Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias en Estructuras

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS COSTERAS Y DISCRIMINACIÓN DE LOS EFECTOS Y CAUSAS QUE PROVOCAN LAS MALAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS

Ing. Carlos Omar Rodas Castillo
Asesorado por el MSc. Ing. José Rolando Fuentes Handal

Guatemala, mayo 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS COSTERAS Y DISCRIMINACIÓN DE LOS EFECTOS Y CAUSAS QUE PROVOCAN LAS MALAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. CARLOS OMAR RODAS CASTILLO
ASESORADO POR EL MSC. ING. JOSÉ ROLANDO FUENTES HANDAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN ESTRUCTURAS

GUATEMALA, MAYO 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

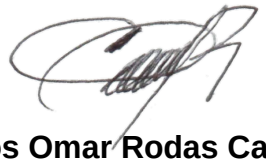
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Pedro Miguel Martínez Guerra
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Adolfo Orozco Coloma
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS COSTERAS Y DISCRIMINACIÓN DE LOS EFECTOS Y CAUSAS QUE PROVOCAN LAS MALAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 11 de noviembre de 2020.



Ing. Carlos Omar Rodas Castillo

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.499.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS COSTERAS Y DISCRIMINACIÓN DE LOS EFECTOS Y CAUSAS QUE PROVOCAN LAS MALAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS,** presentado por: **Ing. Carlos Omar Rodas Castillo,** que pertenece al programa de Maestría en ciencias en Estructuras después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, mayo de 2023

AACE/gaoc

Guatemala, mayo de 2023

LNG.EEP.OI.499.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS COSTERAS Y DISCRIMINACIÓN DE LOS EFECTOS Y CAUSAS QUE PROVOCAN LAS MALAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS"

presentado por **Ing. Carlos Omar Rodas Castillo** correspondiente al programa de **Maestría en ciencias en Estructuras** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
ESCUELA DE POSTGRADO

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Guatemala, 14 de octubre de 2021

MSc. Ing Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Por este medio informo a usted, que se ha revisado y APROBADO la siguiente TESIS DE GRADUACIÓN titulado: "PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS COSTERAS Y DISCRIMINACIÓN DE LOS EFECTOS Y CAUSAS QUE PROVOCAN LAS MALAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS" del estudiante Carlos Omar Rodas Castillo, quien se identifica con numero de carné 999003243, del programa de Maestría en Estructuras.

Con base en la evaluación realizada, se hace constar que se ha evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014.

Por lo anterior, se entrega con la presente, la hoja de evaluación aprobada por el docente del curso y toda la documentación administrativa de respaldo, para su aprobación correspondiente por parte de la Escuela de Estudios de Postgrado.

Sin otro particular

Vo. Bo.
Msc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador Área Estructuras
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado, Edificio S-
Teléfono: 2418 9142 / 24188000 ext. 1382
WhatsApp: 5746-9323
Email: informacion_eep@ing.usac.edu.gt

Guatemala, 14 de octubre de 2021

MSc. Ing Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Por este medio informo a usted, que, como ASESOR, he revisado y aprobado la siguiente **TÉSIS DE GRADUACIÓN** del alumno:

Carné:	999003243
Alumno:	Carlos Omar Rodas Castillo
Maestría:	Estructuras
Título de la Investigación:	PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS COSTERAS Y DISCRIMINACIÓN DE LOS EFECTOS Y CAUSAS QUE PROVOCAN LAS MALAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS

En este sentido, extiendo el Visto Bueno correspondiente, para el cumplimiento de requisitos de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sin otro particular

Msc. José Rolando Fuentes Handal
Asesor

José Rolando Fuentes Handal
Ingeniero Civil y Sanitarista Ambiental
Colegiado 4108

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la vida, acompañarme e iluminarme en todo momento. Por no dejarme claudicar. La gloria y la honra para Él.
Mi padre	Carlos Rodas. Por ser mi ejemplo a seguir siempre. Le agradezco sus enseñanzas, por ser la persona que fue y que me acompaña siempre. (q. e. p. d.)
Mi madre	Carmen Castillo. Por su dedicación y amor que siempre están presentes. Que me ayudan a seguir adelante.
Mis hermanos	Iskra y Raúl Rodas. Por su acompañamiento en el caminar de la vida y saber que siempre cuento con ellos.
Mi esposa	Neida Quiñonez. Por su amor, comprensión y apoyo en todo momento.
Mis hijos	Omar y Alejandra Rodas. Por ser la fuerza que mueve mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. José Rolando Fuentes Handal	Por su valiosa asesoría en el presente trabajo de investigación.
Universidad de San Carlos de Guatemala Ingenieros	Centro de Estudios que me ha brindado el saber y mi formación académica.
Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería	Valioso ente académico que ha reforzado mis conocimientos en el amplio campo de la Ingeniería.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES V
LISTA DE SÍMBOLOS XI
GLOSARIO XV
RESUMEN XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA XXIII
OBJETIVOS XXV
HIPÓTESIS XXVII
INTRODUCCIÓN XXIX

1. ENFOQUE TEÓRICO 1
   1.1. Aspectos generales 1
      1.1.1. Oxidación y corrosión en el acero de refuerzo 1
      1.1.2. La corrosión del acero en el concreto 3
      1.1.3. Gestión de calidad en las obras 6
      1.1.4. Aceptación del acero de refuerzo según ACI Y ASTM 7
   1.2. Aspectos económicos 8
   1.3. Aspectos de prevención 11
      1.3.1. Especificaciones locales 11
      1.3.2. Especificaciones internacionales 16
   1.4. Procesos de detección y evaluación de la corrosión 17
      1.4.1. Fase de iniciación 18
      1.4.2. Fase de propagación 18
      1.4.3. Selección de la muestra representativa 18
      1.4.4. Inspección, evaluación y diagnóstico 19

1.4.5. Técnicas electroquímicas 19
1.5. Patologías de las estructuras 21
1.5.1. Proceso patológico 21
1.5.2. Interacción entre fases y agentes causantes 22
1.5.3. Tipologías de las lesiones y agentes causantes 23
1.5.4. Patologías en zonas costeras 24
1.5.5. Infraestructura en ambientes costeros 25

2. DESARROLLO TÉCNICO Y ENSAYOS 29
2.1. Características de los materiales a utilizar 29
2.1.1. Agregados finos y gruesos 29
2.1.2. Agua 30
2.1.3. Tipo de cemento 30
2.1.4. Acero de refuerzo 30
2.2. Proceso corrosivo controlado de probetas de acero 31
2.2.1. Exposición de probetas al aire libre 31
2.2.2. Exposición de probetas embebidas en agua de mar 32
2.2.3. Exposición de probetas en agua potable 32
2.2.4. Exposición de probetas embebidas en agua potable + hipoclorito de calcio 32
2.2.5. Exposición de probetas embebidas en agua potable + sulfato de cobre 32
2.3. Elaboración de probetas de concreto 33
2.3.1. Elaboración de probetas o cilindros de concreto 33
2.3.2. Niveles de exposición del concreto ACI 318-19 33
2.3.3. Relación agua cemento recomendada por nivel de exposición ACI 318-19 35
2.4. Elaboración de concreto mezcla base 36

2.4.1. Diseño de mezcla (ACI 211) 36
2.5. Exposición y curado del concreto 42
2.6. Exposición del acero 47
2.6.1. Ejemplo de toma de datos para probetas de acero según exposición 50

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS 55
3.1. Resultados obtenidos en el concreto (3 condiciones de curado, 2 relaciones agua/cemento y 3 variaciones de agregado fino) 55
3.1.1. Mezcla 1 (mezcla base), agregado fino (100 % arena de río) 55
3.1.2. Mezcla 2, agregado fino (50 % arena de río + 50% arena de mar) 58
3.1.3. Mezcla 3, agregado fino (100 % arena de mar) 60
3.2. Resultados obtenidos en el acero por pérdida de masa 62
3.2.1. Acero liso grado 40 (varilla redonda de ½") 62
3.2.1.1. Gráficas de pérdida de masa en probetas de acero liso de ½ pulg. Grado 40, según condición de exposición en zona costera del pacífico guatemalteco. 69
3.2.2. Acero corrugado grado 40 (varilla ½") 75
3.2.2.1. Gráficas de pérdida de masa en probetas de acero de ½ pulg. Grado 40, según condición de exposición en zona costera del pacífico guatemalteco 82
3.3. Resultados obtenidos en el acero por pérdida de diámetro 88

3.3.1. Valores iniciales acero liso grado 40 88
3.3.2. Valores finales acero liso grado 40 91
3.3.3. Gráficos comparativos acero liso 93
3.3.4. Valores iniciales acero corrugado grado 40 96
3.3.5. Valores finales acero corrugado grado 40 99
3.3.6. Gráficos comparativos acero corrugado 101
3.3.7. Cuadro resumen 104
3.4. Flexión teórica simple en vigas, utilizando varillas corrugadas 107
3.5. Compresión pura teórica en columnas, utilizando varillas corrugadas 110

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 113
4.1. Concreto 113
4.2. Acero 115
4.2.1. Acero liso 115
4.2.2. Acero corrugado 117
4.2.3. Acero corrugado versus acero liso 118
4.3. Resistencia a la flexión y a la carga axial teórica (verificación de hipótesis planteada) 118

CONCLUSIONES 121
RECOMENDACIONES 123
REFERENCIAS 125
ANEXOS 129

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Modelo de vida útil de Tuutti. 4
2. Representación esquemática de corrosión electroquímica 5
3. Corrosión de las armaduras en el concreto. Método simplificado 5
4. Comportamiento de los ahorros y gastos estimados en el tiempo. 10
5. Incremento en el tiempo de la relación beneficio/costo. 10
6. Diagrama del proceso patológico 23
7. Agrietamiento en elementos principales 26
8. Eflorescencias 27
9. Pérdida de fibras y masa total del acero de refuerzo 27
10. Poco recubrimiento en elementos estructurales 28
11. Masa unitaria del agregado grueso varillado bo 36
12. Materiales para elaboración de probetas de concreto 44
13. Elaboración de probetas de concreto según tabla XVI 45
14. Curado de las probetas de concreto según tabla XVI 45
15. Elaboración de mezclas según tabla XVI 46
16. Probetas de concreto curadas a la intemperie y brisa marina 46
17. Traslado de probetas al Centro de Investigaciones 47
18. Probetas de acero liso y corrugado 51
19. Exposición de probetas a ambiente marino 51
20. Otros tipos de exposición del acero según tablas XVII y XVIII 52
21. Probetas expuestas después de 3 semanas 52
22. Cepillado de probetas de acero 53
23. Pesaje inicial de probetas de acero 53

24. Pesaje cada 3 semanas según tipo de exposición 54
25. Gráfica 1. Mezcla 1, a/c=0.57 57
26. Gráfica 2. Mezcla 2, a/c=0.50 57
27. Gráfica 3. Mezcla 2, a/c=0.57 59
28. Gráfica 4. Mezcla 2, a/c=0.50 59
29. Gráfica 5. Mezcla 3, a/c=0.57 61
30. Gráfica 6. Mezcla 3, a/c=0.50 61
31. Gráfica 7. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 1.....69
32. Gráfica 8. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 2.....70
33. Gráfica 9. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 3.....71
34. Gráfica 10. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 4.....72
35. Gráfica 11. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 5.....73
36. Gráfica 12. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 6.....74
37. Gráfica 13. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 82
38. Gráfica 14. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 2.....83
39. Gráfica 15. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 3.....84
40. Gráfica 16. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 4.....85
41. Gráfica 17. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 5.....86
42. Gráfica 18. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 6.....87
43. Gráfica 19. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 1.....93
44. Gráfica 20. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 2.....94
45. Gráfica 21. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 3.....94
46. Gráfica 22. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 4.....95

47. Gráfica 23. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 5 95
48. Gráfica 24. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 6 96
49. Gráfica 25. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 1 101
50. Gráfica 26. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 2 102
51. Gráfica 27. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 3 102
52. Gráfica 28. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 4 103
53. Gráfica 29. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 5 103
54. Gráfica 30. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 6 104
55. Fórmula general de flexión ACI 318-19 - 22.2..... 107
56. Equilibrio de momentos para flexión 108
57. Fórmula de la resistencia axial máxima ACI 318-19-22.2 110
58. Compresión pura en columnas 111

TABLAS

I. Grado de oxidación y recomendaciones de uso de barras de refuerzo 2
II. Relación agua/materiales cementantes máxima y resistencia a compresión mínima permitida para concretos en condiciones de exposición especial 13
III. Recubrimientos mínimos de concreto en mm para protección del acero de refuerzo contra la corrosión..... 14
IV. Contenido máximo de cloruros para la protección del refuerzo 15

V. Tipologías de las lesiones y agentes causantes. 24
VI. Patología del concreto armado en zonas costeras. 25
VII. Categorías y clases de exposición..... 34
VIII. Requisitos para el concreto según la clase de exposición..... 35
IX. ACI 211. Diseño del agregado grueso 37
X. ACI 211. Estimación del contenido de agua más aire retenido..... 37
XI. Resistencia media del concreto ASTM C94..... 39
XII. ACI Estimación a/c por esfuerzo a la compresión..... 39
XIII. Contenido de arena 40
XIV. Resumen mezcla base 41
XV. Proporción mezcla base 41
XVI. Tipo de mezcla, condición de curado y rel. a/c por nivel de exposición 42
XVII. Mezcla 2, condición de curado y rel. a/c por nivel de exposición..... 43
XVIII. Mezcla 3, condición de curado y rel. a/c por nivel de exposición..... 44
XIX. Tipo de exposición de las probetas de acero liso 47
XX. Tipo de exposición de las probetas de acero corrugado..... 48
XXI. Pérdida de masa en probetas de acero 50
XXII. Mezcla 1 55
XXIII. Mezcla 2 58
XXIV. Mezcla 3 60
XXV. Medición 1, pérdida de masa en el acero liso, probetas 1,2,3 62
XXVI. Medición 2 y 3, pérdida de masa en el acero liso, probetas 1,2,3 63
XXVII. Medición 4 y 5 (final), pérdida de masa en el acero liso, probetas 1,2,3..... 65
XXVIII. Medición 1, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6 ... 66
XXIX. Medición 2 y 3, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6..... 67

XXX. Medición 4 y 5, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6 68
XXXI. Medición 1, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 1,2,3 ... 75
XXXII. Medición 2 y 3, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 1,2,3 76
XXXIII. Medición 4 y 5 (final), pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 1,2,3 78
XXXIV. Medición 1, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6 ... 79
XXXV. Medición 2 y 3, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6 80
XXXVI. Medición 4 y 5 (final), pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6 81
XXXVII. Valores iniciales, acero liso, probetas 1,2,3 89
XXXVIII. Valores iniciales, acero liso, probetas 4,5,6 90
XXXIX. Valores finales, acero liso, probetas 1,2,3..... 91
XL. Valores finales, acero liso, probetas 4,5,6..... 92
XLI. Valores iniciales, acero corrugado, probetas 1,2,3 96
XLII. Valores iniciales, acero corrugado, probetas 4,5,6 98
XLIII. Valores finales, acero corrugado, probetas 1,2,3 99
XLIV. Valores finales, acero corrugado, probetas 4,5,6 100
XLV. Pérdidas por diámetro y peso, según tipo de superficie en el acero .. 104
XLVI. Períodos mínimos de aceptación del acero liso y porcentajes de pérdidas según condición de exposición..... 105
XLVII. Períodos mínimos de aceptación del acero corrugado y porcentajes de pérdidas según condición de exposición..... 106
XLVIII. Datos de entrada para cálculo de resistencia flexionante en vigas.... 108
XLIX. Resultados teóricos de la resistencia flexionante en vigas 109
L. Datos de entrada para cálculo de resistencia por carga axial en columnas..... 111

LI. Resultados teóricos de la resistencia por carga axial en columnas 112

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
a	Agua
h	Altura
As	Área de acero
Ag	Área gruesa de la sección
cm	Centímetro
s	Desviación estándar
ϕ	Diámetro
Dmax	Diámetro máximo de agregado grueso del concreto
Dif	Diferencia
CO2	Dióxido de carbono
O2	Elemento químico oxígeno
fy	Esfuerzo máximo del acero
H_2O	Fórmula química del agua dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno
OH	Fórmula química un átomo de oxígeno e hidrógeno unidos por un solo enlace covalente
A1	Grado del acero barra levemente oxidada
D	Grado del acero barra muy oxidada
C	Grado del acero barra oxidada
B	Grado del acero barra poco oxidada
A0	Grado del acero barra recién laminada
g	Gramo
ID	Identificación

CL-	Iones cloruro
Fe++	Iones ferrosos
kg	Kilogramo
kg/m³	Kilogramo fuerza sobre metro cúbico
lb/pulg²	Libra sobre pulgada cuadrada
b	Masa del agregado grueso suelto, base de la sección.
bo	Masa del agregado grueso varillado
Mpa	Megapascales
<	Menor o menos
m³	Metro cúbico
mm	Milímetro
MF	Módulo de finura de la arena
Mn	Momento nominal
S	Nivel de exposición a sulfatos
F	Nivel de exposición congelamiento y deshielo
C	Nivel de exposición del refuerzo a la corrosión
W	Nivel de exposición en contacto con el agua, agua
N/A	No aplica
NR	No se realizó
d	Peralte efectivo
pH	Potencial de hidrógeno, es una escala que se usa para especificar la acidez o basicidad de una solución acuosa
plg	Pulgada
“	Pulgadas
a/c	Relación agua cemento
Pn	Resistencia axial máxima
f’cr	Resistencia media de diseño del concreto
f’c	Resistencia nominal del concreto a los 28 días

UGC	Uso general en la construcción

GLOSARIO

ACI	Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute).
Área gruesa	Área total de la sección de análisis en un elemento estructural.
Armadura	Estructura formada mediante barras de acero, para proveer al concreto de mayor resistencia a los esfuerzos tensionantes.
ASTM	Sociedad Americana para el ensayo e Inspección de los Materiales (American Society for Testing and Materials).
Cloruros	Los cloruros son sales que resultan de la combinación del gas cloro (ion negativo) con un metal (ion positivo).
Curado del concreto	Es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y soportar con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor.
Despasivación	Pérdida de la capa protectora que rodea el acero.

Eflorescencia	Es un depósito de sales, usualmente blanco, que se forma en la superficie, cuando la sustancia en solución sale del interior del concreto o mampostería, hacia la superficie en forma de sales color blanco azulado o color gris-blanco.
Embebido	Un cuerpo contiene a otro entre sí. Absorber algún líquido.
Fisuración	Es un fenómeno físico que aparece en elementos estructurales de hormigón consistente en la aparición de micro fisuras de unas pocas décimas de milímetro.
Formáceo	Material de construcción que adquiere forma en obra.
Fraguado	Grado en el cual el concreto fresco perdió su plasticidad y se endurece.
Grava	Son piedras con forma angular comprendidas entre los 2 y 60 mm aproximadamente.
Hormigón	Material de construcción que suele elaborarse mezclando cemento, agregados y agua. También se le conoce como concreto simple.
Patología	Estudio de los padecimiento o enfermedades. Relacionado a la construcción desarrollo de cambios anormales en las estructuras.

Patología constructiva	Estudia los problemas constructivos que aparecen en el edificio después de su ejecución.
Plastificante	Aditivo líquido, reductor de agua y plastificante basado en lignosulfonatos modificados, diseñados para ser agregado al concreto en estado fresco, durante el mezclado con el fin de mejorar la manejabilidad y la consistencia de este.

RESUMEN

La corrosión en el acero de refuerzo ha sido tema de investigación por muchos años, dada su importancia desde el punto de vista de la seguridad, vulnerabilidad y desempeño estructural. De donde podemos resaltar que la corrosión en el acero se debe a un proceso químico de interacción de un metal con el medio que lo rodea, donde están presentes precursores como el dióxido de carbono, agua, oxígeno, cloruros (sales), sulfatos, entre otros.

De lo anterior podemos decir que el acero de refuerzo estará expuesto a la intemperie desde su elaboración en fábrica hasta el momento del colado del elemento de concreto. Luego tendrá el contacto de los componentes del concreto entre estos el agua. Posteriormente quedará sustentada su exposición a los agentes externos por medio de la porosidad misma del concreto y el recubrimiento del elemento. De donde se desprenden dos factores de gran importancia para minimizar el efecto de la corrosión en el acero de refuerzo: tiempo de almacenaje y recubrimiento preventivo de las varillas de refuerzo y la elaboración de un buen concreto bajo normas estandarizadas.

Existe diversidad de obras que se construyen en áreas costeras en nuestro país, empezando por obras portuarias y muelles, obras de hotelería, descanso y diversión, residencias de verano, vivienda familiar, obras municipales y obras gubernamentales. La mayoría toman como material principal el concreto armado. La presente investigación aportará los insumos técnicos necesarios para desarrollarlas y construirlas con el fin primordial de evitar el efecto nocivo de la corrosión en el acero.

La presente investigación nos proporcionará las herramientas necesarias para identificar las patologías de las construcciones en zonas costeras, tomando en cuenta factores tales como: tiempo de almacenaje del acero en zonas costeras, salinidad en el ambiente, recubrimiento en elementos de concreto armado, calidad de los agregados. Para obras en proceso se podrán tomar en cuenta otros factores como el tipo de cemento que se está utilizando, la calidad de agua que se utilizada para la elaboración del concreto, así como la utilización de algún aditivo para el mejoramiento de la calidad del concreto.

Cuando una construcción presenta fallas generalizadas por el efecto de la corrosión en el acero, deben considerarse dos posibles alternativas. La primera posibilidad sería realizar reparaciones de forma ordenada y escalonada, realizando un análisis estructural previo, para determinar las líneas de transferencia de carga. Otra alternativa más drástica sería considerar la demolición parcial o total de la edificación. No obstante, la prevención y la calidad de las obras a construirse en zonas costeras siempre será la mejor opción.

Los países desarrollados destinan gran parte de su presupuesto anual en reparaciones a causa de los efectos producidos por la corrosión en el acero de refuerzo en sus obras esenciales e importantes. Para el caso de Guatemala, los fondos para mantenimiento de obras públicas se designan a casos puntuales por reparaciones mayores.

El concreto reforzado es uno de los materiales de construcción más ampliamente usados ya que puede adaptarse a cualquier forma o tamaño. Además, puede resistir la combinación de esfuerzos a tensión y compresión de forma muy satisfactoria. Pero cuando el concreto y el acero de refuerzo empiezan a decaer o presentar alguna deficiencia es necesario una pronta acción.

Se podrá determinar el tiempo de iniciación cuando la varilla de refuerzo entra en contacto con el agua y el oxígeno, esto puede suceder cuando el acero se prepara para ser embebido y fraguado dentro del elemento. Posteriormente la velocidad de corrosión estará en función de la humedad y temperatura a la que esté expuesto el elemento de concreto reforzado.

Un cemento con bajo contenido de carbono disminuirá el efecto de carbonatación y el riesgo de desprendimiento de iones cloruro ligados a la fase sólida del concreto u hormigón, lo cual evitará el acelerado contacto con las varillas de refuerzo y su propagación.

La brisa marina se encuentra cargada de iones cloruro los cuales pueden acumularse en las superficies de concreto, cuando se rebasa la cantidad crítica, inicia su viaje a través de la porosidad del concreto hasta llegar al interior e iniciar el proceso corrosivo rompiendo de forma preliminar la capa pasiva de protección de las varillas de refuerzo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las construcciones de concreto reforzado cerca de las costas presentan fallas estructurales a consecuencia de la corrosión del acero de refuerzo, esta condición se presenta de forma acelerada cuando existe discriminación de las causas y los efectos de las malas prácticas constructivas. De tal manera que los elementos estructurales pierden sus capacidades de resistir esfuerzos.

Las capacidades mecánicas de todos los elementos estructurales que conforman una edificación, deben permanecer de forma intacta durante toda la vida útil de la edificación, para contener y soportar las cargas de diseño tanto gravitaciones como de sismo. De tal forma que procesos corrosivos en el acero de refuerzo afectan dichas capacidades.

Toda construcción de concreto armado cercana a las costas, puede manifestar de forma muy prematura la corrosión en el acero de refuerzo. De donde pueden presentarse agrietamientos de gran magnitud por el desprendimiento de fibras en el acero, lo cual separa de forma muy abrupta el concreto de la armadura, perdiendo por consecuencia todo tipo de adherencia y resistencia.

Al empezar a separarse el concreto del acero se observa que las secciones de los elementos estructurales, como vigas, columnas y zapatas disminuyen, quedando expuesto aún más el acero ya dañado y el núcleo central del elemento. Estos elementos con sección ya reducida se ven disminuidos en sus capacidades mecánicas.

Debido a esta problemática surgen los cuestionamientos siguientes:

- Pregunta principal

    - ¿En qué porcentaje disminuye sus capacidades mecánicas un elemento estructural cuando su acero se encuentra con daño severo a raíz de la corrosión?

- Preguntas secundarias

    - ¿En cuánto incide la capacidad de absorción y permeabilidad de un elemento de concreto reforzado para contrarrestar el ataque de cloruros por acción del viento a las varillas de refuerzo?

    - ¿Existe algún tipo de recubrimiento preventivo que se pudiera aplicar a las varillas de refuerzo para prevenir la corrosión sin afectar la adherencia al concreto?

    - ¿Es posible medir el grado de corrosión de una varilla de acero para desecharla o utilizarla?

OBJETIVOS

General

Instruir sobre las normas inherentes a la construcción y mantenimiento de obras en zonas costeras, para preservar la calidad y desempeño de las construcciones.

Específicos

1. Determinar la patología de construcciones existentes a través del grado de corrosión del acero de refuerzo y fallas presentes en el concreto.

2. Promover las buenas prácticas constructivas en áreas costeras a través de procesos constructivos regulados.

3. Enfocar la necesidad de contar con una supervisión constante y eficiente, cuando se construye en áreas costeras.

4. Favorecer la reducción de costos por mantenimiento de una construcción.
.

HIPÓTESIS

Cuando la profundidad de penetración de la corrosión sobrepasa la capa pasiva del acero y este pierde el 6 % o más de su masa en elementos de concreto reforzados ubicados en zonas costeras. Los elementos viga pierden hasta un 15 % de su capacidad de resistencia a la flexión teórica y las columnas hasta un 20 % de su capacidad a compresión pura.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación buscó dar a conocer los diferentes tipos de patologías o padecimientos de las construcciones en zonas costeras o con influencia de la brisa marina. Debemos reconocer los desafíos a los que nos enfrentamos cuando se proyecta una obra cerca del mar, cuando su material constructivo principal lo constituye el concreto armado, así como la discriminación de los efectos y causas que provocan las malas prácticas constructivas. La corrosión en el acero es un tema que en nuestro medio no se le pone el interés necesario, porque no existe una cultura de la prevención y la tendencia gira hacia el mantenimiento correctivo constante de las edificaciones.

A la fecha existen muchas normativas y recomendaciones que se presentan para prevenir la corrosión en el acero de refuerzo, porque sabemos que, si uno de los dos componentes falla, ponemos en riesgo toda la estructura. Afortunadamente la corrosión se presenta en fases iniciales y de expansión donde es prudente hacer reparaciones. Debemos recordar que el concreto es el protector por esencia del mismo acero, por tal razón es importante la elaboración de un buen concreto, con materiales adecuados, una relación agua cemento controlada para la mejor hidratación del cemento sin exceso y si aportamos recubrimientos recomendables a nuestros elementos estructurales, estaremos protegiendo aún más nuestras construcciones y por consiguiente a nuestro acero de refuerzo.

El crecimiento económico global y la expansión del comercio internacional al que nos enfrentamos hoy en día pone a las costas de nuestro país como un foco principal de inversión y expansión de la infraestructura y la construcción. De

tal forma que la presente investigación proporciona los insumos y las recomendaciones necesarias para resguardar las características físicas y mecánicas de nuestras estructuras en los ambientes marinos.

La presente investigación consta de cuatro capítulos como se describen a continuación: capítulo 1, enfoque teórico. Comprende aspectos generales sobre la corrosión del acero en el concreto y gestión de calidad de las obras. Aspectos económicos y de prevención. Procesos de detección y evaluación de la corrosión. Patologías de las estructuras en zonas costeras.

El capítulo 2, desarrollo técnico y ensayos. Se desarrolló por separado ensayos al acero de refuerzo y al concreto. En diferentes escenarios de exposición. Para el caso del acero se evaluará la pérdida de masa por corrosión y la disminución de su diámetro. Para el caso de concreto se analizará la variable de resistencia a la compresión con diferentes relaciones agua cemento y diferentes escenarios de fraguado.

El capítulo 3, análisis de resultados obtenidos. Muestra los resultados obtenidos de los ensayos y se podrá demostrar o no los efectos que causa la corrosión en el acero de refuerzo y la disminución de sus capacidades mecánicas.

Y el capítulo 4, discusión de resultados. Presenta comparaciones y hallazgos encontrados para cada uno de los elementos estructurales como viga y columna.

1. ENFOQUE TEÓRICO

1.1. Aspectos generales

La mayoría de los materiales de construcción que conocemos en la actualidad, pueden manifestar su calidad óptima de uso en base a la fecha en la que fueron o serán fabricados.

1.1.1. Oxidación y corrosión en el acero de refuerzo

Primero es necesario saber que este tipo de acero es oxidable, incluso durante su fabricación, presentando dos tipos de oxidación: oxidación a altas temperaturas (en fábrica). Se produce durante la fabricación toma una coloración azul celeste y es de consistencia dura, pero a la vez quebradiza. Se cae con la manipulación en su transporte y el armado en obra. Y oxidación a temperatura ambiente. Se produce cuando el acero está expuesto a la intemperie toma una coloración café o marrón, y de mucha adherencia a la varilla de refuerzo.

Por lo anterior, definiremos los conceptos de oxidación y corrosión:

- Oxidación: es un proceso químico natural que se lleva a cabo en la superficie del acero, al entrar está en contacto con el oxígeno del aire y el material ferroso de la varilla. Durante esta reacción química, los átomos de hierro pasan electrones a los átomos de oxígeno.

- Corrosión: es un proceso de deterioro del cuerpo del material, lo que hace que se degrade, y que posterior a un proceso de limpieza de la pieza, la

superficie no se puede recuperar al cien por ciento. Se presentan pequeños orificios, poros y grietas. Lo que nos lleva a la pérdida de masa, pérdida de geometría y pérdida de características mecánicas.

Tabla I. **Grado de oxidación y recomendaciones de uso de barras de refuerzo**

Recomendaciones por visualización		
Grado de óxido	Descripción de la visualización	Recomendaciones previas
Grado A0: Barra recién laminada	Superficie lisa y uniforme color gris oscuro o gris acero, con firmes y delgadas películas adheridas producto de la laminación sin nada de óxido aparente.	Sin restricción de uso.
Grado A1: Barra levemente oxidada	Superficie lisa y uniforme color gris oscuro o gris acero, con firmes y delgadas películas adheridas producto de la laminación, pero con algunas zonas manchadas con un polvillo color pardo amarillento, producto de una oxidación superficial por condensación de la humedad del medio ambiente mezclada con elementos de naturaleza orgánica o química poco agresivos. Este polvillo se pierde generalmente con la manipulación.	Sin restricción de uso.
Grado B: Barra poco oxidada	Superficie con zonas mayoritariamente de color pardo rojizo, donde algunas pocas costras y laminillas comienzan a soltarse, pero el núcleo, todos los resaltes y los nervios longitudinales se notan relativamente sanos. Las barras presentan pocas, pequeñas e insignificantes picaduras (puntos de corrosión) y prácticamente no pierde óxido suelo por manipulación.	Sin restricciones de uso, salvo que en algunos casos se podría requerir una leve limpieza superficial con herramienta manual o mecánica.

