



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA
CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

JULIACA - PERÚ

2024



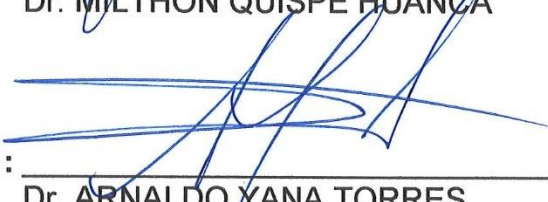
UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA
CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO

TESIS PRESENTADA POR:
Bach. BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE : 
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

PRIMER MIEMBRO : 
Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO : 
Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

ASESOR DE TESIS : 
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"****RESOLUCIÓN DECANAL N° 1326-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 21 de octubre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 14721 presentado por el (la) Bachiller: **BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Mgtr. **FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Viernes 25 de octubre del 2024
- * **HORA** : 9:00 a.m.
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CUI: 47700



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Efraín Pajillo Rosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (s)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1084-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de setiembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 12218 por el señor (a): **BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 963 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 177- 2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 177- 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

.....
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
.....
Dr. Efraín Pajillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 149-2023-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca 29 de diciembre del 2023

VISTO: El expediente N° 2023-CU-001483, presentado por el señor (a) **BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 160-2023-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 046 - 2023 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) estudiante: **BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 046-2023 **aprobando** la propuesta de investigación titulado: **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: **BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**, con el Tema Titulado: **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURAS

Dr. MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



Dr. Eirain Pajillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2023
Interesado (a)



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE


FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%
6	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%



TÍTULO DE LA TESIS	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73939159
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0004-8059-2196
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02442876
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8509-7224
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01316765



Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la construcción – P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Ubicación: País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca</p> <p>Coordenadas: Latitud: -15.472288069847696 Longitud: -70.22710346190117</p>  <p>https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1m3uKgdglsjGD97DoP4HfTMTgEjWVWYQ&usp=sharing</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2024 - Julio 2024
URL de disciplinas OCDE	<p>Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</p> <p>Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</p>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PUNO

DIRECTOR

Dr. Efraín Paríto Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ, identificado con DNI Nro. 73939159 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
 Programa de Segunda Especialidad,
 Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación**, **Trabajo Académico** denominada:

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO

Asesorado por: Mgr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Es un tema original.


Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.


Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 28 de Octubre del 2024


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Con inmenso agradecimiento, dedico este trabajo de investigación a Dios, quien me ofrece el preciado regalo de un nuevo día de vida cada mañana, así como a mi querido padre Braulio, quien ha estado a mi lado con su apoyo incondicional, brindándome la motivación necesaria y sirviendo de inspiración profunda en mi camino en el campo de la ingeniería civil.

Brayan Alexander, Baca Cruz.



AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme enseñado el camino y brindada fortaleza en las adversidades.

Agradezco a mi padre Braulio por ser ejemplo de honestidad y responsabilidad.

Agradezco a mi madre Rosana por siempre apoyarme y escucharme en los momentos difíciles.

Agradezco a mis padres porque con su sacrificio y ejemplo son los responsables de mis logros.

Agradezco a mi querida facultad que me acogió en los años cursados donde me inspiraron a ser mejor cada día.

Agradezco a los diversos docentes que me formaron académicamente y profesional a lo largo de mis años cursados en mi querida universidad.

Brayan Alexander, Baca Cruz.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la situación problemática	1
1.2. Formulación del planeamiento del problema.....	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Justificación	3
1.3.1. Justificación teórica	3
1.3.2. Justificación práctica	4
1.3.3. Justificación económica.....	5
1.3.4. Justificación social.....	5
1.3.5. Justificación metodológica.....	5
1.3.6. Justificación legal	6
1.3.7. Justificación investigativa	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivo específico	6



1.5. Importancia y alcances	7
1.6. Hipótesis.....	7
1.6.1. Hipótesis general.....	7
1.6.2. Hipótesis específicas	7
1.7. Variables e indicadores.....	8
1.7.1. Variable independiente.....	8
1.7.2. Variables dependiente.....	8
1.8. Operacionalización de variables	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	10
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	10
2.1.2. Antecedentes nacionales	14
2.1.3. Antecedentes locales	18
2.2. Bases teóricas	19
2.2.1. Resistencia a la compresión del concreto.....	19
2.2.1.1. Requerimientos mínimos de la resistencia del concreto	20
2.2.1.2. Factores que se relacionan con la resistencia del concreto	20
2.2.1.3. Propiedades del concreto	24
2.2.1.4. Homogeneidad del concreto.....	27
2.2.1.5. Concreto armado.....	30
2.2.1.6. Cemento.....	33
2.2.1.7. Los agregados.....	37
2.2.1.8. Características de los agregados	44
2.2.1.9. Características físicas de los agregados	46
2.2.1.10. Agua.....	47



2.2.1.11. Aditivo	49
2.2.1.12. Acero de refuerzo.....	49
2.2.1.13. Metodo de diseño del concreto.....	50
2.2.2. Recubrimiento del concreto	51
2.2.2.1. Relación del recubrimiento con la corrosión	51
2.2.2.2. Dimensiones de recubrimiento	51
2.2.2.3. La profundidad de penetración de agua en relación al recubrimiento.....	55
2.2.3. Corrosión del concreto armado	57
2.2.3.1. Corrosión del acero de refuerzo	57
2.2.3.2. Causa de la corrosión.....	58
2.2.3.3. Capa pasiva	58
2.2.3.4. Principio de la corrosión electroquimica.....	59
2.2.3.5. Tipos de corrosión	61
2.2.3.6. Consecuencias de la corrosion.....	64
2.2.3.7. Factores que desencadenan la corrosión	64
2.2.3.8. Metodo gravimetrico de perdida de masa del acero de refuerzo..	65
2.2.3.9. Daño del concreto reforzado por corrosión.....	66
2.2.3.10. Formas o tipos de deterioro.....	67
2.2.3.11. Agrietamiento o fisuramiento	69
2.2.3.12. Agrietamiento por congelamiento y descongelamiento.....	72
2.2.3.13. Desconchado	74
2.2.3.14. Fisuras inducidas por la corrosión	75
2.2.3.15. Perdida de adherencia	76
2.2.3.16. Carbonatación	77
2.2.3.17. Grado de exposición o agresividad ambiental	78
2.2.3.18. Durabilidad del concreto.....	80



2.2.3.19. Requisitos de durabilidad en el diseño	82
2.2.3.20. Vida útil de la estructura	85
2.2.3.21. Periodo de servicio de la estructura.....	85
2.2.3.22. Vida útil de la estructura afectada por corrosión	87
2.2.4. Métodos de ensayo de corrosión acelerada	88
2.2.4.1. Proceso de preparación de las muestras.....	88
2.2.4.2. Metodología de uso	89
2.2.4.3. Voltaje y tiempo a emplear	89
2.2.4.4. Cloruro	90
2.2.4.5. Maquina Caim	90
2.3. Marco conceptual	91
2.3.1. Ambientes agresivos	91
2.3.2. Carbonatación.....	91
2.3.3. Ciclo de vida del concreto armado	92
2.3.4. Corrosión.....	92
2.3.5. Diseño de mezcla del concreto.....	92
2.3.6. Resistencia del concreto a lo largo del tiempo.....	92
2.3.7. Ensayo de compresión.....	92
2.3.8. Perforación diamantina.....	93
2.3.9. Recubrimiento	93

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	94
3.2. Nivel de investigación	95
3.3. Diseño de investigación.....	95
3.3.1. Método de investigación.....	96



3.4. Población y muestra	96
3.4.1. Población	96
3.4.2. Muestreo	96
3.4.3. Técnica de muestreo	97
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	97
3.5.1. Instrumentos de recolección de datos	98
3.5.1.1. Instrumentos de control	98
3.5.1.2. Normativas usadas.....	99
3.5.2. Metodología del trabajo	101
3.6. Ejecución de la investigación	104
3.6.1. Selección de los materiales	104
3.6.1.1. Cemento.....	104
3.6.1.2. Agregados.....	105
3.6.1.3. Agua.....	105
3.6.1.4. Acero de refuerzo.....	106
3.6.2. Procedimiento de diseño de mezclas 210 kg/cm ² y 280 kg/cm ²	106
3.6.2.1. Preparación de la muestra.....	106
3.6.2.2. Reducción de la muestra para ensayos.....	107
3.6.2.3. Ensayo granulométrico del agregado	107
3.6.2.4. Análisis granulométrico de áridos gruesos y finos	108
3.6.2.5. Peso unitario del agregado fino y grueso.....	109
3.6.2.6. Peso específico y absorción del agregado fino y grueso	111
3.6.2.7. Contenido de Humedad.....	113
3.6.2.8. Elaboración y encofrado de los moldes según los recubrimientos a usar 2cm, 4cm y 7cm.	114
3.6.2.9. Control de peso de varillas de acero de refuerzo.....	115



3.6.2.10. Conexión de cables en las varillas para el ensayo de corrosión acelerada.	117
3.6.2.11. Diseño de mezcla patrón.....	118
3.6.2.12. Vaciado del concreto.....	119
3.6.2.13. Control de calidad del hormigón.....	122
3.6.2.14. Desencofrado de los especímenes.....	123
3.6.2.15. Curado de los especímenes.....	125
3.6.2.16. Ensayo de resistencia a la compresión.....	126
3.6.2.17. Inducción de los especímenes mediante el ensayo acelerado de corrosión CAIM.....	130
3.6.2.18. Observación de las ocurrencias del ensayo acelerado de corrosión CAIM.....	133
3.6.2.19. Control por perforación diamantina de los especímenes en relación al diseño y tiempo de curado.....	134
3.6.2.20. Ensayo de carbonatación.....	136
3.6.2.21. Extracción del acero de refuerzo.....	137
3.6.2.22. Limpieza de los aceros extraídos.....	139
3.6.2.23. Control de peso del acero de refuerzo inducido a corrosión.....	141
3.7. Validez y confiabilidad del instrumento.....	143
3.7.1. Validez del instrumento.....	143
3.7.2. Confiabilidad del instrumento.....	143
3.8. Diseño estadístico.....	144
3.8.1. Prueba t para muestras independientes y relacionadas.....	144
3.8.2. Diseño de contrastación de hipótesis.....	144
3.8.2.1. Tratamiento de datos.....	145
3.8.2.2. Prueba de hipótesis.....	146



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Interpretación de los resultados obtenidos..... 152

4.2. Contrastación o prueba de hipótesis..... 153

 4.2.1. Contrastación de la hipótesis A 153

 4.2.2. Contrastación de la hipótesis B 158

 4.2.3. Hipótesis general..... 162

4.3. Discusión 164

CONCLUSIONES 169

RECOMENDACIONES..... 171

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 172

ANEXOS 182

Anexo A: Matriz de consistencia 183

Anexo B: Certificados de laboratorio..... 184

Anexo C: Panel Fotográfico 198

Anexo D: Ficha de Control CAIM 219



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de Operacionalización de Variables	9
Tabla 2 Materias Primas del Cemento.....	34
Tabla 3 Compuestos del cemento Portland Ingredientes químicos.....	35
Tabla 4 Cementos Portland en el Perú.....	37
Tabla 5 Límites del pH permisible en el agua de mezcla	48
Tabla 6 El número de muestras, desglosadas según el revestimiento y la resistencia a la compresión.....	97
Tabla 7 Normativas empleadas en el desarrollo de la investigación	99
Tabla 8 Masa de las varillas de acero de refuerzo R1	115
Tabla 9 Masa de las varillas de acero de refuerzo R2	116
Tabla 10 Dosificación de concreto.....	118
Tabla 11 Prueba de Resistencia a los 7 días para un diseño de 210 kg/cm ²	127
Tabla 12 Prueba de Resistencia a los 14 días para un diseño de 210 kg/cm ²	128
Tabla 13 Prueba de Resistencia a los 28 días para un diseño de 210 kg/cm ²	128
Tabla 14 Prueba de Resistencia a los 7 días para un diseño de 280 kg/cm ²	129
Tabla 15 Prueba de Resistencia a los 14 días para un diseño de 280 kg/cm ²	129
Tabla 16 Prueba de Resistencia a los 28 días para un diseño de 280 kg/cm ²	130
Tabla 17 Discrepancia entre las resistencias de especímenes con 210 kg/cm ² de resistencia....	135
Tabla 18 Discrepancia entre las resistencias de especímenes con 280 kg/cm ² de resistencia....	136
Tabla 19 Masa final de los aceros de refuerzo, posterior a la corrosión de R1	142
Tabla 20 Masa final de los aceros de refuerzo, posterior a la corrosión de R2	142
Tabla 21 El formato de la tabla de ANOVA de un sentido completamente aleatorizado	150



Tabla 22 Para denotar los simbolismos usados.....	151
Tabla 23 Pruebas de normalidad como la de Shapiro -Wilk.....	152
Tabla 24 Estadísticas de muestras emparejadas de resistencia F'C = 210 KG /CM2	153
Tabla 25 Correlaciones de muestras emparejadas de resistencia F'C = 210 KG /CM2 .	154
Tabla 26 Prueba de muestras relacionadas de resistencia F'C = 210 KG /CM2	155
Tabla 27 Estadísticas de muestras emparejadas de resistencia F'C = 280 KG /CM2	156
Tabla 28 Correlaciones de muestras emparejadas de resistencia F'C = 280 KG /CM2 .	157
Tabla 29 Prueba de muestras relacionadas de resistencia F'C = 280 KG /CM2	157
Tabla 30 Estadísticas de grupo del grado de corrosión	159
Tabla 31 La prueba de Levene se utiliza para determinar si el porcentaje de corrosión varía por igual o no.....	160
Tabla 32 Prueba de muestras independientes del grado de corrosión	160
Tabla 33 Análisis de la varianza del grado de corrosión del armado concreto.....	162



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Relación agua cemento en función a la resistencia y días de curado	21
Figura 2 Duración de curado en días para casos habituales	23
Figura 3 Duración de curado en días para casos habituales	24
Figura 4 Red de poros del concreto armado.....	26
Figura 5 Proceso de segregación en la mezcla	28
Figura 6 Segregación en una losa de concreto.....	28
Figura 7 Cangrejera exponiendo el acero de refuerzo	29
Figura 8 Curva granulométrica para el agregado fino y grueso.....	42
Figura 9 Condiciones del nivel de humedad en los agregados.....	46
Figura 10 Escala de pH.....	48
Figura 11 Cobertura nominal para cumplir los Requisitos de Durabilidad	52
Figura 12 Recubrimiento especificado según el ACI 318-19.....	52
Figura 13 Recubrimiento mínimo de concreto al refuerzo, según RNE E.060.....	53
Figura 14 Medición adecuada del recubrimiento	54
Figura 15 Recubrimiento del concreto reducido a causa del alambre de amarre	54
Figura 16 Los parámetros para la profundidad de penetración del agua se determinaron de acuerdo con la norma NCh2262.....	56
Figura 17 Proceso electroquímica de corrosión en el acero de refuerzo.....	61
Figura 18 Corrosión anóxica.....	64
Figura 19 Tipos de Corrosión	63
Figura 20 Tipos de deterioro del concreto	68
Figura 21 Corrosión causada por el asentamiento plástico.....	70
Figura 22 Tipos de grietas o fisuras en el concreto.....	71



Figura 23 Acción de la corrosión en una fisura	72
Figura 24 Ciclos de congelamiento y descongelamiento en el concreto	73
Figura 25 Desconchado inducido por la corrosión del acero de refuerzo	74
Figura 26 Desconchado en una losa	74
Figura 27 Tipos de grietas ocasionadas por la corrosión	75
Figura 28 Perdida de adherencia del acero con el concreto	76
Figura 29 Carbonatación del concreto armado	78
Figura 30 Clases de exposición	79
Figura 31 Componentes estructurales que entran en el grupo de exposición F	80
Figura 32 Requisitos mínimos de resistencia requeridos	82
Figura 33 Requisitos de resistencia según la clase de exposición	84
Figura 34 Requisitos de resistencia para el concreto según la clase de exposición....	86
Figura 35 Vida útil de edificios, propuesta	86
Figura 36 Vida útil del concreto en relación a la corrosión	87
Figura 37 Esquema del metodo CAIM	91
Figura 38 Flujograma del desarrollo de esta investigación	102
Figura 39 Cemento Rumi IP utilizado	104
Figura 40 Ubicación de la cantera Isla	105
Figura 41 Separación de la muestra en agregado fino y agregado grueso	106
Figura 42 Muestreo del agregado fino y grueso	107
Figura 43 Un tamizado previo del agregado fino	108
Figura 44 Granulometría del agregado fino	108
Figura 45 Granulometría del agregado grueso	109
Figura 46 Compactación del agregado en el molde metálico con la varilla	109



Figura 47 Enrasado y limpieza del molde para su posterior pesaje	110
Figura 48 Pesado del molde con agregado grueso y fino, el cual fue compactado ...	110
Figura 49 Identificación de la masa del picnómetro y del proceso de secado en el horno.....	111
Figura 50 Inmersión del agregado fino en el picnómetro	111
Figura 51 El método de determinación de la cantidad de partículas gruesas presentes en el agua	112
Figura 52 Prueba de absorción de arena.....	112
Figura 53 Removido de la muestra perteneciente al tipo de agregado grueso del agua y su posterior secado	112
Figura 54 Secado de la muestra en el horno hasta obtener un peso constante.....	113
Figura 55 Contenido de humedad de los agregados	113
Figura 56 Boceto de los moldes metálicos	114
Figura 57 Comprobación de las medidas del encofrado metálico	114
Figura 58 Codificación de los aceros de refuerzo	115
Figura 59 Longitud de aceros de refuerzo	116
Figura 60 Masa de las varillas de acero	117
Figura 61 Pelado de cable N°12 para su conexión a la varilla de acero de $\varnothing 1/2"$	117
Figura 62 Conexión del cable de cobre al acero de refuerzo	118
Figura 63 Cantidades de material necesarias para la confección del concreto.....	119
Figura 64 Mezclado del concreto.....	120
Figura 65 Limpieza de moldes metálicos para preparar el vertido en el futuro.....	120
Figura 66 Culminación del vaciado de concreto	121
Figura 67 Vaciado del concreto en moldes según recubrimiento.....	121
Figura 68 Ensayo de temperatura donde se tomó la medición de 17.6°C.....	122



Figura 69 Proceso del ensayo de asentamiento	122
Figura 70 Determinación del pH del agua mediante el papel tornasol	123
Figura 71 Desencofrado de los especímenes.....	123
Figura 72 Especímenes de Estudio desencofrados	124
Figura 73 Especímenes desencofrados para desarrollar el estudio.....	124
Figura 74 Comprobación de medidas de los especímenes según su recubrimiento .	124
Figura 75 Etiquetado según la codificación del acero embebido en el concreto	125
Figura 76 Curado de briquetas y especímenes	125
Figura 77 Fallas en las briquetas posteriores al ensayo de compresión	126
Figura 78 Evaluación de la resistencia a la compresión	126
Figura 79 Fuente de poder de corriente continua de 80V	131
Figura 80 Preparación del electrolito en el recipiente de vidrio	131
Figura 81 Se da inicio a la prueba CAIM con los recubrimientos menores de 2cm ...	132
Figura 82 Oxido del acero en contacto con la corriente mediante el electrolito.....	132
Figura 83 Se culmino la prueba CAIM con los especímenes más voluminosos.....	132
Figura 84 Fisura en la parte inferior izquierda.....	133
Figura 85 La parte inferior de PC21R1	133
Figura 86 Espécimen PC34R2 posterior al ensayo CAIM.....	134
Figura 87 Extracción diamantina	134
Figura 88 Ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas desmontadas	135
Figura 89 Ensayo de carbonatación por fenolftaleína	136
Figura 90 Carbonatación del concreto que recubre el acero de refuerzo.....	137
Figura 91 Extracción destructiva.....	137



Figura 92 Extracción de acero de refuerzo corroído en un recubrimiento de 4 cm con $f'c=210\text{kg/cm}^2$	138
Figura 93 Extracción del acero en un recubrimiento de 7 cm con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$..	138
Figura 94 Aceros extraídos según su resistencia a la compresión del concreto	139
Figura 95 Aplicación del removedor de oxido	140
Figura 96 Removedor de oxido.....	140
Figura 97 Removiendo el óxido del acero.....	141
Figura 98 Obtención de la masa del acero posterior a la corrosión	141
Figura 99 Medidas estimadas del grado de corrosión.....	163
Figura 100 Disolución del NaCl en el agua, pasos previos al desarrollo del ensayo CAIM	198
Figura 101 Disolución del NaCl en el agua, pasos previos al desarrollo del ensayo CAIM ...	198
Figura 102 Desarrollo del Ensayo CAIM.....	199
Figura 103 Sumergido parcial de los especímenes	199
Figura 104 Proceso de Limpieza del ensayo CAIM	200
Figura 105 Proceso de corrosión acelerada	200



RESUMEN

La investigación tiene como objetivo; determinar cómo influyen la resistencia a la compresión y el recubrimiento en la corrosión del concreto armado, para ello se trabajó con tres grupos de recubrimiento de 2cm, 4.5 cm y 7cm, distribuidos en dos etapas de resistencia las cuales fueron $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ y $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$, con la metodología de tipo de investigación experimental, de diseño causa y efecto o explicativa, para la demostración de las hipótesis se utilizaron las pruebas de estadística inferencial de; la prueba "t" de muestras emparejadas porque se tiene la masa inicial y final, también se utilizó la prueba "t" de muestras independientes porque se trabajó en dos etapas diferentes resistencia de $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ y $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ y el análisis de varianza para ver si las prueba en diferentes grupos es diferente, concluyendo que; se determinó que la resistencia a la compresión es el que más influye en la corrosión del concreto armado, determinando mejor resistencia de 280 kg/cm² para evitar la corrosión, la que se observa en la prueba de análisis de la varianza del grado de corrosión del armado concreto, en cuanto al recubrimiento, se evidencian un nivel de probabilidad de error de 0.000, de ello se deduce que la masa consumida son diferentes en los niveles de recubrimiento, de la misma forma en la resistencia de $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ y $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$, también la probabilidad de error de 0.000 inferior al 0.05, de ello se deduce que la masa consumida son diferentes, además en el gráfico se evidencia que existe menor grado de corrosión, es menor en el recubrimiento de 7 cm con la resistencia de $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$.

Palabras clave: Recubrimiento, resistencia a la compresión, masa consumida, grado de corrosión, corrosión del acero.



ABSTRACT

The objective of the research is to determine how compressive strength and coating influence the corrosion of reinforced concrete, for this we worked with three groups of coating of 2cm, 4 cm and 7cm, distributed in two stages of resistance of resistance of F'C = 210 KG /CM² and F'C = 280 KG /CM², with the methodology of experimental research type, cause and effect or explanatory design, for the demonstration of the hypotheses were used inferential statistical tests of; The "t" test of paired samples because it has the initial and final mass, also used the "t" test of independent samples because it worked in two different stages resistance of F'C = 210 KG /CM² and F'C = 280 KG /CM² and analysis of variance to see if the test in different groups is different, concluding that; it was determined that the compressive strength is the one that most influences the corrosion of reinforced concrete, determining better resistance of 280 kg/cm² to prevent corrosion, which is observed in the analysis of variance test of the degree of corrosion of reinforced concrete, as for the coating, evidenced an error probability level of 0.000, from this it is deduced that the mass consumed are different in the coating levels, in the same way in the resistance of F'C = 210 KG /CM² and F'C = 280 KG /CM², also the probability of error of 0.000 lower than 0.05, from this it is deduced that the mass consumed are different, also in the graph it is evidenced that there is less degree of corrosion is lower in the coating of 7 cm with the resistance of F'C = 280 KG /CM².

Keywords: Coating, compressive strength, consumed mass, corrosion degree, steel corrosion.



INTRODUCCIÓN

Esta investigación denominada "Resistencia a la Compresión y Recubrimiento en la Corrosión del Concreto Armado", que tuvo como principal objetivo determinar cómo influyen la resistencia a la compresión y el recubrimiento en la corrosión del concreto armado. Se efectuó a causa de que en la actualidad las infraestructuras de hormigón armado no tienen características durables, esto como principal causa se debe a que no se considera en el diseño un recubrimiento o resistencia según los agentes agresivos a los que está expuesto el concreto. Una buena resistencia protege al acero, pero un recubrimiento también lo hace. El problema se presenta en cual escoger, para proteger al acero de la corrosión.

Al mismo tiempo, este trabajo de investigación servirá para poder realizar un adecuado proyecto y diseño, teniendo en cuenta la protección que se aplicará, pudiendo ser un mayor recubrimiento o un esfuerzo de compresión elevado; de este modo protegeremos la integridad de la infraestructura y mermaremos la corrosión que se pueda presentar, logrando así estructuras de mayor tiempo de vida útil.

Podremos entender mejor esta investigación por los capítulos en lo que se dividen, en los cuales se detalla mejor los conceptos e importancia; estos son:

Capítulo I: En esta sección se abordarán el planteamiento y la formulación del problema, que abarca el problema general y el problema específico, las hipótesis de investigación, las justificaciones para realizar el estudio, y el objetivo general y el objetivo específico.

Capítulo II: Esta sección del documento presenta los antecedentes relevantes para la investigación realizada. Es importante destacar que el alcance de este estudio abarca tanto el nivel internacional como el nacional y local. Además, esta parte incluye el marco teórico, en el que el propósito principal es ofrecer una explicación exhaustiva de los fundamentos y conceptos asociados al tema que se investigó.



Capítulo III: Este capítulo explica el método de investigación utilizado, ofrece una explicación exhaustiva de los procedimientos operativos y el proceso con el cual se desarrolló la investigación, y describe el trabajo realizado en el laboratorio para la obtención de datos.

Capítulo IV: Finalmente, aquí la presentación incluye tanto un análisis como una discusión acerca de cuáles han sido los resultados conseguidos con respecto a los objetivos propuestos, respaldados por las pruebas de laboratorio.

Después de haber analizado los capítulos que preceden a esta sección, se encontrará las conclusiones que se han extraído, así como una serie de recomendaciones pensadas para futuras investigaciones y una lista detallada de las referencias bibliográficas que se han utilizado a lo largo del trabajo.

Al concluir la presente investigación, se incluye una sección de anexos donde es posible observar diversos documentos importantes, tales como la matriz de consistencia que se elaboró, los certificados de laboratorio que validan los resultados obtenidos, un panel fotográfico que ilustra el desarrollo del trabajo y las fichas que fueron utilizadas durante el proceso de recopilación de datos.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la situación problemática

Tras el agua, el hormigón es la sustancia que más se utiliza en todo el mundo. Esto se debe a la importancia del material en cuestión al sector de la construcción, así como a la dependencia que se tiene de él. (Martino, 2022).

En América Latina, el uso del cemento, también conocido como concreto, ha despertado el interés de varios países para coordinar el intercambio de información sobre las experiencias de cada país. Por lo tanto, se ha buscado establecer una normativa y la incorporación de las normas ISO con el propósito de garantizar un uso adecuado del cemento o concreto (Calleja, 1974).

La llegada de los primeros barriles de cemento a las costas de Perú en el año 1850 supuso un hito importante en la historia del sector de la construcción del país. La combinación de este material y el acero se utilizó en la edificación de una gran variedad de infraestructuras, como edificios, puentes y acueductos. Gracias a las excelentes cualidades de versatilidad y durabilidad que posee, este tipo de material se ha convertido en el más utilizados en el ámbito de la industria de la construcción. Se estima que anualmente se utilizan unos quince mil millones de toneladas de hormigón en diversas aplicaciones en todo el planeta para diversos proyectos de construcción e infraestructuras. Debido a esto, es



necesario aplicar estándares fundamentales de sostenibilidad y durabilidad durante el periodo de vida útil de las estructuras construidas de concreto armado. (Harmsen, 2017).

Construcciones duraderas y de larga utilidad están sujetos a varios factores; algunos de ellos podemos manipularlos, otros no. Como causade la sumatoria de los distintos factores, se puede proyectar un ciclo de vida largo o corto; esto depende mucho del diseño y las acciones que se realicen para lograr este fin.

La corrosión es uno de los factores que interviene directamente con la utilidad de la estructura integral. La permeabilidad del hormigón favorece a la corrosión; debido a esto se reducen los espesores de las armaduras, lo que favorece a las fallas por agrietamiento, generando un riesgo estructural y de seguridad, comprometiendo la resistencia de los elementos estructurales (Guerrero Martínez et al., 2016).

Como se mencionó, una de las causas por la cual se origina la corrosión es la permeabilidad del concreto; entre otras, tenemos la carbonatación del recubrimiento de concreto, relación agua-cemento (a/c), condiciones ambientales a las que está expuesta, corrientes parasitas, humedad, etc. (ACI-222R19, 2019).

Como resultado de todo lo mencionado, el hormigón armado es propenso a la corrosión que de no tratarse a tiempo tendrá repercusiones en la mayoría de obras construidas con este material, disminuyendo la vida útil. Posteriormente, ocasionando reparaciones o rehabilitaciones, en su mayoría de veces que se realizan, el costo es aproximadamente el 60% del costo total del proyecto, por lo que muchas veces no es factible realizar la rehabilitación o reforzamiento de la estructura. Por tales motivos, para garantizar el correcto funcionamiento de las estructuras, es imprescindible prevenir la corrosión del acero de refuerzo, pudiendo así evitar que se reduzca su tiempo de vida útil y cumpla con el tiempo de servicio para el cual se diseñó.

Existen diversos métodos para la correcta protección contra la corrosión del concreto armado; según algunos autores, pueden ser dos tipos de métodos, de protección directa (aplicados sobre la barra de refuerzo) o indirecta (aplicados en el concreto).

Guide to Protection of Metals in Concrete Against Corrosion, (2019) plantea que antes de usar uno de estos dos métodos de protección se debe tener un mejor control del diseño de concreto y de la exposición a la cual estará sometido el proyecto. En resumen, debe tenerse un diseño contra la corrosión.

Teniendo en consideración las recomendaciones, se conoce que el concreto es la primera barrera contra la protección de la corrosión, pero no sabemos qué es lo que cuida más al acero, por lo cual la investigación plantea el problema: ¿Cómo influye la resistencia a la compresión y el recubrimiento en la corrosión del concreto armado?

1.2. Formulación del planeamiento del problema

1.2.1. Problema general

- PG: ¿Cómo influyen la resistencia a la compresión y el recubrimiento en la corrosión del concreto armado?

1.2.2. Problemas específicos

- PE1: ¿Cómo influye la resistencia a la compresión en la corrosión del concreto armado?
- PE2: ¿Cómo influye el recubrimiento en la corrosión del concreto armado?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

El concreto armado es normalmente utilizado en la ejecución de infraestructuras gracias a los beneficios y cualidades que este nos brinda a la hora de su uso; de igual modo, posee algunas desventajas que se ven relacionadas con la vida útil. Una de las desventajas es la corrosión, la cual es causada principalmente debido a los cloruros y la carbonatación que se presenta en el hormigón. La corrosión compromete la integridad estructural del concreto armado, lo que conlleva costosas reparaciones. Según da Silva Torres, (2006) menciona que es trascendental estudiar y evitar los procesos que generan la corrosión; los ensayos de corrosión acelerada tienen la finalidad de que podamos



establecer un procedimiento para mitigar y prevenir la corrosión. Estos métodos de inducción a la corrosión tienen el trabajo de ayudar a comprobar y evaluar la eficacia de los diferentes tratamientos de protección.

El recubrimiento de las armaduras es una medida preventiva para evitar la corrosión del acero de armadura; las normas internacionales como el ACI y la NTP establecen espesores mínimos de recubrimientos estos basados en factores ambientales, condiciones ambientales de exposición y requerimientos de diseño.

Otros factores importantes que contribuyen a la corrosión del acero de refuerzo son los procedimientos de diseño y construcción utilizados. La efectividad de la protección de concreto puede variar significativamente debido a factores como la calidad del concreto, recubrimiento, compactación o vibrado, relación a/c , control de grietas, curado, entre otros. (ACI-222R19, 2019).

Es necesario evaluar cómo diversos recubrimientos en interacción con la resistencia mecánica del hormigón actúan frente a la corrosión de este y de este modo comprender y determinar la estrategia más efectiva para mejorar la durabilidad de las estructuras mediante un adecuado diseño.

1.3.2. Justificación práctica

Durante el proceso de diseño de diversas estructuras, los resultados de esta investigación pueden utilizarse de forma eficaz. De este modo, será posible ofrecer soluciones prácticas y eficaces que ayuden a prevenir degradación por corrosión de estructuras de hormigón armado. Se trata de un aspecto de suma importancia garantizar que la construcción tenga una vida útil más larga de la que tendría de otro modo. Además, esta aplicación no sólo contribuirá a mejorar la durabilidad en cuanto a los edificios, sino que también supondrá una gran reducción de los gastos de mantenimiento a lo largo del tiempo.



1.3.3. Justificación económica

El utilizar un recubrimiento o resistencia adecuada asegurará la durabilidad así como el tiempo de servicio de la estructura; la corrosión del concreto armado estará mermada, asimismo los costos asociados con reparaciones y mantenimientos de las estructuras. Esta investigación permitirá la optimización del uso de los materiales e implementación de técnicas adecuadas de construcción; de esta manera se utilizarán eficientemente los recursos financieros de los proyectos que se puedan desarrollar.

1.3.4. Justificación social

Aumentar la capacidad del hormigón armado para resistir la corrosión redundará en un aumento de la seguridad de las infraestructuras. Ello se debe a que contribuirá para aumentar el tiempo de servicio tanto de las propias edificaciones como de las personas que las utilizan. Mantener la estructura en correcto estado y prolongar su tiempo de servicio no sólo es necesario para garantizar su funcionamiento óptimo, sino que también influye considerablemente en la calidad de vida en las personas. Al hacerlo, se minimizan considerablemente los riesgos de fallos estructurales y accidentes que podrían poner en peligro los ocupantes.

1.3.5. Justificación metodológica

El estudio que se llevará a cabo tiene como objetivo principal facilitar una evaluación detallada en relación con las distintas variables independientes, específicamente la capacidad de resistencia debido a la compresión del concreto en contraposición del recubrimiento adecuado en el acero que tiene de refuerzo. Esta evaluación es crucial para determinar cuál de estas dos variables es más efectiva en la reducción de la corrosión que puede afectar al concreto armado. Además, este trabajo de investigación también tiene como propósito contribuir al campo mediante la incorporación de la técnica de ensayo de corrosión acelerada, lo que permitirá un análisis más profundo y preciso de la durabilidad del material en condiciones adversas.



El enfoque experimental y cuantitativo facilitarán la obtención de resultados reproducibles, ayudando a realizar posteriores estudios similares.

1.3.6. Justificación legal

Este estudio o investigación será de gran utilidad porque permitirá proporcionar parámetros adecuados que guiarán el proceso constructivo asociado al desarrollo y mantenimiento de estructuras construidas con hormigón armado. Su propósito es prevenir o reducir la posibilidad de que se desarrolle corrosión en el hormigón armado, lo que podría tener efectos adversos. Además, garantizará que los procedimientos de construcción utilizados sean los adecuados y cumplan la normatividad de seguridad y calidad que se ha establecido para garantizar la longevidad e integridad de estas estructuras.

1.3.7. Justificación investigativa

La presente actividad de investigación fomentará investigación en materia de ingeniería civil relacionada con la corrosión del hormigón armado o la corrosión en el acero de armadura. El objetivo de la presente investigación es fomentar la profundización de la búsqueda en materiales o estrategias de protección que eviten la corrosión.

En las áreas de resistencia a la compresión, revestimiento y corrosión, se proporcionarán valiosos datos empíricos. Estos datos pueden utilizarse en investigaciones o estudios comparativos relacionados con el tema.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- OG: Determinar cómo influyen la resistencia a la compresión y el recubrimiento en la corrosión del concreto armado.

1.4.2. Objetivo específico

- OE1: Determinar cómo influye la resistencia a la compresión en la corrosión del concreto armado.



- OE2: Determinar cómo influye el recubrimiento en la corrosión del concreto armado.

1.5. Importancia y alcances

El propósito principal en esta investigación es desarrollar métodos y procedimientos que aumenten la durabilidad y la seguridad de las estructuras en las cuales el principal componente es el concreto. La intención es investigar la conexión correlacional de la resistencia del hormigón utilizado y el revestimiento aplicado, así como la influencia que esta relación tiene en la corrosión que puede experimentar el acero de refuerzo dentro de estos edificios. Los resultados de esta investigación serán muy útiles para diseñar infraestructuras más robustas y duraderas. Esto también permitirá reducir significativamente los costes asociados a su mantenimiento. Se prevé que esta aplicación resulte beneficiosa durante el proceso de construcción de diversas infraestructuras, incluidos edificios, puentes y estructuras que se levantan en entornos marítimos. Además, esta estrategia se encargará de impulsar la creación de nuevas investigaciones y también promoverá la formación en diversas técnicas de construcción. El objetivo de este enfoque es garantizar que las estructuras que se produzcan sean duraderas y tengan una vida útil prolongada.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

- HG: La resistencia a la compresión de 280 kg/cm² reducirá significativamente la corrosión del concreto armado.

1.6.2. Hipótesis específicas

- HE1: La resistencia a la compresión del concreto armado influye significativamente en la reducción de la corrosión del concreto armado.
- HE2: El espesor del recubrimiento tiene un efecto positivo en la protección contra la corrosión, de modo que mayores espesores proporcionan mayor protección contra la corrosión del concreto armado.



1.7. Variables e indicadores

1.7.1. Variable independiente

▪ Resistencia a la compresión.

Indicadores:

- Capacidad de compresión del concreto (210 Kg/cm²; 280 kg/cm²).

▪ Recubrimiento.

Indicadores:

- Protección del acero de refuerzo (2cm, 4.5 cm, 7cm).

1.7.2. Variables dependiente

Corrosión del concreto armado.

Indicadores:

- Peso de la barra de refuerzo de acero corrugado, antes y después de ser corroído.
- Carbonatación del concreto.



1.8. Operacionalización de variables

Tabla 1

Tabla de Operacionalización de Variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidades de Medida	Tipo de Variable	Instrumento
Independiente:					
-Resistencia a la compresión	Capacidad de compresión del concreto	Se aplicarán concretos de resistencia a la compresión de 210 kg/cm ² y 280 kg/cm ²	f'c= kg/cm ²	Cuantitativa	NTP 339.034
- Recubrimiento	Protección del acero de refuerzo	Se utilizarán diferentes recubrimientos como de 2cm, 4.5cm y 7cm	c = cm	Cuantitativa	Ficha de observación
Dependiente:					
-Corrosión del Concreto Armado	Apreciaciones de la carbonatación del concreto armado, corrosión del Acero de refuerzo	Carbonatación del concreto (coloración)	Profundidad (mm)	Cuantitativa	Ensayo de laboratorio
		Masa de la barra de refuerzo de acero corrugado antes y después de ser corroído	Gramos (g)	Cuantitativa	Instrumento de recolección de datos



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Xu & Zhao (2021) en su estudio desarrollado en China acerca de la inducción de la corrosión titulado "Corrosion induced cracking propagation of RC beams subjected to different corrosion methods and load levels" que se traduce en "Propagación de grietas inducidas por corrosión en vigas de hormigón armado sometidas a diferentes métodos de corrosión y niveles de carga".

Menciona que el agrietamiento del hormigón inducido por corrosión es un fenómeno importante de deterioro estructural, útil para evaluar la durabilidad de las estructuras en servicio. En el estudio se corroyeron muestras de vigas sometidas a cargas mediante ciclos de secado – humectación y el método acelerado de corriente impresa. Se encontraron tres tipos de grietas inducidas por corrosión y el fuerte efecto de restricción de los estribos. El proceso de agrietamiento se dividió en dos etapas por la aparición de una grieta penetrante; la relación de longitud de grieta tuvo un salto en el momento crítico. Los resultados de la prueba de corrosión acelerada subestimaron el daño por agrietamiento de las condiciones



naturales. Además, la carga mayor aceleró la formación y propagación de grietas penetrantes.

Ahmed et al. (2020) en su estudio en Egipto acerca de los recubrimientos titulado "Evaluation of new core-shell pigments on the anticorrosive performance of coated reinforced concrete steel" que se traduce en "Evaluación de nuevos pigmentos core-shell sobre el desempeño anticorrosivo del acero revestido para hormigón armado".

Habla de que, los pigmentos se consideran el principal componente de las pinturas que pueden ayudar a prevenir la corrosión. En este trabajo, se aplicó un sistema de pintura a base de epoxi sobre acero de hormigón armado para evaluar su rendimiento anticorrosivo. Este sistema se basa en nuevos pigmentos de núcleo-capa que se componen de un núcleo de diferentes fuentes de carbonato de calcio (calcita natural, desechos de mármol y cáscara de huevo) cubierto con una fina capa de ferrita de zinc para comparar su efecto anticorrosivo. La resistencia a la corrosión de los revestimientos evaluó en NaCl al 3.5% durante 28 días mediante dos métodos electroquímicos: la espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) y el potencial de circuito abierto (OCP) son dos tipos de espectroscopia. Las mediciones revelaron que el acero del hormigón revestido con pinturas que contienen ferrita de zinc/mármol fue el mejor en su rendimiento de protección contra la corrosión, lo que demuestra que, aunque todos los núcleos están basados en carbonato de calcio, la fuente puede afectar el rendimiento.

Aguirre-Guerrero et al. (2017) estudió los recubrimientos del concreto armado en Colombia, en su investigación "A novel geopolymer application: Coatings to protect reinforced concrete against corrosion" que se traduce en "Una nueva aplicación de los geopolímeros: recubrimientos para proteger el hormigón armado contra la corrosión".

Este estudio evalúa el desempeño de dos morteros geopoliméricos de tipo híbrido compuestos por cenizas volantes (FA) activadas alcalinamente y metacaolín (MK) como recubrimientos protectores contra la corrosión inducida por cloruros en concreto reforzado.



En ambos casos, los concretos (sustratos) revestidos a base de cemento Portland (OPC) fueron sometidos a técnicas aceleradas como voltaje impreso y ciclos de humectación/secado (w/d) en presencia de una solución de NaCl al 3,5%. La corrosión también fue monitoreada mediante la aplicación de técnicas que involucran resistencia a la polarización lineal y potencial de circuito abierto. Los resultados permitieron concluir que el recubrimiento geopolimérico a base de MK exhibió el mejor desempeño, reduciendo la tasa de corrosión en comparación con el concreto sin recubrimiento (referencia) en 4 ciclos de w/d. Después del ciclo 5, la tasa de corrosión fue similar para las muestras con y sin recubrimiento. Se sugiere la aplicación de recubrimientos tipo geopolímeros (morteros) como método de protección de estructuras expuestas a ambientes marinos.

De Kayser Ortolan et al. (2017) en su estudio acerca de la corrosión desarrollada en Colombia, titulado "Comparative assessment of corrosión of concrete reinforced with unprotected steel and hot-dip galvanized Steel" que se traduce en "Evaluación comparativa de la corrosión del hormigón armado con acero sin protección y acero galvanizado en caliente"

Este estudio académico se dedicó a investigar y analizar la comparación entre dos tipos diferentes de varillas de acero: aquellas que no poseen recubrimiento y las que han sido galvanizadas en caliente. Estas barras de acero fueron colocadas en cuatro categorías distintas de hormigón, cada cual presentaba diferentes relaciones de agua a cemento, lo que permitió una evaluación más amplia y detallada del comportamiento de ambos tipos de acero bajo condiciones variadas. Las muestras en cuestión fueron sometidas a un ensayo de corrosión acelerada, el cual se llevó a cabo empleando el método conocido como CAIM. Los resultados obtenidos de la investigación revelaron una notable disminución en los niveles de corrosión en todos los tipos de hormigón analizados. En particular, la mezcla que contenía la mayor cantidad de cemento alcanzó una impresionante reducción de hasta un 70,5% en comparación con las mediciones previas. Esta observación indica que la galvanización por inmersión en caliente podría



representar una opción eficiente y viable para que se aplique en las estructuras. Esto resulta básicamente muy relevante cuando se usa en conjunto con mezclas que han sido específicamente formuladas para ofrecer un mayor grado de durabilidad.

El siguiente antecedente excede más de 5 años de antigüedad, pero es importante para la investigación.

Meneses et al. (2016), en su estudio acerca de la corrosión realizado en Argentina, titulado "Influencia del espesor del recubrimiento de elementos de hormigón armado expuestos a procesos de corrosión y sometidos a cargas externas"

Este estudio ofrece una presentación detallada de los descubrimientos obtenidos de una investigación específica en la cual se expusieron vigas de concreto armado a esfuerzos de flexión. Esto se realizó mediante la aplicación de cargas meticulosamente diseñadas con el objetivo de inducir tensiones de tracción equivalentes en las armaduras que se encontraban en estado de corrosión. Para llevar a cabo esta investigación, se implementó un proceso de corrosión acelerada que permitió observar el comportamiento de los materiales bajo estas condiciones. Las vigas fueron elaboradas haciendo uso de una variedad de dimensiones para el recubrimiento en las estructuras de las armaduras, y además se utilizó hormigón que posee una resistencia característica de 25 megapascuales (MPa). Según las observaciones de la investigación realizada se manifiesta de manera clara y contundente la conexión existente entre el grosor del recubrimiento aplicado a las armaduras y su efecto en el fenómeno de la corrosión. Además, también se destaca cómo esta relación influye en la aparición de indicadores visibles de daño, especialmente en lo que respecta a la formación de fisuras en el recubrimiento, todo esto ocurre cuando se hallan sometidas a condiciones mecánicas que se consideran homogéneas. Se ha observado que el daño causado por la corrosión en las vigas que están expuestas a cargas externas es considerablemente más evidente y severo en comparación con las vigas que no se encuentran sometidas a estas mismas condiciones de carga. Además, Sobre la base



de la información presentada anteriormente, se ha determinado que el grosor del recubrimiento desempeña un papel crucial en este fenómeno, lo que, a su vez, tiene un efecto considerable en la duración de la etapa útil de la estructura y también en su capacidad para soportar carga.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Torres Velásquez (2019), en su estudio desarrollado en Lima acerca de la corrosión, titulado "Deterioro del concreto Armado por Ataque del Cloruro Férrico"

El principal propósito de esta investigación es llevar a cabo una evaluación exhaustiva del deterioro que puede sufrir tanto el concreto simple como el concreto armado que ha sido elaborado con cemento Portland Tipo I, y esto se debe a la agresión provocada por el cloruro férrico disuelto en una solución concentrada al 42%. Este estudio es particularmente relevante porque los tanques de almacenamiento son sólo un ejemplo de las muchas estructuras de hormigón que se utilizan habitualmente expuestas a este tipo de productos químicos, ya que son utilizados como parte del proceso de tratamiento para la potabilización del agua. Para alcanzar dicho objetivo, se utilizaron probetas de concreto simple y armado, cuyas dimensiones eran de 4 pulgadas por 8 pulgadas. Cada una de estas probetas contenía en su interior una varilla de acero de 10 centímetros de longitud posicionada en el centro. Además, se establecieron diferentes relaciones agua/cemento, específicamente 0.45, 0.50, 0.60 y 0.70. En estos ensayos, también se incorporaron varillas de acero corrugado, con un diámetro de 3/8 de pulgada, que posteriormente fueron sometidas a un tratamiento de corrosión acelerada. Este procedimiento siguió de manera estricta el método detallado en la tesis del Ingeniero correspondiente. El trabajo de investigación, llevado a cabo por José Luis Díaz Lazo, se titula 'Corrosión del cemento como resultado del ataque de sulfatos'. Después de llevar a cabo de manera exhaustiva el ensayo de corrosión acelerada, se realizó una cuidadosa identificación de las variaciones en el peso de las probetas, comparándolas detalladamente con las probetas que se



establecieron como referencia. Además, se llevó a cabo un proceso para determinar los valores correspondientes a sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Todo esto se hizo con el objetivo fundamental de evaluar de manera precisa el grado de deterioro que ha sufrido el concreto analizado.

