

Universidad Autónoma de Baja California

Instituto de Ingeniería

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



Título

“Evaluación del extracto de hoja del árbol de neem (Azadirachta indica) como inhibidor de corrosión en concreto reforzado expuesto a un ambiente salino”

Tesis para obtener el grado de:

Doctor en Ingeniería

Presenta:

Ramiro Vazquez Delgado

Director:

Dr. Benjamín Valdez Salas

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para cumplir las metas que me he propuesto.

A mis abuelos por enseñarme que cada día es una oportunidad para crecer.

A mi esposa e hijos por ser pacientes y mostrarme su apoyo en todo momento.

A mi director de tesis, al Dr. Benjamín Valdez Salas un agradecimiento especial por brindarme su atención y orientación cada vez que lo necesité.

A la Universidad Autónoma de Baja California e Instituto de Ingeniería, por proporcionarme las herramientas necesarias para mi crecimiento profesional.

Por último, agradezco a CONACYT por el apoyo brindado para la realización de mis estudios de posgrado.

Índice

1.	Introducción	10
1.1.	Planteamiento del problema.....	12
1.2.	Justificación.....	12
2.	Elementos de la investigación.....	13
2.1.	Objetivo general.....	13
2.1.1.	Objetivos Específicos	13
2.2.	Hipótesis.....	13
3.	Marco teórico	14
3.1.	Definición de corrosión	14
3.2.	Concreto Reforzado.....	14
3.3.	Tipos de corrosión en el acero de refuerzo	17
3.3.1.	Carbonatación	17
3.3.2.	Cloruros	19
3.4.	Métodos para mitigar la corrosión en el concreto	20
3.4.1.	Inhibidores de corrosión para el concreto	21
3.4.1.1.	Inhibidores anódicos	22
3.4.1.2.	Inhibidores catódicos	23
3.4.1.3.	Inhibidores mixtos.....	24
3.4.1.4.	Inhibidores verdes	25
3.5.	Extracto de hoja de Neem	26
3.6.	Diseño de mezcla de concreto.....	28
3.6.1.	Cemento	28
3.6.2.	Agregados	29
3.6.3.	Agua	30
3.6.4.	Aditivos	30
3.7.	Pruebas en concreto fabricado	31
3.7.1.	Pruebas en concreto en estado fresco	31
3.7.1.1.	Revenimiento.....	31

3.7.1.2. Temperatura	32
3.7.1.3. Peso Unitario	32
3.7.1.4. Contenido de aire	33
3.7.1.5. Curado	33
3.7.2. Pruebas en concreto en estado endurecido	33
3.7.2.1. Prueba resistencia a la compresión de especímenes concreto	34
3.8. Métodos para la evaluación de inhibidores de corrosión	34
3.8.1. Técnicas electroquímicas	34
3.8.1.1. Potencial de corrosión (Ecorr)	35
3.8.1.2. Espectroscopia de impedancias electroquímicas (EIS)	36
3.8.1.3. Curvas de polarización potenciodinámicas	37
3.8.2. Pérdida de masa	39
3.9. Eficiencia de inhibición.	39
3.10. Métodos para la evaluación de análisis de superficie	40
4. Metodología	42
4.1. Elaboración del extracto de hoja de árbol de neem	43
4.2. Aditivos inhibidores de corrosión.	45
4.3. Pruebas preliminares	46
4.3.1. Solución de poro de concreto.	47
4.3.2. Concentraciones de extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión en solución de poro de concreto.	48
4.3.3. Pruebas electroquímicas.	48
4.3.4. Pruebas gravimétricas.	49
4.3.5. Análisis de superficie.	50
4.4. Pruebas en concreto reforzado	51
4.4.1. Materiales para las mezclas de concreto	51
4.4.2. Tipos de mezclas	53
4.4.3. Proporciones de la mezcla de concreto	53
4.4.4. Evaluación de características de concreto en estado fresco.	55
4.4.5. Elaboración de probetas	59

4.4.6. Evaluación de características de concreto en estado endurecido.	60
4.4.7. Ambiente de exposición.....	61
4.4.8. Evaluación de penetración de cloruro en el concreto.	62
4.4.9. Medición electroquímica de potencial de media celda.....	63
5. Resultados y discusiones.....	64
5.1. Resultados de pruebas preliminares.	64
5.1.1. Pruebas electroquímicas.	64
5.1.2. Pruebas gravimétricas.	70
5.1.3. Análisis de superficie.	72
5.2. Resultados de pruebas en concreto reforzado	79
5.2.1. Materiales para las mezclas de concreto.....	79
5.2.2. Características de concreto en estado fresco.....	81
5.2.3. Características de concreto en estado endurecido.....	83
5.2.3. Resultados de penetración de cloruro en el concreto.....	84
5.2.4 Resultados medición electroquímica de potencial de media celda.....	85
6. Conclusión	88
7. Referencias	90
Anexo 1.....	98
Anexo 2.....	112
Anexo 3.....	114

Índice de figuras

Figura 1. Interacción de los elementos de la celda electroquímica en concreto reforzado.....	14
Figura 2. Detalle de viga de concreto reforzado.....	15
Figura 3. Modelo de vida útil de Tuutti.	16
Figura 4. Representación de los procesos de corrosión en concreto reforzado.....	17
Figura 5. Mecanismo de ataque de corrosión generalizada [31].....	18
Figura 6. Representación de la carbonatación y disminución del pH en el concreto [36].....	18
Figura 7. Mecanismo de ataque de corrosión localizada [31].	20
Figura 8. Clasificación de métodos preventivos adicionales [44].	21
Figura 10. Mecanismo de acción anódico [1].....	22
Figura 11. Diagrama de potencial de corrosión con efecto inhibidor anódico [52].....	23
Figura 12. Mecanismo de acción catódico [1].	23
Figura 13. Diagrama de potencial de corrosión con efecto inhibidor anódico [52].....	24
Figura 14. Mecanismo de acción mixto [1].....	24
Figura 15. Diagrama de potencial de corrosión con efecto inhibidor anódico [52].....	25
Figura 16. Instalación de potencial de media celda de acuerdo a ASTM-C-876.....	35
Figura 17. Diagramas de Nyquist: a) Sistema controlado por activación; b) Sistema controlado por difusión [83].	37
Figura 18. Diagramas de Bode [84].....	37
Figura 19. Diagrama de curvas de polarización potenciodinámicas	38
Figura 20. Diagramas de Evans.....	38
Figura 21. Equipo de microscopia electrono de barrido JSM-6010LV.....	41
Figura 22. Esquema de trabajo de la investigación.....	42
Figura 23. Medición de la muestra de hoja de neem.....	43
Figura 24. Material y equipo utilizado para la elaboración del extracto de hoja de neem.....	43
Figura 25. Maceración de hoja de neem con agua destilada.....	44
Figura 26. Reposo de hoja macerada durante 24 horas.	44
Figura 27. Filtrado del extracto con cedazo.	44

Figura 28. Filtrado del extracto con papel filtro.	45
Figura 29. Extracto de hoja de neem.	45
Figura 30. Aditivos inhibidores de corrosión: (a) Sika CNI y (b) Eucon CIA.	46
Figura 31. Filtrado de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ precipitado en la solución.	47
Figura 32. pH de solución final.....	47
Figura 33. Potenciostato (a), software de análisis (b) y configuración de celda de tres electrodos (c).	48
Figura 34. Configuración de celda de tres electrodos: (a) Electrodo de referencia, (b) Electrodo de trabajo, (c) contra electrodo.	49
Figura 35. Cupones de acero.....	49
Figura 36. Peso inicial de cupones de acero.....	50
Figura 37. Cupones sumergidos.	50
Figura 38. Cupones en desecador antes de análisis de superficie.	51
Figura 39. Agregado grueso y fino utilizados: (a) AN, (b) GS y (c) GT.....	52
Figura 40. Aditivo Sikament 792.....	52
Figura 41. Tabla de diseños de mezclas de concreto en Microsoft Excel.....	54
Figura 42. Bandeja horizontal de 50 litros.....	55
Figura 43. Toma de muestra de concreto.	56
Figura 44. Evaluación de temperatura de concreto en estado fresco.	56
Figura 45. Medición de asentamiento de concreto en estado fresco.	57
Figura 46. Medición de peso de concreto en estado fresco.....	58
Figura 47. Evaluación de contenido de aire en concreto en estado fresco.	58
Figura 48. Esquema probetas: (a) con acero y (b) sin acero.	59
Figura 49. Elaboración de probetas.	59
Figura 50. Descimbrado de probetas.	60
Figura 51. Evaluación de carga máxima en probeta de concreto.	60
Figura 52. Solución de 3.5% NaCl.	61
Figura 53. Exposición de probetas ambiente salino (3.5% NaCl).	61
Figura 54. Corte de la probeta.	62
Figura 55. Aplicación de método colorimétrico.....	63
Figura 56. Instalación para la medición del potencial de media celda.....	63
Figura 57. Gráfico de Nyquist de acero en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 3.5% w/w de NaCl a diferentes concentraciones del extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión: (a) Extracto de hoja de neem, (b) Sika CNI y (c) Eucon CIA. 65	

Figura 59. Gráficos de curva polarización potenciodinámica de acero en solución saturada de Ca(OH)_2 con 3.5% w/w de NaCl a diferentes concentraciones del extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión: (a) Extracto de hoja de neem, (b) Sika CNI y (c) Eucon CIA.....	68
Figura 60. Gráficos de curvas de polarización potencio dinámica de acero en solución saturada de Ca (OH)_2 con 3.5% w/w en concentración del 5% del extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión.	70
Figura 61. Grafica de pérdida de masa vs tiempo.....	71
Figura 62. Grafica de eficiencia de inhibición de corrosión vs tiempo.....	72
Figura 63. Cupones evaluados y vista con microscopio óptico a 696 horas.	73
Figura 64. Micrografías SEM 1500X de acero con Neem y diferentes inhibidores en concentración al 5% después de 696 h de exposición en solución saturada de Ca(OH)_2 con 3,5% w/w de NaCl: (a) Blanco, (b) Neem, (c) Sika CNI y (d) Eucon CIA.....	74
Figura 65. Imágenes 997X SEM y espectros EDS del acero obtenido después de 696 h de inmersión en una solución saturada de Ca(OH)_2 con 3,5% w/w de NaCl. (a) Blanco, (b) Neem, (c) Sika CNI, (d) Eucon CIA.....	77
Figura 66. Resistencia a la compresión.	83
Figura 67. Penetración de cloruros en concreto a 91 días de exposición: (a) Blanco, (b) Neem, (c) Sika CNI, (d) Eucon CIA.....	84
Figura 68. Penetración de cloruros en concreto a 182 días de exposición: (a) Blanco, (b) Neem, (c) Sika CNI, (d) Eucon CIA.....	84
Figura 69. Resultados de potencial de media celda de cada probeta con acero.	85
Figura 70. Reporte de medición de cupones de pruebas gravimétricas.....	98
Figura 71. Reporte de resultados de medición de pruebas gravimétricas.....	99
Figura 72. Micrografías SEM 40x, 200x y 1500X en concentración al 5% después de 696 h de exposición en solución saturada de Ca(OH)_2 con 3,5% w/w de NaCl: (a) Blanco, (b) Neem, (c) Sika CNI y (d) Eucon CIA.....	100
Figura 73. Reporte de concreto de ensayos de concreto fresco mezcla 1.....	101
Figura 74. Reporte de concreto de ensayos de concreto fresco mezcla 2.....	102
Figura 75. Reporte de concreto de ensayos de concreto fresco mezcla 3.....	103
Figura 76. Reporte de concreto de ensayos de concreto fresco mezcla 4.....	104
Figura 77. Reporte de resistencia a compresión de cilindros.....	105
Figura 78. Certificado de calidad de cemento Holcim CPC 40.....	106
Figura 79. Análisis de agua utilizada en las mezclas de concreto.	107
Figura 80. Certificado de calidad de aditivo sikament 792.	108
Figura 81. Reporte de análisis de arena (AN).	109

Figura 82. Reporte de análisis de grava 12 mm (GS).....	110
Figura 83. Reporte de análisis de grava 20 mm (GT).	111

Índice de tablas

Tabla 1. Fuentes de productos naturales y su eficiencia de inhibición.....	26
Tabla 2. Aspectos etnobotánicos del árbol de neem [61].....	27
Tabla 3. Nomenclatura de los tipos de cementos [68].....	28
Tabla 4.- Clase de resistencia y especificaciones físicas [68].....	29
Tabla 5. Clasificación de los tipos de aditivos y su función en el concreto [72].....	30
Tabla 6. Tolerancias de revenimiento nominal.....	31
Tabla 7. Porcentajes de probabilidad de corrosión para potenciales de corrosión con criterio Stratful [81].	36
Tabla 8. Dosificación de aditivos inhibidores de corrosión vs. Ion cloruro [92].....	46
Tabla 9. Normativas Mexicanas (NMX).....	53
Tabla 10. Tipos de mezclas de concreto.....	53
Tabla 11. Proporciones de mezclas de concreto	55
Tabla 12. Parámetros de polarización obtenidos mediante gráficos potenciodinámicos con y sin concentraciones de inhibidor.....	69
Tabla 13. Resultados de pérdida de peso, velocidad de corrosión y eficiencia al variar el tiempo de inmersión con una concentración de inhibidor del 5%.....	70
Tabla 14. Resultados del análisis de elementos para la superficie de acero después de 696 h de inmersión para cada muestra.....	78
Tabla 15. Especificaciones físicas del cemento.....	79
Tabla 16. Sales e impurezas del agua.	79
Tabla 17. Propiedades físicas de los agregados.....	80
Tabla 18. Granulometría de los agregados.	80
Tabla 19. Parámetros de aditivo Sikament 792.....	81
Tabla 20. Características de concreto en estado fresco.	81

1. Introducción

El amplio uso industrial del acero al carbono en estructuras de concreto reforzado puede sufrir un proceso crítico de degradación en su integridad, generado por diferentes mecanismos de corrosión [1-4]. Estas alteraciones en el material de la estructura pueden causar varios resultados dañinos, que posteriormente se pueden ver reflejados en el impacto económico, una falla mecánica en la estructura de soporte de concreto e incluso ocasionar desastres de seguridad fatales en las estructuras [5]. En la actualidad el área de la protección contra la corrosión en estructuras de concreto reforzado, ha encontrado que el uso de inhibidores de corrosión demuestra tener ventajas en comparación a otros sistemas de protección principalmente por su fácil operación, bajo costo y eficiencia. Además, han mostrado un enfoque óptimo para mejorar la estabilidad y la protección química de la superficie, lo que resulta en una funcionalidad mejorada del acero al carbono y una durabilidad prolongada [6-8]. En la actualidad los inhibidores de corrosión convencionales utilizados en la industria de la construcción son fabricados principalmente a partir de compuestos químicos (orgánicos, inorgánicos o una combinación) para desarrollar recubrimientos protectores mejorados. Sin embargo, la mayoría de inhibidores de corrosión disponibles y que se utilizan en la industria de la construcción son inorgánicos, los cuales presentan varias desventajas ambientales y perjudiciales para la salud humana [7-8]. Por lo tanto, en respuesta a los inconvenientes mencionados anteriormente, los inhibidores de corrosión verdes han surgido como una opción prometedora para reducir el impacto ecológico y tóxico, sin comprometer el rendimiento de los inhibidores de corrosión [9-12].

La aplicación de inhibidores de corrosión verdes ha surgido como un procedimiento sencillo y versátil para proteger materiales estructurales metálicos sin efectos perniciosos significativos. Curiosamente, la gestión de inhibidores verdes ha requerido plataformas de fabricación y aplicación progresiva, por ejemplo, fase vapor, bases poliméricas, líquidos iónicos y derivados vegetales de especial interés [4, 8, 13]. Por lo tanto, se ha sugerido que los subproductos naturales son una alternativa de avance significativo debido a las propiedades prácticas, rentables y biodegradables para la operación de inhibidores ecológicos. Es importante destacar que los inhibidores de

corrosión de productos naturales han demostrado una protección muy eficaz en comparación con los inhibidores sintéticos clásicos.

Por lo tanto, los esfuerzos realizados se han centrado en el desarrollo de inhibidores verdes sintetizados a partir de extractos de plantas, principalmente para protección metálica [11, 14]. En la actualidad el extracto de hoja de neem ha atraído una atención especial debido a los resultados de protección contra la corrosión colectiva propuestos para diferentes metales expuestos en condiciones críticas de corrosión [14-16]. Sin embargo, los efectos beneficiosos del extracto de hoja de neem sobre la eficiencia e integridad de las estructuras de concreto reforzado no se han evaluado sistemáticamente. Por consiguiente, en el presente estudio, se evaluó la efectividad del extracto de hoja de neem como inhibidor de la corrosión en un ambiente de cloruro agresivo en comparación con los inhibidores inorgánicos disponibles comercialmente.