Continuación tabla I.

Grado C: Barra oxidada	Superficie de color rojizo, donde un porcentaje de los resaltes y nervios se notan dañados y casi han perdido su forma original. Tiene varias costras y laminillas sueltas y solo unas pocas aún están adheridas, a simple vista presenta varias picaduras y cráteres (puntos de corrosión), pero pierde un poco de óxido por manipulación.	Estas barras requieren obligatoriamente de limpieza superficial manual o motriz enérgica y profunda, y por ello su uso está condicionado a una verificación previa de la masa y características dimensionales.
Grado D: Barra muy oxidada.	Superficie de color rojizo y en ocasiones con zonas manchadas con matices de otros colores producto del hollín y de otros agresivos del medio ambiente. La laminilla se ha desprendido en su totalidad y presenta muchas costras, muchas de las cuales se desprender solas o con escobillado manual. El núcleo, los resaltes y los nervios longitudinales presentan bastantes cráteres o picaduras. Los resaltes y nervios desaparecen en algunas partes, confundidos con los elementos de corrosión. Las barras pierden bastante óxido por manipulación.	No se recomienda el uso de estas barras, ya que, al ser manipuladas y tratadas mediante cualquier método de limpieza superficial, es altamente probable una pérdida importante de su masa o características dimensionales.

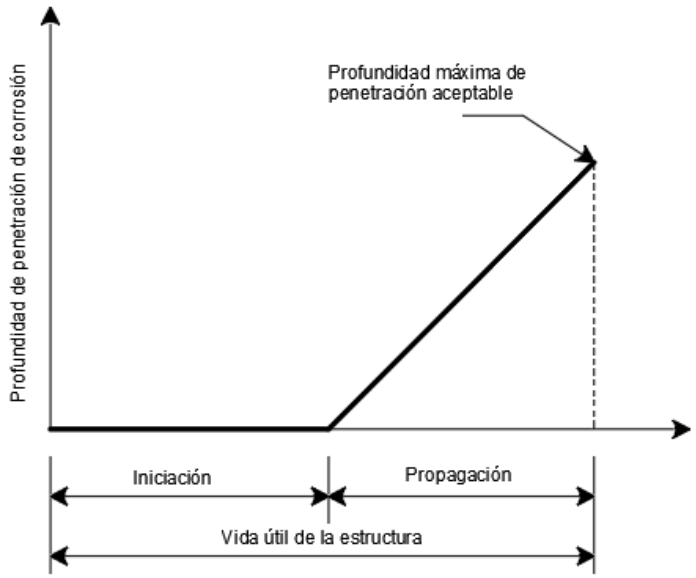
Fuente: Ochoa (2020). *Óxido en las varillas y adherencia con el hormigón*.

1.1.2. La corrosión del acero en el concreto

La corrosión del acero suele ser una de las principales causas de deterioro del concreto en estructuras de concreto reforzado expuestas al agua de mar; este problema es muy serio y tiene grandes implicaciones económicas. La corrosión del acero en el concreto es un proceso electroquímico y se produce cuando existe una diferencia de potencial entre dos puntos de la armadura, formándose una pila electrolítica, en el ánodo y el cátodo se conectan a través del agua contenida en los poros de la pasta de cemento hidratada. Una de las causas más habituales

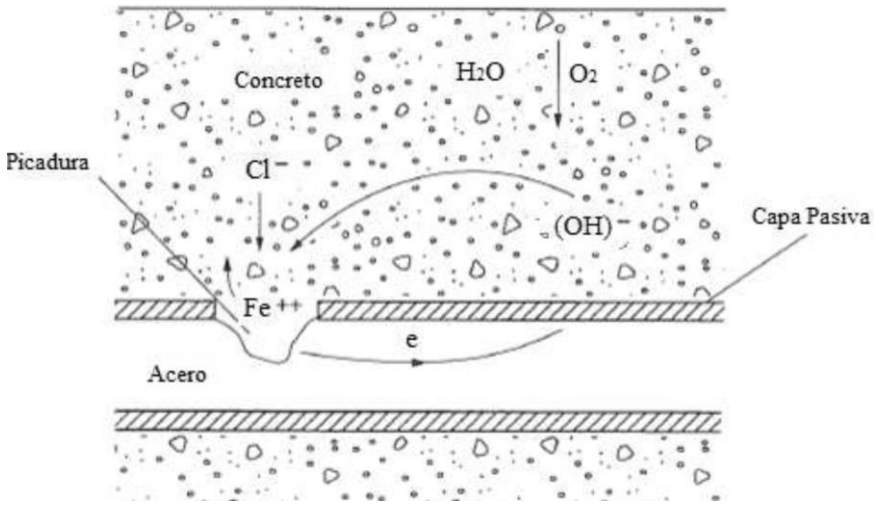
que provoca la corrosión en las armaduras, es la penetración de los cloruros a través de la red de poros, cuando está situada en ambientes marinos o cuando en la mezcla se hayan incorporado dichos iones. Los iones cloruro son capaces de provocar corrosión localizada y por tanto producir el fallo prematuro e inesperado de la estructura. Las pilas de composición se pueden formar cuando se colocan dos metales diferentes dentro del hormigón, como las armaduras de acero y los conductores de aluminio, o cuando existen variaciones significativas en las características superficiales del acero. Las pilas concentradas se pueden formar debido a diferencias en la concentración de los iones disueltos cerca del acero, como los álcalis, cloruros o el oxígeno. Como consecuencia, uno de los dos metales (o algunas partes del metal si sólo hay uno) se convierte en anódico y el otro en catódico (Puentes y Delgado, 2009).

Figura 1. **Modelo de vida útil de Tuutti**



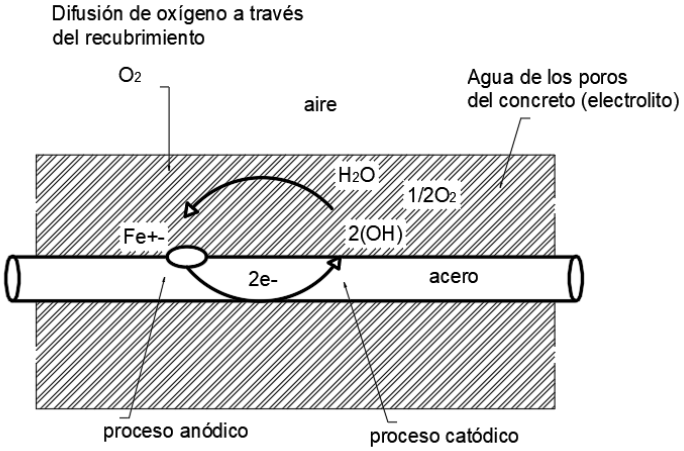
Fuente: Rodriguez (2019). *Evaluación de la tecnología de curado interno mejorado en concretos expuestos al ataque de sulfatos y/o cloruros.*

Figura 2. **Representación esquemática de corrosión electroquímica**



Fuente: Rodriguez (2019). *Evaluación de la tecnología de curado interno mejorado en concretos expuestos al ataque de sulfatos y/o cloruros.*

Figura 3. **Corrosión de las armaduras en el concreto. Método simplificado**



Fuente: Puentes y Delgado (2009). *Evaluación de la velocidad de corrosión en el refuerzo del concreto expuesto a una solución poro con cloruros, por medio de ténicas electroquímicas.*

Entre los factores para el desarrollo sustentable y el crecimiento económico de la sociedad moderna están la confiabilidad y la durabilidad de estructuras e instalaciones de infraestructura, destacando las estructuras de concreto armado. Entre tantos esos sistemas estructurales son vulnerables a proceso de deterioro resultantes de agresiones químicas y daños físicos, que, a lo largo del tiempo, pueden llevar a un desempeño estructural insatisfactorio sobre cargas de servicio o acciones accidentales (Felix, Balabuch, Correa, Possan, y Carrazedo, 2018).

1.1.3. Gestión de calidad en las obras

Calidad es un proceso para alcanzar una característica que satisface el requerimiento deseado. Esta Característica puede ser cualitativa o cuantitativa. En tiempos actuales, donde las relaciones humanas han perfeccionado los criterios para la afectación de productos y servicios, el concepto de calidad también ha sido perfeccionado (Patiño y Méndez, 2005).

En la década de los 80´s se planteó como paradigma que la calidad consistía en brindar al cliente un nivel de satisfacción más allá de lo que pide; más recientemente, desde los 90´s, se considera calidad como la búsqueda permanente de la excelencia. En la actualidad podría considerarse calidad como sinónimo de excelencia (Patiño y Méndez, 2005).

En el caso del concreto se puede alcanzar los requisitos de calidad, siempre que se cumpla rigurosamente con la calidad requerida en una de las; es decir: componentes individuales, procedimientos de diseño, técnicas de producción, transporte, colocación y proceso de curado y muestreo y pruebas de laboratorio (Patiño y Méndez, 2005).

El diseño significa la determinación de la forma general y de todas las dimensiones especificadas de una estructura en particular, de manera que ésta cumpla con las funciones para las cuales se ha creado y resista en forma segura los efectos que actuarán sobre ella a través de su vida útil. Estos efectos son principalmente las cargas y otras fuerzas a las que se verá sometida, al igual que a otros agentes perjudiciales, tales como fluctuaciones de temperatura, asentamientos de la cimentación y agentes corrosivos (Nilson, 2001).

1.1.4. Aceptación del acero de refuerzo según ACI Y ASTM

Según ASTM (2003) sección 12.2. El óxido, las costuras, las irregularidades de la superficie o el escalado de fábrica no serán motivo de rechazo, siempre que el peso [masa] nominal, dimensiones, área de sección transversal y propiedades de tracción de una muestra prueba cepillada con cepillo de alambre, no sea inferior a los requisitos de esta especificación.

Según ASTM (2003) sección 11.1. Las barras de refuerzo deformadas se evaluarán en base al peso nominal [masa]. El peso determinado utilizando el peso medido de la muestra de prueba, será al menos 94 % del peso aplicable por unidad de longitud En ningún caso el sobrepeso [exceso de masa] de cualquier barra deformada puede ser el motivo del rechazo.

Según ACI (2019) sección 26.6.1.2, párrafo b. El refuerzo no preesforzado con óxido, escamas o una combinación de ambos, debe considerarse satisfactorio, si las dimensiones mínimas (incluyendo la altura de los resaltes del corrugado) y el peso por unidad de longitud de una muestra limpiada a mano utilizando un cepillo de alambre, cumple con las normas ASTM aplicables.

Según ACI (2019) sección 26.6.1.2, párrafo c. El acero de preesfuerzo debe estar limpio de escamas, picaduras y óxido excesivo. Es admisible una oxidación ligera.

Según ACI (2019) sección 26.6.1.2, párrafo d. En el momento que es colocado el concreto, el refuerzo debe estar libre de hielo, barro, aceite u otros recubrimientos dañinos que reduzcan la adherencia.

Según ACI (2019) sección 26.6.1.2. párrafo b. Investigaciones han demostrado que una cantidad normal de óxido aumenta la adherencia. Generalmente, por medio del manejo brusco normal se pierde el óxido que está suelto y que puede perjudicar la adherencia entre el concreto y el refuerzo.

1.2. Aspectos económicos

El deterioro de las estructuras de hormigón armado en ciudades costeras provocado por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo, constituye actualmente un problema social de la ciencia y la tecnología muy difícil de solucionar a nivel mundial. Numerosos investigadores han planteado la necesidad de desarrollar estudios e investigaciones que permitan prevenir el fenómeno como una opción menos costosa que combatirlo a pie de obra (Castañeda y Rodriguez, 2014).

La corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado es el fenómeno que más influye en el deterioro de las estructuras principalmente, en las construidas en zonas costeras. Estas zonas se clasifican como de elevado potencial constructivo debido al viable turismo existente. El hormigón armado es el material de construcción más usado debido a su bajo costo, facilidad y rapidez de fabricación. A través de él, se pueden generar las

más disímiles secciones y figuras en las estructuras debido a su carácter formáceo. Con su empleo, numerosos ingenieros y arquitectos han demostrado su talento en cuanto al diseño y construcción de las innumerables estructuras existentes en el mundo.

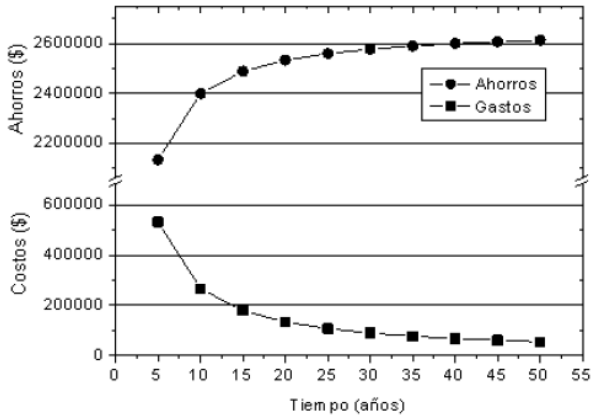
En un principio, se pensó que era un material que presentaba las propiedades necesarias y suficientes para ofrecer una gran durabilidad. Sin embargo, con el tiempo comenzaron a surgir problemas que mostraron la costosa necesidad de protegerlo debido a la interacción de sus componentes con la atmósfera, lo cual provoca el origen y desarrollo de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo (Castañeda y Rodriguez, 2014).

La cuantificación de las pérdidas económicas directas e indirectas que se derivan del deterioro de las estructuras de hormigón armado provocado por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado ha resultado muy difícil en la actualidad. Las mayores pérdidas por corrosión se deben fundamentalmente a los gastos originados en los costosos trabajos de reparación. El costo anual de reparación en las estructuras de hormigón armado ubicadas en zonas costeras deterioradas por la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en el Reino Unido es alrededor de 755,000,000 de libras esterlinas.

Del mismo modo que, de acuerdo con un reporte de la Sociedad Americana de Ingeniería Civil, se necesitan invertir alrededor de 660,000,000 de dólares en trabajos de mantenimiento y reparación para que la infraestructura costera norteamericana alcance un estado favorable. El costo directo de los trabajos de mantenimiento y reparación en las estructuras de hormigón armado intensamente afectadas por la corrosión atmosférica del acero de refuerzo en zonas costeras de Estados Unidos, ha sido aproximadamente de 276,000,000 de

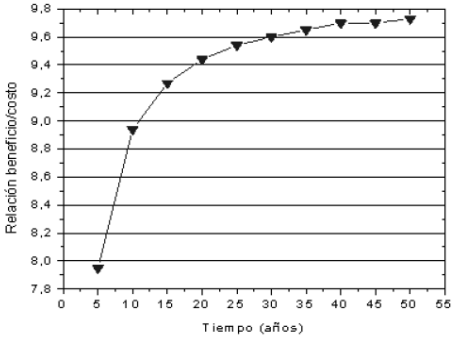
dólares, representando el 3.1 % del producto interno bruto de ese país desde el año 1999 al 2001 (Castañeda y Rodriguez, 2014).

Figura 4. **Comportamiento de los ahorros y gastos estimados en el tiempo**



Fuente: Castañeda y Rodriguez (2014). *Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado.*

Figura 5. **Incremento en el tiempo de la relación beneficio/costo**



Fuente: Castañeda y Rodriguez (2014). *Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado.*

Se observa cómo a medida que se incrementa el tiempo de exposición, específicamente a partir de 5 años existe un incremento en los ahorros y una disminución de los costos de reparación (figura 4) (Castañeda y Rodriguez, 2014).

1.3. Aspectos de prevención

Las actualizaciones de la normativa a nivel mundial es una proyección de los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos mejorados a los que se someten los materiales de construcción no sólo a esfuerzos producidos por cargas sino también a los producidos por la intemperie.

1.3.1. Especificaciones locales

El acero de refuerzo debe almacenarse por encima del nivel del terreno, sobre plataformas, largueros, bloques u otros soportes de madera u otro material adecuado y debe ser protegido hasta donde sea posible contra daños mecánicos y deterioro superficial, incluyendo los efectos de la intemperie y ambientes corrosivos. Cuando se coloque en la obra, el acero de refuerzo debe estar libre de suciedad, óxido o escamas sueltas, pintura, grasa, aceite u otras materias extrañas. Además, el refuerzo debe estar libre de defectos como grietas o laminaciones. El óxido e irregularidades superficiales no serán causa de rechazo, siempre que las dimensiones mínimas, área de la sección transversal y propiedades a tracción o tensión de una muestra cepillada a mano con cepillo de alambre reúna los requisitos de tamaño y calidad especificados para dicho acero. Todo el mortero seco debe quitarse del acero. El acero de refuerzo debe estar colocado en el lugar indicado en los planos y aprobado por el Delegado Residente, antes de principiar a colocar el concreto (Dirección General de Caminos, 2001).

El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. El agua de mar o agua salobre y de pantanos no debe usarse para concreto reforzado. El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable, puede usarse sin ensayos previos. Donde el lugar de abastecimiento sea poco profundo, la toma debe hacerse en forma que excluya sedimentos, toda hierba y otras materias perjudiciales (Dirección General de Caminos, 2001).

La relación agua cemento constituye un factor importante para la prevención de la corrosión en el acero de refuerzo, ya que el agua no usada en el proceso de hidratación del cemento provocará porosidad no deseada en nuestros elementos. La tabla II, hace referencia a las relaciones agua cemento máximas para cada condición de exposición para una resistencia mínima a la compresión a los 28 días.

Otro factor de mucha relevancia lo constituye además el recubrimiento de los elementos de concreto reforzado, por medio del cual estamos separando de manera intencional el acero del exterior. En base a las condiciones de exposición y con una resistencia mínima a la compresión a los 28 días, los recubrimientos mínimos fijados se presentan en la tabla III.

Para la protección del refuerzo contra la corrosión, las concentraciones máximas de iones de cloruro solubles en agua (-) en concreto endurecido, a la edad de 28 días y aportados por todos los componentes incluyendo el agua, cemento, puzolanas, agregados y aditivos no deben exceder los límites de fijados en la tabla IV.

Tabla II. **Relación agua/materiales cementantes máxima y resistencia a compresión mínima permitida para concretos en condiciones de exposición especial**

Condición de exposición	Relación agua/cementantes máxima	Resistencia a compresión mínima a 28 días Mpa Lb/pulg²	
Concreto que deban ser de baja permeabilidad al agua:			
Concreto expuesto al agua dulce	0.50	28	4000
Concreto expuesto al agua salobre o al agua de mar u otras aguas o suelos agresivos.	0.45	31.5	4500
Concreto expuesto a congelamiento en condiciones húmedas:			
Barandales, canaletas, guardarrieles y otras secciones delgadas.	0.45	31.5	4500
Otros elementos			
En presencia de sales deshelantes	0.50	28	4000
	0.45	31.5	4500
Para proteger contra la corrosión al refuerzo en concretos expuestos a sales deshelantes, agua salobre, agua de mar u otras aguas o suelos agresivos.	0.40	31.5	5000

Fuente: Dirección General de Caminos (2001). *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.*

Tabla III. **Recubrimientos mínimos de concreto en mm para protección del acero de refuerzo contra la corrosión**

Condiciones de Exposición	Concreto reforzado		Concreto preesforzado	
Concreto fundido en contacto con el suelo y permanentemente a él.	75	-----	75	-----
Concreto expuesto al suelo, agua o a la intemperie.				
Losas, muros y viguetas:	50	40	30	25
• Barras # 14 a # 18	40	20	30	25
• Barras # 11 y menores				
• Vigas y columnas:	50	40	40	40
• Refuerzo Principal	40	30	40	30
• Estribos y espirales				
• Cáscaras y elemento similares:	50	40	40	40
• Barras # 6 y mayores	40	30	40	30
• Barras # 5 y alambre W31, D31 y menores				
Concreto no en contacto con el suelo, agua ni expuesto a la intemperie.				
Losas, muros y viguetas:				
• Barras # 14 a # 18	40	30	20	20
• Barras # 11 y menores	20	15	20	15
Vigas y columnas:				
• Refuerzo Principal	40	Db(3)	40	Db(3)
• Estribos y espirales	40	10	25	10

Continuación tabla III.

Cáscaras y elemento similares:				
• Barras # 6 y mayores	20	15	Db(4)	15
• Barras # 5 y alambre W31, D31 y menores	13	10	10	10
Db (3) Es el diámetro de la barra, pero el recubrimiento no debe ser en ningún caso, menor que 15 mm, ni mayor que 40 mm.				
Db(4) Es el diámetro de la barra, pero el recubrimiento no debe ser en ningún caso, menor que 20 mm.				

Fuente: Dirección General de Caminos (2001). *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.*

Tabla IV. **Contenido máximo de cloruros para la protección del refuerzo**

Tipo de elemento	**Contenido máximo de iones de cloruro (CL-) solubles en agua, en el concreto (porcentaje por masa de cemento)**
Concreto preesforzado	0.06
Concreto reforzado expuesto a cloruros	0.15
Concreto reforzado que estará seco o protegido de la humedad.	1.00
Otras construcciones de concreto reforzado	0.30

Fuente: Dirección General de Caminos (2001). *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.*

1.3.2. Especificaciones internacionales

El ACI (2019) incluye cuatro categorías de exposición que afectan los requisitos del concreto para asegurar una durabilidad adecuada: categoría de exposición F aplica para concreto expuesto a la humedad y a ciclos de congelamiento y deshielo, con o sin productos químicos descongelantes. Categoría de exposición S aplica para concreto en contacto con suelo o agua que contenga cantidades perjudiciales de iones sulfatos solubles en agua. Categoría de exposición W aplica para concreto en contacto con agua. Categoría de exposición C aplica para concreto no preesforzado y preesforzado expuesto a condiciones que requieren protección adicional del refuerzo contra la corrosión.

La categoría de exposición C está subdividida en tres clases de exposición: la clase de exposición C0 se asigna cuando las condiciones de exposición no requieren protección adicional contra el inicio de la corrosión del refuerzo. Las clases de exposición C1 y C2 se asignan a miembros de concreto no preesforzado y preesforzado, dependiendo del grado de exposición a fuentes externas de humedad y cloruros en servicio. Algunos ejemplos de fuentes externas de cloruros son el concreto en contacto directo con productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen (ACI, 2019).

La durabilidad del concreto se ve afectada por la resistencia del concreto a la penetración de fluidos. Esto es afectado primordialmente por la a/mc y la composición de los materiales cementantes utilizados en el concreto. Para un a/mc dado, la utilización de ceniza volante, cemento de escoria de alto horno, humo de sílice o una combinación de estos materiales normalmente aumenta la resistencia del concreto a la penetración de fluidos y aumenta su durabilidad (ACI, 2019).

El recubrimiento del concreto para protección del refuerzo contra la intemperie y otros efectos se mide desde la superficie del concreto hasta la superficie exterior del acero para el cual el requisito de recubrimiento aplica. Cuando se prescriba un recubrimiento de concreto para una clase de miembro estructural, éste debe medirse hasta el borde exterior de los estribos o espirales, si hay refuerzo transversal abrazando las barras principales; hasta la capa exterior de barras, si se emplea más de una capa sin estribos; hasta los dispositivos metálicos de los extremos o los ductos en el acero postensado; o hasta la parte externa de la cabeza en las barras con cabeza (ACI, 2019).

La condición expuesta a la intemperie o en contacto con el suelo se refiere a exposiciones directas a cambios de la humedad y no sólo a cambios de temperatura. Las superficies inferiores de losas, por lo general no se consideran directamente expuestas, a menos que estén expuestas a humedecimiento, condensación, filtraciones, escorrentía o similares (ACI, 2019).

Cuando el concreto vaya a estar expuesto en servicio a fuentes externas de cloruros, tales como sales descongelantes, agua salobre, agua marina, o salpicaduras de estas fuentes, como protección adicional contra la corrosión se recomienda un recubrimiento de concreto especificado para el refuerzo de no menos de 50 mm para muros y losas, y no menor de 65 mm para otros miembros. Para concreto prefabricado construido bajo condiciones de control de la planta, se recomienda un recubrimiento de concreto especificado de no menor de 40 mm para muros y losa, y de no menor de 50 mm para otros elementos (ACI, 2019).

1.4. Procesos de detección y evaluación de la corrosión

El modelaje del deterioro del concreto debido a la corrosión uniforme se ha utilizado en los procesos fenomenológicos en que la corrosión del acero

embebido en concreto puede ser segmentada y resumida en dos fases que son iniciación y propagación.

1.4.1. Fase de iniciación

La fase de iniciación de la corrosión corresponde al período en que ocurre el transporte de agentes agresivos, por ejemplo, el CO_2, en la matriz porosa del concreto, teniendo como consecuencia la reducción del pH del medio (de aproximadamente 12.5 a 8.5) y la despasivación de la armadura (Felix, Balabuch, Correa, Possan y Carrazedo, 2018).

1.4.2. Fase de propagación

En la fase de propagación, se caracteriza por la pérdida de masa del acero y la formación de productos de corrosión que causan la fisuración del concreto de recubrimiento o en fases más avanzadas el desprendimiento del concreto (Felix, Balabuch, Correa, Possan y Carrazedo, 2018).

1.4.3. Selección de la muestra representativa

Se llevan a cabo una serie de reuniones técnicas con el objetivo de definir las estrategias para evaluar la efectividad de las reparaciones realizadas a diversos elementos estructurales de concreto armado del edificio en cuestión. Para ello se toman en cuenta los siguientes criterios: período y frecuencia de reparación de los elementos, zonas donde se presentaron fallas estructurales, zonas donde se presentan cargas excesivas y ambientes agresivos, y los diferentes tipos de materiales constructivos utilizados en las reparaciones (San Miguel *et. al.*, 2012).

1.4.4. Inspección, evaluación y diagnóstico

Inspección visual general del edificio para disponer en su momento de datos de primera mano acerca de las dimensiones de los elementos, accesibilidad, y prever el equipamiento necesario para realizar las subsecuentes operaciones de evaluación y diagnóstico. Consiste además en reproducir las dimensiones del elemento, representar los daños físicos como agrietamientos y botaduras del concreto, realizar anotaciones relacionadas con las condiciones de exposición del elemento. En ella se observa el patrón de agrietamientos, el espesor del recubrimiento del concreto, la ubicación de los sitios de extracción de núcleos y las dimensiones del elemento. También se anotan las observaciones realizadas en relación con el ambiente que rodea al elemento (San Miguel *et. al.* ,2012).

1.4.5. Técnicas electroquímicas

La detección del proceso de corrosión utilizando medidas del potencial de corrosión del acero es uno de los primeros métodos utilizados cuando se busca realizar un diagnóstico de las estructuras de concreto reforzado. La técnica es muy conocida y ha sido objeto de una normalización en la ASTM C-876 y de recomendaciones elaboradas por reconocidos investigadores reflejadas en la RILEM TC 154-EMC y DURAR.

La técnica permite localizar las áreas anódicas y catódicas de las armaduras de acero midiendo la diferencia de potencial con respecto a un electrodo de referencia localizado en la superficie del concreto. Hay que recalcar que la medida aporta principalmente la probabilidad de que el fenómeno de la corrosión esté presente sobre el acero localizado en la superficie perpendicular en la cual se presenta el potencial más bajo. Existen diversos criterios que han

sido propuestos para la interpretación de las medidas del potencial de corrosión. Sin embargo, una interpretación estricta resulta difícil debido a que existen varios parámetros que tienen una influencia sobre este valor (San Miguel *et. al.* ,2012).

El uso de técnicas electroquímicas se ha presentado como una opción para el estudio del acero de refuerzo embebido en concreto, mediante señales eléctricas y el análisis de la respuesta del sistema. La rapidez de medición y sensibilidad son algunas ventajas de las técnicas electroquímicas, además de ser pruebas no destructivas. Las más utilizadas son: medición de potencial de corrosión (Ecorr), resistencia a la polarización (Rp), voltametría cíclica y espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS). Cada una de ellas aporta información acerca de las condiciones de la interfase acero-concreto, y con ello del grado de corrosión que se presente en la armadura (Pérez, 2008).

Las técnicas electroquímicas, consisten en la aplicación de señales de potencial y el registro de su respuesta en corriente, o bien la aplicación de señales de corriente y el registro de la respuesta en potencial. La más sencilla y utilizada en campo es la medición del potencial de corrosión, que revela el estado superficial de las varillas. Para información acerca de la cinética de corrosión o velocidad con la que procede la corrosión, se utiliza la técnica electroquímica de resistencia a la polarización, que junto con la anterior son las más utilizadas en la actualidad (Pérez, 2008).

Dado que existen técnicas electroquímicas ya certificadas para el estudio de la corrosión en campo y laboratorio, la razón de la investigación de este proyecto es el empleo de una de las nuevas formas para monitoreo preventivo (sensor) y como técnica electroquímica en campo. Para ello se desarrolló un sistema galvánico embebido dentro del concreto reforzado, para obtener valores en corriente, y en potencial los cuales son comparados con los potenciales de

corrosión del monitoreo convencional existente. Por lo tanto, la finalidad de este proyecto es probar que esta nueva técnica se puede utilizar como sensor y como método alternativo de monitoreo del riesgo por corrosión dentro del concreto (Pérez, 2008).

Los sensores galvánicos se han venido empleando desde 1990 como método preventivo contra el ataque de agentes agresivos, principalmente para una gran variedad de estructuras marinas. Estos monitorean el riesgo por corrosión del acero de refuerzo, mejorando la predicción de la vida de servicio. No obstante, aún faltan evaluaciones y resultados con aplicaciones prácticas empleando otros tipos de materiales, y bajo otras condiciones diferentes de estudio, donde puedan esperarse valores límites relevantes. Este tipo de sensores pueden aplicarse a estructuras nuevas, lugares de reparación y más recientemente en estructuras existentes. Además en estructuras expuestas a ambientes agresivos, son muy económicas para monitoreo en áreas de difícil o sin acceso, representan un monitoreo efectivo como complemento de otros sistemas de protección y son una medida más contra el ataque de cloruros (Pérez, 2008).

1.5. Patologías de las estructuras

La prevención y el mantenimiento, en el proceso constructivo y en la vida útil, son pilares fundamentales en la seguridad de una edificación.

