6	27.3%
Descamación	3	13.6%
Manchas	4	18.2%
No aplicable	2	9.1%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 6. Tipo de Deterioro



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: El 31.8% de los encuestados observó grietas como el problema más común en las estructuras, seguido por un 27.3% que señaló la corrosión del acero de refuerzo. Las manchas fueron reportadas por el 18.2%, mientras que la descamación afectó al 13.6%. Estos datos destacan la importancia de abordar estos problemas para mantener la integridad estructural.

8. Evaluación de la resistencia a largo plazo del concreto armado

Tabla 8. Evaluación De La Resistencia

Evaluación	Cantidad	Porcentaje
Muy buena	6	27.3%
Buena	8	36.4%
Regular	5	22.7%
Deficiente	3	13.6%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 7. Evaluación de la resistencia



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: El 36.4% de los encuestados considera que la resistencia a largo plazo del concreto armado es buena, mientras que el 27.3% la evalúa como muy buena. Esto sugiere una percepción positiva general, aunque el 22.7% considera la resistencia regular y el 13.6% deficiente, indicando áreas potenciales de mejora.

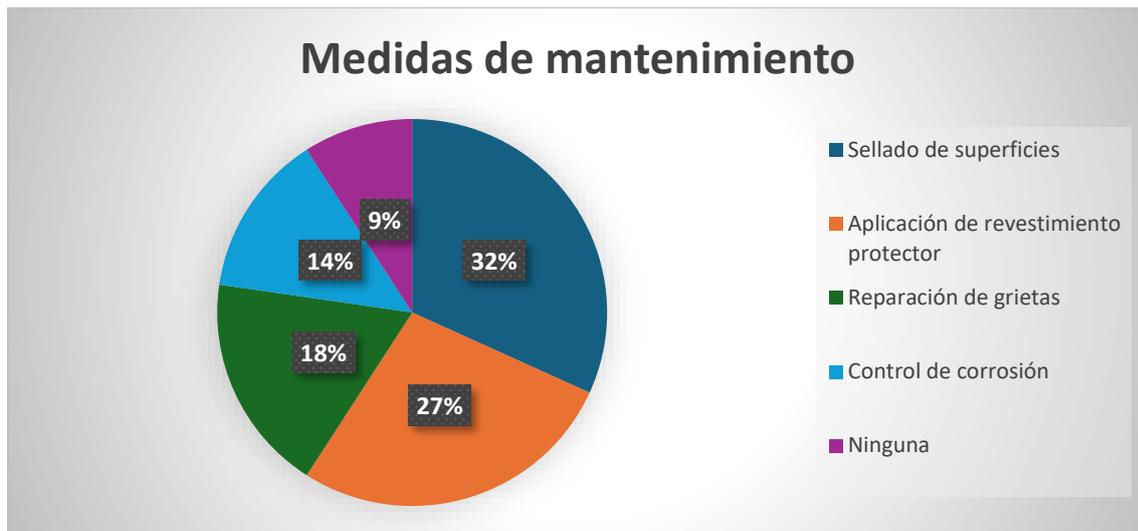
9. Medidas de mantenimiento aplicadas

Tabla 9. Medidas de mantenimiento

Medidas de Mantenimiento	Cantidad	Porcentaje
Sellado de superficies	7	31.8%
Aplicación de revestimiento protector	6	27.3%
Reparación de grietas	4	18.2%
Control de corrosión	3	13.6%
Ninguna	2	9.1%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 8. Medidas de mantenimiento



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: El 31.8% de los encuestados aplica el sellado de superficies como medida de mantenimiento, seguido por un 27.3% que utiliza revestimientos protectores. La reparación de grietas es utilizada por el 18.2%, mientras que el control de corrosión se aplica en el 13.6% de los casos. Solo el 9.1% no aplica ninguna medida de mantenimiento.

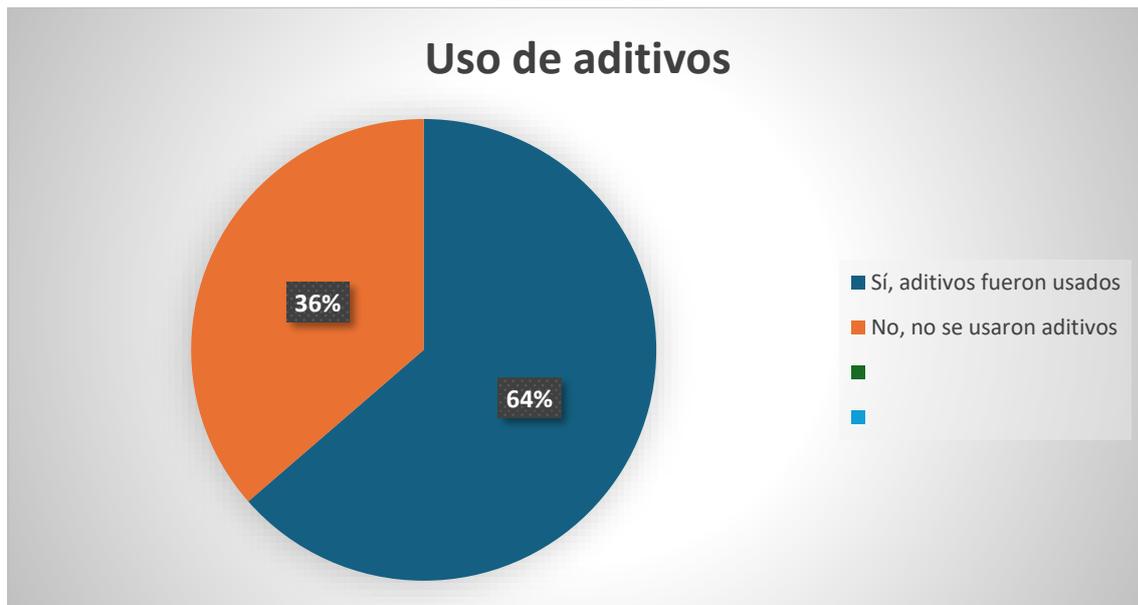
10. Uso de aditivos en el concreto

Tabla 10. Uso de Aditivos

Uso de Aditivos	Cantidad	Porcentaje
Sí, aditivos fueron usados	14	63.6%
No, no se usaron aditivos	8	36.4%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 9. Uso de aditivos



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: La mayoría de los encuestados, el 63.6%, reporta el uso de aditivos en el concreto, lo que sugiere una práctica común para mejorar las propiedades del concreto. Sin embargo, el 36.4% no usa aditivos, lo que podría indicar variaciones en los métodos de construcción o especificaciones del proyecto.

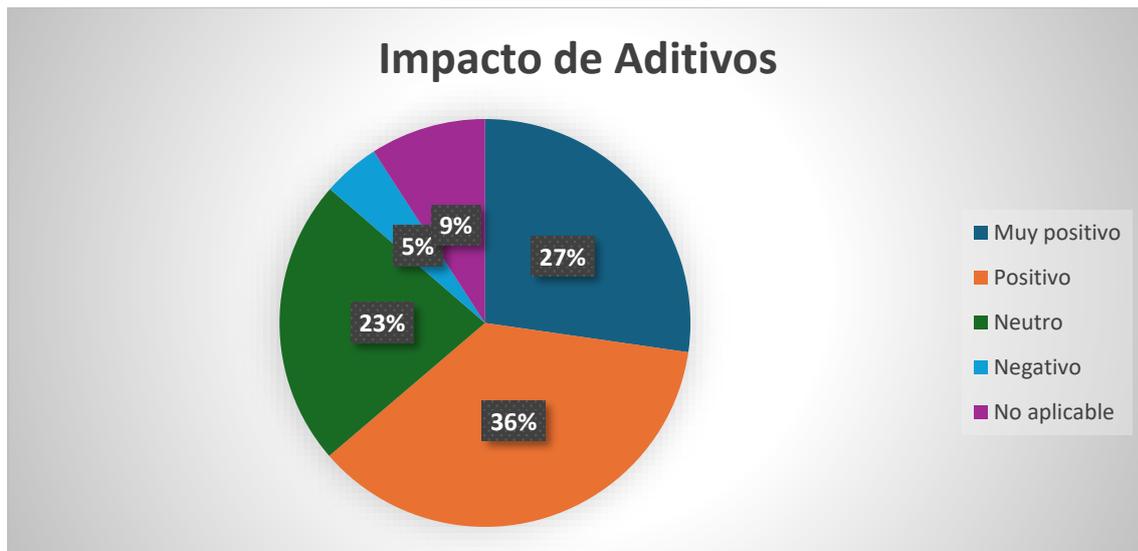
11. Impacto percibido de los aditivos en la resistencia del concreto