Castillo Pinillos & Ortiz Esquivel (2018), en su estudio en Trujillo acerca de la corrosión titulado "Influencia del aditivo inhibidor de corrosión SIKA CNI en la velocidad de corrosión de acero embebido en concreto, expuesto en ambientes marinos de la zona costera de Trujillo, 2018"

Esta investigación se enfoca específicamente en el análisis de las estructuras que están fabricadas con concreto armado y que se encuentran en entornos marinos. Estos ambientes están caracterizados por una alta concentración de cloruros, que son compuestos químicos capaces de provocar un deterioro considerable en las mencionadas estructuras. Si este deterioro no se identifica y se repara de manera oportuna, existe un riesgo significativo de que las estructuras puedan llegar a colapsar, lo que subraya la importancia de un monitoreo constante y eficiente. A pesar de que las construcciones realizadas con concreto armado son frecuentemente vistas como altamente duraderas y requieren un mantenimiento relativamente bajo en términos de costos, en el contexto del Perú, que cuenta con una amplia y extensa zona costera, los desafíos relacionados con la durabilidad de estas estructuras han comenzado a manifestarse de manera más clara. Esto se debe principalmente a las diferentes patologías que surgen como consecuencia de la corrosión, que a su vez deteriora progresivamente la funcionalidad de estas edificaciones. La corrosión es un proceso paulatino y casi invisible que se lleva a cabo en el interior de la estructura, produciendo la formación de herrumbre en el acero de refuerzo utilizado en la construcción. Este fenómeno puede desarrollarse de manera silenciosa, comprometiendo poco a poco la integridad del material sin que se detecte de inmediato. Este proceso provoca una disminución en las dimensiones originales de la varilla, lo que a su vez disminuye la adherencia entre los materiales de acero y el concreto.



Además, esta situación ejerce una presión significativa sobre el concreto que rodea la varilla, lo que puede resultar en la aparición de grietas. Estas grietas son perjudiciales porque debilitan la integridad de la estructura en su conjunto, lo que conlleva una reducción en su capacidad estructural y, por ende, compromete su resistencia y estabilidad general. El objetivo principal de la tesis que se expone en este artículo es cumplir el de ofrecer una contribución significativa en el entendimiento y análisis del comportamiento del concreto armado cuando es expuesto a distintos agentes que provocan corrosión. Para ello, se sugiere la inclusión de un aditivo específico, el inhibidor de corrosión Sika® CNI, en las muestras de concreto que se utilizarán en el estudio, las cuales tendrán relaciones de agua a cemento de 0.55, 0.60 y 0.65. Estas muestras serán sometidas a condiciones de exposición en entornos marinos ubicados en localidades como Buenos Aires, Huanchaco y Salaverry. A través de esta investigación, se pretende evaluar el efecto del aditivo en la durabilidad del concreto frente a la corrosión en dichos ambientes. Asimismo, se llevaron a cabo una serie de ensayos experimentales detallados en los materiales utilizados, se incluyen materiales como los áridos, el acero de armadura y el hormigón, con el fin de evaluar y analizar las cualidades de estos materiales específicas en cada una de las fases del estudio que se estaba realizando. Finalmente, los resultados que se obtuvieron a partir del análisis con respecto a las variables que fueron estudiadas revelaron que la utilización del aditivo Sika® CNI constituye una alternativa viable y también altamente beneficiosa. Esto respecta a los costos asociados como en términos de la efectividad demostrada, específicamente cuando se considera su función como inhibidor de la corrosión en estructuras de concreto armado.

Tarazona Carlos (2023), realizó un estudio sobre la corrosión del concreto armado en Lima llamado "Corrosión del Concreto Armado de Mediana a Baja Resistencia PRO Cloruro de Sodio usando Cemento Portland Tipo I Sol"

Las condiciones tanto constructivas como ambientales, entre las que se incluyen los cloruros presentes en el agua de mar, han tenido un impacto significativo en las



propiedades de numerosas estructuras de concreto armado localizadas en zonas costeras. Esto es especialmente evidente en el caso del litoral peruano, donde diversas infraestructuras, tales como puertos y otros tipos de edificaciones, han experimentado una notable disminución en su durabilidad y resistencia a lo largo del tiempo. Según los estudios realizados por Poursaee en 2016 y Rivva en 2006, en el año 2018, se llevó a cabo un análisis que reveló que aproximadamente el 60% de las construcciones existentes en Perú eran resultado de la autoconstrucción, a menudo presentando deficiencias en su estructura, según lo reportado por CAPECO en ese año. Además, un estudio realizado en 2015 mostró que muchos propietarios de viviendas optaban por la contratación de maestros de obras, quienes son trabajadores con experiencia práctica, en lugar de recurrir a profesionales del sector de la construcción, lo que también fue señalado por CAPECO durante ese mismo periodo. Por lo tanto, resulta fundamental llevar a cabo un estudio exhaustivo sobre cómo el cloruro de sodio provoca el deterioro del concreto armado, por el enorme impacto que ello tiene en la capacidad de las estructuras para soportar el desgaste y ser mantenidas.

A pesar de que hay una variedad de estudios realizados a nivel internacional que abordan el fenómeno del proceso corrosivo en materiales de construcción (Feng et al., 2021), en el contexto específico del Perú la iniciativa se ha orientado por completo al examen del estudio del comportamiento de morteros y concretos armados que han estado expuestos a distintos tipos de cloruros (Rimarachín, 2013; Torres, 2019; Rojas, 2021). En consecuencia, el enfoque principal de este estudio fue examinar de manera detallada el proceso mediante el cual las características del concreto armado, particularmente aquellos de mediana a baja resistencia, se ven comprometidas y deterioradas a lo largo del tiempo. Este fenómeno ocurre específicamente cuando dicho concreto se encuentra expuesto a ciclos alternos de humedecimiento y secado en un ambiente que contiene una solución de cloruro de sodio con una concentración de 100 gramos por litro, utilizando cemento Portland tipo I Sol en su composición. Se emplearon probetas de concreto que presentaban relaciones agua/cemento de 0,60, 0,65 y 0,70, además de utilizar acero de refuerzo con un



diámetro de 5/8 de pulgada. Estas probetas fueron sometidas a un proceso de corrosión acelerada, el cual se fundamentaba en un método que alternaba ciclos continuos de humedecimiento y secado, tal como se describe en el estudio realizado por (Díaz,1994).

Según las conclusiones, el peso y resistencia a la compresión de las probetas resultaron ser mayores cuando se incrementó el número de ciclos y la proporción de agua y cemento. Los resultados de este estudio no sólo suponen una importante contribución al corpus de información existente sobre el deterioro del hormigón armado en entornos costeros, sino que también sirven de referencia para futuros descubrimientos en materia de corrosión.

2.1.3. Antecedentes locales

Ticona Pilco (2019), en su estudio desarrollado en el Departamento de Puno, Provincia de San Roman, Dsitrto de Juliaca acerca de la corrosión, en su trabajo de investigación denominado "Estudio de La Corrosión del Acero Sometido a un Entorno de Sulfatos Con Diversos Tipos de Agregados"

El objetivo fundamental de este estudio es realizar un análisis exhaustivo y minucioso sobre el fenómeno de la corrosión que afecta al acero, específicamente en condiciones donde se halla expuesto a un medio ambiente que contiene sulfatos. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizará una diversidad de tipos de agregados en los distintos experimentos que se realizarán. Se llevó a cabo la implementación de una metodología basada en relaciones, a través de la cual se llevó a cabo el proceso de elaboración de un total de 30 probetas de concreto, con el fin de realizar pruebas y análisis más detallados. Estas probetas han sido cuidadosamente diseñadas con el objetivo de lograr una resistencia específica que alcanza los 210 kg/cm². De un total de 30 muestras que se analizaron, se observó que 15 de ellas fueron producidas mediante la utilización de una mezcla de agregado fino y agregado grueso que fue extraído de la cantera conocida como Isla. Por otro lado, las restantes 15 muestras fueron creadas utilizando agregado fino también procedente de la cantera Isla, pero en este caso, el agregado grueso fue obtenido



de la cantera Cabanillas. Todas las probetas están diseñadas con dimensiones que son completamente uniformes, midiendo 10 centímetros en cada una de sus tres características esenciales: alto, ancho y largo. Además, estas probetas están cuidadosamente reforzadas en su interior utilizando acero corrugado, el cual tiene un notable grosor de $\frac{1}{2}$ pulgada para garantizar su resistencia y durabilidad. Se realizó un conjunto de evaluaciones exhaustivas con el propósito de analizar y medir la resistencia del concreto utilizado en la construcción, además de poner en práctica una variedad de técnicas electroquímicas, las cuales se aplicaron de forma directa en el sitio donde se está llevando a cabo la obra.

Los hallazgos obtenidos en el estudio indicaron que los materiales agregados provenientes de las canteras conocidas como Isla y Cabanillas, ubicadas en la provincia de San Román, específicamente en la ciudad de Juliaca, exhiben una variedad de reacciones y respuestas distintas cuando se someten a procesos de corrosión. En particular, se pudo observar de manera clara que el concreto que incorpora piedra chancada tiende a sufrir un proceso de corrosión a un ritmo mucho más acelerado en comparación con el concreto que utiliza canto rodado, especialmente cuando se encuentra expuesto a un entorno que contiene sulfatos. Se llega a la conclusión debido al acero que se encontraba mezclado con el hormigón que utiliza piedra chancada presenta un fenómeno de corrosión inducida por sulfatos que ocurre a una velocidad más acelerada en comparación con el acero que se encuentra en el concreto elaborado con canto rodado.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Resistencia a la compresión del concreto

También denominado F'C, asociado a la resistencia a la compresión del hormigón, es un indicador esencial de la calidad para el concreto. Es de suma importancia comprender que un hormigón de gran calidad se determina por su resistencia a la compresión. Para analizar este aspecto, se pueden realizar experimentos de laboratorio utilizando probetas cilíndricas que previamente han sido normalizadas. Para cumplir los requisitos de los ensayos, estas probetas se someten a una carga axial. Debido a que la

resistencia a la compresión especificada, que denotan mediante el símbolo $f'c$, suele estar relacionada con varios aspectos importantes, este proceso se utiliza no sólo para garantizar la calidad del hormigón, sino también para determinar si es aceptable o no. Estos elementos incluyen la relación agua/cemento (a/c), el cemento utilizado, el origen de los áridos utilizados en la mezcla, el tamaño de las partículas de los áridos y la humedad, así como la temperatura que se mantienen durante el proceso de curado. Por ello, es esencial tener en cuenta diversos factores que pueden influir en la calidad global del producto en su forma final, incluidos, entre otros, una vibración excesiva del hormigón y una compactación inadecuada del mismo (Otatazzi Pasino, 2011).

2.2.1.1. Requerimientos mínimos de la resistencia del concreto

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones E.060, En el contexto del hormigón estructural, se dice que la resistencia mínima ($f'c$) no debe ser menor de 17 Megapascales. De igual forma, menciona que, para realizar el ensayo de control de calidad mediante probetas, estas deben estar curadas bajo condiciones similares o iguales a las que el elemento estructural está sometido en obra. Las probetas deben moldearse al mismo tiempo que se vació el elemento estructural, y ser curados de acuerdo a lo que se realice en obra (E.060, 2009).

2.2.1.2. Factores que se relacionan con la resistencia del concreto

a) Relación a/c :

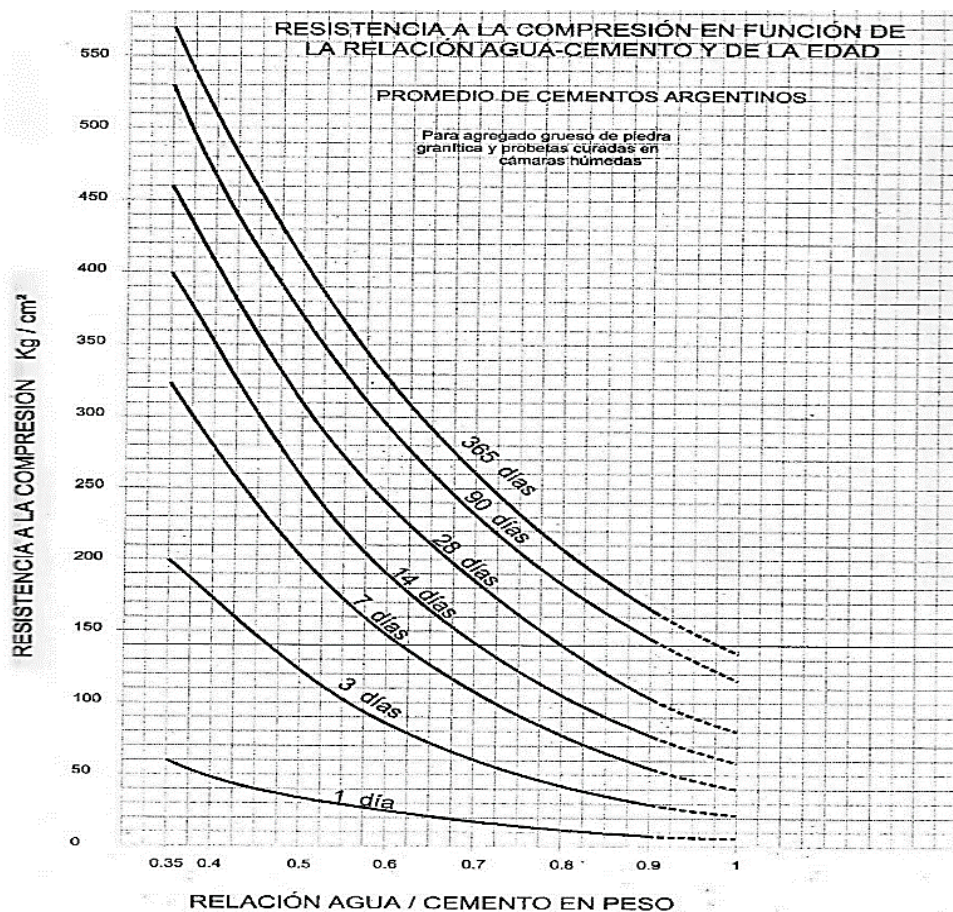
La adición de agua a una mezcla de hormigón facilita su trabajo, pero la cantidad de agua que se añade no debe ser significativamente superior a la necesaria para la hidratación. La relación entre agua y cemento, denotada como (w/c ; a/c), donde a representa la cantidad de agua libre (excluyendo el agua aportada por el árido). La cantidad de agua y cemento es responsable de controlar la resistencia del hormigón, así como muchas otras cualidades. Esta relación a/c generalmente se sitúa entre los intervalos de 0.35 a 0.65, aunque la relación mínima para que el cemento reaccione con el agua es de aproximadamente 0.25. Un

hormigón endurecido tiene una resistencia a la compresión inversamente proporcional a la relación a/c. La reducción de agua y cemento mejora la calidad del hormigón, aumentando su densidad, resistencia, impermeabilidad y otras propiedades. (S. Unnikrishna. Pillai & Devdas, 2021).

La relación (a/c) generalmente está relacionada a la resistencia a la compresión del concreto, el cual es diseñado según las solicitudes del proyecto. Si bien existe una relación a/c mínima para que el concreto reaccione con el agua, las relaciones agua cemento pueden ser variadas por encima de 0.25. Un ejemplo de resistencias a la compresión según la relación a/c se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1

Relación agua cemento en función a la resistencia y días de curado



Nota. Fuente (ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO: 7- ¿Qué es la relación agua cemento y cómo influye en la resistencia, durabilidad y trabajabilidad del hormigón?, s. f.)



b) Curado del concreto:

Según la teoría que sostiene Montoya et al., (2009), define que:

El curado es una práctica imprescindible en la confección del concreto armado, ya que depende del curado que el concreto obtenga su resistencia total y cualidades propias del hormigón. En el desarrollo del fraguado, en los primeros días de endurecimiento, el agua contenida en el concreto se evapora, lo que hace que el hormigón desarrolle una serie de poros o huecos, que a su vez hacen que el hormigón sea menos resistente. El no realizar un curado adecuado o no realizarlo tiene consecuencias graves en la durabilidad e impermeabilidad de las capas exteriores del concreto, las cuales se ven afectadas ante la falta de curado. Por consiguiente, de no curarse el concreto, el recubrimiento de las armaduras resultará poroso y permeable, motivo por el cual puede originarse fácilmente la corrosión de la armadura de refuerzo.

Para prevenir reacciones químicas que puedan comprometer la integridad y durabilidad del concreto, es fundamental seleccionar el tipo de agua más apropiado para el proceso de curado. Este proceso debería mantenerse durante un período mínimo de siete días y un curado de la mitad para concretos de alta resistencia.

La duración y la intensidad del curado dependerán de la temperatura, la humedad, el viento y la luz solar directa, estas son algunas de las características que pueden variar el tiempo de curado. Esto se puede apreciar mejor en la figura 2.

Es importante saber que la temperatura del agua para curado según la norma no debe ser menor de 10°C; de igual forma, la norma establece que el curado debe realizarse como mínimo 7 días (E.060, 2009).

Figura 2*Duración de curado en días para casos habituales*

Condiciones ambientales durante el curado	Temperatura (T_{med}) durante el curado		
	$T_{med} < 6^{\circ}\text{C}$	$12^{\circ}\text{C} > T_{med} > 6^{\circ}\text{C}$	$12^{\circ}\text{C} < T_{med}$
No expuesto al sol			
No expuesto al viento	5	4	3
Humidificación relativa superior al 80%			
Expuesto al sol con intensidad media			
Velocidad de viento media	7	5	4
Humidificación relativa entre el 50% y el 80%			
Soleamiento fuerte	10	8	6
Velocidad de viento alta			

Nota. (Montoya et al., 2009, p. 51)

Existen diversos tipos o métodos de curado, definiremos los más usados en el país, y gracias a una investigación realizada podremos observar cuál de ellas es el método más óptimo a usar.

Zambrano Navarrete et al., (2022) plantea que:

De los diversos métodos de curado el propósito de todos ellos es garantizar que la humedad y temperatura se mantenga para que el curado sea eficiente. El primer método es, la aplicación continua con agua el cual puede ser por anegamiento (inundar o cubrir de agua un lugar), aspersión en cubiertas de material saturado, como puede ser el caso de las mantas de yute.

En el segundo enfoque, se utilizan materiales de sellado para evitar que salga una cantidad excesiva de agua que absorbe el área superficial del hormigón. Para ello se utilizan láminas y membranas de plástico, en este caso plástico negro.

El tercer método, que es el más sencillo, se utiliza con mangueras para curar mediante hidratación continua o aspersión. Sin embargo, es importante tener cuidado de no erosionar los elementos de concreto.

El enfoque más apropiado para lograr un curado efectivo del concreto estará estrechamente vinculado con la resistencia final que se logre alcanzar. Por esta razón, se puede observar en la figura 3 las diferentes resistencias del concreto que se han obtenido en función del método de curado que se haya empleado. La medida de la resistencia es en unidades de presión conocidas como MPa. De acuerdo con la información que se ha podido observar y analizado, parece que el enfoque más apropiado y que se recomienda utilizar, debido a los resultados que se han obtenido hasta el momento, es el curado mediante el uso de cubiertas húmedas de yute.

Figura 3

Duración de curado en días para casos habituales

Tipo de curado	7 días	14 días	28 días
Cubiertas húmedas	20.46	21.71	22.92
Hidratación continua	19.15	20.84	22.31
Láminas de polietileno	18.33	19.86	21.81

Nota.(Zambrano Navarrete et al., 2022, p. 10)

2.2.1.3. Propiedades del concreto

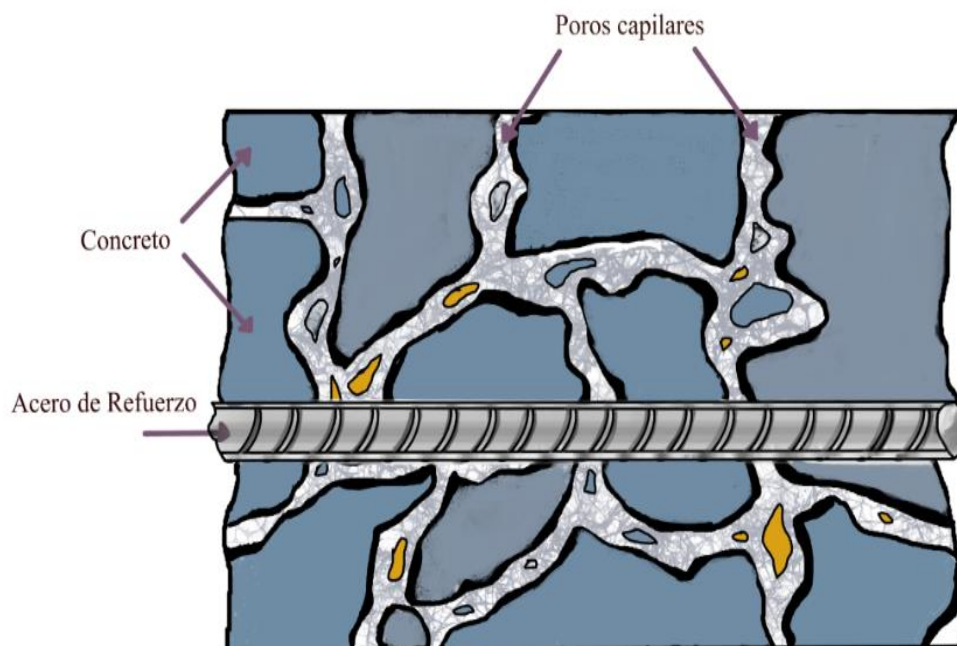
A pesar de que las características del hormigón son bastante significativas, cuando hablemos de ellas sólo nos centraremos en las más pertinentes para nuestra investigación.



a) Porosidad en la resistencia del concreto:

Cuando se emplean mezclas de concreto que contienen agregados comunes y se presenta un alto índice de relación agua/cemento, junto con un grado de hidratación que se mantiene en niveles bajos, la pasta de cemento resultante muestra una alta porosidad capilar. Este fenómeno provoca la formación de un número significativo de poros grandes que están interconectados de manera eficiente. Este fenómeno genera un alto coeficiente de permeabilidad, lo que indica que el material tiene una capacidad notable porque está diseñado para permitir que los fluidos lo atraviesen. A medida que el proceso de hidratación avanza y se desarrolla con el tiempo, se observa que la gran mayoría de los poros experimentan una reducción significativa en su tamaño, alcanzando dimensiones que son consideradas pequeñas, es decir, menores a 100 nanómetros. Este cambio en el tamaño de los poros conlleva a la pérdida de sus interconexiones, lo cual resulta en una disminución notable de la permeabilidad en el material. La porosidad de un material no solo influye en su capacidad para absorber diferentes líquidos o sustancias, sino que también tiene un impacto significativo en su resistencia y durabilidad general (Vélez, 2010).

Esto se debe a que el contenido de humedad que se almacena en los poros actúa como un electrolito que ayuda a llevar a cabo el proceso de corrosión electroquímica; del mismo modo, los poros también pueden ayudar a transportar sustancias agresivas como los iones de cloruro, que pueden causar corrosión. La porosidad presente en el hormigón contribuye significativamente a la corrosión del hormigón armado; sin embargo, para ser más explícitos, el contenido de humedad que se almacena en los poros es el factor que provoca la corrosión, no la porosidad en sí. Esto se puede apreciar mejor en la figura 4 (Aguilar Villareal, 2013).

Figura 4*Red de poros del concreto armado***b) Permeabilidad del concreto:**

Según Torres et al., (2007), "Una manera de aumentar la durabilidad del hormigón, y en consecuencia la del acero, es reducir su permeabilidad, lo que limita la entrada de agua y agentes agresivos" (p. 2).

Mehta & Monteiro (2014) informan que hay agua presente en el hormigón; sin embargo, la razón es que el procedimiento de hidratación del hormigón requiere agua para producirse. Cuando el agua atraviesa los poros del hormigón, la mayor parte se evapora y es absorbida por la partícula de hormigón. Cuando se trata de materiales como el hormigón, que tiene muchas grietas, es difícil localizar los poros que contiene.

Desde un punto de vista teórico, cuando se incorporan agregados a la mezcla de pasta de cemento, se espera que esto resulte en una disminución de la permeabilidad que caracterizan a dicha pasta. Esto se debe a que las partículas que forman los agregados tienen el potencial de obstruir los canales de flujo



presentes en la pasta de cemento, contribuyendo así a mejorar sus propiedades impermeables. En la realidad, la situación es completamente diferente a lo que se podría esperar. De hecho, la incorporación de agregados a una mezcla de cemento tiene como resultado un aumento notable en la permeabilidad del material. Además, se ha demostrado que el coeficiente de permeabilidad crece a la par que el tamaño de los áridos. Esto sugiere que existe una conexión directa entre el tamaño de los áridos y la capacidad del cemento para dejar fluir los fluidos.

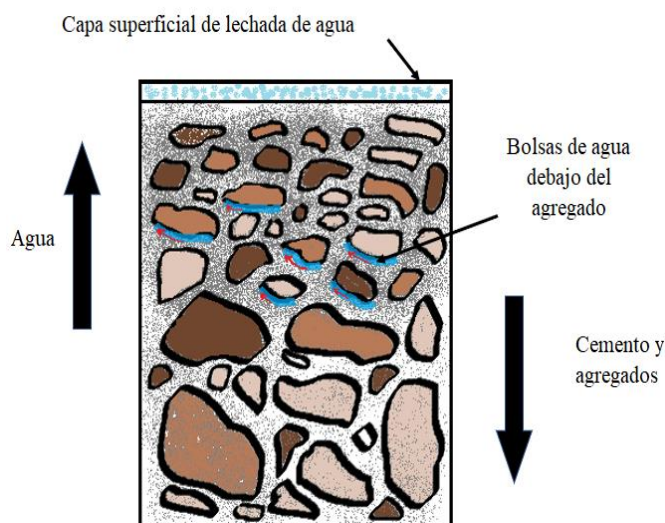
Pero a medida que el concreto madura y el procedimiento de hidratación del hormigón avanza, la mayoría de los poros se reducirán de tamaño, por lo que las interconexiones de los poros se reducen y son rellenados. El efecto de hidratación adicional es el responsable de rellenar los poros capilares, esto significa que la permeabilidad disminuirá con el tiempo.

En la mayoría de los concretos que se realiza un buen curado, la pasta de cemento no debe ser un problema que contribuya con el coeficiente de permeabilidad del concreto.

2.2.1.4. Homogeneidad del concreto

a) Segregación

Los componentes principales del hormigón son las partículas sólidas (agregados) y cementantes (cemento portland); cuando se realiza el colado o vaciado, las partículas tienden a sedimentarse (asentarse, depositarse) y el agua tiende a subir. Esto provoca segregación, debido a lo que las partículas del agregado más grande caen a las partes inferiores del encofrado; mientras que el sangrado (durante el proceso, el agua sube a la parte superior de la mezcla después del colado y compactado) produce una lechada rica en agua y una capa superficial débil (Ahmed et al., 2020). Esto lo podemos observar en la figura 5.

Figura 5*Proceso de segregación en la mezcla*

La segregación también puede producirse cuando se mezcla demasiado tiempo la masa del concreto, o cuando el vaciado de la mezcla se realiza a determinadas alturas, las cuales sobrepasan los límites establecidos (1.50m). También pueden originarse por no tener un recubrimiento adecuado, en este caso los estribos están muy pegados a la cara del encofrado en donde quedan atrapadas las partículas del agregado más grueso, produciendo así la segregación. La figura 6 muestra como es el proceso de segregación en el concreto.

Figura 6*Segregación en una losa de concreto*

Nota. Imagen tomada por el investigador.

b) Cangrejeras

Las cangrejeras pueden presentarse en prácticamente todos los elementos estructurales que están hechos de hormigón armado. Estos elementos incluyen vigas, pilares, losas y placas entre otros. Las cangrejeras se originan por diferentes factores; algunos de ellos son la trabajabilidad del concreto, la mala selección de los tamaños máximos del agregado grueso en relación con los recubrimientos y la separación del acero, un mal vibrado o compactación del concreto, un slump no adecuado, etc. (Placencia Huaman, 2016).

Las cangrejeras tienen un importante efecto perjudicial sobre la durabilidad del hormigón armado, como también en la protección que se proporciona al acero de refuerzo. Esto ocurre porque las cangrejeras están sometidos a un entorno agresivo, facilitando así el inicio del proceso de corrosión entre el acero. Esta situación desfavorable se puede observar claramente en la figura 7 que se presenta seguidamente.

Figura 7

Cangrejera exponiendo el acero de refuerzo



Nota. Se observa como la cangrejera expone al acero de refuerzo, también apreciamos que el recubrimiento es casi inexistente. Imagen propia.



2.2.1.5. Concreto armado

La trabajabilidad, la facilidad de moldeo, el endurecimiento y la resistencia de compresión son solo algunas de las propiedades que hacen del hormigón armado se trata de unos de los materiales de construcción que se utilizan con más frecuencia en todo el planeta. Hay muchas otras características que contribuyen a su popularidad. Esto se debe al hecho de que el hormigón armado posee un gran número de propiedades diferentes. El hormigón armado está compuesto de hormigón y acero corrugado. Esta combinación se diseñó para reforzar el hormigón en términos de resistencia a la tracción y a la compresión. Gracias a ello, el concreto es capaz de soportar las cargas que se ejercen sobre él en las construcciones.

Es conocido que cada autor tiene diferentes conceptos o definiciones respecto a un tema, en ese sentido Kosmatka et al. (2004) fundamenta que:

Los áridos, son partículas de piedra y minerales, y una pasta, que comúnmente se compone de cemento y agua, son los dos componentes principales que conforman el hormigón, un material que se utiliza con bastante frecuencia en el mundo de la construcción. La mezcla de pasta que se compone de cemento tipo Portland junto con agua tiene la capacidad de unir de manera efectiva la arena y la grava, resultando en la formación de una masa que, cuando se seca y endurece se asemeja a la solidez y durabilidad de una roca. Este procedimiento se lleva a cabo como resultado del proceso de solidificación de la mezcla, el cual es provocado por la interacción química que tiene lugar cuando se combinan el cemento y el agua. Es posible incorporar diversos tipos de materiales cementosos y minerales adicionales con el fin de modificar de manera significativa las características y propiedades de la pasta (p.12)

La autoconstrucción es un problema que surge como consecuencia de que este material es el más utilizado en el país y en la región en la actualidad. Esto se debe a que

es fácil de obtener y el procedimiento de construcción es sencillo. Según Redacción Gestión (2024):

El 71% de las viviendas de Perú fueron autoconstruidas, y este método es el responsable de la creación de nueve de cada diez nuevos hogares. La duración de la construcción puede variar sustancialmente. Según una encuesta, la finalización de siete de cada diez viviendas que fueron construidas por el propio propietario en el país tardó aproximadamente veinte años. La mayoría de estas casas se construyeron sin cumplir los permisos y estudios necesarios. Para levantar estas edificaciones, no se contó con los servicios de mano de obra calificada ni la asesoría de los especialistas necesarios. (párrs. 1, 2, 9)

El concreto armado como material de construcción no solo posee ventajas, también presentan algunas desventajas como lo mencionan Harmsen (2017) y Otatazzi Pasino (2011):

▪ **Ventajas:**

- a) Es duradero porque tiene una larga vida útil y, por tanto, no exige un gasto económico importante para mantenerlo en buen estado.
- b) Posee buena impermeabilidad, por lo que es usado en estructuras como represas, cimentaciones y pilares de puentes.
- c) Para llevar a cabo su construcción, hay una mayor disponibilidad de mano de obra cualificada de los alrededores.
- d) Es un material fácil de conseguir o transportar para su elaboración.
- e) Es adecuado para cumplir tanto funciones estructurales como arquitectónicas.

▪ **Desventajas:**

- a) Es esencial que estos elementos sean encofrados, lo que implica que la habilitación de los mismos necesita un período de espera. Una vez vertido, el hormigón debe esperar cierto tiempo para alcanzar la capacidad de resistencia



- máxima necesaria con el fin de garantizar la longevidad y estabilidad de la infraestructura.
- b) Requiere de control de calidad durante toda su etapa de construcción (condiciones del lugar, selección de los agregados, procedimiento de dosificación, curado, plazos para su desencofrado)
 - c) El proceso constructivo es lento esto se debe a que posee una serie de pasos los cuales son: realizar el encofrado, colocar la armadura de refuerzo, vaciado del concreto, desencofrado y curado.
 - d) Las grietas del concreto permiten el paso del agua y otros elementos, lo que potencialmente puede causar o acelerar el deterioro y la corrosión de la armadura de refuerzo. Las grietas en el hormigón armado también pueden deberse a otros factores. Por otra parte, este proceso de corrosión puede dar lugar a problemas importantes relacionados con la longevidad y el periodo de utilidad de la estructura considerada.

En síntesis, este material de construcción "concreto armado" es muy usado por sus ventajas y beneficios, pero como se indica también presenta desventajas. Como todo material de construcción se debe tener cuidado con sus solicitudes y especificaciones técnicas, esto con la finalidad de poder desarrollar un material de calidad y duradero. Si bien muchas personas autoconstruyen usando este material, se debe dar la importancia necesaria de que, si no se realiza correctamente, no se obtendrán ninguno de sus ventajas, más bien, todo lo contrario, se presentarán todas las desventajas posibles. Debido a que la mayoría de estas estructuras autoconstruidas tienen tendencia a presentar corrosión en sus armaduras de refuerzo; la vida de los que habitan y utilizan estas estructuras se pone en peligro cuando la construcción del hormigón armado está mal terminada.

Hace unos años, se creía que el hormigón armado, cuando estaba bien terminado, tenía una durabilidad casi ilimitada sin necesidad de mantenimiento. Sin embargo, las



investigaciones han demostrado que no es así. En la actualidad debido a la diversas ocurrencias y problemas presentados, los cuales se observaron en las estructuras existentes, se indica la aparición de diferentes agresiones químicas, físicas o mecánicas, que causan el deterioro del concreto armado, lo cual da origen a las patologías del concreto armado. Esto ha llevado a un incremento en la demanda de reparaciones y rehabilitaciones, motivadas por el deterioro resultante de la corrosión, lo cual reduce la durabilidad del concreto armado. (Aguilar Villareal, 2013)

2.2.1.6. Cemento

El cemento tiene una larga historia de origen, y una de las culturas que uso el cemento en gran escala es la romana, pero el cemento portland según Harmsen (2017) fue:

En 1824, Joseph Aspdin fue quien recibió la patente del hormigón, que se distinguía por un aglutinante gris verdoso que recordaba al color característico de la roca que se ubican en la isla de Portland. Esto dio al hormigón el nombre de cemento Portland. En el año 1845, Isaac Charles Johnson hizo el descubrimiento de que el cemento perfecto podía formarse triturando una sustancia que antes se creía inútil. Esta sustancia se denominó «clínker». Esta es la forma inicial del cemento que ahora se suele denominar cemento Portland. (pp. 21-22)

El material comúnmente conocido como cemento se distingue por sus cualidades adhesivas y cohesivas, que le permiten unir minerales para generar una masa uniforme en todos sus lados. Cuando se combina con agua, todos cementos empleados en el procesado de elaboración de hormigón se denominan cementos hidráulicos debido a su capacidad para endurecer o fraguar, incluso cuando están sumergidos en agua. El tipo de cemento hidráulico utilizado se denomina cemento Portland con mayor frecuencia en todo el país.

La arcilla y el esquisto son las dos formas más comunes de minerales calcáreos que se utilizan para fabricar cemento Portland. Además de sílice y alúmina, estos minerales pueden encontrarse en la caliza. La caliza también es una fuente de sílice. El cemento Portland está compuesto en su mayor parte por estos minerales como elementos constitutivos. Para fabricar cemento, las canteras son la fuente de las materias primas y de las normas de calidad que deben cumplir los componentes se utiliza en el proceso de producción. Estos componentes deben poseer ciertas características específicas (Neville, 2013, pp. 1-2). En la tabla 2 se puede observar las materias primas que lo componen.

Tabla 2*Materias Primas del Cemento*

	Componente Químico	Procedencia Usual
95%	Oxido de Calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Oxido de Sílice (SiO ₂)	Areniscas
	Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita
5%	Oxido de Azufre (SO ₃)	Minerales Varios
	Oxido de Magnesio (MgO)	
	Oxido de Sodio (Na ₂ O)	
	Oxido de Potasio (K ₂ O)	

Nota. Tabla extraída de Pasquel Carbajal (1999, p.18).

La elaboración del cemento implica múltiples etapas que comienzan con la molienda de diversas materias primas. Una vez que estas han sido adecuadamente molidas, se procede a mezclarlas de manera uniforme. Posteriormente, esta mezcla se obtiene a un intenso tempo de calcinación en un horno rotatorio, donde las temperaturas alcanzan entre 1,400 °C y 1,450 °C. Este enfoque meticuloso asegura que se logre el

producto final deseado, que es esencial en la construcción. Durante este proceso específico, el material experimenta una transformación en la que se sintetiza y se funde en parte, dando lugar a la formación de un producto conocido como Clinker. Posteriormente, este Clinker se enfría cuidadosamente y se procede a molerlo juntamente con yeso, el cual se incorpora con el propósito de retrasar el fraguado del material. El producto final de todo el proceso de producción que hemos llevado a cabo es el cemento Portland (Abanto Castillo, 2017).

Los compuestos del cemento están en equilibrio químico, considerado un estado congelado, y su composición se ha establecido mediante estudios de equilibrios de fase en sistemas terciarios (Neville, 2013). Los compuestos químicos del cemento se aprecian mejor en la tabla 3.

Tabla 3*Compuestos del cemento Portland Ingredientes químicos*

Compuesto	Fórmula Química	Abreviatur	Función
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	Conforma del 50% - 70% del Clinker. Genera una notable resistencia inicial gracias a su interacción con el agua, lo que provoca la producción de una cantidad sustancial de calor como resultado del proceso de hidratación. Existe una correlación directa entre el calor presente que se produce en el proceso de hidratación y la velocidad a la que se solidifica la pasta de cemento.
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	Conforma del 15% - 30% del Clinker. El calor de hidratación es el más bajo de los cuatro, lo que provoca que el proceso de fraguado y el endurecimiento del cemento sean muy lentos. Al mismo tiempo, es la fuente de la resistencia a largo plazo del cemento.

Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	Conforma del 5% - 10% del Clinker. El proceso de hidratación y endurecimiento del cemento resulta en la liberación de una cantidad sustancial de energía durante los primeros días del proceso. Durante la molienda del cemento, la integración de yeso permite que este material se mezcle de manera efectiva con el cemento, lo cual es vital para regular y controlar de manera eficiente el tiempo que tarda el cemento en fraguar.
Aluminoferrit o tetracálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	Conforma del 5% - 15% del Clinker. Se hidrata de manera rápida y eficiente, sin embargo, su impacto en la mejora de la resistencia es bastante limitado y casi insignificante.

Nota. Tabla extraída de Abanto Castillo (2017, p.84).

Existen diversas variedades de cementos Portland, cada cual posee un conjunto de cualidades únicas y propiedades que se adaptan a los requisitos de un determinado proyecto de desarrollo. Hay una amplia selección de cementos Portland disponibles cuando visite Perú, como esta en la tabla 4. Es prioritario destacar que estos cementos están regulados por las Normas Técnicas Peruanas (NTP), basadas en normas americanas ASTM C150/C150M-07 y ASTM C595/C595M-09, las cuales aseguran su calidad.

El calor de hidratación suele estar influido por la composición química del cemento; los cementos que incluyen bajos niveles de aluminato tricálcico (C_3A) y silicato tricálcico (C_3S) tienden a producir un bajo calor de hidratación dentro del cemento. Es la reacción entre el cemento y el agua la que da lugar a la producción del calor de hidratación. Cuando estas dos sustancias entran en contacto, se produce una reacción exotérmica, esencial para el proceso de fraguado y resistencia. (Abanto Castillo, 2017).

Tabla 4*Cementos Portland en el Perú*

Tipos	Aplicaciones o Propiedades
Tipo I	Es de uso general y se puede emplear en proyectos que no necesiten características o propiedades especiales para su ejecución
Tipo II	En situaciones donde se requiere resistencia moderada a los sulfatos, así como control sobre la cantidad de calor generado durante el proceso de hidratación, este tipo de material se utiliza con frecuencia. Este tipo de material también ayuda a prevenir la ocurrencia de reacciones excesivas.
Tipo III	Con una notable capacidad de resistencia inicial, este tipo de cemento alcanza un nivel de resistencia a la compresión al transcurrir tan solo 3 días, que es comparable a la resistencia que típicamente se consigue en un periodo de 28 días utilizando concretos que han sido elaborados con cementos clasificados como tipo I o tipo II
Tipo IV	Presenta un nivel de calor de hidratación que es considerado bajo
Tipo V	Por su extraordinaria resistencia a los sulfatos, es una forma de cemento que se usa en infraestructuras hidráulicas que van a entrar en una relación con agua que contiene una alta concentración de álcalis. Debido a que tiene características que previenen la corrosión y el deterioro, también se emplea en edificios que estarán expuestos al agua de mar. Esto se debe a las propiedades que posee.
Tipo IP	Es recomendado usar este cemento en estructuras de concreto que estarán expuestas a condiciones extremadamente severas. Esto incluye situaciones en las que se espera un ataque de sulfatos, así como también en momentos en los que se vayan a utilizar agregados que podrían ser potencialmente reactivos. La puzolana que se incorpora al material, en una proporción que no supera el 40%, tiene la capacidad de retardar el proceso de desarrollo de la resistencia inicial en las mezclas

Nota. Tabla extraída de Abanto Castillo (2017).

2.2.1.7. Los agregados

Una parte considerable del volumen total del hormigón está compuesta por áridos, que representan entre el 60 y el 70% del volumen total del producto. Esta cifra indica la importancia crítica de la calidad de los áridos que se usan en el proceso de elaboración, esto se debe a que los áridos que se utilizan para la fabricación del hormigón armado influyen directamente en las características y la longevidad del material. Por lo tanto, la calidad de las partículas utilizadas en la mezcla de hormigón es de suma importancia en su influencia directa en la resistencia del hormigón una vez fraguado. Esto ocurre porque, en el caso de que se elijan agregados que poseen una resistencia inferior, el diseño



destinado a garantizar la resistencia del concreto no podrá beneficiarse adecuadamente. Como consecuencia, esta situación podría ocasionar un deterioro en el rendimiento del concreto final. Asimismo, es importante destacar que las diversas características y propiedades de los agregados utilizados en la construcción están intrínsecamente relacionadas con la durabilidad que presentará el producto final. Por lo tanto, la selección adecuada de estos materiales, así como el cuidado y la atención que se les brinde durante su manejo, se convierten en aspectos fundamentales y esenciales a considerar en todo el proceso de construcción.

Los agregados poseen propiedades térmicas, químicas y físicas, los cuales influyen en el comportamiento del concreto, influyen fuertemente cualidades tanto el hormigón reciente como el endurecido, un claro ejemplo es cuando el agregado grueso tiene una forma angular o redondeada, como resultado, provoca una mayor resistencia o menor. Los agregados son más baratos que el cemento, esta es una razón por la cual resulta económicamente factible poner una cantidad mayor de agregado que cemento, los agregados proporcionan al concreto ventajas técnicas, una de ellas es la estabilidad volumétrica, la segunda es, una mayor durabilidad esto a comparación de si se usara solo cemento (Neville, 2013).

Los áridos de la región de Puno que se emplean para el diseño y la fabricación del concreto, son aquellos conocidos como hormigón, que se caracterizan por ser agregados sin cribar o agregados en estado bruto. Para asegurar que el concreto sea de alta calidad, siempre se sugiere dividir el agregado en dos categorías distintas: el fino y grueso. Esta separación es considerada la opción más adecuada para lograr un diseño eficiente del concreto.

Los agregados se pueden clasificar de distintas maneras, como, por ejemplo, su procedencia, sus propiedades físicas, su forma, textura, etc. Algunos tipos de clasificación según diversos autores pueden ser:



- **Según su procedencia:**

1. **Procedencia Natural:** Son agregados que se originaron mediante procesos geológicos naturales a lo largo de miles de años, este proceso de erosión debilita la roca madre originando canteras donde se almacenan los agregados. Generalmente las propiedades que tienen los agregados las obtienen de la roca madre. Esta acción de la naturaleza en conjunto con el tiempo y meteorización, dan como producto a las arenas, gravas de río y canto rodado. A esta procedencia natural se le debe de agregar, el agregado dragado de mar, arenas por lo general, estas arenas tienen el problema de contener sal y conchas marinas.
2. **Procedencia Artificial o Manufacturados:** Estos agregados se manufacturan para obtener las gravas y arenas, la materia prima debe sufrir una transformación. Se somete a la materia prima a un proceso de trituración (chancado), tamizado y lavado. Obteniendo de este modo agregados gruesos o agregado fino, el agregado grueso se recomienda para un óptimo diseño de mezclas, es la piedra chancada el cual es producido por este método. En estos últimos años apareció la tendencia del reciclaje de concreto, este es un proceso para reusar y reciclar los agregados, y está incluido en este tipo de procedencia (Montejo Fonseca et al., 2013).

- **Según su tamaño:**

Una de las maneras más sencillas y ampliamente reconocidas para categorizar los agregados es a través de este método específico, el cual se identifica comúnmente con el nombre de granulometría. La granulometría se refiere sobre la manera en que se dispersan los tamaños que componen el agregado. Estas partículas se miden en fracciones que van desde milímetros hasta centímetros. Para entender mejor las características del agregado, se determina y clasifica el tamaño de sus partículas, además de llevar a cabo la disgregación. Este proceso se basa en el número de tamiz a través del cual las partículas logran pasar



o en el que quedan retenidas, lo que permite una evaluación precisa de la cantidad de agregado presente (Kosmatka et al., 2004).

En su gran mayoría, según esta clasificación, los agregados se dividen en dos grupos, el primero es el agregado fino, el segundo es el agregado grueso.

1. **Agregado fino:**

El tamaño del agregado fino para hacer mezclas de concreto debe de tener los límites especificados en la NTP 400.037; se puede consultar más en detalle en el documento original de la norma (Cordero Estévez et al., 2019).

El agregado fino que se emplee en la composición de la mezcla debe ser totalmente limpio y carecer de cualquier tipo de materia orgánica. Es fundamental que no contenga cantidades que puedan resultar nocivas como el polvo, los grumos, las pequeñas partículas escamosas, las pizarras, los álcalis, las sales y otras sustancias, que pudieran ser consideradas perjudiciales. La presencia de estos elementos no deseados podría comprometer seriamente la integridad y la eficacia del diseño de la mezcla, lo que resalta la importancia de utilizar un agregado fino de la más alta calidad (Rivva López, 2010, p. 18)

El módulo de finura se considera un factor empírico que sirve como medida para estimar y evaluar la finura o el grosor de un material determinado. A pesar de que es posible efectuar cálculos de este tipo para diversos materiales, se sugiere específicamente llevar a cabo la medición del MF (módulo de finura) en los agregados finos. Esto se debe a que el valor obtenido proporciona información crucial para la clasificación del agregado, teniendo en cuenta el tamaño de sus partículas (Montejo Fonseca et al., 2013, p. 90)

2. **Agregado Grueso:**

Según (Rivva López, 2010):

La granulometría del agregado grueso hace referencia a los tamaños específicos del material que se encuentra retenido en el tamiz número 4, el cual tiene una abertura de



4.75 milímetros. Este tipo de agregado puede consistir en grava que se ha formado de manera natural en el entorno o en grava que ha sido sometida a un proceso de trituración para obtener su forma. Es fundamental que el agregado utilizado en la mezcla se encuentre limpio, es decir, que no contenga impurezas ni materiales no deseados. Además, es preferible que tenga una forma angular o, en su defecto, semi-angular, ya que esto ayuda a mejorar la adherencia en la mezcla. Asimismo, el agregado debe ser de una resistencia y dureza adecuadas, así como también poseer una textura rugosa, lo que contribuirá a la calidad y durabilidad. Se sugiere que el tamaño máximo permitido para el agregado no exceda la siguiente medida:

- La medida más estrecha entre los lados pertenecientes al encofrado es igual a una quinta parte del total.
- En su caso, una tercera parte del espesor de la losa.
- El espacio vacío mínimo que se puede tener entre armaduras, tendones o conductos debe ser del orden de tres cuartas partes.
- La finalidad de estas recomendaciones es garantizar que las barras de armadura queden totalmente cubiertas de acuerdo con su diseño, y que no generen posteriormente grietas que permitan y provoquen la corrosión del acero de armadura.

Para el agregado grueso, las condiciones que deben cumplirse respecto a las dimensiones y gradación particular necesarias son las que se indican en la NTP 400.037.