1.1. Planteamiento del problema

Las pérdidas económicas causadas por la corrosión del acero de refuerzo en las estructuras de concreto, es un tema importante a nivel mundial debido a que algunos países han calculado perdidas de millones de dólares por año. Un claro ejemplo de estas pérdidas económicas es la región de Norteamérica donde se han calculado costos por mantenimiento y detección de la corrosión del acero de refuerzo por arriba de 300 millones de dólares, presentando una mayor pérdida México dentro de esta región [17-18].

Hoy en día se cuenta con información de las causas y comportamiento de la corrosión del acero de refuerzo, como también métodos que mitiguen o prevengan la corrosión en este material. Dentro de estos métodos se encuentra como una de las mejores alternativas los inhibidores de corrosión que han mostrado efectividad para prevenir la corrosión a lo largo de los años. Sin embargo, dentro de estos productos químicos se ha presentado un impacto negativo al medio ambiente y a la salud de los seres vivos [19-20].

Por otra parte, en la actualidad hay una tendencia emergente en la políticas y reglamentos a nivel nacional e internacional en tecnologías verdes y sustentables, por ello diversas investigaciones se han enfocado en buscar y desarrollar alternativas que demuestren eficacia para mitigar la corrosión en el acero de refuerzo y una gran ventaja en reducir los efectos negativos en el medio ambiente. Dentro de estos productos se han propuesto los inhibidores verdes que muestran una tendencia favorable contra la corrosión y amigables con el medio ambiente. Estos productos son elaborados a base de extractos naturales sintetizados a partir de extractos de plantas (raíces, semillas, hojas, frutos, etc.) [19-23].

1.2. Justificación

El tema de corrosión en concreto reforzado y productos verdes sustentables, juegan un papel importante en la actualidad a nivel mundial. Es por ello que esta investigación tiene como objetivo evaluar el extracto de hoja del árbol de neem (*Azadirachta indica*) como inhibidor de corrosión en concreto reforzado expuesto ambiente salino, buscando posibilidades de incorporar este extracto en la industria de la construcción en un futuro.

2. Elementos de la investigación

2.1. Objetivo general

- Evaluar el extracto de hoja del árbol de neem (Azadirachta indica) como inhibidor de corrosión en concreto reforzado en un ambiente salino y realizar un comparativo con inhibidores de corrosión comerciales utilizados actualmente en la industria de la construcción.

2.1.1. Objetivos Específicos

- Elaboración del extracto de hoja de árbol de neem (Azadirachta indica).
- Selección de inhibidores de corrosión comerciales utilizados en concreto reforzado en la industria de la construcción.
- Evaluar la efectividad de inhibición del extracto de hoja de árbol de neem en solución, simulando el poro de concreto en un ambiente salino.
- Evaluar la efectividad de los inhibidores comerciales en solución, simulando el poro de concreto en un ambiente salino.
- Evaluar la efectividad de inhibición de corrosión del extracto de hoja de árbol de neem en concreto reforzado expuesto a un ambiente salino.
- Evaluar la efectividad de inhibición de corrosión de los inhibidores comerciales en concreto reforzado expuesto a un ambiente salino.
- Evaluar las características del concreto en estado fresco y endurecido con la adición del extracto de hoja de neem y los inhibidores comerciales.
- Comparar las evaluaciones del extracto de hoja de árbol de neem y los inhibidores comerciales.

2.2. Hipótesis

- El extracto de hoja de árbol de neem presenta propiedades favorables para inhibir la corrosión en el acero al carbono en concreto reforzado en un ambiente salino.

3. Marco teórico

3.1. Definición de corrosión

Actualmente se encuentran diferentes maneras de definir la corrosión, algunas muy directas y otras muy generales. Para este estudio se define la corrosión como el ataque destructivo del metal por una reacción química o electroquímica en un medio específico [24-26]. Con lo antes mencionado la corrosión en el concreto reforzado sucede por la formación de una celda electroquímica, debido por la interacción de cuatro elementos: Ánodo, Cátodo, Conductor y electrolito [27]. Es decir, el conductor (Acero) es el que funciona como contacto eléctrico entre el Ánodo/Cátodo ayudando al flujo de electrones dentro de un electrolito (Concreto), ocasionando una reacción de oxidación (Ánodo) y una reacción de reducción (Cátodo). En la figura 1, se muestra la interacción de estos cuatros elementos.

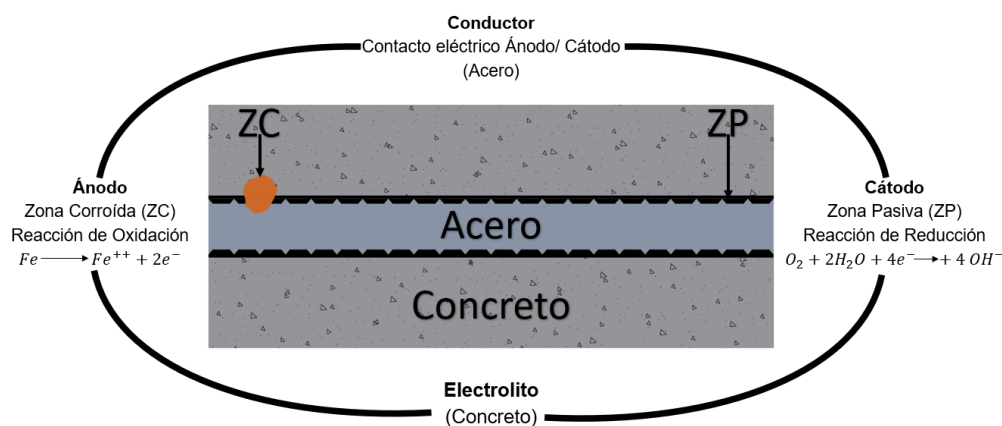


Figura 1. Interacción de los elementos de la celda electroquímica en concreto reforzado.

3.2. Concreto Reforzado

El concreto reforzado es un material que se puede definir como la combinación entre el concreto y el acero. Esta combinación brinda dos características importantes para el diseño de estructuras la primera es que es un material resistente a la tracción por parte del acero y la segunda es un material resistente a la compresión por parte del concreto. La elaboración básica de este material es cemento, agua, agregados gruesos y finos (Grava y arena), aditivos (algunos casos) y acero de refuerzo (acero al carbono o acero inoxidable). Entre el concreto y el acero existe una relación que se base en la

protección química y física en contra de la corrosión [24,27,28]. La protección química es ocasionada por la alcalinidad del concreto (12-13 pH), la cual promueve la formación de una capa de óxido de hidróxido de hierro ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) en la superficie del acero de refuerzo llamada capa pasiva que impide a que la corrosión continúe. Por otra parte, la protección física es la capa de concreto (recubrimiento) de un espesor determinado que separa el acero de refuerzo de los agentes ambientales agresivos como el Oxígeno, Agua, Cloruros y dióxido de carbono que pueden destruir la protección química del al acero de refuerzo e iniciar su corrosión [27,28,29]. En la figura 2, se muestra un ejemplo de un elemento de concreto reforzado.

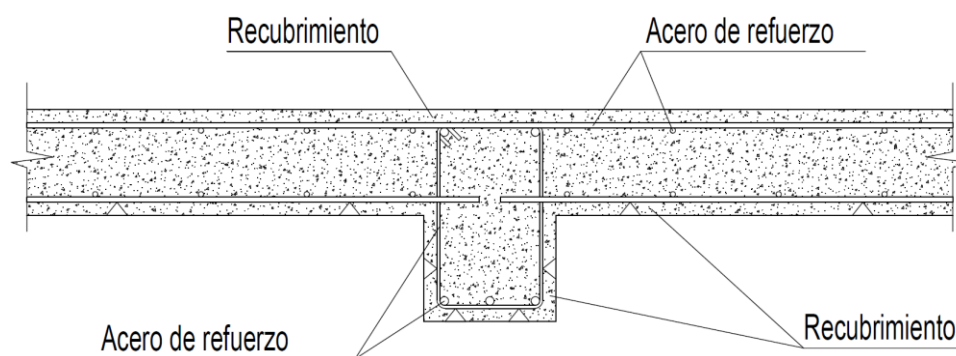


Figura 2. Detalle de viga de concreto reforzado.

Con lo antes mencionada el concreto reforzado ha sido uno los materiales más ampliamente utilizados desde el siglo pasado hasta la actualidad dentro de la industria de la construcción, desde la fabricación de casa, edificios, puentes, muelles, túneles, etc. Sin embargo, se ha encontrado en diversos estudios que durante la vida de servicio en las estructuras de concreto reforzado esta protección que proporciona el concreto así el acero no es suficiente debido a que el concreto es un material poroso y contiene fisuras que permiten la penetración de los agentes ambientales agresivos, los cuales provocan la desestabilización de la capa pasiva y por consiguiente la corrosión del acero [29-31].

Esta desestabilización de la capa pasiva provoca dos principales efectos: la primera es una disminución de la sección del acero y la segunda fisuras y desprendimiento en el concreto por la oxidación expansiva en la interfase acero-concreto. Estos efectos provocan una mala adherencia entre el acero y el concreto comprometiendo sus

características mecánicas y por consiguiente una disminución de la vida útil de servicio de la estructura a la cual fue diseñada [29,32].

Menciona lo anterior Tuutti, definió un modelo sencillo que determina la vida útil de servicio de una estructura [29,30,32,33]. Este modelo esta define por dos etapas, que se menciona a continuación:

- La primera etapa incluye el tiempo desde la elaboración de la estructura y al tiempo que los agentes agresivos (iones cloruros y dióxido de carbono) penetran desde la superficie hasta llegar el acero de refuerzo, en este tiempo se considera el tiempo donde el acero se encuentra pasivo hasta alcanzar las condiciones óptimas para el inicio de la corrosión.
- La segunda etapa es tiempo inicia es la desestabilización de la capa pasiva del acero de refuerzo, ocasionando la propagación de la corrosión a una velocidad significativa, provocando daños externos en la estructura que comprometen su seguridad y funcionalidad.

La figura 3, se muestra el esquema representativo del modelo de vida útil de una estructura propuesto por Tuutti.

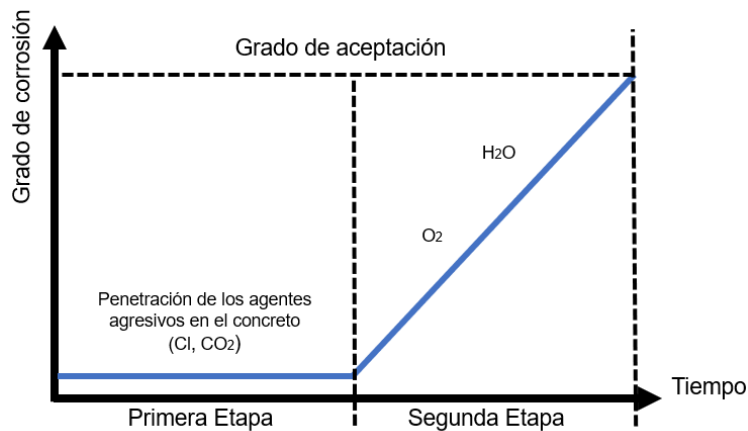


Figura 3. Modelo de vida útil de Tuutti.

Actualmente este modelo está siendo estudiado enfocándose en una vertiente cuantitativa para poder estimar la vida útil de servicio de las estructuras. Estos estudios se han derivado principalmente por el impacto económico que ocasiona el problema de la corrosión del acero refuerzo en estructuras de concreto reforzado.

3.3. Tipos de corrosión en el acero de refuerzo

La corrosión en el concreto reforzado por la desestabilización y destrucción de la capa pasiva del acero de refuerzo, se ha identificado que sucede por dos procesos: carbonatación del concreto y ataque por cloruros [29-36]. La figura 4, se muestra la representación de estos procesos en la corrosión del acero de refuerzo.

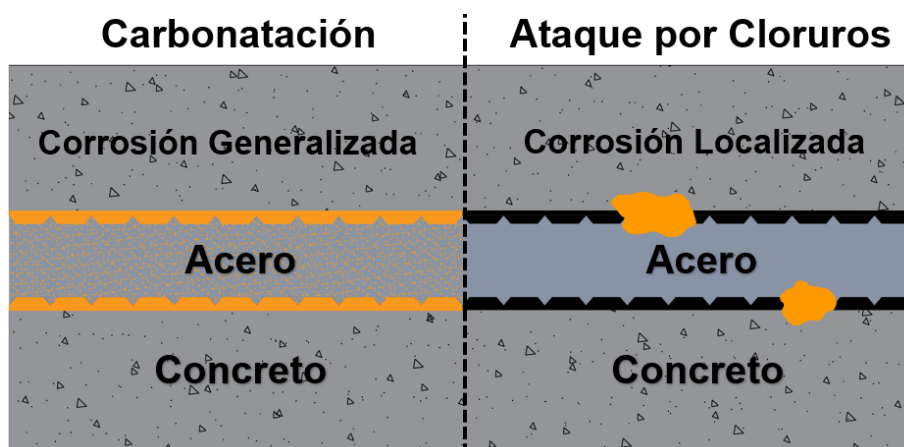


Figura 4. Representación de los procesos de corrosión en concreto reforzado.

Estos procesos tienen mayor presencia dependiendo el ambiente en el que este expuesta la estructura de concreto reforzado, por ejemplo, la carbonatación tiene mayor presencia en zonas urbanas y los ataques por cloruros en zonas costeras, sin embargo, estos dos procesos se pueden dar en ambas zonas.

3.3.1. Carbonatación

El proceso de corrosión por carbonatación ocurre cuando el dióxido de carbono (CO_2) que se encuentra en la atmósfera penetra en los poros del concreto y con una cantidad de humedad relativa de alrededor de 50% a 70% provoca la reacción del CO_2 con los componentes alcalinos del concreto principalmente el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) convirtiéndolo en carbonato de calcio (CaCO_3), esta reacción provoca una disminución del pH por debajo de 8. Esta disminución de pH por debajo de 12 origina que la capa de óxido de hidróxido de hierro ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) en la superficie del acero de refuerzo pierda su estabilidad y ocasionando el inicio del efecto de la corrosión del acero [35-38]. Mencionado lo anterior este fenómeno provoca en el acero una corrosión generalizada. Por otra parte, en la figura 5 se muestra el mecanismo de ataque de la

corrosión generalizada en el acero de refuerzo y en la figura 6, se puede ver la representación de la carbonatación del concreto y la disminución del pH en el tiempo.

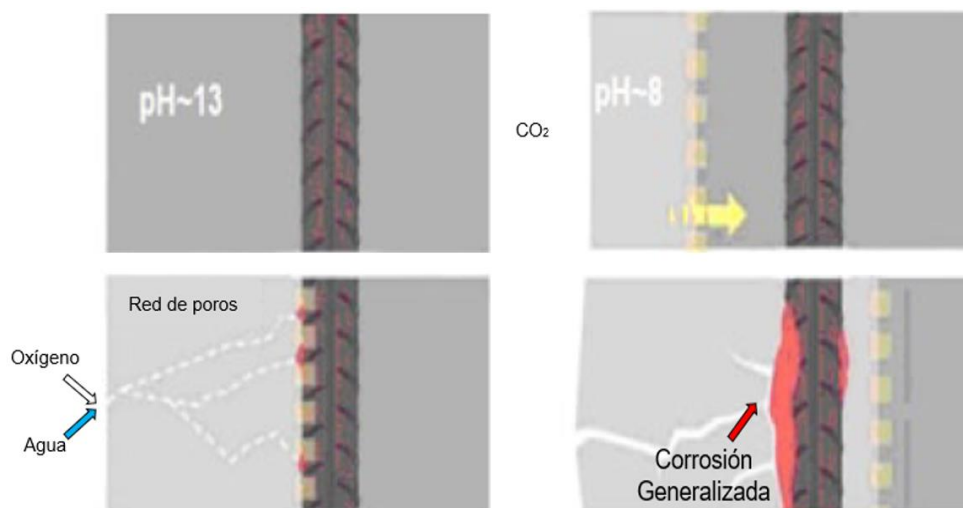


Figura 5. Mecanismo de ataque de corrosión generalizada [31].