1.5.1. Proceso patológico

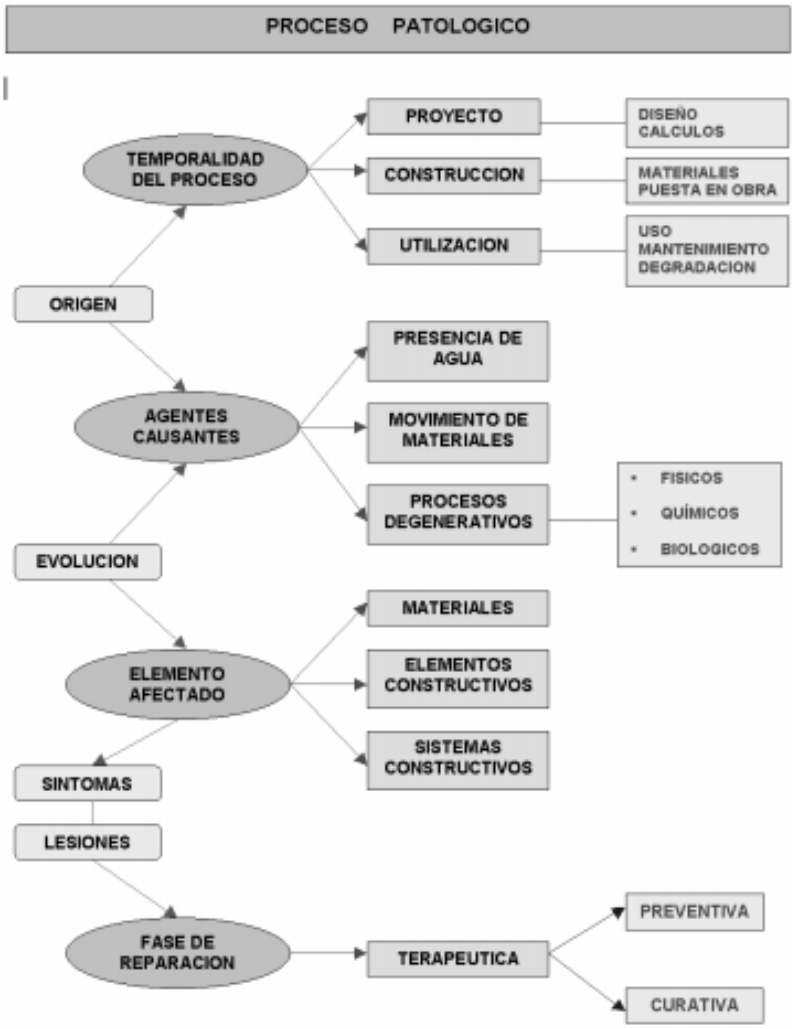
Entendemos por proceso patológico el conjunto de acciones que se producen en un edificio, o parte de él, desde el momento en que se presenta un deterioro en su funcionamiento o una lesión, en definitiva, una patología estará

presente hasta el momento en que el edificio recupera las condiciones básicas para las que fue construido, mediante la correspondiente reparación (López, Ventura, Cruz, Torreño y Ubeda, 2004).

1.5.2. Interacción entre fases y agentes causantes

Esta interrelación entre las causas genéricas de las lesiones o deterioros y las fases de proceso en la que se produce el fallo, hace en ocasiones difícil establecer un diagnóstico claro sobre la fuente específica de la causa y como consecuencia la responsabilidad del agente del proceso llamado a evitar que se consumara la acción desencadenante de la patología. En definitiva, unas son las causas tangibles que producen la alteración en el producto edificado, bien en alguno de sus materiales compositivos o bien en algún elemento del sistema constructivo, otras la temporalidad en que se produce y otra el tiempo que la alteración permanece sin ser reparada, lo que generalmente aumenta la gravedad y repercusiones de la lesión (López, Ventura, Cruz, Torreño y Ubeda, 2004).

Figura 6. **Diagrama del proceso patológico**



Fuente: López, Ventura, Cruz, Torreño y Ubeda (2004). *Manual de patología de la edificación*.

1.5.3. Tipologías de las lesiones y agentes causantes

Es necesario la identificación temprana de cualquier lesión en una estructura, tomando acciones correctivas a la mayor brevedad, y detener cualquier tipo de propagación.

Tabla V. **Tipologías de las lesiones y agentes causantes**

Tipología de la lesión	Sintomatología	Agente patológico
Físicas	• Humedad • Erosión física • Meteorización • Suciedad	• Presencia de agua • Condiciones atmosféricas • Excrementos animales
Mecánicas	• Deformaciones • Agrietamientos • Fisuraciones • Desprendimientos • Erosión mecánica	• Cargas y sobrecargas • Incremento esbeltez • Dilataciones • Retracciones • Mala ejecución • Acción del viento • Uso continuado
Químicas	• Disgregación o disolución • Oxidación • Eflorescencias • Explosión-combustión • Deformación • Meteorización	• Contaminantes ambientales • Presencia de agua • Disolución de sales • Presencia de llama • Temperatura • Proceso involutivo
Electro-químicas	• Corrosión	• Presencia de agua • Mala ejecución
Biológicas	• Pudrición parda • Pudrición blanda • Disgregación	• Presencia de hongos • Presencia de xilófagos

Fuente: López, Ventura, Cruz, Torreño y Ubeda (2004). *Manual de patología de la edificación*.

1.5.4. Patologías en zonas costeras

Enfocados en nuestro tema de investigación, y en base a todo el análisis descrito anteriormente. Podemos realizar un consolidado de las patologías que

puedan presentar las edificaciones en las zonas costeras. Como resultado de malas prácticas constructivas y la exposición constante a los agentes agresivos en un ambiente marino.

Tabla VI. **Patología del concreto armado en zonas costeras**

Acción	Patologías
Química	• Carbonatación acelerada del concreto
	• Corrosión del acero por iones cloruros
	• Corrosión del acero por iones sulfatos
	• Pérdidas de fibras exteriores del acero por corrosión
	• Eflorescencias
Mecánica	• Fisuramientos
	• Agrietamientos
	• Erosión del concreto
	• Deformación de elementos estructurales
	• Pérdida de resistencia del concreto reforzado

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

1.5.5. Infraestructura en ambientes costeros

Ambiente costero es un conjunto de variables ligadas a un ambiente salino, regímenes de vientos, medios de agua, vertientes de ríos. Todos estos escenarios o combinaciones de estos generan situaciones particulares a los elementos estructurales desde el punto de vista de agentes agresores ambientales y situaciones de daño a las estructuras como la erosión costera y daños por corrosión en estructuras metálicas y en refuerzos. Es indispensable la caracterización de las zonas costeras ya que pueden existir variaciones en cuanto a la agresividad de cada agente. Ya sea por régimen de viento, tipos de

suelo o vegetación. Algunos agentes pueden ser temporales, permanentes o persistentes.

Cuando se realiza una obra costera se tiene la costumbre de entregar la obra y no entregar al propietario o al desarrollador un cronograma recomendado de cuál debe ser la periodicidad de los mantenimientos de la estructura.

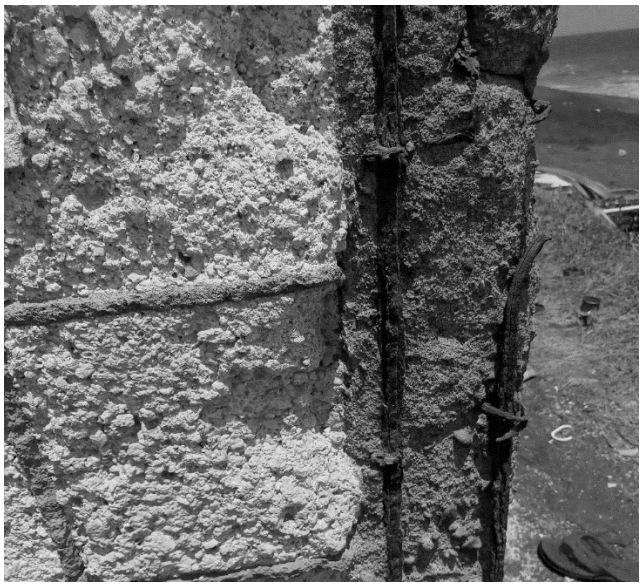
Figura 7. **Agrietamiento en elementos principales**

Fuente. [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 8. **Eflorescencias**

Fuente. [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 9. **Pérdida de fibras y masa total del acero de refuerzo**



Fuente. [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 10. **Poco recubrimiento en elementos estructurales**

Fuente. [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

2. DESARROLLO TÉCNICO Y ENSAYOS

2.1. Características de los materiales a utilizar

Para los ensayos por exposición a condiciones de intemperie, los materiales deberán ser de características homogéneas para cada unidad de probeta que se elabore.

2.1.1. Agregados finos y gruesos

A medida que se aumenta el tamaño máximo del agregado grueso, este reemplaza la arena y pasta de cemento. Si agregamos a nuestra mezcla agregado fino con módulo de finura mayor o sea arena más gruesa, tenemos que disminuir la cantidad de agregado grueso y aumentar la cantidad de arena para que el concreto sea más trabajable.

Para la realización de nuestros ensayos tomaremos los valores obtenidos de nuestra mezcla base, determinando primero nuestro valor de agregado máximo Dmax en base al módulo de finura MF de la arena a utilizar.

Los ensayos presentan 3 combinaciones de agregados finos. Se utilizaron mezclas con 100 % de arena de río (arena gruesa), 50 % de arena de río (arena gruesa) + 50 % de arena de mar (arena fina) Y 100 % de arena de mar (arena fina).

Para el agregado grueso o grava se utilizó un agregado de tamaño máximo de 25 milímetros o 1 pulgada, para todos los cilindros.

2.1.2. Agua

Se debe estimar el contenido de agua para el asentamiento especificado, para ello nos podemos apoyar en otra tabla que para el efecto nos proporciona el código ACI 211, de donde podemos obtener valores de contenido de agua en función del tamaño máximo de nuestro agregado Dmax, el asentamiento y la cantidad de aire atrapado que se espera.

El agua utilizada para los ensayos fue la obtenida de los grifos del servicio de agua potable de la cabecera municipal de Iztapa, Escuintla. La cual es extraída de un pozo mecánico con más de 400 pies de profundidad. No se efectuaron pruebas químicas.

2.1.3. Tipo de cemento

El tipo de cemento utilizado para los ensayos es un cemento tipo portland con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso general en la construcción. Marca Cementos Progreso UGC 4000 PSI. Peso específico 1500 kg/cm^3.

2.1.4. Acero de refuerzo

Se utilizó acero corrugado de ½ pulgada legítimo grado 40, según norma ASTM A615 / COGUANOR 36011 de proveedor nacional. Además, para realizar comparaciones más efectivas en cuanto a la medición de la pérdida de masa, medición de variación de longitud y diámetros, se utilizaron probetas de acero liso de ½ pulgada legítimo también en grado 40 según normativa indicada, con una longitud aproximada de las probetas de 15 centímetros.

La selección del grado del acero se realizó en función a su gran utilización en el área mayormente para vivienda familiar y muros. Es necesario mencionar que para obras de mayor envergadura donde se presente mayor demanda en cuanto a resistir esfuerzos producidos por carga gravitacional y sísmica, deberá utilizarse acero de mayor fluencia como grado 60 o grado 80.

2.2. Proceso corrosivo controlado de probetas de acero

Este proceso se llevó a cabo por medio de exposición directa del acero al medio de contacto. Se eligieron 5 opciones posibles de contacto de las varillas de refuerzo en obras costeras. La finalidad consiste en recrear las condiciones de exposición al que al acero es sometido en la vida real. Podemos observar a nivel de zonas costeras en nuestro país que las varillas de refuerzos son expuestas por mucho tiempo, antes de continuar una obra, para el caso de las varillas expuestas a la intemperie. De igual forma no se toman las consideraciones necesarias para realizar cimentaciones en suelo con alto contenido de sulfatos y nivel freático cercano con influencia de agua de mar y vertientes subterráneas que se interconectan de agua dulce y agua salada.

2.2.1. Exposición de probetas al aire libre

Estas probetas fueron expuestas directamente a la intemperie en un ambiente costero, a menos de 400 metros de la costa. Mismas que estuvieron expuestas a la brisa marina constante provocada por el cambio en la marea y a un ambiente salino.

2.2.2. Exposición de probetas embebidas en agua de mar

Estas probetas fueron colocadas en un contenedor con agua de mar a temperatura ambiente a la sombra, para que por medio del contacto directo las mismas presentarán oxidación y posteriormente se iniciase el proceso corrosivo. Las mediciones de pérdida de masa fueron realizadas cada 3 semanas.

2.2.3. Exposición de probetas en agua potable

Estas probetas fueron colocadas en un contenedor con agua potable a temperatura ambiente a la sombra, para que por medio del contacto directo las mismas presentarán oxidación y posteriormente se iniciase el proceso corrosivo. Las mediciones de pérdida de masa fueron realizadas cada 3 semanas.

2.2.4. Exposición de probetas embebidas en agua potable + hipoclorito de calcio

Estas probetas fueron colocadas y embebidas en un contenedor con agua potable más hipoclorito de calcio al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5, a temperatura ambiente a la sombra, para que por medio del contacto directo las mismas presentarán oxidación y posteriormente se iniciase el proceso corrosivo. Las mediciones de pérdida de masa fueron realizadas cada 3 semanas.

2.2.5. Exposición de probetas embebidas en agua potable + sulfato de cobre

Estas probetas fueron colocadas y embebidas en un contenedor con agua potable más sulfato de cobre al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5, a temperatura ambiente a la sombra, para que por medio del contacto directo las

mismas presentarán oxidación y posteriormente se iniciase el proceso corrosivo. Las mediciones de pérdida de masa fueron realizadas cada 3 semanas.

2.3. Elaboración de probetas de concreto

Ya definidas las características de los agregados, cementante y agua, se procede a la elaboración del diseño de mezcla respectivo, y así obtener las proporciones necesarias para alcanzar la resistencia establecida.

2.3.1. Elaboración de probetas o cilindros de concreto

Para la elaboración de estos especímenes se utilizó el método de prueba estándar para resistencia a la compresión de probetas de hormigón. ASTM C39/C39M-01. Se utilizaron moldes metálicos de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de altura. Para un fraguado a los 28 días. En 3 condiciones diferentes de fraguado y curado, utilizando las relaciones agua cemento a/c = 0.57 (mezcla base), a/c=0.50 (exposición S1) y a/c=0.45 (exposición S2 Y S3). Tomando como referencia la tabla de niveles de exposición y las relaciones agua cemento recomendadas por el ACI 318-19.

2.3.2. Niveles de exposición del concreto ACI 318-19

Conociendo las condiciones de exposición al que estará expuesto nuestro concreto, nos permitirá elaborar un mejor concreto. Además, se obtendrá un mejor resguardo de las barras de refuerzo.

Tabla VII. **Categorías y clases de exposición**

Categoría	**Clase**	**Condición**	
Congelamiento y deshielo (F)	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	
	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	
	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto frecuente con la humedad	
	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto frecuente con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	
Sulfato (S)		Sulfatos solubles en agua (SO_4^{2-}) en el suelo, % en masa	Sulfato (SO_4^{2-}) disuelto en agua, ppm
	S0	(SO_4^{2-}) < 0.10	(SO_4^{2-}) < 150
	S1	0.10 ≤ (SO_4^{2-}) < 0.20	150 ≤ (SO_4^{2-}) < 1500 o agua marina
	S2	0.20 ≤ (SO_4^{2-}) < 2.00	1500 ≤ (SO_4^{2-}) < 10000
	S3	(SO_4^{2-}) > 2.00	(SO_4^{2-}) > 10000
En contacto con el agua (W)	W0	Concreto seco en servicio	
	W1	Concreto en contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	W2	Concreto en contacto con el agua donde se requiere baja permeabilidad	
Protección del refuerzo para la corrosión (C)	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	

Fuente: ACI (2019). *Código para concreto estructural.*

2.3.3. Relación agua cemento recomendada por nivel de exposición ACI 318-19

La cantidad adecuada de agua para hidratar las partículas de cemento nos proporcionará una mezcla óptima para alcanzar la resistencia adecuada.

Tabla VIII. **Requisitos para el concreto según la clase de exposición**

Clase de exposición		Relación a/mc máxima	f'c Mínimo MPa
F0		N/A	17
F1		0.55	24
F2		0.45	31
F3		0.40	35
S0		N/A	17
S1		0.50	28
S2		0.45	31
S3	Opción 1	0.45	31
	Opción 2	0.40	35
W0		N/A	17
W1		N/A	17
W2		0.50	28
C0		N/A	17
C1		N/A	17
C2		0.40	35

Fuente: ACI (2019). *Código para concreto estructural.*

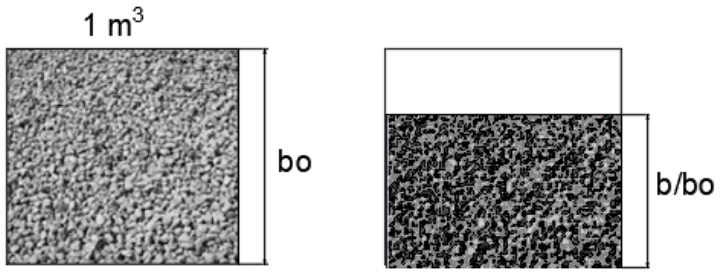
2.4. Elaboración de concreto mezcla base

Este procedimiento nos dará las cantidades en proporción necesarias para la elaboración de las probetas de concreto, las cuales serán curadas y fraguadas en diferentes condiciones de exposición.

2.4.1. Diseño de mezcla (ACI 211)

Valores como el peso específico de los agregados, su diámetro y módulo de finura, serán el inicio de un buen diseño de mezcla.

Figura 11. **Masa unitaria del agregado grueso varillado bo**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

$$b/bo = f(Dmax;MFarena) \quad \text{(Ec. 1)}$$

Tabla IX. **ACI 211. Diseño del agregado grueso**

Tamaño Max.	Volumen de agregado grueso compactado, para diferentes módulos de finura. b/bo para diferentes MF de la arena.			
	2.4	**2.6**	**2.8**	**3**
9.5(3/8)	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5(1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19(3/4)	0.66	0.64	0.62	0.6
25(1)	0.71	0.69	**0.67**	0.65
37.5(1 ½)	0.75	0.73	0.71	0.69
50(2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75(3)	0.82	0.8	0.78	0.76
150(6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for. Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.*

Tomamos el valor de:

$$b/bo=0.67$$

$$bo=1520\ kg/m^3$$

$$b= 0.67x1520= 1018.4\ kg/m^3$$

Tabla X. **ACI 211. Estimación del contenido de agua más aire retenido**

Asentamiento	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregados indicados							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 m	50 mm	75 mm	150 mm
(mm)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	1	(1 ½)	2	3	6

Continuación tabla X.

	Concreto sin aire incluido							
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	**193**	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-------
Aire atrapado (%)	3	2.5	**2**	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Fuente: ACI (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for. Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.*

Para:

Dmax=25 mm (1 pulgada)

Cono =100 mm.

Obtenemos agua (W) = 193 kg/m^3.

- Resistencia media de diseño

$$f'cr=f'c+(txs) \qquad \text{(Ec. 2)}$$

Donde:

f'c=20.6 Mpa = 210.06 kg/cm^2

s= desviación estándar

Cuando no se tiene desviación estándar usar la tabla siguiente:

Tabla XI. **Resistencia media del concreto ASTM C94**

f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)
< 21	f'c+7
21-35	f'c + 8.5
> 35	1.2 x f'c+5

Fuente: ASTM (2003). *American Standards for Testing of Materials.*

No tenemos ensayos previos y el f'c es menor a 21 Mpa usamos un incremento de 7.

f'cr=20.6+7=27.6 Mpa = 281.44 kf/cm² = 4003.04 PSI

Estimación de la relación agua/cemento (a/c)

Tabla XII. **ACI estimación a/c por esfuerzo a la compresión**

Esfuerzo a la compresión a 28 días. PSI	Relación agua/cemento, por peso	
	Sin aire incluido en el concreto	Con aire incluido en el concreto
6000	0.41	-
5000	0.48	0.40
4000	**0.57**	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

Fuente: ACI (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for. Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.*

a/c = 0.57

- Estimación contenido de cemento

Cemento = agua/(a/c) = 338.60 kg/m³

- Contenido de arena

Tabla XIII. **Contenido de arena**

Aire=	0.020	m³
Agua=	0.193	m³
Cemento=	0.108	m³
Grava=	0.403	m³
Suma	0.723	m³
Arena=	**0.277**	m³

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

- Fracciones de arena

  - Densidad arena fina= 1625 kg/m³
  - Densidad arena gruesa= 1353 kg/m³

Arena fina= 0.5x0.277x1625 kg/m³ = 224.77 kg/m³

Arena gruesa= 0.5x0.277x1353 kg/m³ = 187.14 kg/m³

Promedio arena fina=205.96 kg/m³

Promedio arena fina=205.96 kg/m³

- Resumen

Tabla XIV. **Resumen mezcla base**

Diseño	**ASTM C211** (kg/m³)
Cemento	338.60
Cenizas	0
Arena F.	205.96
Arena G.	205.96
Grava	885.74
Agua	193
Plastificante	0
Superplastif	0
Aire (%vol)	2

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

- Proporción

Tabla XV.**Proporción mezcla base**

1	**1.22**	**2.62**	**Proporción**
Cemento	Arena	Piedrín	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.5. Exposición y curado del concreto

Se ha comprobado que un mal curado o baja hidratación en las fibras externas de los elementos de concreto, da como resultado una disminución considerable en su resistencia.

Tabla XVI. **Mezcla 1, condición de curado y rel. a/c por nivel de exposición**

Mezcla 1			**Relación agua-cemento**								
			mezcla base			exposición S1			exposición S2,S3		
			a/c			a/c			a/c		
			0.57			0.5			0.45		
			curado			curado			curado		
			Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable	Embebido en agua de mar
arena	100 % arena de río	**Cantidad de Cilindros**	1	1	1	1	1	1	1	1	1
grava	100 % triturado de 1"										
agua	agua potable										

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XVII. **Mezcla 2, condición de curado y rel. a/c por nivel de exposición**

Mezcla 2			**Relación agua-cemento**								
			mezcla base			exposición S1			exposición S2,S3		
			a/c			a/c			a/c		
			0.57			0.5			0.45		
			curado			curado			curado		
			Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable	Embebido en agua de mar
arena fina	50 % arena de mar	**Cantidad de Cilindros**	1	1	1	1	1	1	1	1	1
arena gruesa	50 % de río para la construcción										
grava	100 % triturado de 1"										
agua	agua potable										

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XVIII. **Mezcla 3, condición de curado y rel. a/c por nivel de exposición**

Mezcla 3			**Relación agua-cemento**								
			mezcla base			exposición S1			exposición S2,S3		
			a/c			a/c			a/c		
			0.57			0.5			0.45		
			curado			curado			curado		
			Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable	Embebido en agua de mar
arena	100% arena de mar	**Cantidad de Cilindros**	1	1	1	1	1	1	1	1	1
grava	100% triturado de 1"										
agua	agua potable										

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 12. **Materiales para elaboración de probetas de concreto**

Fuente. [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

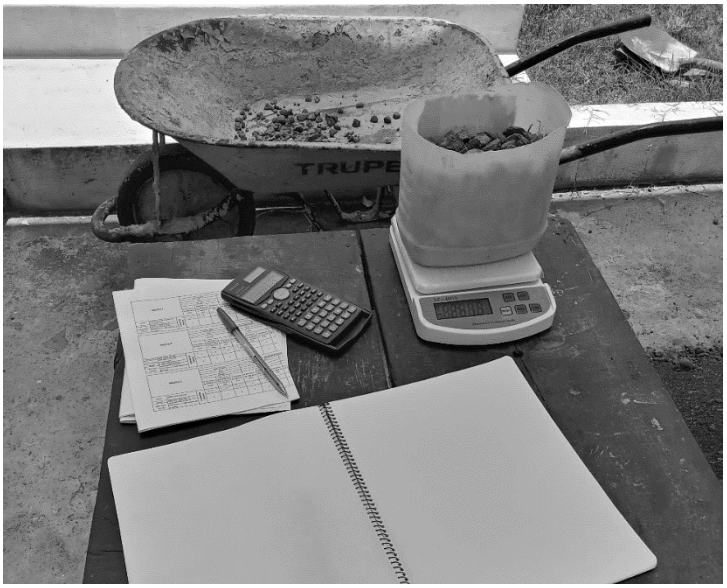
Figura 13. **Elaboración de probetas de concreto según tabla XVI**

Fuente. [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 14. **Curado de las probetas de concreto según tabla XVI**

Fuente. [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 15. **Elaboración de mezclas según tabla XVI**



Fuente. [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 16. **Probetas de concreto curadas a la intemperie y brisa marina**

Fuente. [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 17. **Traslado de probetas al Centro de Investigaciones**

Fuente: [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

2.6. Exposición del acero

Las variables analizadas serán tiempo, pérdida de masa y pérdida de diámetro en barras de acero grado 40, liso y corrugado.

Tabla XIX. **Tipo de exposición de las probetas de acero liso**

Acero liso		
Tipo	Elemento	Exposición
Varilla lisa 1/2" grado 40	1.1	Al aire libre < de 400 m de la costa
Varilla lisa 1/2" grado 40	1.2	Al aire libre < de 400 m de la costa
Varilla lisa 1/2" grado 40	1.3	Al aire libre < de 400 m de la costa
Varilla lisa 1/2" grado 40	2.1	Embebido en agua de mar
Varilla lisa 1/2" grado 40	2.2	Embebido en agua de mar

Continuación tabla XIX.

Varilla lisa 1/2" grado 40	2.3	Embebido en agua de mar
Varilla lisa 1/2" grado 40	3.1	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa
Varilla lisa 1/2" grado 40	3.2	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa
Varilla lisa 1/2" grado 40	3.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa
Varilla lisa 1/2" grado 40	4.1	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+hipoclorito de calcio al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5.Ver
Varilla lisa 1/2" grado 40	4.2	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+hipoclorito de calcio al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5. Ver
Varilla lisa 1/2" grado 40	4.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+hipoclorito de calcio al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5. Ver
Varilla lisa 1/2" grado 40	5.1	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+Sultado de cobre al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5. Ver tabla
Varilla lisa 1/2" grado 40	5.2	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+Sultado de cobre al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5. Ver tabla
Varilla lisa 1/2" grado 40	5.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+Sultado de cobre al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5. Ver tabla
Varilla lisa 1/2" grado 40	6.1	Embebido en arena de mar
Varilla lisa 1/2" grado 40	6.2	Embebido en arena de mar
Varilla lisa 1/2" grado 40	6.3	Embebido en arena de mar

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XX.**Tipo de exposición de las probetas de acero corrugado**

Acero corrugado		
Tipo	Elemento	Exposición
Varilla corrugada 1/2" grado 40	1.1	Al aire libre < de 400 m de la costa
Varilla corrugada 1/2" grado 40	1.2	Al aire libre < de 400 m de la costa
Varilla corrugada 1/2" grado 40	1.3	Al aire libre < de 400 m de la costa

Continuación tabla XX.

Varilla corrugada 1/2"	2.1	Embebido en agua de mar
Varilla corrugada 1/2"	2.2	Embebido en agua de mar
Varilla corrugada 1/2"	2.3	Embebido en agua de mar
Varilla corrugada 1/2"	3.1	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa
Varilla corrugada 1/2"	3.2	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa
Varilla corrugada 1/2"	3.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa
Varilla corrugada 1/2"	4.1	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+hipoclorito de calcio al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5.Ver tabla 19.3.2.1 ACI 318-19 (exposición a
Varilla corrugada 1/2"	4.2	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+hipoclorito de calcio al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5. Ver tabla 19.3.2.1 ACI 318-19 (exposición a
Varilla corrugada 1/2"	4.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+hipoclorito de calcio al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5. Ver tabla 19.3.2.1 ACI 318-19 (exposición a
Varilla corrugada 1/2"	5.1	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+Sultado de cobre al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5. Ver tabla 19.3.2.1 ACI 318-19 (exposición a
Varilla corrugada 1/2"	5.2	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+Sultado de cobre al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5. Ver tabla 19.3.2.1 ACI 318-19 (exposición a
Varilla corrugada 1/2"	5.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+Sultado de cobre al 1.5 % de la masa cementante a/c=0.5. Ver tabla 19.3.2.1 ACI 318-19 (exposición a
Varilla corrugada 1/2"	6.1	Embebido en arena de mar
Varilla corrugada 1/2"	6.2	Embebido en arena de mar
Varilla corrugada 1/2"	6.3	Embebido en arena de mar

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.6.1. Ejemplo de toma de datos para probetas de acero según exposición

La tabulación de forma ordenada nos proporcionará información confiable, para que posteriormente se sustituyan los valores obtenidos en las fórmulas de esfuerzos.

Tabla XXI. **Pérdida de masa en probetas de acero**

Numeración de probeta	**Valores iniciales**				**Medición 1,2,3,4**				
	0				**1**				
	Medición	**Fecha:**	**12/04/2021**		**Medición**	**Fecha:**	**3/05/2021**		**pérdida (g) 1**
Elemento	Longitud (mm)	ϕ inicial (mm)	Peso inicial (g)	promedio Peso (g)	Longitud (mm)	ϕ (mm)	Peso (g)	promedio Peso (g)	
1.1		12.7	147.72			12.7	147.69		
		12.7	147.72	**147.727**		12.7	147.67	**147.670**	**0.057**
	150.1	12.7	147.74		**150.1**	12.7	147.65		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 18. **Probetas de acero liso y corrugado**

Fuente: [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 19. **Exposición de probetas a ambiente marino**

Fuente: [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 20. **Otros tipos de exposición del acero según tablas XVII y XVIII**

Fuente. [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

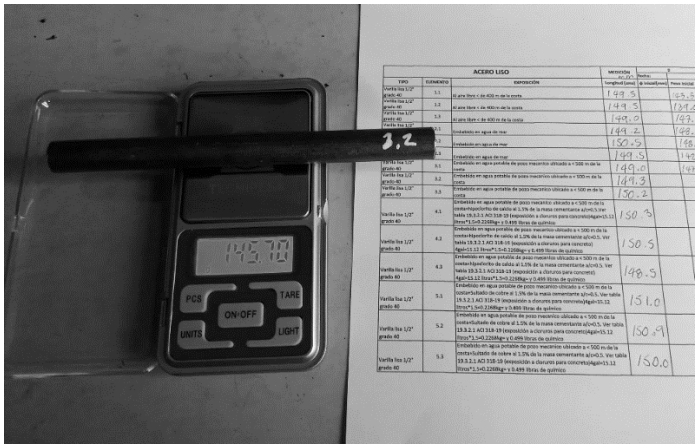
Figura 21. **Probetas expuestas después de 3 semanas**

Fuente: [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 22. **Cepillado de probetas de acero**

Fuente: [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 23. **Pesaje inicial de probetas de acero**



Fuente: [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 24. **Pesaje cada 3 semanas según tipo de exposición**

Fuente: [Fotografía de Carlos Omar Rodas]. (Iztapa, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. Resultados obtenidos en el concreto (3 condiciones de curado, 2 relaciones agua/cemento y 3 variaciones de agregado fino)

A través de las diferentes combinaciones de curado, agregado fino y relación agua cemento, se obtendrá la resistencia nominal de los cilindros a los 28 días de curado.