El diámetro en la abertura más pequeña del tamiz, que tiene la capacidad de permitir que todo el árido fluya a través de él, es el diámetro que se utiliza para definir el tamaño máximo de los materiales que se emplean. Este tamaño representa, por lo tanto, la dimensión de la partícula más grande que forma parte de dicho material. Es importante destacar que este tamaño máximo debe cumplir con las especificaciones técnicas

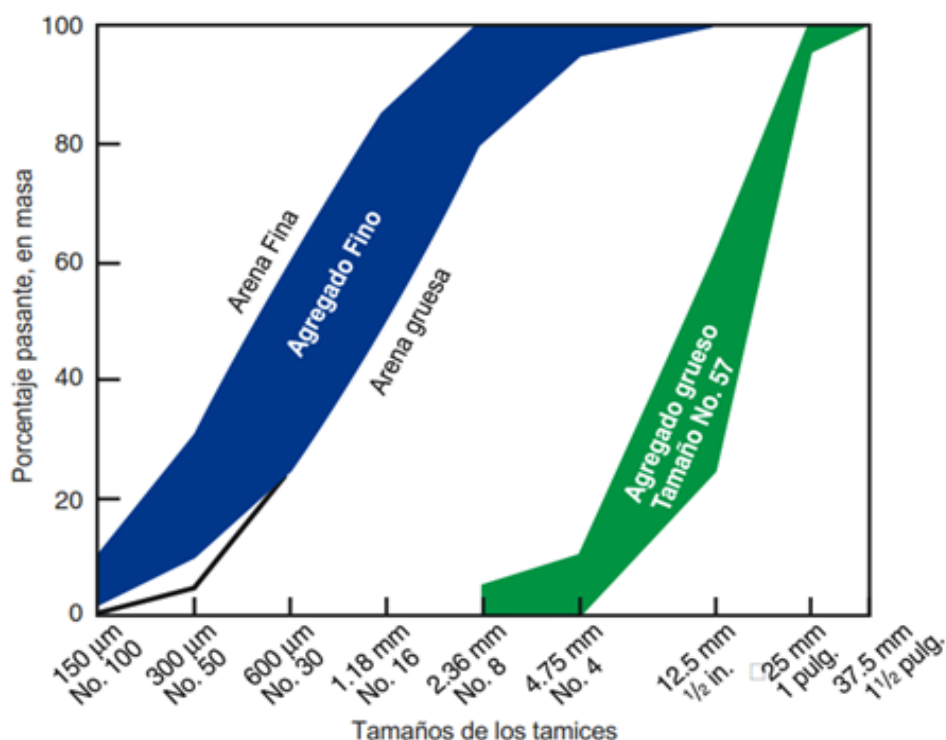
establecidas para la obra o proyecto en cuestión para garantizar que se mantengan los estándares requeridos (Montejo Fonseca et al., 2013).

El tamaño máximo nominal se considera una característica exclusiva del agregado grueso. Esta información se determina a partir de la abertura del tamiz que está inmediatamente por encima del porcentaje que pasa a través de él, y se establece cuando este porcentaje es del 85% o menos. Esta medida, por tanto, da una estimación del tamaño medio de las partículas más grandes que se encuentran dentro de la composición del árido grueso. (Montejo Fonseca et al., 2013).

Se logra un control más eficaz de la granulometría utilizando un gráfico, donde en la figura número 8 se representa en el eje horizontal las diferentes perforaciones en el tamiz, mientras que en el eje vertical se ilustra el porcentaje acumulado que ha logrado pasar a través del tamiz o de la malla.

Figura 8

Curva granulométrica para el agregado fino y grueso



Nota. (Kosmatka et al., 2004, p. 107)

En la Norma Técnica Peruana, también conocida como NTP 400.012, se detalla con gran profundidad la metodología que se utiliza este examen para determinar la granulometría de los áridos, así como del agregado total. Cuando se trata del diseño de mezclas en el sector de la construcción y otros campos que están relacionados con él, esta prueba es ventajosa y valiosa.

3. Según su Textura Superficial:

La forma y textura superficial de las partículas de un agregado afectan más a las propiedades del concreto fresco que las del concreto endurecido. Las partículas que presentan una textura áspera y tienen una forma angular o alargada requieren una mayor cantidad de agua para lograr un concreto trabajable, en comparación con aquellas que son lisas y tienen un contorno redondeado. La necesidad de agua y cemento está aumentando debido a los espacios vacíos entre las partículas, que se amplían a causa de la forma angular de los agregados utilizados en la mezcla. El agregado a utilizar para obtener un buen concreto no debe exceder un límite del 15% en su contenido de partículas que sean clasificadas como planas y alargadas (Kosmatka et al., 2004, p. 113).

Por lo mencionado anteriormente se clasifican según su forma: redondeada, irregular, laminar, angular y alargada.

La superficie de las partículas que componen el agregado juega un papel fundamental en cómo se adhieren entre la pasta y dicho agregado. Esta unión, a su vez, tiene una afectación considerable en la resistencia del hormigón, lo cual es especialmente relevante al considerar la estabilidad del hormigón a la flexión con respecto a su forma. La clasificación de las distintas partículas que componen el árido, están en función de la textura superficial de cada una de estas partículas. Las texturas que se pueden observar en los materiales pueden clasificarse en diversas categorías, tales como: superficies lisas, que presentan una apariencia uniforme y

suave; texturas granulares, que poseen una estructura compuesta de pequeñas partículas discernibles; acabados ásperos, que ofrecen un tacto rugoso y poco uniforme; texturas cristalinas, donde se pueden identificar componentes cristalinos claramente visibles a simple vista; o bien texturas apanaladas, que exhiben poros y cavidades que son fáciles de identificar y apreciar (Montejo Fonseca et al., 2013, pp. 83-84).

2.2.1.8. Características de los agregados

- **Densidad aparente:**

Variabilidad en las características de la distribución tanto del diámetro como de la conformación de las partículas presentes, es un factor determinante en este contexto. Las partículas que presentan diversas dimensiones pueden organizarse de manera tal que logran alcanzar ciertos límites específicos. En este proceso de organización, las partículas más pequeñas se desplazan y se acomodan en los intersticios o espacios vacíos que quedan entre las partículas de mayor tamaño. Una mayor densidad aparente que se observa en un agregado grueso específico sugiere que existen menos espacios vacíos disponibles para el agregado fino y el cemento. Su evaluación se lleva a cabo utilizando un cilindro metálico que posee dimensiones específicas tanto en su diámetro como en su profundidad. En este procedimiento, se coloca el agregado seco dentro del cilindro en un total de tres capas distintas. Cada una de estas capas se compacta de manera cuidadosa mediante la utilización de una varilla. Finalmente, el proceso se completa al rasar la superficie superior hasta que sobresale levemente por encima del borde del cilindro (Neville, 2013).

- **Peso Específico:**

Este concepto, que se denomina especializado como peso específico aparente, se define como la relación existente entre la masa del agregado que ha

sido secado a una temperatura que oscila entre los 100 y 110 grados Celsius durante un período de 24 horas y la masa del agua que ocupa un volumen igual al del sólido, incluyendo los poros impermeables. Se emplea un dispositivo conocido como picnómetro, el cual es un frasco que tiene una capacidad de un litro, diseñado con una tapa cónica hecha de metal y que presenta un pequeño orificio ubicado en su vértice. El picnómetro, un instrumento especializado utilizado para medir la densidad de líquidos, se llena cuidadosamente con agua con el propósito de asegurar que se mantenga un volumen constante durante el proceso de medición. El peso específico, es fundamental para poder determinar con precisión tanto el rendimiento del material de concreto como la proporción de agregado que se necesita para lograr la mezcla adecuada (Neville, 2013).

- **Absorción superficial o contenido de humedad**

Este dato permite implementar un control efectivo sobre el agua empleada en la mezcla de concreto. La capacidad de absorción se encuentra relacionada con la configuración interna y la organización estructural de las partículas que constituyen el agregado. Este agregado está compuesto por materia sólida y huecos; dichos huecos pueden contener agua en su interior o pueden encontrarse en estado seco, es decir, careciendo de contenido líquido. La proporción de agua establecida en el diseño debe ser ajustada y adaptada de acuerdo con las condiciones de humedad presentes en el agregado empleado. Al llevar a cabo este ajuste, se asegurará la preservación de la relación agua-cemento, la resistencia a la compresión y la conveniencia en el manejo y colocación del concreto. El estado de humedad en el que puede encontrarse un agregado se presenta y se describe de forma detallada en la figura número 9 (Kosmatka et al., 2004).

Figura 9

Condiciones del nivel de humedad en los agregados

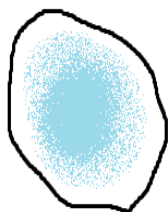
Estado:

Secado al horno



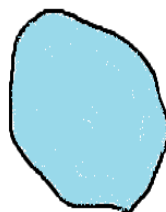
Totalmente absorbente

Secado al aire



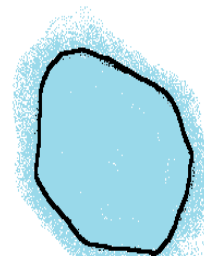
La superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente

Saturado con superficie seca (SSS)



No absorben ni ceden agua al concreto

Húmedo



Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre)

2.2.1.9. Características físicas de los agregados

Estas propiedades le confieren al concreto la capacidad de soportar esfuerzos o tensiones, entre ellas tenemos: la resistencia, tenacidad, dureza. La más afectada es la resistencia, de la cual dos autores la definen de diferentes modos, como se ve en párrafos adelante.

La habilidad del agregado para soportar el desgaste es un elemento fundamental que sirve como indicador de la calidad general de este material. Esta característica se vuelve especialmente crucial en aquellas circunstancias en las que el concreto estará expuesto a un desgaste continuo y prolongado, como ocurre, por ejemplo, cuando se trata de pavimentos rígidos. En tales situaciones, la durabilidad y la resistencia del material son fundamentales para asegurar que la funcionalidad se mantiene a lo largo del tiempo, permitiendo el uso seguro y efectivo (Montejo Fonseca et al., 2013).

La resistencia a compresión del concreto no puede exceder la de sus agregados. Por ello, se puede decir que los agregados impactan significativamente, aunque de manera limitada en la resistencia del concreto (Neville, 2013).



2.2.1.10. Agua

Se ocasiona una de las reacciones que tienen lugar entre el cemento y el agua, esta es el fraguado el cual da inicio al endurecimiento del concreto, se considera al agua como uno de los componentes más esenciales del concreto armado. El agua tiene también la función de dar trabajabilidad al concreto. Una regla o recomendación generalmente usada a la hora de seleccionar el agua, aclarando que toda agua no es apta para el diseño de la mezcla de concreto, ya que debe contener ciertas especificaciones que se mencionan en la NTP 339.088, como, por ejemplo, establece que se tiene un límite permisible de materia orgánica, sulfatos, cloruros y sólidos en suspensión; debe estar limpia, potable y sin impurezas, que estén entre los límites permisibles establecidos (Portugal Barriga, 2007).

Una de las recomendaciones para tener un concreto de calidad es que el agua sea potable y apto para el consumo humano, de similar modo será también apto para el concreto. Esta recomendación funciona en su mayoría de veces, pero debemos entender que la composición del agua no es igual en todas las regiones del Perú. A razón de esto, se recomienda que se debe usar el papel tornasol para determinar el pH (potencial de hidrógeno), para poder medir la alcalinidad o la acidez que tiene el agua. Cuando se realiza este sencillo procedimiento, se compara el color que adopta el papel tornasol con una tabla de colores, seleccionando de este modo el color que se asemejan entre ambos, hallando de este modo el pH del agua. Se recomienda que el pH del agua sea mayor a 7, ya que este es un pH neutro y menor a 7 resulta un pH ácido, el cual no es recomendable.

Es importante mencionar que si el pH del agua es ácido, puede provocar una reacción con el hidróxido de calcio del concreto, esta reacción se denomina carbonato de calcio, lo que produce la carbonatación del concreto, de similar modo, las aguas muy dulces o alcalinas pueden disolver la cal del cemento fraguado, pero su acción corrosiva es débil (Bonzel, 1964). En la figura 10 se muestra las escalas de colores y los respectivos pH según cada color. En la tabla 5 se muestra algunas recomendaciones de los límites de pH a usar.

Figura 10

Escala de pH

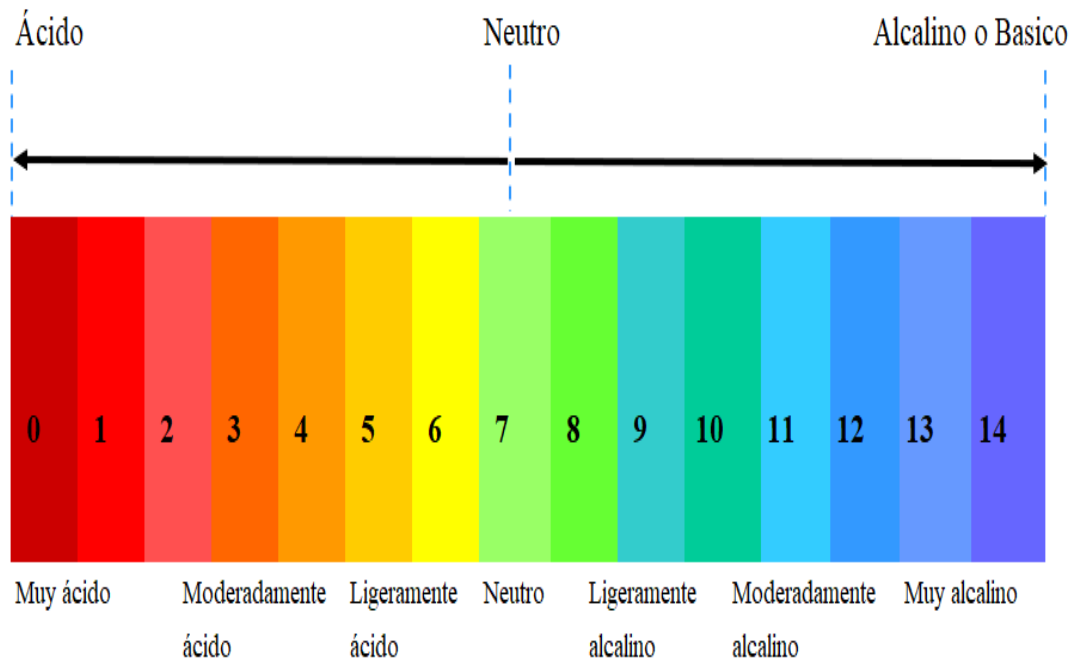


Tabla 5

Límites del pH permisible en el agua de mezcla

pH	Referencia
5 - 8	Norma Técnica Nacional ITINTEC 339.088
> 7	Tecnología del concreto. (Abanto Castillo, 2017)
5.5 – 8.5	Especificaciones generales de construcción de carreteras. Instituto Nacional de Vías. 2007. Bogotá, Colombia

Nota. Elaboración propia.

Existe una recomendación adicional para determinar si el agua es adecuada para el uso en el concreto, se debe realizar un ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días, en dos grupos de testigos o briquetas, el primer grupo deberá usar el agua potable (ideal), el segundo grupo deberá usar el agua que se propone (disponible). El agua será aceptada en el uso de la mezcla si el concreto que se obtiene supera o es igual al 90% de la resistencia obtenida con el concreto de agua ideal (NTP 339.088, 2014).



2.2.1.11. Aditivo

En el Perú los aditivos aun no son usados en la gran mayoría de proyectos, sin embargo, esta práctica está creciendo en los últimos años y esto se debe al fácil acceso de información, pruebas y estudios en relación a los aditivos. Las nuevas tecnologías en aditivos nos brindan propiedades y características beneficiosas para el concreto. Algunos aditivos mayormente usados son: plastificantes, incorporadores de aire, superplastificantes, acelerantes y retardantes (Portugal Barriga, 2007).

Los aditivos producen ventajas e innovación en el diseño de concreto o mezclas, un claro ejemplo son los concretos que tengan demasiada resistencia, los cuales debido a su resistencia no son muy trabajables, una solución para este problema es el aditivo plastificante el cual produce trabajabilidad en la mezcla; los aditivos impermeabilizantes, como su nombre lo define, impermeabilizan el concreto evitando la filtración de agua.

En esta investigación desarrollada no se usan aditivos, pero se hace necesario tocar este tema, a razón de que se debe tener mucho cuidado con la selección de aditivos a la hora de usarlos en los diferentes proyectos. Evidentemente la corrosión del hormigón puede originarse por cloruros, los cuales suelen estar presentes en algunos aditivos. Es por ello que es conveniente revisar la ficha técnica del aditivo a utilizar, para poder evitar los cloruros y tener mayor durabilidad en el concreto (ACI-222R19, 2019).

2.2.1.12. Acero de refuerzo

Es bien conocido y ampliamente aceptado que el concreto presenta una resistencia a la tracción que es bastante limitada, lo que implica que este material de construcción, en su naturaleza, no posee esta característica en cantidades adecuadas. Para poder satisfacer esta necesidad específica de resistencia a la tracción que se presenta en las estructuras, se recurre al uso de barras de acero. Estas barras de acero, que son fundamentales en la composición del material, se encuentran embebidas estratégicamente



dentro del concreto, lo que permite crear una combinación efectiva conocida como concreto armado. De esta manera, se logra mejorar considerablemente la durabilidad y la resistencia del concreto a las fuerzas de tracción (Harmsen, 2017).

2.2.1.13. Metodo de diseño del concreto

Es el proceso de seleccionar los materiales de hormigón adecuados y determinar las proporciones relativas de estos ingredientes para generar un hormigón que posea las propiedades de resistencia, durabilidad y asentamiento necesarias. El diseño de la mezcla es otro nombre que recibe este proceso. Dado que el cemento es mucho más caro que los áridos, el diseño debe evitar un alto contenido de cemento, ya que es lo que encarece el coste de fabricación (Sanchez de Guzman, 2001).

Sucede que el diseño es un método aproximado y no exacto, esto se debe a diversos factores que escapan del control, un claro ejemplo es, la dosificación o diseño de mezcla por volúmenes, este presenta la dificultad o problema en el agregado fino (arena), la arena húmeda ocupa un mayor volumen que la arena seca, esto varia en relación a su contenido de humedad, por lo que el diseño se ve comprometido y podría generarse inconvenientes (Ken W. Day, 2005).

Algunos tipos de diseño que se emplean según (Rivva López, 2010) son:

- a) Método del Comité 2011 del ACI.
- b) Método de Walker.
- c) Método de Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados.

De los cuales el más usado es el método ACI, en esta investigación se utilizó el diseño de mezcla del ACI 211.



2.2.2. Recubrimiento del concreto

El recubrimiento de concreto es un requisito de protección del acero de refuerzo contra los efectos de la intemperie o clases de exposición a las que puede estar expuesta. El encargado del diseño estructural es el responsable de tomar las precauciones del recubrimiento, según las condiciones de exposición del proyecto. Las especificaciones del proyecto deben contener detalles en los cuales se especifique, el espacio entre las barras, para que el concreto fluya entre los refuerzos, facilidad para la vibración del concreto y el recubrimiento adecuado de los aceros de refuerzo, entre otros (M.S. Shetty, 2005).

2.2.2.1. Relación del recubrimiento con la corrosión

El espesor afecta la velocidad de degradación y corrosión de la estructura. Un mayor espesor de recubrimiento retrasa la aparición de fisuras al necesitar más presión producida por el óxido, así como al poseer un mayor recubrimiento se necesita más profundidad de penetración por parte de los agentes externos dañinos que ocasionan corrosión en la estructura (Peralta et al., 2006).

2.2.2.2. Dimensiones de recubrimiento

El aumento de espesor o recubrimiento de concreto es una solución muy práctica para mitigar o para proteger el hormigón armado de la oxidación, es necesario aplicar un revestimiento el cual aumenta la barrera contra la exposición agresiva, retrasando el inicio de la corrosión. En algunos casos resulta necesario aumentar la durabilidad de la estructura, esto se puede lograr aumentando el recubrimiento con 70 mm a 80 mm, pero esto no es realista o práctico en la mayoría de casos (Bolzoni et al., 2019).

Las dimensiones de recubrimiento que se recomienda son distintas de acuerdo a cada autor o normativa, estas especificaciones de recubrimientos están relacionadas con la cualidad de exposición a la que está expuesta el concreto armado, trabajabilidad en los

detalles de refuerzo y durabilidad. En la figura 11, figura 12 y figura 13, se detallan los variados recubrimientos que existen y se pueden usar según el criterio del diseñador.

Figura 11

Cobertura nominal para cumplir los Requisitos de Durabilidad

Exposición	Recubrimiento nominal de hormigón en mm no menos de
Leve	20
Moderado	30
Severo	45
Muy severo	50
Extremo	75

Nota. (M.S. Shetty, 2005, pp. 410).

Figura 12

Recubrimiento especificado según el ACI 318-19

Exposición del concreto	Miembro	Refuerzo	Recubrimiento especificado
Construido contra el suelo y permanentemente en contacto con él	Todos	Todos	7.5 cm
		3/4" a 2 1/2"	5 cm

Expuesto a la intemperie o en	Todos	5/8" liso o corrugado, y menores diámetros	4 cm
Ciertamente, no está sometida a la intemperie ni entra	Losas, viguetas y muros	1 3/4" y 2 1/4"	4 cm
		1 3/8" y menores diámetros	2 cm
en contacto con la tierra.	Vigas, columnas, pedestales y amarres tracción	Armadura principal, estribos, espirales y estribos cerrados para confinamiento	4 cm

Nota. Este cuadro fue modificado en la columna de refuerzo, el cual fue actualizado a las varillas usadas en el Perú (ACI 318, 2019, pp. 396).

Figura 13

Recubrimiento mínimo de concreto al refuerzo, según RNE E.060

- (a) Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él 70 mm
- (b) Concreto en contacto permanente con el suelo o la intemperie:
 - Barras de 3/4" y mayores 50 mm
 - Barras de 5/8" y menores, mallas electrosoldadas 40 mm
- (c) Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:
 - Losas, muros, viguetas:
 - Barras de 1 11/16" y 2 1/4" 40 mm
 - Barras de 1 3/8" y menores 20 mm
 - Vigas y columnas:
 - Armadura principal, estribos y espirales 40 mm
 - Cáscaras y losas plegadas:
 - Barras de 3/4" y mayores 20 mm
 - Barras de 5/8" y menores 15 mm
 - Mallas electrosoldadas 15 mm

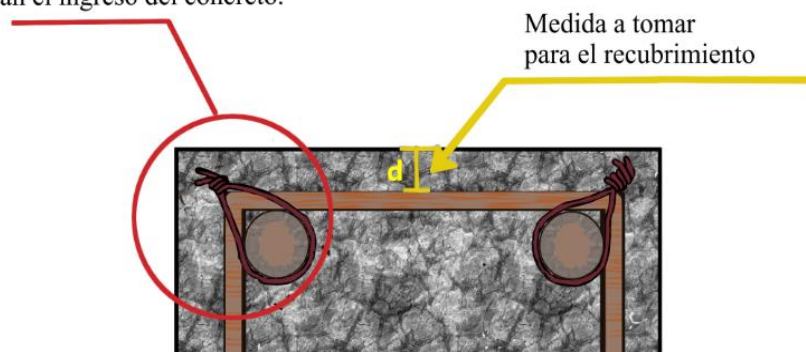
Nota. Estas recomendaciones son similares a las del ACI, esto a razón de que se toma como referencia al ACI 318 (E.060, 2009, pp. 54).

Se debe aclarar que según el ACI 318 (2019), "En caso de que haya armadura transversal que rodee los elementos principales, el recubrimiento de hormigón prescrito para un determinado tipo de elemento estructural deberá medirse desde el borde exterior de los estribos o espirales." (pp. 395). Esto se puede apreciar en la figura 14, y una recomendación a considerar se muestra en la figura 15, la cual le da importancia al proceso constructivo de amarrar los estribos en los aceros de los elementos estructurales, que ocupa un espacio considerable del recubrimiento del acero de refuerzo.

Figura 14

Medición adecuada del recubrimiento

Es importante mencionar que, los alambres de amarre ocupan parte del recubrimiento, por lo que estos dificultan el ingreso del concreto.

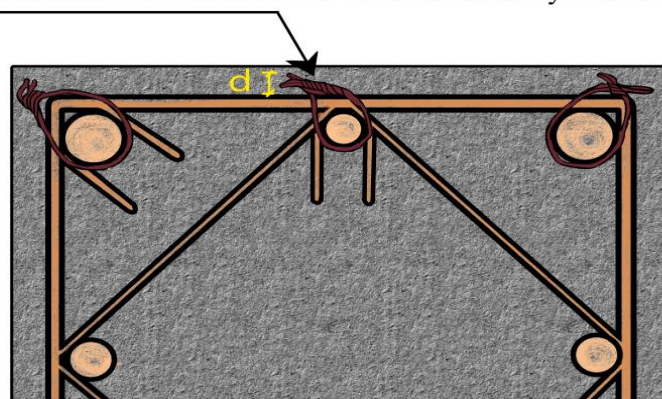


Nota. Elaboración propia.

Figura 15

Recubrimiento del concreto reducido a causa del alambre de amarre

Cuando la columna contiene más de un estribo, el tipo de amarre a usar es doble, por lo que el espacio ocupado por el alambre será aproximadamente 7mm adicionales en la sección transversal del estribo y la barra de refuerzo.



Nota. Elaboración propia.



El investigador opina que, si bien las diversas normativas nos recomiendan aumentar el recubrimiento para poder proteger al acero, y mediante esto tener diversos beneficios como mayor resistencia a la corrosión y al fuego. Se obvia muchas veces tener en cuenta los problemas que consideraría aumentar un recubrimiento exagerado, por lo cual, aumentar mucho el recubrimiento tendría como consecuencia: problemas de adherencia ya que dificultaría la transferencia de esfuerzos, un claro ejemplo serían las vigas; mayor costo y posibles apariciones de grietas por contracción del concreto. En esta investigación se podrá discutir si es más factible aumentar el recubrimiento o la resistencia del concreto.

2.2.2.3. La profundidad de penetración de agua en relación al recubrimiento

Los agentes externos del concreto son los que provocan o inicial principalmente la corrosión, esto se debe a que el acero de refuerzo está expuesto a los agentes externos mediante fisuras, grietas, cangrejas, poco recubrimiento, etc. La nación vecina de Chile concede una gran importancia a este aspecto de la durabilidad y la mitigación de la corrosión. En su norma chilena NCh 170:2016, el país adoptó especificaciones técnicas que ayudan al diseño de un hormigón de durabilidad. Dependiendo del nivel de exposición y las condiciones a las que se somete el hormigón, la norma que se describió define requisitos que el hormigón debe cumplir para ser considerado aceptable. Entre los requisitos que se tienen en cuenta de acuerdo con la norma NCH 2262 (ensayo de hormigón y mortero - determinación de la permeabilidad al agua - método de penetración de agua bajo presión), algunos de los requisitos que se consideran incluyen, por ejemplo, el grado de resistencia mínimo definido, la dosificación mínima de cemento y la profundidad de penetración del agua. Hay una serie de tablas incluidas en la norma mencionada; algunas de las tablas que son significativas en relación con esta investigación son las siguientes: Según nuestra investigación, la Tabla N° 10, titulada "Hormigones de baja permeabilidad", es la que más atención nos llama. La tabla N°8 describe el grado de exposición que provoca la corrosión, y la tabla N°9 describe las necesidades de hormigones que varían según el grado de exposición.

La tabla N°10 mencionada se muestra en la figura N°16 de esta investigación, la cual indica que las estructuras requieren de un hormigón que tenga una baja permeabilidad, esto se puede comprobar mediante el ensayo NCh 2262. El cual explica que según el grado de exposición a la cual está expuesta el concreto, este debe cumplir con la profundidad mínima de penetración del agua, esto se realiza con el fin de proteger la armadura; pero debería existir una correlación entre hasta qué punto puede penetrar el agua y si la penetración impregna la totalidad del recubrimiento de la armadura. Por lo mencionado se necesita restringir la profundidad de penetración del agua según el recubrimiento que se usará, en la tabla se menciona una profundidad de penetración de 40mm y 20mm como máximo, esto no serviría para evitar la corrosión de la armadura si se llega a utilizar un recubrimiento de 40mm o 20mm, esta situación cumpliría con la norma, pero el acero de refuerzo estará expuesto al rango de penetración del agua. Por todo lo mencionado se recomienda tener recubrimientos que estén en concordancia con la profundidad de penetración de agua, para evitar que el acero de refuerzo este vulnerable a la corrosión (Norma Chilena NCh170, 2016).

Figura 16

Los parámetros para la profundidad de penetración del agua se determinaron de acuerdo con la norma NCh2262

Grado	Exposición Condición	Profundidad de penetración de agua mm
P0	En condiciones secas o húmedas, se puede utilizar hormigón sin la necesidad de tener una baja permeabilidad.	Sin restricción
P1	Hormigón que entra en contacto con agua y, por lo tanto, requiere una baja permeabilidad.	≤ 40
P2	Hormigón expuesto a agua, necesita baja permeabilidad y puede sufrir ataque químico no mencionado anteriormente	≤ 20

Nota. (Norma Chilena NCh170, 2016)



2.2.3. Corrosión del concreto armado

2.2.3.1. Corrosión del acero de refuerzo

En el caso de los metales, estos forman parte de la naturaleza y de la corteza terrestre, en donde los encontramos como minerales (en su mayoría como óxidos y sales). Para obtener los metales en la forma que necesitamos para su uso, estos deben pasar una serie de procesos metalúrgicos; esto conlleva a emplear grandes cantidades de energía. La energía que se acumula en la producción del metal tiende a liberarse posteriormente, por lo que el metal tiende a regresar a su forma más estable, que suele ser en forma de óxidos. La corrosión es una conversión química que tiene lugar cuando un metal o aleación transita desde su estado puro como elemento a otro estado, generalmente en forma de óxido. Desde que los metales y aleaciones se emplean en la vida cotidiana, la corrosión se convirtió en uno de los enemigos naturales más presentes y silenciosos presentados en las obras del hombre. Una sustancia sufre un procedimiento denominado corrosión cuando material metálico se deteriora, esto a razón de interactuar con el medio que lo rodea.

El hormigón armado contiene barras de refuerzo. Se creía que estas al estar sumergidas o embebidas en el concreto no presentaban deterioro. El óxido, a veces conocido como óxido rojizo, es el tipo más frecuente de corrosión que se produce en el acero de refuerzo. El tipo más común de corrosión se produce cuando el acero de refuerzo está cubierto por una capa de óxido. Se trata de una corrosión muy extendida. La corrosión del hormigón armado no sólo puede afectar a puentes, edificios, residencias y otras estructuras, sino también a otros tipos de estructuras. También afecta a los que usan estas infraestructuras exponiendo su seguridad, cuando la corrosión está presente en una obra o proyecto. Este aumenta el presupuesto de mantenimiento. La corrosión de las armaduras es un fenómeno común en las ciudades situadas cerca de la costa, lo que es motivo de especial preocupación. De forma similar también se origina en lugares que están expuestas a condiciones severas de exposición (Vásquez, 2019).



2.2.3.2. Causa de la corrosión

La degradación del acero que se encuentra en construcciones de hormigón debido a la eliminación o deterioro de la capa pasivante que lo protege. Existen dos razones fundamentales que contribuyen a este fenómeno: en primer lugar, la presencia de cloruros, los cuales pueden ser tanto aquellos que han sido deliberadamente añadidos durante el proceso de fabricación, como aquellos que provienen de fuentes externas. En segundo lugar, está la disminución de la alcalinidad del concreto, la cual ocurre como resultado de su interacción y reacción con diversos ácidos que se encuentran en el ambiente circundante. Los iones que actúan como despasivantes tienen la capacidad de generar corrosión localizada en ciertas áreas, sin embargo, cuando estos iones se disuelven por completo, esto resulta en la aparición de corrosión generalizada que afecta de manera más amplia a la superficie del material (Castro Borges, 1998).

El autor Dyer (2014), afirma que las reacciones que intervienen en la corrosión requieren agua y oxígeno. Esto implica que el grado de corrosión del acero de armadura depende de la humedad relativa de los poros del concreto, así como de la proporción de oxígeno que pueda acceder a la superficie del acero. Se debe mencionar que es importante la condición de exposición a la que está expuesta el concreto armado; si el concreto armado está sumergido el oxígeno no puede entrar lo que ocasiona que se tenga una baja intensidad de corrosión. Todo esto se relaciona también con la porosidad del concreto, por los cuales el oxígeno puede llegar más rápido a la superficie del acero ocasionado la corrosión en este.

2.2.3.3. Capa pasiva

La presencia de recubrimiento en el hormigón es la primera barrera ante la penetración del oxígeno y sustancias capaces de promover la corrosión en la armadura de refuerzo, es posible que esto alargue la vida del acero. Es conocido que el hormigón posee un entorno químico alcalino que proporciona protección al acero, a este se le denomina



capa de "pasivación" esto se produce por el pH del concreto. En la superficie del acero se forma una capa de óxido muy impermeable de menos de $1 \mu\text{m}$ (micrómetro = 0.001 mm) de espesor, esta capa actúa para limitar la accesibilidad del agua en la superficie del acero, oxígeno y especies corrosivas, esta puede ser conocida como la película protectora. Una disminución del pH del concreto por debajo de 11.5 ocasionara la descomposición de la capa pasivante, esta capa también puede eliminarse por acción de los iones, siendo los iones de cloruro los principales causantes de esta desgracia para el acero (Dyer, 2014).

Según otro autor que, también menciona la capa pasivante en el concreto, explica que este proporciona protección contra la corrosión al acero de refuerzo. Esto se debe a que el concreto tiene una alcalinidad de $\text{pH} > 12.6$, lo cual mantiene al acero de refuerzo en un estado pasivo. Este estado de pasividad puede ser destruido por la carbonatación del concreto (reacción del CO_2 atmosférico con la pasta de cemento, lo cual disminuye el pH del concreto), al igual que la presencia de cloruros en contacto con la barra de refuerzo, lo que da inicio a la corrosión para su posterior propagación (Bolzoni et al., 2019).

2.2.3.4. Principio de la corrosión electroquímica

El autor Donini & Orlor (2016) sostiene que:

La oxidación y la corrosión que afectan al acero que se encuentra dentro del hormigón armado representan un conjunto de complejos procesos de transformaciones químicas. Estos procesos, a su vez, conducen a una significativa pérdida de material, comprometiendo así la integridad y duración de la estructura. El fenómeno conocido como la corrosión del acero que se encuentra incrustado dentro del hormigón suele ser un proceso que se puede clasificar como electroquímico. En este tipo de proceso, se generan dos componentes importantes: un ánodo, que es la zona donde se lleva a cabo la oxidación del metal, y un cátodo, que es la región en la que tiene lugar la reducción (p. 191)

Según el texto Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología Para el Desarrollo (2000):



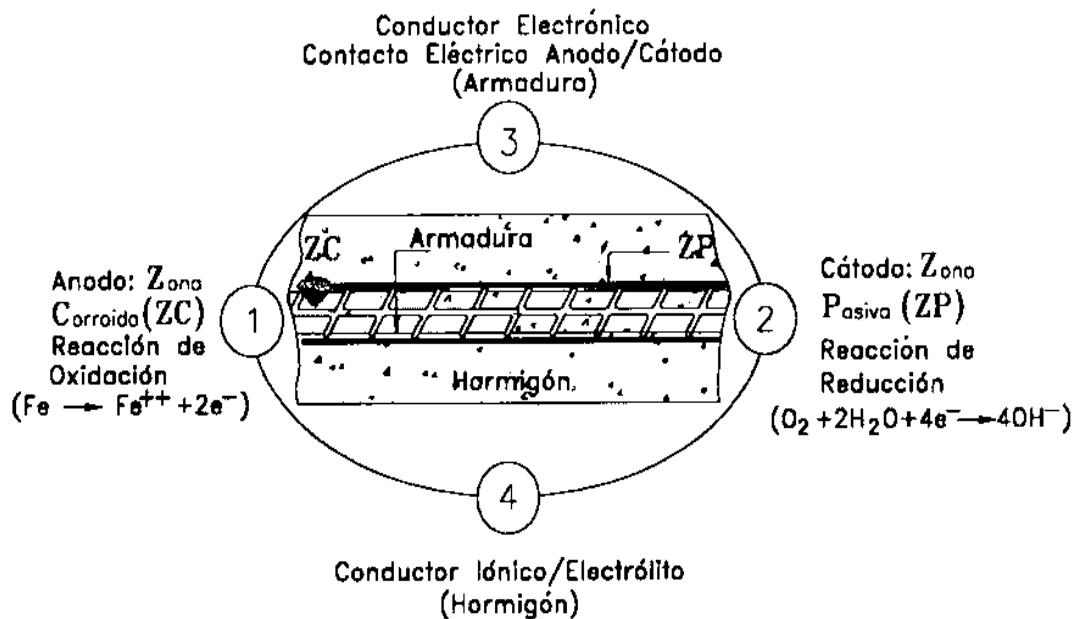
La corrosión que afecta a la armadura ubicada dentro del concreto se refiere a un proceso de oxidación que resulta ser muy perjudicial para el acero. Este fenómeno ocurre como consecuencia de las condiciones ambientales que rodean al material, las cuales incluyen factores como el grado de exposición a agentes corrosivos presentes en el entorno. La corrosión que observamos se produce debido a la creación de una célula de naturaleza electroquímica, la cual está constituida por cuatro elementos fundamentales que son imprescindibles para que este proceso tenga lugar. Los cuales son:

1. **Ánodo:** donde ocurre la oxidación, es donde el átomo de Fe (hierro) pierde un electrón, el cual produce la corrosión.
2. **Cátodo:** donde ocurre la reducción, el átomo gana electrones, el cátodo no se corroe.
3. Cuando el flujo de electrones es la corriente eléctrica, un conductor metálico o una conexión metálica es el circuito externo que completa relación entre el cátodo y el ánodo. En el contexto de esta aplicación, el movimiento de electrones constituye la corriente eléctrica.
4. **Electrolito:** en este caso, es el hormigón, que es el medio en el que se genera la corriente eléctrica por el flujo de iones (pérdida y ganancia de electrones) en un medio acuoso; es la solución eléctricamente conductora y que contiene iones. La corriente en este líquido conductor transporta iones con carga positiva, también conocidos como cationes, o iones con carga negativa, también conocidos como aniones, y ambos son atraídos hacia el ánodo al mismo tiempo. Las propiedades electrolíticas del agua salada son ejemplares.

Es importante mencionar que no es indispensable que el ánodo y cátodo estén separados para que la corrosión se origine; este puede surgir en un mismo elemento o pieza, esto a razón de falta de uniformidad o homogeneidad en el acero y errores puntuales que ocasionan que se produzcan el ánodo y cátodo en el mismo acero o pieza. Este proceso se puede observar en la figura 17.

Figura 17

Proceso electroquímica de corrosión en el acero de refuerzo



Nota. (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología Para el Desarrollo, 2000, p. 19)

2.2.3.5. Tipos de corrosión

El autor Song & Shayan (1998) menciona que, diferentes procesos básicos dan lugar a los distintos tipos de corrosión que pueden dañar el acero, en este caso la corrosión del acero de armadura está dada por los procesos básicos que se originan principalmente en el concreto. Los diversos parámetros y factores ambientales que pueden causar cambios en las propiedades del concreto, serán las responsables directamente e indirectamente del acero de refuerzo dañado a causa de diversos daños por corrosión. Los diversos daños de corrosión se clasifican según: mecanismos de corrosión, apariencia final del daño, ambientes que inducen a la corrosión o también conocidas como condiciones de



exposición, etc. Algunos tipos de corrosión según su mecanismo de corrosión y formas de daño son:

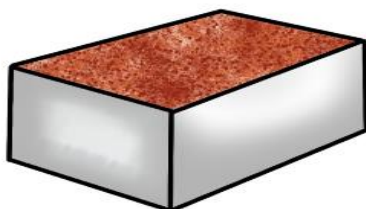
- **Corrosión Uniforme:** se observa generalmente en estructuras de hormigón carbonatado, este tipo de corrosión se describe como la corrosión uniforme a lo largo de la superficie, es difícil que exista una corrosión uniforme debido a muchos factores que intervienen en la oxidación.
- **Corrosión Galvánica:** debido a la heterogeneidad de las estructuras de hormigón, es relativamente raro que un proceso anódico y catódico se distribuya de manera uniforme a lo largo del acero. Este tipo de corrosión está gobernada principalmente por La resistividad aumenta proporcionalmente al descenso de la tasa de corrosión galvánica. Es más probable que este tipo de corrosión se presente en estructuras de hormigón de grandes dimensiones, este tipo de corrosión es inducida principalmente por efecto de parcheo (parchar reparar una parte del concreto desprendido o dañado).
- **Corrosión Localizada:** se refiere a picaduras y corrosión por grietas, en este caso el área anódica es mucho menor que el área catódica, este tipo de corrosión es muy peligrosa para el acero de refuerzo en el hormigón, este proceso de corrosión es muy impredecible. Este ataque tiende a profundizar mucho más rápido.
- **Corrosión impuesta por corriente externa:** esto sucede mediante la aplicación de una corriente externa a un sistema compuesto de hormigón armado. Se producirá una pérdida de corrosión adicional de acero, como la conductividad del acero es mucho mayor que la del hormigón, casi toda la corriente inducida será conducida por el refuerzo de acero del hormigón. Este tipo de corrosión es también conocido como corrientes parásitas, se produce en lugares donde circulan tranvías, trenes o autobuses eléctricos o lugares donde se aplique

protección catódica. Es importante aislar las fuentes de corrientes que podrían causar este tipo de corrosión.

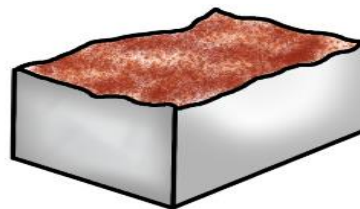
Como se mencionó anteriormente la corrosión debe tener la interacción de la humedad y el oxígeno para que se origine, pero existe un tipo de corrosión que no necesita la presencia de oxígeno, a este se le denomina "corrosión anóxica" el cual es común en ambientes húmedos y confinados donde el oxígeno está limitado o completamente ausente, un claro ejemplo es cuando el concreto armado presenta grietas a causa de la expansión de elementos que provocan corrosión y posteriormente estas grietas son selladas o rellenadas con epóxicos, los cuales limitan el acceso del oxígeno. El sellar la grieta no garantiza que la corrosión pare o se detenga, la corrosión continuara a un ritmo más lento, por ello muchas veces no resulta efectivo las reparaciones del concreto deteriorado, figura19 (Castro Borges, 1998). Los diversos tipos de oxidación se pueden apreciar en la siguiente figura 18.

Figura 18

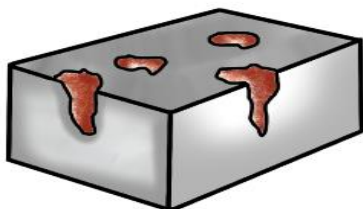
Tipos de Corrosión



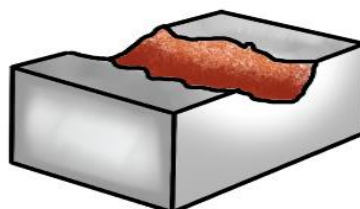
Corrosión Uniforme



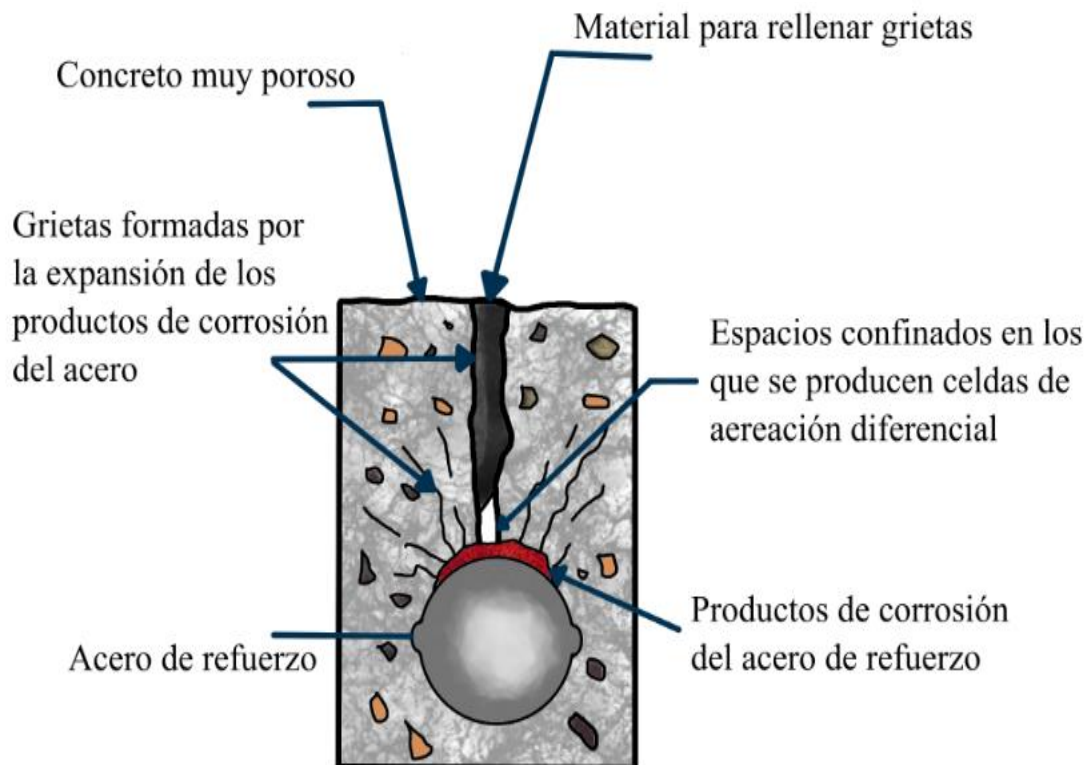
Corrosión Generalizada Irregular



Corrosión Localizada



Corrosión por Picadura

Figura 19*Corrosión anóxica*

2.2.3.6. Consecuencias de la corrosión

La corrosión del acero utilizado para el refuerzo reduce su sección, formando óxido que puede fisurar o delaminar el hormigón y disminuir la adherencia. En algunos casos el acero de refuerzo disminuye tanto su sección a causa de la corrosión que este es despreciable. (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología Para el Desarrollo, 2000)

2.2.3.7. Factores que desencadenan la corrosión

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología Para el Desarrollo (2000). Se hace referencia a un conjunto particular de condiciones y circunstancias que, de manera específica, contribuyen a la reducción de la capacidad pasiva que posee el acero de refuerzo. Es fundamental destacar que hay una variedad de elementos que impactan de manera significativa en este proceso, y que tienen el potencial de ocasionar la corrosión en el material. Uno de esos factores, que es relevante e importante, será descrito en las líneas que siguen a continuación:



- **Dosificación del hormigón:** crear una capa pasivante y funcionar en calidad de barrera física que funciona para impedir la entrada de agentes antagonistas del exterior son las dos funciones que desempeña el hormigón, según lo dicho en los párrafos anteriores a éste. El hormigón cumple una doble función protectora.
- **Espesor de Recubrimiento:** Dado que es uno de los elementos más significativos que intervienen en la determinación de si la armadura incluida en el hormigón está o no adecuadamente protegida, el espesor del hormigón es un componente esencial que debe tenerse en cuenta. Si tenemos en cuenta el clima al que estará sometido el hormigón a lo largo de su vida útil, la importancia de esta protección se hace inmediatamente evidente.
- **Humedad ambiental:** Los procesos de corrosión se ven influidos por la humedad, por lo que es esencial que el hormigón sea impermeable a la corrosión.
- **Cangrejeras:** las cangrejeras muchas veces exponen de manera directa al acero de refuerzo a la superficie, ante los agentes externos que producen la corrosión.
- **Fisuras estructurales:** En general, los transversales de la armadura pueden servir de vía para que los agentes agresivos se desplacen hacia el acero de refuerzo a través de las aberturas. Estas aberturas pueden ser causadas por las exigencias mecánicas de la estructura, o también pueden ser causadas por una elevada temperatura de hidratación, lo que resulta en la formación de fisuras.

2.2.3.8. Metodo gravimetrico de perdida de masa del acero de refuerzo

Para poder respaldar la medición de la pérdida de masa del acero de refuerzo, se pueden usar diversos métodos, dentro de los cuales los más confiables tenemos al método gravimétrico y electroquímico. En este estudio se usará el método gravimétrico por resultar más sencilla de realizar y su fácil acceso a este método.