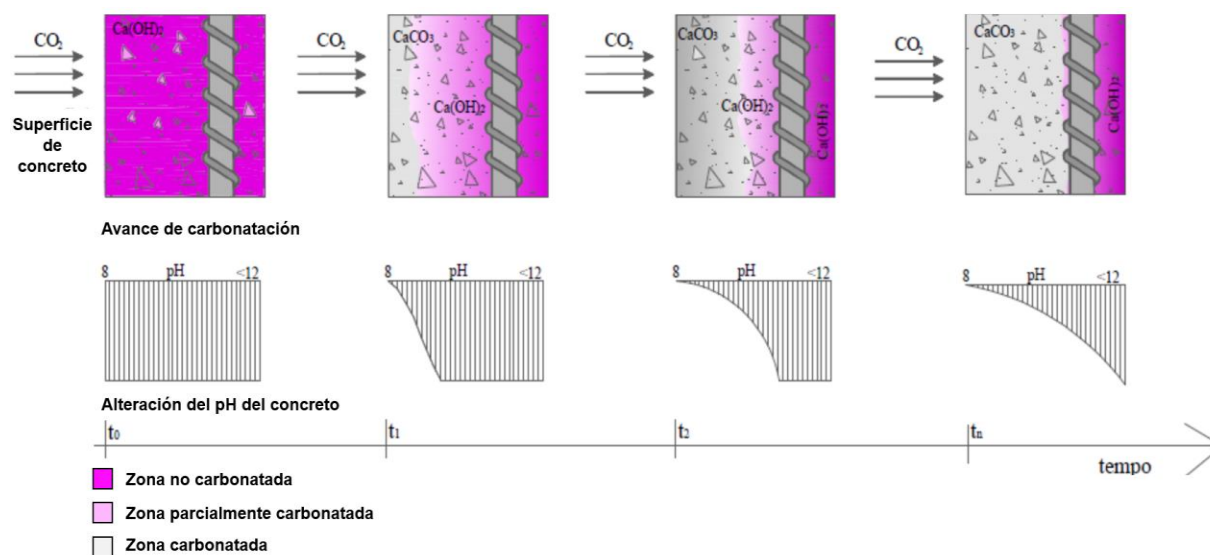


Figura 6. Representación de la carbonatación y disminución del pH en el concreto [36].

Los principales factores que ocasionan la carbonatación en el concreto son: contenido de CO_2 en el ambiente atmosférico; permeabilidad del concreto (relación agua/cemento (a/c)); y la humedad relativa en el ambiente. Por otra parte, en diversos estudios han encontrado diversos parámetros que se toman en cuenta para determinar la velocidad de carbonatación como: la relación a/c , condiciones de curado y condiciones del ambiente [27, 29, 38, 39].

Por otro lado, las zonas que favorecen a que la carbonatación muestre una mayor presencia y velocidad es en las zonas urbanas, debido a las grandes concentraciones de CO_2 , un claro ejemplo es la zona de Mexicali, Baja California, México donde el proyecto "Durabilidad de la infraestructura de concreto reforzado expuesta a diferentes ambientes urbanos de México" mostro las velocidades más altas con respecto a México D.F., Toluca y Querétaro [27].

3.3.2. Cloruros

Este proceso de corrosión es provocado por la presencia de iones cloruros en el acero de refuerzo, la cual origina una disolución puntual de la capa pasiva causando una reducción en la sección del acero de refuerzo, en tiempos relativamente cortos, a este proceso se le llama corrosión localizada. Se ha encontrado que la presencia de los iones cloruros en el concreto reforzado se puede presentar principalmente de dos formas: 1) que lo contengan los materiales para la fabricación del concreto; o 2) que penetren desde el exterior al estar situado en un ambiente que con tenca los iones cloruros como las zonas costeras. En esta última forma, sea encontrado que el mecanismo de penetración de iones cloruros en el concreto para llegar al acero de refuerzo puede ser más rápido en ambientes marinos que produzcan ciclos de humedecimiento y secado como son: aéreas, acciones de mareas y salpicaduras. Por otro lado, dentro de la literatura sobre el tema de la corrosión localizada se menciona que los iones cloruros dentro de la masa de concreto se pueden encontrar de tres maneras: enlazados, absorbidos y libres, estos últimos pueden alcanzar niveles críticos de concentración y provocar la corrosión en el acero de refuerzo. En la figura 7, se muestra el mecanismo de ataque de la corrosión localizada en el acero de refuerzo, donde los iones cloruros ayudan a formar la hidrólisis del Hierro (Fe) del acero de refuerzo en agua para formar ion positivo del isotopo de hidrogeno (H^+) y un ion cloruro libre (Cl^-), esto decrece el pH localmente en el concreto y los iones cloruros se mantienen en el medio provocando un proceso de corrosión más severa en la superficie del acero de refuerzo [31,34,40,41].

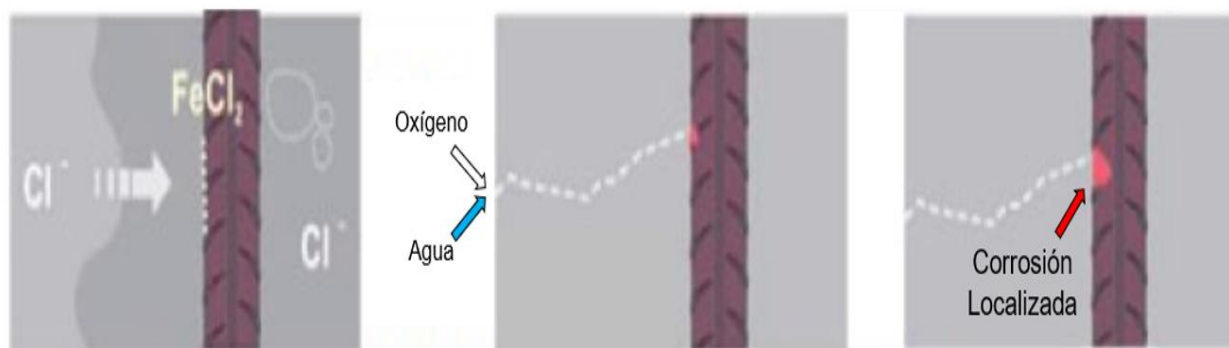


Figura 7. Mecanismo de ataque de corrosión localizada [31].

Mencionado lo anterior, en la actualidad dentro de la industria de la construcción se cuenta con normativas que especifican rangos de concentración de cloruros totales (Cloruros libres y enlazados) en concreto reforzado con la finalidad de prevenir la corrosión en el acero de refuerzo. Estos rangos de concentración son diferentes dependiendo la normativa de cada país y varían dependiendo el tipo de cemento, la cantidad de cemento, el ambiente de exposición, entre otros aspectos [27,32,42]. Por ejemplo, en México la Normativa NMX-C-155 indica el contenido máximo permitido de iones cloruro en el concreto reforzado expuesto a condiciones húmedas de 0.08% y 0.15% en condiciones secas, este porcentaje es con base al porcentaje en peso del cemento [43].

3.4. Métodos para mitigar la corrosión en el concreto

La destrucción de la capa pasiva del acero de refuerzo ha tenido un gran interés desde principios de los años 90s del siglo pasado dentro de la industria de la construcción, por presentar fallas de corrosión en las estructuras de concreto reforzado en un tiempo de servicio corto, provocando un impacto económico por los altos costos de mantenimiento o remplazo de las estructuras. Esto a llevando a determinar las causas, consecuencia y soluciones para enfrentar la corrosión en las estructuras de concreto reforzado hoy en día [1-2].

En respuesta a este problema, en los últimos años se han desarrollado diferentes métodos para controlar de corrosión enfocándose en prevenir el deterioro del metal. Estos métodos actúan controlando uno o más elementos de la celda electroquímica en el proceso de corrosión, tales como protección catódica, recubrimientos superficiales en concreto (recubiertos con epoxi y membranas), aditivos en concreto, concreto de

baja permeabilidad e inhibidores de corrosión [44]. En la figura 8, se muestra un diagrama con la clasificación de los métodos preventivos para controlar la corrosión.

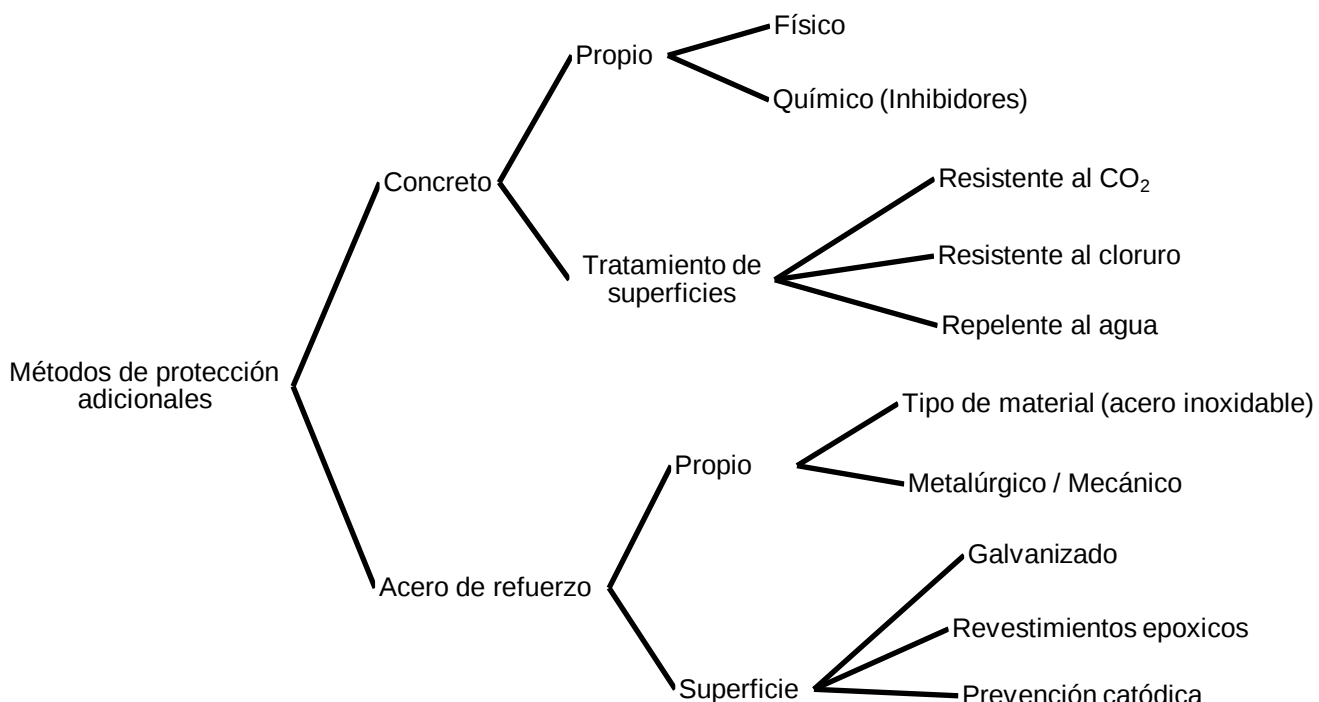


Figura 8. Clasificación de métodos preventivos adicionales [44].

No obstante, dentro de estos métodos para controlar la corrosión en concreto reforzado los inhibidores de corrosión emergen como la mejor alternativa debido a su bajo costo y operación simple, en comparación con otros métodos [45-48].

3.4.1. Inhibidores de corrosión para el concreto

NACE internacional define a los inhibidores de corrosión como “Una sustancia que, cuando se agrega a un ambiente, disminuye la velocidad de ataque del ambiente sobre un meta” [49]. Los inhibidores de corrosión empleados para la protección del acero de refuerzo, se clasifican principalmente con base a su tipo de productos químicos (orgánicos, inorgánicos), mecanismo de acción electroquímica (anódico, catódico o mixto), forma de aplicación (concreto estado en fresco o concreto en estado endurecido) y pueden agruparse en otro tipo de clase como son los inhibidores verdes [1, 50, 51]. De acuerdo a lo antes mencionando en la figura 9, se muestra la clasificación de los inhibidores de corrosión.

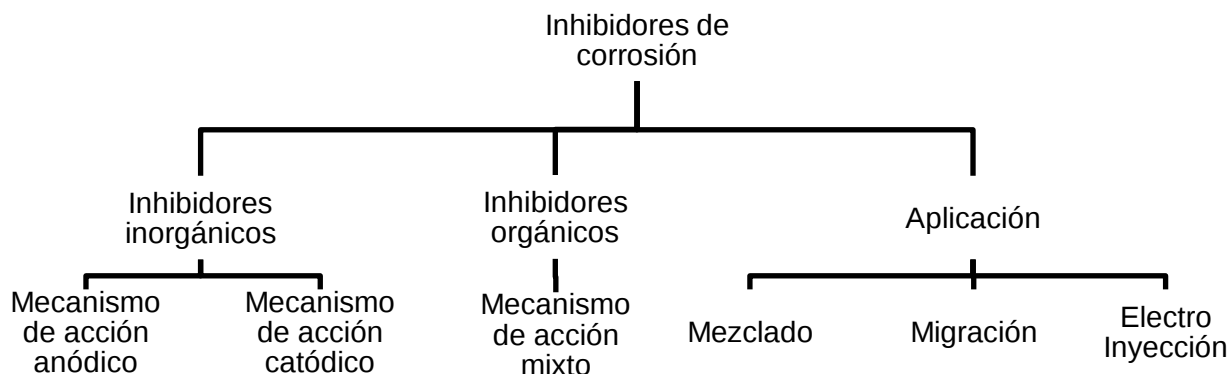


Figura 9. Clasificación de los inhibidores de corrosión [1].

3.4.1.1. Inhibidores anódicos

Este tipo de inhibidores previenen la reacción anódica en la superficie del metal formando una capa pasiva insoluble en la superficie, debido a la reacción entre los inhibidores y el producto de corrosión (figura 10) [1].

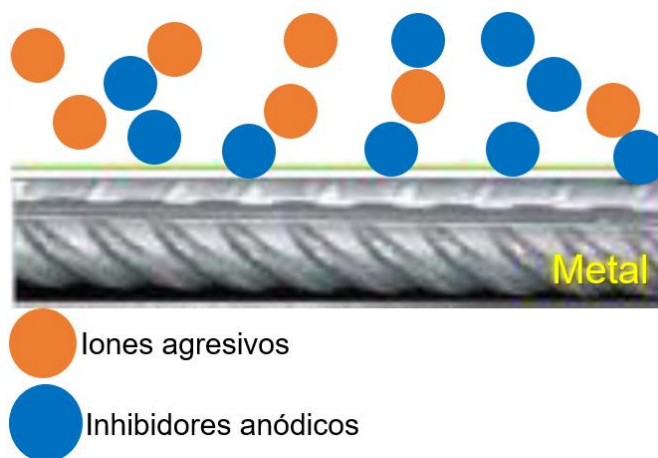


Figura 10. Mecanismo de acción anódico [1].

Por otro lado, en pruebas electroquímicas estos inhibidores han demostrado una disminución de la velocidad de corrosión, debido a la acción de aumentar el potencial electroquímico de la región anódica provocando que las curvas anódicas y catódicas intercepten en corrientes más bajas de corrosión y presenten un potencial de corrosión mayor (Figura 11) [52]. Dentro de la industria de la construcción, los inhibidores más utilizados son: nitrito de sodio (NaNO_2), nitrito de calcio [$\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$], monofluorofosfato de sodio ($\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$), entre otros. Sin embargo, el inhibidor de nitrito de calcio

[Ca(NO₂)₂] es el más eficaz del mercado, la dosificación este inhibidor está relacionado con la cantidad de cloruros presentes en el ambiente [1,44].

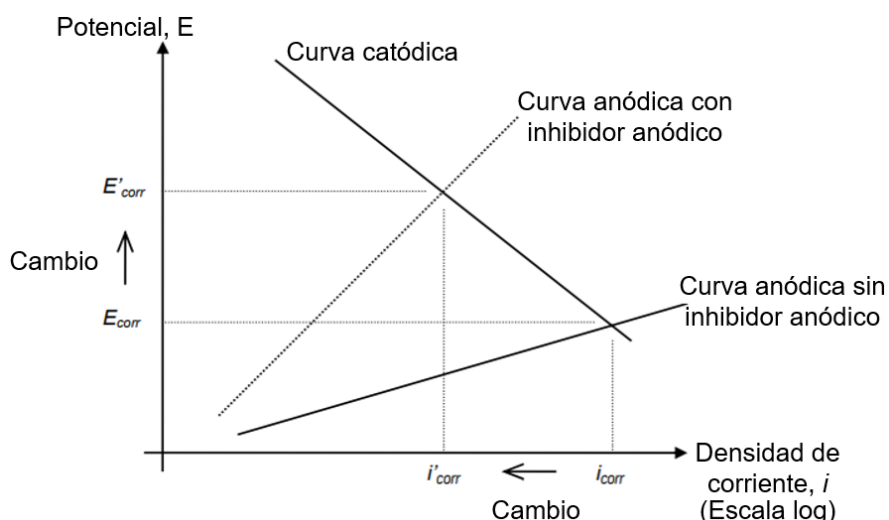


Figura 11. Diagrama de potencial de corrosión con efecto inhibidor anódico [52].

3.4.1.2. Inhibidores catódicos

Estos inhibidores reaccionan contrario a los inhibidores de corrosión anódicos, debido a que previenen la reacción catódica de la superficie del metal. Estos inhibidores también forman una capa pasiva insoluble en la superficie, precipitando en los sitios catódicos en forma de barrera (figura 12) [1].

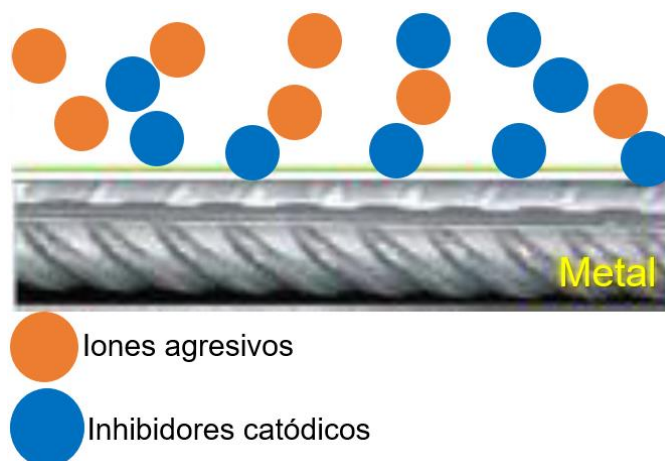


Figura 12. Mecanismo de acción catódico [1].