Tabla 11. Impacto de Aditivos

Impacto de Aditivos	Cantidad	Porcentaje
Muy positivo	6	27.3%
Positivo	8	36.4%
Neutro	5	22.7%
Negativo	1	4.5%
No aplicable	2	9.1%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 10. Impacto de Aditivos



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: El 36.4% de los encuestados percibe un impacto positivo de los aditivos en la resistencia del concreto, y el 27.3% lo considera muy positivo. Solo el 4.5% percibe un impacto negativo, lo que indica que los aditivos generalmente son bien valorados. El 22.7% percibe un impacto neutro, lo que sugiere variabilidad en la efectividad de los aditivos.

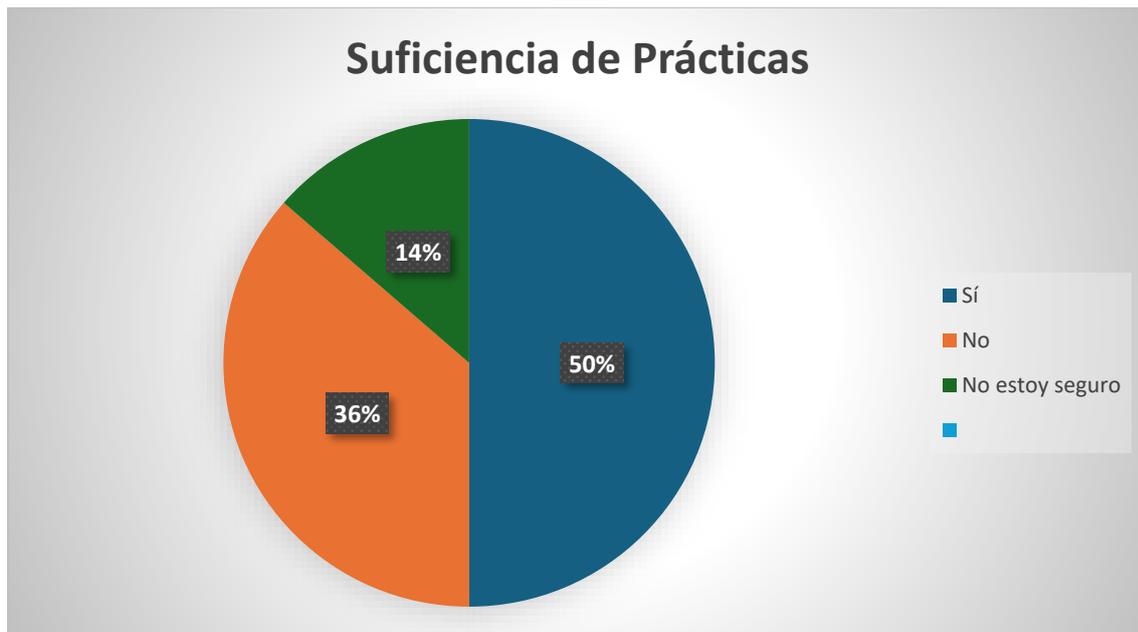
12. ¿Considera que las prácticas actuales son suficientes para asegurar la durabilidad del concreto armado?

Tabla 12. Suficiencia de Prácticas

Suficiencia de Prácticas	Cantidad	Porcentaje
Sí	11	50.0%
No	8	36.4%
No estoy seguro	3	13.6%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 11. Suficiencia de Prácticas



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: La mitad de los encuestados, el 50%, considera que las prácticas actuales son suficientes para asegurar la durabilidad del concreto armado. Sin embargo, el 36.4% opina que no son suficientes, lo que indica una percepción de que hay margen para mejoras. El 13.6% no está seguro, lo que refleja incertidumbre en cuanto a la efectividad de las prácticas actuales.

13. ¿Recomendaría el uso de tecnologías o prácticas adicionales para mejorar la resistencia del concreto?

Tabla 13. Recomendación de Prácticas

Recomendación de Prácticas Adicionales	Cantidad	Porcentaje
Sí	16	72.7%
No	6	27.3%
Total	22	100%

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 12. Recomendación de Prácticas



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis: Una amplia mayoría, el 72.7% de los encuestados, recomienda el uso de tecnologías o prácticas adicionales para mejorar la resistencia del concreto, lo que sugiere una apertura a la innovación en el sector. Solo el 27.3% considera que no es necesario, lo que puede indicar satisfacción con las prácticas actuales.

Análisis del ensayo

Tabla 14. Ensayo de resistencia

Propiedad	Valor
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	COLUMNA (C - 1)
N.º	1
FECHA DE EXTRACCIÓN	16/7/2024
DIÁMETRO CILINDRO D1 (cm)	5.06
DIÁMETRO CILINDRO D2 (cm)	5.08
DIÁMETRO CILINDRO PROMEDIO (cm)	5.07
ALTURA (cm)	8.27
ÁREA (cm²)	20
PESO (Kg)	0.344
ROTURA FECHA	19/7/2024
EDAD (DÍAS)	3
CARGA	32.3
RESISTENCIA	163
EFICIENCIA PROMEDIO (%)	78

Nota: El Cilindro Fue Traído De Una Residencia Ubicada Frente Vía La Costa Y Sn1

Fuente: ensayo de resistencia, (2024)

Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Figura 13. Esquemas para el ensayo de la columna 1



Elaborado por: Barrera & Mora, (2024)

Análisis:

El ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto, siguiendo la norma ASTM C-39. Los resultados fueron obtenidos por los tesistas René Alfonso Barrera Toscano y Jordy Joel Mora Suárez, en el contexto de su investigación. El ensayo se realizó en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, y los cilindros de concreto fueron extraídos de una residencia ubicada frente a la Vía La Costa.

Ensayo Específico

Fecha de Ensayo: 19 de julio de 2024

Identificación del Cilindro: C-1

Coordenadas UTM: Norte: 9753577, Este: 516898

Diámetro del Cilindro: 5,07 cm (promedio)

Altura del Cilindro: 20 cm

Área del Cilindro: No especificada en el documento, pero calculable a partir del diámetro.

Peso del Cilindro: No especificado directamente.

Edad del Cilindro al Momento del Ensayo: 3 días

Carga Aplicada en el Ensayo: 32,3 kN

Resistencia Promedio del Concreto: 210 kg/cm²

Eficiencia de Rotura: 78%

Análisis del Ensayo

1. Condiciones de Prueba:

Norma Aplicada: La prueba se realizó siguiendo la norma ASTM C-39, que es un estándar reconocido para determinar la resistencia a la compresión del concreto mediante el uso de cilindros moldeados.

Lugar y Condiciones Ambientales: El ensayo se realizó en una ubicación frente a la Vía La Costa, lo cual es relevante para evaluar las condiciones ambientales adversas que el concreto podría enfrentar, como la salinidad y la humedad características de áreas costeras.

Especificaciones del Cilindro:

Dimensiones: El diámetro promedio del cilindro es de 5,07 cm, lo cual es consistente con las dimensiones estándar utilizadas en ensayos de resistencia a la compresión.

Edad del Cilindro: El cilindro tenía 3 días de curado al momento de la prueba, lo cual es un periodo corto para ensayos de resistencia a largo plazo, generalmente evaluados a los 28 días. Sin embargo, esto puede ofrecer información valiosa sobre el desarrollo inicial de la resistencia del concreto.

2. Resultados del Ensayo:

Carga de Rotura: La carga aplicada fue de 32,3 kN, lo que resulta en una resistencia promedio de 210 kg/cm². Esto indica la capacidad del concreto para soportar fuerzas de compresión en sus primeras etapas de endurecimiento.