El método gravimétrico es usado en laboratorios y tiene como objetivo poder cuantificar el grado de deterioro, esto se realiza a razón de cuánta masa de acero se ha perdido, la reducción de la masa de acero de refuerzo el cual estará expuesto a una corrosión inducida. Una condición que se debe cumplir para realizar este método es que el acero de refuerzo debe ser retirado del concreto donde esta embebido, para poder facilitar la medición gravimétrica, este método adquiere un carácter destructivo, este método tiene buena fiabilidad, la fórmula 1 nos indica las variables a tener en cuenta (da Silva Torres, 2006).

Ecuación 1

Grado de Corrosion

$$G_c (\%) = \frac{m_{cons}}{m_{inic}} \times 100$$

Donde:

G_c = Grado de corrosión (%)

m_{cons} = Masa consumida en el proceso de corrosión (gramos)

m_{inic} = Masa inicial de la barra de refuerzo (gramos)

2.2.3.9. Daño del concreto reforzado por corrosión

La mayoría de los hormigones están en excelentes condiciones a los 28 días, pero en algunos casos esto no se cumple por diversos factores, de ser este el caso, se puede realizar una simple reparación o reemplazo. El hormigón está diseñado y destinado para durar décadas o siglos. Después de los 28 días de su confección, el concreto continuara madurando y envejeciendo al mismo tiempo, esto depende de la composición y propiedades de los materiales que lo componen, de igual modo, dependerá mucho de las condiciones a las que el concreto este expuesto y al tipo de servicio que este diseñado (Newman & Seng Choo, 2003).

El desgaste del hormigón es un problema importante a tener en cuenta, un claro ejemplo de las consecuencias que pueden ocurrir a causa de este es el crecimiento de óxido que conduce al agrietamiento, desconchado y delaminado del concreto, un incidente que ocurrió a causa del desconchado sucedió en Nueva York, cuando de una losa de hormigón se desprendió un pedazo de concreto el cual cayó encima de un hombre, que posteriormente murió, otro ejemplo es el desprendimiento de la sub estructura de un puente el cual cayó en un camión pequeño dañándolo de gravedad (Broomfield, 2007).

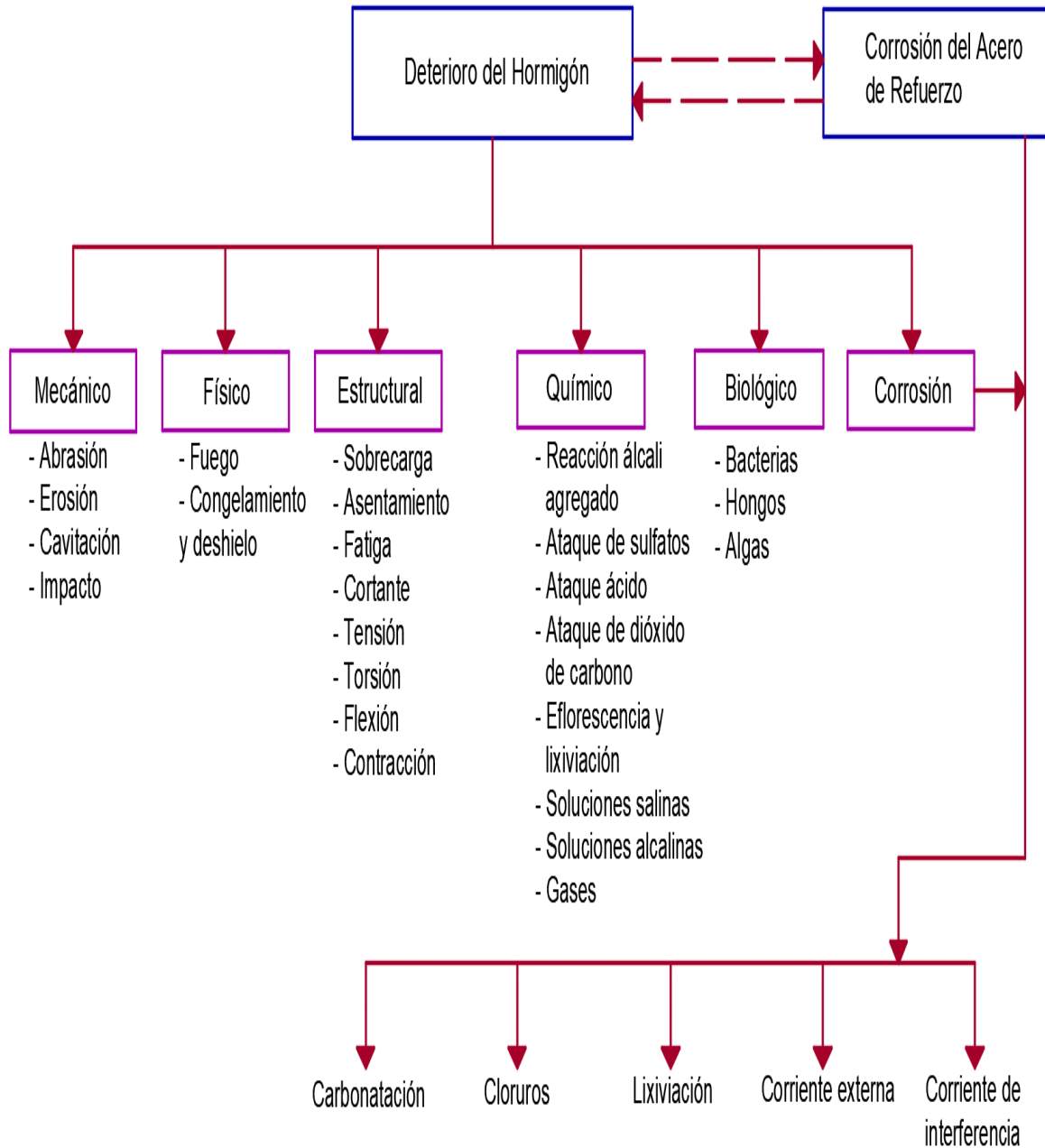
2.2.3.10. Formas o tipos de deterioro

Existen diversos tipos de deterioro del concreto armado, dentro de ellos pueden clasificarse según el ataque externo o interno, dentro de los principales tipos de deterioro tenemos al deterioro físico y deterioro químico (Newman & Seng Choo, 2003).

El concreto es un material que, a lo largo de su ciclo de vida, puede experimentar una variedad de formas de deterioro que impactan negativamente tanto su durabilidad como su rendimiento. Estos problemas pueden surgir debido a diversos factores ambientales y de uso, lo que puede comprometer sus características y eficacia en las aplicaciones para las que fue diseñado. Entre los varios tipos de deterioros que se presentan con mayor frecuencia en las estructuras, se pueden mencionar algunos que son especialmente comunes, tales como la corrosión que afecta al acero de refuerzo, la aparición de fisuras, el proceso de carbonatación, el ataque ocasionado por sulfatos, el desgaste que resulta de la abrasión, así como los problemas vinculados al congelamiento y deshielo. Además, también se observa la erosión y la expansión provocada por la humedad, entre otros factores que contribuyen al deterioro. Esto se aborda de manera exhaustiva a en la figura 20, que puede verse a continuación.

Figura 20

Tipos de deterioro del concreto



Nota. (Brian Cherry & Warren Green, 2021)

2.2.3.11. Agrietamiento o fisuramiento

Las fisuras se presentan en cualquier momento en el endurecimiento del concreto armado, pueden originarse a diversos tipos de deterioros, según Brian Cherry & Warren Green (2021) los más comunes son los que se detallan en párrafos más abajo, los cuales están graficados en la figura 22 para su mejor análisis y comprensión.

- **Fisuración por asentamiento plástico:** después de haber colado el concreto, las partículas más pesadas se hunden en el agua, y el agua sangra hacia la superficie, estas grietas suelen aparecer entre 10 minutos a 3 horas después de la colocación. Estas grietas suelen presentarse paralelas al elemento de contención como armadura o encofrado. Estas grietas se pueden eliminar si en las 4 horas posteriores de la colocación se vibra el concreto todavía en estado plástico. (A, B, C)

El asentamiento plástico puede producir corrosión en la armadura el refuerzo que se representa en la figura 21.

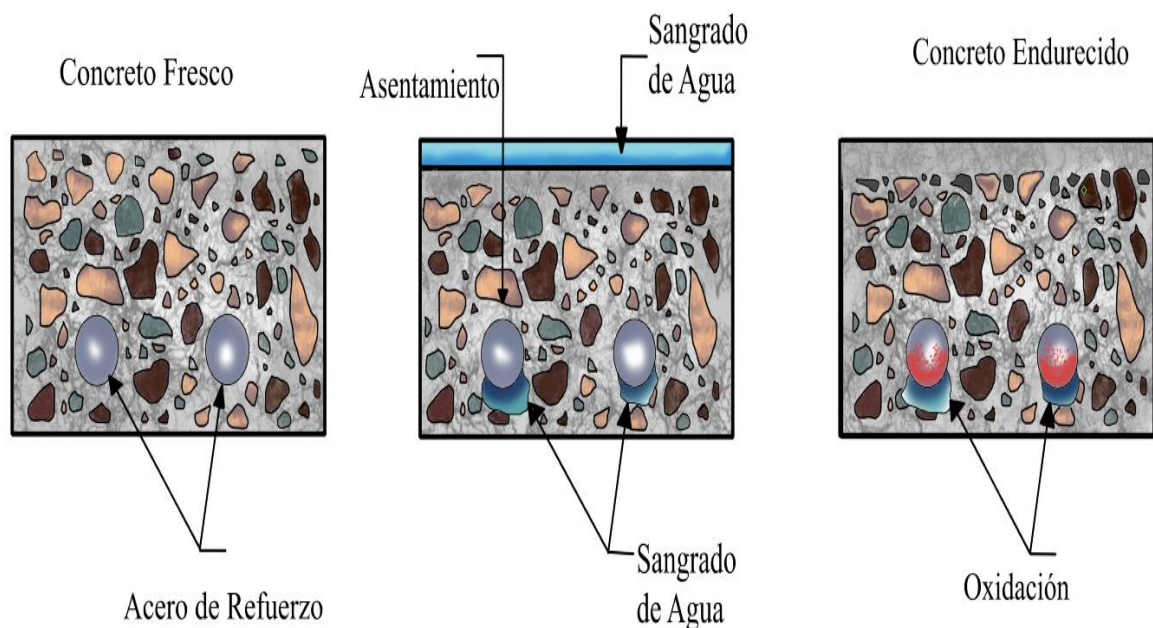
- **Fisuración por contracción plástica:** las grietas aparecen cuando el hormigón es plástico, generalmente entre media y seis horas después de su colocación, estas grietas causadas por la contracción se deben a que el agua se evapora demasiado rápido después de su vaciado. Estas grietas se pueden evitar con un adecuado curado del concreto, el curado debe realizarse antes que el agua de la superficie del concreto desaparezca. (D, E, F)
- Es importante mencionar que el hormigón no reforzado podría provocar la formación de grietas amplias, es por esta razón que varias normas especifican una relación mínima entre el área de refuerzo y el área bruta de hormigón para evitar el agrietamiento por contracción.
- **Agrietamiento temprano por contracción térmica:** Las primeras grietas por contracción térmica aparecen entre un día y dos o tres semanas después de su vaciado, las grietas resultan por las tensiones provocadas por la diferencia de

temperaturas generadas el empleo de calor hidrata el cemento portland y la temperatura del ambiente. (G)

- **Agrietamiento por contracción por secado:** a medida que el agua del hormigón se seca, las fuerzas capilares que están presentes en los poros aumentan y hacen que el concreto se contraiga, estas grietas aparecen semanas o meses después del vaciado, la contracción de la pasta de cemento se debe a la disminución de la humedad en la pasta de cemento. Estas grietas se pueden mitigar mediante la utilización de la máxima cantidad de agregado posible, ya que solo el gel del cemento es el que se contrae. (I)
- **Crazing pattern (craquelado):** se produce cuando una capa superficial sobre la superficie esta débil y es incapaz de soportar tensiones pequeñas, las cuales resultan de la contracción de la superficie y el volumen. Esto se origina de la separación entre el agregado y el cemento en las primeras etapas de curado. (J, K)

Figura 21

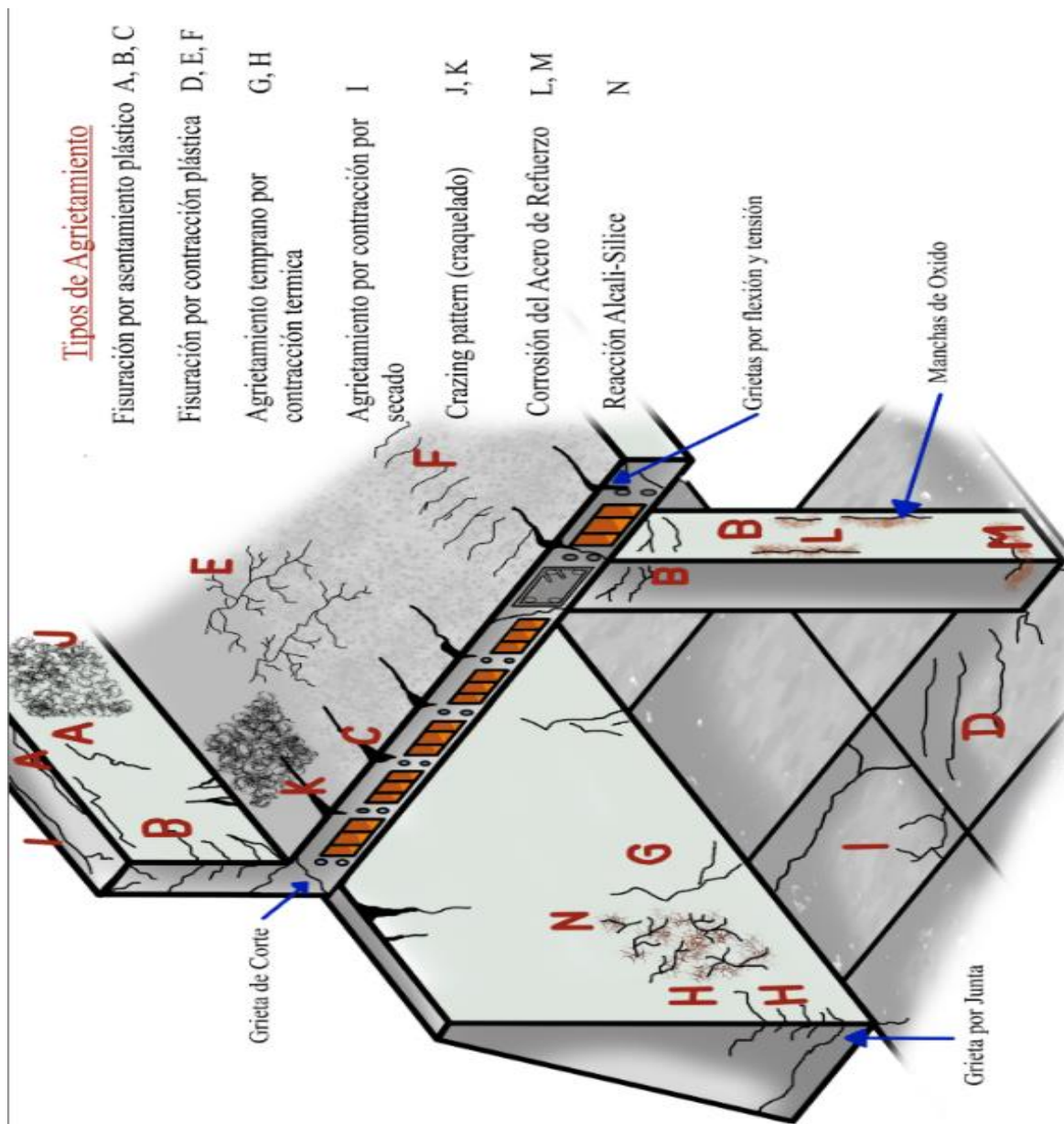
Corrosión causada por el asentamiento plástico



Estos diversos tipos de fisuras o agrietamientos detallados en los párrafos anteriores son los que se presentan con más frecuencia en el entorno de la construcción u obras. Sin embargo, estos son los síntomas y deben encontrarse la causa u origen para tratar estas enfermedades o solucionarlas. La solución más sencilla es la demolición. En muchos de los casos, se deben proponer soluciones y evitar esto. Muchos de los problemas que tiene el concreto en su mayoría de veces no son visibles. Estos problemas se tocan más a fondo en la especialidad de patologías del hormigón.

Figura 22

Tipos de grietas o fisuras en el concreto

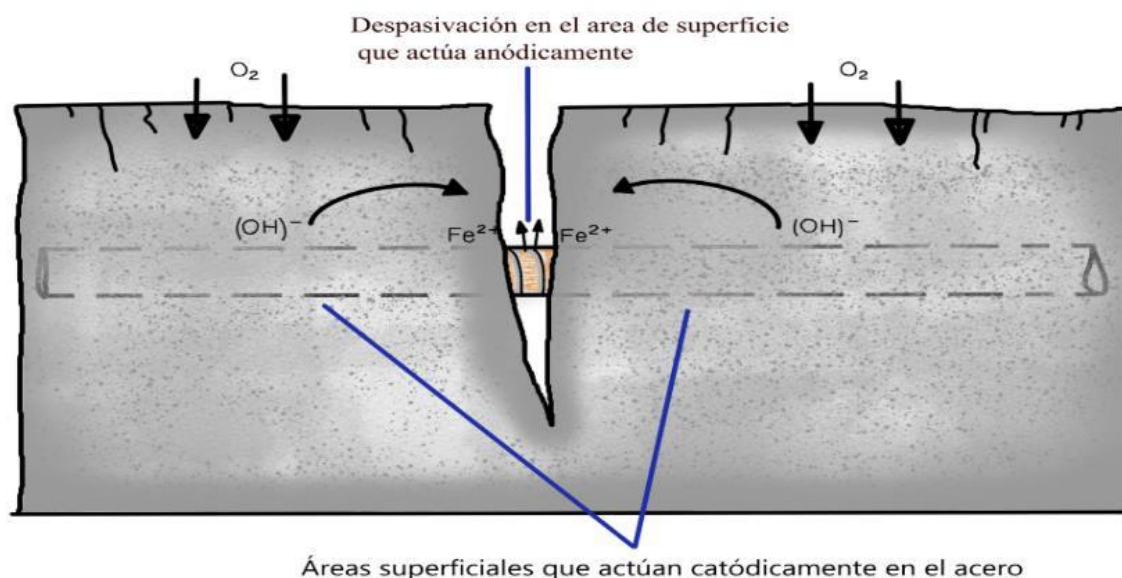


Nota. (Brian Cherry & Warren Green, 2021, p. 33)

Debe darse mucha importancia a las fisuras ya que de ellas depende que tan rápido pueden penetrarse los cloruros y agentes externos en el acero, para que se pueda iniciar el proceso de despasivación de la película protectora dando inicio a la corrosión, en el caso de fisuras no mayores a 0.4 mm estos se suelen auto sellar, por calcio, suciedad y los depósitos del propio oxido en su interior, por lo que la corrosión en este caso finaliza. Esto se puede ver en la figura 23.

Figura 23

Acción de la corrosión en una fisura



Nota. (Donini & Orler, 2016)

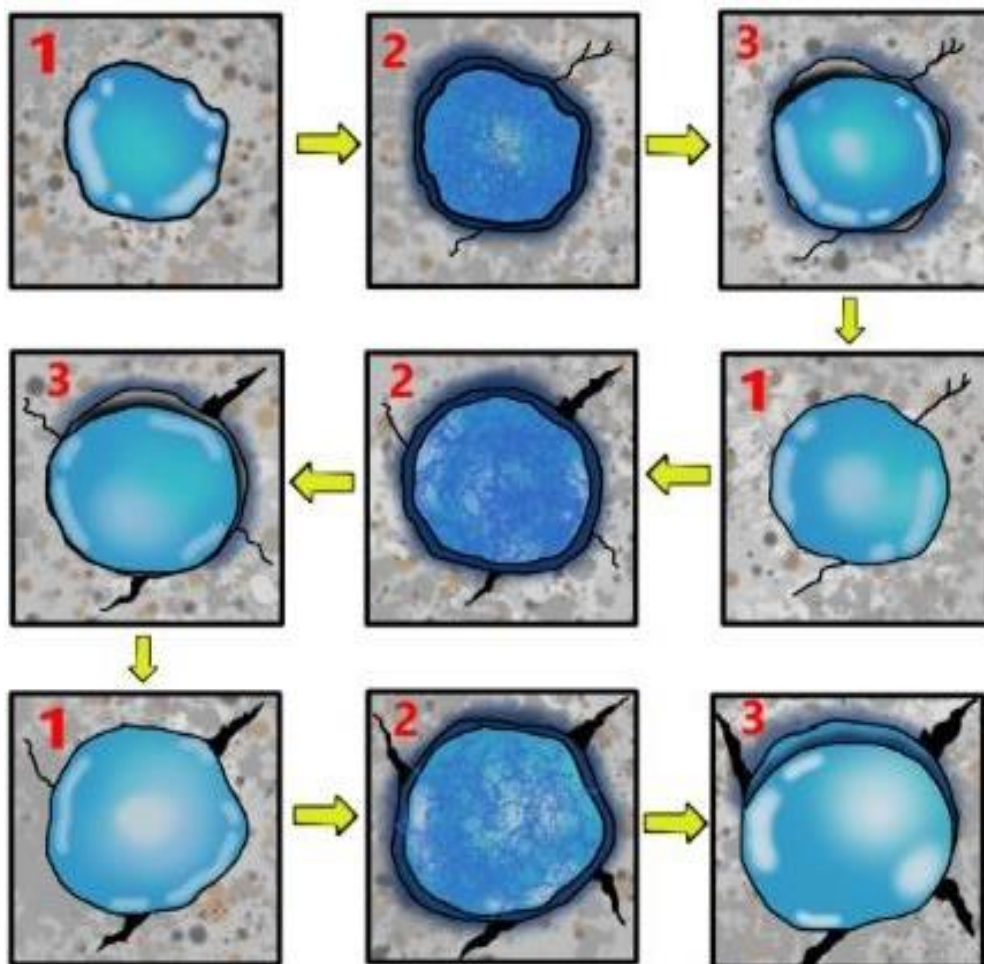
2.2.3.12. Agrietamiento por congelamiento y descongelamiento

El agua que se encuentra en estado libre dentro del concreto se encuentra encerrada en los poros del material. Cuando esta agua se congela, resulta en una expansión considerable que, debido al espacio limitado de los poros, genera el establecimiento de tensiones internas. Estas tensiones pueden llegar a ser tan intensas que provocan la fisuración del concreto. El hormigón también puede fracturarse si los poros no están llenos de agua, lo que compromete la integridad estructural del material. Esto es algo que debe tenerse en cuenta, ya que es crucial reconocer que el agrietamiento puede ocurrir en el hormigón. Una prueba claramente visible de este fenómeno o dato puede

verse en la ilustración número 24. El hormigón no sólo se congela a 0 grados centígrados, lo cual es un punto crucial a tener en cuenta. Hay una serie de componentes responsables de este fenómeno. Para empezar, el punto de congelación del agua se reduce por la presencia de iones disueltos. El segundo factor que contribuye a la reducción temperatura necesaria para la aplicación de la congelación es la adsorción de agua situados en las superficies interiores de los poros del hormigón. En resumen, se puede concluir que el concreto no se congela a una única temperatura específica (Dyer, 2014)

Figura 24

Ciclos de congelamiento y descongelamiento en el concreto



Nota. Daño ocasionado por el congelamiento y descongelamiento, de un poro de concreto lleno de agua (Donini & Orler, 2016)

2.2.3.13. Desconchado

Como resultado del proceso de oxidación, las esquinas que se construyen con hormigón armado suelen ser las iniciales en mostrar signos de agrietamiento, especialmente cuando estas estructuras comienzan a corroerse. Este fenómeno se debe principalmente a la existencia de dióxido de carbono y cloruros en el medio ambiente, los cuales tienen la capacidad de penetrar en el material y, de esta manera, acceder al acero que se encuentra dentro de estas construcciones. Las delaminaciones se producen progresivamente a medida que la corrosión se intensifica en las varillas de refuerzo que están situadas en las cercanías, y en este proceso, las grietas horizontales comienzan a conectarse entre sí formando una red, tal como se puede observar claramente en las ilustraciones presentadas en la figura 25 y la figura 26. (Broomfield, 2007).

Figura 25

Desconchado inducido por la corrosión del acero de refuerzo

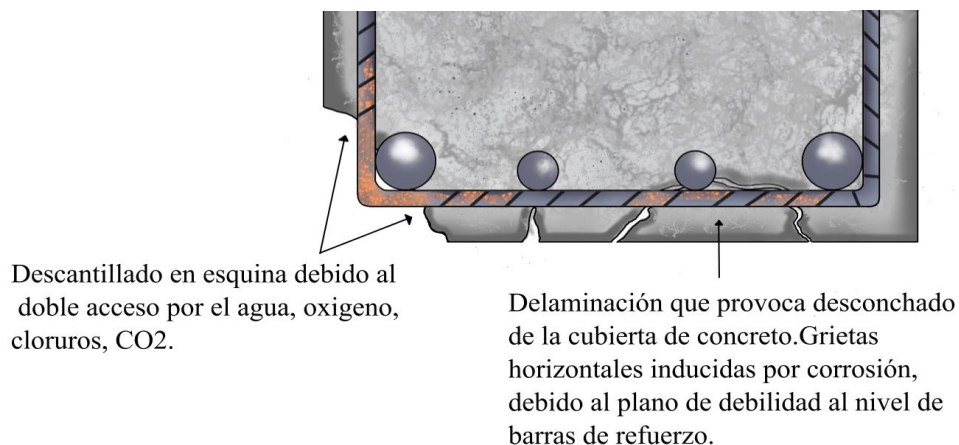


Figura 26

Desconchado en una losa

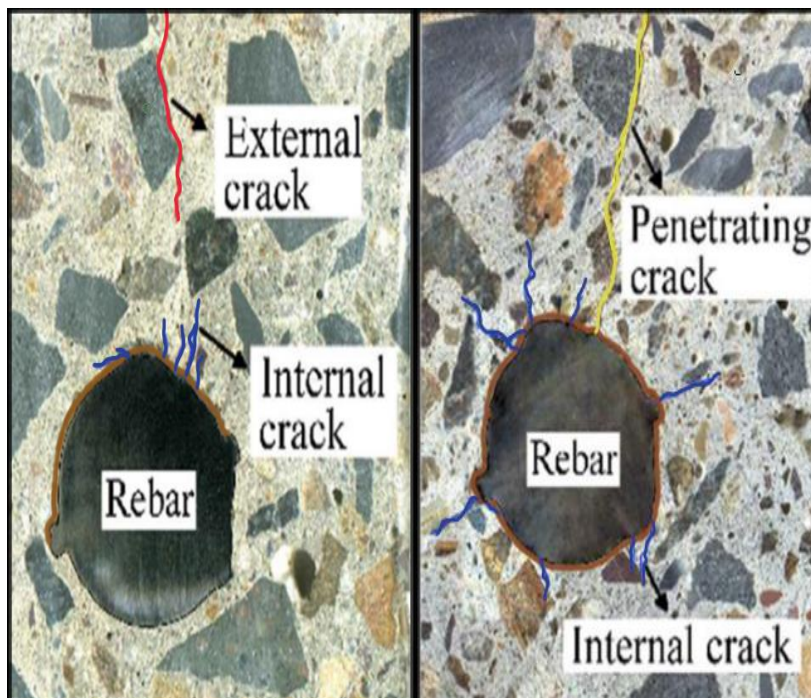


2.2.3.14. Fisuras inducidas por la corrosión

El proceso de oxidación crea un aumento de volumen que puede ser hasta 2,5 veces mayor que el volumen inicial. Esto ocurre cuando comienza la etapa de corrosión y el acero ya ha sufrido el impacto. Este aumento ejerce una importante presión sobre el hormigón que lo rodea. La expansión del acero de refuerzo que se produce cuando está rodeado de óxido provoca la aparición de grietas, que en última instancia pueden dar lugar a que el hormigón se desprenda del acero de refuerzo. Debido a que hay una menor resistencia a la tracción del hormigón, la fuerza que se aplica desde el interior suele ser suficiente para provocar el colapso de la superficie del elemento. Pueden observarse manchas de óxido además de fracturas, hendiduras y abultamientos paralelos a la pendiente de la armadura. Este es el resultado de la situación. Esto se ilustra en la figura 27 (Toirac Corral, 2009).

Figura 27

Tipos de grietas ocasionadas por la corrosión



Nota. La dilatación que se produce como consecuencia de la aparición de fisuras en el hormigón se debe a la oxidación del hierro.. (Xu & Zhao, 2021)

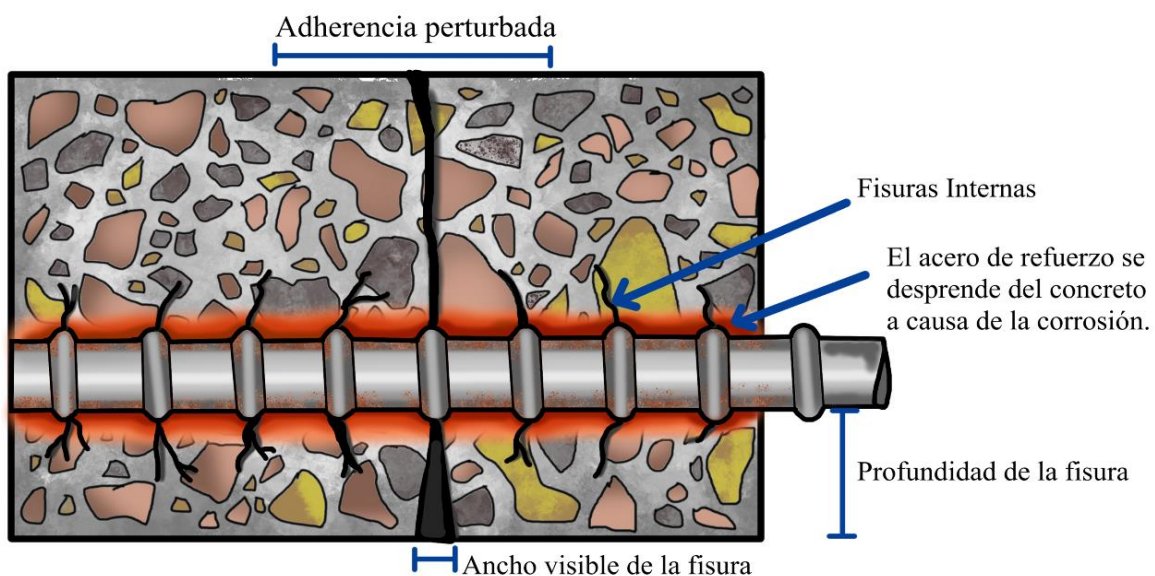
Se sugiere tener en consideración que el análisis según Peralta et al., (2006), indica que el espesor del recubrimiento afecta la formación de fisuras. Un mayor espesor retrasa la aparición de fisuras, esto a razón de necesitar más presión y mayor penetración agentes externos. (p. 8)

2.2.3.15. Pérdida de adherencia

Este tipo de daño que se observa en el concreto es consecuencia directa de la corrosión que afecta al acero de refuerzo. Cuando el acero comienza a corroerse, experimenta una expansión considerable en su estado corrosivo. Esta expansión provoca que, con el tiempo, se formen grietas y se desprendan fragmentos del concreto que lo rodea. La disminución de la conexión entre el acero de armadura y el hormigón que lo rodea, así como la disminución de la sección transversal del elemento tras la reducción de armadura, son las causas de este fenómeno. En ciertas circunstancias, esto puede conducir a la creación de un punto de fallo estructural que se convierte en algo inevitable. Es posible que podamos observar y analizar este interesante proceso representado visualmente en la figura número 28. (Mehta & Monteiro, 2014)

Figura 28

Pérdida de adherencia del acero con el concreto



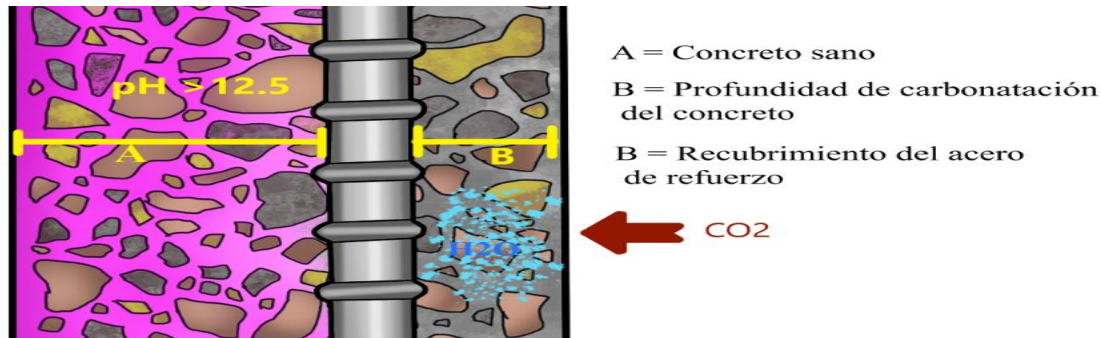
Nota. Elaboración propia.



2.2.3.16. Carbonatación

El término «carbonatación en el hormigón» se refiere a un proceso químico específico en el que la estructura interior del hormigón es susceptible de penetración e infiltración por el dióxido de carbono, que es el gas que predomina en la atmósfera, provocando así cambios en las características y cualidades del mismo. Una vez que este gas consigue abrirse paso en el interior del material, se produce una reacción química del mismo con el hidróxido de calcio ya presente en la muestra investigada. Como consecuencia de esta reacción, se produce una serie de sustancias químicas que con más frecuencia se denominan carbonatos cálcicos. El dióxido de carbono, conocido comúnmente como CO_2 , en su estado puro no presenta propiedades reactivas significativas. Sin embargo, cuando se encuentra en condiciones de humedad, este gas químico puede reaccionar y, como resultado de dicha interacción, se convierte en ácido carbónico en una forma diluida. Este ácido carbonatado puede causar daños al hormigón, erosionándolo y debilitando su estructura. Esta reacción también contribuye a una disminución de la alcalinidad del hormigón, algo que pueda tener un efecto perjudicial en la durabilidad y resistencia del hormigón a largo plazo. La velocidad a la que se produce la carbonatación en un material de hormigón se ve afectada por una serie de parámetros significativos que es crucial tener en cuenta. Estos aspectos incluyen la proporción de agua contenida en los poros de la sustancia, la humedad relativa del ambiente que rodea al hormigón, la permeabilidad específica del hormigón en cuestión y la profundidad del revestimiento aplicado a la superficie del hormigón.

Un método común y simple para determinar el alcance de la carbonatación, es tratar la superficie del concreto extraída con una solución de fenoftaleína en alcohol diluido, posteriormente se observa, si el concreto es rosa este no estará carbonatado y si no se pinta de color rosa significa que el concreto está carbonatado, figura 29 (M.S. Shetty, 2005).

Figura 29*Carbonatación del concreto armado*

Nota. El concreto está constantemente bajo ataque de agentes externos agresivos, un buen hormigón y suficiente recubrimiento es la respuesta para la durabilidad. Elaboración propia.

2.2.3.17. Grado de exposición o agresividad ambiental

Colegio de Ingenieros de Caminos (1996) Indica que uno de los motivos por los cuales el concreto se deteriora y desencadena la corrosión del acero es el grado de agresividad a la que está expuesta, la relación del hormigón con el entorno o medio ambiente circundante en un lapso de tiempo es lo que deteriora al concreto. Se debe considerar también el clima local al cual está expuesta la estructura, humedad relativa, condiciones de entorno de la estructura como es el caso de los cimientos o estructuras en contacto con el agua (muelles, reservorios, muros de contención), en contacto con el suelo como serian suelos con sales o también una obra de botadero. Existen diversos tipos de clasificación de grado y/o severidad de exposición del medio ambiente, cada normativa y autor tienen distintos lineamientos de como clasificar estos, un ejemplo de ello es:

- Ambiente Suave: interior de edificios de viviendas y oficinas.
- Ambiente Moderado: interior de edificios en los que la humedad es alta, así como con un riesgo momentáneo de existencia de vapores corrosivos, agua en movimiento, ambientes rurales rigurosos, suelos ordinarios.
- Ambiente Severo: líquidos que sólo contienen mínimas concentraciones de ácidos, ambientes salinos, gases corrosivos, suelos corrosivos, ambientes marítimos o industriales.

Otro tipo de clasificación de clases de exposición está dado por el ACI-318-19 el cual se puede apreciar en la figura 30 y mejor detallada en la figura 31.

Figura 30

Clases de exposición

Categoría	Clase	Condición
Congelamiento y deshielo (F)	F 0	Concreto el cual no está sometido debido a los períodos de congelación y derretimiento
	F 1	El concreto se somete a períodos de congelación y derretimiento, además de estar expuesto a la humedad de manera ocasional.
	F 2	Hormigón que ha sido sometido a ciclos de congelación y descongelación, además de estar en contacto constante con la humedad.
	F 3	Los concretos que son sometidos a ciclos de congelación y descongelación, que estarán en contacto constante con la humedad y expuestos a agentes químicos utilizados para la descongelación, son concretos que están diseñados para soportar estos ciclos.
Sulfato (S)	S 0	Sulfatos solubles en agua Sulfato (So_4^{2-}) disuelto (So_4^{2-}) en el suelo, % en masa en agua, ppm $So_4^{2-} < 0.10$ $So_4^{2-} < 150$
	S 1	$0.10 \leq So_4^{2-} < 0.20$ $150 \leq So_4^{2-} < 1500$ o agua marina
	S 2	$0.20 \leq So_4^{2-} \leq 2.00$ $1500 \leq So_4^{2-} \leq 10000$
	S 3	$So_4^{2-} > 2.00$ $So_4^{2-} > 10000$
En contacto con el agua (W)	W 0	Concreto seco y en uso
	W 1	Concreto húmedo sin baja permeabilidad requerida.
	W 2	Concreto en contacto con el agua, impermeable al agua
Protección del refuerzo para la corrosión (C)	C 0	Concreto seco o húmedo protegido
	C 1	Concreto expuesto a humedad, sin cloruros externos
	C 2	Concreto expuesto a humedad y cloruros de deshielantes, sal o agua de mar

Nota. (ACI 318, 2019, p. 371)

Figura 31*Componentes estructurales que entran en el grupo de exposición F*

Clase de Exposición	Ejemplos
F0	<ul style="list-style-type: none">• Miembros en entornos donde no se prevé la ocurrencia de congelamiento• Miembros que se ubicarán en estructuras que no estarán expuestas a condiciones de congelamiento• Cimientos no sometidos a enfriamiento• Miembros situados a una profundidad inferior al nivel de congelación
F1	<ul style="list-style-type: none">• Existe la posibilidad de que los componentes que no están en contacto directo con el suelo, como los muros exteriores, las vigas y los forjados, se consideren componentes expuestos. Estos componentes incluyen elementos que serán propensos a la acumulación de nieve o hielo dentro de la estructura.• Esta categoría puede utilizarse para clasificar las fundaciones de muros según la probabilidad de que se saturen.• Las estructuras propensas a la acumulación de nieve o hielo, como los forjados exteriores situados a mayor altura, son ejemplos de este tipo de componentes.
F2	<ul style="list-style-type: none">• Existen fundaciones y muros de sótanos que están elevados por encima del nivel del suelo, lo que permite que la nieve o el hielo se acumulen en la superficie de estas estructuras.• Componentes que son tanto horizontales como verticales y están en contacto con el suelo por ambos lados.
F3	<ul style="list-style-type: none">• Los compuestos químicos utilizados para la descongelación están expuestos a los miembros de la comunidad, como los componentes horizontales en los garajes de estacionamiento.• Existen fundaciones y muros de sótanos que están elevados por encima del nivel del suelo y tienen el potencial de actuar como superficies de acumulación para nieve o hielo que contienen compuestos químicos utilizados para la descongelación.

Nota. (ACI 318, 2019, p. 372)

2.2.3.18. Durabilidad del concreto

Hernández-Castañeda & Mendoza-Escobedo (2006) Se establece que la durabilidad es una característica esencial e indispensable del concreto, un material que debe poseer tanto la calidad adecuada como la capacidad necesaria para resistir las diversas condiciones de servicio y las distintas circunstancias ambientales a las cuales



puede estar durante toda su vida útil. Un tipo de concreto que sea realmente duradero y de alta calidad será capaz de conservar su forma original y sus propiedades a lo largo del tiempo. Es esencial que este material sea resistente a las diversas condiciones a las que se encuentra expuesto, asegurando así su longevidad y funcionalidad en diferentes entornos.

Las estructuras de hormigón pueden ser duraderas y resistentes, para ello se deben tener en cuenta el efecto que tendrá el entorno en el que está expuesto la estructura. El deterioro es consecuencia de la exposición del entorno. Inicialmente se consideraba que el hormigón tiene una durabilidad alta, pero experiencias más recientes demostraron que esto no es necesariamente cierto, a menos que el diseño de durabilidad forme parte integral del diseño antes de seleccionar y especificar una mezcla de hormigón adecuada, resistencia y recubrimiento, esto a fin de cumplir la perspectiva de durabilidad. La necesidad imprevista de trabajos de mantenimiento y reparación del hormigón se produce a una edad muy temprana y durante toda la vida útil de la estructura, lo que se traduce en enormes obligaciones financieras para las personas que la utilizan. La mayor parte de los conocimientos existentes, si se aplicaran adecuadamente, producirían concretos duraderos, la falta de una aplicación adecuada se atribuye a la ignorancia profesional de quienes trabajan en este ámbito, también se atribuye a las normativas o reglamentos de cada país los cuales no hacen responsabilidad al contratista o ejecutor acerca de la durabilidad que debería proporcionar cada estructura. No se trata de una falta de experiencia del equipo de diseño, sino de no haber identificado la gravedad de los posibles problemas de durabilidad, lo que puede acarrear gastos de conservación y reparación considerables. Si las infraestructuras no se mantienen adecuadamente, el refuerzo o rehabilitación posterior no siempre es una opción, por lo que en muchos casos se recurre a demolerse (Marios Soutsos, 2023).



En estado húmedo, hormigón que ha sido sometido a ciclos de congelación y descongelación o que ha sido tratado a la acción de productos químicos de deshielo.

0.45

31

Para proteger la armadura de acero de la corrosión en circunstancias en las que el hormigón pueda estar expuesto a cloruros obtenidos a partir de productos químicos de deshielo, sal, agua, agua salobre, agua de mar o salpicaduras de fuentes similares, es necesario tomar precauciones.

0.40

35

Nota. (E.060, 2009, p. 37)

Si es verdad que el (ACI 318, 2019), 19.3.1.1 menciona que: El profesional encargado del diseño debe asignar los distintos tipos de exposición a la cual estará sometida la estructura, en función de la severidad o grado de exposición. Sin embargo, esta tarea a menudo no se realiza en la práctica, por lo que debe ser cuidadosamente considerada durante la elaboración del proyecto.

Los requisitos mínimos de durabilidad deben garantizar la calidad perteneciente al producto final, muchas veces el proceso para la construcción el cual se efectúa por la parte del propietario (usuario, cliente) y el contratista (ejecutor), se olvida tomar en consideración la durabilidad para garantizar un adecuado producto de calidad, también debe considerarse las acciones de mantenimiento. El proceso de construcción debe ser satisfactorio para ambas partes. (Comite Euro-International Du Beton, 1997)

Una conversación anterior se centró en la importancia de la relación agua-cemento, que es un componente crucial que debe tenerse en cuenta a la hora de fabricar hormigón de excelente calidad. Además, se analizó y abordó el impacto directo que esta relación tiene en la resistencia a la compresión del hormigón. De acuerdo con los requisitos de la

norma ACI-318, las directrices que se han proporcionado ofrecen información sobre los niveles de resistencia a la compresión que deben aplicarse en relación agua/cemento, respectivamente. Una representación destacada de esta información puede encontrarse en la figura que se presenta a continuación, que es la número 33.

Figura 33

Requisitos de resistencia según la clase de exposición

Clase de Exposición		Relación a /mc máxima	$f'c$ Mínimo MPa
F 0		N / A	17
F 1		0.55	24
F 2		0.45	31
F 3		0.40	35
S 0		N / A	17
S 1		0.5	28
S 2		0.45	31
S3	Opción 1	0.45	31
	Opción2	0.40	35
W0		N/A	17
W1		N/A	17
W2		0.50	28
C 0		N / A	17
C 1		N / A	17
C 2		0.40	35

Nota. (ACI 318, 2019, p. 378)

2.2.3.20. Vida útil de la estructura

(ET y DTE 006-06 - Prevención de la corrosión de enfierradoras en elementos de hormigón - ICH, s. f.) Es el período de tiempo, medido en años, durante el cual una estructura de hormigón armado es capaz de cumplir las normas mínimas de seguridad, estabilidad y funcionamiento para las que fue concebida. Este término también se conoce como vida útil prevista. En ausencia de costes asociados a reparaciones o cuotas de mantenimiento. Además, puede tomarse en consideración un periodo de vida útil residual. Este periodo de tiempo tiene en cuenta el alargamiento de la vida estimada de las construcciones en el momento de su puesta en servicio mediante la aplicación de acciones de mantenimiento preventivo o correctivo. La suma de estos dos tipos de mantenimiento se denomina vida útil total. (p. 15)

2.2.3.21. Periodo de servicio de la estructura

Salinas et al. (2012) Esto es considerado como una prioridad en Europa y en muchos otros países, como también México, esto cuando se trata de la propia seguridad personal, y el periodo de servicio que deben cumplir las estructuras. Algunas consideraciones que se toma en cuenta para que la estructura cumpla su periodo de servicio son:

- Los edificios tienen que ser capaces de soportar los actos mecánicos, físicos y químicos a los que pueden verse sometidos a lo largo de su proceso de construcción y durante toda su vida útil. Esto es necesario para garantizar su seguridad y funcionalidad.
- Es necesario que puedan soportar las acciones del fuego, lo que disminuirá la cantidad de daños que puedan ocasionar a los usuarios.
- Las construcciones deben adherirse a criterios fundamentales de higiene, salud y sostenibilidad ambiental, con el objetivo de mitigar el efecto adverso que la actividad constructiva pueda tener sobre el entorno.

Estos requisitos deben cumplirse, en el periodo de tiempo que la estructura este de servicio, esto de acuerdo al diseño y proyección del proyecto, estas deben cumplirse según las normativas vigentes de cada país. Un ejemplo de la vida útil se puede apreciar en la figura 34 y figura 35.

Figura 34

Requisitos de resistencia para el concreto según la clase de exposición

Tipo de estructura	Vida útil
Estructuras de carácter temporal	Entre 03 v 10 años
Las barandillas y los soportes de tuberías son ejemplos de componentes que pueden sustituirse pero que no forman parte originalmente de la construcción primaria.	Entre 10 y 25 años
Construcciones agrícolas o industriales y obras de infraestructura marítima	Entre 15 y 50 años
A excepción de las obras marítimas y las que tienen un impacto económico bajo o medio. Los edificios de carácter residencial o de oficinas, los puentes u otras infraestructuras con una longitud total inferior a 10 metros y las construcciones	50 años
Edificios de relevancia monumental o de significancia particular.	100 años
Hay puentes que tienen una longitud total de diez metros o más, además de otras estructuras que son fruto de la ingeniería civil y tienen un impacto sustancial en la economía.	