3.1.1. Mezcla 1 (mezcla base), agregado fino (100 % arena de río)

Representa la mezcla inicial, para una resistencia media de 4000 psi. Elaborada con agregado fino constituido por arena de río al 100 %.

Tabla XXII. **Mezcla 1**

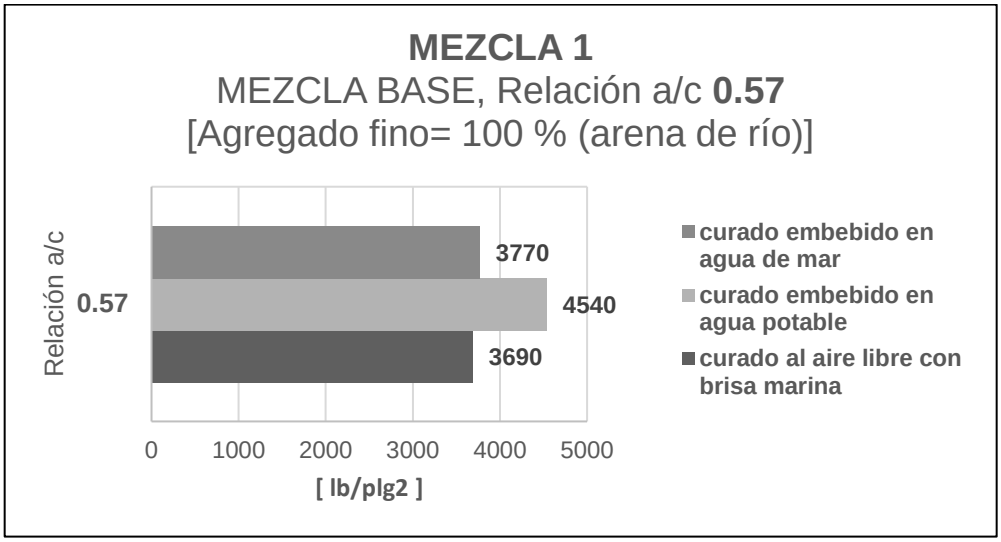
	Relación agua-cemento								
	Mezcla base			Exposición S1-W1			Exposición S2,S3		
	a/c			a/c			a/c		
	0.57			0.5			0.45		
	curado			curado			curado		
MEZCLA 1	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable de pozo mecánico a < 500 de la costa	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable de pozo mecánico a < 500 de la costa	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable de pozo mecánico a < 500 de la costa	Embebido en agua de mar

Continuación tabla XXII.

arena	100 % arena de río para la construcción	cantidad de cilindros	1	1	1	1	1	1	1	1	1
grava	100 % triturado de 1"										
agua para mezcla	agua potable de pozo mecánico a < 500 metros de la costa	ID Cilindro	1	2	3	10	11	12	19	20	21
Fecha de elaboración			30/04/2021	30/04/2021	30/04/2021	24/05/2021	24/05/2021	24/05/2021	NR	NR	NR
Fecha de ruptura			28/05/2021	28/05/2021	28/05/2021	24/06/2021	24/06/2021	24/06/2021	NR	NR	NR
Resultado a la compresión **[lb/plg2]**			**3690**	**4540**	**3770**	**4250**	**3470**	**3890**	NR	NR	NR

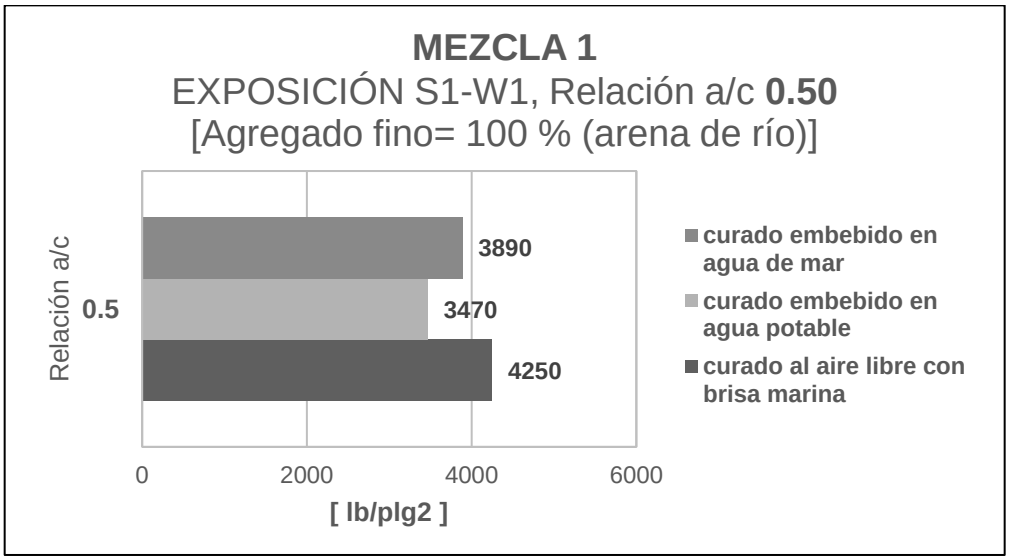
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 25. **Gráfica 1. Mezcla 1, a/c=0.57**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 26. **Gráfica 2. Mezcla 2, a/c=0.50**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.1.2. Mezcla 2, agregado fino (50 % arena de río + 50 % arena de mar)

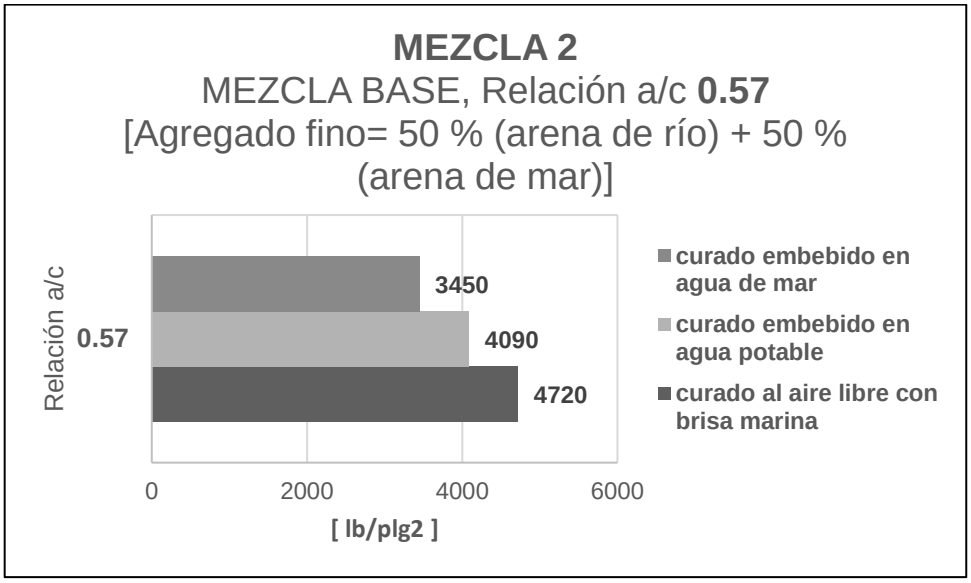
Para la mezcla 2, se tomará como variante el contenido de agregado fino completando el valor total por peso en la mezcla del mismo componente.

Tabla XXIII. **Mezcla 2**

			Relación agua-cemento								
			Mezcla base			Exposición S1-W1			Exposición S2,S3		
			a/c			a/c			a/c		
			0.57			0.5			0.45		
			curado			curado			curado		
	MEZCLA 2		Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable de pozo mecánico a < 500 de la costa	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable de pozo mecánico a < 500 de la costa	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable de pozo mecánico a < 500 de la costa	Embebido en agua de mar
arena fina	50 % arena de mar	**cantidad de Cilindro**	1	1	1	1	1	1	1	1	1
arena gruesa	50 % de río para la construcción										
grava	100 % triturado de 1"	**ID Cilindro**	4	5	6	13	14	15	22	23	24
agua para mezcla	agua potable de pozo mecánico a < 500 metros de la costa										
Fecha de elaboración			30/04/2021	30/04/2021	30/04/2021	24/05/2021	24/05/2021	24/05/2021	NR	NR	NR
Fecha de ruptura			28/05/2021	28/05/2021	28/05/2021	24/06/2021	24/06/2021	24/06/2021	NR	NR	NR
Resultado a la compresión **[lb/plg2]**			**4720**	**4090**	**3450**	**5860**	**5540**	**4880**	NR	NR	NR

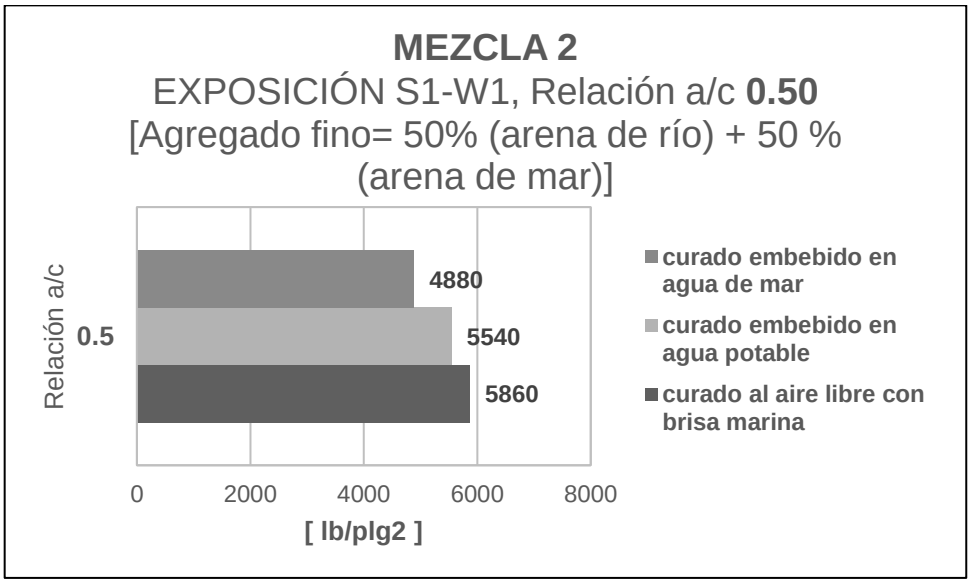
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 27. **Gráfica 3. Mezcla 2, a/c=0.57**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 28. **Gráfica 4. Mezcla 2, a/c=0.50**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

3.1.3. Mezcla 3, agregado fino (100 % arena de mar)

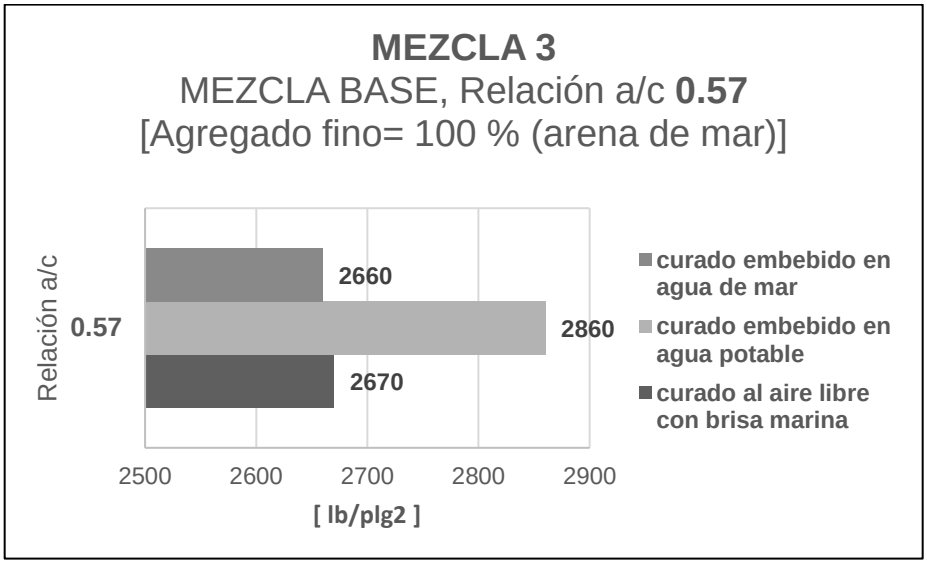
Para la mezcla 3, se tomará como variante el contenido agregado fino constituido por arena de mar al 100 %.

Tabla XXIV. **Mezcla 3**

MEZCLA 3			Relación agua-cemento								
			Mezcla base			Exposición S1-W1			Exposición S2,S3		
			a/c			a/c			a/c		
			0.57			0.5			0.45		
			curado			curado			curado		
			Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable de pozo mecánico a < 500 de la costa	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable de pozo mecánico a < 500 de la costa	Embebido en agua de mar	Al aire libre < de 400 de la costa	Embebido en agua potable de pozo mecánico a < 500 de la costa	Embebido en agua de mar
arena	100 % arena de mar	**cantidad de cilindros**	1	1	1	1	1	1	1	1	1
grava	100 % triturado de 1"	**ID Cilindro**	7	8	9	16	17	18	25	26	27
agua para mezcla	agua potable de pozo mecánico a < 500 metros de la costa										
Fecha de elaboración			30/04/2021	30/04/2021	30/04/2021	24/05/2021	24/05/2021	24/05/2021	NR	NR	NR
Fecha de ruptura			28/05/2021	28/05/2021	28/05/2021	24/06/2021	24/06/2021	24/06/2021	NR	NR	NR
Resultado a la compresión **[lb/plg2]**			**2670**	**2860**	**2660**	**5340**	**5220**	**5380**	NR	NR	NR

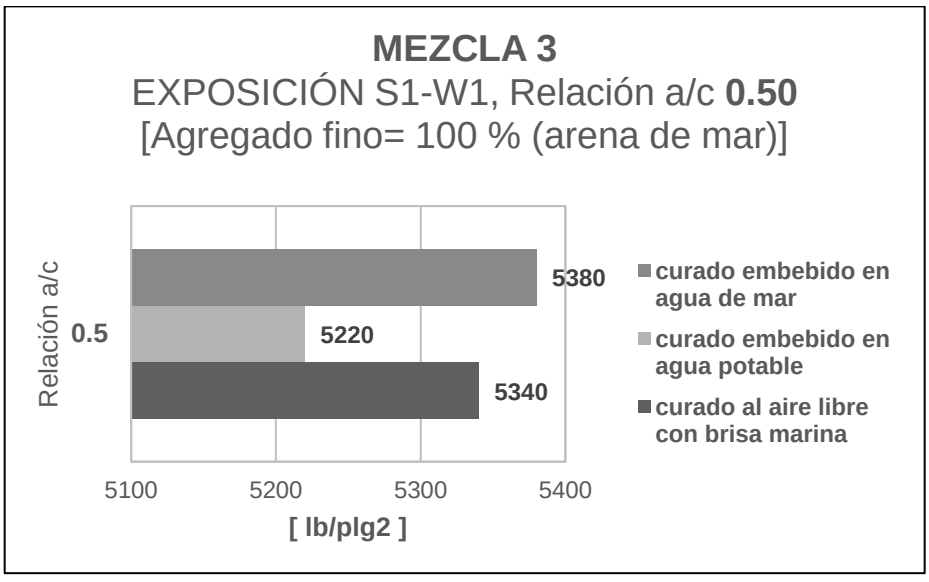
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 29. **Gráfica 5. Mezcla 3, a/c=0.57**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 30. **Gráfica 6. Mezcla 3, a/c=0.50**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

3.2. Resultados obtenidos en el acero por pérdida de masa

Para obtener los resultados de pérdida de masa se determinaron pesos iniciales, luego se retiró todo el material producto de la corrosión con cepillo de alambre.

3.2.1. Acero liso grado 40 (varilla redonda de ½")

No existe utilización directa de las varillas lisas en elementos de concreto reforzado, peso si en elementos como tensores especialmente en estructuras de techo.

Tabla XXV. **Medición 1, pérdida de masa en el acero liso, probetas 1,2,3**

Acero liso grado 40											
		Valores iniciales					Medición 1				
	Medición		Fecha:		# días	Promedio	Fecha:		# días	Promedio	pérdida (g) 1
			12/04/2021		0		3/05/2021		21		
PROBETA	Longitud (mm)	ϕ inicial (mm)	Peso inicial (g)	promedio Peso (g)	%	%	Peso (g)	promedio Peso (g)	%	%	
1.1	150.1	12.7	147.72	147.727	100.0 %	100.0 %	147.69	147.670	99.96 %	99.956 %	0.057
		12.7	147.72				147.67				
		12.7	147.74				147.65				
1.2	150.2	12.7	148.49	148.487	100.0 %		148.39	148.413	99.95 %		0.073
		12.7	148.49				148.42				
		12.7	148.48				148.43				
1.3	149.9	12.7	147.5	147.500	100.0 %		147.43	147.437	99.96 %		0.063
		12.7	147.5				147.43				
		12.7	147.5				147.45				
2.1	150.2	12.7	148.85	148.850	100.0 %		148.62	148.640	99.86 %		0.210
		12.7	148.85				148.64				
		12.7	148.85				148.66				
2.2	151.3	12.7	149.6	149.597	100.0 %		149.42	149.437	99.89 %		0.160
		12.7	149.59				149.41				

Continuación tabla XXV.

		12.7	149.6				149.48					
		12.7	147.85				147.64					
2.3	149.8	12.7	147.86	147.857	100.0 %		147.6	147.637	99.85 %		0.220	
		12.7	147.86				147.67					
		12.7	148.47				148.33					
3.1	149.9	12.7	148.48	148.480	100.0 %		148.33	148.333	99.90 %		0.147	
		12.7	148.49				148.34					
		12.7	148.76				148.68					
3.2	150.1	12.7	148.77	148.767	100.0 %	100.0 %	148.68	148.683	99.94 %	99.915 %	0.083	
		12.7	148.77				148.69					
		12.7	149.46				149.31					
3.3	151	12.7	149.46	149.460	100.0 %		149.31	149.310	99.90 %		0.150	
		12.7	149.46				149.31					

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXVI. **Medición 2 y 3, pérdida de masa en el acero liso, probetas 1,2,3**

Acero liso grado 40												
	Medición 2						**Medición 3**					
	Fecha:		**# días**	**Promedio**	**Pérdida (g) 2**		**Fecha:**		**# días**	**Promedio**	**Pérdida (g) 3**	
	24/05/2021		**42**				**14/06/2021**		**63**			
Probeta	Peso (g)	Promedio peso (g)	**%**	**%**			Peso (g)	Promedio peso (g)	**%**	**%**		
	147.63						146.87					
1.1	147.67	147.660	99.95 %		0.010		146.91	146.897	99.44 %		0.763	
	147.68			99.947 %			146.91			99.479 %		
	148.39						147.70					
1.2	148.39	148.390	99.93 %		0.023		147.73	147.733	99.49 %		0.657	
	148.39						147.77					

Continuación tabla XXVI.

1.3	147.42 147.43 147.44	147.430	99.95 %		0.007	146.80 146.76 146.76	146.773	99.51 %		0.657
2.1	148.51 148.54 148.53	148.527	99.78 %		0.113	147.93 147.93 147.95	147.937	99.39 %		0.590
2.2	149.3 149.32 149.33	149.317	99.81 %	99.783 %	0.120	148.68 148.68 148.68	148.680	99.39 %	99.361 %	0.637
2.3	147.49 147.49 147.49	147.490	99.75 %		0.147	146.84 146.84 146.83	146.837	99.31 %		0.653
3.1	148.12 148.12 148.12	148.120	99.76 %		0.213	147.45 147.46 147.47	147.460	99.31 %		0.660
3.2	148.49 148.51 148.49	148.497	99.82 %	99.749 %	0.187	147.93 147.93 147.92	147.927	99.44 %	99.312 %	0.570
3.3	148.95 148.99 148.96	148.967	99.67 %		0.343	148.24 148.25 148.25	148.247	99.19 %		0.720

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXVII. **Medición 4 y 5 (final), pérdida de masa en el acero liso, probetas 1,2,3**

Acero liso grado 40													
Medición 4							Medición 5 (final)						
	Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 4		Medición	Fecha:		# días	Promedio		Pérdida (g) 5
	5/07/2021		84					26/07/2021		105			
Probeta	Peso (g)	Promedio peso (g)	%	%		Longitud final (mm)	ϕ final (mm)	Peso final (g)	Promedio peso (g)	%	%		
1.1	146.52	146.543	99.20 %	99.222 %	0.353	149.9	12.4	146.27	146.283	99.02 %	99.002 %		0.260
	146.56						12.4	146.29					
	146.55						12.4	146.29					
1.2	147.31	147.327	99.22 %		0.407	150.1	12.4	146.98	146.980	98.99 %			0.347
	147.32						12.4	146.98					
	147.35						12.4	146.98					
1.3	146.4	146.390	99.25 %		0.383	149.5	12.5	146.01	146.023	99.00 %			0.367
	146.38						12.5	146.02					
	146.39						12.4	146.04					
2.1	147.46	147.463	99.07 %		0.473	150.1	12.5	147.1	147.100	98.82 %			0.363
	147.46						12.5	147.1					
	147.47						12.5	147.1					
2.2	148.23	148.247	99.10 %	99.065 %	0.433	151.2	12.5	147.95	147.960	98.91 %	98.856 %		0.287
	148.25						12.5	147.97					
	148.26						12.5	147.96					
2.3	146.4	146.420	99.03 %		0.417	149.6	12.5	146.14	146.137	98.84 %			0.283
	146.42						12.5	146.13					
	146.44						12.5	146.14					
3.1	146.95	146.940	98.96 %		0.520	149.4	12.5	146.47	146.460	98.64 %			0.480
	146.94						12.5	146.45					
	146.93						12.5	146.46					
3.2	147.44	147.443	99.11 %	99.003 %	0.483	149.7	12.5	146.93	146.923	98.76 %	98.665 %		0.520
	147.44						12.5	146.92					
	147.45						12.5	146.92					
3.3	147.88	147.870	98.94 %		0.377	150.4	12.5	147.36	147.360	98.59 %			0.510
	147.86						12.5	147.36					
	147.87						12.5	147.36					

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXVIII. **Medición 1, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6**

Acero liso grado 40											
			Valores iniciales				Medición 1				
	Medición		Fecha:		# días	Promedio	Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 1
			12/04/2021		0		3/05/2021		21		
Probeta	Longitud (mm)	ϕ inicial (mm)	Peso inicial (g)	Promedio peso (g)	%	%	Peso (g)	Promedio peso (g)	%	%	
4.1	150.6	12.7	148.45	148.450	100.0 %		146.14	146.153	98.45 %		2.297
		12.7	148.45				146.16				
		12.7	148.45				146.16				
4.2	150.9	12.7	148.5	148.503	100.0 %	100.0 %	143.57	143.580	96.68 %	98.091 %	4.923
		12.7	148.5				143.58				
		12.7	148.51				143.59				
4.3	148.9	12.7	147.11	147.117	100.0 %		145.84	145.847	99.14 %		1.270
		12.7	147.12				145.85				
		12.7	147.12				145.85				
5.1	151.3	12.7	149.8	149.467	100.0 %		144.76	144.800	96.88 %		4.667
		12.7	148.81				144.82				
		12.7	149.79				144.82				
5.2	150.3	12.7	148.95	148.940	100.0 %	100.0 %	145.86	145.900	97.96 %	97.855 %	3.040
		12.7	148.94				145.92				
		12.7	148.93				145.92				
5.3	150.2	12.7	148.24	148.240	100.0 %		146.32	146.357	98.73 %		1.883
		12.7	148.24				146.38				
		12.7	148.24				146.37				
6.1	148.7	12.7	147.42	147.427	100.0 %		147.08	147.077	99.76 %		0.350
		12.7	147.43				147.09				
		12.7	147.43				147.06				
6.2	150	12.7	148.52	148.523	100.0 %	100.0 %	148.07	148.073	99.70 %	99.733 %	0.450
		12.7	148.53				148.07				
		12.7	148.52				148.08				
6.3	150.3	12.7	148.47	148.470	100.0 %		148.09	148.083	99.74 %		0.387
		12.7	148.47				148.08				
		12.7	148.47				148.08				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXIX. **Medición 2 y 3, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6**

Acero liso grado 40										
	Medición 2					Medición 3				
	Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 2	Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 3
	24/05/2021		42			14/06/2021		63		
Probeta	Peso (g)	Promedio peso (g)	%	%		Peso (g)	Promedio peso (g)	%	%	
4.1	145.39 145.38 145.4	145.390	97.94 %		0.763	144.38 144.37 144.39	144.380	97.26 %		1.010
4.2	143.05 143.04 143.04	143.043	96.32 %	97.614 %	0.537	142.03 142.03 142.04	142.033	95.64 %	96.910 %	1.010
4.3	145.03 145.03 145.02	145.027	98.58 %		0.820	143.92 143.92 143.92	143.920	97.83 %		1.107
5.1	140.79 140.79 140.79	140.790	94.19 %		4.010	139.3 139.33 139.33	139.320	93.21 %		1.470
5.2	143.91 143.92 143.92	143.917	96.63 %	96.121 %	1.983	142.16 142.19 142.19	142.180	95.46 %	95.092 %	1.737
5.3	144.61 144.59 144.58	144.593	97.54 %		1.763	143.2 143.21 143.21	143.207	96.60 %		1.387
6.1	146.52 146.52 146.5	146.513	99.38 %		0.563	145.65 145.66 145.65	145.653	98.80 %		0.860
6.2	147.57 147.55 147.53	147.550	99.34 %	99.387 %	0.523	146.47 146.46 146.47	146.467	98.62 %	98.750 %	1.083
6.3	147.64 147.63 147.63	147.633	99.44 %		0.450	146.76 146.73 146.74	146.743	98.84 %		0.890

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XXX. **Medición 4 y 5, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6**

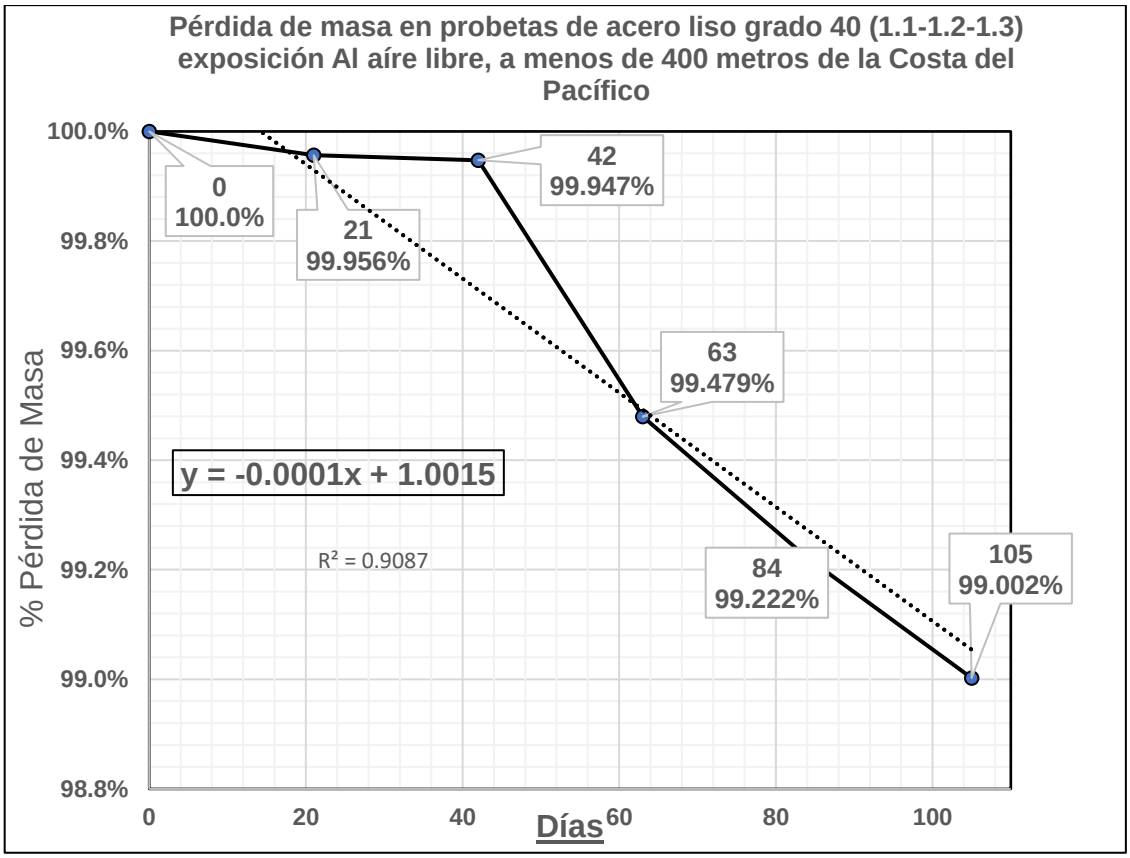
Acero liso grado 40												
Medición 4						Medición 5 (final)						
	Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 4	MEDICIÓN		Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 5
	5/07/2021		84					26/07/2021		105		
Probeta	Peso (g)	Promedio peso (g)	%	%		Longitud final (mm)	ϕ final (mm)	Peso final (g)	Promedio peso (g)	%	%	
4.1	143.73	143.737	96.82 %	96.455 %	0.643	150.5	12.4	143.07	143.080	96.38 %	96.064 %	0.657
	143.74						12.5	143.09				
	143.74						12.4	143.08				
4.2	141.39	141.390	95.21 %		0.643	148.8	12.3	140.86	140.853	94.85 %		0.537
	141.38						12.4	140.85				
	141.4						12.4	140.85				
4.3	143.18	143.190	97.33 %		0.730	150.8	12.5	142.64	142.643	96.96 %		0.547
	143.19						12.5	142.65				
	143.2						12.5	142.64				
5.1	138.95	138.950	92.96 %		0.370	149.8	12.3	137.71	137.717	92.14 %		1.233
	138.95						12.4	137.71				
	138.95						12.4	137.73				
5.2	141.77	141.747	95.17 %	94.836 %	0.433	149.2	12.4	140.29	140.283	94.19 %	93.985 %	1.463
	141.76						12.5	140.28				
	141.71						12.4	140.28				
5.3	142.89	142.867	96.38 %		0.340	149.0	12.4	141.75	141.760	95.63 %		1.107
	142.85						12.4	141.76				
	142.86						12.4	141.77				
6.1	145	144.993	98.35 %		0.660	148.5	12.5	144.03	144.020	97.69 %		0.973
	145						12.5	144.02				
	144.98						12.5	144.01				
6.2	145.8	145.773	98.15 %	98.298 %	0.693	150.0	12.5	144.78	144.787	97.48 %	97.672 %	0.987
	145.78						12.5	144.79				
	145.74						12.5	144.79				
6.3	146.08	146.087	98.39 %		0.657	150.1	12.5	145.25	145.267	97.84 %		0.820
	146.08						12.5	145.27				
	146.1						12.5	145.28				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

3.2.1.1. Gráficas de pérdida de masa en probetas de acero liso de ½ pulg. Grado 40, según condición de exposición en zona costera del pacífico guatemalteco

Las varillas de acero liso proporcionan una medición más confiable por reducción de diámetro por el tipo de superficie y facilidad de limpieza.