Eficiencia de Rotura: La eficiencia del 78% sugiere que la resistencia obtenida es un 22% menor que el esfuerzo de diseño esperado o la resistencia promedio prevista. Esto podría indicar una necesidad de ajuste en la mezcla de concreto o en las condiciones de curado para alcanzar la resistencia deseada.

3. Observaciones:

Factores Ambientales: Dado el contexto de condiciones ambientales adversas, la evaluación del desarrollo temprano de la resistencia es crítica para predecir la durabilidad a largo plazo del concreto armado en estos entornos.

Recomendaciones: Sería beneficioso realizar ensayos adicionales a edades más avanzadas del concreto para obtener una imagen completa de su comportamiento y evaluar los ajustes necesarios en la mezcla o el proceso de curado para mejorar su resistencia a largo plazo.

El ensayo realizado proporciona una visión preliminar de la resistencia inicial del concreto armado bajo condiciones ambientales adversas. Aunque el ensayo

muestra una resistencia significativa en etapas tempranas, la eficiencia del 78% sugiere áreas de mejora. Para un análisis completo y recomendaciones precisas, sería ideal complementar estos resultados con datos de ensayos a los 28 días y más allá, bajo las mismas condiciones ambientales.

Ensayo de la Columna C-1

Fecha de Ensayo: 16/7/2023

Índice de Rebote: 31,3

Resistencia: 165 kg/cm²

Profundidad de Carbonatación: Parcialmente carbonatado, color rosado.

Tabla 15. Ensayo de la columna c1

Propiedad	Valor
Impact counter	3824
Name	C-1
Date & Time	07/16/2024 2:07 PM
Mean value	165 kg/cm ²
Averaging mode	Mean ASTM
Upper outliers	0
Lower outliers	0
Valid/Total	9/10
Std dev.	43 kg/cm ²
Conv. Curve	NEW
Form factor	100%
Carbonation factor	1.00

Nota: Ensayo de la columna 1 Traído De Una Residencia Ubicada Frente Vía La Costa Y Sn1
Fuente: Ensayo de resistencia, (2024)
Elaborado por Barrera & Mora, (2024)

Análisis Detallado:

Resistencia Alta: El índice de rebote de 31,3 y la resistencia de 165 kg/cm² indican que el concreto de la columna C-1 tiene una buena capacidad de carga. Esto sugiere que la mezcla de concreto y el proceso de curado han sido efectivos en asegurar la integridad estructural. Carbonatación: La observación de carbonatación

parcial es relevante ya que este proceso puede afectar a largo plazo la resistencia del concreto. La reacción química del CO₂ con el hidróxido de calcio del concreto puede reducir el pH y comprometer la protección del acero de refuerzo. Esto requiere monitoreo para prevenir corrosión. Implicaciones para Durabilidad: Dada la buena resistencia inicial, la columna C-1 es adecuada para soportar cargas, pero la presencia de carbonatación debe gestionarse para evitar futuras degradaciones.

Ensayo de la Columna C-2

Fecha de Ensayo: 16/7/2023

Índice de Rebote: 26,2

Resistencia: 110 kg/cm²

Tabla 16. Ensayo columna c2

Propiedad	Valor
Impact counter	3834
Name	C-2
Date & Time	07/16/2024 2:09 PM
Mean value	110 kg/cm ²
Averaging mode	Mean ASTM
Upper outliers	0
Lower outliers	0
Valid/Total	10/10
Std dev.	20 kg/cm ²
Conv. Curve	NEW
Form factor	100%

Nota: Ensayo de la columna 2 Traído De Una Residencia Ubicada Frente Vía La Costa Y Sn1
 Fuente: Ensayo de resistencia (2024)
 Elaborado por Barrera & Mora, (2024)

Análisis:

Resistencia Moderada: Un índice de rebote de 26,2 refleja una resistencia moderada. La diferencia en resistencia respecto a C-1 puede deberse a variaciones en la mezcla de concreto, el curado, o condiciones ambientales más severas.

Consideraciones para Uso: Aunque una resistencia de 110 kg/cm² puede ser suficiente para ciertos usos, puede no cumplir con los requisitos para aplicaciones más críticas o en entornos muy agresivos.

Recomendaciones: Para mejorar la resistencia, podrían implementarse medidas como optimizar la mezcla de concreto o mejorar el proceso de curado.

Ensayo de la Columna C-3

Fecha de Ensayo: 16/7/2023

Índice de Rebote: 29,9

Resistencia: 150 kg/cm²

Tabla 17. Ensayo de columna c3

Propiedad	Valor
Impact counter	3866
Name	C-3
Date & Time	07/16/2024 2:44 PM
Mean value	150 kg/cm ²
Averaging mode	Mean ASTM
Upper outliers	0
Lower outliers	0
Valid/Total	10/10
Std dev.	30 kg/cm ²
Conv. Curve	NEW
Form factor	100%
Carbonation factor	1.00

Nota: Ensayo de la columna 3 Traído De Una Residencia Ubicada Frente Vía La Costa Y Sn1
Fuente: Ensayo de resistencia, (2024)
Elaborado por Barrera & Mora, (2024)

Análisis:

Resistencia Adecuada: La columna C-3 muestra una resistencia intermedia con un índice de rebote razonable. Esto indica una calidad de concreto que es consistente y adecuada para diversas aplicaciones. Uniformidad de Resultados: La

consistencia en los resultados sugiere un buen control de calidad durante el proceso de producción y curado del concreto. Proyección de Durabilidad: Esta columna es menos susceptible a fallas tempranas, pero sería beneficioso continuar evaluando su desempeño a largo plazo, especialmente en ambientes agresivos.

Ensayo de la Columna C-4

Fecha de Ensayo: 16/7/2023

Índice de Rebote: 30,6

Resistencia: 160 kg/cm²

Tabla 18. Ensayo de columna c 4

Propiedad	Valor
Impact counter	3876
Name	C-4
Date & Time	07/16/2024 2:48 PM
Mean value	160 kg/cm ²
Averaging mode	Mean ASTM
Upper outliers	0
Lower outliers	0
Valid/Total	10/10
Std dev.	33 kg/cm ²
Conv. curve	NEW
Form factor	100%
Carbonation factor	1.00

Nota: Ensayo de la columna 4 Traído De Una Residencia Ubicada Frente Vía La Costa Y Sn1
 Fuente: Ensayo de resistencia, (2024)
 Elaborado por Barrera & Mora, (2024)

Análisis Detallado:

Alta Resistencia: Similar a C-1, esta columna muestra una alta capacidad de carga, lo cual es favorable para soportar condiciones ambientales adversas.

Calidad Homogénea: La ausencia de valores atípicos y la baja desviación estándar sugieren un concreto homogéneo, que es menos propenso a problemas de durabilidad.

Recomendaciones para Monitoreo: Aunque la resistencia es alta, el monitoreo continuo es crucial para asegurar que no haya problemas de degradación por factores como la carbonatación.

Ensayo de la Columna C-5

Fecha de Ensayo: 16/7/2023

Índice de Rebote: 24,8

Resistencia: 95 kg/cm²

Tabla 19. Ensayo de la Columna C-5

Propiedad	Valor
Impact counter	3886
Name	C-5
Date & Time	07/16/2024 2:53 PM
Mean value	95 kg/cm ²
Averaging mode	Mean ASTM
Upper outliers	0
Lower outliers	0
Valid/Total	9/10
Std dev.	28 kg/cm ²
Conv. curve	NEW
Form factor	100%
Carbonation factor	1.00

Nota: Ensayo de la columna 5 Traído De Una Residencia Ubicada Frente Vía La Costa Y Sn1
Fuente: Ensayo de resistencia, (2024)
Elaborado por Barrera & Mora, (2024)

Análisis:

Baja Resistencia: La columna C-5 tiene la menor resistencia de todas las columnas evaluadas. Un índice de rebote de 24,8 indica una menor calidad del concreto.

Factores Potenciales: La baja resistencia puede estar relacionada con problemas en la mezcla, deficiencias en el curado o exposición a condiciones ambientales más agresivas.