Nota.(Salinas et al., 2012)

Figura 35

Vida útil de edificios, propuesta

Tipo de material	Rango de Vida útil en años	Tasa lineal de depreciación
Concreto/Ladrillo/Acero y otros materiales equivalentes	50 a 80	2% - 1.25%
Adobe madera, quincha, y otros materiales equivalentes	33	3%

Nota. Por lo que se pudo investigar se encontró una propuesta de vida útil según la (Directiva N°002-2014-EF/51.01, 2014, p. 4)

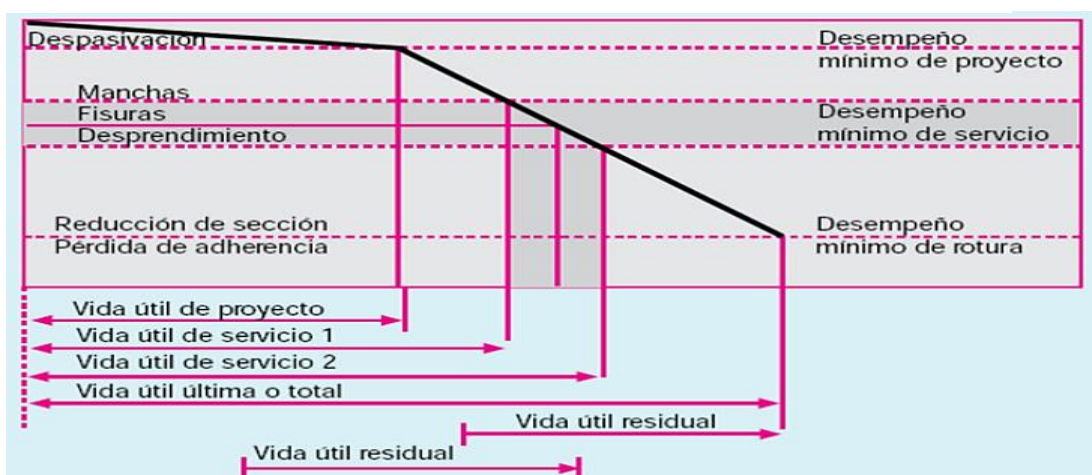
2.2.3.22. Vida útil de la estructura afectada por corrosión

Cerna Vasquez & Galicia Guarniz (2010) Definen que, la vida útil del proyecto se asocia al inicio de la despasivación del acero de refuerzo, esto normalmente corresponde cuando el concreto presenta carbonatación y los cloruros alcanzan el acero, esto en un periodo de tiempo. El lapso de tiempo que comienza con la manifestación de manchas en la superficie del hormigón, junto con la formación de grietas y desconchados, puede mostrar estas tres características simultáneamente o en combinación de sólo dos de ellas, y es impredecible. Este período de tiempo también puede manifestar cualquier combinación de estas tres características. Es razonable concluir que la estructura ha llegado al final de su vida útil en este punto con la estructura.

Este periodo de tiempo es el intervalo que existe entre la rotura de la estructura o su colapso leve o completo. La fase final o de vida útil completa se caracteriza por una disminución de la armadura de refuerzo y una pérdida significativa de la unión entre el hormigón y el acero, factores ambos que conducen al colapso final de la estructura. Esta fase se caracteriza por elementos que contribuyen al colapso del edificio. En la Figura 36, esta información puede entenderse de forma más clara y concisa para facilitar la comprensión y el análisis.

Figura 36

Vida útil del concreto en relación a la corrosión



Nota. (Cerna Vasquez & Galicia Guarniz, 2010, p. 12)



2.2.4. Métodos de ensayo de corrosión acelerada

El hormigón armado es susceptible a la corrosión del acero de armadura, suele tardar muchos años en iniciarse, por lo que resulta invertir demasiado tiempo para los estudios de este fenómeno, por lo que es necesario acelerar este proceso de corrosión. Debe tenerse en consideración que es imposible investigar a detalle las influencias de los diversos factores ambientales. La simulación de la corrosión es un método que nos permite apreciar los diversos factores que ocasiona la corrosión. (Song & Shayan, 1998)

Existen diversos métodos de aceleración de la corrosión entre ellos tenemos: Cámara de niebla salina, pruebas potencioestáticas, pruebas electroquímicas, ciclos de humedad y secado, etc. En este estudio, emplearemos el método de corrosión acelerada por inmersión modificada, que es un tipo de ensayo de corrosión que entra dentro de la categoría de ensayos electroquímicos. Este ensayo se centra en la evaluación directa del efecto que la corrosión tiene sobre el acero de refuerzo, y lo hará midiendo la pérdida de masa del acero una vez finalizado el ensayo. Por ello, se considera un método interesante para evaluar el deterioro que provoca degradación de las estructuras de hormigón armado debido a la corrosión. Este método de aceleración de la corrosión fue inicialmente implementado en el LEME por Lima en el año 1990. (da Silva Torres, 2006)

2.2.4.1. Proceso de preparación de las muestras

Las muestras de concreto armado que se utilizan para la experimentación suelen ser de tamaños pequeños. Por lo cual, es posible que no se pueda estudiar algunos factores en las muestras pequeñas, a comparación de cantidades o volúmenes de concreto mayores. Un claro ejemplo es la tensión que se provoca micro fisuras en el concreto. Habitualmente en las pruebas de laboratorio para simplificar el ensayo solo se incrusta una barra de refuerzo que está expuesto y funciona como electrodo. En algunos casos, además de los componentes estándar que se utilizan en la fabricación de la muestra, se utilizan



aditivos u otros elementos requeridos por el tipo de estudio que se va a realizar. Estos componentes incluyen cemento, agua, árido grueso y árido fino. (Song & Shayan, 1998).

2.2.4.2. Metodología de uso

El acero de refuerzo se sumerge en la probeta de hormigón armado, y se utiliza un recipiente para llenarlo de agua y sumergirlo hasta la mitad de su altura en una solución de cloruro sódico (NaCl) al 15% a temperatura ambiente. A continuación, se aplica un potencial de corriente continua (CC) al recipiente, conectando el ánodo a la barra de acero embebida, y el cátodo a la solución de NaCl (Song & Shayan, 1998).

Elaborándose las probetas de concreto según las especificaciones de resistencias indicada, las cuales contendrán los aceros de refuerzo embebidas en su interior. En un recipiente de vidrio que este adecuado al tamaño de las probetas, se deberá llenar de agua, donde deberá sumergirse parcialmente la probeta, el agua deberá estar con una solución de 35 g/l de NaCl, concentración que simula la del Océano Atlántico. El hilo de cobre se coloca sobre la superficie de la barra sin entrar en contacto con el propio hilo. El alambre que está sobre la barra se conectará al polo de la fuente que está situado al polo positivo, que sirve de ánodo en el proceso electroquímico. Por último, el polo negativo de la fuente se conecta al otro alambre, que se sumerge en la solución y sirve de cátodo. (De Kayser Ortolan et al., 2017, pp. 5-6)

2.2.4.3. Voltaje y tiempo a emplear

En esta investigación se busca el peor de los casos posibles que se pueda dar de corrosión, por lo que según (da Silva Torres, 2006) , los trabajos realizados los niveles de corrosión más altos fueron provocados con voltaje de 15v, 45v y 70v, en lapsos de tiempo respectivos de 8 horas, 24 horas, 40 horas. Por esta razón, tomando como predecesora y los datos obtenidos con las horas aplicadas ya mencionadas, en esta investigación se

utilizó un voltaje de corriente continua de 80 voltios a 7:40 hrs para los recubrimientos de 2cm, 51:00 hrs para los recubrimientos de 4.5 cm y 75 hrs para los recubrimientos de 7cm.

2.2.4.4. Cloruro

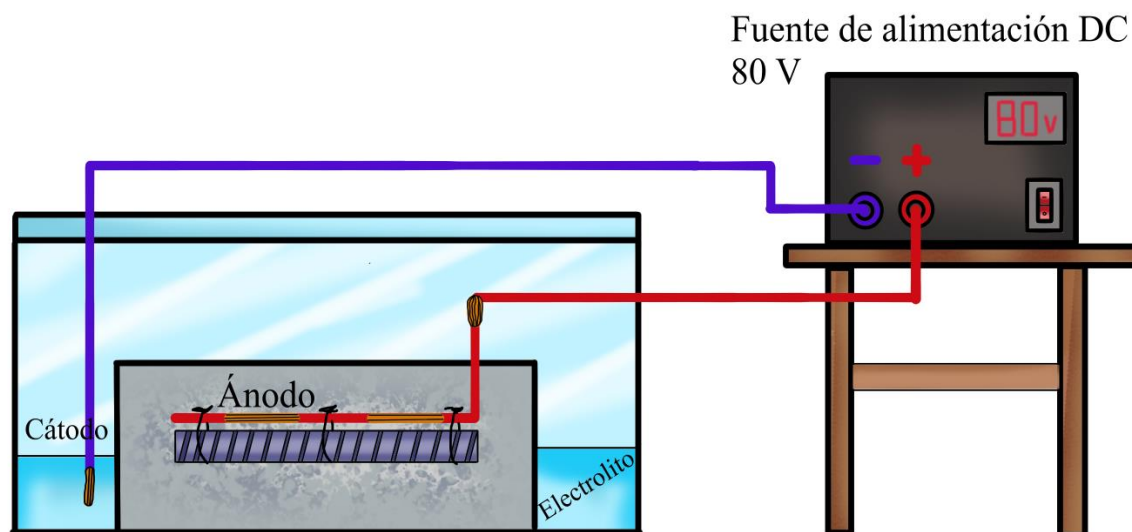
El cloruro está relacionado con la sal común (NaCl), el cual este compuesto de: Cl⁻ ion cloruro, Na⁺ ion sodio. Entre los aniones, el ion cloruro es uno de ellos más comunes en la naturaleza, proceso por el que la sal se diluye en el agua, se disocia en iones de sodio y cloruro, por lo cual el cloruro esta libre en la solución y puede interactuar con otros compuestos o elementos. (4.3: *Cloruro de sodio y enlaces iónicos - LibreTexts Español*, s. f.)

Se menciona el cloruro, por la importancia en el desarrollo de esta investigación, ya que se usaron ciertas dosificaciones de NaCl para simular el electrolito, específicamente 35 gr/lit.

Se debe calcular la cantidad de NaCl a disponer según el volumen de agua a utilizar para recubrir cada espécimen; la cantidad de NaCl a usar será diferente para cada recubrimiento.

2.2.4.5. Maquina Caim

El diseño de la maquina CAIM, resulta diferente según sea las condiciones a las que se someterá esta máquina, según los requerimientos y las condiciones del mercado para obtener los componentes, en este estudio no se pudo encontrar la fuente de poder de laboratorio con las especificaciones indicadas como es el tiempo de uso y el voltaje de corriente continua que alimentara la máquina, por lo cual se buscó un especialista para que pueda elaborar una fuente de poder continua de 80 voltios para usarse hasta por un uso continuo de 80 horas. La fuente de alimentación es uno de los elementos que componen la máquina CAIM, en la Figura 37 se ofrece una explicación más completa de la misma.

Figura 37*Esquema del metodo CAIM*

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Ambientes agresivos

Es una atmósfera que proporciona condiciones desfavorables para los edificios, lo que puede provocar el deterioro de los materiales, sobre todo en lo que se refiere a las construcciones de hormigón armado. (Perepérez Ventura et al., 1987).

2.3.2. Carbonatación

Además de perjudicar el acero en el hormigón armado, este es uno de los principales factores que favorecen la aparición de la corrosión. El fenómeno se produce a causa de una reacción química, donde los carbonatos cálcicos se forman debido a la interacción entre el dióxido de carbono en el ambiente y el hidróxido de calcio en el hormigón. Este proceso reduce el pH del hormigón, lo que eventualmente desactiva la capa pasiva que protege las barras de refuerzo, facilitando así la corrosión (Chinè-Polito et al., 2019).

2.3.3. Ciclo de vida del concreto armado

Hace referencia a todas las etapas por las que pasa el concreto armado, la extracción de su materia prima, la elaboración de sus productos, su uso y mantenimiento, hasta llegar a su demolición (O'Reilly Díaz et al., 2010).

2.3.4. Corrosión

Un fenómeno que implica el deterioro de los materiales metálicos a través de reacciones químicas y electroquímicas, ya que estos tienden a buscar un estado de menor energía potencial (Salazar Jiménez, 2015).

2.3.5. Diseño de mezcla del concreto

El término «proceso» se refiere al procedimiento que se utiliza para determinar las proporciones adecuadas y apropiadas para la mezcla y fabricación del hormigón. Este enfoque tiene en cuenta el estado fresco del hormigón, así como su calidad y cualidades una vez endurecido y solidificado. Las condiciones más importantes que deben satisfacerse para obtener una dosificación eficaz en estado fresco incluyen una serie de aspectos esenciales, como la facilidad de manipulación, la resistencia del material, la durabilidad en el tiempo y la sostenibilidad económica de todo el proceso en cuestión. (David Osorio, s. f.).

2.3.6. Resistencia del concreto a lo largo del tiempo

La capacidad del hormigón para resistir el deterioro en las condiciones externas, incluida la exposición a sustancias nocivas, durante un tiempo determinado es lo que se entiende por «durabilidad». (Guide to Durable Concrete, 1982).

2.3.7. Ensayo de compresión

Una forma de evaluar la resistencia de un material es considerar su capacidad para soportar cargas severas sin sufrir deformaciones ni romperse. Esta característica es



inherente al material y es necesario realizar experimentos para evaluarla. Una de las pruebas más importantes que pueden utilizarse para medirla es un ensayo que mida la tensión o la compresión. (Hibbeler Russell, 2011).

2.3.8. Perforación diamantina

Este es un procedimiento específico que implica la utilización de una herramienta denominada broca diamantada, la cual se emplea para hacer un corte preciso. La perforación de un material es lo principal que se pretende conseguir con este procedimiento, en este caso concreto, para así obtener una muestra que es frecuentemente referida como testigo. Esto permite analizar las propiedades del concreto de forma más efectiva. Esta muestra, una vez tomada, se documenta cuidadosamente y se coloca en cajas adecuadas con el fin de que esté disponible para su uso en experimentos o ensayos que se realicen en el futuro (Becerra Chamorro, 2021).

2.3.9. Recubrimiento

Se hace referencia al grosor que cubre y recubre las barras de acero utilizadas como refuerzo estructural, el cual cumple con la función esencial de protegerlas de la corrosión, así como de otros factores y agentes ambientales que pueden afectar negativamente el concreto al que estas barras están integradas.



CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Este estudio se clasifica como de carácter estrictamente experimental, dado que se fundamenta en los resultados que han sido recolectados a través de la medición cuantitativa de la reducción de peso en el acero utilizado para la armadura, el cual será expuesto a un proceso de corrosión acelerada. Asimismo, se llevará a cabo un análisis detallado para establecer cómo esta variación en el peso se relaciona con la resistencia a la compresión del material, así como con el tipo de recubrimiento aplicado al hormigón. El presente estudio se clasifica como uno que es de naturaleza estrictamente experimental, lo que implica que se centra en la realización de experimentos para obtener resultados y validar hipótesis.

Arias Chávez & Cangalaya Sevillano (2023) Indicando que, en función del tipo de investigación que se está llevando a cabo según la intervención del investigador en el fenómeno que se está analizando, el enfoque experimental significa que el investigador afecta voluntariamente a una o más variables del fenómeno que se está estudiando. En el contexto de una relación causa-efecto, el propósito de este trabajo de investigación es descubrir es alterar los factores que se han descubierto como causas.



3.2. Nivel de investigación

Dado que esta investigación pretende evaluar las correlaciones causa-efecto entre las variables resistencia a la compresión, revestimiento y corrosión del acero de armadura, el nivel explicativo es el más adecuado para esta investigación. El objetivo general de esta investigación es determinar cuál de estos tres factores proporciona la mayor protección al acero de refuerzo contra la corrosión.

El nivel explicativo es el que se encarga de determinar el origen o la influencia de una variable en otra variable del sistema. La finalidad de estos estudios es ofrecer una explicación del comportamiento de una variable en función de otra u otras variables (una relación causa-efecto). Estas investigaciones se llevan a cabo mediante experimentación y hacen uso de la estadística multivariante. (Arias Chávez & Cangalaya Sevillano, 2023, p. 153)

3.3. Diseño de investigación

El diseño factorial experimental es un tipo de diseño de investigación que puede proporcionar un análisis de si existe o no una interacción entre la resistencia a la compresión y el revestimiento en la corrosión del acero de refuerzo. Este diseño se empleará para el estudio que se llevará a cabo. Según el diseño factorial, es posible evaluar tanto los efectos individuales como la interacción que pueda existir entre el efecto del recubrimiento sobre la corrosión. También es posible que esta interacción varíe en función de la resistencia a la compresión que se esté empleando.

Según Hernández Sampieri & Mendoza Torres Christian Paulina, (2018), "En ocasiones, el investigador busca analizar experimentalmente cómo la manipulación de más de una variable independiente afecta a las variables dependientes. Estos diseños se conocen como factoriales y se utilizan con frecuencia en la investigación experimental" (p. 170).



3.3.1. Método de investigación

Se adopta un enfoque cuantitativo en la investigación que se lleva a cabo porque, a partir de las preguntas de investigación que se crean, se establecen hipótesis y se identifican variables, además de un plan para la verificación de estas hipótesis y variables. Las variables se cuantifican dentro de un contexto particular y las mediciones obtenidas son evaluadas utilizando técnicas estadísticas, a partir de las cuales se derivan diversas conclusiones. Considerando que los datos son derivados de mediciones, se expresan en un formato numérico y requieren análisis mediante técnicas estadísticas. (Dr. Hernández Sampieri et al., 2014).

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Compuesta por cada uno de los especímenes que fueron elaborados y desarrollados conforme a los dos tipos de diseños de resistencia distintos que se utilizaron, los cuales han sido establecidos en valores de resistencia de 210 kg/cm² y 280 kg/cm², respectivamente.

3.4.2. Muestreo

Tenemos tres tipos diferentes de revestimientos, que son de 2 centímetros, 4,5 centímetros y 7 centímetros, y para cada uno de estos revestimientos, tenemos tres especímenes. Del mismo modo, tenemos dos resistencias de hormigón diferentes, que son 210 kg/cm² y 280 kg/cm², lo que significa que tenemos un total de 18 ejemplares o especímenes bajo nuestro control. En la siguiente tabla 6 se explica esto con más detalle. Estos 18 ejemplares o especímenes constituirían la muestra que se distribuiría.

Tabla 6

El número de muestras, desglosadas según el revestimiento y la resistencia a la compresión

Resistencia a la	Recubrimiento	Numero de especímenes
210 kg/cm ²	2 cm	3 und
	4.5 cm	3 und
	7 cm	3 und
280 kg/cm ²	2 cm	3 und
	4.5 cm	3 und
	7 cm	3 und
Número total de especímenes		18 und

3.4.3. Técnica de muestreo

El muestreo no probabilístico, que también suele denominarse muestreo focalizado o muestreo por criterios, es el método de muestreo que se utiliza en este contexto concreto al hablar de técnicas de muestreo. Al hacer esta elección metodológica se tuvieron en cuenta los conocimientos previos y los criterios exclusivos del investigador. En esta técnica se utiliza el proceso de toma de decisiones del investigador, a diferencia de la utilización de la teoría de la probabilidad. Este tipo de juicios están estrechamente relacionados con la formulación del problema de investigación, así como con las cualidades específicas del objeto de estudio que se está investigando. (Hernández Sampieri & Mendoza Torres Christian Paulina, 2018)

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizarán dos técnicas, la observación y la experimentación. Se elaborarán 18 especímenes de estudio, los cuales tienen distintos recubrimientos y resistencias a la

compresión, estas resistencias fueron diseñadas por el laboratorio de la universidad, se elaboraron moldes de metal para obtener los recubrimientos necesarios donde se recubrirán con concreto las varillas de acero de refuerzo. Se pretende analizar el caso más cotidiano o común en los procesos constructivos, por lo que se sabe los elementos estructurales no se curan más de 3 días en la región o diversas obras, por lo que la normativa indica 7 días como mínimo para curar el concreto, esta investigación someterá a los especímenes vaciados y curados posterior a 7 días a su aceleración a la corrosión, posteriormente se obtendrá de manera destructiva los aceros de refuerzo y se podrá determinar cuál de las dos variables independientes influye más en la variable dependiente.

3.5.1. Instrumentos de recolección de datos

Para poder compilar adecuadamente la información que se obtendrá y que, en una fase posterior, será sometida a un exhaustivo proceso de análisis, será imprescindible hacer uso de los siguientes instrumentos o recursos que se mencionarán a continuación:

3.5.1.1. Instrumentos de control

Con el fin de poder medir adecuadamente y gestionar eficazmente los diversos procesos que llevaremos a cabo, haremos uso de ciertas herramientas y métricas que nos permitirán mantener un control óptimo.

- Balanza analítica: para pesar el acero de refuerzo, agua, cloruro de sodio, muestra.
- Termómetro: para poder saber a qué temperatura está el concreto.
- Papel tornasol: para poder determinar el pH del agua.
- Cinta métrica: para realizar mediciones.
- Ficha de control: esta ficha de control a usar se puede observar en los anexos.
- Ensayos de laboratorio: los datos obtenidos se observan en anexos los cuales datos serán recolectados mediante fichas o informes de laboratorios.

3.5.1.2. Normativas usadas

En la séptima tabla que se presenta en este documento, se realiza una breve enumeración de las diferentes normativas que han sido empleadas a lo largo del proceso de desarrollo de esta investigación.

Tabla 7

Normativas empleadas en el desarrollo de la investigación

Prueba o Ensayo	Norma Peruana	Norma Internacional
AGREGADOS. Método de prueba normativo para determinar el contenido total de humedad evaporativa en agregados mediante secado	NTP 339.185	ASTM C 566-97 ASTM D-2216
AGREGADOS. Obtención y preparación de las muestras	NTP 400.010	ASTM D 75:2009
AGREGADOS. Definición y categorización de los agregados destinados a la elaboración de morteros y concretos.	NTP 400.011	ASTM C637-98, ASTM C332-99, ASTM C330-05, ASTM C331-05
AGREGADOS. Análisis de la distribución de tamaños de partículas de los agregados finos y gruesos. Método de ensayo.	NTP 400.012	ASTM C 136:2006
AGREGADOS. Procedimiento de ensayo para la determinación de la masa por unidad de volumen, o densidad, comúnmente referida como "peso unitario", así como para la evaluación de los espacios vacíos presentes en los agregados.	NTP 400.017	ASTM C 29/C29M



GREGADOS. Evaluación de la densidad relativa (peso específico) y la capacidad de absorción del agregado fino. Método de ensayo.	NTP 400.022	ASTM C 128.12
AGREGADOS. Agregados para la confección de concreto. Especificaciones.	NTP 400.037	ASTM C99-99
AGREGADOS. Reducir las muestras de agregados al tamaño requerido para el ensayo	NTP 400.043	ASTM C702-98 (2003)
AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y capacidad de absorción del agregado grueso.	NTP 400.021	ASTM C127-88
CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos	NTP 334.009	-
CEMENTOS. Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño.	NTP 334.082	-
CONCRETO. Preparación y curado de muestras de concreto in situ. Práctica.	NTP 339.033	ASTM C403/C403M
CONCRETO. Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto en especímenes cilíndricos. Método de ensayo.	NTP 339.034	ASTM C39/C39M
CONCRETO. Agua de mezcla empleada en la fabricación de concreto a base de cemento hidráulico	NTP 339.088	ASTM C1602/C1602M
CONCRETO. Procedimiento para la preparación y el curado de muestras de concreto en un entorno de laboratorio.	NTP 339.183	-
CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico.	NTP 339.035	ASTM C 143/C143



CONCRETO. Evaluación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico en estado fresco. Método de ensayo.	NTP 339.184	ASTM C1064-99
CONCRETO. Procedimiento para la obtención y evaluación de núcleos diamantinos y secciones de vigas de concreto.	NTP 339.059	ASTM C42/C42M-20
Evaluación de la profundidad de carbonatación en un concreto endurecido utilizando el método de la fenolftaleína.	-	UNE-EN 14630:2007 (Norma Europea)
Selección de proporciones para hormigón de densidad normal y alta densidad - Guía	-	ACI 211.1
PRODUCTOS DE ACERO. Barras de acero al carbono, corrugadas, para refuerzo de concreto armado.	NTP 341.031:2018	ASTM A615/A615M

Nota. Elaboración propia.

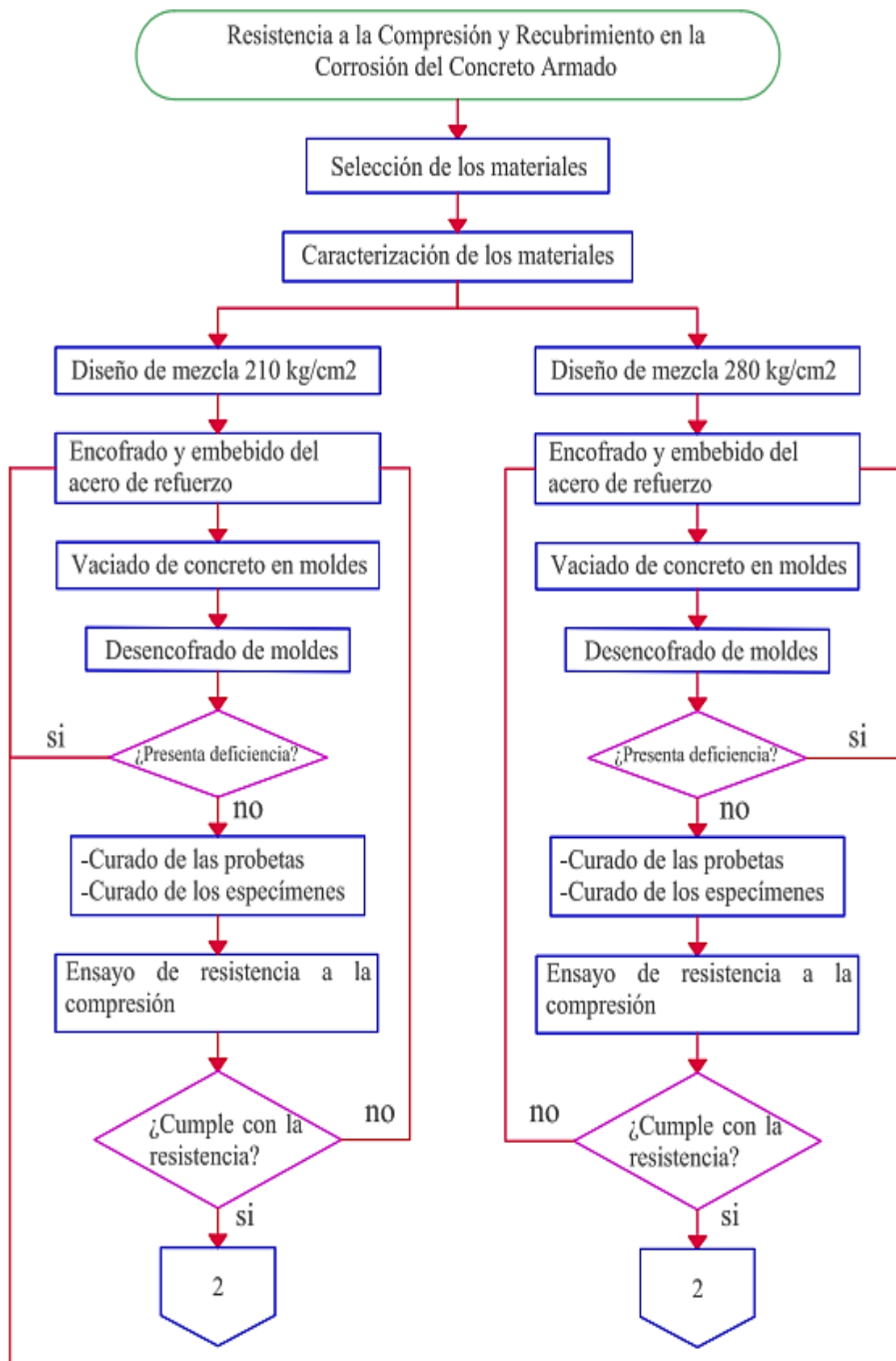
3.5.2. Metodología del trabajo

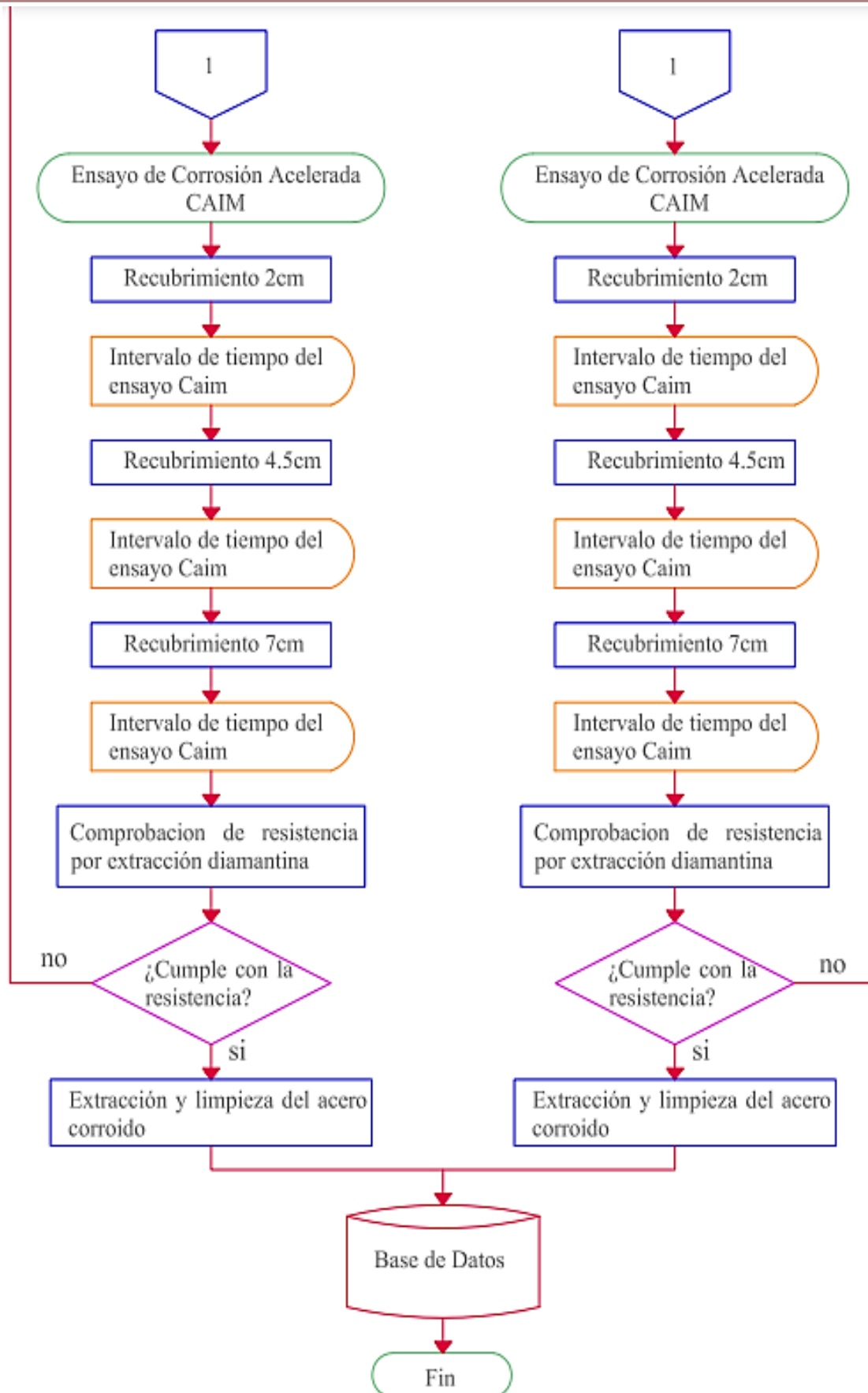
Se logró crear un flujograma que describe de manera detallada el proceso del desarrollo de la experimentación, así como también los pasos específicos que se llevaron a cabo para la recopilación de los datos necesarios. Este flujograma se elaboró con el objetivo de minimizar la posibilidad de cometer errores durante la realización de los distintos ensayos, prácticas y controles que fueron imprescindibles para el avance de esta investigación.

El diagrama de flujo se presenta a continuación en la figura 38, pero debido a su tamaño, se ha dividido en dos páginas.

Figura 38

Flujograma del desarrollo de esta investigación





3.6. Ejecución de la investigación

Para tener una adecuada ejecución del proyecto, se usará como base de procedimientos a desarrollar el flujograma que se puede apreciar en la figura 38, de este modo evitaremos cometer errores en el desarrollo y poder tener un buen control del proceso.

3.6.1. Selección de los materiales

Para que esta investigación sea la más semejante a la realidad, se usaran los materiales de mayor facilidad de acceso al público, los materiales más usados comúnmente.

3.6.1.1. Cemento

En nuestra construcción, hemos optado por utilizar el tipo de cemento que es fácilmente accesible en diversas ferreterías ubicadas en la ciudad de Juliaca. En particular, hemos decidido seleccionar el cemento RUMI IP, que tiene un peso de 42.5 kilogramos.

Figura 39

Cemento Rumi IP utilizado



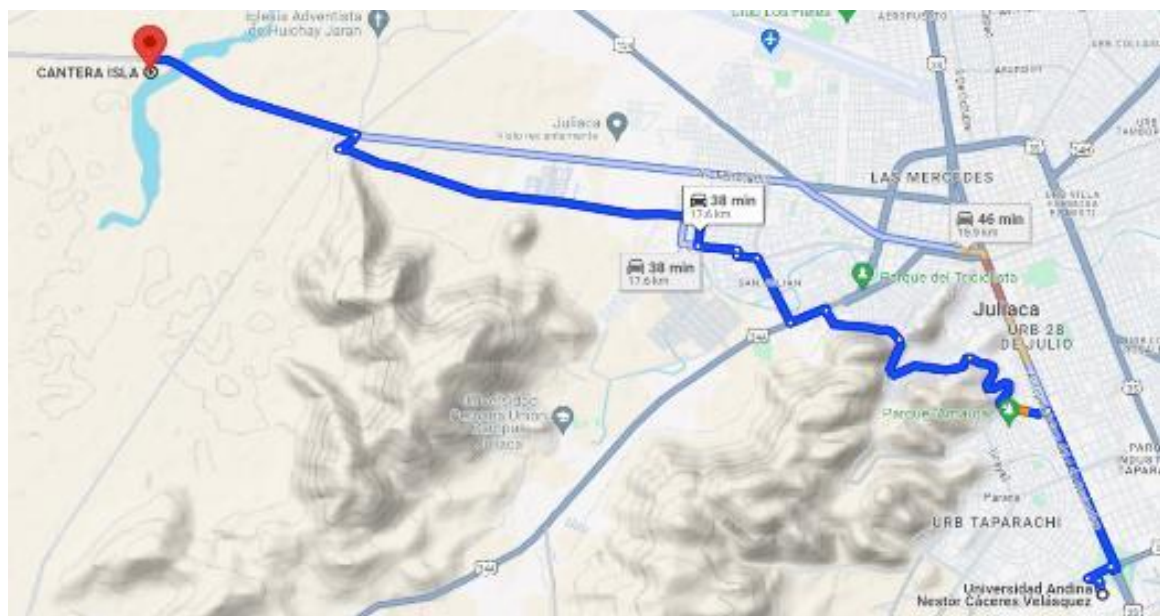
Nota. (YURA S.A., 2024)

3.6.1.2. Agregados

En la práctica habitual de la construcción, es bastante común utilizar hormigón como el material principal debido a sus propiedades y versatilidad. Por esta razón, los agregados que se emplean en la mezcla de hormigón generalmente se obtienen de ríos, donde suelen estar naturalmente mezclados, conteniendo tanto agregado fino como agregado grueso. Para llevar a cabo este experimento en particular, tomamos la decisión de tomar el agregado de una cantera que se encuentra en Isla, que es un caserío rural que se encuentra dentro del distrito de Juliaca. Este lugar se encuentra a unos 38 minutos del laboratorio donde procederemos a almacenar este objeto.

Figura 40

Ubicación de la cantera Isla



Nota. (Google Maps, 2024)

3.6.1.3. Agua

La ciudad de Juliaca, considerada de agua potable de alta calidad, es la fuente del agua que será utilizada en la producción del concreto. Es fundamental tener en cuenta que la misma agua será utilizada posteriormente en el proceso de curado del concreto, lo que garantiza la uniformidad y durabilidad del material.

3.6.1.4. Acero de refuerzo

Existen muchas marcas de aceros en el mercado local, en el estudio usaremos el acero SIDERPERU, según la norma NTP 341.031. Se uso acero de refuerzo de 1/2" esto debido a su demanda en la construcción

3.6.2. Procedimiento de diseño de mezclas 210 kg/cm² y 280 kg/cm²

En el proceso de elaboración de las dos mezclas en cuestión, se utilizaron exactamente los mismos materiales, lo que implica que las resistencias que se han obtenido, las cuales son de 210 kg/cm² y 280 kg/cm² de manera respectiva, están formadas por los mismos componentes que fueron empleados durante su fabricación. Esto asegura que cualquier variación en las características de resistencia se deba a factores distintos a la composición del material.

3.6.2.1. Preparación de la muestra

La extracción de la muestra es la primera etapa esencial de este proceso. Esta fase servirá de base para la futura separación de la muestra en dos tipos distintos de materiales, a saber, agregado fino y agregado grueso. El proceso de categorización de los distintos tamaños de áridos se ve facilitado por la utilización de determinados instrumentos, como tamices o cribas, que se emplean en el proceso de separación.

Figura 41

Separación de la muestra en agregado fino y agregado grueso



3.6.2.2. Reducción de la muestra para ensayos

Procederemos a llevar a cabo una separación adecuada y representativa de la muestra que contiene tanto el agregado grueso como el fino. Esta acción es fundamental para que podamos realizar los ensayos de laboratorio que son pertinentes y necesarios. El propósito de realizar estos ensayos es conseguir la información y los datos requeridos que nos permitan desarrollar un diseño de mezclas apropiado.

Figura 42

Muestreo del agregado fino y grueso



3.6.2.3. Ensayo granulométrico del agregado

En esta fase del proceso, se lleva a cabo el análisis granulométrico siguiendo los tamices que han sido previamente establecidos en la norma técnica de la NTP. Durante esta actividad, se registraron cuidadosamente los datos relacionados con el peso que se retiene en cada uno de los tamices utilizados, con el fin de realizar un análisis más detallado más adelante. Esta información va a ser crucial para poder graficar de manera precisa las curvas granulométricas que nos permitirán visualizar la distribución granulométrica de las partículas analizadas.

Figura 43

Un tamizado previo del agregado fino



3.6.2.4. Análisis granulométrico de áridos gruesos y finos

Tal como se mencionó y detalló en el procedimiento previo, y considerando que es esencial llevar a cabo el análisis granulométrico, se procederá a utilizar los datos que se han recopilado. De esta manera, se podrá lograr la elaboración de las curvas granulométricas subsiguientes.

Figura 44

Granulometría del agregado fino

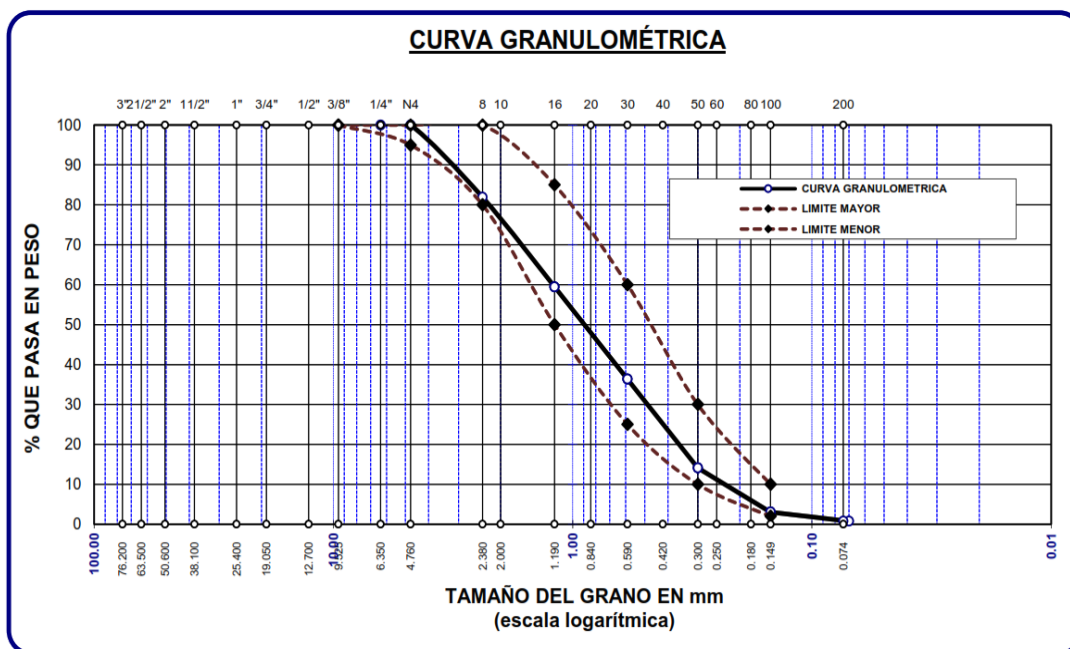
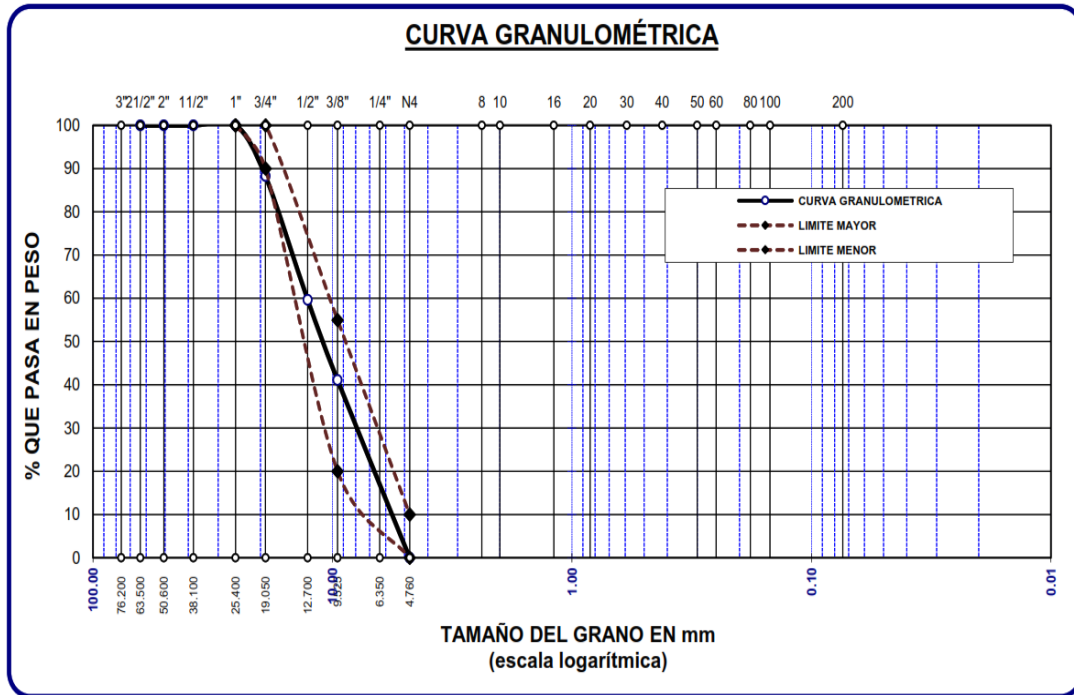


Figura 45

Granulometría del agregado grueso



3.6.2.5. Peso unitario del agregado fino y grueso

Figura 46

Compactación del agregado en el molde metálico con la varilla



A través de la elaboración detallada de este ensayo, seremos capaces de obtener información valiosa y relevante que nos permitirá establecer de manera precisa la

dosificación adecuada de la mezcla, de acuerdo a la resistencia específica que necesitamos lograr.

Figura 47

Enrasado y limpieza del molde para su posterior pesaje



Figura 48

Pesado del molde con agregado grueso y fino, el cual fue compactado



El desarrollo integral de estos ensayos se encuentra mejor especificado en las normas pertinentes. Debido a que la mayor parte de esta investigación no se centra en el diseño de una mezcla, sino en establecer qué componentes proporcionan la mejor protección al hormigón contra la corrosión, estos aspectos reciben muy poca atención. Es conocido que, en la mayoría de los proyectos, el diseño de mezclas es realizado por un especialista o un contratista externo, quien es responsable de suministrar el concreto.

3.6.2.6. Peso específico y absorción del agregado fino y grueso

Figura 49

Identificación de la masa del picnómetro y del proceso de secado en el horno



Figura 50

Inmersión del agregado fino en el picnómetro



Figura 51

El método de determinación de la cantidad de partículas gruesas presentes en el agua



Figura 52

Prueba de absorción de arena



Figura 53

Removido de la muestra perteneciente al tipo de agregado grueso del agua y su posterior secado



3.6.2.7. Contenido de Humedad

Como se pudo mencionar anteriormente el contenido de humedad nos ayuda a determinar y realizar las correcciones para la dosificación de agua que se necesitara para la confección de la mezcla de concreto, este ensayo ayuda a saber si el agregado absorberá agua o adicionara a la mezcla.

Figura 54

Secado de la muestra en el horno hasta obtener un peso constante



Figura 55

Contenido de humedad de los agregados



3.6.2.8. Elaboración y encofrado de los moldes según los recubrimientos a usar 2cm, 4cm y 7cm.

Para la elaboración de los encofrados utilizamos el encofrado metálico, el cual se tuvo que elaborar según las medidas necesarias respecto a los recubrimientos, esto se detalla mejor en la siguiente imagen 56 y 57, se usó un acero en forma de plancha de 2 mm de espesura, junto a unas tuercas para poder armar y desarmar el encofrado.

Figura 56

Boceto de los moldes metálicos

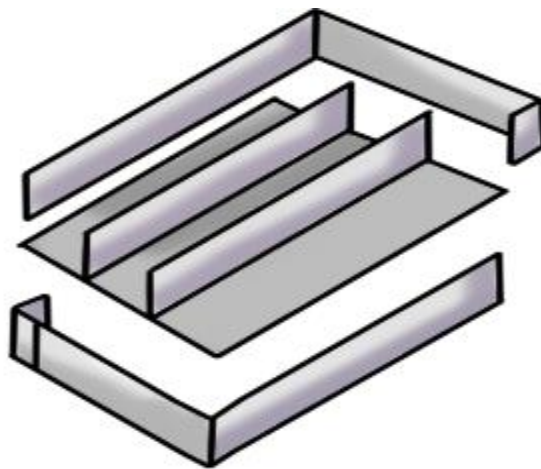
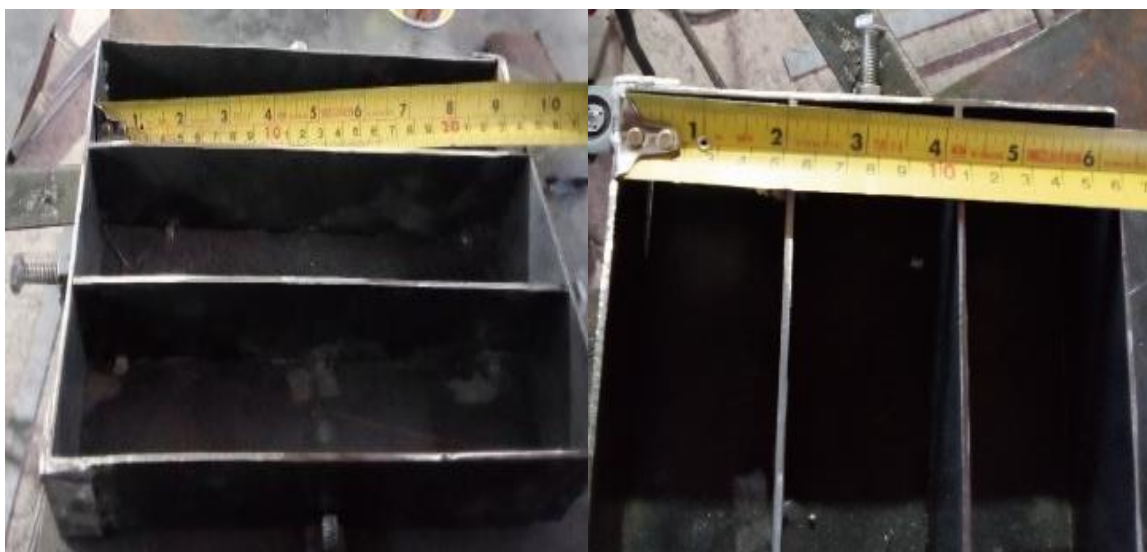


Figura 57

Comprobación de las medidas del encofrado metálico



3.6.2.9. Control de peso de varillas de acero de refuerzo

Como mencionamos anteriormente las varillas de aceros a usar son de la empresa SIDERPERU, adquirida una varilla se procedió a cortar en trozos de 20 cm cada una, por lo que usamos un total de 18 varillas de 1/2" de 20 cm de largo, para tener el control del peso de cada varilla se pesó cada una de ellas enumerándola según el código de estudio correspondiente, esto se detalla mejor en la imagen 58, y los pesos de cada varilla se muestran en la tabla 8.