Figura 31. **Gráfica 7. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 1**

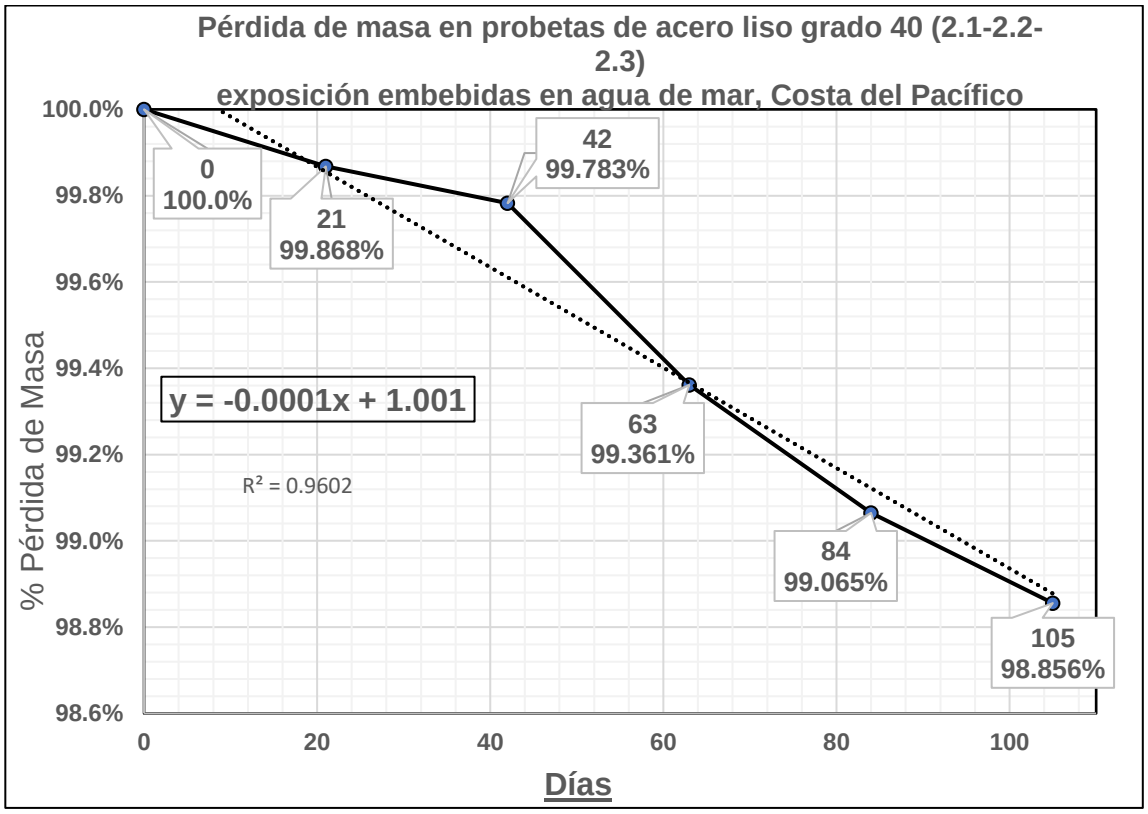


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección

    - y= 94 %, porcentaje de pérdida más aceptable por Norma
    - x= número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
    - x= 615 días mínimos de aceptación
    - R= 0.9532 coeficiente de correlación

Figura 32. **Gráfica 8. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 2**

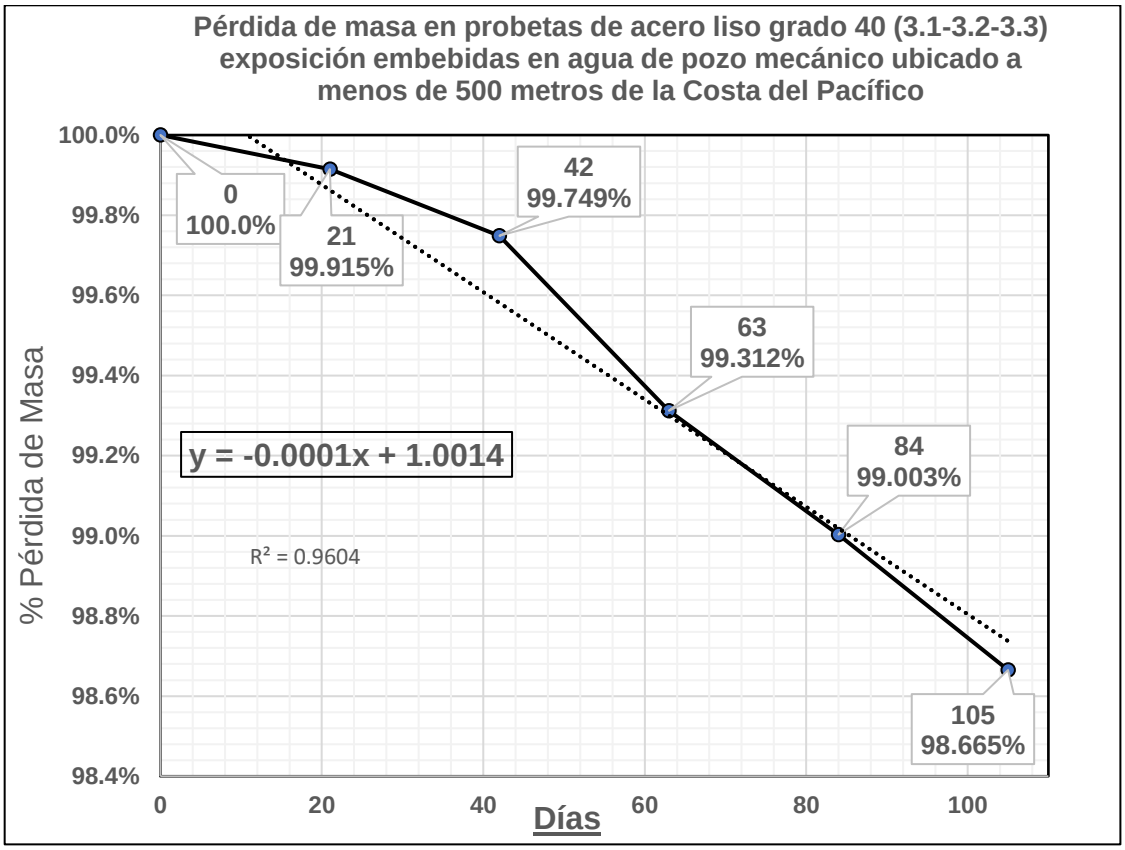


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección

    - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma
    - x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
    - x = 610 días mínimos de aceptación
    - R= 0.9799 coeficiente de correlación

Figura 33. **Gráfica 9. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 3**

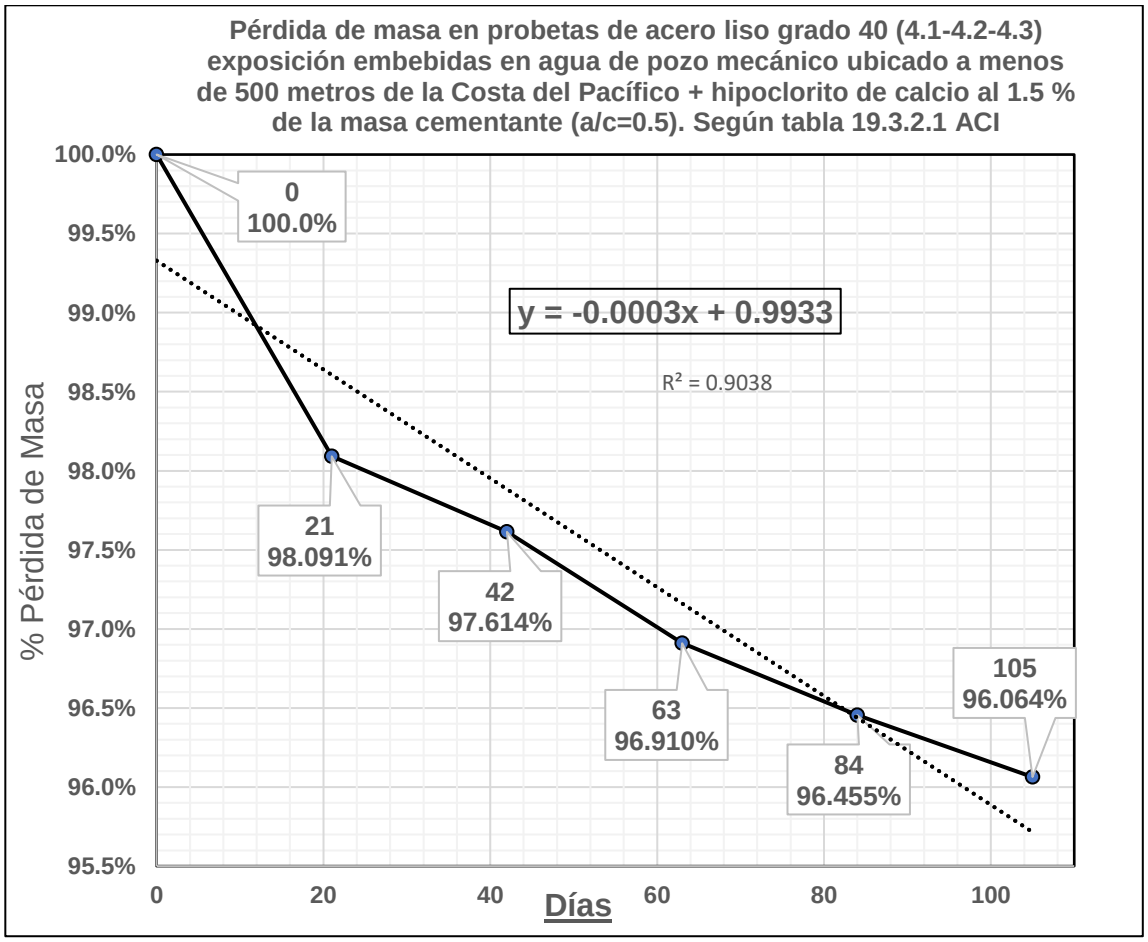


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección

    - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma
    - x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
    - x = 614 días mínimos de aceptación
    - R= 0.9800 coeficiente de correlación

Figura 34. **Gráfica 10. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 4**

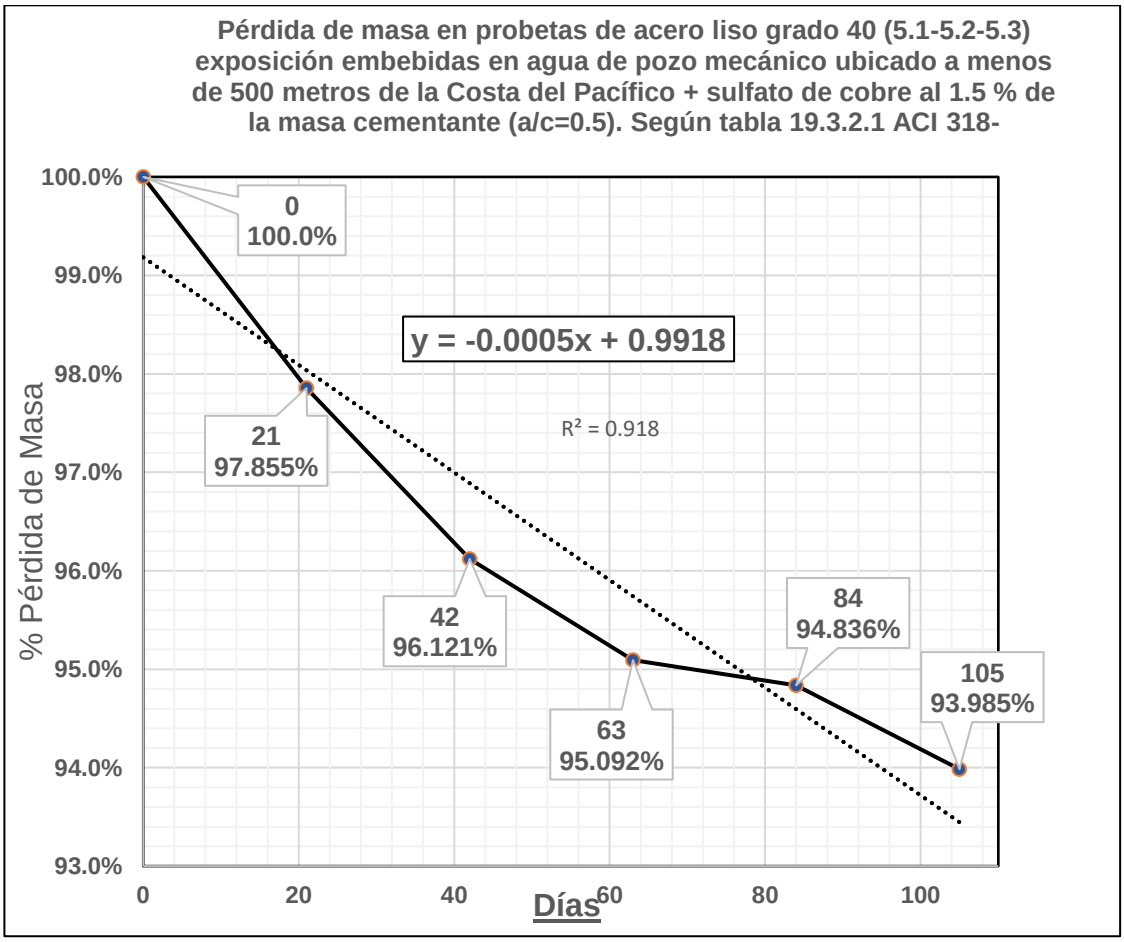


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección

    - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma
    - x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
    - x = 178 días mínimos de aceptación
    - R= 0.9507 coeficiente de correlación

Figura 35. **Gráfica 11. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 5**

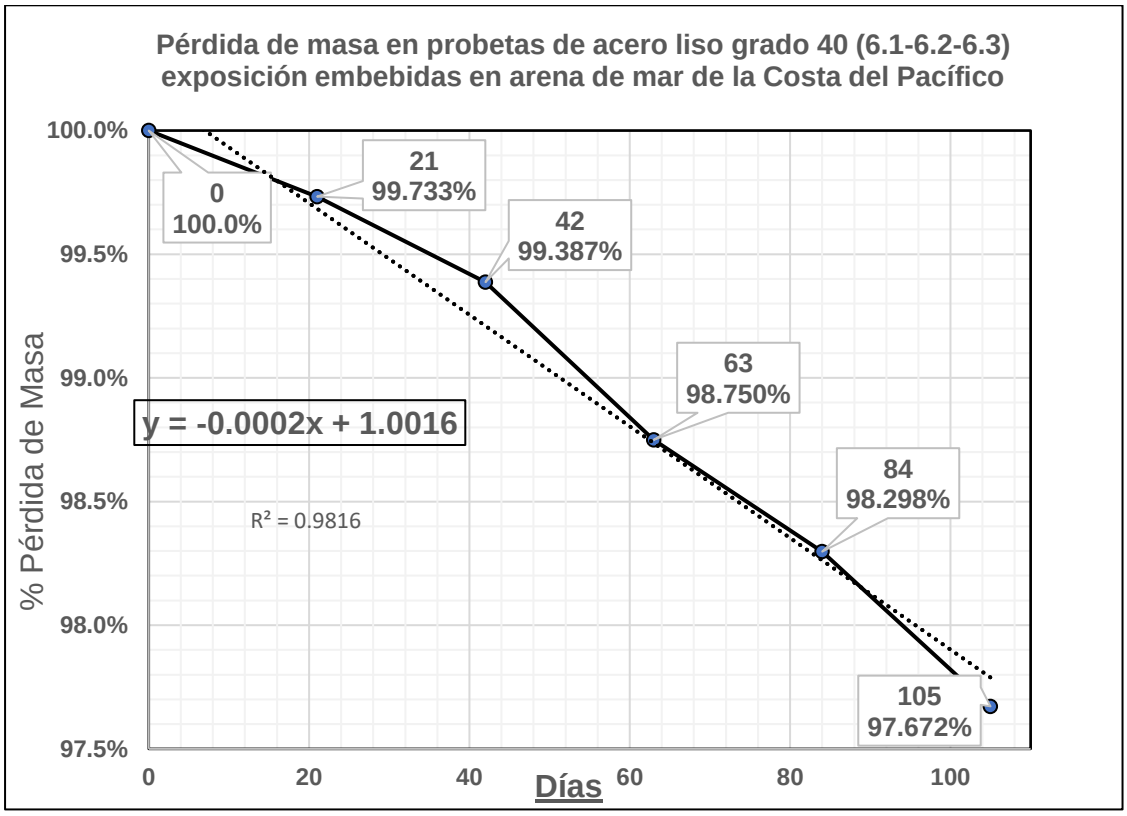


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección

    - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma
    - x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
    - x = 104 días mínimos de aceptación
    - R= 0.9581 coeficiente de correlación

Figura 36. **Gráfica 12. Pérdida de masa en el tiempo, acero liso, probetas 6**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección

  - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma
  - x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
  - x = 308 días mínimos de aceptación
  - R= 0.9908 coeficiente de correlación

3.2.2. Acero corrugado grado 40 (varilla ½")

La varilla de acero corrugado, por norma es el tipo de varilla que se utiliza para el armado de todo tipo de elementos estructurales.

Tabla XXXI. **Medición 1, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 1,2,3**

Acero corrugado grado 40											
			Valores iniciales				Medición 1				
Medición			fecha:		# días	Promedio	Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 1
			12/04/2021		0		3/05/2021		21		
Probeta	Longitud (mm)	ϕ inicial (mm)	Peso inicial (g)	Promedio peso (g)	%	%	Peso (g)	promedio peso (g)	%	%	
1.1	149.8	11.4	141.39	141.390	100.0 %		141.26	141.287	99.93 %		0.103
		11.4	141.39				141.28				
		11.4	141.39				141.32				
1.2	150.7	11.4	142.08	142.080	100.0 %	100.0 %	141.94	141.843	99.83 %	99.901 %	0.237
		11.4	142.08				141.61				
		11.4	142.08				141.98				
1.3	150.3	11.4	141.45	141.453	100.0 %		141.34	141.373	99.94 %		0.080
		11.4	141.46				141.4				
		11.4	141.45				141.38				
2.1	149.9	11.4	141.93	141.927	100.0 %	100.0 %	141.7	141.690	99.83 %	99.843 %	0.237
		11.4	141.92				141.67				
		11.4	141.93				141.7				

Continuación tabla XXXI.

		11.4	140.73				140.55				
2.2	149.2	11.4	140.73	140.730	100.0 %		140.54	140.557	99.88 %		0.173
		11.4	140.73				140.58				
		11.4	140.33				140.05				
2.3	149	11.4	140.33	140.330	100.0 %		140.08	140.077	99.82 %		0.253
		11.4	140.33				140.1				
		11.4	141.76				141.6				
3.1	150.1	11.4	141.77	141.763	100.0 %		141.61	141.610	99.89 %		0.153
		11.4	141.76				141.62				
		11.4	140.79				140.69				
3.2	149.1	11.4	140.79	140.787	100.0 %	100.0 %	140.69	140.690	99.93 %	99.895 %	0.097
		11.4	140.78				140.69				
		11.4	140.17				139.98				
3.3	148.4	11.4	140.18	140.180	100.0 %		139.98	139.987	99.86 %		0.193
		11.4	140.19				140				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXII. **Medición 2 y 3, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 1,2,3**

Acero corrugado grado 40											
	Medición 2						**Medición 3**				
	Fecha:		**# días**	**Promedio**	**Pérdida (g) 2**		**Fecha:**		**# días**	**Promedio**	**Pérdida (g) 3**
	24/05/2021		**42**				**14/06/2021**		**63**		
Probeta	Peso (g)	Promedio peso (g)	**%**	**%**		Peso (g)	Promedio peso (g)	**%**	**%**	
	141.17					140.41				
1.1	141.18	141.183	99.85 %	99.842 %	0.103	140.44	140.430	99.32 %	99.308 %	0.753
	141.2					140.44				

Continuación tabla XXXII.

1.2	141.81 141.82 141.82	141.817	99.81 %		0.027	141.04 141.03 141.06	141.043	99.27 %		0.773
1.3	141.23 141.26 141.26	141.250	99.86 %		0.123	140.5 140.51 140.52	140.510	99.33 %		0.740
2.1	141.51 141.52 141.52	141.517	99.71 %		0.173	140.96 140.96 140.96	140.960	99.32 %		0.557
2.2	140.4 140.41 140.39	140.400	99.77 %	99.725 %	0.157	139.85 139.85 139.85	139.850	99.37 %	99.340 %	0.550
2.3	139.91 139.91 139.9	139.907	99.70 %		0.170	139.38 139.39 139.39	139.387	99.33 %		0.520
3.1	141.36 141.37 141.35	141.360	99.72 %		0.250	140.85 140.85 140.85	140.850	99.36 %		0.510
3.2	140.46 140.48 140.48	140.473	99.78 %	99.722 %	0.217	139.96 139.96 139.96	139.960	99.41 %	99.349 %	0.513
3.3	139.72 139.73 139.71	139.720	99.67 %		0.267	139.18 139.16 139.17	139.170	99.28 %		0.550

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXIII. **Medición 4 y 5 (final), pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 1,2,3**

Acero corrugado grado 40												
	Medición 4					Medición 5 (final)						
	Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 4	Medición		Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 5
	5/07/2021		84					26/07/2021		105		
Probeta	Peso (g)	Promedio peso (g)	%	%		Longitud final (mm)	ϕ final (mm)	Peso final (g)	Promedio peso (g)	%	%	
1.1	140	140.013	99.03 %	98.997 %	0.417	149.5	11.3	139.52	139.537	98.69 %	98.655 %	0.477
	140.02						11.4	139.54				
	140.02						11.4	139.55				
1.2	140.58	140.593	98.95 %		0.450	150.6	11.3	140.06	140.083	98.59 %		0.510
	140.6						11.3	140.09				
	140.6						11.3	140.1				
1.3	140.03	140.053	99.01 %		0.457	150.2	11.3	139.58	139.587	98.68 %		0.467
	140.06						11.4	139.59				
	140.07						11.4	139.59				
2.1	140.51	140.510	99.00 %		0.450	149.8	11.3	140.12	140.130	98.73 %		0.380
	140.51						11.3	140.14				
	140.51						11.3	140.13				
2.2	139.43	139.423	99.07 %		0.427	149.0	11.3	139.12	139.133	98.87 %		0.290
	139.4						11.3	139.14				
	139.44						11.3	139.14				
2.3	139	139.000	99.05 %		0.387	149.0	11.4	138.64	138.657	98.81 %		0.343
	139						11.3	138.67				
	139						11.3	138.66				
3.1	140.44	140.443	99.07 %		0.407	149.7	11.3	140.1	140.100	98.83 %		0.343
	140.43						11.3	140.09				
	140.46						11.3	140.11				
3.2	139.56	139.570	99.14 %		0.390	148.6	11.3	139.04	139.047	98.76 %		0.523
	139.57						11.4	139.05				
	139.58						11.4	139.05				
3.3	138.71	138.713	98.95 %		0.457	148.3	11.3	138.36	138.353	98.70 %		0.360
	138.7						11.2	138.35				
	138.73						11.3	138.35				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXIV. **Medición 1, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6**

Acero corrugado grado 40											
		Valores iniciales					Medición 1				
	Medición		Fecha:		# días	Promedio	Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 1
			12/04/2021		0		3/05/2021		21		
Probeta	Longitud (mm)	ϕ inicial (mm)	Peso inicial (g)	Promedio peso (g)	%	%	Peso (g)	Promedio peso (g)	%	%	
4.1	149.6	11.4	141.72	141.723	100.0 %	100.0 %	138.02	138.043	97.40 %	97.715 %	3.680
		11.4	141.72				138.07				
		11.4	141.73				138.04				
4.2	149.7	11.4	140.75	140.750	100.0 %		138.11	138.110	98.12 %		2.640
		11.4	140.75				138.11				
		11.4	140.75				138.11				
4.3	150.7	11.4	141.82	141.817	100.0 %		138.42	138.437	97.62 %		3.380
		11.4	141.82				138.45				
		11.4	141.81				138.44				
5.1	149.3	11.4	140.61	140.610	100.0 %		134.82	134.813	95.88 %		5.797
		11.4	140.61				134.78				
		11.4	140.61				134.84				
5.2	148.9	11.4	140.95	140.950	100.0 %		136.57	136.570	96.89 %		4.380
		11.4	140.95				136.55				
		11.4	140.95				136.59				
5.3	150	11.4	141.62	141.627	100.0 %		135.52	135.530	95.70 %		6.097
		11.4	141.63				135.54				
		11.4	141.63				135.53				
6.1	148.3	11.4	140.28	140.277	100.0 %		139.98	139.987	99.79 %		0.290
		11.4	140.28				139.99				
		11.4	140.27				139.99				
6.2	147.8	11.4	139.02	139.027	100.0 %	100.0 %	138.63	138.623	99.71 %	99.697 %	0.403
		11.4	139.03				138.62				
		11.4	139.03				138.62				
6.3	148.4	11.4	139.28	139.277	100.0 %		138.7	138.703	99.59 %		0.573
		11.4	139.28				138.7				
		11.4	139.27				138.71				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXV. **Medición 2 y 3, pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6**

Acero corrugado grado 40										
	Medición 2					Medición 3				
	Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 2	Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 3
	24/05/2021		42			14/06/2021		63		
Probeta	Peso (g)	Promedio peso (g)	%	%		Peso (g)	Promedio peso (g)	%	%	
4.1	137.02	137.020	96.68 %		1.023	136.22	136.223	96.12 %		0.797
	137.02					136.23				
	137.02					136.22				
4.2	137.32	137.323	97.57 %	97.084 %	0.787	136.66	136.657	97.09 %	96.555 %	0.667
	137.35					136.66				
	137.3					136.65				
4.3	137.56	137.570	97.01 %		0.867	136.79	136.790	96.46 %		0.780
	137.58					136.79				
	137.57					136.79				
5.1	130.72	130.727	92.97 %		4.087	128.92	128.927	91.69 %		1.800
	130.73					128.93				
	130.73					128.93				
5.2	133.59	133.590	94.78 %	93.293 %	2.980	132.03	132.010	93.66 %	92.105 %	1.580
	133.59					132				
	133.59					132				
5.3	130.47	130.480	92.13 %		5.050	128.84	128.833	90.97 %		1.647
	130.49					128.82				
	130.48					128.84				
6.1	139.47	139.463	99.42 %		0.523	138.53	138.533	98.76 %		0.930
	139.47					138.53				
	139.45					138.54				
6.2	137.85	137.847	99.15 %	99.196 %	0.777	136.96	136.967	98.52 %	98.539 %	0.880
	137.85					136.97				
	137.84					136.97				
6.3	137.92	137.907	99.02 %		0.797	136.97	136.967	98.34 %		0.940
	137.91					136.97				
	137.89					136.96				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXVI. **Medición 4 y 5 (final), pérdida de masa en el acero corrugado, probetas 4,5,6**

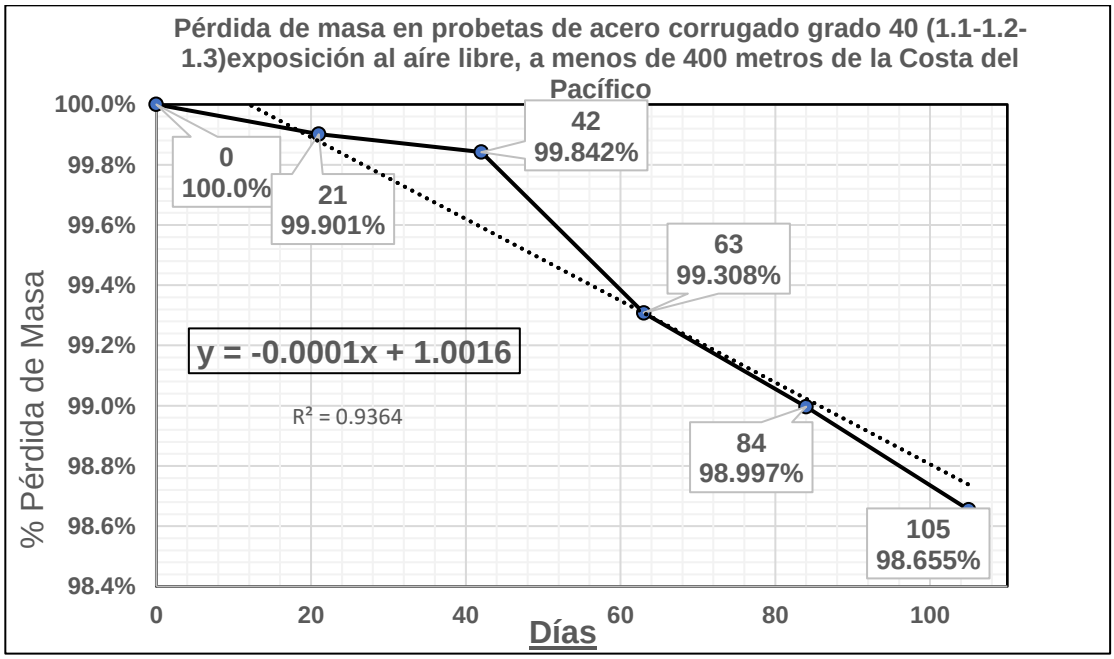
Acero corrugado grado 40												
	Medición 4					Medición 5 (final)						
	FECHA:		# días	Promedio	Pérdida (g) 4	Medición		Fecha:		# días	Promedio	Pérdida (g) 5
	5/07/2021		84					26/07/2021		105		
Probeta	Peso (g)	Promedio peso (g)	%	%		Longitud final (mm)	ϕ final (mm)	Peso final (g)	Promedio peso (g)	%	%	
4.1	135.6	135.603	95.68 %	96.098 %	0.620	149.5	11.1	134.94	134.953	95.22 %	95.673 %	0.650
	135.61						11.1	134.97				
	135.6						11.2	134.95				
4.2	136.02	136.017	96.64 %		0.640	149.4	11.3	135.42	135.440	96.23 %		0.577
	136.02						11.3	135.44				
	136.01						11.3	135.46				
4.3	136.1	136.110	95.98 %		0.680	150.2	11.2	135.53	135.533	95.57 %		0.577
	136.11						11.3	135.53				
	136.12						11.2	135.54				
5.1	127.97	127.970	91.01 %	91.425 %	0.957	148.0	10.9	126.48	126.503	89.97 %	90.508 %	1.467
	127.96						11.0	126.51				
	127.98						11.0	126.52				
5.2	130.43	130.450	92.55 %		1.560	147.9	11.1	129.32	129.327	91.75 %		1.123
	130.46						11.2	129.33				
	130.46						11.2	129.33				
5.3	128.46	128.473	90.71 %		0.360	148.7	11.1	127.18	127.183	89.80 %		1.290
	128.47						11.1	127.18				
	128.49						11.2	127.19				
6.1	137.96	137.967	98.35 %	98.076 %	0.567	148.3	11.3	137.2	137.213	97.82 %	97.535 %	0.753
	137.98						11.3	137.23				
	137.96						11.3	137.21				
6.2	136.3	136.297	98.04 %		0.670	147.7	11.4	135.62	135.620	97.55 %		0.677
	136.29						11.4	135.62				
	136.3						11.4	135.62				
6.3	136.25	136.267	97.84 %		0.700	148.0	11.4	135.44	135.433	97.24 %		0.833
	136.27						11.4	135.42				
	136.28						11.4	135.44				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.2.2.1. Gráficas de pérdida de masa en probetas de acero de ½ pulg. Grado 40, según condición de exposición en zona costera del pacífico guatemalteco

Representan la pérdida de masa en el tiempo, a través de la proyección de la curva de tendencia y su función algebraica.