Estos inhibidores en pruebas electroquímicas actúan en el proceso de corrosión en la región catódica evitando en el metal la reacción catódica. Estos inhibidores reducen la

velocidad de corrosión y desplazan el potencial de corrosión a valores más negativos, esto es debido a que retardan la reacción de reducción de oxígeno en la superficie del metal, ya que producen compuestos insolubles que precipitan en la región catódica, formando una película compacta y adherente (Figura 13) [52]. Dentro de los inhibidores catódicos más utilizados se encuentra el hidróxido de sodio y el carbonato de sodio.

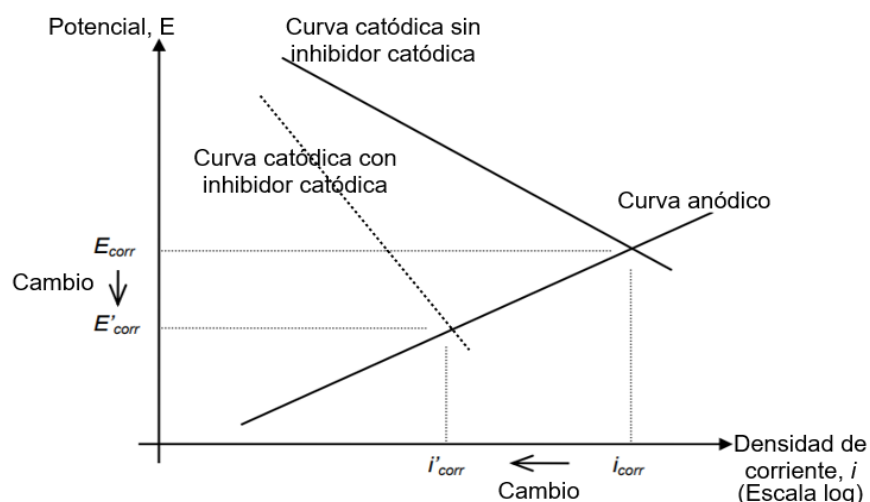


Figura 13. Diagrama de potencial de corrosión con efecto inhibidor anódico [52].

3.4.1.3. Inhibidores mixtos

Este tipo de inhibidor actúa en las ambas reacciones (anódica y catódica) formando una capa pasiva hidrófoba en toda la superficie del metal a través del mecanismo de adsorción, la cual provoca una reducción de la velocidad de corrosión (figura 14) [1].

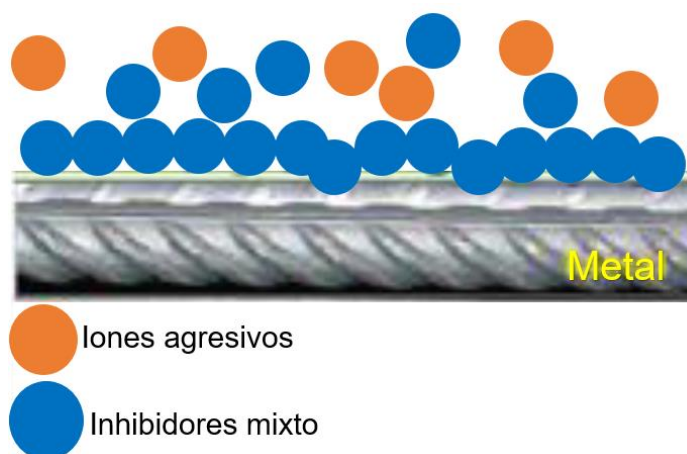


Figura 14. Mecanismo de acción mixto [1].

Esta reducción de la velocidad de corrosión se debe por un ligero cambio de potencial de corrosión hacia el lado catódico como anódico, mostrando este comportamiento en las pruebas electroquímicas (Figura 15). La mayoría de los inhibidores mixtos son de compuestos orgánicos como aminas y alcanolaminas. Además, estos inhibidores se pueden aplicar en concreto en estado fresco o sobre la superficie del concreto [52].

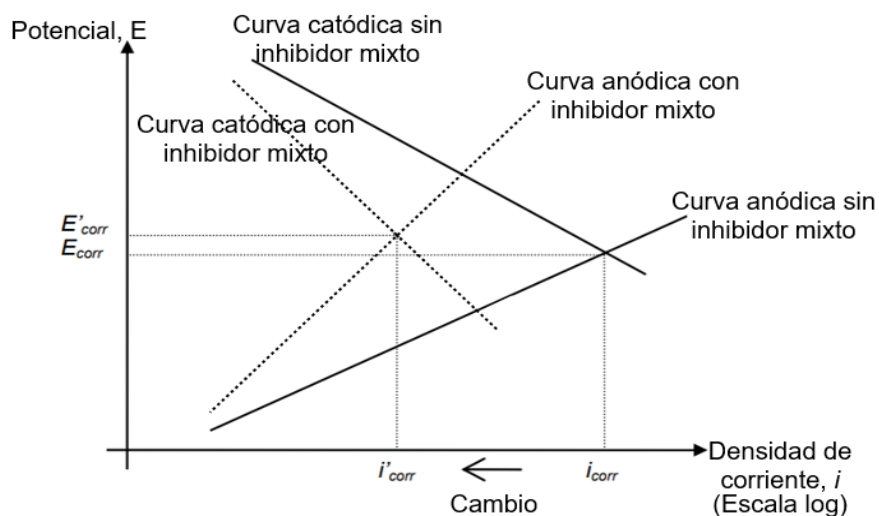


Figura 15. Diagrama de potencial de corrosión con efecto inhibidor anódico [52].

3.4.1.4. Inhibidores verdes

Actualmente se sabe que la mayoría de los inhibidores de corrosión que se encuentran en el mercado y se utilizan en la industria de la construcción para mitigar la corrosión no son considerados como una solución a largo plazo, debido a que se ha encontrado que son tóxicos para los seres vivos y contaminantes para el medio ambiente. Estos peligros de los inhibidores tradicionales están tomando una alerta importante para las nuevas legislaciones ambientales formando leyes de control de sustancias tóxicas [7,8].

Con lo antes mencionado ha motivado, desde hace unas décadas a que los investigadores busquen nuevas alternativas de fuentes naturales como inhibidores de corrosión que sean amigable con los seres vivo y el medio ambiente. Por esta razón actualmente han surgido diversos inhibidores corrosión llamados inhibidores verdes elaborados de extractos de plantas a partir de semillas, frutas, hojas, flores, etc. Además, estos inhibidores verdes son extraídos mediante prácticas simples y de bajo costo de plantas con fuentes abundantes de compuestos químicos sintetizados

naturalmente, que han mostrado una reducción en la velocidad de corrosión similar a los inhibidores convencionales [53-55].

Por otra parte, se han realizado tablas resumiendo los resultados de eficiencia de inhibición diferentes investigaciones enfocadas en el uso de productos naturales que han sido usados como inhibidores verdes en diferentes medios agresivos para la protección de la corrosión del acero de bajo carbono (Tabla 1) [56].

Tabla 1. Fuentes de productos naturales y su eficiencia de inhibición.

Fuente de productos naturales	Medio estudiado	Eficiencia (%)
Papaia		94
Poinciana pulcherrima		96
Cassia occidentalis		94
Semillas de <i>Datura stramonium</i>		93
<i>Calotropis procera</i>	Medio ácido	98
Savia de <i>Auforpio turkiale</i>		69
<i>Azadirachta indica</i>		84
<i>Azadirachta indica</i>		88-96
<i>Azadirachta indica</i>	NaCl	86

Actualmente dentro de estos inhibidores verdes están surgiendo varios extractos de plantas alternativos como es el caso de la hoja de *Azadirachta indica*, que están orientados a minimizar el impacto ambiental y mitigar el problema de la corrosión en acero de bajo carbono, el cual es utilizado ampliamente en la industria de la construcción. El uso de estos inhibidores es cada vez más popular, pero a la vez se han debatido ampliamente por algunos vacíos que se encuentran en su aplicación como efectos secundarios en las propiedades en el concreto. Esto abre la necesidad de seguirlos estudiando y trabajando con los inhibidores verdes para aumentar su uso en los próximos años [57-58].

3.5. Extracto de hoja de Neem

La *Azadirachta indica* conocida como Neem, es un árbol originario de la India que se encuentra en lugares tropicales o en zonas áridas. Este árbol que se caracteriza por florecer y fructificar en temporadas, además puede llegar a tener una altura de 15 a 20 m, otra de sus características es que puede mantenerse siempre verde o perder sus hojas cada año dependiendo en la zona que se encuentre, otro aspecto es que puede

ser cultivada a una altitud mínima de 50 msnm y una máxima de 1500 msnm. En México se ha adaptado a altitudes de 8 a 1600 msnm donde puedes encontrar cultivado en Baja California, Baja California sur, Oaxaca, Veracruz, Sinaloa, entre otros estados [59-60]. Por otro lado, en la tabla 2, se muestra un resumen de sus aspectos etnobotánicos [61].

Tabla 2. Aspectos etnobotánicos del árbol de neem [61].

Aspecto	Detalles
Nombre científico	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss
Nombre común	Neem, Margosa, Nim
Clase	Magnoliopsida
Familia	Meliaceae
Origen	Sur y sureste de Asia
Distribución	Zonas tropicales y subtropicales de África, América y Australia
Características del hábitat	Sabana, destacándose el componente herbáceo y algunos pocos arboles predominante de <i>A. indica</i>
Usos	Medicinales, abono verde, forraje, forestal, insecticida botánico y para el manejo de plagas y control de parásitos de ganado.

En la actualidad diversas investigaciones han encontrado usos prometedores dentro de la industria en la mitigación de la corrosión de diferentes metales de la obtención de extractos de hoja de neem, semilla de neem y sus raíces [57-58]. Estos han sido estudiados como inhibidores de corrosión en diferentes aplicaciones, ya que se han encontrado compuestos que pueden ser adsorbidos en la superficie del metal y ayudan a la inhibición de la corrosión. Dentro de estos compuestos se han encontrado: alcaloides, flavonoides, taninos, glicosidos y terpenoides [63-64].

3.6. Diseño de mezcla de concreto

Es un procedimiento que ayuda a determinar las cantidades y características requerida de los materiales para la elaboración del concreto. Los materiales que intervienen en la elaboración de una mezcla de concreto son: cemento, agua, agregados (Grueso y Fino) y aditivos. Por otro lado, estas mezclas de concreto deben de cumplir principalmente tres aspectos: Durabilidad, trabajabilidad y economía [31, 42, 65].

El aspecto por durabilidad hoy en día es un tema de gran importancia en la corrosión de concreto reforzado, el cual se refiere a la capacidad de resistir adecuadamente la vida de servicio de una estructura desde su resistencia a las cargas de diseño, ambiente exposición (ataques químicos o abrasión), protección de la corrosión del acero y cualquier otro proceso que ponga en riesgo la estructura [31, 42, 43].

3.6.1. Cemento

Es un material conglomerante es un polvo fino, que se obtiene de una mezcla compuesta por caliza, arcilla y mineral hierro que forma una harina cruda, la cual se somete a un proceso térmico de calcinación (1,450 °C) para formar un producto llamado Clinker, que se muele finamente con yeso y otros compuestos minerales. Este material se caracteriza por ser un material hidráulico que reaccionar con el agua [66,67].

La producción nacional de cemento hidráulico en México cuenta con diferentes tipos y clases de cementos hidráulicos, las cuales están regidas por Normativa NMX-C-414, que especifica los tipos de cemento (Tabla 3) y clases de resistencia (Tabla 4) que deben de cumplir [68].

Tabla 3. Nomenclatura de los tipos de cementos [68]

Tipo	Denominación
CPO	Cemento Portland ordinario
CPP	Cemento Portland puzolánico
CPEG	Cemento Portland con escoria granulada de alto horno
CPC	Cemento Portland compuesto
CPS	Cemento Portland con humo de sílice
CEG	Cemento con escoria granulada de alto horno

Tabla 4.- Clase de resistencia y especificaciones físicas [68]

Clase Resistente	Resistencia compresión (N/mm ²)		
	3 días mínimo	28 días mínimo	28 días máximo
20	---	20	40
30	---	30	50
30 R	20	30	50
40	---	40	---
40 R	30	40	---

La letra R especifica una resistencia a 3 días (resistencia rápida)

3.6.2. Agregados

Los agregados son todos aquellos materiales naturales o artificiales que pueden proceder de minas, bancos de extracción o trituración de elementos de concreto que, al ser mezclados con cementantes y agua, permitan elaborar concretos o morteros según sea el caso. El cumplimiento de este material para ser utilizado para la fabricación de concreto premezclado en México está regido por la Normativa NMX-C-111 [69].

Por otro parte, este material generalmente es dividido en dos grupos: Grueso y Fino. Los agregados finos consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de sus partículas menores a 5 mm, Sin embargo, los agregados gruesos consisten en una o dos gravas combinadas que pueden ser piedras trituradas con partículas predominante mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm. Además, estos materiales ocupan aproximadamente del 60 al 75% del volumen de concreto. Otro aspecto importante de los agregados son sus propiedades físicas y químicas que son factores que influyen considerablemente al momento de diseñar una mezcla de concreto. En el aspecto físico, los agregados pueden influir en la durabilidad del concreto en la medida que afectan sus propiedades y su capacidad para resistir a los efectos negativos de los medios de contacto, las condiciones ambientales y las de servicio. No obstante, el aspecto químico es importante por la composición petrográfica y mineralógica debido a que hay ciertas rocas y minerales que pueden reaccionar adversamente con los álcalis en el concreto [31,42].

3.6.3. Agua

Este material ocupa un volumen en un rango de 15% al 20% en la composición típica en la elaboración del concreto. Diferentes normativas y reglamentos de construcción de estructuras de concreto mencionan la cantidad y calidad del agua de mezclado para la elaboración del concreto, la cual debe ser limpia y libres de contaminantes como: aceites, ácidos, álcalis, materias orgánicas, sales, entre otros materiales. Sin embargo, algunas normativas especifican cantidades mínimas de contaminantes que pueden cumplir y no ser nocivas para el concreto o refuerzo. En México la Normativa NMX-C-122 establece los parámetros ideales que deben cumplir las aguas naturales o contaminadas, diferente de las potables para emplearse en la elaboración y curado de concretos hidráulico [70,71]).

3.6.4. Aditivos

El aditivo es un material diferente al agua, que se utiliza como ingrediente en la mezcla de concreto. Este material ayuda a modificar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido como: fraguado, trabajabilidad, aire, resistencia, entre otras. Dentro de las normativas para la fabricación de concreto, se encuentran clasificados diferentes tipos de aditivos dependiendo su función en las propiedades del concreto. En la tabla 5, se muestra clasificación de acuerdo a la NMX-C-255 [72].

Tabla 5. Clasificación de los tipos de aditivos y su función en el concreto [72].

Tipo	Función
A	Reductor de agua
B	Retardante
C	Acelerante de fraguado inicial
C2	Acelerante de resistencia
D	Reductor de agua y retardante
E	Reductor de agua y acelerante
F	Reductor de agua de alto rango
G	Reductor de agua de alto rango y retardante
F2	Superplastificante
G2	Superplastificante y retardante
AA	Modificador de contenido de aire

Por otra parte, la adición de estos aditivos en el concreto puede agregarse antes o durante su mezclado, dependiendo el tipo de aditivo y función que se busca modificar en las propiedades del concreto.

3.7. Pruebas en concreto fabricado

Para la evaluación de la calidad y cumplimiento de las características requeridas del concreto dentro de la industria de la construcción se realizan pruebas al concreto en sus dos diferentes etapas: estado fresco y endurecido. En México se cuenta con normativas vigentes para su evaluación, las cuales están apoyadas de por las normas de la ASTM.

3.7.1. Pruebas en concreto en estado fresco

En esta etapa inicial del proceso de endurecimiento del concreto presenta una consistencia que permita efectuar pruebas de calidad, transporte, colocación, compactación y acabado. Las pruebas que se realizan comúnmente para evaluar la calidad del concreto en esta etapa son: revenimiento, temperatura, masa unitaria, contenido de aire, fraguado y curado.

3.7.1.1. Revenimiento

Esta prueba determina la consistencia del concreto refiriéndose a su fluidez o trabajabilidad de la mezcla de concreto. Además, ayuda a saber que tan fácil resulta manejar el concreto durante la colocación y compactación del elemento a colar. La norma NMX-C-156, especifica el método de ensayo de la prueba como también las tolerancias de aceptación dependiendo el revenimiento nominal especificado [73]. En la tabla 6, se muestra las tolerancias de aceptación.