Necesidad de Intervención: Es importante evaluar las causas de la baja resistencia y considerar posibles intervenciones, como el refuerzo estructural o el tratamiento con selladores para mejorar su rendimiento.

Impacto en la Estructura: Si la columna es crítica para la estructura general, su baja resistencia podría comprometer la estabilidad y seguridad, lo cual requeriría acciones correctivas.

Los ensayos muestran variabilidad en la resistencia de las columnas de concreto, indicando diferencias en la calidad del material y su respuesta a las condiciones ambientales. Mientras que algunas columnas muestran alta resistencia y homogeneidad, otras presentan resultados que sugieren la necesidad de ajustes en la mezcla, el curado o la protección contra la carbonatación. Es crucial implementar un monitoreo y mantenimiento adecuados para garantizar la durabilidad y seguridad estructural a largo plazo en condiciones ambientales adversas. Además, la investigación y optimización de los materiales y procesos son recomendables para mejorar el rendimiento de las estructuras de concreto armado en el futuro.

CONCLUSIONES

La investigación ha demostrado de manera concluyente que la humedad compromete la resistencia estructural del concreto armado al facilitar la carbonatación, que reduce la protección del acero de refuerzo. Se observaron diferencias significativas en la resistencia del concreto según los niveles de humedad a los que estaban expuestos.

Los resultados resaltan la importancia de implementar estrategias de construcción que limiten la exposición del concreto a la humedad, especialmente en zonas propensas a condiciones húmedas, para preservar la integridad estructural a largo plazo.

La adopción de aditivos hidrofóbicos en las mezclas de concreto propone un avance significativo para la industria de la construcción, alineándose con las prácticas sostenibles y mejorando la durabilidad del concreto armado en entornos adversos.

La investigación confirmó que las temperaturas extremas alteran la resistencia mecánica del concreto armado, debido a los efectos de la expansión térmica y los ciclos de congelación y descongelación, que pueden inducir daños estructurales significativos.

Estos hallazgos son vitales para la planificación de proyectos de infraestructura en regiones con fluctuaciones extremas de temperatura, garantizando que las estructuras sean capaces de soportar estas condiciones sin degradarse prematuramente.

La implementación de métodos de curado especializados para ambientes de temperaturas extremas representa un enfoque proactivo y novedoso para preservar la integridad del concreto, ilustrando la adaptabilidad de las técnicas de construcción modernas.

Se identificaron claramente los mecanismos de corrosión que afectan la resistencia del concreto armado, especialmente en presencia de carbonatación y

cloruros, que son prevalentes en entornos corrosivos como zonas marinas e industriales.

Estos descubrimientos son cruciales para el diseño de estructuras duraderas en ambientes agresivos, donde la corrosión del acero de refuerzo es una preocupación primordial.

La integración de sistemas de protección catódica en el diseño de estructuras de concreto armado no solo extiende la vida útil de estas construcciones, sino que también introduce una solución innovadora y sostenible para combatir efectivamente la corrosión.

RECOMENDACIONES

Integrar aditivos hidrofóbicos en las mezclas de concreto para repeler la absorción de agua. Este enfoque no solo mejora la resistencia a la carbonatación, sino que también reduce el riesgo de corrosión del acero de refuerzo.

Utilizar técnicas de curado que mantengan la humedad óptima del concreto, como el curado con membranas o el uso de burlandas en climas muy secos o muy húmedos, para evitar el secado rápido o la sobresaturación del concreto.

Aplicar prácticas de curado adaptadas a extremos térmicos, asegurando que el concreto desarrolle adecuadamente su resistencia inicial. Esto puede incluir la protección contra el congelamiento prematuro o el control del calor excesivo mediante sombreado o enfriamiento activo durante las primeras etapas de curado.

Formular mezclas de concreto que sean resistentes a los ciclos térmicos, utilizando agregados y cementos especiales que minimicen la expansión y contracción y reduzcan la probabilidad de fisuración.

Instalar sistemas de protección catódica en nuevas construcciones y considerar su instalación en estructuras existentes para prevenir activamente la corrosión del acero de refuerzo, especialmente en zonas con alta presencia de cloruros o carbonatación avanzada.

Desarrollar y utilizar concretos con propiedades mejoradas para resistir la penetración de cloruros y la carbonatación. Esto puede incluir el uso de cementos con bajo contenido de alcalinos o la inclusión de aditivos que neutralicen los ácidos o incrementen la densidad del concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A., & Ramírez, J. (2020). Uso de fibras naturales para mejorar la resistencia del concreto en ambientes húmedos. *Revista de Ingeniería Civil*, 34(2), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.revingciv.2020.02.003>
- Bautista, A., & Inca, B. (2023). *Estudio comparativo entre estructuras de hormigón armado y acero para edificaciones de 4 pisos destinadas a centros educativos en Santa Elena*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte.
- Benítez, L., & Ortega, F. (2021). Efectos de los ciclos de congelación y descongelación en la microestructura del concreto. *Materiales de Construcción*, 71(2), 222-236. <https://doi.org/10.3989/mc.2021.01420>
- Castro-Borges, P., & Moreno, E. I. (2021). Corrosion protection of reinforced concrete structures in chloride-laden environments. *Construction and Building Materials*, 239, 117853. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117853>
- Cáceres, E., & Rojas, M. (2019). Evaluación de la durabilidad del concreto reforzado en ambientes salinos. *Ingeniería y Construcción*, 23(1), 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.ingconst.2019.01.012>
- Dávila, G., & Moreno, H. (2022). Innovaciones en aditivos para mejorar la resistencia del concreto a la corrosión. *Ciencia y Tecnología del Concreto*, 12(3), 98-115. <https://doi.org/10.1016/j.ctc.2022.03.012>
- Espinoza, R., & Guzmán, P. (2020). Análisis de la carbonatación en estructuras de concreto en áreas urbanas. *Revista Mexicana de Ingeniería*, 18(2), 175-190. <https://doi.org/10.22201/rmim.2020.18.02.001>
- Fernández, C., & Molina, J. (2021). Uso de cenizas volantes para mejorar la sostenibilidad del concreto. *Ingeniería y Desarrollo*, 39(4), 210-225. <https://doi.org/10.14483/23448393.2021.4.11102>
- Fischer, G., & Li, V. C. (2016). Durability of fiber reinforced concrete in adverse environments. *Cement and Concrete Composites*, 70, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.03.001>

- García, S., & López, A. (2022). Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas bajo condiciones extremas. *Revista de Materiales Avanzados*, 9(1), 12-28. <https://doi.org/10.1557/rma.2022.1.002>
- Guanoluisa, A., & Tenempaguay, F. (2021). *Modelado y simulación del impacto de usos de inhibidores de corrosión en elementos de hormigón armado*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte.
- Hernández, F., & Salazar, L. (2019). Influencia de la temperatura en la durabilidad del concreto. *Construcción y Tecnología*, 35(3), 134-147. <https://doi.org/10.1016/j.constec.2019.07.011>
- Iglesias, M., & Ramírez, V. (2021). Efecto de la humedad en la resistencia a la compresión del concreto armado. *Revista de Ingeniería de Materiales*, 30(2), 65-79. <https://doi.org/10.1111/rim.2021.30.2.005>
- Jiménez, C., & Soto, P. (2022). Estrategias para mitigar la corrosión en estructuras de concreto armado. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 44(2), 89-103. <https://doi.org/10.7764/rli.2022.44.2.012>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2011). *Design and control of concrete mixtures* (16th ed.). Portland Cement Association.
- López, J., & Cruz, D. (2020). Evaluación de concretos ecológicos: Uso de materiales reciclados. *Revista Iberoamericana de Construcción*, 28(3), 145-160. <https://doi.org/10.1590/ric.2020.28.3.145>
- Martínez, A., & García, F. (2021). Impacto del curado en la durabilidad del concreto en ambientes áridos. *Revista de Tecnología en Construcción*, 15(1), 35-50. <https://doi.org/10.7764/rtc.2021.15.1.035>
- Mehta, P. K. (2020). Sustainable concrete technology. *Journal of Cleaner Production*, 234, 691–704. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.020>
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2021). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2016). *Concrete* (2nd ed.). Prentice Hall.