Figura 37. **Gráfica 13. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 1**

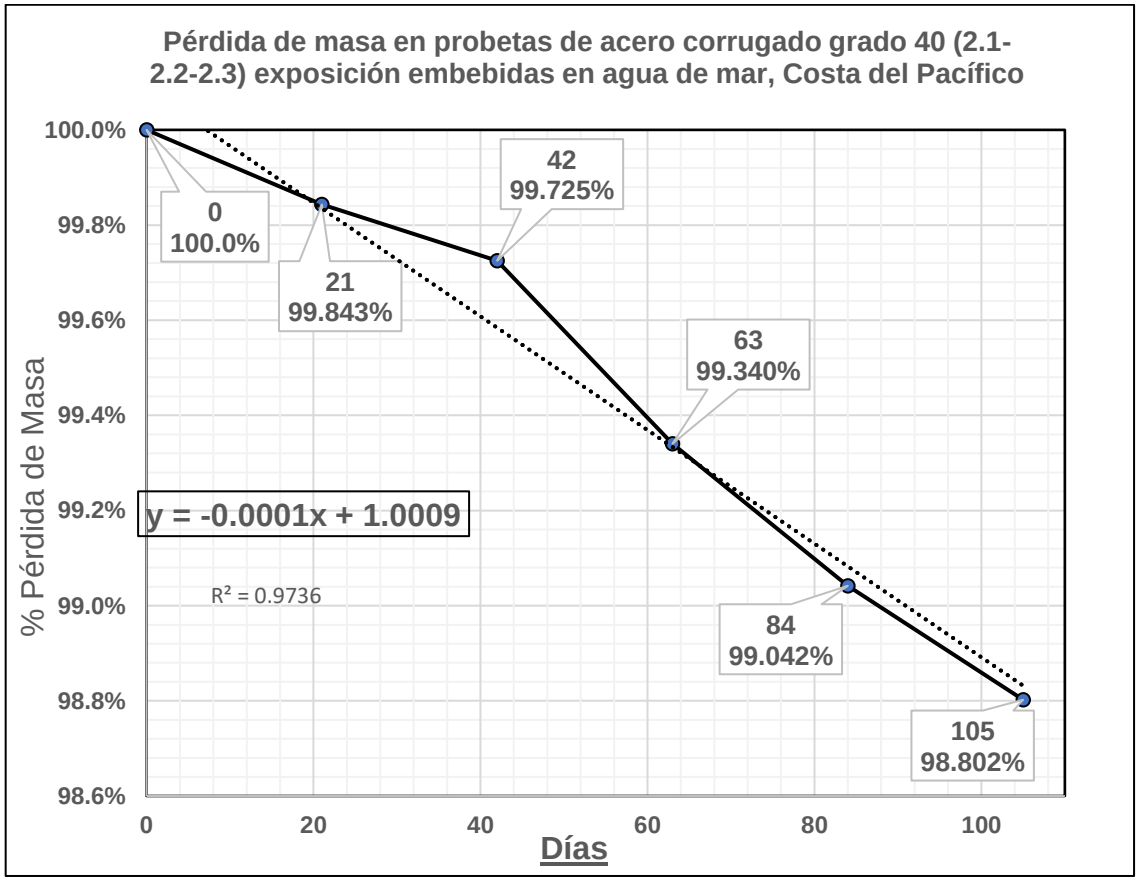


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección
    - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma

- x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
- x = 616 días mínimos de aceptación
- R= 0.9677 coeficiente de correlación

Figura 38. **Gráfica 14. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 2**

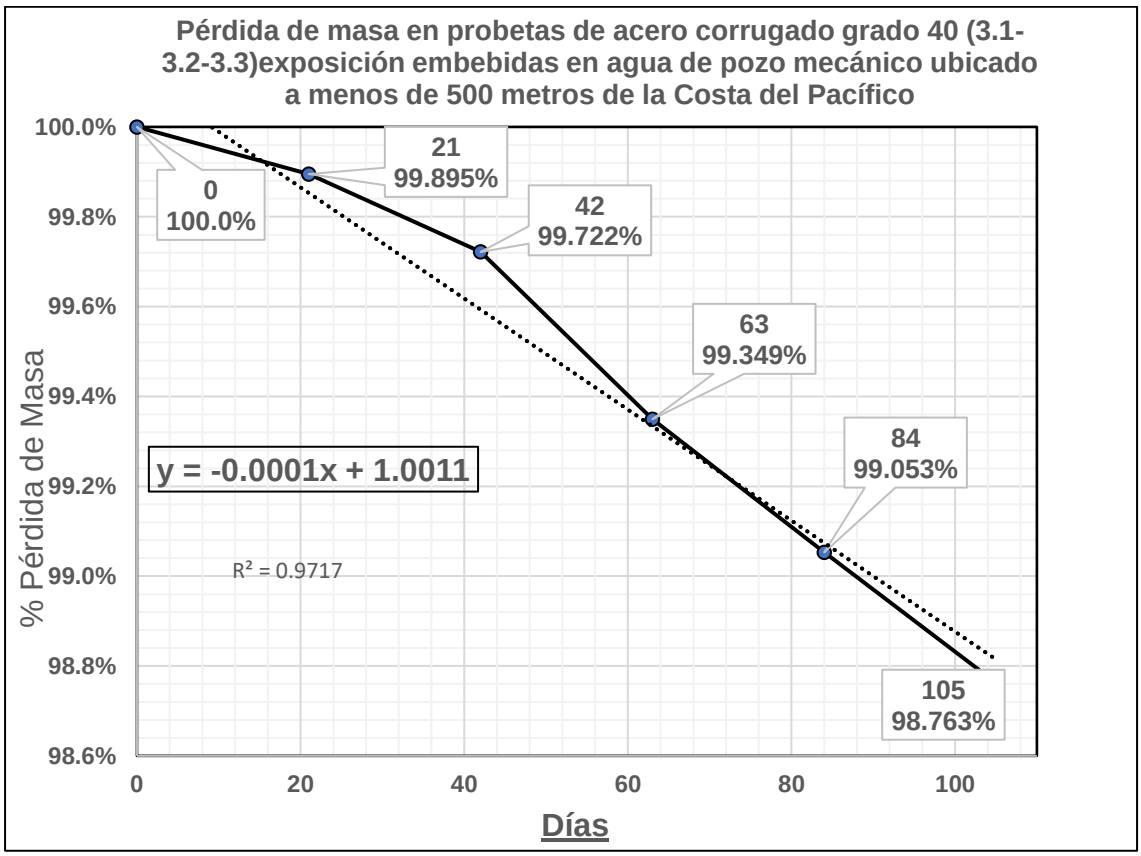


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección
  - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma

- x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
- x = 609 días mínimos de aceptación
- R= 0.9867 coeficiente de correlación

Figura 39. **Gráfica 15. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 3**

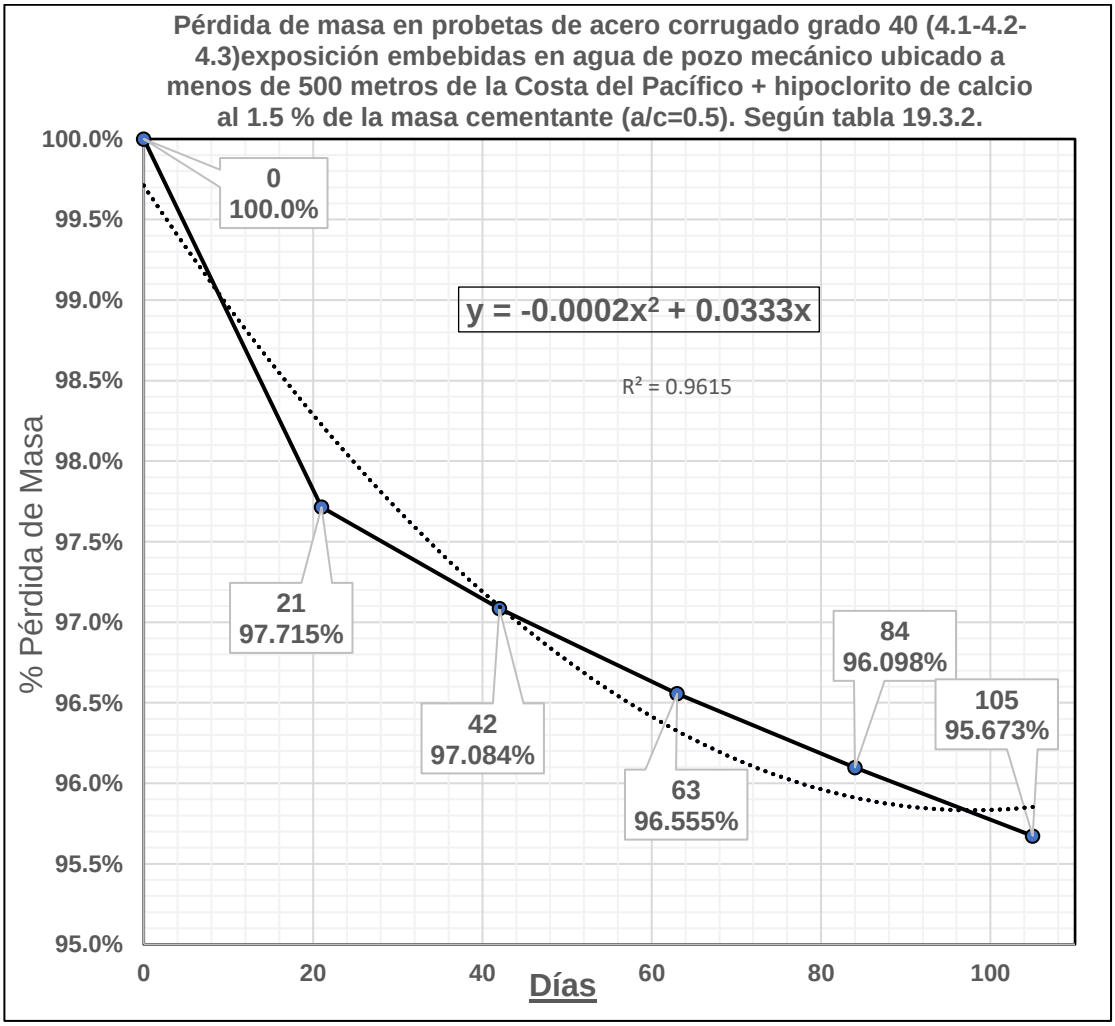


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección
  - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma

- x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
- x = 611 días mínimos de aceptación
- R= 0.9857 coeficiente de correlación

Figura 40. **Gráfica 16. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 4**

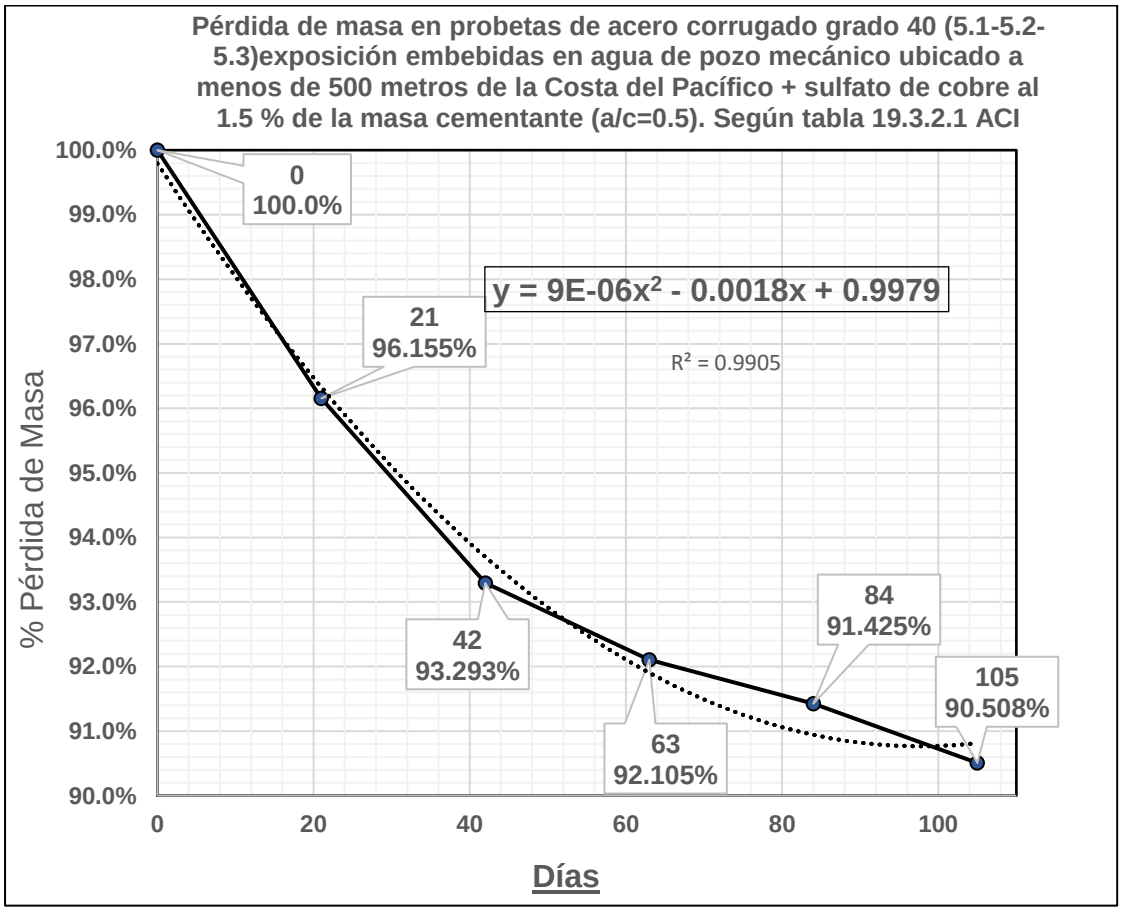


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección

    - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma
    - x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
    - x = 131 días mínimos de aceptación
    - R= 0.9806 coeficiente de correlación

Figura 41. **Gráfica 17. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 5**

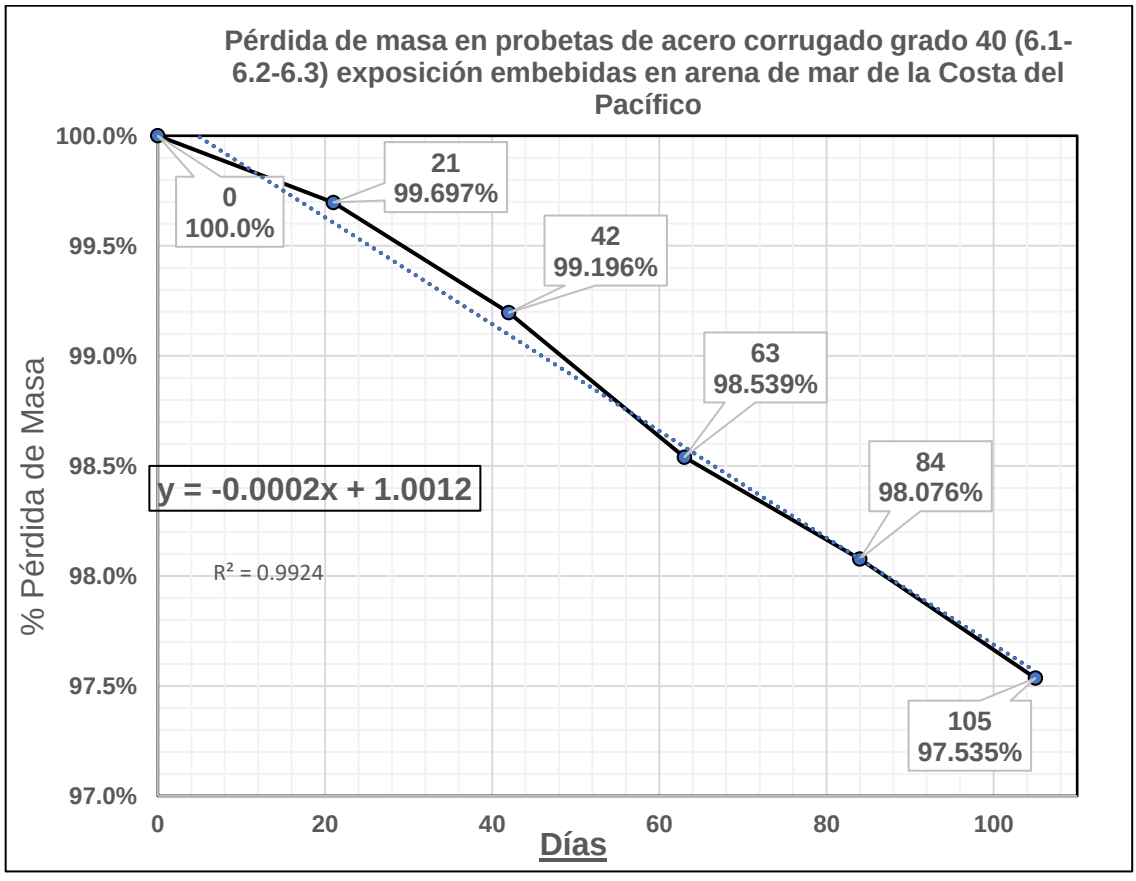


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección

  - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma
  - x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
  - x1 = 160 días mínimos de aceptación
  - x2 = 41 días mínimos de aceptación
  - R= 0.9952 coeficiente de correlación

Figura 42. **Gráfica 18. Pérdida de masa en el tiempo, acero corrugado, probetas 6**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Según proyección

    - y = 94 % porcentaje de pérdida más aceptable por Norma
    - x = número de días sin que supere el 94 % de pérdida de masa aceptable según ASTM
    - x = 306 días mínimos de aceptación
    - R= 0.9962 coeficiente de correlación

3.3. Resultados obtenidos en el acero por pérdida de diámetro

A través de la generación de tablas de datos donde se hace un vaciado de la información tomada en campo, podemos obtener representaciones visuales del comportamiento de cada una de las probetas.

3.3.1. Valores iniciales acero liso grado 40

Representan valores certificados por norma que el fabricante debe cumplir, a través de los cuales se efectúan los diseños de los elementos estructurales.

Tabla XXXVII. **Valores iniciales, acero liso, probetas 1,2,3**

Acero liso grado 40							
Valores iniciales							
	Medición		Promedio	Fecha:		# días	Promedio
				12/04/2021		0	
Probeta	Longitud (mm)	ϕ inicial (mm)	ϕ inicial (mm)	Peso inicial (g)	promedio peso (g)	**%**	**%**
1.1	150.1	12.7	12.70	147.72	147.727	100.0 %	100.0 %
		12.7		147.72			
		12.7		147.74			
1.2	150.2	12.7	12.70	148.49	148.487	100.0 %	
		12.7		148.49			
		12.7		148.48			
1.3	149.9	12.7	12.70	147.5	147.500	100.0 %	
		12.7		147.5			
		12.7		147.5			
2.1	150.2	12.7	12.70	148.85	148.850	100.0 %	
		12.7		148.85			
		12.7		148.85			
2.2	151.3	12.7	12.70	149.6	149.597	100.0 %	
		12.7		149.59			
		12.7		149.6			
2.3	149.8	12.7	12.70	147.85	147.857	100.0 %	
		12.7		147.86			
		12.7		147.86			
3.1	149.9	12.7	12.70	148.47	148.480	100.0 %	
		12.7		148.48			
		12.7		148.49			
3.2	150.1	12.7	12.70	148.76	148.767	100.0 %	100.0 %
		12.7		148.77			
		12.7		148.77			
3.3	151	12.7	12.70	149.46	149.460	100.0 %	
		12.7		149.46			
		12.7		149.46			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXVIII. **Valores iniciales, acero liso, probetas 4,5,6**

Acero liso grado 40							
Valores iniciales							
	Medición		Promedio	Fecha:		# días	Promedio
				12/04/2021		0	
Probeta	Longitud (mm)	ϕ inicial (mm)	ϕ inicial (mm)	Peso inicial (g)	promedio Peso (g)	**%**	**%**
4.1	150.6	12.7	12.70	148.45	148.450	100.0 %	100.0 %
		12.7		148.45			
		12.7		148.45			
4.2	150.9	12.7	12.70	148.5	148.503	100.0 %	
		12.7		148.5			
		12.7		148.51			
4.3	148.9	12.7	12.70	147.11	147.117	100.0 %	
		12.7		147.12			
		12.7		147.12			
5.1	151.3	12.7	12.70	149.8	149.467	100.0 %	100.0 %
		12.7		148.81			
		12.7		149.79			
5.2	150.3	12.7	12.70	148.95	148.940	100.0 %	
		12.7		148.94			
		12.7		148.93			
5.3	150.2	12.7	12.70	148.24	148.240	100.0 %	
		12.7		148.24			
		12.7		148.24			
6.1	148.7	12.7	12.70	147.42	147.427	100.0 %	100.0 %
		12.7		147.43			
		12.7		147.43			
6.2	150	12.7	12.70	148.52	148.523	100.0 %	
		12.7		148.53			
		12.7		148.52			
6.3	150.3	12.7	12.70	148.47	148.470	100.0 %	
		12.7		148.47			
		12.7		148.47			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.2. Valores finales acero liso grado 40

Representan el punto final de la curva trazada en gráfica, por el lapso de tiempo de 105 días.

Tabla XXXIX. **Valores finales, acero liso, probetas 1,2,3**

Acero liso grado 40											
Medición 5 (final)											
	Medición		**Promedio**	ϕ final menor	**Diámetro**	**Fecha:**		**# días**	**Peso**		**Pérdida (g)**
						26/07/2021		**105**			
Probeta	Longitud final (mm)	ϕ final (mm)	ϕ final (mm)	%	%	Peso final (g)	Promedio peso (g)	**%**	**%**		
1.1	149.9	12.4 12.4 12.4	12.40	97.64 %	97.813 %	146.27 146.29 146.29	146.283	99.02 %	99.002 %		1.443
1.2	150.1	12.4 12.4 12.4	12.40	97.64 %		146.98 146.98 146.98	146.980	98.99 %			1.507
1.3	149.5	12.5 12.5 12.4	12.47	98.16 %		146.01 146.02 146.04	146.023	99.00 %			1.477
2.1	150.1	12.5 12.5 12.5	12.50	98.43 %	98.425 %	147.1 147.1 147.1	147.100	98.82 %	98.856 %		1.750
2.2	151.2	12.5 12.5 12.5	12.50	98.43 %		147.95 147.97 147.96	147.960	98.91 %			1.637
2.3	149.6	12.5 12.5 12.5	12.50	98.43 %		146.14 146.13 146.14	146.137	98.84 %			1.720
3.1	149.4	12.5 12.5 12.5	12.50	98.43 %	98.425 %	146.47 146.45 146.46	146.460	98.64 %	98.665 %		2.020
3.2	149.7	12.5 12.5 12.5	12.50	98.43 %		146.93 146.92 146.92	146.923	98.76 %			1.843

Continuación tabla XXXIX.

3.3	150.4	12.5 12.5 12.5	12.50	98.43 %		147.36 147.36 147.36	147.360	98.59 %	2.100

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XL. **Valores finales, acero liso, probetas 4,5,6**

Acero liso grado 40										
Medición 5 (final)										
	Medición		**Promedio**	ϕ final menor	**Diámetro**	**Fecha:**		**# días**	**Peso**	**Pérdida (g)**
						26/07/2021		**105**		
Probeta	Longitud final (mm)	ϕ final (mm)	ϕ final (mm)	%	%	Peso final (g)	Promedio peso (g)	**%**	**%**	
4.1	150.5	12.4 12.5 12.4	12.43	97.90 %		143.07 143.09 143.08	143.080	96.38 %		5.370
4.2	148.8	12.3 12.4 12.4	12.37	97.38 %	97.90 %	140.86 140.85 140.85	140.853	94.85 %	96.064 %	7.650
4.3	150.8	12.5 12.5 12.5	12.50	98.43 %		142.64 142.65 142.64	142.643	96.96 %		4.473
5.1	149.8	12.3 12.4 12.4	12.37	97.38 %		137.71 137.71 137.73	137.717	92.14 %		11.750
5.2	149.2	12.4 12.5 12.4	12.43	97.90 %	97.64 %	140.29 140.28 140.28	140.283	94.19 %	93.985 %	8.657
5.3	149.0	12.4 12.4 12.4	12.40	97.64 %		141.75 141.76 141.77	141.760	95.63 %		6.480
6.1	148.5	12.5 12.5 12.5	12.50	98.43 %	98.43 %	144.03 144.02 144.01	144.020	97.69 %	97.672 %	3.407

Continuación tabla XL.

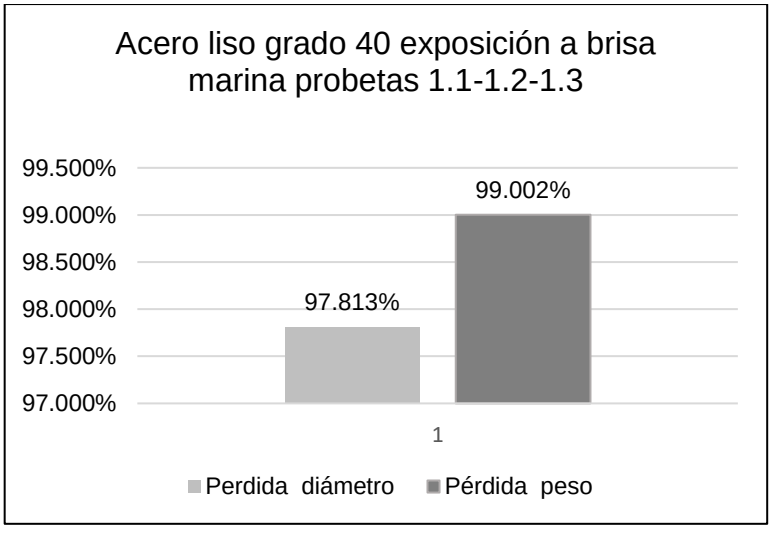
6.2	150.0	12.5 12.5 12.5	12.50	98.43 %	144.78 144.79 144.79	144.787	97.48 %	3.737
6.3	150.1	12.5 12.5 12.5	12.50	98.43 %	145.25 145.27 145.28	145.267	97.84 %	3.203

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.3. Gráficos comparativos acero liso

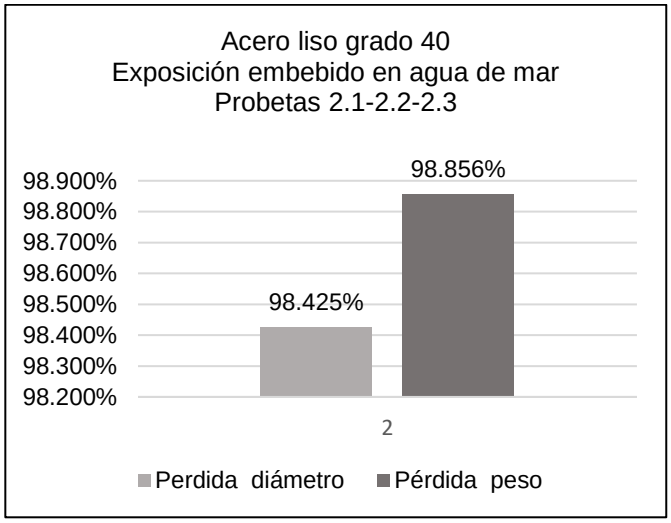
Podemos observar el comportamiento del acero liso grado 40, para diferentes condiciones de exposición relacionando la masa y su diámetro.

Figura 43. **Gráfica 19. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 1**



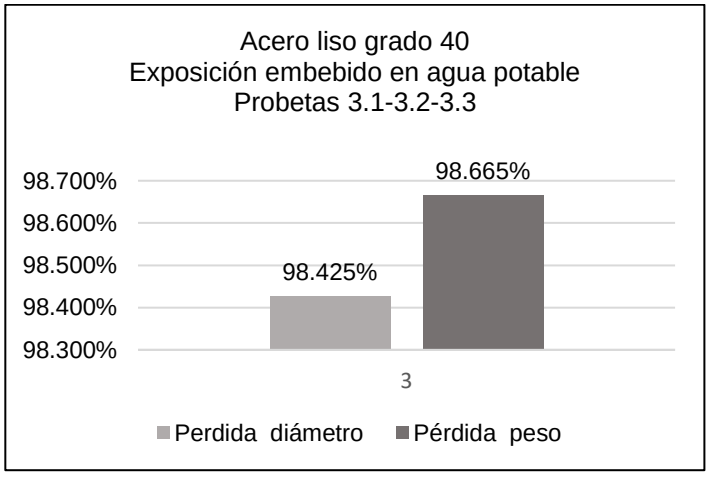
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 44. **Gráfica 20. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 2**



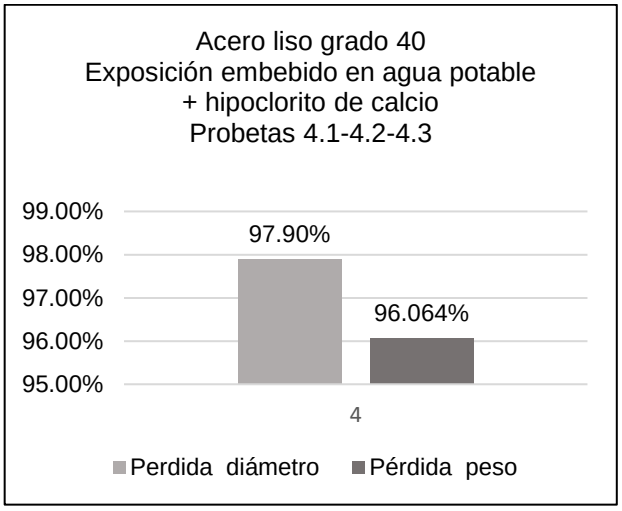
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 45. **Gráfica 21. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 3**



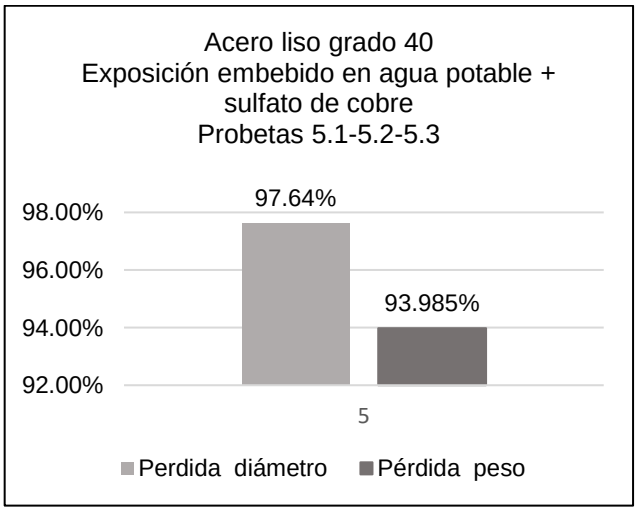
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 46. **Gráfica 22. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 4**



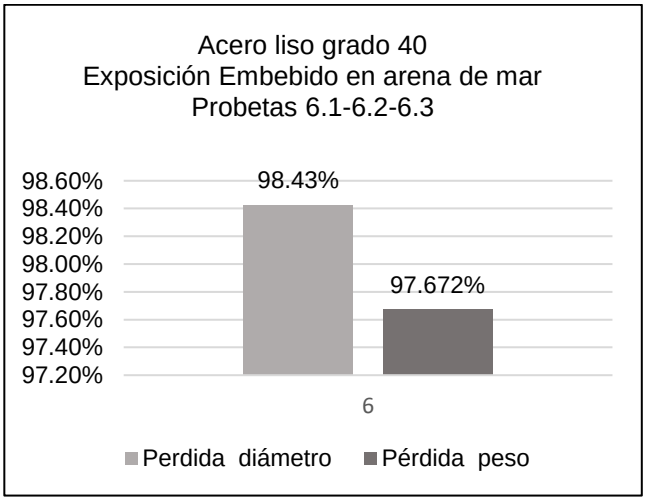
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 47. **Gráfica 23. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 5**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 48. **Gráfica 24. Pérdidas de peso y diámetro en acero liso, probetas 6**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.4. Valores iniciales acero corrugado grado 40

Hace referencia a los valores iniciales de fabricación o en base a especificaciones y normativa vigente.