Tabla 6. Tolerancias de revenimiento nominal

Revenimiento nominal (mm)	Tolerancia (mm)
Menor de 50	+/- 15
De 50 a 100	+/- 25
Mayor de 100	+/- 35

3.7.1.2. Temperatura

La temperatura del concreto en estado fresco es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad, fraguado y resistencia de este material, lo que indica que es una prueba que ayuda a predecir el comportamiento del concreto y poder cuidar su calidad durante su transporte y colocación. La NMX-C-435, indica el metodo de ensayo para su evaluacion y la norma NMX-C-155 especifica las temperaturas minimas y maximas dependiendo el clima de colocacion [43,74].

Por otro lado, se ha encontrado que temperatura ambiente y del concreto recién mezclado están estrechamente vinculadas ya que cuando la temperatura ambiental es alta, la temperatura del concreto al mezclarlo también se incrementa si no se ejercen acciones moderadas antes de su fabricación. También se ha comprobado que, si el concreto presenta una temperatura inicial alta, este probablemente tendrá una resistencia superior a lo normal a edades tempranas y resistencias más bajas a edades tardías lo que indica una alteración al comportamiento en su desarrollo y calidad final. Sin embargo, el concreto colado y curado a temperaturas bajas se ha demostrado que desarrolla su resistencia a una tasa más lenta, pero finalmente tendrá una resistencia más alta y tendrá una mejor calidad [42].

3.7.1.3. Peso Unitario

La prueba de la masa unitaria es una herramienta que determina el peso del material contenido en un metro cubico del concreto fresco. Esta prueba se puede realizar de acuerdo a la NMX-C-162, la cual indica que dividiendo el peso neto de concreto fresco entre el volumen del recipiente que lo contiene se puede determinar la masa unitaria del concreto [75]. Por otro parte, esta medición nos puede indicar un cambio en los requisitos del desempeño del concreto. Por ejemplo, un peso unitario bajo pudiera indicar lo siguiente:

- Un mayor contenido de aire
- Un mayor contenido de agua
- Un menor contenido de cemento
- Un cambio en las proporciones de los ingredientes

Y un peso unitario más alto nos indicará lo contrario a los puntos antes mencionadas.

3.7.1.4. Contenido de aire

El contenido de aire en el concreto fresco es un parámetro que ayuda a conocer el comportamiento del concreto en estado fresco y para verificar la variación del contenido de aire debido al uso de aditivos químicos para incrementar la trabajabilidad del concreto. Esta prueba se puede realizar de acuerdo a la norma NMX-C-157 [76]. Además, la norma NMX-C-155 especifica la cantidad de aire recomendado para diferentes tipos de exposición al congelamiento y deshielo [43].

Se ha encontrado información con la evaluación de esta medición, que conforme se incrementa el contenido de aire en el concreto por arriba del 4%, el concreto presentará una reducción en su resistencia. Típicamente, esta reducción de resistencia será del orden del 3 al 5% por cada 1% de contenido de aire por arriba del valor de diseño [42].

3.7.1.5. Curado

El curado es el proceso mediante el cual, en un ambiente especificado de humedad y temperatura, se favorece la hidratación de cemento o de los materiales cementantes en la mezcla. Este proceso ayuda a que el concreto de cemento hidráulico madure y desarrolle sus propiedades mecánicas típicas del material en estado endurecido. El tiempo de curado del concreto se refiere al lapso en el cual se desarrollan las reacciones químicas del cemento con el agua, sin que se realice acción alguna. También se refiere al tiempo durante el cual se ejecutan acciones específicas para mantener el concreto en las condiciones favorables de humedad y temperatura, como pueden ser aplicarle agua, cubrirlo del medio ambiente, calentarlo, etc. [42].

Por otra parte, el curado de espécimen de concreto a nivel laboratorio se realiza de acuerdo a la norma NMX-C-159, la cual especifica la temperatura y humedad que se requiera para una adecuada hidratación del concreto [77].

3.7.2. Pruebas en concreto en estado endurecido

Estas pruebas ayudan a evaluar las propiedades críticas del concreto ya endurecido, estas participan son claves en el desempeño de una estructura durante su vida de servicio. Una de las propiedades más importante que se evalúan al concreto

endurecido es la resistencia mecánica, la cual se puede definir como la habilidad de un material para resistir esfuerzos sin llegar a la falla.

Por otro lado, esta propiedad se puede evaluar de dos formas: compresión o flexión: dependiente su función de carga en la estructura o elemento y se clasifican de manera general en pruebas mecánicas destructivas y no destructivas. Otro aspecto de esta propiedad es que es un parámetro comúnmente utilizado en la especificación de diseños estructurales.

3.7.2.1. Prueba resistencia a la compresión de especímenes concreto

La prueba más común utilizada para evaluar la calidad de concreto endurecido es la prueba de resistencia a la compresión, la cual se clasifica como prueba mecánica destructiva. Dentro de la industria de la construcción esta prueba se puede evaluar de acuerdo a la NMX-C-083, en especímenes cilíndricos previamente obtenidos de una muestra de concreto en estado fresco de acuerdo a la a la NMX-C-159 o en la extracion de nucluos cilindricos en elementos que estan es servicio de acuerod a la NMX-C-162 [77-79]. Esta evaluacion se realiza a la edad a la que esta diseño el concreto comunmente a la edad de 28 dias.

3.8. Métodos para la evaluación de inhibidores de corrosión

En los estudios a nivel laboratorio de la evaluación de inhibidores de corrosión, se realizan a corto plazo con pruebas electroquímicas y pérdida de masa a través de muestras metálicas en medios simulados, para llevar a cabo estudios cinéticos de inhibición y poder evaluar su comportamiento y eficiencia. Los medios que se utilizan son ambientes agresivos que provocan el proceso de la corrosión en el metal, como: ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, agua de mar, entre otros.

3.8.1. Técnicas electroquímicas

El uso de técnicas electroquímicas se ha presentado como una opción para el estudio del proceso de corrosión de un metal, ya que permite conocer las características físicas y electicas del sistema de corrosión, mediante señales eléctricas y poder hacer análisis de la respuesta del sistema. Entre las ventajas del uso de estas técnicas es su rapidez de medición, sensibilidad y confiabilidad. Las más utilizadas son: medición de potencial

(Ecorr), espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) y Curvas de polarización potenciodinámicas. Cada una de ellas aporta información acerca de las condiciones de la interface acero-solución y con ello poder medir el grado de corrosión que se presente en el metal.

3.8.1.1. Potencial de corrosión (Ecorr)

Uno de los métodos más utilizados para identificar la pasividad de acero de refuerzo en concreto reforzado es la determinación del potencial de corrosión llamado potencial de media celda. El procedimiento más común para esta evaluación es el estándar ASTM-C-876, el cual menciona el procedimiento y el equipo para la evaluación. Dentro del equipo que menciona son: electrodo de trabajo (acero de refuerzo), electrodo de referencia (Cu/CuSO₄), esponja, voltímetro.

Por otro lado, el procedimiento para la medición consiste en conectar la terminal negativa del voltímetro en electrodo de referencia y la terminal positiva en electrodo de trabajo, posterior a ello, el electrodo de referencia se coloca junto una esponja húmeda (mayor conducción eléctrica) en la superficie del concreto. El esquema para medir el potencial de corrosión, se puede ver en la figura 16 [80].

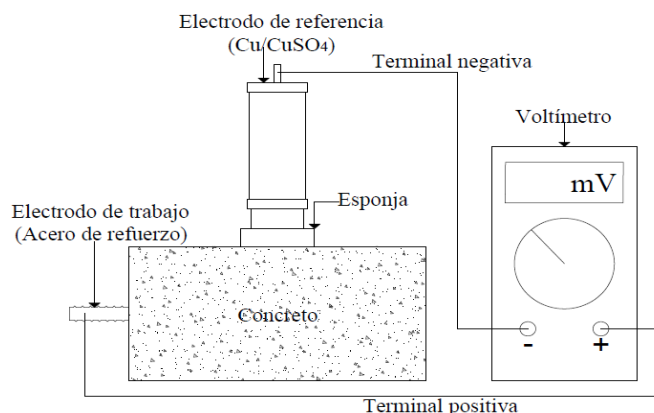


Figura 16. Instalación de potencial de media celda de acuerdo a ASTM-C-876.

Esta conexión nos mandara una señal de voltaje, la cual nos informa la probabilidad de corrosión de acero de refuerzo. Stratful probó esta técnica sobre puentes en los Estados Unidos y determino la correlación del voltaje y el porcentaje de probabilidad de corrosión dando como resultado los criterios Stratful para potenciales de corrosión (Tabla 7) [32, 81].

Tabla 7. Porcentajes de probabilidad de corrosión para potenciales de corrosión con criterio Stratful [81].

mV vs. CSE	Probabilidad de corrosión
-240	0%
-275	5%
-350	50%
-450	95%
-500	100%

3.8.1.2. Espectroscopia de impedancias electroquímicas (EIS)

Es una técnica electroquímica es un método relativamente moderno que se logró desarrollar por la aparición de equipos electrónicos rápidos con la capacidad de generar y analizar una señal de frecuencia y fase variable. Esta técnica se aplica con una señal de corriente alterna al sistema, y se analiza la respuesta del mismo frente a esta perturbación, normalmente se aplica una pequeña señal de voltaje (potencial) y se mide una corriente.

El uso de esta técnica es ampliamente utilizado en el área de recubrimientos, ya que puede proporcionar información cuantitativa cuando son aplicados a un metal, caracterizando la superficie. Esta información caracteriza las propiedades del sistema tales como difusión electrónica, mecanismos de corrosión, la formación de productos [82]. Esto se debe a que si aplicas medidas de impedancias en un rango de frecuencias adecuado y los resultados se representan en unos ejes acorde a los datos obtenidos es posible relacionar los resultados con las propiedades físicas y químicas de los materiales y sistemas electroquímicos. Con las respuestas de las mediciones de desfase y de amplitud, se puede obtener la impedancia de transferencia electroquímica del material estudiado [83]. Además, existen dos formas de representar los resultados gráficamente:

1. Diagrama de Nyquist. Es uno de los formatos más populares para la evaluación de los datos obtenidos de impedancia electroquímica. Esta gráfica representa la componente imaginaria de la impedancia (Z'') contra la componente real de la impedancia (Z'), en cada frecuencia (Figura 17).

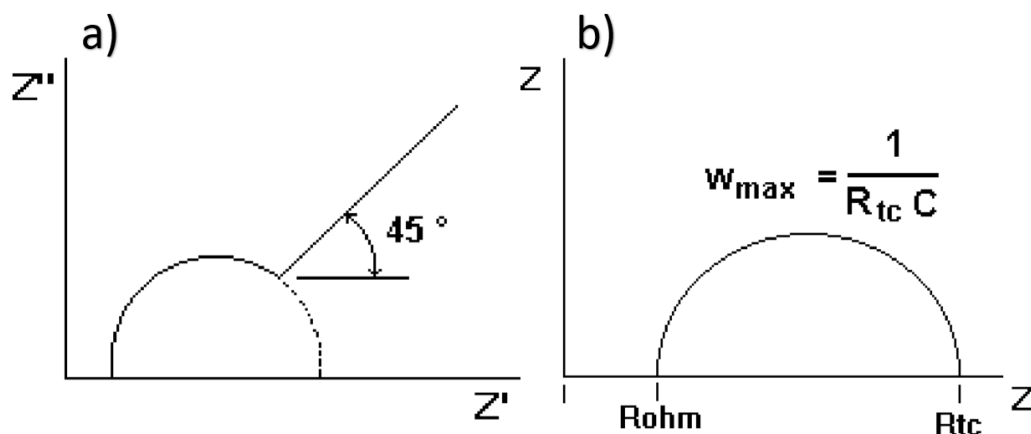


Figura 17. Diagramas de Nyquist: a) Sistema controlado por activación; b) Sistema controlado por difusión [83].

2. Diagramas de Bode. Se representan el logaritmo del módulo de la impedancia ($\log |Z|$) y el desfase (ϕ) en función del logaritmo de la frecuencia ($\log \omega$) (Figura 18). La información que se obtiene de este tipo de representación va encaminada sobre todo al comportamiento en función de la frecuencia.

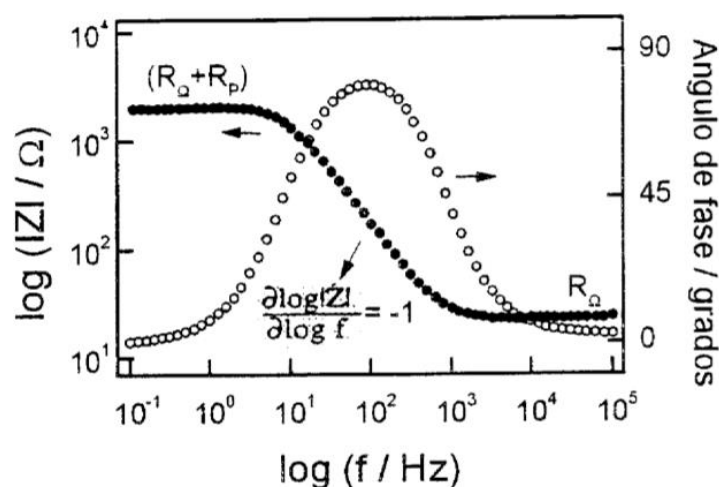


Figura 18. Diagramas de Bode [84].

3.8.1.3. Curvas de polarización potenciodinámicas

Son aquellos diagramas que representan las reacciones anódicas y catódicas de un sistema en el proceso de corrosión en un intervalo de señal de amplitud determinado, mediante este método se puede determinar cuándo un metal es susceptible a algún tipo de corrosión. Este tipo de diagramas son herramientas que se utilizan para estudiar la cinética y los mecanismos de reacción del proceso de corrosión (Figura 19) [85].

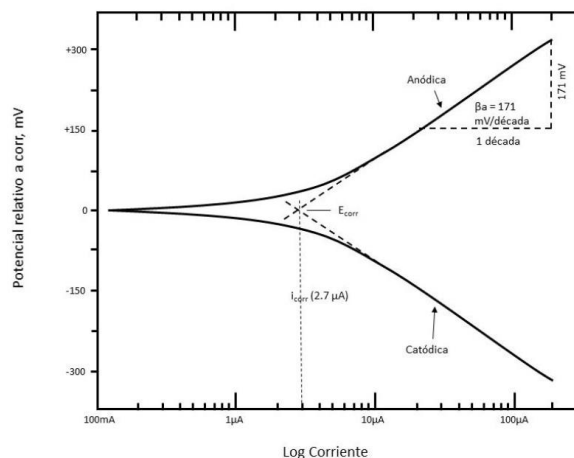


Figura 19. Diagrama de curvas de polarización potenciodinámicas

La aplicación de este método consiste en la aplicación controlada de un potencial o corriente, haciendo un barrido a velocidad constante, registrando el barrido de potencial en el renglo previamente seleccionado y graficando la corriente generada entre el metal evaluado (electrodo de trabajo) y el electrodo auxiliar (material inerte), este método es representado gráficamente mediante el potencial con respecto al electrodo de referencia (por ejemplo el electrodo de calomel saturado) contra la densidad de corriente.

Por otro lado, para el análisis del diagrama, es importante conocer el concepto de polarización que se refiere al desplazamiento del potencial de equilibrio, resultado del balance entre las reacciones anódicas y catódicas sobre la superficie del metal. La polarización de un material puede ser representado a través de los diagramas de Evans. Este diagrama relaciona la densidad de corriente con el potencial aplicado, obteniendo curvas para cada proceso (oxidación o reducción) (figura 20) [86].

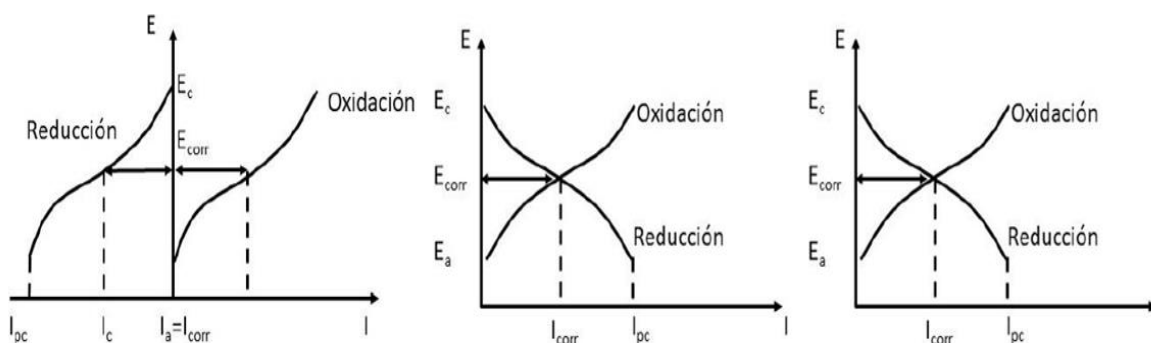


Figura 20. Diagramas de Evans.