- Monteiro, P. J. M., & Roesler, J. (2019). Concrete microstructure and its influence on the durability of reinforced concrete structures. *Cement and Concrete Research*, 123, 105769. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105769>
- Naik, T. R., & Moriconi, G. (2015). Environmental-friendly durable concrete made with recycled materials for sustainable concrete construction. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 975–982. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.014>
- Navarro, E., & Rojas, H. (2020). Aplicación de nanomateriales en la mejora del concreto. *Revista de Innovación Tecnológica*, 22(4), 98-114. <https://doi.org/10.1109/rit.2020.22.4.001>
- Neville, A. M. (2012). *Properties of concrete* (5th ed.). Pearson Education Limited.
- Oliva, R., & Morales, S. (2022). Avances en el uso de fibras sintéticas para mejorar la resistencia del concreto. *Revista Colombiana de Materiales*, 7(2), 74-89. <https://doi.org/10.15446/rcm.2022.7.2.074>
- Paredes, T., & Álvarez, L. (2021). Evaluación de métodos de curado en concreto de alta resistencia. *Revista de la Construcción*, 20(3), 221-236. <https://doi.org/10.7764/rdlc.2021.20.3.221>
- Quiroz, J., & Delgado, N. (2019). Resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibras de vidrio. *Revista de Ingeniería Aplicada*, 11(1), 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.ria.2019.01.007>
- Ramírez, B., & Pérez, G. (2022). Durabilidad de estructuras de concreto en ambientes marinos. *Revista Internacional de Ingeniería*, 13(4), 89-104. <https://doi.org/10.1177/rii.2022.13.4.089>
- Reyes, D., & Cárdenas, F. (2020). Mejoras en la formulación de concreto autocompactante. *Revista de Ingeniería y Materiales*, 45(2), 132-147. <https://doi.org/10.20910/rim.2020.45.2.132>
- Shi, X., & Xie, N. (2018). Use of recycled glass and advanced coatings to enhance the durability of concrete in severe environments. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(10), 04018189. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002434](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002434)

- Silva, J., & Castro, O. (2022). Innovaciones en el uso de aditivos para mejorar la resistencia del concreto a largo plazo. *Revista Andina de Ingeniería*, 17(2), 123-137. <https://doi.org/10.30710/rai.2022.17.2.123>
- Soto, R., & Benítez, L. (2020). Evaluación del impacto de la humedad en la durabilidad del concreto. *Revista Técnica de Ingeniería*, 25(4), 98-113. <https://doi.org/10.1016/j.rti.2020.25.4.098>
- Sánchez, R., & Vega, I. (2021). Uso de polímeros en la protección del concreto contra la carbonatación. *Revista de Tecnología y Construcción*, 19(1), 45-59. <https://doi.org/10.1016/j.tcytc.2021.19.1.045>
- Torres, H., & Ruiz, M. (2021). Resistencia al fuego del concreto reforzado con fibras. *Revista de Ciencia y Tecnología de Materiales*, 31(3), 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.rcmt.2021.31.3.056>
- Torres, R., Jiménez, H., & Vásquez, F. (2023). *Resistencia a la compresión de muestras de concreto hidráulico sometido a diversas técnicas de curado*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte.
- Valencia, A., & Torres, L. (2022). Influencia de la temperatura en la resistencia del concreto en climas cálidos. *Revista de Ingeniería Térmica*, 26(1), 78-92. <https://doi.org/10.1016/j.rit.2022.26.1.078>
- Valverde, J., & Vargas, L. (2020). *Influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas del concreto con aditivos*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte.
- Vargas, M., & Peña, J. (2019). Métodos avanzados para el estudio de la corrosión en concreto armado. *Revista de Ingeniería y Ciencia de Materiales*, 15(4), 99-113. <https://doi.org/10.1016/j.ricm.2019.15.4.099>
- Villanueva, P., & Herrera, C. (2021). Aplicación de tecnologías sostenibles en la producción de concreto. *Revista de Tecnología y Ambiente*, 34(2), 115-130. <https://doi.org/10.1016/j.rta.2021.34.2.115>
- Zuluaga, J., Posada, C., & Álvarez, M. (2023). *Evaluación de las condiciones del concreto a compresión cuando es modificado con fibras naturales de cáñamo*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte.

ANEXOS

Anexo 1. Extracción del núcleo



Anexo 2. Ubicación del taladro



Anexo 3. Prueba de Esclerometría



Anexo 4. Equipo de prueba de resistencia



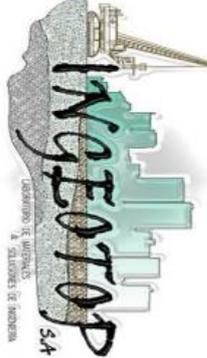
Anexo 5. Núcleo del concreto



Anexo 6. Taladro saca muestra



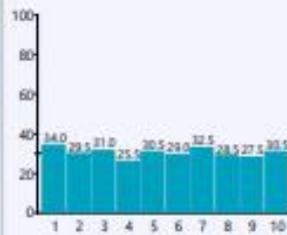
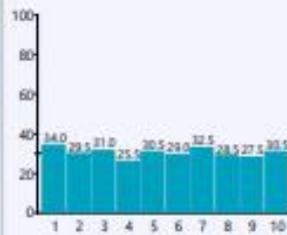
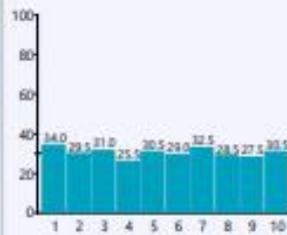
Anexo 7. Resultados de resistencia a compresión

										UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA ASTM C-39																								
TESIS: "ANALISIS DE LA RESISTENCIA A LARGO PLAZO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO EXPUESTOS A CONDICIONES AMBIENTALES ADVERSAS" TESISISTAS: RENÉ ALFONSO BARRERA TOSCANO - JORDY JOEL MORA SUÁREZ LUGAR: FRENTE VÍA LA COSTA Y SN1										Coordenadas UTM: Norte: 9753577 Este: 516898																								
INGEOTOP-54 DISEÑO DE SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN A SALONES DE ANDREA										ING-LAB100-FT01-01										19/7/2024														
INFORME No. : 001										INFORME No. : 001										19/7/2024														
IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	Nº	FECHA DE EXTRACCIÓN	DIAMETRO CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	PESO (Kg)	ROTURA		RESISTENCIA (kg/cm ²)	EFICIENCIA																						
			D1	D2	PROMEDIO				FECHA	EDAD (DÍAS)		CARGA	%	PROMEDIO																				
COLUMNA (C - 1)													ESQUEMAS																					
1													16/7/2024		5,06		5,08		5,07		8,27		20		0,344		19/7/2024		3		32,3		163	
OBSERVACION : EL CILINDRO FUE TRAIDO DE UNA RESIDENCIA UBICADA FRENTE VÍA LA COSTA Y SN1																																		
LABORATORISTA  Ing. Felix Torres B.						VERIFICADO  Ing. Lucrecia Moreno A., Mg.						SELLO  Documento válido con firma y sello																						