Tabla XLI. **Valores iniciales, acero corrugado, probetas 1,2,3**

Acero corrugado grado 40							
Valores iniciales							
	Medición		**Promedio**	**Fecha:**		**# días**	**Promedio**
				12/04/2021		**0**	
Probeta	Longitud (mm)	ϕ inicial (mm)	ϕ inicial (mm)	Peso inicial (g)	Promedio peso (g)	**%**	**%**
1.1	149.8	11.4 11.4 11.4	11.40	141.39 141.39 141.39	141.390	100.0 %	100.0 %

Continuación tabla XLI.

1.2	150.7	11.4	11.40	142.08	142.080	100.0 %	
		11.4		142.08			
		11.4		142.08			
1.3	150.3	11.4	11.40	141.45	141.453	100.0 %	
		11.4		141.46			
		11.4		141.45			
2.1	149.9	11.4	11.40	141.93	141.927	100.0 %	
		11.4		141.92			
		11.4		141.93			
2.2	149.2	11.4	11.40	140.73	140.730	100.0 %	100.0 %
		11.4		140.73			
		11.4		140.73			
2.3	149	11.4	11.40	140.33	140.330	100.0 %	
		11.4		140.33			
		11.4		140.33			
3.1	150.1	11.4	11.40	141.76	141.763	100.0 %	
		11.4		141.77			
		11.4		141.76			
3.2	149.1	11.4	11.40	140.79	140.787	100.0 %	100.0 %
		11.4		140.79			
		11.4		140.78			
3.3	148.4	11.4	11.40	140.17	140.180	100.0 %	
		11.4		140.18			
		11.4		140.19			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XLII. **Valores iniciales, acero corrugado, probetas 4,5,6**

Acero corrugado grado 40							
Valores iniciales							
	Medición		Promedio	Fecha:		# días	Promedio
				12/04/2021		0	
Probeta	Longitud (mm)	ϕ inicial (mm)	ϕ inicial (mm)	Peso inicial (g)	promedio Peso (g)	**%**	**%**
4.1	149.6	11.4	11.40	141.72	141.723	100.0 %	
		11.4		141.72			
		11.4		141.73			
4.2	149.7	11.4	11.40	140.75	140.750	100.0 %	100.0 %
		11.4		140.75			
		11.4		140.75			
4.3	150.7	11.4	11.40	141.82	141.817	100.0 %	
		11.4		141.82			
		11.4		141.81			
5.1	149.3	11.4	11.40	140.61	140.610	100.0 %	
		11.4		140.61			
		11.4		140.61			
5.2	148.9	11.4	11.40	140.95	140.950	100.0 %	100.0 %
		11.4		140.95			
		11.4		140.95			
5.3	150	11.4	11.40	141.62	141.627	100.0 %	
		11.4		141.63			
		11.4		141.63			
6.1	148.3	11.4	11.40	140.28	140.277	100.0 %	
		11.4		140.28			
		11.4		140.27			
6.2	147.8	11.4	11.40	139.02	139.027	100.0 %	100.0 %
		11.4		139.03			
		11.4		139.03			
6.3	148.4	11.4	11.40	139.28	139.277	100.0 %	
		11.4		139.28			
		11.4		139.27			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.5. Valores finales acero corrugado grado 40

Corresponden a los valores de la última medición para un lapso de tiempo de 105 días. Tomados luego de su limpieza con cepillo de alambre.

Tabla XLIII. **Valores finales, acero corrugado, probetas 1,2,3**

Acero corrugado grado 40										
Medición 5 (final)										
	Medición		Promedio	ϕ final menor	Diámetro	Fecha: 26/07/2021		# días 105	Peso	Pérdida (g)
Probeta	Longitud final (mm)	ϕ final (mm)	ϕ final (mm)	%	%	Peso final (g)	Promedio peso (g)	%	%	
1.1	149.5	11.3	11.37	99.71 %	99.513 %	139.52	139.537	98.69 %	98.655 %	1.853
		11.4				139.54				
		11.4				139.55				
1.2	150.6	11.3	11.30	99.12 %		140.06	140.083	98.59 %		1.997
		11.3				140.09				
		11.3				140.1				
1.3	150.2	11.3	11.37	99.71 %		139.58	139.587	98.68 %		1.867
		11.4				139.59				
		11.4				139.59				
2.1	149.8	11.3	11.30	99.12 %	99.220 %	140.12	140.130	98.73 %	98.802 %	1.797
		11.3				140.14				
		11.3				140.13				
2.2	149.0	11.3	11.30	99.12 %		139.12	139.133	98.87 %		1.597
		11.3				139.14				
		11.3				139.14				
2.3	149.0	11.4	11.33	99.42 %		138.64	138.657	98.81 %		1.673
		11.3				138.67				
		11.3				138.66				
3.1	149.7	11.3	11.30	99.12 %		140.1	140.100	98.83 %		1.663
		11.3				140.09				
		11.3				140.11				
3.2	148.6	11.3	11.37	99.71 %	99.220 %	139.04	139.047	98.76 %	98.763 %	1.740
		11.4				139.05				
		11.4				139.05				

Continuación tabla XLIII.

3.3	148.3	11.3 11.2 11.3	11.27	98.83 %	138.36 138.35 138.35	138.353	98.70 %	1.827

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XLIV. **Valores finales, acero corrugado, probetas 4,5,6**

Acero corrugado grado 40										
Medición 5 (final)										
	Medición		Promedio	ϕ final menor	Diámetro	Fecha:		# días	Peso	Perdida (g)
						26/07/2021		105		
Probeta	Longitud final (mm)	ϕ final (mm)	ϕ final (mm)	%	%	Peso final (g)	Promedio peso (g)	%	%	
4.1	149.5	11.1 11.1 11.2	11.13	97.66 %		134.94 134.97 134.95	134.953	95.22 %		6.770
4.2	149.4	11.3 11.3 11.3	11.30	99.12 %	98.441 %	135.42 135.44 135.46	135.440	96.23 %	95.673 %	5.310
4.3	150.2	11.2 11.3 11.2	11.23	98.54 %		135.53 135.53 135.54	135.533	95.57 %		6.283
5.1	148.0	10.9 11 11	10.97	96.20 %		126.48 126.51 126.52	126.503	89.97 %		14.107
5.2	147.9	11.1 11.2 11.2	11.17	97.95 %	97.271 %	129.32 129.33 129.33	129.327	91.75 %	90.508 %	11.623
5.3	148.7	11.1 11.1 11.2	11.13	97.66 %		127.18 127.18 127.19	127.183	89.80 %		14.443

Continuación tabla XLIV.

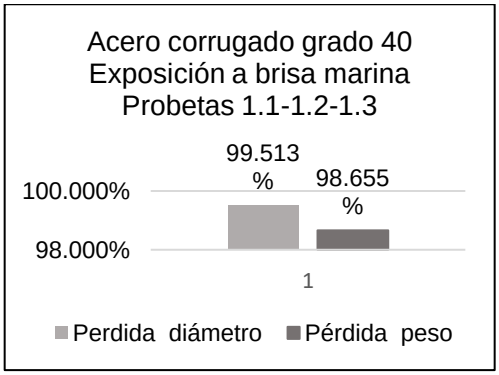
6.1	148.3	11.3 11.3 11.3	11.30	99.12 %	99.708 %	137.2 137.23 137.21	137.213	97.82 %	97.535 %	3.063
6.2	147.7	11.4 11.4 11.4	11.40	100.00 %		135.62 135.62 135.62	135.620	97.55 %		3.407
6.3	148.0	11.4 11.4 11.4	11.40	100.00 %		135.44 135.42 135.44	135.433	97.24 %		3.843

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.6. Gráficos comparativos acero corrugado

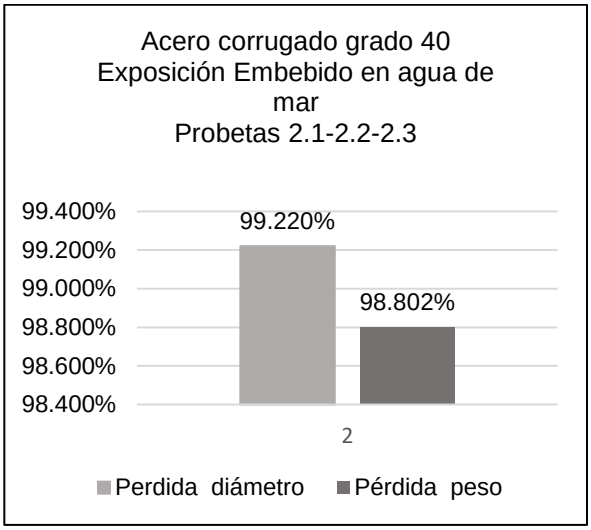
Los gráficos nos proporcionan información de qué característica es la más vulnerable a cada tipo de exposición a las que fueron sometidas las probetas de acero.

Figura 49. **Gráfica 25. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 1**



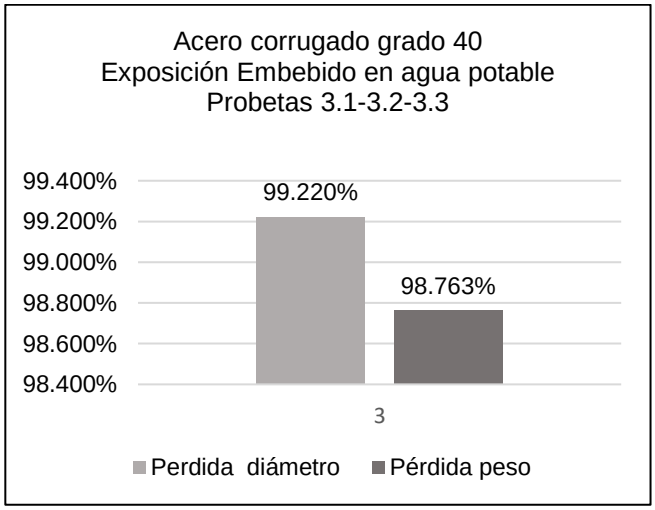
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 50. **Gráfica 26. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 2**



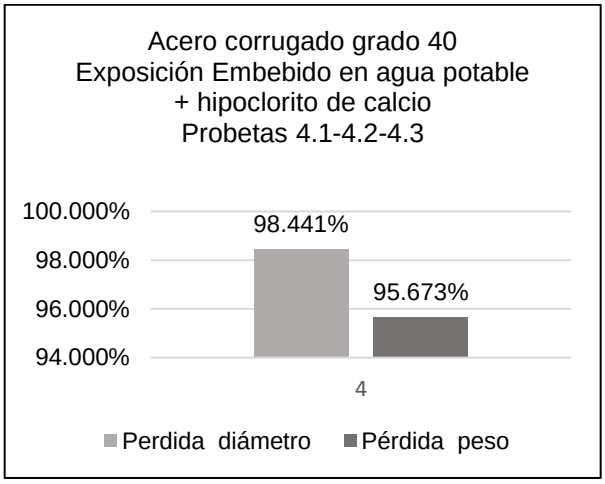
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 51. **Gráfica 27. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 3**



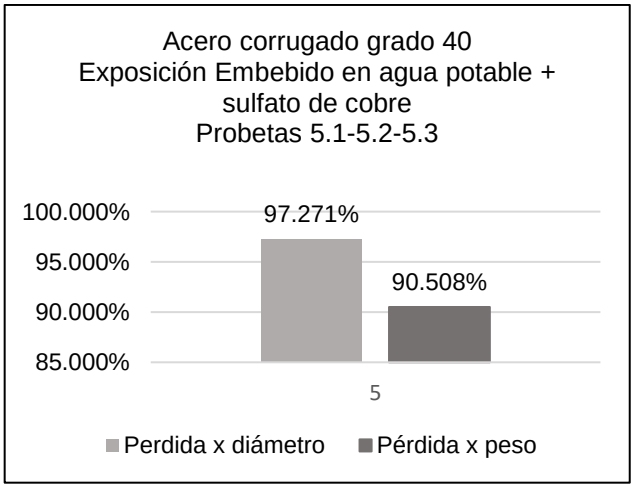
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 52. **Gráfica 28. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 4**



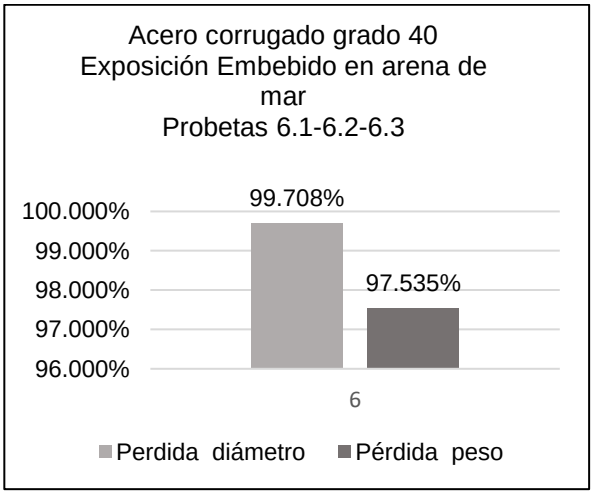
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 53. **Gráfica 29. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 5**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 54. **Gráfica 30. Pérdidas de peso y diámetro en acero corrugado, probetas 6**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.7. Cuadro resumen

Nos permite observar el comportamiento de los dos tipos de varillas, y sus pérdidas mayores por masa y por diámetro.

Tabla XLV. **Pérdidas por diámetro y peso, según tipo de superficie en el acero**

6 tipos de exposición del acero para la construcción en zona costera del Pacífico Guatemalteco en 105 días	Pérdida por disminución de diámetro	Pérdida por disminución de peso
Acero liso Grado 40, 1/2 pulg.	98.104 %	97.374 %
Acero corrugado Grado 40, 1/2 pulg.	98.895 %	96.656 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XLVI. **Períodos mínimos de aceptación del acero liso y porcentajes de pérdidas según condición de exposición**

Acero liso gradO 40					
Tipo	**Probetas**	**Exposición**	**Período de aceptación proyectado en (días) < al 94 % por pérdida de masa según ASTM para las varillas de refuerzo**	**Pérdida por diámetro**	**Pérdida por peso**
Varilla corrugada 1/2" grado 40	1.1-1.2-1.3	Al aire libre < de 400 m de la costa	615	97.81 %	99.00 %
Varilla corrugada 1/2" grado 41	2.1-2.2-2.3	Embebido en agua de mar	610	98.43 %	98.86 %
Varilla corrugada 1/2" grado 42	3.1-3.2-3.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa	614	98.43 %	98.67 %
Varilla corrugada 1/2" grado 43	4.1-4.2-4.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+hipoclorito de calcio al 1.5% de la masa cementante a/c=0.5.Ver tabla 19.3.2.1 ACI 318-19 (exposición a cloruros para concreto)4gal=15.12 litros*1.5=0.2268kg= y 0.499 libras de químico	178	97.90 %	96.06 %
Varilla corrugada 1/2" grado 44	5.1-5.2-5.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+Sultado de cobre al 1.5% de la masa cementante a/c=0.5. Ver tabla 19.3.2.1 ACI 318-19 (exposición a cloruros para concreto)4gal=15.12 litros*1.5=0.2268kg= y 0.499 libras de químico	104	97.64 %	93.99 %

Continuación tabla XLVI.

Varilla corrugada 1/2" grado 45	6.1-6.2-6.3	Embebido en arena de mar	308	98.43 %	97.67 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XLVII. **Períodos mínimos de aceptación del acero corrugado y porcentajes de pérdidas según condición de exposición**

Acero corrugado grado 40					
TIPO	**Probetas**	**Exposición**	**Período de aceptación proyectado en (días) < al 94 % por pérdida de masa según ASTM de las varillas de refuerzo**	**Pérdida por diámetro**	**Pérdida por peso**
Varilla corrugada 1/2" grado 40	1.1-1.2-1.3	Al aire libre < de 400 m de la costa	616	99.51 %	98.65 %
Varilla corrugada 1/2" grado 41	2.1-2.2-2.3	Embebido en agua de mar	609	99.22 %	98.80 %
Varilla corrugada 1/2" grado 42	3.1-3.2-3.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa	611	99.22 %	98.76 %
Varilla corrugada 1/2" grado 43	4.1-4.2-4.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+hipoclorito de calcio al 1.5% de la masa cementante a/c=0.5.Ver tabla 19.3.2.1 ACI 318-19 (exposición a cloruros para concreto)4gal=15.12 litros*1.5=0.2268kg= y 0.499 libras de químico	128	98.44 %	95.67 %

Continuación tabla XLVII.

Varilla corrugada 1/2" grado 44	5.1-5.2-5.3	Embebido en agua potable de pozo mecánico ubicado a < 500 m de la costa+Sultado de cobre al 1.5% de la masa cementante a/c=0.5. Ver tabla 19.3.2.1 ACI 318-19 (exposición a cloruros para concreto)4gal=15.12 litros*1.5=0.2268kg= y 0.499 libras de químico	49	97.27 %	90.51 %
Varilla corrugada 1/2" grado 45	6.1-6.2-6.3	Embebido en arena de mar	306	99.71 %	97.54 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.4. Flexión teórica simple en vigas, utilizando varillas corrugadas

Los esfuerzos a compresión que se generan del eje neutro hacia las fibras superiores serán contrarrestados por el concreto y los esfuerzos a tensión que se generan del eje neutro hacia las fibras inferiores por el acero.

Figura 55. **Fórmula general de flexión ACI 318-19 - 22.2**

$$Mn=As*fy*(d-0.59\ As*fy/f'c*b)$$

Fuente: ACI (2019). *Código para concreto estructural.*

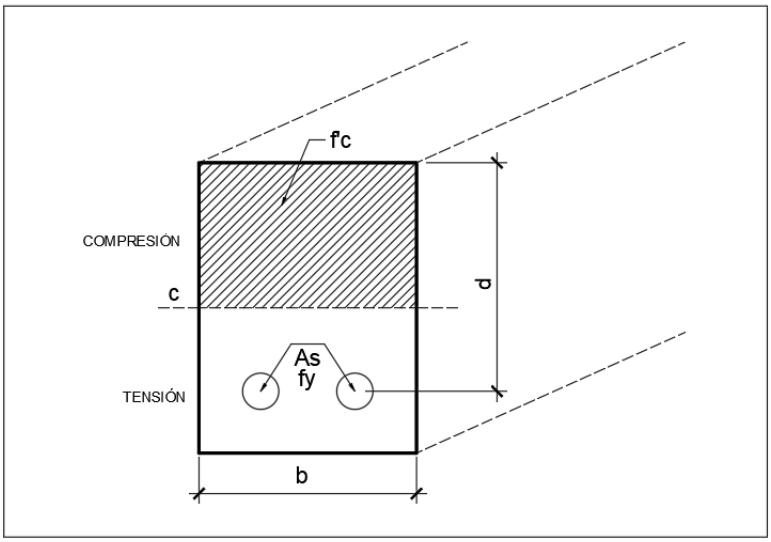
Donde:

Mn = momento nominal a flexión [Kg-cm]
Fy = esfuerzo máximo del acero (fluencia) [Kg/cm^2]
d = peralte efectivo de la viga (medida del centroide del acero a la fibra extrema superior [cm]
As = área del acero de refuerzo [cm^2]

f'c = esfuerzo máximo a la compresión del concreto [Kg/cm²]

b = base de la viga [cm]

Figura 56. **Equilibrio de momentos para flexión**



Fuente: ACI (2019). *Código para concreto estructural.*

Tabla XLVIII. **Datos de entrada para cálculo de resistencia flexionante en vigas**

Resistencia a la flexión (momento flexionante nominal Kg-cm)							
Valores de entrada de la fórmula							
Base b (cm)	**Peralte d (cm)**	**f'c (Kg/cm²)**	**fy (Kg/cm²**	**ϕ inicial (cm)**	**ϕ final (cm)**	**As inicial (cm²)**	**As final (cm²)**
40.00	50.00	210	4200	1.27	1.264	1.267	1.254
40.00	50.00	210	4200	1.27	1.260	1.267	1.247
40.00	50.00	210	4200	1.27	1.260	1.267	1.247

Continuación tabla XLVII.

40.00	50.00	210	4200	1.27	1.250	1.267	1.228
40.00	50.00	210	4200	1.27	1.235	1.267	1.199
40.00	50.00	210	4200	1.27	1.266	1.267	1.259

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XLIX. **Resultados teóricos de la resistencia flexionante en vigas**

Resistencia a la flexión (momento flexionante nominal Kg-cm)					
Valores de salida de la fórmula					
Momento nominal-inicial Mn (Kg-cm)	**Momento nominal-final Mn (Kg-cm)**	**Inicial %**	**Final %**	**Dif.**	**Correlación Pérdida de resistencia a la flexión y pérdida de diámetro de las varillas de refuerzo en un proceso corrosivo de 105 días**
264033.145	261485.136	100.000 %	99.035 %	0.965 %	0.995
264033.145	259962.127	100.000 %	98.458 %	1.542 %	0.992
264033.145	259962.127	100.000 %	98.458 %	1.542 %	0.992
264033.145	255922.027	100.000 %	96.928 %	3.072 %	0.985
264033.145	249919.899	100.000 %	94.655 %	5.345 %	0.973
264033.145	262502.891	100.000 %	99.420 %	0.580 %	0.997

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.5. Compresión pura teórica en columnas, utilizando varillas corrugadas

La compresión pura en columnas hace referencia a la aplicación de una fuerza en sentido vertical aplica de forma homogénea en toda la sección del elemento.

Figura 57. **Fórmula de la Resistencia axial máxima ACI 318-19-22.2**

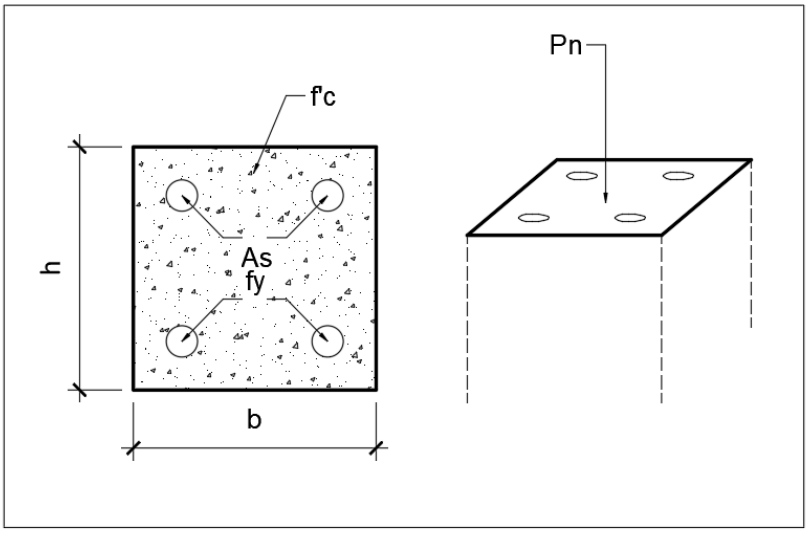
$$Pn=0.85*f'c*(Ag-As)+fy*As$$

Fuente: ACI (2019). *Código para concreto estructural.*

Donde:

Pn = resistencia axial máxima [Kg]
fy = esfuerzo máximo del acero (fluencia) [Kg/cm²]
Ag = área gruesa de la sección [cm²]
As = área del acero de refuerzo [cm²]
f'c = Esfuerzo máximo a la compresión del concreto [Kg/cm²]

Figura 58. **Compresión pura en columnas**



Fuente: ACI (2019). *Código para concreto estructural.*

Tabla L. **Datos de entrada para cálculo de resistencia por carga axial en columnas**

Resistencia axial máxima (compresión pura Kg)								
Valores de entrada de la fórmula								
Base b (cm)	**altura h (cm)**	**Área de sección (cm²)**	**f'c (Kg/cm²)**	**fy (Kg/cm²**	**ϕ inicial (cm)**	**ϕ final (cm)**	**As inicial (cm²)**	**As final (cm²)**
40.00	50.00	2000.00	210	4200	1.27	1.264	1.267	1.254
40.00	50.00	2000.00	210	4200	1.27	1.260	1.267	1.247
40.00	50.00	2000.00	210	4200	1.27	1.260	1.267	1.247
40.00	50.00	2000.00	210	4200	1.27	1.250	1.267	1.228
40.00	50.00	2000.00	210	4200	1.27	1.235	1.267	1.199
40.00	50.00	2000.00	210	4200	1.27	1.266	1.267	1.259

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla LI. **Resultados teóricos de la resistencia por carga axial en columnas**

Resistencia axial máxima (compresión pura Kg)					
Valores de salida de la fórmula					
Resistencia axial-inicial Pn (Kg)	**Resistencia axial-final Pn (Kg)**	**Inicial %**	**Final %**	**Dif.**	**Correlación pérdida de resistencia a la compresión y pérdida de diámetro de las varillas de refuerzo en un proceso corrosivo de 105 días**
362094.309	362044.778	100.000 %	99.986 %	**0.014 %**	1.005
362094.309	362015.176	100.000 %	99.978 %	**0.022 %**	1.008
362094.309	362015.176	100.000 %	99.978 %	**0.022 %**	1.008
362094.309	361936.661	100.000 %	99.956 %	**0.044 %**	1.015
362094.309	361820.051	100.000 %	99.924 %	**0.076 %**	1.027
362094.309	362064.562	100.000 %	99.992 %	**0.008 %**	1.003

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al inicio de la investigación se consideró estudiar los materiales tanto el concreto como el acero de forma conjunta, elaborando elementos tanto viga como columna y exponerlos a diferentes tipos de exposición en un ambiente costero. Pero dada la complejidad y el tiempo de espera para obtener resultados satisfactorios en laboratorio se optó por analizar tanto el concreto como el acero de forma separada. Esta decisión se tomó en base a la orientación recibida a través del personal técnico del centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería, USAC. Todo lo anterior en función de demostrar la referida hipótesis donde los elementos viga y columnas sugieren pérdidas altas en sus propiedades mecánicas dada la corrosión en sus varillas de refuerzos. Para llevar a cabo alguna acción que demuestra la hipótesis planteada o no, se realizaron los cálculos de resistencia a la flexión en vigas y resistencia axial en columnas por medio de las fórmulas teóricas propuestas por ACI 318-19-22.2.

4.1. Concreto

Para el caso del concreto el análisis se efectuó verificando la resistencia nominal del concreto en base a normas ASTM C-39 Y C-31. Para la elaboración de especímenes de concreto. Tomando en cuenta para el efecto la variación de 2 tipos de relación agua cemento y 3 tipos de exposición para el curado de los especímenes (al aire libre en ambiente marino, embebido en agua potable de zona costera y embebido en agua de mar). Utilizando para el efecto 3 mezclas comparativas. Mezcla 1 contenido de agregado fino 100 % arena de río, mezcla 2 contenido de agregado fino 50 % de arena de río y 50 % arena de mar y finalmente mezcla 3 contenido de agregado fino 100 % arena de mar. Para las

tres mezclas se realizaron pruebas en cilindros para relaciones agua cemento de 0.57 y 0.50.

De donde podemos resaltar algunos valores de relevancia. Para la mezcla 1 (agregado fino 100 % arena de río) con relación agua 0.57 el mayor valor de resistencia reportada por el laboratorio fue en la condición de curado embebido en agua potable. Pero cuando disminuimos la relación agua cemento a 0.50 podemos observar que la mayor resistencia la obtenemos en la condición de curado al aire libre en zona costera. De donde podemos decir que el curado a base de hidratación constante ya sea por agua potable o agua de mar no aporta beneficios al concreto cuando aumentamos nuestra relación agua cemento a un valor de 0.50. Ver figuras 25 y 26.

Para la mezcla 2 (agregado fino 50 % arena de mar y 50 % arena de río), los valores máximos de resistencia reportados por el laboratorio tanto para la relación agua cemento de 0.57 y 0.50 se obtuvieron en la condición de exposición al aire libre en zona costera. No se reporta mayor beneficio el curado embebido en agua potable y agua de mar. Ver figuras 27 y 28.

Para la mezcla 3 (agregado fino 100 % arena de mar). Se observan algunos resultados sorprendentes para la relación agua cemento de 0.57 la resistencia mayor se reporta para la condición de curado embebido en agua potable, pero con valores bastante bajos. Pero para la relación agua cemento de 0.50 los valores de resistencia casi se duplican, tomando como valor mayor la condición de curado embebido en agua de mar. Ver figuras 29 y 30.

4.2. Acero

Para el análisis del acero, se tomaron dos factores de relevancia como lo son la pérdida de masa y pérdida de diámetro por medio de la corrosión provocada por diferentes medios de exposición en ambientes marinos. Los ensayos se efectuaron a través de la exposición de probetas de acero liso y corrugado redondo utilizado en la construcción, con un diámetro nominal de ½ pulgada y un largo aproximado de 150 milímetros. Para tal efecto se elaboraron 3 probetas por cada condición ya sea de exposición como de forma en su superficie. Se consideraron 6 formas de exposición tal como se indica en las tablas XVII y XVIII. Se consideró el acero liso en varilla para obtener mejores resultados en la medición de su diámetro.

Se realizaron un total de 5 mediciones con un período de tres semanas. Donde se efectuaron las mediciones de pérdida de masa y pérdida de diámetros comparando los mismos con los valores iniciales. Previo a realizar las mediciones las probetas eran limpiadas con cepillo de cerdas metálicas de forma manual, tal como lo indica el ACI 318-19 sección 26.6.1.2.