Ambos procesos son representados en la misma gráfica y en un mismo cuadrante para la obtención de este diagrama, utilizando el logaritmo de la corriente se puede obtener el diagrama de Evans-Tafel.

3.8.2. Pérdida de masa

Este método es comúnmente utilizado para la evaluación de la corrosión para determinar el grado de afectación en los metales expuestos a un ambiente específico. Este método está relacionado con el daño causado por la corrosión con pérdida de peso en los materiales, el cual consiste en la exposición de pequeñas muestras in el medio de interés durante un tiempo determinado y después ser retiradas, seguidas de limpieza y la medida de su peso. El estándar ASTM G-4 puede ser utilizado para este tipo de prueba [87].

Las muestras pueden ser diseñadas según los objetivos de la prueba, la duración de la prueba debe ser lo suficientemente larga para que la corrosión sea aparente [88]. Después de ser expuestos a la prueba, las muestras son removidas, limpiadas, y pesadas según el estándar seleccionado. La examinación de las muestras puede revelar el tipo de corrosión que aparece, además con el uso de microscopia, se pueden lograr detectar los efectos del daño por corrosión. La velocidad de corrosión es estimada utilizando la siguiente ecuación (1):

$$CR = \frac{(K*W)}{(A*T*D)} \quad (1)$$

Donde CR es la velocidad de corrosión (mm/año), K es una constante en corrosión, T es tiempo de exposición (h), A es área de exposición (cm²), W es para la pérdida de masa (g) y D densidad (g/cm³).

3.9. Eficiencia de inhibición.

Dentro de las evaluaciones de los inhibidores de corrosión se ha encontrado la manera de evaluar el desempeño de estos inhibidores mediante la eficiencia de inhibición, la cual determina la capacidad de inhibir la corrosión del metal. Esta eficiencia de inhibición se puede calcular utilizó la siguiente ecuación (2):

$$Eficiencia\ de\ Inhibicion\ (EI) = \left(\frac{CR_{corr}^o - CR_{corr}}{CR_{corr}^o} \right) \quad (2)$$

Donde CR_{corr}^o es la velocidad de corrosión de la muestra sin inhibidor y CR_{corr} es la velocidad de corrosión de la muestra con inhibidor de corrosión.

3.10. Métodos para la evaluación de análisis de superficie

El desarrollo de nuevas tecnologías a mostrado ser cada vez más complejo, lo que ha permitido desarrollar instrumentos eficaces que puedan mostrar estructuras atómicas y composición química de la superficie, es por ello que el área de la caracterización de la superficie de los materiales es un tema de gran importancia dentro de la investigación hoy en día que ha permitido avanzar en el desarrollo de nuevos productos con alta tecnología. La información que se puede obtener a partir de los análisis de superficie, es conocer procesos químicos como: corrosión, adsorción, pasividad, difusión, reactividad, entre otros.

Por otro lado, dentro de los diferentes métodos modernos más utilizados para el análisis de superficie que ofrecen una información importante de la topográfica y composición química en la evaluación de los inhibidores de corrosión son: Microscopia electrono de barrido (SEM) y Espectroscopia de energía dispersiva (EDS).

La microscopia electrono de barrido (SEM), es un instrumento permite obtener imágenes digitales para poder hacer análisis de características microestructurales del material proporcionando información de la topografía y morfología de la superficie. Además, tiene una alta resolución aproximadamente de 100 a 1000 veces mayor que un microscopio óptico. Este método de prueba consiste en utilizar electrones para formar una imagen, para lograr esto el equipo cuenta con dos dispositivos: filamento y detectores. El primero genera un haz de electrones para iluminar la muestra y posterior a ellos los detectores recogen los electrones generados con la interacción de la superficie para crear una imagen que refleje las características de la superficie del material. Además, adicionando a este método de prueba un detector de estado sólido, tiene la capacidad de realizar analizáis cualitativos y cuantitativos de los elementos presentes en la superficie del material por medio de la espectroscopia de energía

dispersiva (EDS). La señal que se estudia es al espectro de emisión de rayos X generado por el bombardeo electrónico, los cuales pueden ser utilizados para identificar los elementos presentes. De esta manera puedes obtener información de topografía y composición química en la misma área [89,90]. La figura 21, muestra un equipo de microscopía electrónica de barrido con espectroscopia de energía dispersiva.

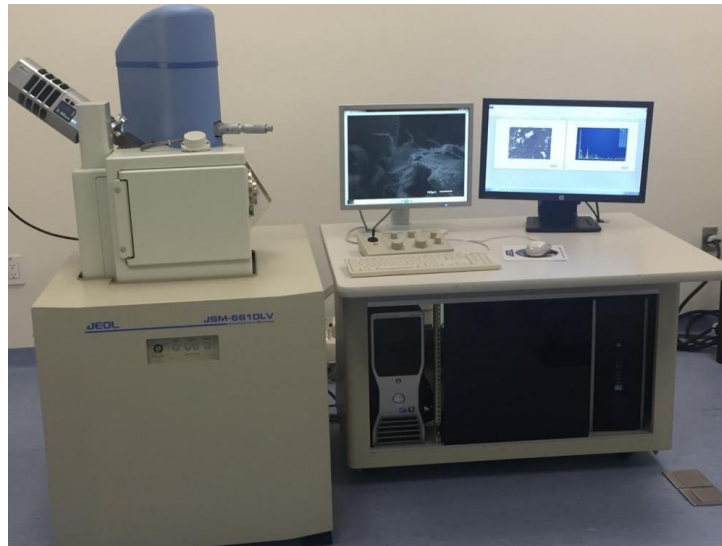


Figura 21. Equipo de microscopía electrónica de barrido JSM-6010LV.

4. Metodología

En este apartado se describe detalladamente el procedimiento que se siguió para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación. En la figura 22, se muestra el esquema de trabajo que se siguió en esta investigación.

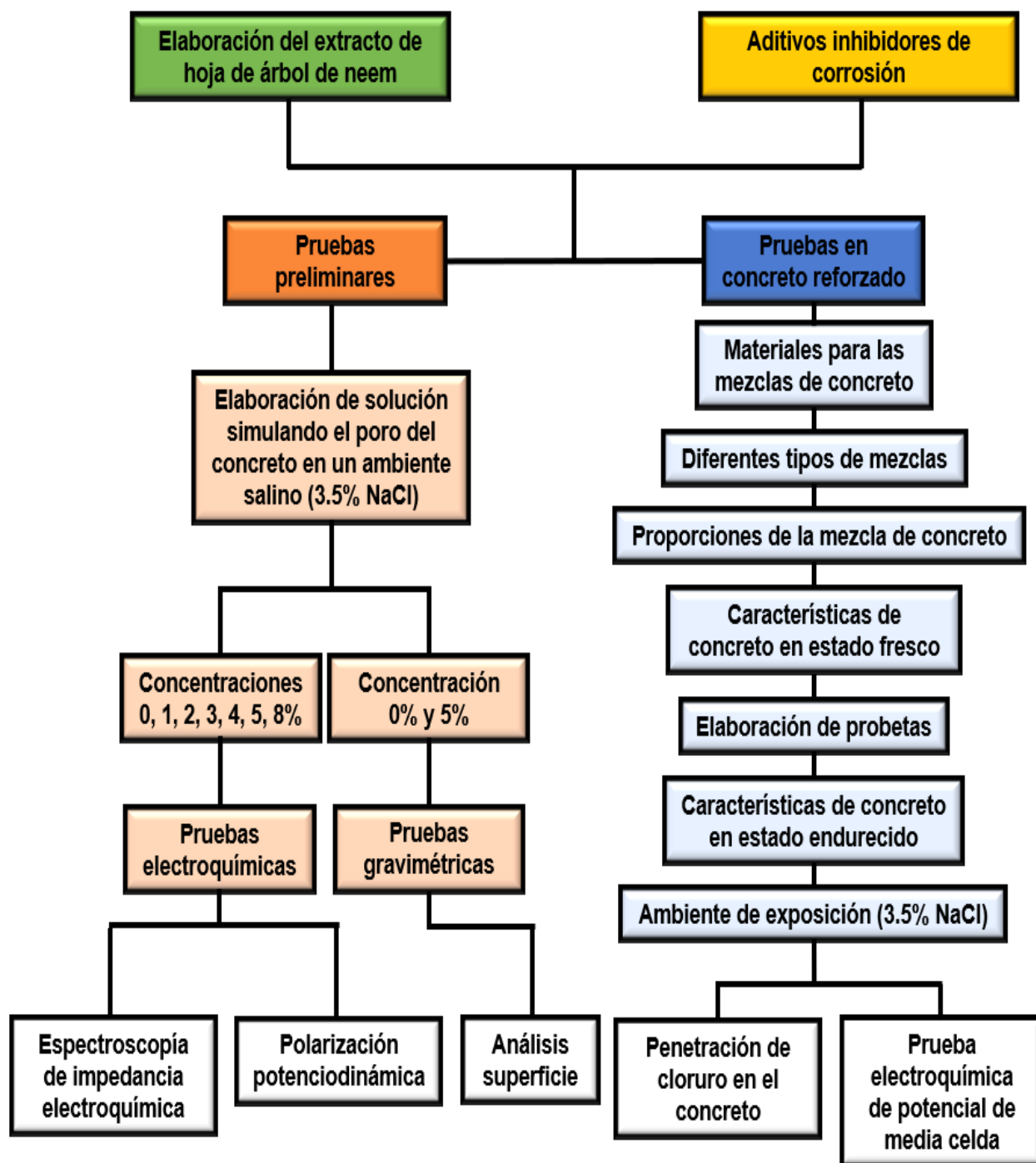


Figura 22. Esquema de trabajo de la investigación.

4.1. Elaboración del extracto de hoja de árbol de neem

Las hojas del árbol de neem (*Azadirachta indica*) utilizadas para la obtención del extracto, fueron tomadas de los árboles de neem ubicados en los jardines de las instalaciones del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Para la elaboración del extracto se utilizó 150 g de hoja limpia y 750 ml de agua destilada (Figura 23 y 24). El extracto se elaboró a temperatura de 25 °C.

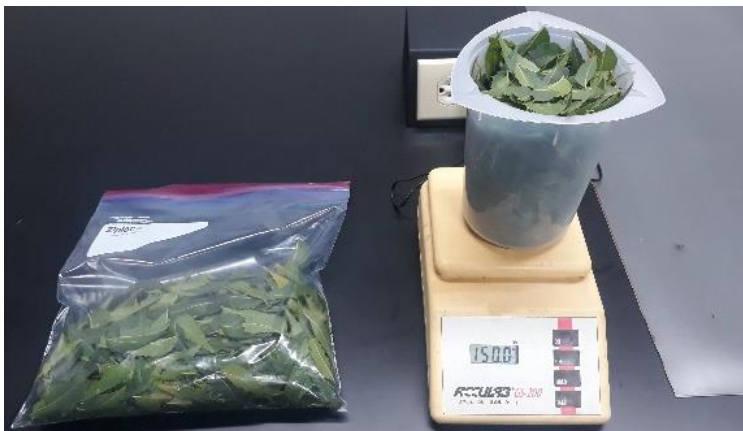


Figura 23. Medición de la muestra de hoja de neem.

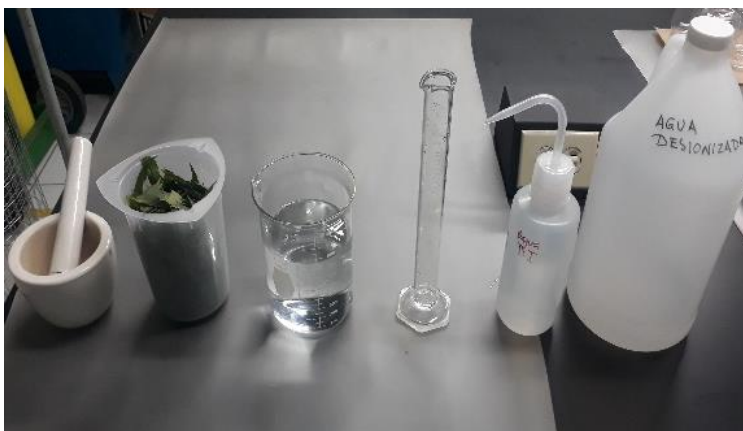


Figura 24. Material y equipo utilizado para la elaboración del extracto de hoja de neem.

El método utilizado para la obtención del extracto de hoja de neem fue maceración, es un proceso de extracción sólido-líquido, donde el producto sólido (la hoja) posee una serie de compuestos que son solubles en el solvente seleccionado, en este caso agua. La maceración consistió triturar las hojas (150 g) en un mortero con agua destilada (750 ml) en pequeñas cantidades para mayor eficiencia en la trituración, y después ponerlas a reposar durante 24 horas en agua destilada utilizada (Figura 25 y 26).



Figura 25. Maceración de hoja de neem con agua destilada.



Figura 26. Reposo de hoja macerada durante 24 horas.

Después del reposo, se utilizó un cedazo para filtrar las hojas del extracto, y después se utilizó papel filtro modelo 415 de la marca VWR para separar los residuos de hoja del extracto (Figura 27 y 28).



Figura 27. Filtrado del extracto con cedazo.



Figura 28. Filtrado del extracto con papel filtro.

El extracto final es de apariencia turbia con un color similar al té verde (Figura 29), este extracto se utilizó en todas las pruebas realizadas. Su almacenamiento se realizó en un refrigerador a 4 °C.



Figura 29. Extracto de hoja de neem.

4.2. Aditivos inhibidores de corrosión.

Dentro de los aditivos inhibidores de corrosión que se encuentran en el mercado son: Sika CNI y Eucon CIA. Estos son utilizados en la industria de la construcción para estructuras de concreto reforzado expuestas a ambientes salinos (Figura 30).



Figura 30. Aditivos inhibidores de corrosión: (a) Sika CNI y (b) Eucon CIA.

Estos aditivos contienen una solución al 30% de Nitrito de Calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$) en peso y aditivos pertenecientes a la fórmula industrial secreta, que se omite en las fichas técnicas [91,92]. Estos aditivos se caracterizan por ayudar a fortalecer la capa pasiva natural del acero generado por la alta alcalinidad del concreto y ser resistente al ataque de cloruros. La dosificación de estos aditivos se puede agregar con el agua de mezclado del concreto, también directamente en la mezcla de concreto fresco o al final del ciclo de mezclado. La mayoría de estos aditivos su dosificación está asociada con la concentración esperada de cloruros en el concreto (Tabla 8).

Tabla 8. Dosificación de aditivos inhibidores de corrosión vs. Ion cloruro [92].

Aditivo Inhibidor de corrosión (kg/m^3)	Concentración de Ion Cloruro (Kg/m^3)
12.9	3.6
19.2	5.9
25.7	7.7
32.1	8.9
38.6	9.5

4.3. Pruebas preliminares.

Para obtener información a corto plazo de la eficiencia y rendimiento de corrosión del extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión se evaluaron a diferentes concentraciones. Esta evaluación se realizó con pruebas electroquímicas en acero al carbono en una solución simulando el poro de concreto, además se le agrego 3.5% NaCl para simular el ambiente salino. Estas evaluaciones se complementaron con pruebas gravimétricas y análisis superficie.

4.3.1. Solución de poro de concreto.

Para las pruebas electroquímicas y gravimétricas, se preparó una solución simulando el poro del concreto en un ambiente salino [93]. Esta solución se preparó con una solución acuosa saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con un pH de 12-13. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ precipitado en la solución se filtró tres veces (Figuras 31 y 32).

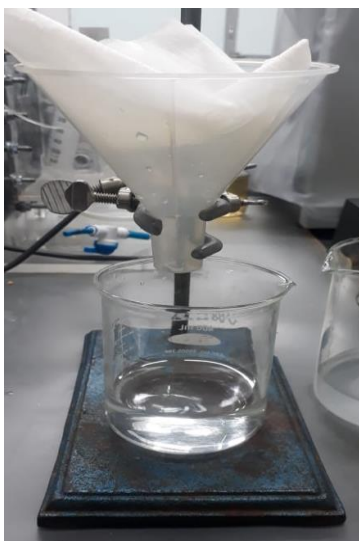


Figura 31. Filtrado de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ precipitado en la solución.



Figura 32. pH de solución final.

Posteriormente de obtener la solución de poro de concreto, se añadió a la solución NaCl al 3,5% w/w para simular la penetración de cloruros en el concreto (Ambiente salino). La solución se utilizó inmediatamente después de la preparación.

4.3.2. Concentraciones de extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión en solución de poro de concreto.

Las soluciones que se enlistan a continuación se prepararon para evaluar la eficiencia y rendimiento de corrosión del extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión en pruebas electroquímicas:

- Blanco (referencia) 0%;
- Extracto de hoja de neem (Neem), 1, 2, 3, 4, 5 y 8% w/w;
- Sika CNI, 1, 2, 3, 4, 5 y 8% w/w;
- Eucon CIA, 1, 2, 3, 4, 5 y 8% w/w.

Para las pruebas gravimétricas se utilizó el mismo electrolito con diferentes tiempos de inmersión (24, 168, 336, 504 y 696 horas) y se evaluó en una concentración del 5% w/w.