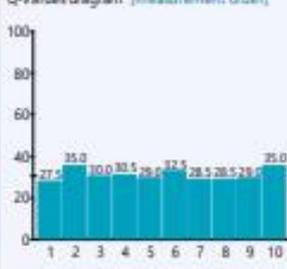
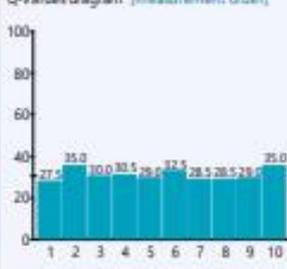
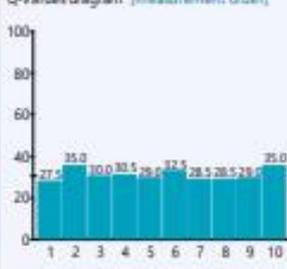
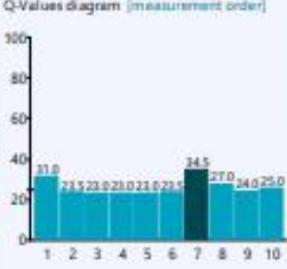
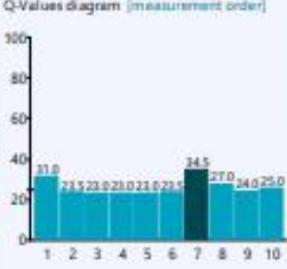
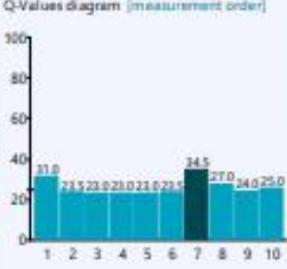
Anexo 8. Resultado del esclerómetro columna c-1 y determinación de la carbonatación en hormigón

	UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE																																									
	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REBOTE EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO NORMA ASTM C-805																																									
	TESIS: "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LARGO PLAZO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO EXPUESTOS A CONDICIONES AMBIENTALES ADVERSAS"			Coordenadas UTM:																																						
	TESISTAS: RENÉ ALFONSO BARRERA TOSCANO - JORDY JOEL MORA SUÁREZ			Norte: 9753577 Este: 516898																																						
LCMA-LAB100-FT05-02	Rev.: 001	LUGAR: FRENTE VÍA LA COSTA Y SNI																																								
REPORTE No.: 001		FECHA: 19 de julio de 2024																																								
EQUIPO: SILVER SCHMIDT		EDIFICACIÓN: RESIDENCIA																																								
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO: COLUMNA (C-1)		FECHA DE MUESTRA: 16/7/2023																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Impact counter</th> <th>Name</th> <th>Date & Time</th> <th>Mean value</th> <th>Averaging mode</th> <th>Upper outliers</th> <th>Lower outliers</th> <th>Valid/Total</th> <th>Std dev.</th> <th>Conv. curve</th> <th>Form factor</th> <th>Carbonation factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3824</td> <td>C-1</td> <td>07/16/2024 2:07 PM</td> <td>35 kg/cm²</td> <td>Mean ASTM</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>9/10</td> <td>43 kg/cm²</td> <td>NDW</td> <td>100%</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>	Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor	3824	C-1	07/16/2024 2:07 PM	35 kg/cm ²	Mean ASTM	0	0	9/10	43 kg/cm ²	NDW	100%	1.00	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Q-Values diagram (measurement order)</th> <th>Q-Values</th> <th>Statistics</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>25.5 34.0 30.5 32.0 35.5 29.5 26.5 33.5 25.0</td> <td>Measurements: N = 10 Invalid measurements: N = 1 (10%) Mean value: $\bar{x} = 31.3 \text{ kg/cm}^2$ Standard deviation: $s = 4.3 \text{ kg/cm}^2$ (2.8 Q)</td> </tr> </tbody> </table>	Q-Values diagram (measurement order)	Q-Values	Statistics		25.5 34.0 30.5 32.0 35.5 29.5 26.5 33.5 25.0	Measurements: N = 10 Invalid measurements: N = 1 (10%) Mean value: $\bar{x} = 31.3 \text{ kg/cm}^2$ Standard deviation: $s = 4.3 \text{ kg/cm}^2$ (2.8 Q)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Settings</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Averaging mode: Mean ASTM</td> </tr> <tr> <td>Conversion curve: NEW</td> </tr> <tr> <td>Form factor: 100%</td> </tr> <tr> <td>Carbonation factor: 1.00</td> </tr> <tr> <td>Unit: kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>Serial number: SH01-007-0702</td> </tr> <tr> <td>Spring type: SilverSchmidt N</td> </tr> <tr> <td>Comment: (Add)</td> </tr> </tbody> </table>		Settings	Averaging mode: Mean ASTM	Conversion curve: NEW	Form factor: 100%	Carbonation factor: 1.00	Unit: kg/cm ²	Serial number: SH01-007-0702	Spring type: SilverSchmidt N	Comment: (Add)
Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor																															
3824	C-1	07/16/2024 2:07 PM	35 kg/cm ²	Mean ASTM	0	0	9/10	43 kg/cm ²	NDW	100%	1.00																															
Q-Values diagram (measurement order)	Q-Values	Statistics																																								
	25.5 34.0 30.5 32.0 35.5 29.5 26.5 33.5 25.0	Measurements: N = 10 Invalid measurements: N = 1 (10%) Mean value: $\bar{x} = 31.3 \text{ kg/cm}^2$ Standard deviation: $s = 4.3 \text{ kg/cm}^2$ (2.8 Q)																																								
Settings																																										
Averaging mode: Mean ASTM																																										
Conversion curve: NEW																																										
Form factor: 100%																																										
Carbonation factor: 1.00																																										
Unit: kg/cm ²																																										
Serial number: SH01-007-0702																																										
Spring type: SilverSchmidt N																																										
Comment: (Add)																																										
RESULTADOS		ÍNDICE DE REBOTE: 31,3	RESISTENCIA: 165 kg/cm ²																																							
DETERMINACIÓN DE LA CARBONATACIÓN EN HORMIGONES ENDURECIDOS. NORMA UNE112-011																																										
RESOLUCIÓN: FENOLPFTALINA AL 1% DISUELTA EN ALCÓHOL ETÍLICO AL 70%.																																										
DESCRIPCIÓN		FOTO																																								
UBICACIÓN:	FRENTE VÍA LA COSTA Y SNI	 																																								
EDIFICACIÓN:	RESIDENCIA																																									
ESTRUCTURA:	COLUMNA																																									
IDENTIFICACIÓN:	COLUMNA (C-1)																																									
FECHA DE MUESTRA:	16/7/2023																																									
RESULTADOS		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN</th> <th colspan="2">NORMA UNE112-011</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td> <input type="checkbox"/> Ph > 0.5 <input checked="" type="checkbox"/> Ph entre 0 a 0.5 <input type="checkbox"/> Ph < 0 </td> <td> NORMA PARCIALMENTE CARBONATADO </td> <td> COLOR: ROSADO </td> </tr> </tbody> </table>		PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN		NORMA UNE112-011			<input type="checkbox"/> Ph > 0.5 <input checked="" type="checkbox"/> Ph entre 0 a 0.5 <input type="checkbox"/> Ph < 0	NORMA PARCIALMENTE CARBONATADO	COLOR: ROSADO																															
PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN		NORMA UNE112-011																																								
	<input type="checkbox"/> Ph > 0.5 <input checked="" type="checkbox"/> Ph entre 0 a 0.5 <input type="checkbox"/> Ph < 0	NORMA PARCIALMENTE CARBONATADO	COLOR: ROSADO																																							
 LABORATORISTA FELIX ESTEBAN TORRES MOSQUERA Ing. Felix Torres		 VERIFICADO LORENCIA CRISTINA MORENO ALCIVAR M.Sc. Lorencia Moreno Alcivar, Ph.D.																																								
		 SELLO Documento válido con firma y sello																																								