Figura 58

Codificación de los aceros de refuerzo

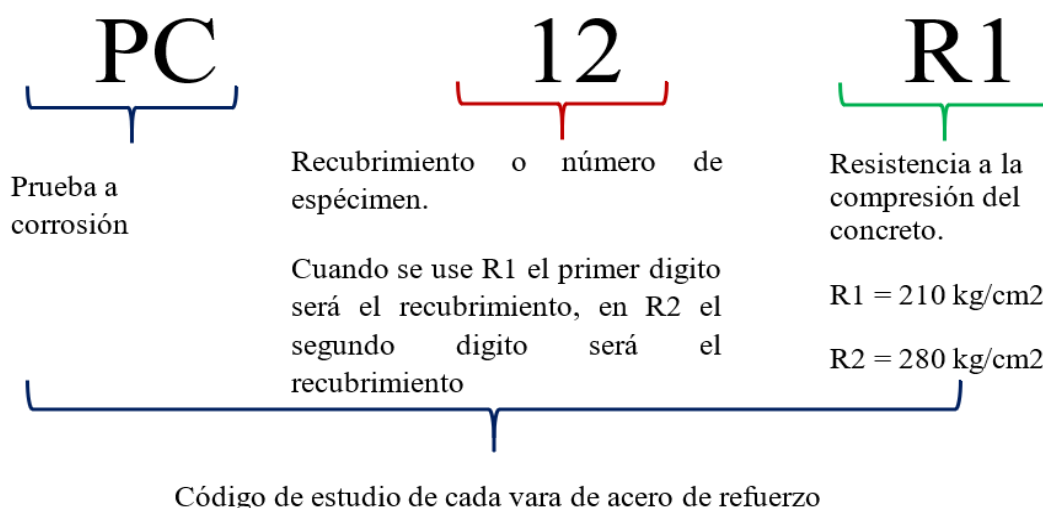


Tabla 8

Masa de las varillas de acero de refuerzo R1

Código	Recubrimiento	Longitud	Peso inicial
PC21R1	2 cm	19.9 cm	187.13 gr
PC22R1	2 cm	19.8 cm	187.05 gr
PC23R1	2 cm	20.0 cm	186.82 gr
PC41R1	4.5 cm	19.9 cm	188.45 gr
PC42R1	4.5 cm	19.9 cm	189.73 gr
PC43R1	4.5 cm	19.9 cm	187.74 gr
PC71R1	7 cm	19.9 cm	188.42 gr
PC72R1	7 cm	19.9 cm	186.47 gr
PC73R1	7 cm	19.9 cm	187.47 gr

Tabla 9*Masa de las varillas de acero de refuerzo R2*

Código	Recubrimiento	Longitud	Peso inicial
PC12R2	2 cm	19.9 cm	186.79 gr
PC22R2	2 cm	19.8 cm	187.10 gr
PC32R2	2 cm	20.0 cm	186.18 gr
PC14R2	4.5 cm	19.9 cm	188.27 gr
PC24R2	4.5 cm	19.9 cm	189.77 gr
PC34R2	4.5 cm	19.9 cm	187.07 gr
PC17R2	7 cm	19.9 cm	188.02 gr
PC27R2	7 cm	19.9 cm	186.34 gr
PC37R2	7 cm	19.9 cm	187.65 gr

Figura 59*Longitud de aceros de refuerzo*

Figura 60

Masa de las varillas de acero



3.6.2.10. Conexión de cables en las varillas para el ensayo de corrosión acelerada.

Este procedimiento implicó usar cable N°12 para poder someter a contacto de corriente continua al acero y de este modo poder inducir a la corrosión las varillas de acero, el tipo de conexión puede ser recto, en espiral, cable pelado entero o con recubrimiento del aislante por partes, se demostró que esto no afecta en la inducción de la corrosión al acero, según el Ensayo CAIM.

Figura 61

Pelado de cable N°12 para su conexión a la varilla de acero de \varnothing 1/2"



Figura 62*Conexión del cable de cobre al acero de refuerzo*

3.6.2.11. Diseño de mezcla patrón

En el caso de que se haya finalizado la fase de comprobación de la caracterización del árido y se haya realizado un estudio exhaustivo de estos componentes, será factible determinar las proporciones adecuadas que serán necesarias para la preparación de la mezcla. Los requisitos de resistencia exigidos son 210 kg/cm² y 280 kg/cm², respectivamente, y estas proporciones son aproximaciones basadas en esos criterios. Además, la dosificación adecuada de los componentes, expresada en función de su peso, puede consultarse en la Tabla 10.

Tabla 10*Dosificación de concreto*

Agregado	Dosificación 210 kg/cm ²	Dosificación 280 kg/cm ²
Cemento	42.5	42.5
Agregado fino húmedo	81.42	61.51
Agregado grueso húmedo	112.46	93.92
Agua efectiva	27.87	20.06

Nota. Dosificación está en kg por m³ de concreto.

3.6.2.12. Vaciado del concreto

El procedimiento de vaciado se lleva a cabo después de haber completado el proceso de mezclado de los agregados, que incluyen tanto los de tamaño grueso como aquellos de tamaño fino. En esta etapa, se añade agua y cemento de acuerdo con las especificaciones que establece el diseño de mezclas. Para realizar este trabajo, utilizamos una máquina especial destinada a la mezcla; en este caso particular, optaremos por una pequeña mezcladora eléctrica que tiene la capacidad de manejar media bolsa de cemento por vez. Es importante mencionar que el tiempo que se requiere para asegurar un mezclado adecuado es, aproximadamente, de al menos dos minutos. Una vez que se ha finalizado el proceso de mezcla del concreto, se avanza a la etapa en la que se vierte la mezcla en los moldes que han sido cuidadosamente preparados de acuerdo con los recubrimientos que se planea utilizar. En este momento crucial, se procede a insertar el acero de refuerzo dentro del encofrado, que está hecho de acero. Una cosa que debe tenerse en cuenta es que el acero de refuerzo tiene un cable que está unido a él. Este cable proporcionará la disponibilidad de la energía necesaria para llevar a cabo la prueba conocida como CAIM.

Figura 63

Cantidades de material necesarias para la confección del concreto



Figura 65

Limpieza de moldes metálicos para preparar el vertido en el futuro



Figura 64

Mezclado del concreto



Figura 67

Vaciado del concreto en moldes según recubrimiento



Figura 66

Culminación del vaciado de concreto



3.6.2.13. Control de calidad del hormigón

Como se pudo detallar capítulos anteriores, el control del concreto es una variable muy importante en la calidad del concreto, si es verdad, existen diversos métodos de control para asegurar un concreto de calidad, en esta investigación se utilizó los ensayos más comunes y de fácil procedimiento de control. Dentro de estos controles de calidad tenemos el ensayo de asentamiento, el cual nos determina la consistencia de la mezcla y si este cumple según el diseño de mezclas. Tenemos también el ensayo de temperatura, el cual es muy importante para evitar el fisuramiento. Por último, tenemos la determinación del pH del agua mediante el papel tornasol.

Figura 69

Proceso del ensayo de asentamiento



Figura 68

Ensayo de temperatura donde se tomó la medición de 17.6°C



Figura 70

Determinación del pH del agua mediante el papel tornasol



3.6.2.14. Desencofrado de los especímenes

Terminado el proceso de vaciado de concreto, posteriormente se empieza a desencofrar los moldes para obtener los especímenes de estudio, en este proceso se comprueban las medidas y si estos presentan defectos para desecharlos y elaborar otros especímenes que cumplan con los recubrimientos.

Figura 71

Desencofrado de los especímenes



Figura 72

Especímenes de Estudio desencofrados



Figura 73

Especímenes desencofrados para desarrollar el estudio



Figura 74

Comprobación de medidas de los especímenes según su recubrimiento



Figura 75

Etiquetado según la codificación del acero embebido en el concreto



3.6.2.15. Curado de los especímenes

Culminado el proceso de desencofrado, trasladamos los especímenes de estudio a las pozas de agua, para realizar el proceso de curado. Es importante mencionar que las briquetas solo estarán en un lapso de tiempo de 7, 14 y 28 días. Los especímenes estarán en curado por el tiempo de 7 días, esto a razón de, que se asemeja a la realidad en los procesos constructivos de la región.

Figura 76

Curado de briquetas y especímenes



3.6.2.16. Ensayo de resistencia a la compresión

Para ayudarnos a evaluar y determinar la resistencia a la compresión del hormigón en las distintas fases de curado, el objetivo principal de este ensayo es proporcionarnos información relevante. Para llevar a cabo esta evaluación, se realizarán ensayos a las edades precisas de siete, catorce y veintiocho días, momentos especialmente importantes en el desarrollo de las propiedades del hormigón. Se ha determinado la generación de un total de cuatro probetas cilíndricas para cada una de estas edades especificadas. Estas probetas se utilizarán en el método de ensayo para garantizar que los resultados de la resistencia del material sean precisos y representativos.

Figura 77

Fallas en las briquetas posteriores al ensayo de compresión



Figura 78

Evaluación de la resistencia a la compresión



Para poder llevar a cabo la recolección de los datos que se obtendrán y que serán analizados en una fase posterior, será esencial contar con los instrumentos y herramientas adecuados. Según los ensayos que han sido realizados, se logró obtener información acerca de las resistencias en función de los distintos días de curado. Esta técnica utilizó dos tipos diferentes de resistencias, que son 210 kg/cm² y 280 kg/cm², respectivamente. Es esencial tener en cuenta que se utilizaron estas resistencias. Las ventajas que se han recogido y examinado a lo largo de esta investigación son fácilmente evidentes y pueden observarse en las tablas que se presentarán en los párrafos siguientes. Dado que estas tablas se han agrupado adecuadamente según los distintos días de curado, es posible tener una mejor comprensión de los datos que se obtuvieron durante el experimento.

Tabla 11*Prueba de Resistencia a los 7 días para un diseño de 210 kg/cm²*

Muestra	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad en días	Esfuerzo de Rotura kg/cm ²	%
M- 1	04/03/2024	11/03/2024	7	152.64	72.69%
M- 2	04/03/2024	11/03/2024	7	145.81	69.43%
M- 3	04/03/2024	11/03/2024	7	152.44	72.59%
M- 4	04/03/2024	11/03/2024	7	149.85	71.36%
Promedio					71.52%

Nota. Esta es la edad que se comparara con la prueba a diamantina para corroborar la resistencia según el curado obtenido.



Tabla 12

Prueba de Resistencia a los 14 días para un diseño de 210 kg/cm²

Muestra	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad en días	Esfuerzo de Rotura kg/cm ²	%
M- 5	04/03/2024	18/03/2024	14	191.64	91.26%
M- 6	04/03/2024	18/03/2024	14	190.78	90.85%
M- 7	04/03/2024	18/03/2024	14	194.00	92.38%
M- 8	04/03/2024	18/03/2024	14	185.54	88.35%
Promedio					90.71%

Tabla 13

Prueba de Resistencia a los 28 días para un diseño de 210 kg/cm²

Muestra	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad en días	Esfuerzo de Rotura kg/cm ²	%
M- 9	04/03/2024	01/04/2024	28	227.54	108.65
M- 10	04/03/2024	01/04/2024	28	220.67	105.08
M- 11	04/03/2024	01/04/2024	28	218.84	104.21
M- 12	04/03/2024	01/04/2024	28	223.85	106.59
Promedio					106.06

Tabla 14*Prueba de Resistencia a los 7 días para un diseño de 280 kg/cm²*

Muestra	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad en días	Esfuerzo de Rotura kg/cm ²	%
M- 1	04/03/2024	11/03/2024	7	185.68	66.31%
M- 2	04/03/2024	11/03/2024	7	189.81	67.79%
M- 3	04/03/2024	11/03/2024	7	190.16	67.91%
M- 4	04/03/2024	11/03/2024	7	191.75	68.48%
Promedio					67.62%

Tabla 15*Prueba de Resistencia a los 14 días para un diseño de 280 kg/cm²*

Muestra	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad en días	Esfuerzo de Rotura kg/cm ²	%
M- 5	04/03/2024	18/03/2024	14	238.91	85.33%
M- 6	04/03/2024	18/03/2024	14	235.56	84.13%
M- 7	04/03/2024	18/03/2024	14	243.82	87.08%
M- 8	04/03/2024	18/03/2024	14	232.52	83.04%
Promedio					84.89%

Tabla 16*Prueba de Resistencia a los 28 días para un diseño de 280 kg/cm²*

Muestra	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad en días	Esfuerzo de Rotura kg/cm ²	%
M- 9	04/03/2024	01/04/2024	28	274.43	98.01%
M- 10	04/03/2024	01/04/2024	28	285.41	101.93%
M- 11	04/03/2024	01/04/2024	28	282.17	100.78%
M- 12	04/03/2024	01/04/2024	28	291.16	103.98%
				Promedio	101.18%

3.6.2.17. Inducción de los especímenes mediante el ensayo acelerado de corrosión CAIM

Después de haber completado el proceso de vertido del hormigón, que se llevó a cabo de acuerdo con el diseño de la mezcla que se había establecido en el pasado y los requisitos específicos de resistencia a la compresión que eran necesarios para este proyecto, que son 210 kg/cm² y 280 kg/cm², hemos vertido el hormigón en moldes que se han diseñado para representar los revestimientos que se solicitan con más frecuencia en diversas obras de construcción. Llegados a este punto, procederemos a desarrollar o inducir una atmósfera hostil que imite las condiciones a las que se verá sometido el proyecto o la obra terminada una vez puesta en uso. Si tuviéramos que contemplar el hábitat que nos resulta más hostil, sería aquel que se encuentra sumergido en el agua o a nivel del mar, y estaría en contacto directo con el agua.

Según lo que propone (da Silva Torres, 2006), el ensayo CAIM tiene algunas variables a la hora de realizarse, como el tipo de conexión, sumergido total o parcial, intensidad de corriente continua, su investigación tiene como objetivo normalizar este ensayo, por lo cual se contemplaron los diversos factores que podrían causar inconvenientes, gracias a su investigación se puede usar este ensayo de manera adecuada, para poder realizar estudios de gran importancia.

Figura 79

Fuente de poder de corriente continua de 80V



Figura 80

Preparación del electrolito en el recipiente de vidrio



Figura 81

Se da inicio a la prueba CAIM con los recubrimientos menores de 2cm



Figura 82

Oxido del acero en contacto con la corriente mediante el electrolito

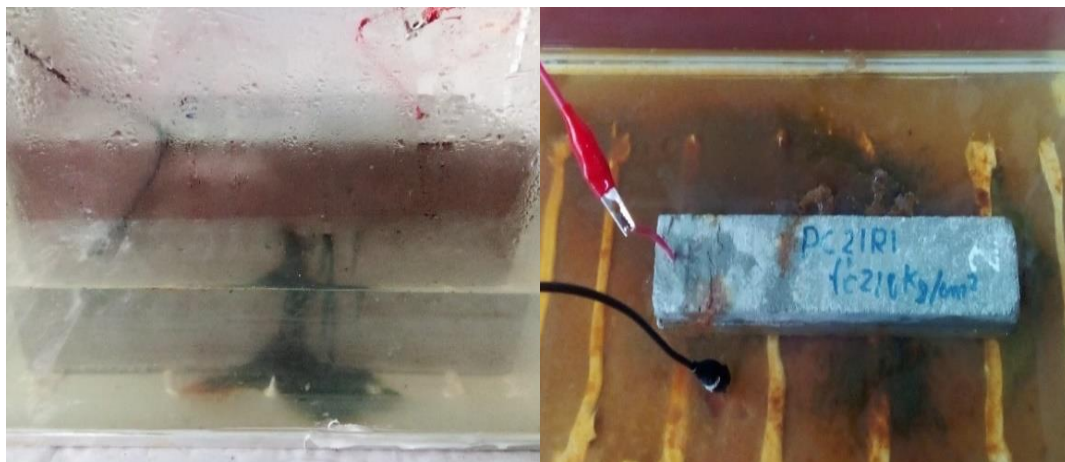
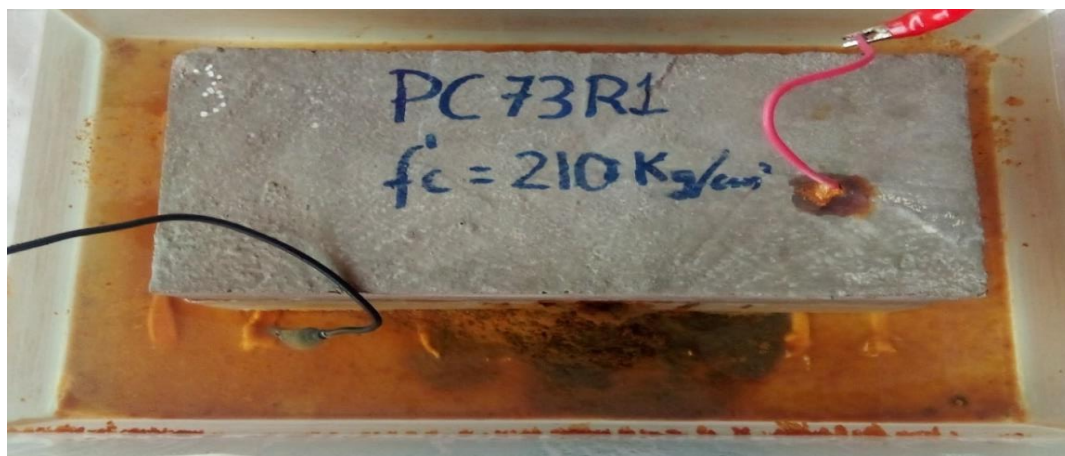


Figura 83

Se culmino la prueba CAIM con los especímenes más voluminosos



3.6.2.18. Observación de las ocurrencias del ensayo acelerado de corrosión CAIM

En este punto de la investigación se pudo apreciar las fisuras que son provocadas por la expansión del óxido producida por la corrosión del acero, las cuales a su vez dan un color rojizo o anaranjado en el concreto, se puede deducir que sería el caso más extremo de exposición a la intemperie del concreto armado, las fisuras facilitan el proceso de aceleración de la corrosión, a su vez se puede apreciar que esto varía de acuerdo a su recubrimiento y resistencia a la compresión.

Figura 84

Fisura en la parte inferior izquierda

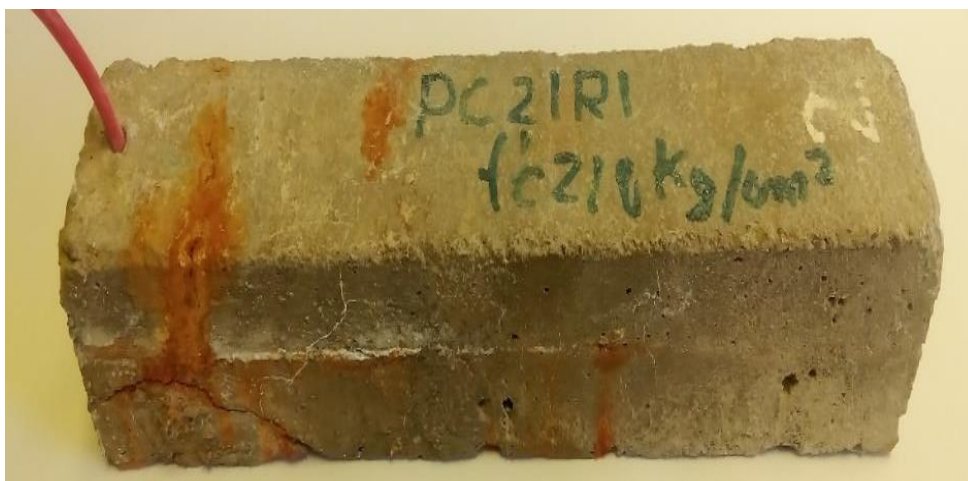


Figura 85

La parte inferior de PC21R1



Figura 86

Especimen PC34R2 posterior al ensayo CAIM



3.6.2.19. Control por perforación diamantina de los especímenes en relación al diseño y tiempo de curado

Como medida de control de acuerdo con el tiempo de curado, que es de siete días, se tomó la decisión de utilizar la perforación con diamante para evaluar la resistencia a la compresión de las probetas de estudio. Sin embargo, la razón principal de esta decisión es que la probeta PC73R2 no presenta grietas ni una coloración rojiza y, en consecuencia, queríamos determinar si la resistencia tenía o no algo que ver con el fenómeno descrito.

Figura 87

Extracción diamantina



Figura 88

Ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas desmontadas



Terminado de realizar el ensayo de compresión a razón de ser extraídos mediante la perforación diamantina, los especímenes de estudios que se analizaron solo pudieron ser los cuales poseen un recubrimiento de 7.5 cm, esto se debe a que es el tamaño mínimo donde puede penetrar la broca para la extracción de una muestra cilíndrica. Por lo que se tiene como resultados según la tabla.

Tabla 17

Discrepancia entre las resistencias de especímenes con 210 kg/cm² de resistencia

Muestra	Esfuerzo a la compresión obtenida por perforación kg/cm ²	Esfuerzo a la compresión según briquetas kg/cm ²	Diferencia
PC71R1	169.68	150.19	19.49
PC72R1	163.97	150.19	13.78
PC73R1	177.94	150.19	27.75
		Promedio	20.34

Tabla 18*Discrepancia entre las resistencias de especímenes con 280 kg/cm² de resistencia*

Muestra	Esfuerzo a la compresión obtenida por perforación kg/cm ²	Esfuerzo a la compresión según briquetas kg/cm ²	Diferencia
PC17R2	250.65	189.35	61.30
PC27R2	249.02	189.35	59.67
PC37R2	250.85	189.35	61.50
		Promedio	60.82

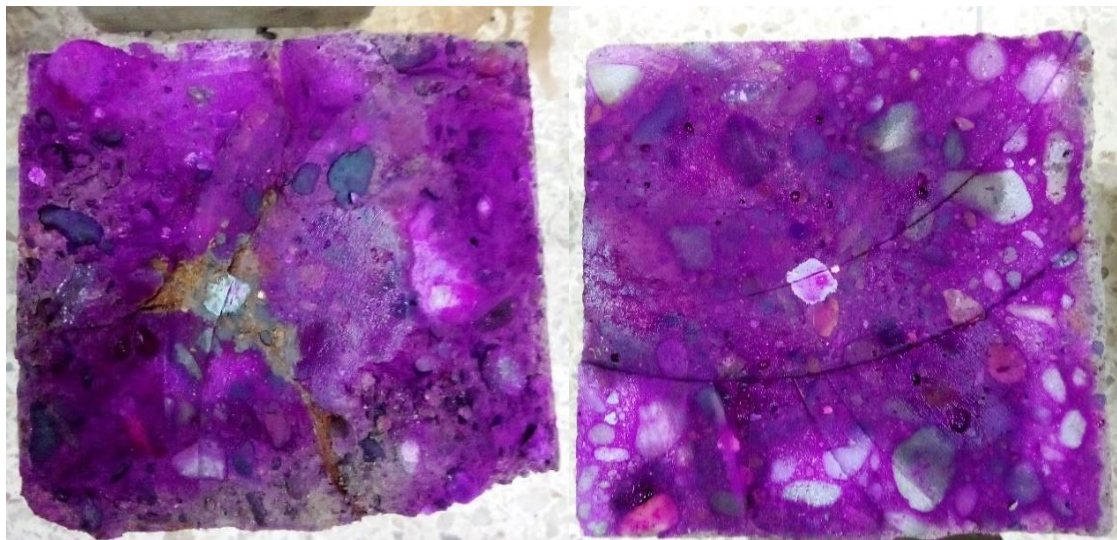
3.6.2.20. Ensayo de carbonatación

Se decidió llevar a cabo un ensayo de carbonatación con el objetivo de determinar si los especímenes que están recubiertos con una capa de 7 centímetros evidencian la presencia de carbonatación, utilizando para ello la aplicación de fenolftaleína como indicador.

Figura 89*Ensayo de carbonatación por fenolftaleína*

Figura 90

Carbonatación del concreto que recubre el acero de refuerzo



3.6.2.21. Extracción del acero de refuerzo

Una vez que hemos completado el proceso de corrosión acelerada, el siguiente paso consiste en proceder a la extracción de los aceros que se han corroído y que se encuentran dentro del concreto. Para realizar esta tarea, utilizamos un método que implica la destrucción controlada del material, en el cual emplearemos una amoladora acompañada de un disco de corte diseñado específicamente para trabajar con concreto. Después de realizar este corte, el concreto será destruido, lo que permitirá facilitar significativamente la extracción del acero que ha quedado embebido en su interior.

Figura 91

Extracción destructiva



Figura 93

Extracción del acero en un recubrimiento de 7 cm con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$



Figura 92

Extracción de acero de refuerzo corroído en un recubrimiento de 4 cm con $f'c=210\text{kg/cm}^2$



3.6.2.22. Limpieza de los aceros extraídos

Después de llevar a cabo la extracción del acero, se procede a realizar una limpieza utilizando una lija o un cepillo que tenga cerdas de acero. A continuación, se aplica un removedor especializado para el óxido, que facilitará el proceso de eliminación de cualquier óxido que esté presente en la superficie del acero. Una vez completado este paso, es necesario secar el acero adecuadamente y, posteriormente, realizar otra limpieza utilizando de nuevo un cepillo de cerdas de acero. Este procedimiento tiene como objetivo asegurar la eliminación total del óxido que podría estar adherido a la barra de acero.

Figura 94

Aceros extraídos según su resistencia a la compresión del concreto



En el amplio mercado actual, se pueden encontrar una variedad de productos diseñados específicamente para la eliminación del óxido, pero debido a su fácil disponibilidad y accesibilidad, hemos decidido optar por utilizar el producto conocido como Chema. Este producto no solo es fácil de encontrar, sino que también proporciona instrucciones claras y precisas sobre cómo aplicarlo de manera efectiva.

Figura 96

Removedor de oxido



Figura 95

Aplicación del removedor de oxido



Culminado el tiempo de espera que recomienda el producto removedor de oxido que es de 15 a 20 minutos, se retiran las varillas corrugadas y se limpian o secan con un trapo para el posterior cepillado para remover el oxido restante.

Figura 97

Removiendo el óxido del acero



Nota. Se puede observar que la varilla esta limpia de cualquier óxido o herrumbre.

3.6.2.23. Control de peso del acero de refuerzo inducido a corrosión

Una vez que hemos completado por completo todo el proceso de limpieza exhaustiva, pasamos a la siguiente etapa en la que procedemos a pesar el acero, después de que este haya sido sometido a un tratamiento de corrosión acelerada.

Figura 98

Obtención de la masa del acero posterior a la corrosión



**Tabla 19***Masa final de los aceros de refuerzo, posterior a la corrosión de R1*

Código	Recubrimiento	Longitud	Peso final
PC21R1	2 cm	19.9 cm	164.15 gr
PC22R1	2 cm	19.8 cm	165.14 gr
PC23R1	2 cm	20.0 cm	162.45 gr
PC41R1	4.5 cm	19.9 cm	167.53 gr
PC42R1	4.5 cm	19.9 cm	170.62 gr
PC43R1	4.5 cm	19.9 cm	168.13 gr
PC71R1	7 cm	19.9 cm	184.57 gr
PC72R1	7 cm	19.9 cm	182.78 gr
PC73R1	7 cm	19.9 cm	184.22 gr

Tabla 20*Masa final de los aceros de refuerzo, posterior a la corrosión de R2*

Código	Recubrimiento	Longitud	Peso final
PC12R2	2 cm	19.9 cm	163.75 gr
PC22R2	2 cm	19.8 cm	167.12 gr
PC32R2	2 cm	20.0 cm	168.79 gr
PC14R2	4.5 cm	19.9 cm	185.27 gr
PC24R2	4.5 cm	19.9 cm	184.77 gr
PC34R2	4.5 cm	19.9 cm	189.07 gr
PC17R2	7 cm	19.9 cm	187.02 gr
PC27R2	7 cm	19.9 cm	188.34 gr
PC37R2	7 cm	19.9 cm	187.65 gr



3.7. Validez y confiabilidad del instrumento

3.7.1. Validez del instrumento

A través de una serie de pruebas y procesos que se llevaron a cabo, los cuales están de acuerdo con la norma que es aplicable, se ha confirmado y asegurado la credibilidad y validez de los resultados que se alcanzaron durante el proceso de realización de la investigación. La validación y certificación de los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión se realiza de acuerdo a las especificaciones que señala la norma técnica peruana NTP 339.034.

El recubrimiento se certifica por una simple medición, ya que no requiere mucha ciencia y puede ser medido en cualquier parte y con cualquier instrumento, obteniendo siempre la misma medida.

3.7.2. Confiabilidad del instrumento

Con el objetivo de asegurar la fiabilidad y precisión de los instrumentos que se utilizan en distintas mediciones y actividades, estos dispositivos son empleados de acuerdo con lo que especifican las normativas correspondientes. Estas normativas proporcionan una serie de procesos que deben ser reproducibles para asegurar resultados consistentes. Las técnicas indicadas son llevadas a cabo por equipos que han sido debidamente calibrados en la universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, ubicada en la ciudad de Juliaca, y son operadas por profesionales altamente calificados en su campo. Estos instrumentos son cuidadosamente calibrados y reciben un mantenimiento regular y meticuloso, lo que garantiza la obtención de datos que son altamente confiables y precisos.



3.8. Diseño estadístico

3.8.1. Prueba t para muestras independientes y relacionadas

(Dr. Hernández Sampieri et al., 2014) Se trata de un estudio que se basa en métodos estadísticos y que se ha construido meticulosamente con el fin de determinar si existen o no diferencias consideradas significativas entre las medias de dos grupos separados, con respecto a una variable específica que se está analizando. A diferencia de la hipótesis nula, que afirma que no pueden detectarse diferencias significativas entre los grupos investigados, la hipótesis de investigación afirma que existen diferencias notables y significativas entre los numerosos grupos evaluados.

Variables: Al realizar la comparación, sólo se tiene en cuenta una variable, que suele denominarse variable dependiente en términos teóricos. Cuando existan numerosas variables, se llevarán a cabo varias pruebas t , realizándose una prueba t para cada par de variables. Una posible explicación de la creación de un grupo es que se basa en una variable independiente. Por ejemplo, un experimento de control es un tipo de diseño experimental que implica la comparación de dos grupos. En este tipo de experimento, se administra un estímulo experimental a uno de los grupos, mientras que no se administra al otro grupo. Existe una correlación entre el grado de medición de la variable que se compara y los intervalos o proporciones. A la hora de calcularlo e interpretarlo, el valor t se obtiene mediante software estadístico, y la determinación manual del valor t ha quedado cada vez más obsoleta. Estas herramientas estadísticas, como SPSS/PASW, proporcionan una tabla que muestra diversos resultados, siendo el valor t y el nivel de significación que le corresponde lo más importante para la interpretación.

3.8.2. Diseño de contrastación de hipótesis

La recogida de datos se llevó a cabo teniendo en cuenta los objetivos previamente establecidos. Para llevar a cabo este proceso fue necesario realizar los siguientes procedimientos.



3.8.2.1. Tratamiento de datos

La evaluación detallada y exhaustiva de la información que se encuentra en los datos fue realizada empleando una computadora personal, junto con diversos programas de software, incluyendo Microsoft Word para facilitar la documentación de los hallazgos, Excel para llevar a cabo operaciones y análisis numéricos, y finalmente, SPSS Versión 28.0, que se utilizó específicamente para la ejecución de cálculos estadísticos complejos. Los resultados obtenidos se validaron meticulosamente mediante un exhaustivo procedimiento de comparación con el marco teórico preexistente y los índices de confianza especificados en la bibliografía sobre la validación de hipótesis.

Con los siguientes momentos:

- a. **Tablas de distribución de frecuencias.**- Los datos recopilados se representan a través de tablas de distribución de frecuencias.
- b. **Creación de representaciones gráficas estadísticas.**- Las representaciones visuales, como los diagramas de barras y los histogramas, que permiten interpretar mejor los datos de frecuencia, se utilizan para enriquecer y complementar las tablas que representan la distribución de frecuencias. Esto permite una comprensión más precisa de los datos de frecuencia.
- c. **Medidas de tendencia central y dispersión.**- En los casos en que se consideró necesario y pertinente, se utilizaron numerosas medidas de tendencia central universalmente aceptadas y de uso común en el análisis de datos. Un ejemplo de este tipo de medida es la media aritmética. Además, se calcularon otros índices estadísticos, como la varianza, que es una medida de la dispersión de los datos; la desviación típica, que es una medida de la cantidad de variabilidad; y el coeficiente de variación, que es una relación entre la desviación típica y la media, que facilita la interpretación de la distribución de los datos. Además, se calculó la varianza.



Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i n_i}{n}$$

Varianza

$$S^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 n_i}{n - 1}$$

Desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2}$$

3.8.2.2. Prueba de hipótesis

a) Hipótesis estadística:

Ha: Se determinó que la resistencia a la compresión es el que más influye en la corrosión del concreto armado, determinando mejor resistencia de 280 kg/cm² para evitar la corrosión.

Ho: No se determinó que la resistencia a la compresión es el que más influye en la corrosión del concreto armado, para usar la resistencia de 280 kg/cm² para evitar la corrosión.

b) Determinación del margen de error:

$$\alpha = 0,05$$

c) Pruebas de inferencia estadística

Prueba "t" de estudent para muestras independientes.

Cordova Zamora (2006) Con el fin de determinar el nivel de eficacia entre el grupo de control y el grupo experimental.



$$t = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\sqrt{\frac{SC_1 + SC_2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

t: Prueba t de student

\bar{Y}_1 ; \bar{Y}_2 : Representan las medias de los grupos de control y experimental, respectivamente

n_1 ; n_2 : Número de elementos en los grupos de control y experimental, respectivamente

SC_1 ; SC_2 : Suma los cuadrados que pertenecen al grupo de control y al grupo experimental, según corresponda.

Prueba "t" de estudent para muestras relacionadas

Cordova (2006) Seleccionamos una muestra aleatoria de n datos emparejados y correlacionados de poblaciones que siguen una distribución normal. A continuación, esta muestra se correlaciona con los datos.

Podemos concebir esta n diferencias:

$$D_1 = x_1 - y_1; D_2 = x_2 - y_2; D_3 = x_3 - y_3; \dots D_n = x_n - y_n$$

Se eligió una muestra aleatoria de una población de diferencias, denotada por la ecuación $D = x - y$, y la distribución era normal:

$$N(\mu_D; \sigma^2_D) \text{ con media } \mu_D = \mu_1 - \mu_2; \text{ y varianza: } \sigma^2_D = \sigma^2_1 + \sigma^2_2 - \text{cov}(x; y)$$

Considerando:

$$t = \frac{\bar{D} - (\mu_1 - \mu_2)}{\frac{\hat{S}_D}{\sqrt{n}}}$$

$$\tilde{s}_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

Análisis de Varianza

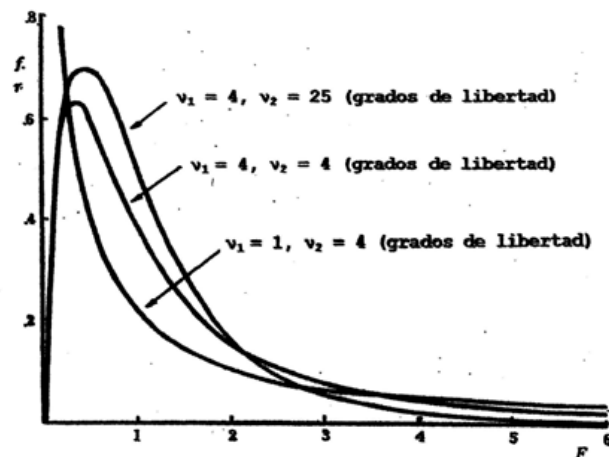
El análisis de la varianza, también denominado ANOVA, es un método que se utiliza con el fin de comparar varias medias. Una de las aplicaciones más fundamentales del análisis de la varianza (ANOVA) es analizar varios tratamientos para determinar si las medias son comparables o no. A diferencia de la prueba t de Student, que se ocupa principalmente de comparar dos poblaciones ($H_0: \mu_1 = \mu_2$), el análisis de la varianza (ANOVA) investiga tres o más distribuciones y emplea el estadístico F. El modelo más simple de ANOVA se centra en analizar la igualdad de más de dos promedios, lo que implica estudiar los efectos de varios tratamientos bajo la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$. Es decir, que las varianzas entre los promedios son iguales a cero ($\sigma^2\mu = 0$).

Aunque su enfoque es comparar promedios, ANOVA realmente analiza la varianza entre las poblaciones.

Las características y suposiciones del análisis de varianza (ANOVA) son las siguientes:

- El ANOVA utiliza la distribución F para realizar las pruebas. Esta distribución no es simétrica, sino que presenta una asimetría, inclinándose hacia la derecha.
- Los valores de F siempre son positivos o cero, pero nunca negativos.
- En el marco del análisis de varianza (ANOVA), la prueba de hipótesis que se lleva a cabo es unilateral, lo cual significa que está enfocada o dirigida hacia un lado específico, concretamente hacia la derecha.
- En el ámbito de la estadística, es posible afirmar que, para cualquier combinación concebible de grados de libertad, existe una distribución específica F que se ajusta a las circunstancias precisas que se están considerando. En el ámbito del análisis estadístico, se utiliza la notación especial v_1 para referirse a

los grados de libertad que corresponden al numerador de la fracción. Por otro lado, la notación v_2 se utiliza para denotar los grados de libertad del denominador. El gráfico que sigue proporciona una representación visual de esta relación e ilustra su existencia.



Nota. Walpole E.R & Raymond. H. Myres (1993)

- Se recomienda que las poblaciones sigan una distribución normal.
- Es fundamental que las diferentes poblaciones a comparar posean una varianza o desviación estándar que sea equivalente o, en otras palabras, que mantengan una consistencia en sus medidas de dispersión. En el caso de que esta condición no se satisfaga o no se verifique adecuadamente, la validez de la prueba F se ve comprometida, lo que implica que es necesario considerar la utilización de un tipo diferente de prueba para evaluar la hipótesis planteada.
- Las muestras deben ser aleatorias e independientes entre sí.

Nota: En casos donde no es posible satisfacer los supuestos fundamentales de normalidad o independencia en los datos, se hace indispensable optar por el uso de pruebas no paramétricas. Estas pruebas son especialmente útiles porque no requieren que se cumplan dichas suposiciones y, por lo tanto, pueden proporcionar resultados confiables en situaciones donde las restricciones tradicionales no son viables.

Diseños de análisis de varianza completamente aleatorizados

Se pueden identificar, clasificar y distinguir dos categorías fundamentales que son esenciales en el contexto del análisis de varianza: por un lado, tenemos el diseño totalmente aleatorizado y, por otro lado, el diseño de bloques que también se caracteriza por ser completamente aleatorizado.

En un diseño completamente aleatorizado, también conocido como análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor o de un solo rango, los tratamientos se asignan a las unidades experimentales de forma aleatoria. Dadas las circunstancias, las muestras se seleccionan de forma independiente entre sí, lo que significa que la selección de una muestra no influye en la selección de las demás. Es posible realizar cálculos para determinar la media (X_j) y la varianza (s^2_j) de cada muestra individual.

En el contexto del ANOVA con diseño bloques completamente aleatorizados, este método se aplica en situaciones donde se observa una elevada variabilidad del error experimental, lo que puede resultar en la no aceptación de la hipótesis nula debido a dicha variabilidad elevada. Al implementar el "bloqueo" de las observaciones, se consigue disminuir la variabilidad. Una premisa fundamental de este diseño es que se asume que los efectos del tratamiento y del bloqueo son aditivos.

Tabla 21

El formato de la tabla de ANOVA de un sentido completamente aleatorizado

Fuente de variación	de	Suma de cuadrados (SS)	Grados de libertad	Cuadrado medio (MSa)	Fcalc.	Ftab.	Valor de p
Tratamientos		SSa	a - 1	$MSa = \frac{SSa}{a - 1}$	$Fc = \frac{Msa}{c^2}$	$F[1-\alpha; a-1, a(n-1)]$	
Error		SSe	a(n - 1)	$S_e^2 = \frac{SSe}{a(n - 1)}$			
Total		SSt	an - 1				

Dónde:

$$SSa = n \sum_{y=1}^a (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{i..})^2$$

$$SSe = n \sum_{y=1}^a \sum_{y=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2$$

$$SSt = n \sum_{y=1}^a \sum_{y=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2$$

a = número de tratamientos

n = tamaño de la muestra

Tabla 22

Para denotar los simbolismos usados

Tratamiento	1	2	...	i	...	k	Total
	Y_{11}	Y_{12}	...	Y_{1i}	...	Y_{1k}	
	Y_{21}	Y_{22}	...	Y_{2i}	...	Y_{2k}	
	
	Y_{1n}	Y_{2n}	...	Y_{in}		Y_{kn}	
Total	$T_{1.}$	$T_{2.}$	...	$T_{i.}$	...	$T_{k.}$	$T_{..}$
Promedio	$\bar{Y}_{1.}$	$\bar{Y}_{2.}$	...	$\bar{Y}_{i.}$	...	$\bar{Y}_{k.}$	$\bar{Y}_{..}$

Por otro lado, y_{ij} es igual a la j -ésima observación del i -ésimo tratamiento.

$\bar{Y}_{i.}$ = La media de todas las observaciones del i -ésimo tratamiento se denota con el símbolo $\bar{Y}_{i.}$

$\bar{Y}_{..}$ = La media de todas las observaciones, o la media de las medias.

$T_{i.}$ = es igual a la suma de todas las medias.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Interpretación de los resultados obtenidos

Pruebas de normalidad

Ha: Los datos de resistencia F'C = 210 KG /CM2, F'C = 280 KG /CM2, de masa inicial y final provienen de una distribución normal.

Ho: Los datos de resistencia F'C = 210 KG /CM2, F'C = 280 KG /CM2, de masa inicial y final no provienen de una distribución normal.

Tabla 23

Pruebas de normalidad como la de Shapiro -Wilk

	Estadístico	Shapiro-Wilk	
		Grados de libertad	Sig.
Recubrimiento a F'C = 210 KG /CM2 antes	,930	9	,483
Recubrimiento a F'C = 210 KG /CM2 después	,824	9	,058
Recubrimiento a F'C = 280 KG /CM2 antes	,979	9	,958
Recubrimiento a F'C = 280 KG /CM2 después	,819	9	,054

Nota. Elaboración del investigador

Teniendo en cuenta los revestimientos de 2 cm, 4.5 cm y 7 cm, las pruebas de normalidad, como la prueba de Shapiro-Wilk, muestran un nivel de significación de 0,483, 0,058, 0,958 y 0,054, respectivamente. El nivel de significación es superior al parámetro de 0,05, lo que significa que se acepta la hipótesis nula. Esto demuestra que los datos de resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$, $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$, masa inicial y final provienen de una distribución normal, lo que significa que estos datos pueden ser utilizados para pruebas estadísticas inferenciales paramétricas.

4.2. Contrastación o prueba de hipótesis

4.2.1. Contrastación de la hipótesis A

Ha: Se determinó que la resistencia a la compresión es la más influyente en la corrosión del concreto armado.

Ho: No se determinó que la resistencia a la compresión es la más influyente en la corrosión del concreto armado.

Tabla 24

Estadísticas de muestras emparejadas de resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$

	Media	N	Desviación estándar	Desviación Error promedio
Par 1 Resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 2 cm	187,00	3	,161	,093
masa inicial y final	163,91	3	1,361	,786
Par 2 Resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 4 cm	188,64	3	1,009	,582
masa inicial y final	168,76	3	1,639	,946
Par 3 Resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 7 cm	187,45	3	,975	,563
masa inicial y final	183,86	3	,949	,548

Nota. Elaboración del investigador

La tabla 24: muestra resultados de las estadísticas de muestras emparejadas de resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$, en recubrimientos distintos, donde la media de resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 2 cm masa inicial y final son de 187.00 y 163.91 respectivamente, con desviaciones bajas y altas, la media de resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 4.5 cm masa inicial y final son de 188.64 y 168.76 respectivamente, con desviaciones similares y la media de resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 7 cm masa inicial y final son de 187.45 y 183.86 respectivamente, con desviaciones similares.

Tabla 25

Correlaciones de muestras emparejadas de resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$

	N	Correlación	Sig.
Par 1 Resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 2 cm masa inicial y final	3	,812	,397
Par 2 Resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 4.5 cm masa inicial y final	3	,856	,346
Par 3 Resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 7 cm masa inicial y final	3	,948	,206

Nota. Elaboración del investigador

Tabla 25: muestra los resultados de las correlaciones de las muestras pareadas de la resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$, donde los valores de correlación de las muestras pareadas no son significativos, en la resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 2 cm de masa inicial y final tiene un valor de significación de 0,397, en la resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 4.5 cm de masa inicial y final tiene un valor de significación de 0,346, en la resistencia $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ a 7 cm de masa inicial y final tiene un valor de significación de 0,206.

Tabla 26

Prueba de muestras relacionadas de resistencia F'C = 210 KG /CM2

		Diferencias emparejadas					t	Grados de libertad	Sig. (bilateral)
Media	Desviación estándar	Desviación Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia						
			Inferior	Superior					
Par 1 Resistencia F'C =									
210 KG /CM2 a 2 cm masa inicial y final	23,09	1,23	,712	20,02 26,15	32,419	2	,001		
Par 2 Resistencia F'C =									
210 KG /CM2 a 4.5 cm masa inicial y final	19,88	,935	,540	17,56 22,20	36,838	2	,001		
Par 3 Resistencia F'C =									
210 KG /CM2 a 7 cm masa inicial y final	3,60	,311	,180	2,82 4,37	20,050	2	,002		

Nota. Elaboración del investigador

Tabla 26: muestra los resultados obtenidos en las pruebas de muestras relacionadas de la resistencia F'C = 210 KG /CM2, donde la prueba t para muestras pareadas, muestra valores significativos por debajo del parámetro de 0,05, la resistencia F'C = 210 KG /CM2 a 2 cm de masa inicial y final, muestra una reducción en promedio de 23,09 puntos con el valor de probabilidad de error de 0. 001, la resistencia F'C = 210 KG /CM2 a 4.5 cm de masa inicial y final, muestra una reducción en promedio de 19,88 puntos con el valor de probabilidad de error de 0,001, la resistencia F'C = 210 KG /CM2 a 7 cm de

masa inicial y final, muestra una reducción en promedio de 3,60 puntos con el valor de probabilidad de error de 0,002.

Tabla 27

Estadísticas de muestras emparejadas de resistencia F'C = 280 KG /CM2

	Media	N	Desviación estándar	Desviación Error promedio
Resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 2 cm masa inicial y final	186,69	3	,468	,270
Par 1	166,55	3	2,567	1,482
Resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 4.5 cm masa inicial y final	186,37	3	2,352	1,358
Par 2	170,72	3	6,293	3,633
Resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 7 cm masa inicial y final	187,67	3	,660	,381
Par 3	186,48	3	,740	,427

Nota. Elaboración del investigador

La tabla 27: muestra resultados de las estadísticas de muestras emparejadas de resistencia F'C = 280 KG /CM2 en recubrimientos diferentes, donde la media de resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 2 cm masa inicial y final son de 186.68 y 166.55 respectivamente, con desviaciones bajas y altas, la media de resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 4.5 cm masa inicial y final son de 186.37 y 170.72 respectivamente, con desviaciones bajas y altas y la media de resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 7 cm masa inicial y final son de 187.67 y 186.48 respectivamente, con desviaciones similares.

Tabla 28

Correlaciones de muestras emparejadas de resistencia F'C = 280 KG /CM2

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 2 cm masa inicial y final	3	-,495	,671
Par 2	Resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 4.5 cm masa inicial y final	3	,989	,095
Par 3	Resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 7 cm masa inicial y final	3	0,998	,012

Nota. Elaboración del investigador

La tabla 28: muestra los valores de las correlaciones entre muestras pareadas de resistencia F'C = 280 KG /CM2, donde los valores de correlación de muestras emparejadas no son significativas, en la resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 2 cm masa inicial y final tiene un valor de significancia de 0,671, en la resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 4.5 cm masa inicial y final tiene un valor de significancia de 0,095, sin embargo en la resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 7 cm masa inicial y final tiene un valor de significancia de 0,012, la cual demuestra que esta prueba es significativa en este nivel, con un coeficiente de 0.998, la que indica que existe influencia directa, positiva y fuerte.