4.3.3. Pruebas electroquímicas.

Las mediciones electroquímicas se realizaron con un potenciostato CH Instruments 660C y un software de análisis (Estación de trabajo de electroquímica), además de una configuración de celda de tres electrodos utilizando electrodos cilíndricos de acero al carbono UNS G10180 con una superficie de 1 cm², como electrodo de trabajo, una malla de platino como contra electrodo y un electrodo de calomelano saturado (SCE) como el electrodo de referencia (Figuras 33 y 34).

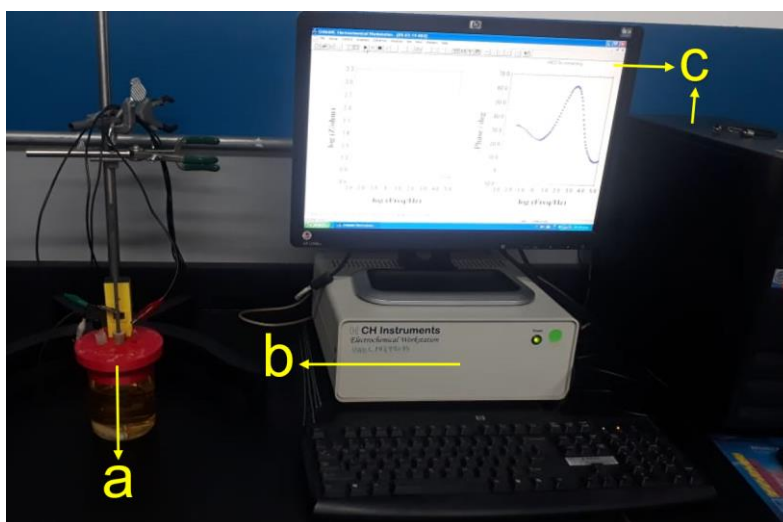


Figura 33. Potenciostato (a), software de análisis (b) y configuración de celda de tres electrodos (c).

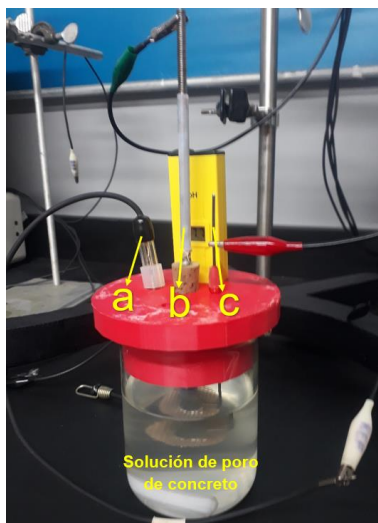


Figura 34. Configuración de celda de tres electrodos: (a) Electrodo de referencia, (b) Electrodo de trabajo, (c) contra electrodo.

Para la prueba espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS), la frecuencia de exploración fue de 100 kHz a 1 mHz con una amplitud de 10 mV y 6 puntos por década. En los experimentos de polarización potenciodinámica, la velocidad de exploración fue de 0,1 mV/s, y el rango de polarización fue de 1200 a 0 mV.

4.3.4. Pruebas gravimétricas.

Para la medición de las pruebas gravimétricas, se utilizaron cupones de acero al carbono de 14 mm de ancho y 21 mm de largo y 1,10 mm de espesor. Estos se prepararon de acuerdo con ASTM G31-72, luego se lavaron con un detergente suave, se desengrasaron con alcohol isopropílico y se secaron con aire caliente antes de guardarlas en un desecador hasta su uso (Figura 35). Las mediciones del peso inicial y final de cada cupón se tomaron con una balanza analítica de presión (Figura 36).



Figura 35. Cupones de acero.

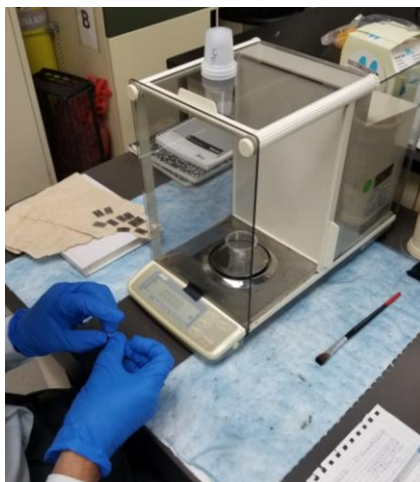


Figura 36. Peso inicial de cupones de acero.

Los cupones se sumergieron en la solución en diferentes tiempos (descrito en el punto 4.3.2) (Figura 37). Al final de la exposición, los cupones se retiraron y se lavaron con agua destilada.



Figura 37. Cupones sumergidos.

Una vez limpias, se secaron con aire caliente antes de medir los pesos. El peso se midió con una balanza analítica y el peso inicial se comparó con el peso final para obtener la velocidad de corrosión.

4.3.5. Análisis de superficie.

Para el análisis de superficie, se utilizaron los cupones de acero representativos de la prueba gravimétrica expuestos a 30 días (696 horas) se enjuagaron cuidadosamente con etanol manteniendo la integridad de la película de corrosión y se dejaron secar en

un desecador como pretratamiento para análisis de superficie (Figura 38). La superficie se analizó primeramente con microscopio óptico y posteriormente con micrografía SEM y EDS para un análisis más detallado. Además, la composición química de los productos de corrosión se caracterizó mediante análisis de diferentes puntos en la superficie.

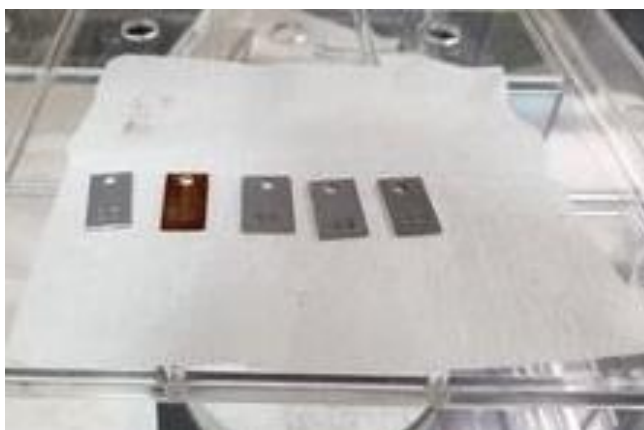


Figura 38. Cupones en desecador antes de análisis de superficie.

4.4. Pruebas en concreto reforzado.

Para obtener información de las características del concreto en estado fresco y endurecido con la adición del extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión, así como también la efectividad de inhibición en concreto reforzado en un ambiente salino. Se elaboraron diferentes mezclas de concretos con una relación a/c 0.65 (mayor porosidad relativa) a las cuales se evaluaron sus características en estado fresco y endurecido. De estas mezclas se elaboraron dos tipos de probetas cilíndricas (con y sin acero), a cuáles se expusieron a un ambiente salino simulado para realizar las distintas evaluaciones como: Penetración de cloruros y potencial de media celda (ASTM C 876).

4.4.1. Materiales para las mezclas de concreto.

Los materiales utilizados para la elaboración de las mezclas de concreto fueron: Cemento, Agua, Agregados y aditivos. Estos materiales se describen a continuación:

- **Cemento:** Se usó un Cemento Portland Compuesto de clase 40 (CPC 40) de la marca Holcim Apasco. Este cemento es elaborado en Hermosillo, Sonora, México, Cementos Holcim Apasco.

- **Agua:** Se utilizó un agua no potable obtenida de los canales de riego en la zona urbana de Mexicali, Baja California.
- **Agregados:** Se usaron dos tipos de agregado (Grueso y Fino) (Figura 39). Las características del a agregado grueso son: Grava de granito triturado (GT) y sementriturada (GS) de dos tamaños 25 mm y 10 mm. Por otra parte, las características del agregado fino son: Arena Natural (AN) que pasa a través de 4.75. Estos materiales son extraídos de las afueras de la zona urbana de Mexicali, Baja California.



Figura 39. Agregado grueso y fino utilizados: (a) AN, (b) GS y (c) GT.

- **Aditivos:** Para mejorar las propiedades de trabajabilidad del concreto, se utilizó el aditivo Sikament 792 (Figura 40) de la marca Sika, que se caracteriza por ser un reductor de agua de rango medio.



Figura 40. Aditivo Sikament 792.

Los materiales fueron analizados para su cumplimiento de acuerdo a las especificaciones de la Normativa Mexicana (NMX), las cuales se utilizan para la fabricación de concreto a nivel industrial. En la tabla 9, se muestra las normas utilizadas.

Tabla 9. Normativas Mexicanas (NMX)

Material	Clave de la Norma	Nombre
Cemento	NMX-C-414-ONNCCE-2017 [68]	Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Ensayo
Agua	NMX-C-122-ONNCCE-2019 [71]	Industria de la Construcción - Agua para Concreto - Especificaciones
Agregados	NMX-C-111-ONNCCE-2018 [69]	Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Ensayo
Aditivos	NMX-C-255-ONNCCE-2013 [72]	Industria de la Construcción - Aditivos Químicos Para Concreto - Especificaciones y Métodos de Ensayo.

4.4.2. Tipos de mezclas.

Para la evaluación de este estudio se elaboraron cuatro tipos de mezclas de concreto, una sin aditivo inhibidor de corrosión (Blanco), otra con extracto de neem (Neem) y dos más con los diferentes aditivos inhibidores de corrosión (Sika CNI y Eucon CIA). En la tabla 10, se muestra su identificación.

Tabla 10. Tipos de mezclas de concreto.

Mezcla	Composición
1	Blanco
2	Neem
3	Sika CNI
4	Eucon CIA

4.4.3. Proporciones de la mezcla de concreto.

Para el cálculo de las proporciones de los materiales de las mezclas de concreto, se utilizó una tabla de Microsoft Excel (Figura 41) para diseñar concretos con masa normar de acuerdo al método de masa y volumen absoluto, descrito por el comité del ACI [65].

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO									
Mezcla: 70300ND2010		fc = 300 kg/cm²		Revenimiento		10 ± 2.5		cm	
Material		Identificación		Densidad					
Cemento		Holcim CPC 40		3.00					
Adición 1				1.00					
Adición 2				1.00					
Arena 1		Herrera AN		2.60					
Arena 2				0.00					
Grava 1		Herrera GT		2.65					
Grava 2		Herrera GS		2.67					
Grava 3				2.64					
Aditivo 1		Sika Sikament 792		1.26					
Aditivo 2									
Material		Consumo		Prop. unit.					
		Kg/m3	l/m3						
Cemento		277	92	1.000					
Adición 1		0	0	0					
Adición 2		0	0	0		a/ctte.: 0.65			
Agua		180	180	0.65					
Vacíos		0	0	0					
Arena		643	247	2.322					
Grava		1275	480	4.603					
Suma		2375	1000						
Materiales		Cant. sss.							
Vol. mezcla, lts = 35		en kg							
Cemento		9.70							
Adición 1		0.00							
Adición 2		0.00							
Arena 1		22.51							
Arena 2		0.00							
Grava 1		31.15							
Grava 2		13.48							
Grava 3		0.00							
Agua		6.30							
Aditivo 1, ml/kg de ctte		53.3							
Aditivo 2, ml/kg de ctte		0							
Distribución Grava / Arena									
Arena 1		100 %				Arena		Pa, % = 34	
Arena 2		0 %							
Grava 1		70 %							
Grava 2		30 %				Grava		Pg, % = 66	
Grava 3		0 %							
Contenido de arena y grava (l/m3)									
Vag = 1000		- 272		272		= 728			
						Volumen arena:		247	
						Volumen grava:		480	
		Vol		Peso		Peso 34			
Arena 1		247		643					
Arena 2		0		0					
Grava 1:		336		890					
Grava 2:		144		385		66			
Grava 3:		0		0					
Suma:		728		1918					

Tabla 11. Proporciones de mezclas de concreto

Material	Característica	Unidad	Diseño Original por m ³				Cantidades de mezclado para 35 lts
			Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	
Cemento	CPC40	(kg)	277	277	277	277	9.70
Grava 1	GS	(kg)	385	385	385	385	13.48
Grava 2	GT	(kg)	890	890	890	890	31.15
Arena 1	AN	(kg)	643	643	643	643	22.51
Agua	Agua	(lt)	180	180	180	180	6.30
Aditivo 1	Sikament 792	(lt)	1.5	1.5	1.5	1.5	0.053
Aditivo 2	Neem	(lt)	-	10	-	-	0.347
Aditivo 3	Sika CNI	(lt)	-	-	10	-	0.347
Aditivo 4	Eucon CIA	(lt)	-	-	-	10	0.347



Figura 42. Bandeja horizontal de 50 litros.

4.4.4. Evaluación de características de concreto en estado fresco.

Para la evaluación de las características del concreto en estado fresco, se realizaron pruebas a las mezclas de concreto recién mezclado de acuerdo Normas Mexicanas (NMX). Las pruebas se describen a continuación:

- **Muestreo de concreto:** La muestra de concreto se tomó con un recipiente con capacidad mayor de 28 litros, en este caso fue una carretilla metálica con capacidad aproximada de 50 litros de acuerdo a la NMX-C-161-ONNCCE-2013 (Figura 43) [94].



Figura 43. Toma de muestra de concreto.

- **Temperatura del concreto:** El equipo utilizado para la medición de la temperatura del concreto, fue un termómetro digital con exactitud ± 0.5 °C con un rango de 0 °C a 50 °C y con capacidad de inmersión de 75mm. La medición se tomó dentro de los 2 y 5 minutos de acuerdo a la NMX-C-435-ONNCCE-2010 (Figura 44) [74].



Figura 44. Evaluación de temperatura de concreto en estado fresco.

- **Revenimiento del concreto:** De cada mezcla elaborada recién mezclada, se colocaron y compactaron tres capas utilizando una varilla en un molde conformado como un cono truncado. El molde se levantó, y permitió que el concreto descienda, después se midió la distancia vertical entre la posición original y la posición desplazada del centro de la cara superior. Esta medición se realizó con base a la NMX-C-156-ONNCCE-2010 (Figura 45) [73].



Figura 45. Medición de asentamiento de concreto en estado fresco.

- **Peso Unitario del concreto:** Se tomó una porción de concreto recién mezclado, se colocaron y compactaron tres capas utilizando una varilla y un mazo de goma en un recipiente cilíndrico, por último, se enrasó a altura máxima del recipiente. Para calcular la masa neta de concreto (M_c) en kilogramos con una balanza con precisión de 0.01 kg, se le restó masa del recipiente (M_m) y se dividió entre el volumen del recipiente (V_m) en metros cúbicos, para poder obtener la densidad (D) del concreto en kg/m^3 de acuerdo a la fórmula (1). Por otra parte, con la densidad se puede calcular el rendimiento relativo (R_y) del concreto, el cual nos indica el volumen real del concreto obtenido al volumen diseñado para cada mezcla, como se indica en las ecuaciones 3 y 4.

$$D = \left(\frac{M_c - M_m}{V_m} \right) \quad (3)$$

$$R_y = \frac{Y}{Y_d}, \quad Y(\text{m}^3) = \frac{M}{D} \quad (4)$$

Donde M , es masa total de todos los materiales de la mezcla (kg), D , es la densidad del concreto (kg/m^3), Y , es el volumen de concreto producido por mezcla (m^3) y Y_d , es el volumen de concreto para producir el cual fue diseñada la mezcla en este caso 0.035 m^3 . Estas mediciones se realizaron con base a la NMX-C-162-ONNCCE-2014 (Figura 46) [75].



Figura 46. Medición de peso de concreto en estado fresco.

- **Contenido de aire en el concreto:** Estos métodos de ensayo consisten en la evaluación del contenido de aire del concreto recién mezclado a partir de la observación del cambio de volumen del concreto por un cambio de presión. Después de medir el peso unitario del concreto, se utilizó un sistema de tapa con una cámara de aire vertical y un manómetro de porcentaje calibrado, con una graduación para un rango de al menos 8% al 0.1% de contenido de aire para calcular el contenido de aire. La medición y el equipo utilizado (tipo B) cumple de acuerdo a la NMX-C-157-ONNCCE-2006 (Figura 47) [76].



Figura 47. Evaluación de contenido de aire en concreto en estado fresco.

4.4.5. Elaboración de probetas.

Para la elaboración de los dos tipos de probetas con y sin acero (Figura 48) se elaboraron de acuerdo a la NMX-C-159-ONNCCE-2016 en cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de alto (Figura 49). Las probetas sin acero, solo contienen concreto y las probetas con acero, contienen dos barras de acero al carbono de 3/8" corrugado grado 60 como acero de refuerzo con un recubrimiento de concreto mínimo de 2.0 cm. Después de 24 horas de su elaboración se descimbraron y curaron a una temperatura de 23°C +/- 2.0 °C (Figura 50) [77].