Anexo 9. Resultado del esclerómetro columna c-2 y c-3

	UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE																																																												
	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REBOTE EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO NORMA ASTM C-305																																																												
	TESIS: "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LARGO PLAZO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO EXPUESTOS A CONDICIONES AMBIENTALES ADVERBAS"		Coordenadas UTM:																																																										
	TESISTAS: RENÉ ALFONSO BARRERA TOSCANO - JORDY JOEL MORA SUÁREZ		Norte: 9753577																																																										
LCMA-LAB100-FT06-02 Rev.: 001	LUGAR: FRENTE VÍA LA COSTA Y SN1	Este: 516898																																																											
REPORTE No.: 002		FECHA: 19 de julio de 2024																																																											
EQUIPO: SILVER SCHMIDT		EDIFICACIÓN: RESIDENCIA																																																											
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO: COLUMNA (C-2)		FECHA DE ENVÍO: 16/7/2023																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Impact counter</th> <th>Name</th> <th>Date & Time</th> <th>Mean value</th> <th>Averaging mode</th> <th>Upper outliers</th> <th>Lower outliers</th> <th>Valid/Total</th> <th>Std dev.</th> <th>Conv. curve</th> <th>Form factor</th> <th>Carbonation factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>3834</td> <td>07/16/2024 2:09 PM</td> <td style="background-color: #00AEEF; color: white;">110 kg/cm²</td> <td>Mean ASTM</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10/10</td> <td>20 kg/cm²</td> <td>NEW</td> <td>100%</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>	Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor	0	3834	07/16/2024 2:09 PM	110 kg/cm ²	Mean ASTM	0	0	10/10	20 kg/cm ²	NEW	100%	1.00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Q-Values diagram (measurement order)</th> <th>Q-Values</th> <th>Statistics</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">  </td> <td>25.0</td> <td>Measurements N = 10</td> </tr> <tr> <td>26.0</td> <td>Invalid measurements Ni = 0 (0%)</td> </tr> <tr> <td>24.5</td> <td>Mean value f = 110 kg/cm² (26.2 Q)</td> </tr> <tr> <td>28.5</td> <td>Standard deviation s = 20 kg/cm² (1.9 Q)</td> </tr> <tr> <td>25.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>23.5</td> <td>Settings</td> </tr> <tr> <td>29.5</td> <td>Averaging mode Mean ASTM</td> </tr> <tr> <td>28.0</td> <td>Conversion curve NEW</td> </tr> <tr> <td>25.5</td> <td>Form factor 100%</td> </tr> <tr> <td>25.5</td> <td>Carbonation factor 1.00</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Unit kg/cm²</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Serial number SH01-007-0702</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Spring type SilverSchmidt N</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Comment [Add]</td> </tr> </tbody> </table>	Q-Values diagram (measurement order)	Q-Values	Statistics		25.0	Measurements N = 10	26.0	Invalid measurements Ni = 0 (0%)	24.5	Mean value f = 110 kg/cm ² (26.2 Q)	28.5	Standard deviation s = 20 kg/cm ² (1.9 Q)	25.5		23.5	Settings	29.5	Averaging mode Mean ASTM	28.0	Conversion curve NEW	25.5	Form factor 100%	25.5	Carbonation factor 1.00			Unit kg/cm ²			Serial number SH01-007-0702			Spring type SilverSchmidt N			Comment [Add]
Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor																																																		
0	3834	07/16/2024 2:09 PM	110 kg/cm ²	Mean ASTM	0	0	10/10	20 kg/cm ²	NEW	100%	1.00																																																		
Q-Values diagram (measurement order)	Q-Values	Statistics																																																											
	25.0	Measurements N = 10																																																											
	26.0	Invalid measurements Ni = 0 (0%)																																																											
	24.5	Mean value f = 110 kg/cm ² (26.2 Q)																																																											
	28.5	Standard deviation s = 20 kg/cm ² (1.9 Q)																																																											
	25.5																																																												
	23.5	Settings																																																											
	29.5	Averaging mode Mean ASTM																																																											
	28.0	Conversion curve NEW																																																											
	25.5	Form factor 100%																																																											
	25.5	Carbonation factor 1.00																																																											
		Unit kg/cm ²																																																											
		Serial number SH01-007-0702																																																											
		Spring type SilverSchmidt N																																																											
		Comment [Add]																																																											
RESULTADOS	ÍNDICE DE REBOTE: 26,2	RESISTENCIA 110 kg/cm ²																																																											
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO: COLUMNA (C-3)		FECHA DE ENVÍO: 16/7/2023																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Impact counter</th> <th>Name</th> <th>Date & Time</th> <th>Mean value</th> <th>Averaging mode</th> <th>Upper outliers</th> <th>Lower outliers</th> <th>Valid/Total</th> <th>Std dev.</th> <th>Conv. curve</th> <th>Form factor</th> <th>Carbonation factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>3866</td> <td>07/16/2024 2:44 PM</td> <td style="background-color: #00AEEF; color: white;">50 kg/cm²</td> <td>Mean ASTM</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10/10</td> <td>30 kg/cm²</td> <td>NEW</td> <td>100%</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>	Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor	0	3866	07/16/2024 2:44 PM	50 kg/cm ²	Mean ASTM	0	0	10/10	30 kg/cm ²	NEW	100%	1.00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Q-Values diagram (measurement order)</th> <th>Q-Values</th> <th>Statistics</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">  </td> <td>34.0</td> <td>Measurements N = 10</td> </tr> <tr> <td>29.5</td> <td>Invalid measurements Ni = 0 (0%)</td> </tr> <tr> <td>31.0</td> <td>Mean value f = 150 kg/cm² (29.9 Q)</td> </tr> <tr> <td>25.5</td> <td>Standard deviation s = 30 kg/cm² (2.4 Q)</td> </tr> <tr> <td>30.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>29.0</td> <td>Settings</td> </tr> <tr> <td>32.5</td> <td>Averaging mode Mean ASTM</td> </tr> <tr> <td>28.5</td> <td>Conversion curve NEW</td> </tr> <tr> <td>27.5</td> <td>Form factor 100%</td> </tr> <tr> <td>30.5</td> <td>Carbonation factor 1.00</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Unit kg/cm²</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Serial number SH01-007-0702</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Spring type SilverSchmidt N</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Comment [Add]</td> </tr> </tbody> </table>	Q-Values diagram (measurement order)	Q-Values	Statistics		34.0	Measurements N = 10	29.5	Invalid measurements Ni = 0 (0%)	31.0	Mean value f = 150 kg/cm ² (29.9 Q)	25.5	Standard deviation s = 30 kg/cm ² (2.4 Q)	30.5		29.0	Settings	32.5	Averaging mode Mean ASTM	28.5	Conversion curve NEW	27.5	Form factor 100%	30.5	Carbonation factor 1.00			Unit kg/cm ²			Serial number SH01-007-0702			Spring type SilverSchmidt N			Comment [Add]
Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor																																																		
0	3866	07/16/2024 2:44 PM	50 kg/cm ²	Mean ASTM	0	0	10/10	30 kg/cm ²	NEW	100%	1.00																																																		
Q-Values diagram (measurement order)	Q-Values	Statistics																																																											
	34.0	Measurements N = 10																																																											
	29.5	Invalid measurements Ni = 0 (0%)																																																											
	31.0	Mean value f = 150 kg/cm ² (29.9 Q)																																																											
	25.5	Standard deviation s = 30 kg/cm ² (2.4 Q)																																																											
	30.5																																																												
	29.0	Settings																																																											
	32.5	Averaging mode Mean ASTM																																																											
	28.5	Conversion curve NEW																																																											
	27.5	Form factor 100%																																																											
	30.5	Carbonation factor 1.00																																																											
		Unit kg/cm ²																																																											
		Serial number SH01-007-0702																																																											
		Spring type SilverSchmidt N																																																											
		Comment [Add]																																																											
RESULTADOS	ÍNDICE DE REBOTE: 29,9	RESISTENCIA 150 kg/cm ²																																																											
LABORATORISTA	VERIFICADO	SELLO																																																											
 FÉLIX ESTEBAN TORRES BORDON Ing. Felix Torres	 LORECIA CRISTINA MORENO ALCIVAR Dra. Lorecia Moreno Alcivar, Ph.D.	 Documento válido con firma y sello																																																											