Tabla 29

Prueba de muestras relacionadas de resistencia F'C = 280 KG /CM2

	Media	Diferencias emparejadas				t	Grados de libertad	Sig. (bilateral)
		Desviación estándar	Inferior	Superior				
Par 1 Resistencia a 2 cm antes - Resistencia a 2 cm después	20,14	2,83	1,632	13,11	27,16	12,33	2	,007

Par 2 Resistencia a 4.5 cm antes - Resistencia a 4.5 cm después	15,65	3,98	2,300	5,76	25,54	6,81	2	,021
Par 3 Resistencia a 7 cm antes - Resistencia a 7 cm después	1,19	,08	,047	,99	1,39	25,57	2	,002

Fuente: Elaboración del investigador

La tabla 29: muestra resultados de las pruebas de muestras relacionadas de resistencia $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$, donde la prueba t para muestras emparejadas, muestra valores significativos inferiores al parámetro de 0,05, la resistencia $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ a 2 cm masa inicial y final, muestra una reducción en promedio de 20.14 puntos con el valor de probabilidad de error de 0.007, la resistencia $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ a 4.5 cm masa inicial y final, muestra una reducción en promedio de 15.65 puntos con el valor de probabilidad de error de 0.021, la resistencia $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ a 7 cm masa inicial y final, muestra una reducción en promedio de 1.19 puntos con el valor de probabilidad de error de 0.002, aceptando con ello la hipótesis alterna, donde se determina que la resistencia a la compresión es la más influyente en la corrosión del concreto armado.

4.2.2. *Contrastación de la hipótesis B*

Ha: Se determinó que el recubrimiento influye positivamente según el espesor que se le aplique al elemento de concreto armado, para la protección contra la corrosión del concreto armado.

Ho: No se determinó que el recubrimiento influye positivamente según el espesor que se le aplique al elemento de concreto armado, para la protección contra la corrosión del concreto armado.

Tabla 30*Estadísticas de grupo del grado de corrosión*

	N	Media	Desviación estándar	Desviación Error promedio
Recubrimiento a 2 cm y el grado de corrosión	3	12,34	,667	,385
	3	10,78	1,498	,865
Recubrimiento a 4.5 cm y el grado de corrosión	3	10,54	,521	,301
	3	8,42	2,221	1,283
Recubrimiento a 7 cm y el grado de corrosión	3	1,92	,164	,095
	3	,63	,045	,026

Fuente: Elaboración del investigador

La tabla 30: muestra resultados de las estadísticas de grupo del grado de corrosión, comparando las resistencias de $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ y $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ en recubrimientos diferentes, con 2 cm en $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ tiene en promedio un grado de corrosión de 12.34%, en $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ de 10.78%, con 4.5 cm en $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ tiene en promedio un grado de corrosión de 10.54%, en $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ de 8.42%, con 2 cm en $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ tiene en promedio un grado de corrosión de 1.92%, en $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ de 0.63%.

Prueba de Levene**Prueba de hipótesis**

Ha: Los porcentajes del grado de corrosión de $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ y $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ en diferentes recubrimientos, tienen varianzas diferentes.

Ho: Los porcentajes del grado de corrosión de $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ y $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ en diferentes recubrimientos, tienen varianzas iguales.

Tabla 31

La prueba de Levene se utiliza para determinar si el porcentaje de corrosión varía por igual o no.

		F	Sig.
Recubrimiento a 2 cm	Se asumen varianzas iguales	1,251	,326
	No se asumen varianzas iguales		
Recubrimiento a 4.5 cm	Se asumen varianzas iguales	7,789	,049
	No se asumen varianzas iguales		
Recubrimiento a 7 cm	Se asumen varianzas iguales	5,959	,071
	No se asumen varianzas iguales		

Fuente: Elaboración del investigador

Los resultados de la prueba de Levene para la igualdad de varianzas del grado de corrosión se presentan en la Tabla 31. La prueba de Levene para la igualdad de varianzas revela valores de significación superiores a 0,05, lo que significa que se acepta la hipótesis nula. Esto demuestra que los porcentajes del grado de corrosión de F'C = 210 KG /CM2 y F'C = 280 KG /CM2 en diversos revestimientos tienen varianzas iguales.

Tabla 32

Prueba de muestras independientes del grado de corrosión

		Prueba t para la igualdad de medias						
		t	Grados de libertad	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
Recubrimiento a 2 cm	Se asumen varianzas iguales	1,648	4	,175	1,56	,95	-1,07	4,19



	No se asumen varianzas iguales	1,648	2,764	,206	1,56	,95	-1,60	4,729
Recubrimiento a 4.5 cm	Se asumen varianzas iguales	1,611	4	,182	2,12	1,32	-1,53	5,789
	No se asumen varianzas iguales	1,611	2,219	,236	2,12	1,32	-3,04	7,29
Recubrimiento a 7 cm	Se asumen varianzas iguales	13,038	4	,000	1,28	,098	1,01	1,56
	No se asumen varianzas iguales	13,038	2,299	,003	1,28	,098	,91	1,66

Fuente: Elaboración del investigador

Los resultados de las pruebas de muestras independientes del grado de corrosión se presentan en la Tabla 32. El test t para muestras independientes muestra un valor de significancia superior al parámetro de 0.05 en los recubrimientos de 2 cm y 4.5 cm; sin embargo, en el recubrimiento de 7 cm, el valor de significancia es de 0.000, indicando que los porcentajes de grado de corrosión son diferentes en F'C = 210 kg/cm² y F'C = 280 kg/cm². Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, determinando que el recubrimiento tiene una influencia positiva en función del espesor aplicado al elemento de concreto armado para la protección contra la corrosión.

4.2.3. Hipótesis general

Ha: Se determinó que la resistencia a la compresión es el que más influye en la corrosión del concreto armado, determinando mejor resistencia de 280 kg/cm² para evitar la corrosión.

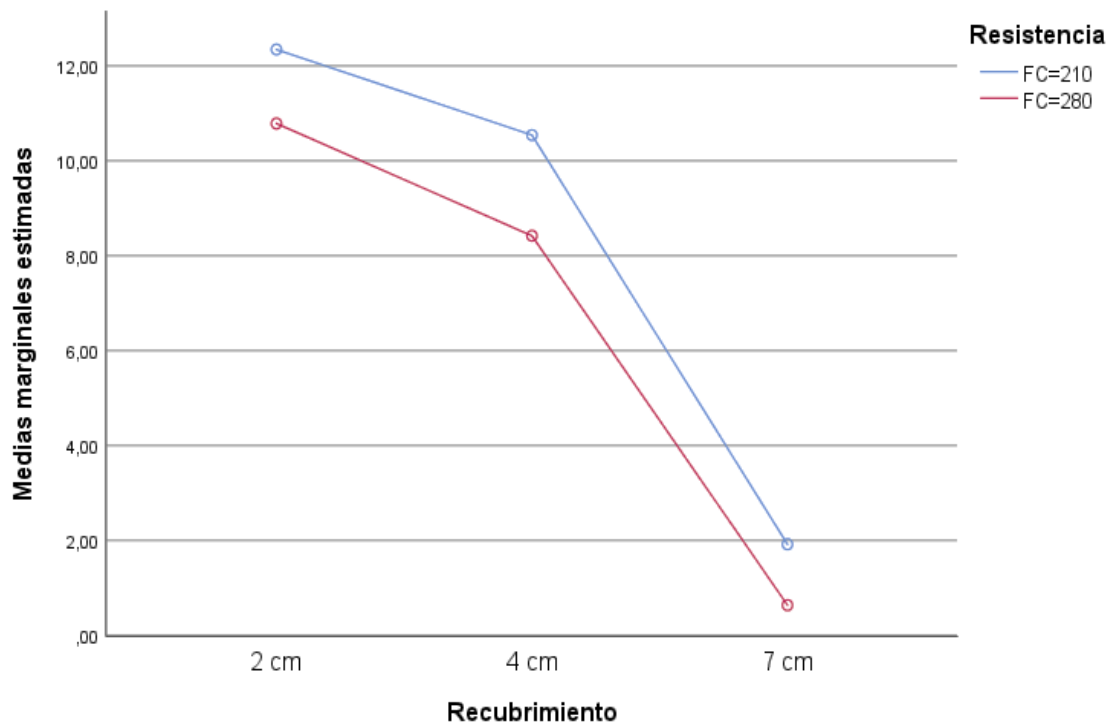
Ha: No se determinó que la resistencia a la compresión es el que más influye en la corrosión del concreto armado, para usar la resistencia de 280 kg/cm² para evitar la corrosión.

Tabla 33

Análisis de la varianza del grado de corrosión del armado concreto

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	367,867	5	73,573	55,698	,000
Intersección	996,067	1	996,067	754,057	,000
Recubrimiento	354,983	2	177,492	134,367	,000
Resistencia	12,334	1	12,334	9,337	,010
Recubrimiento y Resistencia	,550	2	,275	,208	,815
Error	15,851	12	1,321		
Total	1379,786	18			
Total corregido	383,718	17			

Nota. Elaboración del investigador

Figura 99*Medidas estimadas del grado de corrosión*

La tabla 33: Muestra resultados del análisis de la varianza del grado de corrosión del armado concreto, en cuanto al recubrimiento en sus niveles de 2 cm; 4.5 cm y 7 cm, se evidencian un nivel de probabilidad de error de 0.000 inferior al 0.05, de ello se deduce que la masa consumida son diferentes en los niveles de recubrimiento, de la misma forma en la resistencia de $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ y $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$, observando también que la probabilidad de error de 0.000 inferior al 0.05, de ello se deduce que la masa consumida son diferentes, pero en la interacción de recubrimiento y resistencia es no significativa, además en la figura 100 se evidencia que existe menor grado de corrosión es menor en el recubrimiento de 7 cm con la resistencia de $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$, por tanto se acepta la hipótesis alterna donde; se determinó que la resistencia a la compresión es el que más influye en la corrosión del concreto armado, determinando mejor resistencia de 280 kg/cm² para evitar la corrosión.



4.3. Discusión

Los resultados se han corroborado con los antecedentes de la investigación además del marco teórico.

En el objetivo general; determinar cómo influyen la resistencia a la compresión y el recubrimiento en la corrosión del concreto armado, se concluye; se determinó que la resistencia a la compresión es el que más influye en la corrosión del concreto armado, determinando mejor resistencia de 280 kg/cm² para evitar la corrosión, la que se observa en la prueba de análisis de la varianza del grado de corrosión del armado concreto, en cuanto al recubrimiento, se evidencian un nivel de probabilidad de error de 0.000, de ello se deduce que la masa consumida son diferentes en los niveles de recubrimiento, de la misma forma en la resistencia de $F'C = 210 \text{ KG /CM}^2$ y $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$, también la probabilidad de error de 0.000 inferior al 0.05, de ello se deduce que la masa consumida son diferentes, además en el gráfico se evidencia que existe menor grado de corrosión es menor en el recubrimiento de 7 cm con la resistencia de $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$, el mismo que se relaciona con: Esquivel (2018), en su estudio en Trujillo acerca de la corrosión titulado "Influencia del aditivo inhibidor de corrosión SIKA CNI en la velocidad de corrosión de acero embebido en concreto, expuesto en ambientes marinos de la zona costera de Trujillo, 2018", concluye que la corrosión es un fenómeno lento e imperceptible que ocurre en el interior de la estructura, generando herrumbre en el acero de refuerzo. Esto reduce la sección original de la varilla, disminuye la adherencia entre el acero y el concreto, y ejerce una presión considerable sobre el concreto circundante, provocando grietas que debilitan la estructura y, por lo tanto, reducen su capacidad estructural, también con: Tarazona Carlos (2023). En el año 2018, se estimó que el 60% de las edificaciones en Perú fueron autoconstruidas con deficiencias estructurales (CAPECO, 2018), y un estudio de 2015 indicó que muchos propietarios preferían contratar a maestros de obras en lugar de profesionales (CAPECO, 2015). Aunque existen estudios internacionales sobre el proceso corrosivo (Feng et al., 2021), en el Perú solo se ha investigado sobre mortero y concreto



armado expuestos a diferentes tipos de cloruros. En esta investigación se utilizaron diversas probetas de concreto con diversas resistencias o relaciones a/c (0.60, 0.65 y 0.70) con un acero de y acero de refuerzo de $\varnothing 5/8"$, sometidas a un método de corrosión acelerada basado en ciclos continuos de humedecido y secado. Con lo que se concluyó finalmente que existe una variación del peso y resistencia a la compresión de las probetas.

En el primer objetivo específico, Determinar cómo influye la resistencia a la compresión en la corrosión del concreto armado. Concluyo que; Se determinó que el recubrimiento influye positivamente según el espesor que se le aplique al elemento de concreto armado, para la protección contra la corrosión del concreto armado, donde los resultados de estadísticas de muestras emparejadas en recubrimientos distintos, la media de resistencia $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ a 2 cm son de 186.68 y 166.55 respectivamente, a 4.5 cm son de 186.37 y 170.72 y la media a 7 cm masa inicial y final son de 187.67 y 186.48 respectivamente, con desviaciones similares, además la prueba t para muestras emparejadas, muestra valores significativos inferiores al parámetro de 0,05, la resistencia $F'C = 280 \text{ KG /CM}^2$ a 2 cm, muestra una reducción en promedio de 20.14 a 4.5 cm masa inicial y final, muestra una reducción en promedio de 15.65 puntos a 7 cm masa inicial y final, muestra una reducción en promedio de 1.19 puntos, concuerdo con: Ticona (2019), en su estudio desarrollado en el Departamento de Puno, Provincia de San Roman, Dsitrito de Juliaca acerca de la corrosión, en su trabajo de investigación denominado "Estudio de La Corrosión del Acero Sometido a un Entorno de Sulfatos Con Diversos Tipos de Agregados", los resultados evidenciaron que las probetas de concreto con una resistencia diseñada de 210 kg/cm² con acero corrugado de 1/2" en su interior, los agregados de las canteras Isla y Cabanillas, en la provincia de San Román – Juliaca, presentan diferentes comportamientos frente a la corrosión, también con Torres (2019), en su estudio desarrollado en Lima acerca de la corrosión, titulado "Deterioro del concreto Armado por Ataque del Cloruro Férrico" destaca que; el principal propósito de esta investigación es llevar a cabo una evaluación exhaustiva del deterioro que puede sufrir tanto el concreto



simple como el concreto armado que ha sido elaborado con cemento Portland Tipo I, y esto se debe a la agresión provocada por el cloruro férrico disuelto en una solución concentrada al 42%. Este estudio es particularmente relevante porque muchas estructuras de concreto, como los tanques de almacenamiento, se encuentran frecuentemente expuestas a este tipo de productos químicos, ya que son utilizados como parte del proceso de tratamiento para la potabilización del agua. Para alcanzar dicho objetivo, se utilizaron probetas de concreto simple y armado, cuyas dimensiones eran de 4 pulgadas por 8 pulgadas. Cada una de estas probetas contenía en su interior una varilla de acero de 10 centímetros de longitud posicionada en el centro. Además, se establecieron diferentes relaciones agua/cemento, específicamente 0.45, 0.50, 0.60 y 0.70. En estos ensayos, también se incorporaron varillas de acero corrugado, con un diámetro de 3/8 de pulgada, que posteriormente fueron sometidas a un tratamiento de corrosión acelerada.

En el segundo objetivo específico, determinar cómo influye el recubrimiento en la corrosión del concreto armado. Concluyo que; Se determinó que la resistencia a la compresión es la más influyente en la corrosión del concreto armado, debido a los resultados de las estadísticas de grupo del grado de corrosión, con 2 cm en F'C = 210 KG /CM² tiene en promedio un grado de corrosión de 12.34%, en F'C = 280 KG /CM² de 10.78%, con 4.5 cm en F'C = 210 KG /CM² tiene en promedio un grado de corrosión de 10.54%, en F'C = 280 KG /CM² de 8.42%, con 2 cm en F'C = 210 KG /CM² tiene en promedio un grado de corrosión de 1.92%, en F'C = 280 KG /CM² de 0.63%, además la prueba t para muestras independientes, muestra un valor de significancia superior al parámetro de 0.05 en los recubrimiento de 2 cm y 4.5 cm, pero en el recubrimiento de 7 cm, muestra un valor de significancia de 0.000 donde los porcentajes del grado corrosión es diferente en F'C = 210 KG /CM² y F'C = 280 KG /CM², por lo que se acepta la hipótesis alterna, donde se determina que el recubrimiento influye positivamente según el espesor que se le aplique al elemento de concreto armado, para la protección contra la corrosión del concreto armado, se relaciona con: Meneses et al. (2016), en su estudio acerca de la



corrosión realizado en Argentina, titulado “Influencia del espesor del recubrimiento de elementos de hormigón armado expuestos a procesos de corrosión y sometidos a cargas externas” en este estudio presenta los hallazgos de una investigación en la que se sometieron vigas de hormigón armado a esfuerzos flexionales a través de cargas diseñadas para inducir tensiones de tracción equivalentes en las armaduras corroídas, llevando a cabo un proceso de corrosión acelerada. Las vigas fueron fabricadas empleando diversas dimensiones de recubrimiento en las armaduras y utilizando hormigón con una resistencia característica de 25 MPa. La investigación evidencia la relación entre el grosor del recubrimiento de las armaduras y su impacto en el proceso de corrosión, así como en su manifestación externa, particularmente en la fisuración del recubrimiento, cuando se encuentran bajo condiciones mecánicas homogéneas. Se constató que el deterioro por corrosión en las vigas expuestas a cargas externas es más pronunciado en comparación con aquellas que no están sujetas a tales condiciones. Además, se ha determinado que el espesor del recubrimiento influye en este fenómeno, lo cual tiene un impacto significativo en la vida útil restante y en la capacidad de carga de la estructura afectada, además con: Kayser et al. (2017) en su estudio “Evaluación comparativa de la corrosión del hormigón armado con acero sin protección y acero galvanizado en caliente” en este estudio académico se dedicó a investigar y analizar la comparación entre dos tipos diferentes de barras de acero: aquellas que no poseen recubrimiento y las que han sido galvanizadas en caliente. Estas barras de acero fueron colocadas en cuatro categorías distintas de hormigón, cada una de las cuales presentaba diferentes relaciones de agua a cemento, lo que permitió una evaluación más amplia y detallada del comportamiento de ambos tipos de acero bajo condiciones variadas. Las muestras en cuestión fueron sometidas a un ensayo de corrosión acelerada, el cual se llevó a cabo empleando el método conocido como CAIM. Los resultados obtenidos de la investigación revelaron una notable disminución en los niveles de corrosión en todos los tipos de hormigón analizados. En particular, la mezcla que contenía la mayor cantidad de cemento alcanzó una impresionante reducción de hasta un 70,5% en comparación con las mediciones



previas. De esta observación se desprende claramente que la técnica de galvanización en caliente tiene el potencial de ser una alternativa eficaz y práctica para su uso en la construcción de estructuras de hormigón. Cuando se utiliza junto con mezclas que han sido creadas expresamente para ofrecer un mayor grado de durabilidad, esto es especialmente relevante porque pone de relieve la importancia de la durabilidad.



CONCLUSIONES

PRIMERA. Se ha determinado que la resistencia a la compresión es el que más influye en la corrosión del concreto armado, determinando mejor resistencia de 280 kg/cm² para evitar la corrosión, la que se observa en la prueba de análisis de varianza del grado de corrosión del concreto armado. En cuanto al recubrimiento, se evidencian un nivel de probabilidad de error de 0.000 inferior al 0.05, de ello se deduce que la masa consumida es diferente en los niveles de recubrimiento, para la resistencia de F'C = 210 KG /CM² y F'C = 280 KG /CM². Por lo cual se puede aseverar que existe menor grado de corrosión en el recubrimiento de 7 cm con la resistencia de F'C = 280 KG /CM².

SEGUNDA. Se ha determinado que la resistencia a la compresión es la más influyente en la corrosión del concreto armado, debido a los resultados de las estadísticas de grupo del grado de corrosión, con 2 cm en F'C = 210 KG /CM² tiene en promedio un grado de corrosión de 12.34%, en F'C = 280 KG /CM² de 10.78%; con 4.5 cm en F'C = 210 KG /CM² tiene en promedio un grado de corrosión de 10.54%, en F'C = 280 KG /CM² de 8.42%; con 7 cm en F'C = 210 KG /CM² tiene en promedio un grado de corrosión de 1.92%, en F'C = 280 KG /CM² de 0.63%; además la prueba t para muestras independientes, muestra un valor de significancia superior al parámetro de 0.05 en los recubrimiento de 2 cm y 4 cm, pero en el recubrimiento de 7 cm, muestra un valor de significancia de 0.000 donde los porcentajes del grado corrosión es diferente en F'C = 210 KG /CM² y F'C = 280 KG /CM².

TERCERA. Se ha determinado que el recubrimiento influye positivamente según el espesor que se le aplique al elemento de concreto armado, para la protección contra la corrosión del concreto armado, donde los resultados de estadísticas de muestras emparejadas en recubrimientos distintos, la media de resistencia



F'C = 280 KG /CM2 a 2 cm son de 186.68 y 166.55 respectivamente, a 4.5 cm son de 186.37 y 170.72 y la media a 7 cm masa inicial y final son de 187.67 y 186.48 respectivamente, con desviaciones similares, además la prueba t para muestras emparejadas, muestra valores significativos inferiores al parámetro de 0,05, la resistencia F'C = 280 KG /CM2 a 2 cm, muestra una reducción en promedio de 20.14 a 4.5 cm masa inicial y final, muestra una reducción en promedio de 15.65 puntos a 7 cm masa inicial y final, muestra una reducción en promedio de 1.19 puntos.



RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Es recomendable utilizar una resistencia a la compresión de 280 kg/cm² para evitar la corrosión del concreto armado.
- SEGUNDA:** Se recomienda utilizar un recubrimiento de 7 cm para proteger a los elementos estructurales contra la corrosión, y una resistencia superior a 280 kg/cm², o una combinación de ambos
- TERCERA:** Es importante continuar con esta investigación mediante la incorporación de nuevas técnicas de mitigación de la corrosión, esto permitirá evaluar la eficiencia comparativa de cada alternativa y determinar la opción más efectiva para reducir la corrosión en estructuras de concreto armado.
- CUARTA:** Se sugiere llevar a cabo un estudio en el que se analicen concretos que hayan sido sometidos a diferentes períodos de curado. Esto permitirá observar de manera más detallada cómo varía la permeabilidad del concreto a lo largo del tiempo y, a su vez, comprender las posibles repercusiones que esta disminución en la permeabilidad puede tener en la corrosión del material.
- QUINTA:** Para una protección efectiva de las armaduras, es esencial considerar el espacio que ocupa el alambre de amarre en el recubrimiento del concreto. Este elemento reduce el espesor efectivo del recubrimiento, lo que puede dejar expuesto el refuerzo a agentes externos agresivos, aumentando el riesgo de corrosión. Se recomienda ajustar el diseño del recubrimiento para compensar este espacio, pudiendo así prolongar la durabilidad estructural.



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

4.3: *Cloruro de sodio y enlaces iónicos - LibreTexts Español*. (s. f.). Recuperado 9 de agosto de 2024, de [https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Ambiental/La_qu%C3%ADmica_verde_y_los_diez_mandamientos_de_la_sustentabilidad_\(Manahan\)/04%3A_Compuestos/4.03%3A_Cloruro_de_sodio_y_enlaces_i%C3%B3nicos](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Ambiental/La_qu%C3%ADmica_verde_y_los_diez_mandamientos_de_la_sustentabilidad_(Manahan)/04%3A_Compuestos/4.03%3A_Cloruro_de_sodio_y_enlaces_i%C3%B3nicos)

Abanto Castillo, F. (2017). *Tecnología del Concreto: Vol. I* (Editorial San Marcos E.I.R.L., Ed.; 3.a ed.). 2018.

ACI 318. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)*.

ACI-222R19. (2019). *Guide to Protection of Reinforcing Steel in Concrete against Corrosion*. <http://concrete.org/Publications/>

Aguilar Villareal, J. C. (2013). *Influencia del Deterioro por Corrosión del Acero sobre la Realcalinización del Concreto Reforzado Carbonatado* [Facultad de Ingeniería civil]. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Aguirre-Guerrero, A. M., Robayo-Salazar, R. A., & de Gutiérrez, R. M. (2017). A novel geopolymer application: Coatings to protect reinforced concrete against corrosion. *Applied Clay Science*, 135, 437-446. <https://doi.org/10.1016/J.CLAY.2016.10.029>

Ahmed, N. M., Fathi, A. M., Mohamed, M. G., & Abd El-Gawad, W. M. (2020). Evaluation of new core-shell pigments on the anticorrosive performance of coated reinforced concrete steel. *Progress in Organic Coatings*, 140, 105530. <https://doi.org/10.1016/J.PORGCOAT.2019.105530>

Arias Chávez, D., & Cangalaya Sevillano, L. M. (2023). *Manual del tesista Principios metodológicos para escribir una tesis* (Fondo editorial EDUNI, Ed.; primera, Vol. 1).



- Becerra Chamorro, J. A. (2021). *Gestión de la Perforación Diamantina a Través de Metodologías ágiles (SCRUM - KANBAN)*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bolzoni, F., Brenna, A., Beretta, S., Ormellese, M., Diamanti, M. V., & Pedeferrri, M. P. (2019). Progresses in prevention of corrosion in concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012016>
- Bonzel, J. (1964, enero). Protección del hormigón en las aguas agresivas. Principios y procedimientos. *Comunicación presentada al IV Congreso Internacional dle Hormigón Manufacturado*, 1-10.
- Brian Cherry, & Warren Green. (2021). *Corrosion and Protection of Reinforced Concrete* (CRC Press, Ed.; 1.a ed., Vol. 1).
- Broomfield, J. P. (2007). *Corrosion of Steel in Concrete Understanding, Investigation and Repair*. (2da ed., Vol. 1). Taylor & Francis.
- Calleja, J. (1974). *La primera reunión latinoamericana de instituciones del cemento y del concreto*. <http://materconstrucc.revistas.csic.es>
- Castillo Pinillos, G. M., & Ortiz Esquivel, R. A. (2018). *Influencia del aditivo inhibidor de corrosión SIKA CNI en la velocidad de corrosión de acero embebido en concreto, expuesto en ambientes marinos de la zona costera de Trujillo, 2018* [Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/13767>
- Castro Borges, P. (1998). *Corrosión en estructuras de concreto armado Teoría, inspeccion, diagnostico, vida util y reparaciones* (Primera, Vol. 1). Instituto Mexicano del cemento y del Concreto, A.C.



- Cerna Vasquez, M., & Galicia Guarniz, W. (2010). *Vida Util En Estructuras de Concreto Armado Desde El Punto de Vista de Comportamiento del Material*. Universidad Privada Antenor Orrego.
- Chinè-Polito, B., Cuevas-Kauffmann, R., Jiménez-Salas, R., Ortiz-Quesada, G., Chinè-Polito, B., Cuevas-Kauffmann, R., Jiménez-Salas, R., & Ortiz-Quesada, G. (2019). Estudio experimental de la carbonatación del concreto. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(2), 68-81. <https://doi.org/10.18845/TM.V32I2.4350>
- Colegio de Ingenieros de Caminos, C. y P. (1996). *Estructuras y Edificación, Durabilidad de Estructuras de Hormigón Guía de Diseño CEB* (GEHO-CEB, Ed.; 2.a ed., Vol. 1).
- Comite Euro-International Du Beton. (1997). *Durable Concrete Structures - Design Guide* (Thomas Telford Ltd., Ed.; 3.a ed., Vol. 2).
- Cordero Estévez, G. D., Cárdenas Gutiérrez, J. A., & Rojas Suárez, J. P. (2019). *Diseño de Mezclas de Concreto Aplicando el Método ACI: Vol. uno* (primera). Ecoe Ediciones Limitada.
- Cordova Zamora, M. (2006). *Estadística inferencial*. (Segunda). Librería MASHERA S.R.L.
- da Silva Torres, A. (2006). *Avaliação da sensibilidade do CAIM - corrosão acelerada por imersão modificada - frente ao processo de corrosão em armaduras de concreto armado* [Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/7967>
- David Osorio, J. (s. f.). *DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO: CONCEPTOS BÁSICOS - 360 EN CONCRETO*. Recuperado 24 de septiembre de 2024, de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/disenio-mezclas-de-concreto-conceptos-basicos/>



De Kayser Ortolan, V., Hilgert, T., Howland, J. J., Silva Oliveira, L. F., & Fonseca Tutikian, B. (2017). *Comparative assessment of corrosion of concrete reinforced with unprotected steel and hot-dip galvanized steel*. <https://doi.org/10.7764/RDLC.16.2.238>

Directiva N°002-2014-EF/51.01. (2014). *Metodología para la modificación de la vida útil de edificios, revaluación de edificios y terrenos, identificación e incorporación de edificios y terrenos en administración funcional y reclasificación de propiedades de inversión en las entidades gubernamentales* (pp. 1-38).

Donini, H. J., & Orler, R. (2016). *Análisis de las patologías en las estructuras de Hormigón armado*. (primera, Vol. 1).

Dr. Hernández Sampieri, R., Dr. Fernández Collado, C., & Dra. Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGRA W-HILL, Ed.; sexta, Vol. 1).

Dyer, T. (2014). *Concrete durability* (Vol. 1). Taylor & Francis Group, LLC.

E.060. (2009). Reglamento Nacional de Edificaciones. *Reglamento Nacional de Edificaciones*, 1-205.

ET y DTE 006-06 - Prevención de la corrosión de enfierraduras en elementos de hormigón - ICH. (s. f.). Recuperado 8 de agosto de 2024, de <https://ich.cl/documentos-ich/et-y-dte-006-06-prevencion-de-la-corrosion-de-enfierraduras-en-elementos-de-hormigon/>

Google Maps. (2024). <https://www.google.com/maps/@-15.4782444,-70.1988413,14z?entry=ttu>

Guerrero Martínez, J., Montoya Villa, H., & De la Cruz Romero, M. A. (2016, julio 29). Identificación y evaluación del riesgo de la corrosión en estructuras de concreto armado en plantas industriales sometidas a un ambiente ácido. *CienciAcierta Revista científica, tecnológica y humanística*. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/06/29/identificacion-y-evaluacion-del-riesgo>



de-la-corrosion-en-estructuras-de-concreto-armado-en-plantas-industriales-
sometidas-a-un-ambiente-acido/

Guide to Durable Concrete, ACI committee 201.2R (1982).

Guide to Protection of Metals in Concrete Against Corrosion, American Concrete Institute
1 (2019).

Harmsen, T. E. (2017). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado: Vol. I* (Pontificia
Universidad Católica del Perú Fondo Editorial, Ed.; Quinta). 2017.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres Christian Paulina. (2018). *Metodología de la
investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (S. A. McGraw-Hill
Interamericana Editores, Ed.; primera, Vol. 1).

Hernández-Castañeda, O., & Mendoza-Escobedo, C. J. (2006). *Durabilidad e
infraestructura: retos e impacto socioeconómico*.
<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2006.07n1.005>

Hibbeler Russell, C. (2011). *Mecánica de materiales* (Pearson Educación, Ed.; octava).

Ken W. Day. (2005). *Concrete Mix Design, Quality Control and Specification* (segunda).

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de
Mezclas de Concreto: Vol. I* (Primera).

Marios Soutsos (Ed.). (2023). *Concrete Durability* (second edition, Vol. 1). Emerald
Publishing Limited.

Martino, G. (2022, agosto 31). *La versatilidad del concreto armado en cinco usos para la
arquitectura | ArchDaily Perú*. ArchDaily. [https://www.archdaily.pe/pe/988164/la-
versatilidad-del-concreto-armado-en-cinco-usos-para-arquitectura](https://www.archdaily.pe/pe/988164/la-versatilidad-del-concreto-armado-en-cinco-usos-para-arquitectura)



Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th Edition). McGraw-Hill Education.

<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071797870>

Meneses, R. S., Moro, J. M., Aveldaño, R. R., & Ortega, N. F. (2016). Influencia del espesor del recubrimiento de elementos de hormigón armado expuestos a procesos de corrosión y sometidos a cargas externas. *Revista ALCOPAT (Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción)*, 6(2), 1-16. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/54369>

Montejo Fonseca, A., Montejo Piratova, F., & Montejo Piratova, A. (2013). *Tecnología y Patología del Concreto Armado* (Universidad Católica de Colombia, Ed.; 1.a ed., Vol. 1).

Montoya, J., García Meseguer, Á., Morán Cabré, F., & Arroyo Portero, J. C. (2009). *Hormigón armado* (S. Editorial Gustavo Gili, Ed.; 15a ed.).

M.S. Shetty. (2005). *Concrete Technology Theory and Practice* (S. Chand & Company LTD., Ed.; 7.a ed.).

Neville, A. M. (2013). *Tecnología del Concreto: Vol. I* (Primera).

Newman, J., & Seng Choo, B. (2003). *Advanced Concrete Technology*.

Norma Chilena NCh170, Pub. L. No. 170, Hormigón - Requisitos Generales 1 (2016).

NTP 339.088, Pub. L. No. NTP 339.088, Norma Técnica Peruana 1 (2014).

NTP 400.037, Norma Técnica Peruana 1 (2018).

O'Reilly Díaz, V. A., Bancroft Hernández, R. A., & Ruiz Gutiérrez, L. (2010). Las tecnologías del concreto en su ciclo de vida. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 1(2), 42-47.



http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112010000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Otatazzi Pasino, G. (2011). *Diseño en concreto armado: Vol. I* (Segunda). Lima.
- Pasquel Carbajal, E. (1999). *Temas de Tecnología del Concreto: Vol. I* (Colegio de Ingenieros del Peru, Ed.; Segunda).
- Peralta, R. M. H., Rivas, I. E., & Ortega, N. F. (2006a). Análisis numérico de la fisuración superficial de estructuras de hormigón armado por efecto de la corrosión. *Informes de la Construcción*, 58(501), 47-55. <https://doi.org/10.3989/IC.2006.V58.I501.398>
- Peralta, R. M. H., Rivas, I. E., & Ortega, N. F. (2006b). Análisis numérico de la fisuración superficial de estructuras de hormigón armado por efecto de la corrosión. *Informes de la Construcción*, 58(501), 47-55. <https://doi.org/10.3989/IC.2006.V58.I501.398>
- Perepérez Ventura, B., Barberá Ortega, E., & Andrade Perdriz, C. (1987). La agresividad ambiental y la durabilidad de las estructuras de hormigón. *Informes de la construcción*, 38, 1-8.
- Placencia Huaman, M. E. (2016). *DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS DE LOS MUROS DE ALBAÑILERÍA, COLUMNAS Y VIGAS DE CONCRETO ARMADO DEL CERCO PERIMÉTRICO DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA CESAR VALLEJO 2071 - DISTRITO DE LOS OLIVOS, PROVINCIA DE LIMA, REGIÓN LIMA, MARZO - 2016*. Universidad Católica los Ángeles Chimbote.
- Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño* (1ra edición).
- Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología Para el Desarrollo. (2000). *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado: Vol. I* (3ra ed.).



Redacción Gestión. (2024, mayo 31). *Nueve de cada 10 viviendas en clase media son autoconstruidas*. Gestión. https://gestion.pe/economia/nueve-de-cada-10-viviendas-en-clase-media-son-autoconstruidas-grade-construccion-noticia/?ref=gesr&fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAAR1rDdFjl-y4F03qq6urmVV9W6MUovdW7JzXrzwfgAc2PyrCYt2oUrj7m4k_aem_Aasraffyh-SKJPagXgr_lbLLFTYIKH0kGHdPoXgCxKlfvxo_hYUWG-KuplE_mXqFJvSIIFKyxJNcKCw2ZhcyxnoE

Rivva López, E. (2010). *Diseño de Mezclas* (Instituto de la Construcción y Gerencia, Ed.; 1era ed.).

S. Unnikrishna. Pillai, & Devdas, M. (2021). *Reinforced Concrete Desing* (MC GRAW HILL INDIA, Ed.; 1.a ed.). 2021.

Salazar Jiménez, J. A. (2015, septiembre). *Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales*. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000300127

Salinas, F. M., Javier, C., & Escobedo, M. (2012). La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva de la norma española para estructuras de concreto. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 4(1), 63-86. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112012000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Sanchez de Guzman, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero* (Pontificia Universidad Javeriana, Ed.; quinta).

Song, G., & Shayan, A. (1998). Corrosion of steel in concrete causes, detection and prediction. En *arb Transport Research*.



- Tarazona Carlos, N. A. (2023). *Corrosión del concreto armado de mediana a baja resistencia por cloruro de sodio usando cemento Portland tipo I Sol* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/25826>
- Ticona Pilco, J. C. (2019). *Estudio De La Corrosión Del Acero Sometido A Un Entorno De Sulfatos Con Diversos Tipos De Agregados* [Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4801>
- Toirac Corral, J. (2009). La Resistencia a Compresión del Hormigón, Condición Necesaria pero no Suficiente para el Logro de la Durabilidad de las Obras. *Ciencia y Sociedad*, XXXIV, 1-43. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87014516001.pdf>
- Torres, J., Mejía De Gutiérrez, R., Puertas, F., & Recepción,). (2007). Efecto de la temperatura de tratamiento de un caolín en la permeabilidad a cloruros en morteros. *Materiales de Construcción*, 57, 61-69. <https://digital.csic.es/handle/10261/2508>
- Torres Velásquez, P. (2019). *Deterioro del concreto armado por ataque del cloruro férrico* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/18713>
- Vásquez, M. (2019). *La Corrosión: el peor de los villanos cuando dominan los metales* (EUDEM Editoriaal de la Universidad Nacional de Mar de Plata, Ed.; 1a ed., Vol. 1).
- Vélez, L. M. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *TecnoLógicas*, ISSN-e 2256-5337, ISSN 0123-7799, No. 25, 2010 (Ejemplar dedicado a: Julio - Diciembre), págs. 169-187, 25, 169-187. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5062984&info=resumen&idioma=ENG>
- Walpole E.R, & Raymond. H. Myres. (1993). *Probability and statistics for engineer and scientists*. (firth edition). Pretince Hall Inc.



Xu, X., & Zhao, Y. (2021a). Corrosion-induced cracking propagation of RC beams subjected to different corrosion methods and load levels. *Construction and Building Materials*, 286, 122913. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122913>

Xu, X., & Zhao, Y. (2021b). Corrosion-induced cracking propagation of RC beams subjected to different corrosion methods and load levels. *Construction and Building Materials*, 286, 122913. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122913>

YURA S.A. (2024). *Ficha Técnica 2024/V.1* (pp. 1-4). <https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-rumi.pdf>

Zambrano Navarrete, L. D., Alava Santos, R. J., Ruíz Párraga, W. E., & Menéndez Menéndez, E. A. (2022). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta Técnica*, 23(1), 35-47. <https://doi.org/10.51372/GACETATECNICA231.4>



ANEXOS



Anexo A: Matriz de consistencia

TITULO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO							
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TECNICA E	DISEÑO METODOLOGICO
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General				INSTRUMENTO	
¿Cómo influyen la resistencia a la compresión y el recubrimiento en la corrosión del concreto armado?	Determinar cómo influyen la resistencia a la compresión y el recubrimiento en la corrosión del concreto armado.	La resistencia a la compresión de 280 kg/cm ² reducirá significativamente la corrosión del concreto armado.	INDEPENDIENTES	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión del concreto F'c = 210 kg/cm ² F'c = 280 kg/cm ²	Ensayo de resistencia a la compresión NTP 339.034	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Este estudio se clasifica como de carácter estrictamente experimental, dado que se fundamenta en los resultados que han sido recolectados a través de la medición cuantitativa de la reducción de peso en el acero utilizado para la armadura, el cual será expuesto a un proceso de corrosión acelerada.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		Recubrimiento	Recubrimiento 2cm 4.5cm	Ficha de observación	
¿Cómo influye la resistencia a la compresión en la corrosión del concreto armado?	Determinar cómo influye la resistencia a la compresión en la corrosión del concreto armado.	La resistencia a la compresión del concreto armado influye significativamente en la reducción de la corrosión del concreto armado.	DEPENDIENTES	Corrosión del Concreto	Pérdida de masa del acero. Grado de Corrosión (Gc %)	Ficha de observación	NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Dado que esta investigación pretende evaluar las correlaciones causa-efecto entre las variables resistencia a la compresión, revestimiento y corrosión del acero de armadura, el nivel explicativo es el más adecuado para esta investigación.
¿Como influye el recubrimiento en la corrosión del concreto armado?	Determinar cómo influye el recubrimiento en la corrosión del concreto armado.	El espesor del recubrimiento tiene un efecto positivo en la protección contra la corrosión, de modo que mayores espesores proporcionan mayor protección contra la corrosión del concreto armado.		Carbonatación del concreto. (Coloración)	Profundidad de penetración de la fenoltaleína (mm).	Ensayo de laboratorio normado por UNE-EN 14630:2007	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: El diseño factorial experimental es un tipo de diseño de investigación que puede proporcionar un análisis de si existe o no una interacción entre la resistencia a la compresión y el revestimiento en la corrosión del acero de refuerzo.



Anexo B: Certificados de laboratorio



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D-2216 MTC E108-2000

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO
SOLICITANTE : BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ
CANTERA : ISLA
LUGAR : DISTRITO DE JULIACA - CARRETERA JULIACA - ISLA km 17
FECHA : 04 DE MARZO DEL 2024

MUESTRA : ARENA	
N° DE TARRO	1
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (gr.)	320.13
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (gr.)	309.29
PESO DEL TARRO (gr.)	54.15
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (gr.)	265.98
PESO DE LA MUESTRA SECA (gr.)	255.14
PESO DEL AGUA (gr.)	10.84
% HUMEDAD	4.25

MUESTRA : GRAVA	
N° DE TARRO	2
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (gr.)	315.16
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (gr.)	314.08
PESO DEL TARRO (gr.)	56.44
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (gr.)	258.72
PESO DE LA MUESTRA SECA (gr.)	257.64
PESO DEL AGUA (gr.)	1.08
% HUMEDAD	0.42

OBSERVACIONES:
* LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA
Mgtr. Arnaldo Yana Torres
E.I.P. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO
SOLICITANTE : BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ
CANTERA : ISLA
LUGAR : DISTRITO DE JULIACA - CARRETERA JULIACA - ISLA km 17
FECHA : 04 DE MARZO DEL 2024

ANÁLISIS MECÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

ARENA

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Peso Específico y Absorción Método del Picnómetro												
3/8"	0	0.00	0.00	100.00	<table> <tr><td>A</td><td>-Peso de muestra secada al horno</td><td>489.27</td></tr> <tr><td>B</td><td>-Peso de muestra saturada seca (SSS)</td><td>500.00</td></tr> <tr><td>Wc</td><td>-Peso del picnómetro con agua</td><td>1310.42</td></tr> <tr><td>W</td><td>-Peso del Pic. + muestra + agua</td><td>1614.87</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">PESO ESPECÍFICO</p> $Wc+B = \underline{1810} \qquad Wc+B-W = \underline{196}$ $Pe = \frac{B}{Wc+B-W} = \underline{2.56} \text{ gr/cm}^3$ <p style="text-align: center;">ABSORCIÓN</p> $B = \underline{500.00} \qquad B-A = \underline{10.73}$ $Abs = \frac{(B-A) \times 100}{A} = \underline{2.19} \%$	A	-Peso de muestra secada al horno	489.27	B	-Peso de muestra saturada seca (SSS)	500.00	Wc	-Peso del picnómetro con agua	1310.42	W	-Peso del Pic. + muestra + agua	1614.87
A	-Peso de muestra secada al horno	489.27															
B	-Peso de muestra saturada seca (SSS)	500.00															
Wc	-Peso del picnómetro con agua	1310.42															
W	-Peso del Pic. + muestra + agua	1614.87															
N° 4	0.00	0.00	0.00	100.00													
N° 8	90.44	18.09	18.09	81.91													
N° 16	112.22	22.44	40.53	59.47													
N° 30	115.69	23.14	63.67	36.33													
N° 50	111.13	22.23	85.90	14.10													
N° 100	55.39	11.08	96.97	3.03													
N° 200	11.44	2.29	99.26	0.74													
FONDO	3.69	0.74	100.00	0.00													
SUMA	500.00	100.00															
Observaciones sobre el Análisis Granulométrico																	
Mf = MÓDULO DE FINEZA			3.05														

GRAVA

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Peso Específico y Absorción Método del Picnómetro												
2"	0	0.00	0.00	100.00	<table> <tr><td>A</td><td>-Peso de muestra secada al horno</td><td>784.40</td></tr> <tr><td>B</td><td>-Peso de muestra saturada seca (SSS)</td><td>800.00</td></tr> <tr><td>Wc</td><td>-Peso del picnómetro con agua</td><td>1310.42</td></tr> <tr><td>W</td><td>-Peso del Pic. + muestra + agua</td><td>1793.61</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">PESO ESPECÍFICO</p> $Wc+B = \underline{2110} \qquad Wc+B-W = \underline{317}$ $Pe = \frac{B}{Wc+B-W} = \underline{2.53} \text{ gr/cm}^3$ <p style="text-align: center;">ABSORCIÓN</p> $B = \underline{800.00} \qquad B-A = \underline{15.60}$ $Abs = \frac{(B-A) \times 100}{A} = \underline{1.99} \%$	A	-Peso de muestra secada al horno	784.40	B	-Peso de muestra saturada seca (SSS)	800.00	Wc	-Peso del picnómetro con agua	1310.42	W	-Peso del Pic. + muestra + agua	1793.61
A	-Peso de muestra secada al horno	784.40															
B	-Peso de muestra saturada seca (SSS)	800.00															
Wc	-Peso del picnómetro con agua	1310.42															
W	-Peso del Pic. + muestra + agua	1793.61															
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00													
1"	0	0.00	0.00	100.00													
3/4"	411	11.74	11.74	88.26													
1/2"	1000	28.57	40.31	59.69													
3/8"	651	18.60	58.91	41.09													
1/4"																	
N° 4	1438	41.09	100.00	0.00													
FONDO	0.00	0.00	100.00	0.00													
SUMA	3500.00	100.00															
Observaciones sobre el Análisis Granulométrico																	

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FICP - CIVIL INGENIERÍA CIVIL

Mtro. Arnoldo Yana Torres
EIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C - 29 AASHTO T - 19

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO
SOLICITANTE : BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ
CANTERA : ISLA
LUGAR : DISTRITO DE JULIACA - CARRETERA JULIACA - ISLA km 17
FECHA : 04 DE MARZO DEL 2024

DENSIDAD MINIMA AGREGADO (GRAVA)

PESO DEL MOLDE	8029 gr	8029 gr	8029 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	3249 cm ³	3249 cm ³	3249 cm ³
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	12996.00 gr	12961.00 gr	12974.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	4967.00 gr	4932.00 gr	4945.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.529 gr/cm ³	1.518 gr/cm ³	1.522 gr/cm ³
PROMEDIO	1.523 gr/cm ³		

DENSIDAD MÁXIMA AGREGADO (GRAVA)

PESO DEL MOLDE	8029 gr	8029 gr	8029 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	3249 cm ³	3249 cm ³	3249 cm ³
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	13301.00 gr	13322.00 gr	13329.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	5272.00 gr	5293.00 gr	5300.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.622 gr/cm ³	1.629 gr/cm ³	1.631 gr/cm ³
PROMEDIO	1.627 gr/cm ³		

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

Mgt. Arnaldo Yana Torres
CIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C - 29 AASHTO T - 19

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO
SOLICITANTE : BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ
CANTERA : ISLA
LUGAR : DISTRITO DE JULIACA - CARRETERA JULIACA - ISLA km 17
FECHA : 04 DE MARZO DEL 2024

DENSIDAD MINIMA AGREGADO (ARENA)

PESO DEL MOLDE	5620 gr	5620 gr	5620 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2099 cm ³	2099 cm ³	2099 cm ³
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	9089.00 gr	9075.00 gr	9095.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	3469.00 gr	3455.00 gr	3475.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.652 gr/cm ³	1.646 gr/cm ³	1.655 gr/cm ³
PROMEDIO	1.651 gr/cm ³		

DENSIDAD MÁXIMA AGREGADO (ARENA)

PESO DEL MOLDE	5620 gr	5620 gr	5620 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2099 cm ³	2099 cm ³	2099 cm ³
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	9349.00 gr	9338.00 gr	9350.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	3729.00 gr	3718.00 gr	3730.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.776 gr/cm ³	1.771 gr/cm ³	1.777 gr/cm ³
PROMEDIO	1.775 gr/cm ³		

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Mg. Arnoldo Yana Torres
C.P. 103257