Se obtuvieron gráficas de las pérdidas de masa por cada conjunto de probetas en base a cada condición de exposición en función del tiempo (105 días). Ver tablas XXIII-XXXIV.

4.2.1. Acero Liso

Para la condición de exposición al aire libre, probetas 1.1-1.2-1.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 0.998 % y pérdidas de diámetro del 2.187 %. Ver figura 43.

Para la condición embebido en agua de mar, probetas 2.1-2.2-2.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 1.144 % y pérdidas de diámetro del 1.575 %. Ver figura 44.

Para la condición embebido en agua potable, probetas 3.1-3.2-3.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 1.335 % y pérdidas de diámetro del 1.575 %. Ver figura 45.

Para la condición embebido en agua potable + hipoclorito de calcio al 1.5 % de la masa cementante, probetas 4.1-4.2-4.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 3.936 % y pérdidas de diámetro del 2.100 %. Ver figura 46.

Para la condición embebido en agua potable + sulfato de cobre al 1.5 % de la masa cementante, probetas 5.1-5.2-5.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 6.015 % y pérdidas de diámetro del 2.362 %. Ver figura 47.

Para la condición embebido en arena de mar, probetas 6.1-6.2-6.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 2.328 % y pérdidas de diámetro del 1.575 %. Ver figura 48.

La única condición que sobrepasa los valores mínimos por pérdida de masa mayor al 6 % considerada en norma ASTM A-615, es la condición de exposición 4, la cual considera ataques por sulfatos. Obteniendo también en esta condición la mayor pérdida por diámetro en las probetas.

4.2.2. Acero corrugado

Para la condición de exposición al aire libre, probetas 1.1-1.2-1.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 1.345 % y pérdidas de diámetro del 0.487 %. Ver figura 49.

Para la condición embebido en agua de mar, probetas 2.1-2.2-2.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 1.198 % y pérdidas de diámetro del 0.780 %. Ver figura 50.

Para la condición embebido en agua potable, probetas 3.1-3.2-3.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 1.237 % y pérdidas de diámetro del 0.780 %. Ver figura 51.

Para la condición embebido en agua potable + hipoclorito de calcio al 1.5 % de la masa cementante, probetas 4.1-4.2-4.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 4.327 % y pérdidas de diámetro del 1.559 %. Ver figura 52.

Para la condición embebido en agua potable + sulfato de cobre al 1.5 % de la masa cementante, probetas 5.1-5.2-5.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 9.492 % y pérdidas de diámetro del 2.729 %. Ver figura 53.

Para la condición embebido en arena de mar, probetas 6.1-6.2-6.3 se obtuvieron pérdidas de masa alrededor del 2.465 % y pérdidas de diámetro del 0.292 %. Ver figura 54.

La única condición que sobrepasa los valores mínimos por pérdida de masa mayor al 6 % considerada en norma ASTM A-615, es la condición de exposición 4, la cual considera ataques por sulfatos. Obteniendo también en esta

condición la mayor pérdida por diámetro en las probetas. Al igual que el acero liso, aunque con valores más altos por pérdida de masa, en un 57.81 % mayor para esta condición de exposición.

4.2.3. Acero corrugado versus acero liso

Podemos observar mejor comportamiento del acero liso que el acero corrugado, se observan mayores pérdidas de masa en el acero corrugado para las diferentes condiciones de exposición en un periodo de prueba de 105 días.

El acero liso para la condición de exposición a la brisa marina presenta un mejor comportamiento ya que experimentó una pérdida del 0.998 % y por su parte el acero corrugado experimentó una pérdida de 1.345 %, para el mismo período de prueba de 105 días. Lo cual representa un 34.77 % mayor al del acero liso.

En condiciones generales tomando en cuenta los 6 tipos de exposición planteada, el período de exposición y los dos tipos de acero grado 40 tanto liso como corrugado. Por pérdida de peso el acero liso presenta una pérdida del 2.626 % versus el acero corrugado del 3.344 %. De igual forma por pérdida de diámetro el acero liso presenta una pérdida del 1.896 % versus el acero corrugado del 1.105 %. De donde podemos decir que el acero liso pierde menos masa, pero más diámetro y viceversa el acero corrugado pierde más masa, pero menos diámetro.

4.3. Resistencia a la flexión y a la carga axial teórica (verificación de hipótesis planteada)

Para tal efecto se plantearon dos ejemplos prácticos de elementos viga y columna, correspondientemente. A los cuales se les asignaron valores

geométricos, utilizando únicamente como variable los valores obtenidos en promedio de las pérdidas de masa comparados con los valores iniciales de masa. Se tomaron como valores constantes los valores de resistencia a la compresión del concreto y la resistencia del acero.

Se utilizaron las fórmulas propuestas por el ACI 318-19, para el cálculo teórico de la resistencia a la flexión y la resistencia a la carga axial máxima. Ver Fórmulas 1 y 2.

Para el caso de la flexión simple en vigas se obtuvo un valor máximo por disminución en esta condición mecánica por corrosión en el acero de refuerzo de 5.345 **%**, no superando el 15 % planteado en la hipótesis. De donde no se cumple la hipótesis.

Para el caso de la compresión o carga axial en columnas se obtuvo un valor máximo por disminución en esta condición mecánica por corrosión en el acero de refuerzo de 0.076 **%**, no superando el 20 % planteado en la hipótesis. De donde no se cumple la hipótesis.

Los valores mostrados anteriormente son congruentes con las solicitudes de carga planteadas para cada elemento estructural. Ya que, para el caso de la flexión en vigas, la parte en tensión del elemento es contrarrestada por la acción de acero en esa zona. Y para la compresión en un elemento columna la mayor parte de la carga es contrarrestada por la acción del concreto.

CONCLUSIONES

1. Para preservar la calidad y el desempeño de las construcciones en zonas costeras, es de vital importancia la revisión de la normativa actual vigente a nivel nacional e internacional en lo que aplique.

2. Conocer las diferentes patologías a las que se enfrentarán las estructuras en las zonas costeras, esto ayudará a mejorar las prácticas constructivas, así como visualizar la necesidad e importancia del mantenimiento preventivo periódico de las mismas.

3. Es importante que las regulaciones de los gobiernos locales pongan especial énfasis para exigir el cumplimiento y la observancia de las normativas relacionadas con la preservación de las construcciones en zonas costeras. Tomando en primera instancia la verificación por peso medido de una muestra de barra de refuerzo expuesta en zona costera, el cual deberá ser al menos el 94 % del peso aplicable por unidad de longitud. Según ASTM A615/A615M.

4. La supervisión de las obras en zonas costeras deber ser constante desde el inicio, comenzando desde el traslado de los materiales y el almacenaje de los mismos, ya que se ha determinado que la exposición por tiempo prolongado del acero de construcción a la brisa marina, contribuye a que este empiece a presentar una pérdida diferencial de su masa.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar para concretos fabricados *in situ*, análisis y pruebas de laboratorio del agua que será utilizada para la mezcla. Esto al considerar fuentes de niveles bajos de extracción. Con la finalidad de determinar si cumple con los contenidos mínimos de sales o agentes dañinos para el concreto. O en su defecto, trasladar la misma de fuentes más seguras o alejadas de la costa.

2. Efectuar los traslados de las varillas de construcción o materiales ferrosos de forma programática de acuerdo al cronograma constructivo y no trasladar todo el acero de la construcción de forma totalitaria, a fin de evitar su permanencia en zonas costeras sin ningún tipo de recubrimiento, dado que produce efectos negativos en el mismo.

3. Utilizar los recubrimientos mínimos sugeridos para cada elemento estructural de concreto reforzado, sin descuidar aspectos tan importantes como el tiempo de curado y un buen diseño de mezcla de concreto.

4. Promover la no espera prolongada en la colocación y el fraguado del concreto en armaduras libres o expuestas en zonas costeras, dado que la brisa marina y la lluvia aceleran el proceso corrosivo en nuestras varillas de refuerzo.

5. Supervisar de forma periódica todas nuestras construcciones en zonas costeras, ya sean de concreto reforzado, estructura metálica y de madera, y que esta acción no sobrepase los seis meses.

REFERENCIAS

1. American Concrete Institute (1991). *ACI, 211. Standard Practice for Selecting Proportions for. Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Estados Unidos: Autor.

2. American Concrete Institute (2019). *ACI 318-19. Código para concreto estructural*. Estados Unidos: Autor.

3. American Standards for Testing of Materials (2003). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. Estados Unidos: Autor.

4. Castañeda, A., Corvo, F., y González, J. (mayo, 2010). Estudio comparativo de la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón armado a partir de técnicas electroquímicas y convensionales. *Revista CENIC, Ciencias Químicas, 41,* 1-9. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181620500045.

5. Castañeda, A., y Rodriguez, M. (enero, 2014). Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado. *Revista CENIC Ciencias Químicas, 45*, 52-59. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/1816/181632610001.pdf.

6. Dirección General de Caminos. (2001). *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: Ingenieros Consultores de Centroamérica, S.A.

7. Felix, E., Balabuch Rodriguez, T., Correa Posterlli, M., Possan, E., & Carrazedo, R. (junio, 2018). Análisis de vida útil de estructuras de concreto armado bajo la acción de la corrosión uniforme por medio de un modelo con RNA acoplado al MEF. *Revista ALCONPAT, 18*(1), 16-29. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352018000100001&script=sci_abstract.

8. García, D. (2015). *Restitución mecánica y remoción electroquímica de cloruros de vigas con deterioro por corrosión severa en el refuerzo a cortante* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.

9. Guzmán, O. (2008). *Influencia del agrietamiento del concreto en la corrosión del acero de refuerzo* (Tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, México.

10. López R., F., Ventura, R. R., Cruz A., J., Torreño G., I., y Ubeda, P. (2004). *Manual de patología de la edificación*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

11. Martínez, R. A. (2016). *Determinación de la concentración crítica de cloruros para varillas de diferente manufactura embebidas en concreto expuesto en ambientes marinos* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

12. Nilson, A. (2001). *Diseño de estructuras de concreto*. Colombia: Autor.

13. Ochoa, O. G. (09 de julio, 2020). Óxido en las varillas y adherencia con el hormigón. [Mensaje en un video]. Recuperado de: https://youtu.be/iyq6PyR4qjk.

14. Patiño, O., y Méndez, R. (julio, 2005). Control de calidad del concreto. *RIDTEC, 4*(1), 59-64. Recuperado de https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/download/134/pdf/.

15. Peña B., D., Estupiñan D., H., Vásquez Q., C., y Mejía Ch., E. (mayo, 2011). Determinación de la despasivación en varillas de acero de refuerzo en solución poro de agua de mar por medio de técnicas electroquímicas. *Prospect*, *9*(1), 13-20. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250979003.

16. Pérez, J. (2008). *Evaluación de macroceldas de corrosión en vigas de concreto reforzado bajo ambiento salino*. Chihuahua, Mexico: Autor.

17. Puentes, N., y Delgado, F. (2009). *Evaluación de la velocidad de corrosión en el refuerzo del concreto expuesto a una solución poro con cloruros, por medio de técnicas electroquímicas* (Tesis de licenciatura). Universidad Industrial de Santander, Colombia.

18. Rodriguez, L. I. (2019). *Evaluación de la tecnología de curado interno mejorado en concretos expuestos al ataque de sulfatos y/o cloruros*

(Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de nuevo León, México.

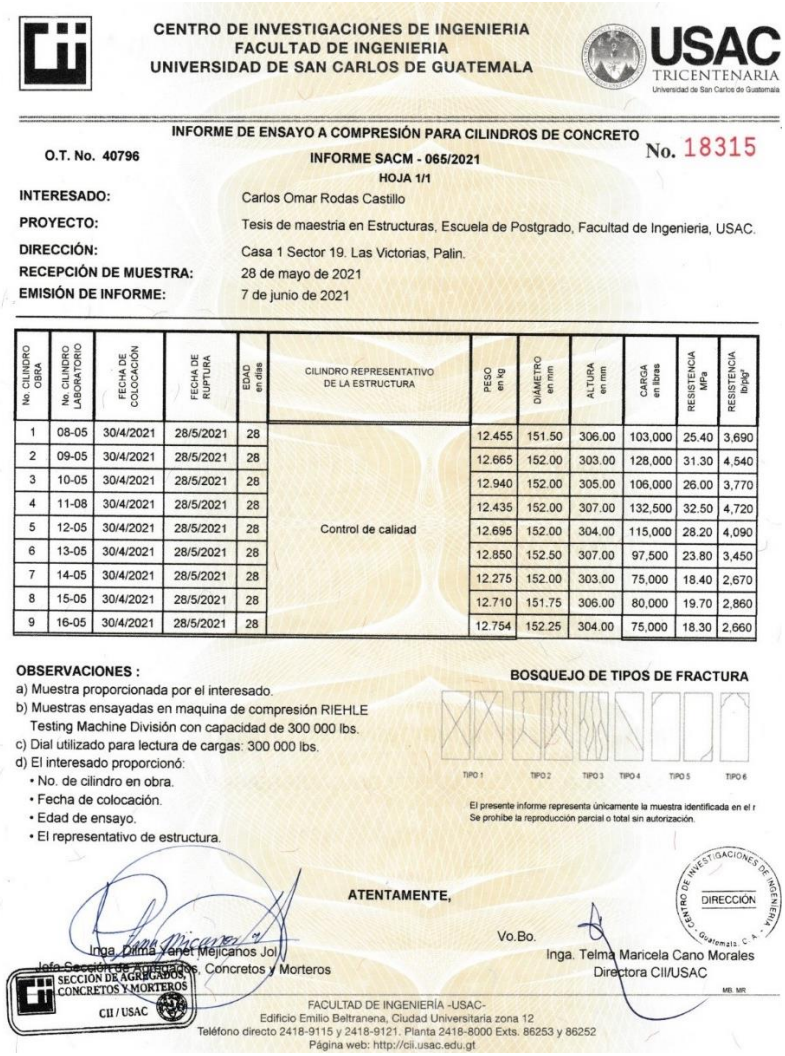
19. San Miguel, G., Tamez, P., Alvarado, M., Alcorta, R., Garza, R., y Farias, J. (septiembre, 2012). Deterioro por corrosión de elementos de concreto armado de un edificio industrial. *ALCONPAT, 2*(3), 195-210. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/4276/427639589007.pdf.

20. Solís, R., Moreno, E., Jiménez Torres, F., y Rosas, V. (diciembre, 2008). Evaluación de daños por agresión ambiental en viviendas de concreto reforzado. *Revista de la Universidad de Costa Rica, 18*(1-2), 45-55. Recuperado de https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/652/713.

21. Torres, A., Martínez, M., y Muñoz, A. (2003). *Capacidad remanente en vigas de hormigón que presentan corrosión localizada en el acero de refuerzo* (Tesis de licenciatura). Universidad Marista de Querétaro, México.

ANEXOS

Anexo 1. **Informe de laboratorio de ensayo a compresión para cilindros de concreto ASTM C-39. Relación a/c=0.57**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

USAC TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 18315

O.T. No. 40796 **INFORME SACM - 065/2021**
HOJA 1/1

INTERESADO: Carlos Omar Rodas Castillo
PROYECTO: Tesis de maestria en Estructuras, Escuela de Postgrado, Facultad de Ingenieria, USAC.
DIRECCIÓN: Casa 1 Sector 19. Las Victorias, Palin.
RECEPCIÓN DE MUESTRA: 28 de mayo de 2021
EMISIÓN DE INFORME: 7 de junio de 2021

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA ESTRUCTURA	PESO en kg	DIÁMETRO en mm	ALTURA en mm	CARGA en libras	RESISTENCIA MPa	RESISTENCIA kg/cm²
1	08-05	30/4/2021	28/5/2021	28	Control de calidad	12.455	151.50	306.00	103,000	25.40	3,690
2	09-05	30/4/2021	28/5/2021	28		12.665	152.00	303.00	128,000	31.30	4,540
3	10-05	30/4/2021	28/5/2021	28		12.940	152.00	305.00	106,000	26.00	3,770
4	11-08	30/4/2021	28/5/2021	28		12.435	152.00	307.00	132,500	32.50	4,720
5	12-05	30/4/2021	28/5/2021	28		12.695	152.00	304.00	115,000	28.20	4,090
6	13-05	30/4/2021	28/5/2021	28		12.850	152.50	307.00	97,500	23.80	3,450
7	14-05	30/4/2021	28/5/2021	28		12.275	152.00	303.00	75,000	18.40	2,670
8	15-05	30/4/2021	28/5/2021	28		12.710	151.75	306.00	80,000	19.70	2,860
9	16-05	30/4/2021	28/5/2021	28		12.754	152.25	304.00	75,000	18.30	2,660

OBSERVACIONES :
a) Muestra proporcionada por el interesado.
b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.
c) Dial utilizado para lectura de cargas: 300 000 lbs.
d) El interesado proporcionó:
- No. de cilindro en obra.
- Fecha de colocación.
- Edad de ensayo.
- El representativo de estructura.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA

TIPO 1 TIPO 2 TIPO 3 TIPO 4 TIPO 5 TIPO 6

El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el r
Se prohibe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.
Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

SECCIÓN DE AGREGADOS CONCRETOS Y MORTEROS CII / USAC

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA - Guatemala, C. A. - DIRECCIÓN

MB. MR

FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Baltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería (2021). *Informe de ensayo a comprensión para cilindros de concreto.*

Anexo 2. **Informe de laboratorio de ensayo a compresión para cilindros de concreto ASTM C-39. Relación a/c=0.50**

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

USAC TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
INFORME SACM - 079/21
HOJA 1/1

No. 18329

O.T. No. 40843

INTERESADO: Carlos Omar Rodas Castillo
PROYECTO: Tesis de Maestria en Estructuras, Escuela de Postgrado, Facultad de Ingenieria.
DIRECCIÓN: Las Victorias, Palin, Escuintla.
RECEPCIÓN DE MUESTRA: 24 de junio de 2021
EMISIÓN DE INFORME: 24 de junio de 2021.

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en dias	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA ESTRUCTURA	PESO en Kg	DIÁMETRO en mm	ALTURA en mm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pig²	TIPO DE FRACTURA
10	22-06	24/05/2021	24/06/2021	31	100 % arena de rio	12.240	152.25	306.00	120,000	29.30	4,250	6
11	23-06	24/05/2021	24/06/2021	31		12.550	152.25	307.00	98,000	23.90	3,470	6
12	24-06	24/05/2021	24/06/2021	31		12.410	152.50	304.00	110,000	26.80	3,890	6
13	25-06	24/05/2021	24/06/2021	31	50% de arena de rio y 50% de arena de mar	12.800	152.00	309.00	165,000	40.40	5,860	6
14	26-06	24/05/2021	24/06/2021	31		12.930	151.50	310.00	155,000	38.20	5,540	6
15	27-06	24/05/2021	24/06/2021	31		12.850	152.25	307.00	137,500	33.60	4,880	6
16	28-06	24/05/2021	24/06/2021	31	100 % arena de mar	12.820	152.00	307.00	150,000	36.80	5,340	6
17	29-06	24/05/2021	24/06/2021	31		13.000	152.25	310.00	147,500	36.00	5,220	2
18	30-06	24/05/2021	24/06/2021	31		12.970	152.25	308.00	152,000	37.10	5,380	6

OBSERVACIONES :
a) Muestra proporcionada por el interesado.
b) Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 lbs.
c) Dial utilizado para lectura de cargas: 300 000 lbs.
d) El interesado proporcionó:
- No. de cilindro en obra.
- Fecha de colocación.
- Edad de ensayo.
- El representativo de estructura.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA

TIPO 1 TIPO 2 TIPO 3 TIPO 4 TIPO 5 TIPO 6

El presente informe representa únicamente los resultados identificados en el mismo.
Se prohibe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.
Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

SECCIÓN DE AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

DIRECCIÓN
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA - Guatemala, C. A. -

l.c./e.r

FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería (2021). *Informe de ensayo a comprensión para cilindros de concreto.*

Anexo 3. **Ficha técnica acero grado 40, ASTM A615 / COGUANOR 36011**

FICHA TÉCNICA

»VARILLA CORRUGADA
DE HIERRO DEL RAYO GRADO 40

FICHA TÉCNICA ASTM A615 | COGUANOR NTG 36011				
No. de Designación de Barra Octavos de pulgada	Diámetro		Masa kg/m	Longitud metros
	mm	pulg		
3	9.50	0.375	0.56	6 / 9
4	12.70	0.500	0.994	6 / 9
5	15.90	0.625	1.552	6 / 9
6	19.10	0.750	2.235	6 / 9
7	22.20	0.875	3.042	6 / 9
8	25.40	1.000	3.973	6 / 9 / 12

FICHA TÉCNICA Diámetros de barra complementarios correspondientes a **COGUANOR NTG 36011**				
No. de Designación de Barra	Diámetro		Masa kg/m	Longitud metros
	mm	pulg		
7M	7.00	0.276	0.302	6 / 9
8M	8.10	0.315	0.395	6 / 9
11M	11.00	0.433	0.746	6 / 9

PROPIEDADES MECÁNICAS DE TENSIÓN			
No. de Designación de Barra mm [Octavos de pulgada]	Esfuerzo de Fluencia mínimo psi [MPa]	Resistencia a la tensión mínimo psi [MPa]	% elongación en 200 mm
7 mm, 8 mm, 11 mm [3]	40, 000 [280]	60, 000 [420]	11%
[4, 5, 6, 7, 8]	40, 000 [280]	60, 000 [420]	12%

REQUERIMIENTOS DE LA PRUEBA DE DOBLADO		
No. de Designación de Barra - mm [Octavos de pulgada]	Diámetro de Mandril	Ángulo de doblez
7 mm, 8 mm, 11 mm [3, 4, 5]	3.5 d	180°
[6, 7, 8]	5 d	180°

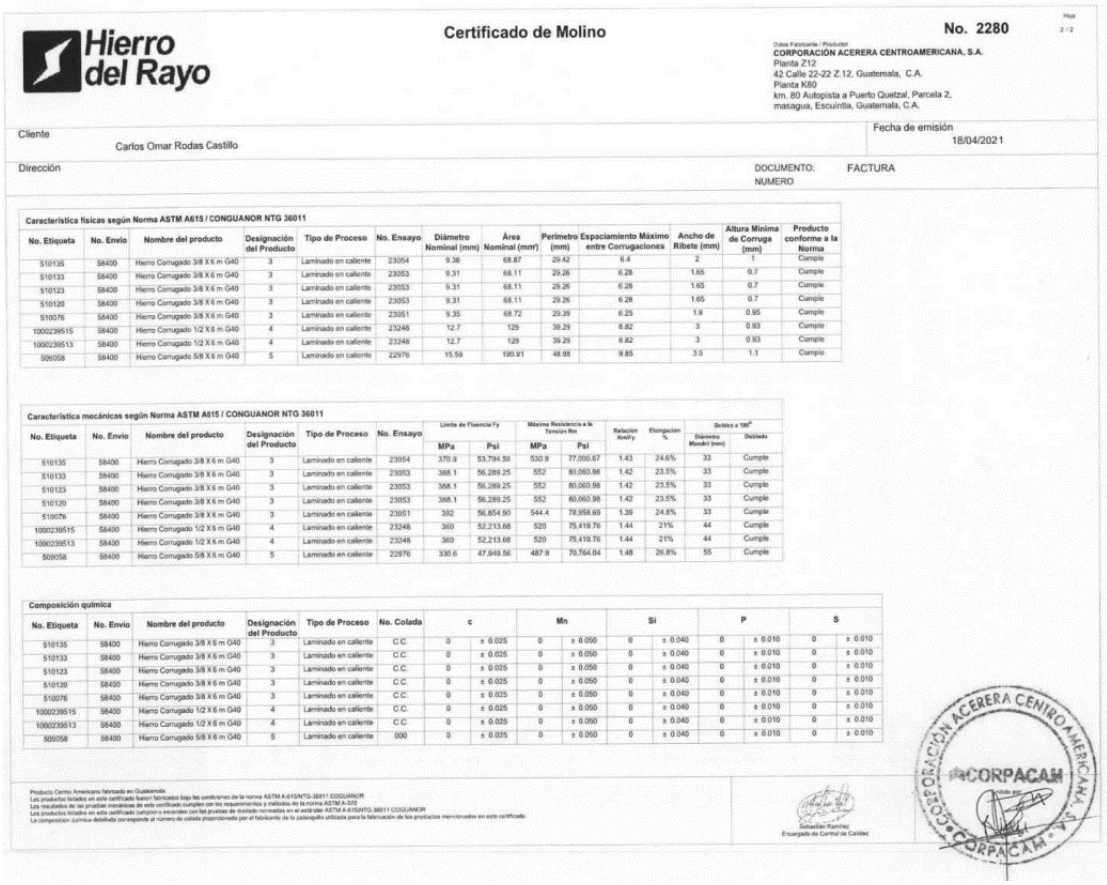
D = Diámetro **PSI** = Libra por pulgada cuadrada **MPa** = Megapascal

CONDICIONES DE PRUEBA DE DOBLADO

- Realizar la prueba a temperatura ambiente (16° C mínimo).
- Mantener siempre el mandril en contacto con la varilla durante el doblado.
- Aplicar una fuerza continua y uniforme.
- Bajo ninguna circunstancia se debe doblar la varilla a un diámetro menor al indicado.

Fuente: Hierro del Rayo (s.f.). *Ficha Técnica.*

Anexo 4. **Certificado de molino, acero grado 40**



Hierro del Rayo

Certificado de Molino

No. 2280

Datos Fabricante / Productor
CORPORACIÓN ACERERA CENTROAMERICANA, S.A.
Planta Z12
42 Calle 22-22 Z.12, Guatemala, C.A.
Planta K80
km. 80 Autopista a Puerto Quetzal, Parcela 2,
masagua, Escuintla, Guatemala, C.A.

Cliente: Carlos Omar Rodas Castillo

Fecha de emisión: 18/04/2021

Dirección

DOCUMENTO: FACTURA
NUMERO

Característica físicas según Norma ASTM A615 / CONGUANOR NTG 36011

No. Etiqueta	No. Envio	Nombre del producto	Designación del Producto	Tipo de Proceso	No. Ensayo	Diámetro Nominal (mm)	Área Nominal (mm²)	Perimetro (mm)	Espaciamiento Máximo entre Corrugaciones	Ancho de Ribete (mm)	Altura Mínima de Corruga (mm)	Producto conforme a la Norma
510135	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	23054	9.36	68.87	29.42	6.4	2	1	Cumple
510133	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	23053	9.31	68.11	29.26	6.28	1.65	0.7	Cumple
510123	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	23053	9.31	68.11	29.26	6.28	1.65	0.7	Cumple
510120	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	23053	9.31	68.11	29.26	6.28	1.65	0.7	Cumple
510076	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	23051	9.35	68.72	29.39	6.25	1.9	0.95	Cumple
1000239515	58400	Hierro Corrugado 1/2 X 6 m G40	4	Laminado en caliente	23246	12.7	129	39.29	8.82	3	0.93	Cumple
1000239513	58400	Hierro Corrugado 1/2 X 6 m G40	4	Laminado en caliente	23248	12.7	129	39.29	8.82	3	0.93	Cumple
509058	58400	Hierro Corrugado 5/8 X 6 m G40	5	Laminado en caliente	22976	15.59	190.91	48.98	9.85	3.5	1.1	Cumple

Característica mecánicas según Norma ASTM A615 / CONGUANOR NTG 36011

No. Etiqueta	No. Envio	Nombre del producto	Designación del Producto	Tipo de Proceso	No. Ensayo	Límite de Fluencia Fy		Máxima Resistencia a la Tensión Rm		Relación Rm/Fy	Elongación %	Doblez a 180°	
						MPa	Psi	MPa	Psi			Diámetro Mandril (mm)	Doblado
510135	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	23054	379.9	53,794.59	530.9	77,000.67	1.43	24.6%	33	Cumple
510133	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	23053	368.1	56,289.25	552	80,060.98	1.42	23.5%	33	Cumple
510123	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	23053	368.1	56,289.25	552	80,060.98	1.42	23.5%	33	Cumple
510120	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	23053	368.1	56,289.25	552	80,060.98	1.42	23.5%	33	Cumple
510076	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	23051	392	56,854.90	544.4	78,958.69	1.39	24.8%	33	Cumple
1000239515	58400	Hierro Corrugado 1/2 X 6 m G40	4	Laminado en caliente	23248	360	52,213.68	520	75,419.76	1.44	21%	44	Cumple
1000239513	58400	Hierro Corrugado 1/2 X 6 m G40	4	Laminado en caliente	23248	360	52,213.68	520	75,419.76	1.44	21%	44	Cumple
509058	58400	Hierro Corrugado 5/8 X 6 m G40	5	Laminado en caliente	22976	330.6	47,949.56	487.9	70,764.04	1.48	26.8%	55	Cumple

Composición química

No. Etiqueta	No. Envio	Nombre del producto	Designación del Producto	Tipo de Proceso	No. Colada	C		Mn		Si		P		S	
510135	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	C.C.	0	± 0.025	0	± 0.050	0	± 0.040	0	± 0.010	0	± 0.010
510133	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	C.C.	0	± 0.025	0	± 0.050	0	± 0.040	0	± 0.010	0	± 0.010
510123	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	C.C.	0	± 0.025	0	± 0.050	0	± 0.040	0	± 0.010	0	± 0.010
510120	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	C.C.	0	± 0.025	0	± 0.050	0	± 0.040	0	± 0.010	0	± 0.010
510076	58400	Hierro Corrugado 3/8 X 6 m G40	3	Laminado en caliente	C.C.	0	± 0.025	0	± 0.050	0	± 0.040	0	± 0.010	0	± 0.010
1000239515	58400	Hierro Corrugado 1/2 X 6 m G40	4	Laminado en caliente	C.C.	0	± 0.025	0	± 0.050	0	± 0.040	0	± 0.010	0	± 0.010
1000239513	58400	Hierro Corrugado 1/2 X 6 m G40	4	Laminado en caliente	C.C.	0	± 0.025	0	± 0.050	0	± 0.040	0	± 0.010	0	± 0.010
509058	58400	Hierro Corrugado 5/8 X 6 m G40	5	Laminado en caliente	000	0	± 0.025	0	± 0.050	0	± 0.040	0	± 0.010	0	± 0.010

Producto Centro Americano fabricado en Guatemala.
Los productos listados en este certificado fueron fabricados bajo las condiciones de la norma ASTM A-615/NTG-36011 CONGUANOR
Los resultados de las pruebas mecánicas de este certificado cumplen con los requerimientos y métodos de la norma ASTM A-370
Los productos listados en este certificado cumplen o exceden con las pruebas de doblado normadas en el estándar ASTM A-615/NTG-36011 CONGUANOR
La composicion química detallada corresponde al número de colada proporcionada por el fabricante de la palanquilla utilizada para la fabricación de los productos mencionados en este certificado

Sebastian Ramirez
Encargado de Control de Calidad

CORPORACIÓN ACERERA CENTROAMERICANA, S.A.
CORPACAM