Anexo 10. Resultado del esclerómetro columna c-4 y c-5

	UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE																																																								
	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REBOTE EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO NORMA ASTM C-805																																																								
	TESIS: "ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LARGO PLAZO DE ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO EXPUESTOS A CONDICIONES AMBIENTALES ADVERSAS"		Coordenadas UTM:																																																						
	TESISTAS: RENÉ ALFONSO BARRERA TOSCANO - JORDY JOEL MORA SUÁREZ		Norte: 9753577 Este: 516898																																																						
LCMA-LAB100-FT06-02	Rev.: 001	LUGAR: FRENTE VÍA LA COSTA Y SN1																																																							
REPORTE No.: 003		FECHA: 19 de julio de 2024																																																							
EQUIPO: SILVER SCHWIDT		EDIFICACIÓN: RESIDENCIA																																																							
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO: COLUMNA (C-4)		FECHA DE ENSAYO: 16/7/2023																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Impact counter</th> <th>Name</th> <th>Date & Time</th> <th>Mean value</th> <th>Averaging mode</th> <th>Upper outliers</th> <th>Lower outliers</th> <th>Valid/Total</th> <th>Std dev.</th> <th>Conv. curve</th> <th>Form factor</th> <th>Carbonation factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3876</td> <td>C-4</td> <td>07/16/2024 2:48 PM</td> <td>60 kg/cm²</td> <td>Mean ASTM</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10/10</td> <td>33 kg/cm²</td> <td>NEW</td> <td>100%</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>	Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor	3876	C-4	07/16/2024 2:48 PM	60 kg/cm ²	Mean ASTM	0	0	10/10	33 kg/cm ²	NEW	100%	1.00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Q-Values diagram (measurement order)</th> <th>Q-Values</th> <th>Statistics</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">  </td> <td>27.5</td> <td>Measurements N = 10</td> </tr> <tr> <td>35.0</td> <td>Invalid measurements Ni = 0 (0%)</td> </tr> <tr> <td>30.0</td> <td>Mean value f = 160 kg/cm² (30.6 Q)</td> </tr> <tr> <td>30.5</td> <td>Standard deviation s = 33 kg/cm² (2.7 Q)</td> </tr> <tr> <td>29.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>32.5</td> <td>Settings</td> </tr> <tr> <td>28.5</td> <td>Averaging mode Mean ASTM</td> </tr> <tr> <td>28.5</td> <td>Conversion curve NEW</td> </tr> <tr> <td>29.0</td> <td>Form factor 100%</td> </tr> <tr> <td>35.0</td> <td>Carbonation factor 1.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Unit kg/cm²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Serial number SH01-007-0702</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Spring type SilverSchmidt N</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Comment [Add]</td> </tr> </tbody> </table>	Q-Values diagram (measurement order)	Q-Values	Statistics		27.5	Measurements N = 10	35.0	Invalid measurements Ni = 0 (0%)	30.0	Mean value f = 160 kg/cm ² (30.6 Q)	30.5	Standard deviation s = 33 kg/cm ² (2.7 Q)	29.0		32.5	Settings	28.5	Averaging mode Mean ASTM	28.5	Conversion curve NEW	29.0	Form factor 100%	35.0	Carbonation factor 1.00		Unit kg/cm ²		Serial number SH01-007-0702		Spring type SilverSchmidt N		Comment [Add]
Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor																																														
3876	C-4	07/16/2024 2:48 PM	60 kg/cm ²	Mean ASTM	0	0	10/10	33 kg/cm ²	NEW	100%	1.00																																														
Q-Values diagram (measurement order)	Q-Values	Statistics																																																							
	27.5	Measurements N = 10																																																							
	35.0	Invalid measurements Ni = 0 (0%)																																																							
	30.0	Mean value f = 160 kg/cm ² (30.6 Q)																																																							
	30.5	Standard deviation s = 33 kg/cm ² (2.7 Q)																																																							
	29.0																																																								
	32.5	Settings																																																							
	28.5	Averaging mode Mean ASTM																																																							
	28.5	Conversion curve NEW																																																							
	29.0	Form factor 100%																																																							
	35.0	Carbonation factor 1.00																																																							
	Unit kg/cm ²																																																								
	Serial number SH01-007-0702																																																								
	Spring type SilverSchmidt N																																																								
	Comment [Add]																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">RESULTADOS</td> <td style="width: 35%;"> ÍNDICE DE REBOTE: 30,6 </td> <td style="width: 35%;"> RESISTENCIA: 260 kg/cm² </td> </tr> </table>	RESULTADOS	ÍNDICE DE REBOTE: 30,6	RESISTENCIA: 260 kg/cm ²																																																						
RESULTADOS	ÍNDICE DE REBOTE: 30,6	RESISTENCIA: 260 kg/cm ²																																																							
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO: COLUMNA (C-5)		FECHA DE ENSAYO: 16/7/2023																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Impact counter</th> <th>Name</th> <th>Date & Time</th> <th>Mean value</th> <th>Averaging mode</th> <th>Upper outliers</th> <th>Lower outliers</th> <th>Valid/Total</th> <th>Std dev.</th> <th>Conv. curve</th> <th>Form factor</th> <th>Carbonation factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3886</td> <td>C-5</td> <td>07/16/2024 2:53 PM</td> <td>95 kg/cm²</td> <td>Mean ASTM</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>9/10</td> <td>28 kg/cm²</td> <td>NEW</td> <td>100%</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>	Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor	3886	C-5	07/16/2024 2:53 PM	95 kg/cm ²	Mean ASTM	0	0	9/10	28 kg/cm ²	NEW	100%	1.00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Q-Values diagram (measurement order)</th> <th>Q-Values</th> <th>Statistics</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">  </td> <td>31.0</td> <td>Measurements N = 10</td> </tr> <tr> <td>23.5</td> <td>Invalid measurements Ni = 1 (10%)</td> </tr> <tr> <td>23.0</td> <td>Mean value f = 95 kg/cm² (24.8 Q)</td> </tr> <tr> <td>23.0</td> <td>Standard deviation s = 28 kg/cm² (2.7 Q)</td> </tr> <tr> <td>23.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>23.5</td> <td>Settings</td> </tr> <tr> <td>27.0</td> <td>Averaging mode Mean ASTM</td> </tr> <tr> <td>24.0</td> <td>Conversion curve NEW</td> </tr> <tr> <td>25.0</td> <td>Form factor 100%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Carbonation factor 1.00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Unit kg/cm²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Serial number SH01-007-0702</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Spring type SilverSchmidt N</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Comment [Add]</td> </tr> </tbody> </table>	Q-Values diagram (measurement order)	Q-Values	Statistics		31.0	Measurements N = 10	23.5	Invalid measurements Ni = 1 (10%)	23.0	Mean value f = 95 kg/cm ² (24.8 Q)	23.0	Standard deviation s = 28 kg/cm ² (2.7 Q)	23.0		23.5	Settings	27.0	Averaging mode Mean ASTM	24.0	Conversion curve NEW	25.0	Form factor 100%		Carbonation factor 1.00		Unit kg/cm ²		Serial number SH01-007-0702		Spring type SilverSchmidt N		Comment [Add]
Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor																																														
3886	C-5	07/16/2024 2:53 PM	95 kg/cm ²	Mean ASTM	0	0	9/10	28 kg/cm ²	NEW	100%	1.00																																														
Q-Values diagram (measurement order)	Q-Values	Statistics																																																							
	31.0	Measurements N = 10																																																							
	23.5	Invalid measurements Ni = 1 (10%)																																																							
	23.0	Mean value f = 95 kg/cm ² (24.8 Q)																																																							
	23.0	Standard deviation s = 28 kg/cm ² (2.7 Q)																																																							
	23.0																																																								
	23.5	Settings																																																							
	27.0	Averaging mode Mean ASTM																																																							
	24.0	Conversion curve NEW																																																							
	25.0	Form factor 100%																																																							
		Carbonation factor 1.00																																																							
	Unit kg/cm ²																																																								
	Serial number SH01-007-0702																																																								
	Spring type SilverSchmidt N																																																								
	Comment [Add]																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">RESULTADOS</td> <td style="width: 35%;"> ÍNDICE DE REBOTE: 24,8 </td> <td style="width: 35%;"> RESISTENCIA: 95 kg/cm² </td> </tr> </table>	RESULTADOS	ÍNDICE DE REBOTE: 24,8	RESISTENCIA: 95 kg/cm ²																																																						
RESULTADOS	ÍNDICE DE REBOTE: 24,8	RESISTENCIA: 95 kg/cm ²																																																							
LABORATORISTA:  FELIX ESTEBAN TORRES BORRERO Felix Torres	VERIFICADO:  LORENCIA CRISTINA MORENO ALCIVAR Lorencia C. Moreno Alcivar, Ph.D.	SELLO:  Documento válido con firma y sello																																																							