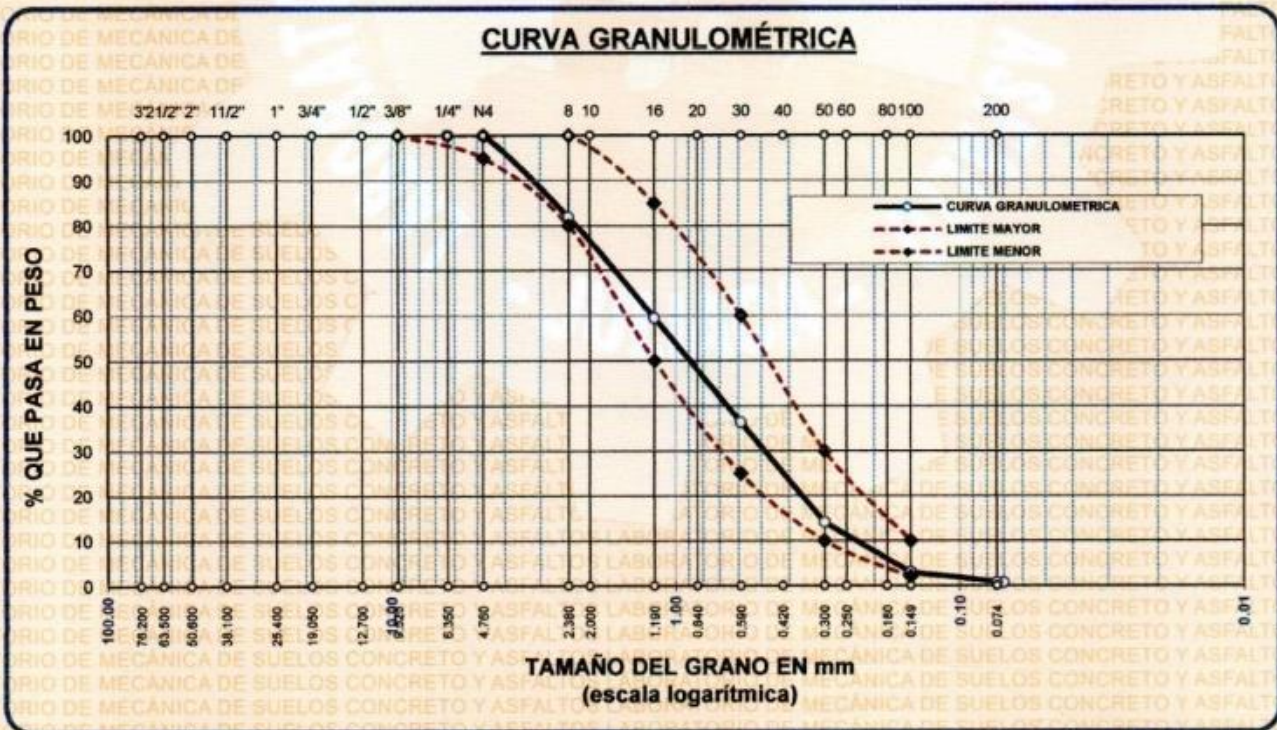


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA: ASTM C 33

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO
SOLICITANTE : BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ
CANTERA : ISLA
LUGAR : DISTRITO DE JULIACA - CARRETERA JULIACA - ISLA km 17
FECHA : 04 DE MARZO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RET. ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100%	Peso Inicial = 500 gr. Módulo de Fineza = 3.05 OBSERVACIONES:
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00	95 - 100 %	
No4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	80 - 100 %	
No8	2.380	90.44	18.09	18.09	81.91		
No10	2.000						
No16	1.190	112.22	22.44	40.53	59.47	50 - 85 %	
No20	0.840						
No30	0.590	115.69	23.14	63.67	36.33	25 - 60 %	
No40	0.420						
No 50	0.300	111.13	22.23	85.90	14.10	10 - 30 %	
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	55.39	11.08	96.97	3.03	2-10%	
No200	0.074	11.44	2.29	99.26	0.74		
BASE		3.69	0.74	100	0.00		
TOTAL		500.00	100.00				
% PÉRDIDA		0.74					



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
 Mtr. Arnaldo Yana Torres
 SIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

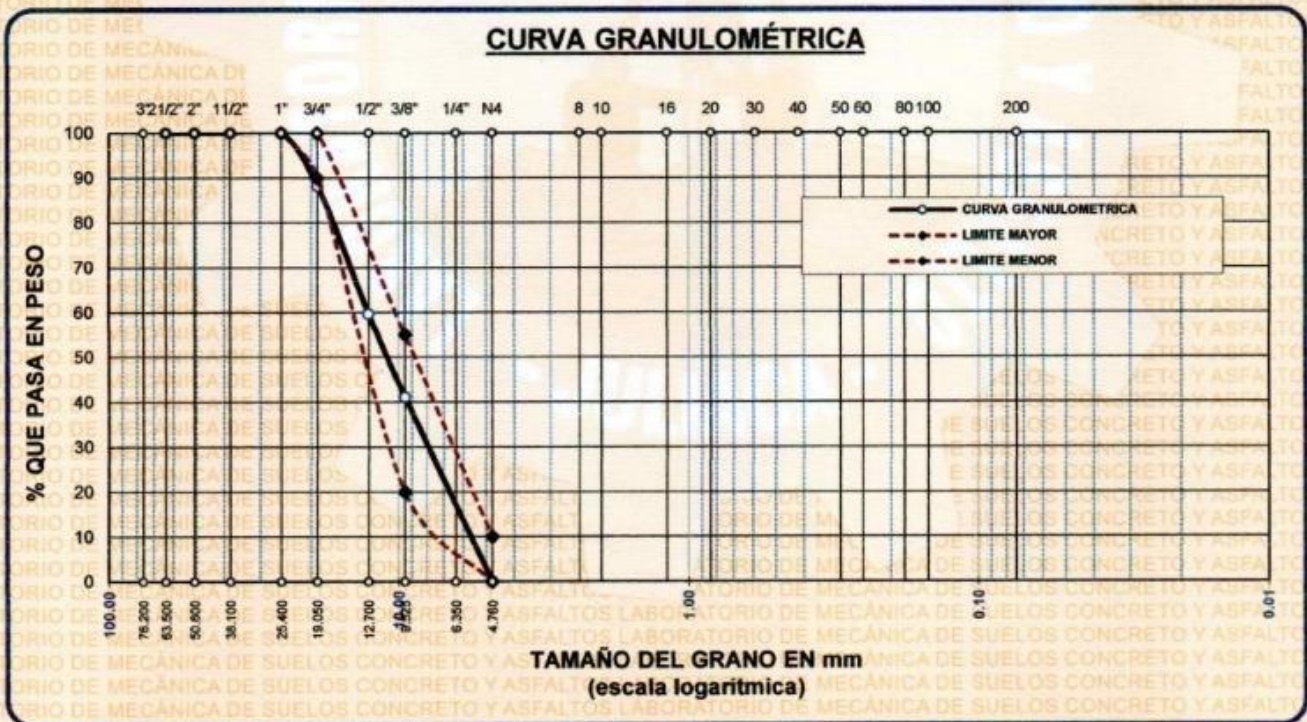


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA: ASTM C 33

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO
SOLICITANTE : BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ
CANTERA : ISLA
LUGAR : DISTRITO DE JULIACA - CARRETERA JULIACA - ISLA km 17
FECHA : 04 DE MARZO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso Inicial = 3500 gr. Tamaño máx. nominal = 3/4 " OBSERVACIONES:
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	90 - 100 %	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.050	411.00	11.74	11.74	88.26		
1/2"	12.700	1000.00	28.37	40.31	59.69		
3/8"	9.525	651.00	18.60	58.91	41.09	20 - 55 %	
1/4"	6.350						
No4	4.760	1438.00	41.09	100.00	0.00	0 - 10 %	
BASE		0.00	0.00	100.0	0.0		
TOTAL		3500.00	100.00				
% PERDIDA		0.00					



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
 Mgtr. Arnaldo Yana Torres
 CIP. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

DISEÑO DE MEZCLA $F'c = 210 \text{ Kg./cm.}^2$

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO
SOLICITANTE : BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ
CANTERA : ISLA
UBICACIÓN : DISTRITO DE JULIACA - CARRETERA JULIACA - ISLA km 17
FECHA : 04 DE MARZO DEL 2024

PROCESO DE DISEÑO:

NORMAS: ACI 211.1.74
 ACI 211.1.81

El requerimiento promedio de resistencia a la compresión $F'c = 210 \text{ Kg./cm.}^2$ a los 28 días
 entonces la resistencia promedio $F'cr = 294 \text{ Kg./cm.}^2$

Las condiciones de colocación permiten un asentamiento de 3" a 4" (76.2 mm. A 101.6 mm.).

Dado el uso del agregado grueso, se utilizará el único agregado de calidad satisfactoria y económicamente disponible, el cual cumple con las especificaciones. Cuya graduación para el diámetro máximo nominal es de: **3/4" (19.05mm)**

Además se indica las pruebas de laboratorio para los agregados realizadas previamente:

RESULTADOS DE LABORATORIO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	AGREGADO GRUESO (GRAVA)	AGREGADO FINO (ARENA)
P.e de Sólidos		
P.e SSS	2.53	2.56
P.e Bulk		
P.U. Varillado	1627	1775
P.U. Suelto	1523	1651
% de Absorción	1.99	2.19
% de Humedad Natural	0.42	4.25
Modulo de Fineza	-	3.05

Los cálculos aparecerán únicamente en forma esquemática:

- 1, El asentamiento dado es de 3" a 4" (76.2 mm. A 101.6 mm.).
- 2, Se usará el agregado disponible en la localidad, el cual posee un diámetro nomin **3/4" (19.05mm)**
- 3, Puesto que no se utilizará incorporador de aire, pero la estructura estará expuesta a intemperismo severo, la cantidad aproximada de agua de mezclado que se empleará para producir el asentamiento indicado será de: **205 Lt/m3**
- 4, Como el concreto estará sometido a intemperismo severo se considera un contenido de aire atrapado de: **2.0 %**
- 5, Como se prevee que el concreto no será atacado por sulfatos, entonces las relación agua/cemento (a/c) será de: **0.558**
- 6, De acuerdo a la información obtenida en los items 3 y 4 el requerimiento de cemento será de:

$$(205 \text{ Lt/m3 }) / (0.558) = 367 \text{ Kg/m3}$$

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FICP - CAR INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO M.S.C. JEFATURA
 JULIACA - PERÚ
 Mgtr. Arnaldo Yana Torres
 CIP 103257



7. De acuerdo al módulo de fineza del agregado fino = 3.05 el peso específico unitario del agregado grueso varillado-compactado de 1627 Kg/m³ y un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 3/4" (19.05mm) se recomienda el uso de 0.595 m³ de agregado grueso por m³ de concreto. Por tanto el peso seco del agregado grueso será de:

$$(0.5948) * (1627) = 968 \text{ Kg/m}^3$$

8. Una vez determinadas las cantidades de agua, cemento y agregado grueso, los materiales resultantes para completar un m³ de concreto consistirán en arena y aire atrapado. La cantidad de arena requerida se puede determinar en base al volumen absoluto como se muestra a continuación.

Con las cantidades de agua, cemento y agregado grueso ya determinadas y considerando el contenido aproximado de aire atrapado, se puede calcular el contenido de arena como sigue:

Volúmen absoluto de agua	= (205) / (1000)	= 0.205
Volúmen absoluto de cemento	= (367) / (2.88 * 1000)	= 0.128
Volúmen absoluto de agregado grueso	= (968) / (2.53 * 1000)	= 0.383
Volúmen de aire atrapado	= (2.0) / (100)	= 0.020
Volúmen sub total	=	0.736

Volúmen absoluto de arena

Por tanto el peso requerido de arena seca será de: = (1.000 - 0.736) = 0.264 m³

$$(0.264) * (2.56) * 1000 = 675 \text{ Kg/m}^3$$

9. De acuerdo a las pruebas de laboratorio se tienen % de humedad, por las que se tiene que ser corregidas los pesos de los agregados:

Agregado grueso húmedo (968) * (1.004192) = 972 Kg.
 Agregado Fino húmedo (675) * (1.0425) = 704 Kg.

10. El agua de absorción no forma parte del agua de mezclado y debe excluirse y ajustarse por adición de agua. De esta manera la cantidad de agua efectiva es:

$$205 - 968 * \left(\frac{0.42 - 1.99}{100} \right) - 675 \left(\frac{4.25 - 2.19}{100} \right) = 206$$

DOSIFICACIÓN

AGREGADO	DOSIFICACIÓN EN PESO SECO (Kg/m ³)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN PESO SECO	DOSIFICACIÓN EN PESO HÚMEDO (Kg/m ³)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN PESO HÚMEDO
Cemento	367	1.00	367	1.00
Agua	205	0.558	206	0.56
Agreg. Grueso	968	2.64	972	2.65
Agreg. Fino	675	1.84	704	1.92
Aire	2.0 %		2.0 %	

8.64 BOLSAS / m³ DE CEMENTO

DOSIFICACIÓN POR PESO:

Cemento	:	42.50 Kg.
Agregado fino húmedo	:	81.42 Kg.
Agregado grueso húmedo	:	112.46 Kg.
Agua efectiva	:	23.87 Kg.


 UNIVERSIDAD ANTONIO NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 FICP - QAP. INGENIERÍA CIVIL

 Mgtr. Arnaldo Yana Torres
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

DISEÑO DE MEZCLA $F'c = 280 \text{ Kg./cm.}^2$

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO
SOLICITANTE : BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ
CANTERA : ISLA
UBICACIÓN : DISTRITO DE JULIACA - CARRETERA JULIACA - ISLA km 17
FECHA : 04 DE MARZO DEL 2024

PROCESO DE DISEÑO:

NORMAS: ACI 211.1.74
 ACI 211.1.81

El requerimiento promedio de resistencia a la compresión $F'c = 280 \text{ Kg./cm.}^2$ a los 28 días
 entonces la resistencia promedio $F'cr = 364 \text{ Kg./cm.}^2$

Las condiciones de colocación permiten un asentamiento de 3" a 4" (76.2 mm. A 101.6 mm.).

Dado el uso del agregado grueso, se utilizará el único agregado de calidad satisfactoria y económicamente disponible, el cual cumple con las especificaciones. Cuya graduación para el diámetro máximo nominal es de: 3/4" (19.05mm)

Además se indica las pruebas de laboratorio para los agregados realizadas previamente:

RESULTADOS DE LABORATORIO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	AGREGADO GRUESO (GRAVA)	AGREGADO FINO (ARENA)
P.e de Sólidos		
P.e SSS	2.53	2.56
P.e Bulk		
P.U. Varillado	1627	1775
P.U. Suelto	1523	1651
% de Absorción	1.99	2.19
% de Humedad Natural	0.42	4.25
Modulo de Fineza	-	3.05

Los cálculos aparecerán únicamente en forma esquemática:

1. El asentamiento dado es de 3" a 4" (76.2 mm. A 101.6 mm.).
2. Se usará el agregado disponible en la localidad, el cual posee un diámetro nomin 3/4" (19.05mm)
3. Puesto que no se utilizará incorporador de aire, pero la estructura estará expuesta a intemperismo severo, la cantidad aproximada de agua de mezclado que se empleará para producir el asentamiento indicado será de: 205 Lt/m³
4. Como el concreto estará sometido a intemperismo severo se considera un contenido de aire atrapado de: 2.0 %
5. Como se prevee que el concreto no será atacado por sulfatos, entonces las relación agua/cemento (a/c) será de: 0.466
6. De acuerdo a la información obtenida en los items 3 y 4 el requerimiento de cemento será de:

$$(205 \text{ Lt/m}^3) / (0.466) = 440 \text{ Kg/m}^3$$

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 M.S.C.A. JEFATURA
 Mgtr. Arnoldo Yana Torres
 C.I. 103257



De acuerdo al módulo de fineza del agregado fino = 3.05 el peso específico unitario del agregado grueso varillado-compactado de 1627 Kg/m³ y un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 3/4" (19.05mm) se recomienda el uso de 0.595 m³ de agregado grueso por m³ de concreto. Por tanto el peso seco del agregado grueso será de:

$$(0.5948) * (1627) = 968 \text{ Kg/m}^3$$

8. Una vez determinadas las cantidades de agua, cemento y agregado grueso, los materiales resultantes para completar un m³ de concreto consistirán en arena y aire atrapado. La cantidad de arena requerida se puede determinar en base al volumen absoluto como se muestra a continuación.

Con las cantidades de agua, cemento y agregado grueso ya determinadas y considerando el contenido aproximado de aire atrapado, se puede calcular el contenido de arena como sigue:

Volúmen absoluto de agua	= (205) / (1000)	= 0.205
Volúmen absoluto de cemento	= (440) / (2.88 * 1000)	= 0.153
Volúmen absoluto de agregado grueso	= (968) / (2.53 * 1000)	= 0.383
Volúmen de aire atrapado	= (2.0) / (100)	= 0.020
Volúmen sub total	=	<u>0.761</u>

Volúmen absoluto de arena

$$\text{Por tanto el peso requerido de arena seca será de: } = (1.000 - 0.761) = 0.239 \text{ m}^3$$

$$(0.239) * (2.56) * 1000 = 611 \text{ Kg/m}^3$$

9. De acuerdo a las pruebas de laboratorio se tienen % de humedad, por las que se tiene que ser corregidas los pesos de los agregados:

$$\text{Agregado grueso húmedo } (968) * (1.004192) = 972 \text{ Kg.}$$

$$\text{Agregado Fino húmedo } (611) * (1.0425) = 637 \text{ Kg.}$$

10. El agua de absorción no forma parte del agua de mezclado y debe excluirse y ajustarse por adición de agua. De esta manera la cantidad de agua efectiva es:

$$205 - 968 * \left(\frac{0.42 - 1.99}{100} \right) - 611 \left(\frac{4.25 - 2.19}{100} \right) = 208$$

DOSIFICACIÓN

AGREGADO	DOSIFICACIÓN EN PESO SECO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN	DOSIFICACIÓN EN PESO HÚMEDO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN
	(Kg/m ³)	PESO SECO	(Kg/m ³)	PESO HÚMEDO
Cemento	440	1.00	440	1.00
Agua	205	0.466	208	0.47
Agreg. Grueso	968	2.20	972	2.21
Agreg. Fino	611	1.39	637	1.45
Aire	2.0 %		2.0 %	

10.35 BOLSAS / m³ DE CEMENTO

DOSIFICACIÓN POR PESO:

Cemento	:	42.50 Kg.
Agregado fino húmedo	:	61.51 Kg.
Agregado grueso húmedo	:	93.92 Kg.
Agua efectiva	:	20.06 Kg.



INVESTIGACIÓN EN MATERIA DE INGENIERÍA CIVIL
FICP - CAS INGENIERÍA CIVIL

Magr. Armando Fano Torres
CIP: 100257



Para Mezcladora de 9 pies³

1.0 Bolsa de Cemento:

- 1.32 p3 de Arena
- 2.18 p3 de Grava
- 20 Lt de Agua

Redondeo

- 1.3 p3 de Arena
- 2.2 p3 de Grava
- 20 Lt de Agua

RECOMENDACIONES

Debido a las características de los agregados, se recomienda que la dosificación tanto de la arena como de la grava se realice en forma separada, tal como se indica en el ítem DOSIFICACION POR TANDAS.

- * Se debiera de hacer las correcciones del W% del A.F. y A.G.

OBSERVACIONES

- * LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.



INVESTIGADOR RESPONSABLE
 T.C.P. - CIP INGENIERO CIVIL
 Mgtr. Arnaldo Yana Torres
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO
SOLICITANTE : Bach. BRYAN
f_c : 210 kg/cm²
LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
FECHA : 01 DEL ABRIL DEL 2024

EDAD : 7 DIAS

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	φ	AREA	ESF. ROTURA	F _C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	PROBETA DE PRUEBA 14.96 x 30.0 cm M-1	26830.00	14.96	175.8	152.64	210	04/03/2024	11/03/2024	7	72.69%
2	PROBETA DE PRUEBA 15.03 x 30.0 cm M-2	25870.00	15.03	177.4	145.81	210	04/03/2024	11/03/2024	7	69.43%
3	PROBETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm M-3	27010.00	15.02	177.2	152.44	210	04/03/2024	11/03/2024	7	72.69%
4	PROBETA DE PRUEBA 14.98 x 30.0 cm M-4	26410.00	14.98	176.2	149.85	210	04/03/2024	11/03/2024	7	71.36%
PROMEDIO										71.52%

EDAD : 14 DIAS

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	φ	AREA	ESF. ROTURA	F _C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	PROBETA DE PRUEBA 15.03 x 30.0 cm M-1	34000.00	15.03	177.4	191.64	210	04/03/2024	18/03/2024	14	91.26%
2	PROBETA DE PRUEBA 14.95 x 30.0 cm M-2	33490.00	14.95	175.5	190.78	210	04/03/2024	18/03/2024	14	90.85%
3	PROBETA DE PRUEBA 15.05 x 30.0 cm M-3	34510.00	15.05	177.9	194.00	210	04/03/2024	18/03/2024	14	92.38%
4	PROBETA DE PRUEBA 14.98 x 30.0 cm M-4	32700.00	14.98	176.2	185.54	210	04/03/2024	18/03/2024	14	88.35%
PROMEDIO										90.71%

EDAD : 28 DIAS

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	φ	AREA	ESF. ROTURA	F _C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	PROBETA DE PRUEBA 14.97 x 30.0 cm M-1	40050.00	14.97	176	227.54	210	04/03/2024	01/04/2024	28	108.35%
2	PROBETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm M-2	39100.00	15.02	177.2	220.67	210	04/03/2024	01/04/2024	28	105.08%
3	PROBETA DE PRUEBA 15.04 x 30.0 cm M-3	38980.00	15.04	177.7	218.84	210	04/03/2024	01/04/2024	28	104.21%
4	PROBETA DE PRUEBA 15.01 x 30.0 cm M-4	39610.00	15.01	177	223.85	210	04/03/2024	01/04/2024	28	106.59%
PROMEDIO										106.06%

OBSERVACIONES:

1.- LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE


 INVERSIÓN NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
 Mgr. Arnaldo Yano Torres
 C.P. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO
SOLICITANTE : Bach. BRYAN
f_c : 280 kg/cm²
LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
FECHA : 01 DEL ABRIL DEL 2024

EDAD : 7 DIAS

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	ϕ	AREA	ESF. ROTURA	F _C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	PROBETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm M-1	32900.00	15.02	177.2	185.68	280	04/03/2024	11/03/2024	7	68.31%
2	PROBETA DE PRUEBA 15.06 x 30.0 cm M-2	33810.00	15.06	178.1	189.81	280	04/03/2024	11/03/2024	7	67.79%
3	PROBETA DE PRUEBA 14.97 x 30.0 cm M-3	33470.00	14.97	176	190.16	280	04/03/2024	11/03/2024	7	67.91%
4	PROBETA DE PRUEBA 15.03 x 30.0 cm M-4	34020.00	15.03	177.4	191.75	280	04/03/2024	11/03/2024	7	68.48%
PROMEDIO										67.62%

EDAD : 14 DIAS

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	ϕ	AREA	ESF. ROTURA	F _C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	PROBETA DE PRUEBA 15.05 x 30.0 cm M-1	42500.00	15.05	177.9	238.91	280	04/03/2024	18/03/2024	14	85.33%
2	PROBETA DE PRUEBA 15.04 x 30.0 cm M-2	41850.00	15.04	177.7	235.56	280	04/03/2024	18/03/2024	14	84.13%
3	PROBETA DE PRUEBA 14.99 x 30.0 cm M-3	43030.00	14.99	176.5	243.82	280	04/03/2024	18/03/2024	14	87.08%
4	PROBETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm M-4	41200.00	15.02	177.2	232.52	280	04/03/2024	18/03/2024	14	83.04%
PROMEDIO										84.89%

EDAD : 28 DIAS

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	ϕ	AREA	ESF. ROTURA	F _C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	PROBETA DE PRUEBA 15.03 x 30.0 cm M-1	48690.00	15.03	177.4	274.43	280	04/03/2024	01/04/2024	28	98.01%
2	PROBETA DE PRUEBA 14.95 x 30.0 cm M-2	50100.00	14.95	175.5	285.41	280	04/03/2024	01/04/2024	28	101.93%
3	PROBETA DE PRUEBA 14.98 x 30.0 cm M-3	49730.00	14.98	176.2	282.17	280	04/03/2024	01/04/2024	28	100.78%
4	PROBETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm M-4	51590.00	15.02	177.2	291.16	280	04/03/2024	01/04/2024	28	103.98%
PROMEDIO										101.18%

OBSERVACIONES:

1.- LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 ESC. PROF. INGENIERÍA CIVIL
 Mgr. Arnaldo Yales Torres
 CIP. 103257



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DIAMANTINA

NORMA (ASTM C 17 - ASTM C 192)

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSION DEL CONCRETO ARMADO

SOLICITANTE : Bach. BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ

LUGAR : DISTRITO DE PUNO

FECHA : 10 DE JUNIO DEL 2024

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA KN	Ø mm	AREA mm ²	RELACIÓN H/D	F'c Kg/cm ²	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DÍAS	Fac. DE CORECCIÓN	ESFUERZO A COMPRESIÓN Fom (Mpa)
1	NUCLEO DE CONCRETO 42.33 X 75.85 mm	23.70	42.33	1407.3	1.79	210	04/03/2024	10/06/2024	98	0.99	16.64
	MUESTRA - PC71R1										
2	NUCLEO DE CONCRETO 42.36 X 85.65 mm	24.65	42.36	1409.29	2.02	210	04/03/2024	10/06/2024	98	1.00	17.45
	MUESTRA - PC73R1										
3	NUCLEO DE CONCRETO 42.36 X 87.00 mm	22.71	42.36	1409.29	2.05	210	04/03/2024	10/06/2024	98	0.99	16.08
	MUESTRA - PC72R1										
4	NUCLEO DE CONCRETO 42.31 X 88.25 mm	34.64	42.31	1405.97	2.09	280	04/03/2024	10/06/2024	98	1.00	24.58
	MUESTRA - PC17R2										
5	NUCLEO DE CONCRETO 42.36 X 86.45 mm	34.66	42.36	1409.29	2.04	280	04/03/2024	10/06/2024	98	1.00	24.60
	MUESTRA - PC37R2										
6	NUCLEO DE CONCRETO 42.42 X 86.06 mm	34.60	42.42	1413.29	2.03	280	04/03/2024	10/06/2024	98	1.00	24.42
	MUESTRA - PC27R2										

OBSERVACIONES:

1. LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.

UANCV - FICP
CAP INGENIERÍA CIVIL



Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
CIP 103257



B. N° 006-00304509

ANEXO C: PANEL FOTOGRÁFICO

Panel fotográfico donde se muestra los diversos procesos realizados y de igual modo se muestran las consecuencias de la corrosión en los especímenes de estudio, esto se puede apreciar con mejor detalle en las imágenes que se muestran.

Figura 101

Disolución del NaCl en el agua, pasos previos al desarrollo del ensayo CAIM



Figura 100

Disolución del NaCl en el agua, pasos previos al desarrollo del ensayo CAIM



Figura 102

Desarrollo del Ensayo CAIM



Figura 103

Sumergido parcial de los especímenes



Figura 105

Proceso de corrosión acelerada



Figura 104

Proceso de Limpieza del ensayo CAIM





PC21R1:

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores



-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.



PC22R1

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores

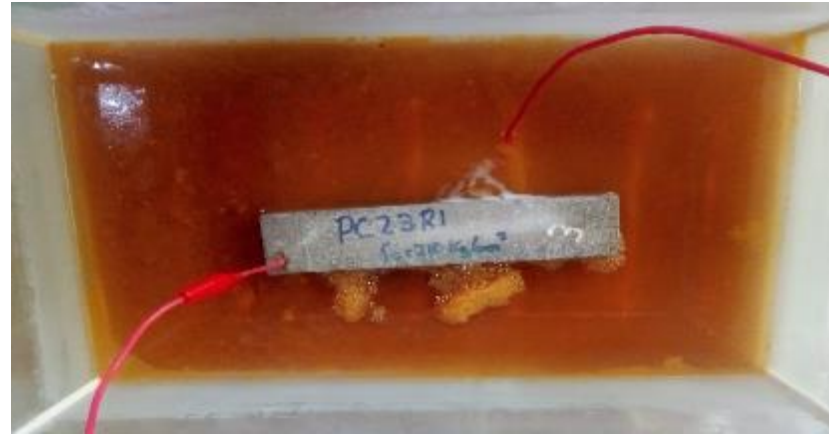


-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.



PC23R1

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores

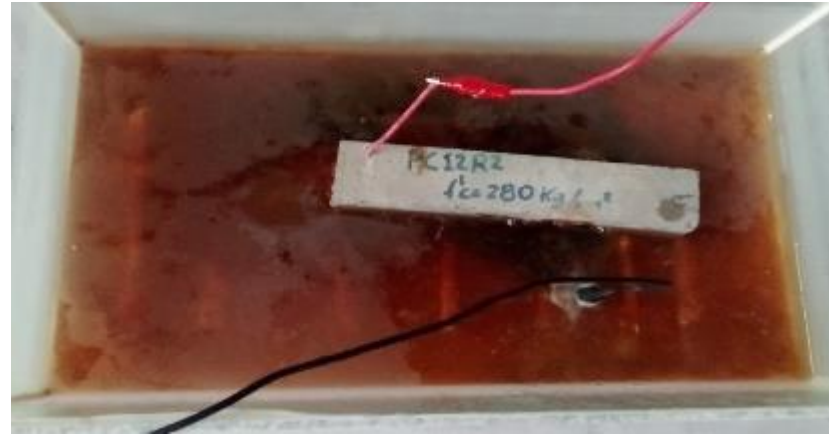


-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.



PC12R2

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores

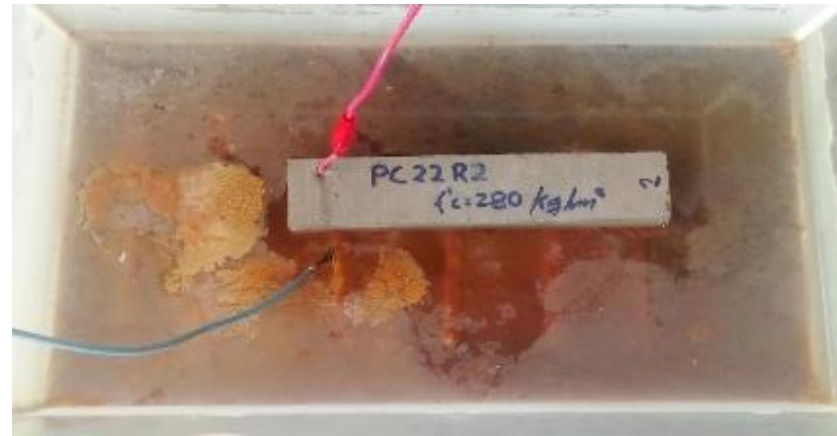


-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.



PC22R2

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores



-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.



PC32R2

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores



-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.



PC41R1

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores



-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.

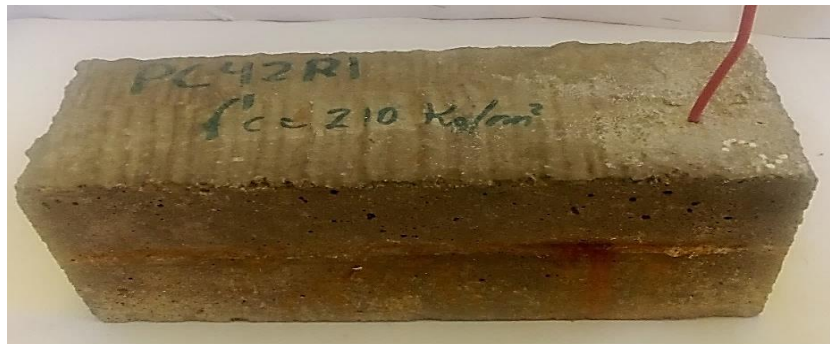


PC42R1

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores

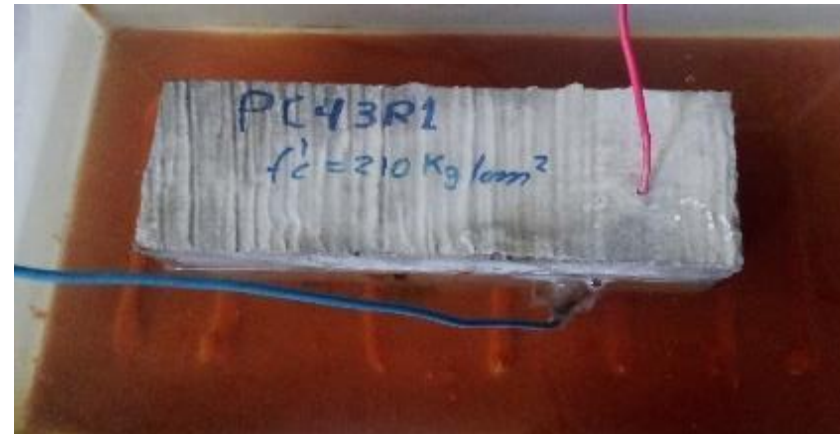


-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.

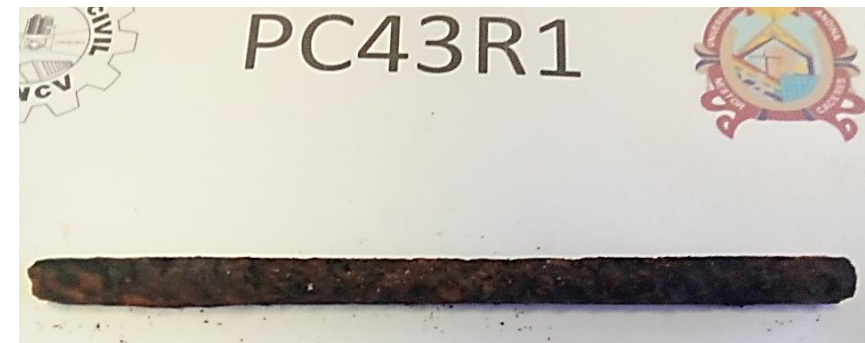


PC43R1

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores

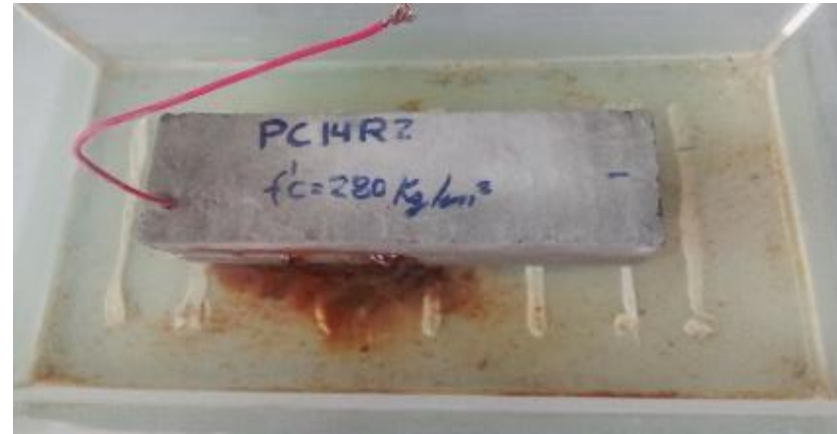


-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.



PC14R2

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores

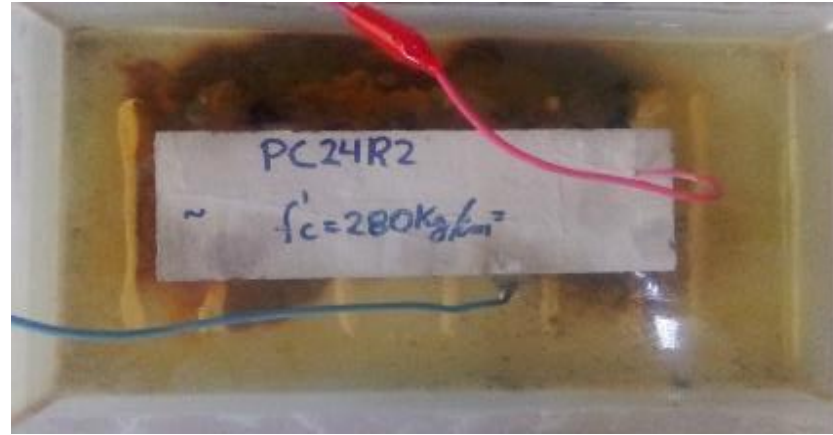


-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.

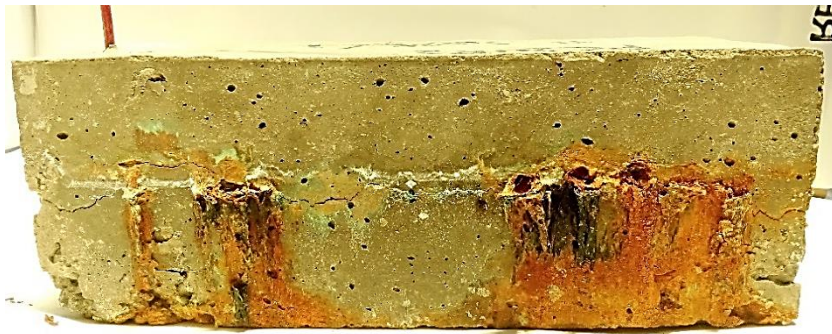


PC24R2

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores

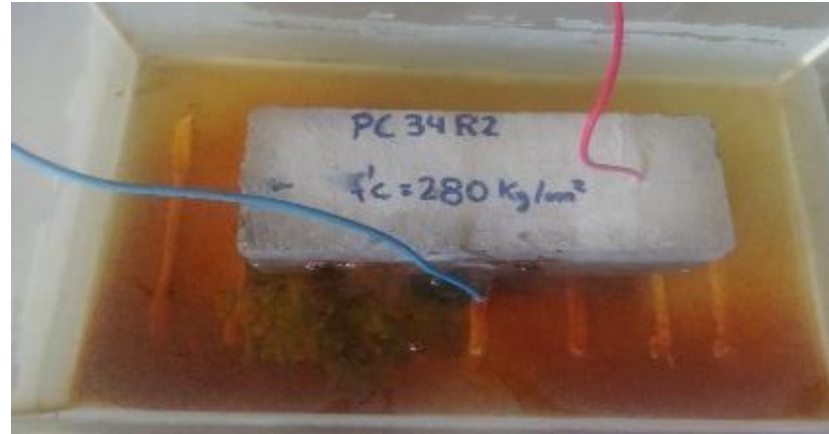


-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.

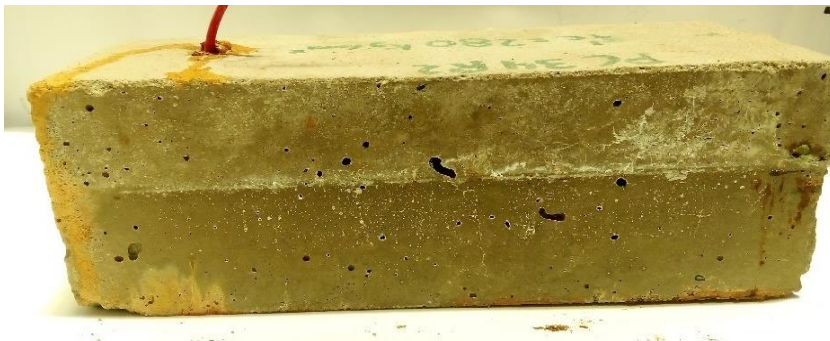


PC34R2

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores

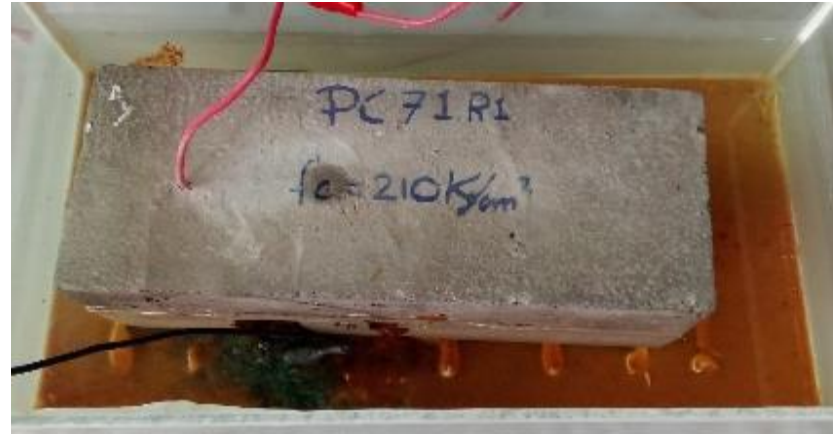


-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.



PC71R1

-Especímen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores



-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.

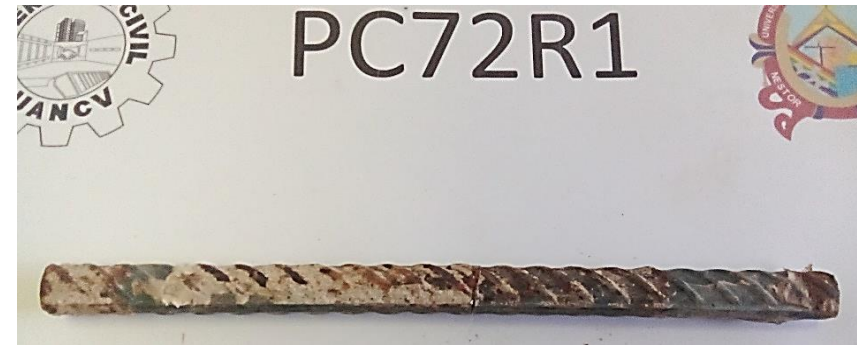
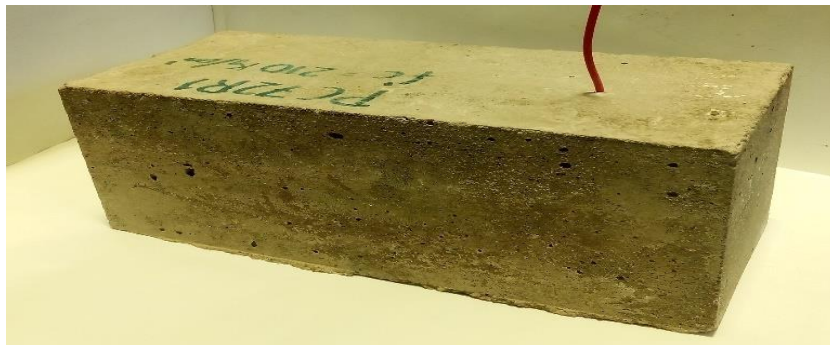


PC72R1

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores



-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.



PC73R1

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores

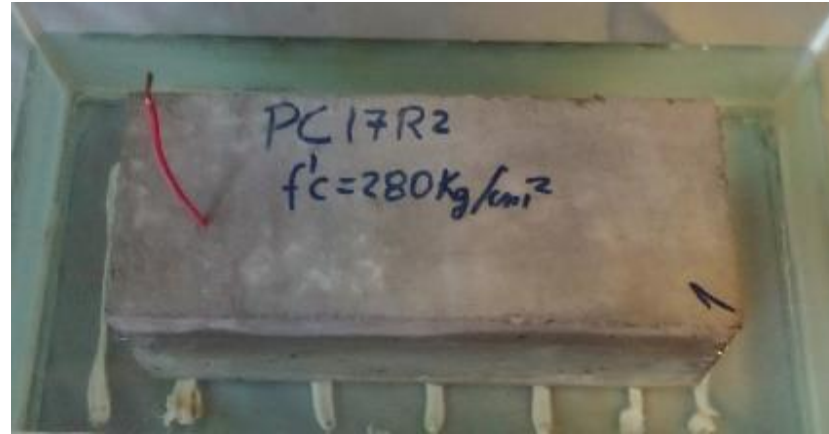


-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.

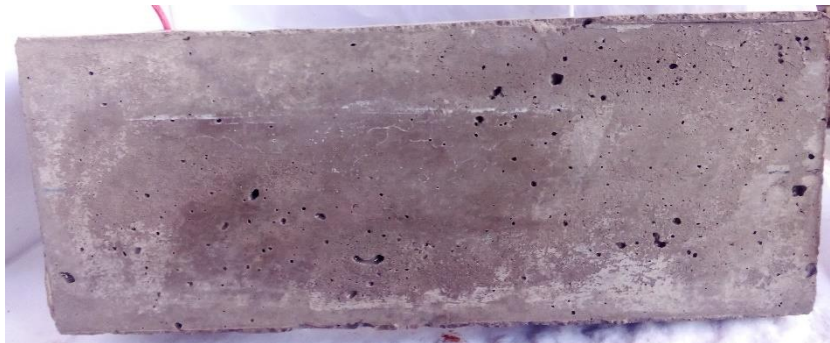


PC17R2

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores



-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.

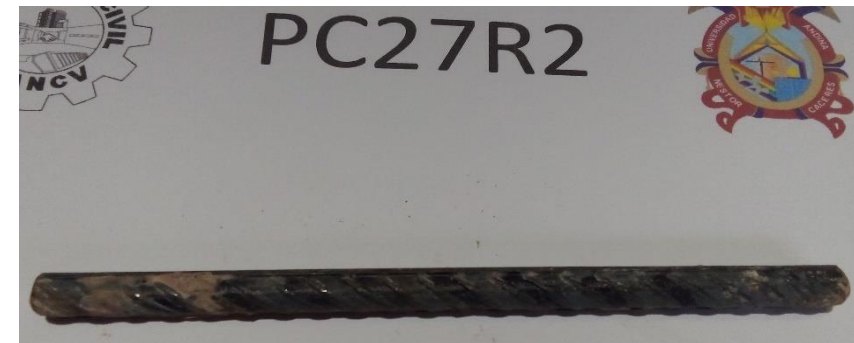


PC27R2

-Especimen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores



-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.

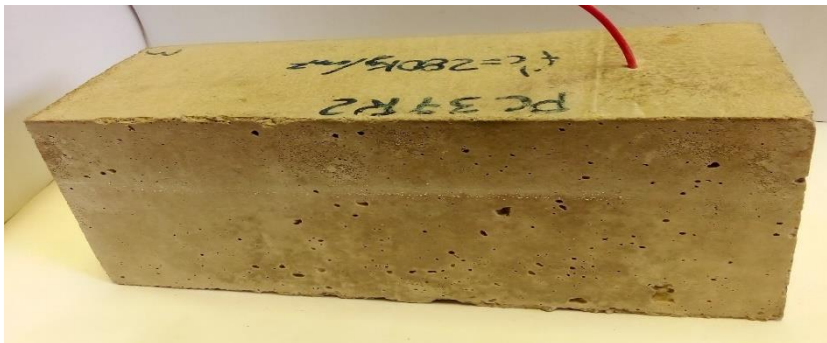


PC37R2

-Especímen de estudio sometido al ensayo de corrosión acelerada CAIM; se puede observar la acción de la corrosión en las imágenes posteriores



-Los aceros extraídos se aprecian en las imágenes de abajo, la primera imagen muestra el acero extraído, la segunda muestra el acero ya limpiado.





ANEXO D: FICHA DE CONTROL CAIM



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



Tesis: "Resistencia a la Compresión y Recubrimiento en la Corrosión del Concreto Armado"

Alumno: Brayan Alexander Baca Cruz

Tiempo de Curado del Especim: 7 días

Control de Parametros en la Ejecucion de la Prueba Acelerada de Corrosión

CAIM

Codigo de Especimen (pc)	Resistencia a la compresión (kg/cm2)	Recubrimiento (cm)	Dimensiones (L x A x h)	Masa inicial del acero (g)	Masa final del acero (g)

Control de Voltaje y Tiempo en el Ensayo CAIM

Fecha	Voltaje Inicio	Voltaje Final	Hora Inicio	Hora fin	Total Horas
TOTAL					

Observaciones:

.....

.....

.....



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 28/10/2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: BRAYAN ALEXANDER BACA CRUZ

Dirección: PSJ. CIUDAD DE LA PAZ 117 ALTO SAN MARTIN

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 73939159

Teléfono: 974573309 email: brabacru@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RECUBRIMIENTO EN LA CORROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO

Palabras claves, (3 a 5 términos): Recubrimiento, resistencia a la compresión, masa consumida, grado de corrosión, corrosión del acero.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1, 2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P1

Firma de Autor



huella digital

28 de Octubre del 2024

Fecha