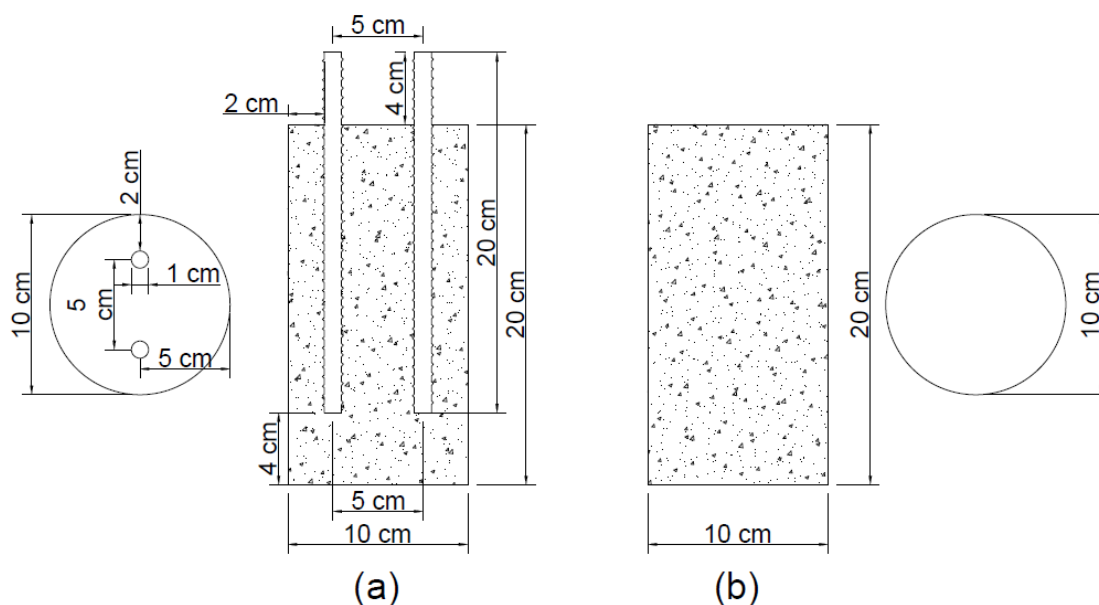


Figura 48. Esquema probetas: (a) con acero y (b) sin acero.



Figura 49. Elaboración de probetas.



Figura 50. Descimbrado de probetas.

4.4.6. Evaluación de características de concreto en estado endurecido.

En esta evaluación se utilizaron probetas sin acero, para evaluar su resistencia a la compresión con la formula (3) de acuerdo a la NMX-C-083-ONNCCE-2014 [78].

$$\text{Resistencia a la compresion} = \frac{C(kg)}{A(cm^2)} \quad (3)$$

Donde C, es la carga máxima alcanzada y registrada por la probeta en el equipo de ensaye (Figura 51) y A, es el área de la probeta. Esta evaluación se realizó a la edad de 7 y 28 días de acuerdo a NMX-C-159-ONNCCE-2016.



Figura 51. Evaluación de carga máxima en probeta de concreto.

4.4.7. Ambiente de exposición.

Para realizar las distintas evaluaciones de efectividad de inhibición de corrosión y penetración de cloruros en el concreto reforzado con extracto de hoja neem y los inhibidores de corrosión, se expusieron probetas cilíndricas con y sin acero a un ambiente salino simulado, para el cual se elaboró una solución acuosa de 3.5% NaCl (Figura 52).



Figura 52. Solución de 3.5% NaCl.

El tiempo de exposición de las probetas fue de 182 días después de los 28 días de curado inicial de las probetas (Figura 53). Durante este tiempo las probetas se sometieron a 91 ciclos de inmersión parcial y secado de 48 horas para obtener resultados a corto plazo.



Figura 53. Exposición de probetas ambiente salino (3.5% NaCl).

4.4.8. Evaluación de penetración de cloruro en el concreto.

La evaluación de la penetración de cloruros en el concreto de las diferentes mezclas, se utilizó el método colorimétrico de acuerdo a la ASTM C 1202/05 [95]. Esta evaluación se realizó después de la exposición de las probetas sin acero a los 45 (91 días) y 91 (182 días) ciclos de inmersión parcial y secado, donde se procedió a realizar un corte en seco de 4 cm aproximados en la capa base de la probeta (encofrado), como se muestra en la figura 54.

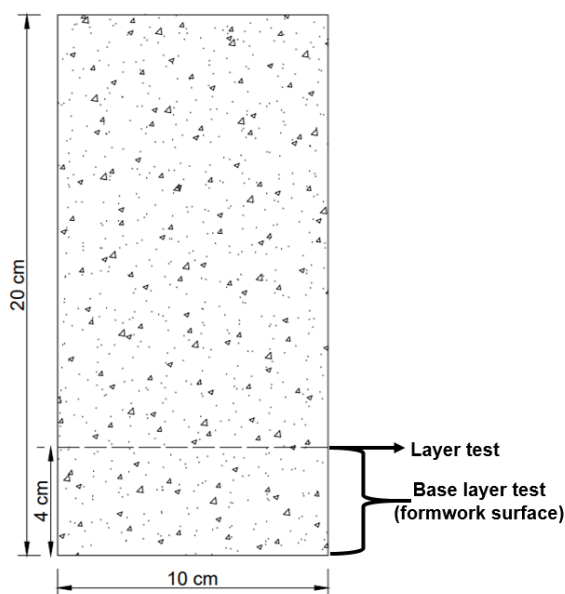


Figura 54. Corte de la probeta.

Posterior al corte, se aplicó la solución acuosa de nitrito de plata (AgNO_3) 0.1 N sobre la superficie del concreto recién cortado y se midió la profundidad de penetración de cloruros. Esto es posible porque este procedimiento provoca la formación de una región blanca y una región marrón. La región blanca se debe a la presencia de cloruro de plata (AgCl) que indica una zona con presencia de cloruros que penetran en el concreto (cloruros libres y solubles en agua) y la región marrón corresponde a la zona sin cloruros (Figura 55). Posterior se realizó un levantamiento con cinta métrica, para medir la profundidad de cloruros libres en cuatro diferentes puntos de la muestra debido a que la penetración del cloruro no es uniforme y debe calcularse el promedio de distancias [96].



Figura 55. Aplicación de método colorimétrico.

4.4.9. Medición electroquímica de potencial de media celda.

Para la evaluación se utilizó como guía la ASTM C 876, donde se utilizó la probeta con acero y un multímetro digital marca Fluke 77 IV con rango de 6.000 V a 1000 V, resolución de 0.1 mV y precisión de $\pm 0.3\%$, también, se utilizó un electrodo de referencia de Cobre/Sulfato de Cobre (Cu/CuSO_4) marca M. C. Miller RE-5 y un electrodo de trabajo (acero de refuerzo de probeta). El electrodo de referencia se colocó en la superficie de concreto con una esponja húmeda para un pre-humedecimiento de la superficie. La conexión al electrodo de referencia fue la terminal negativa del multímetro, posterior se conecta la terminal positiva al electrodo de trabajo (aceros de refuerzo) [80]. La figura 56, muestra el montaje de la medición del potencial eléctrico en la superficie de concreto.

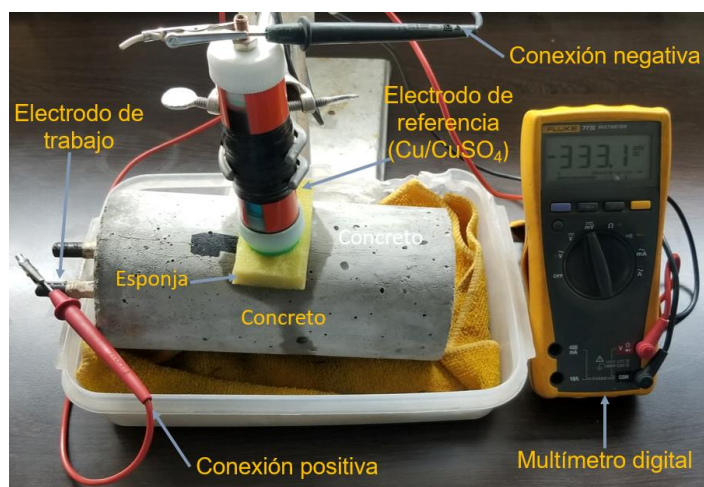


Figura 56. Instalación para la medición del potencial de media celda.

El registro de los resultados de la medición de potencial eléctrico de media celda se tomó con una presión de 0.001 V. Esta evaluación se realizó en periodos 7 días durante la exposición de las probetas con acero en los 91 ciclos de inmersión parcial y secado. Los resultados, se compararon con los criterios de Stratful (Tabla 7).

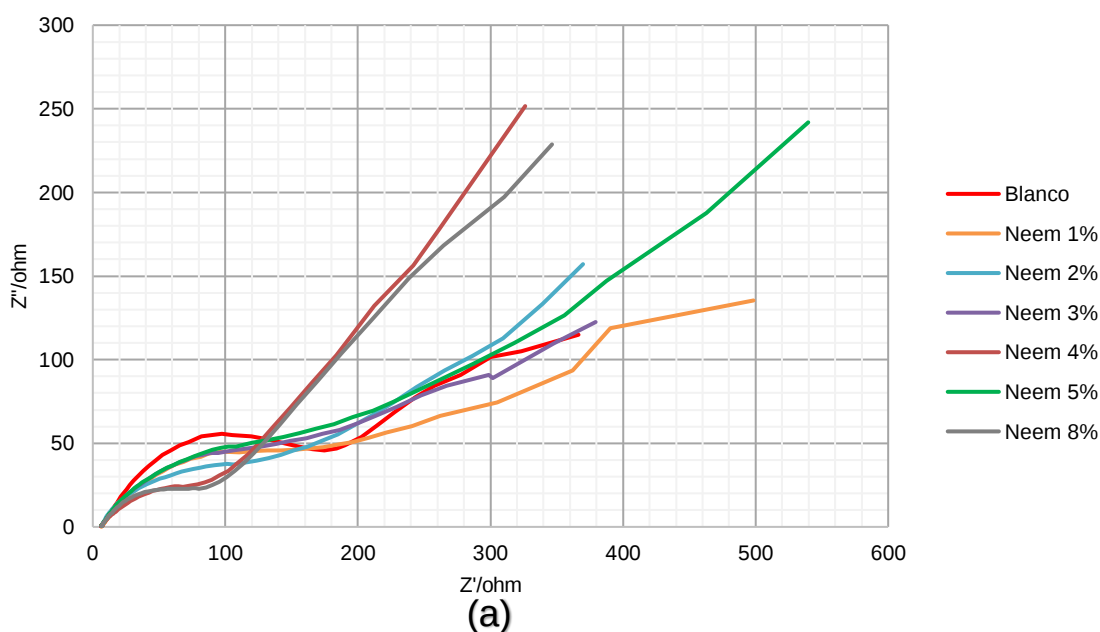
5. Resultados y discusiones

En este apartado se muestran las gráficas y tablas de los resultados obtenidos de las pruebas preliminares y las pruebas en concreto reforzado, así como también una discusión de los resultados.

5.1. Resultados de pruebas preliminares.

5.1.1. Pruebas electroquímicas.

Dentro de las pruebas electroquímicas se obtuvieron resultados de espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) y polarización potenciodinámica. En la figura 57, muestra los gráficos de Nyquist y los gráficos de polarización potenciodinámica con las diferentes concentraciones del extracto de hoja de neem y los inhibidores de corrosión evaluados (Sika CNI y Eucon CIA) en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 3.5% w/w de NaCl. En las gráficas de la figura 57 (a, b y c), se observa que la forma de las gráficas muestra dos constantes de tiempo, el primer semicírculo deprimido a altas frecuencias y una línea incompleta a frecuencias bajas e intermedias para todos.



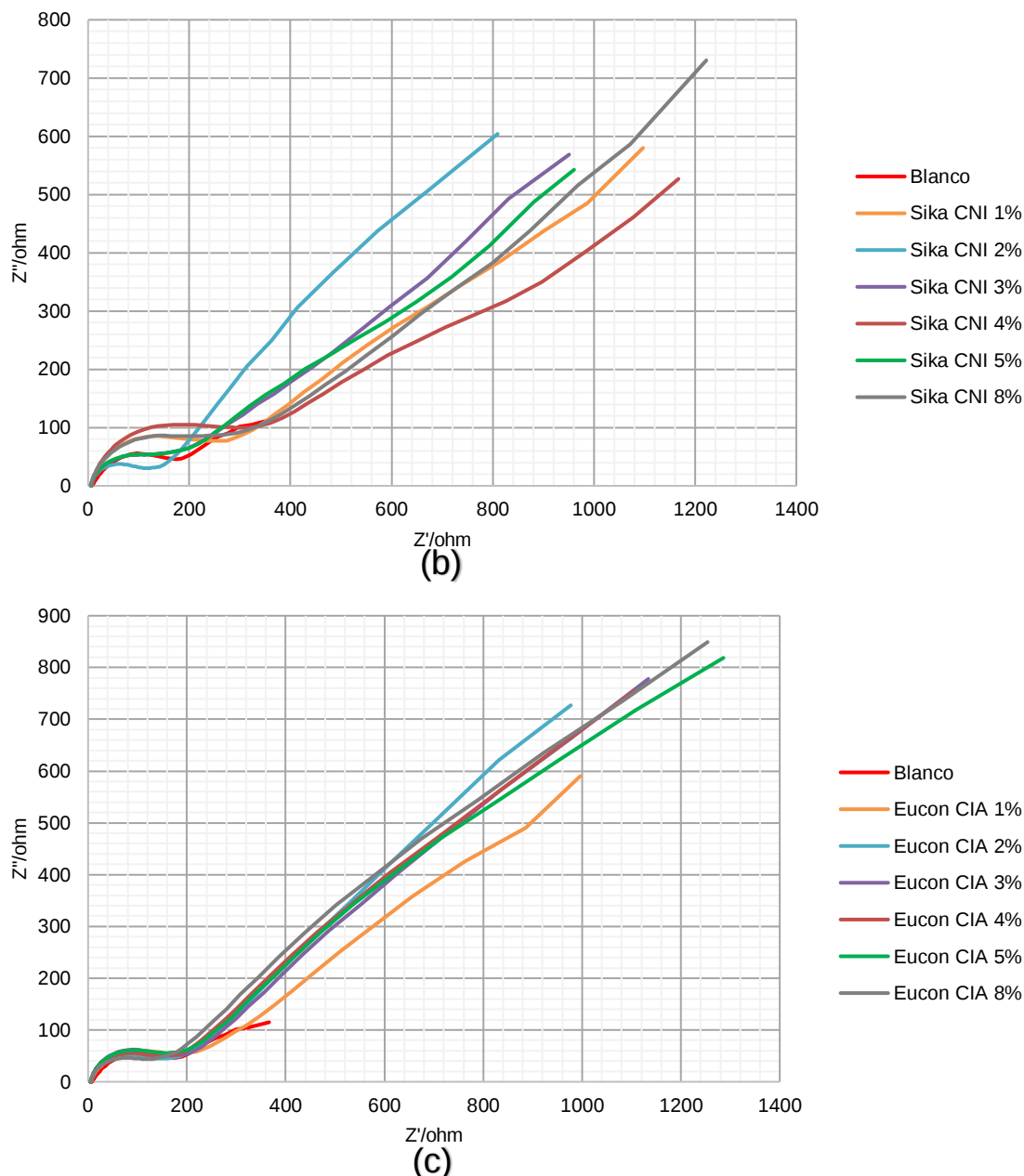


Figura 57. Gráfico de Nyquist de acero en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 3.5% w/w de NaCl a diferentes concentraciones del extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión: (a) Extracto de hoja de neem, (b) Sika CNI y (c) Eucon CIA.

En las altas frecuencias el semicírculo deprimido, se observa en el extracto de hoja de neem en un rango de 80 a 120 ohm en sus diferentes concentraciones, seguida del blanco en 180 ohm y por último los aditivos inhibidores de corrosión en 200 ohm. Este semicírculo deprimido, sugiere rugosidad en la superficie de la muestra por una capa de óxido.

Por otro lado, en las bajas frecuencias se observa una la línea que tiende a crear un semicírculo, pero esto está incompleto. El proceso de difusión controlada puede explicar este comportamiento que se atribuye al transporte de oxígeno a través del electrolito. Otro aspecto que se observa en las bajas frecuencias es el aumento de la resistencia a la trasferencia de carga en la solución, el cual describe un desplazamiento gradual de la molécula de agua por las moléculas inhibidoras a través de la adsorción en la superficie. Mencionado lo anterior, el extracto de hoja de neem presento mayor aumento de la resistencia a la trasferencia de carga en la concentración del 5% y los aditivos inhibidores de corrosión Sika CNI y Eucon CIA lo presentaron en la concentración de 4% y 8% respectivamente.

Estos resultados de altas y bajas frecuencias muestran que el extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión muestran un efecto inhibidor en presencia de iones cloruro con respecto al blanco. Sin embargo, haciendo una comparación de la concentración de 5% del extracto de hoja de neem contra los aditivos inhibidores de corrosión (Figura 58) estos últimos presentan un mayor aumento de la resistencia a la trasferencia de carga en la solución, quedando por debajo el extracto de hoja de neem.

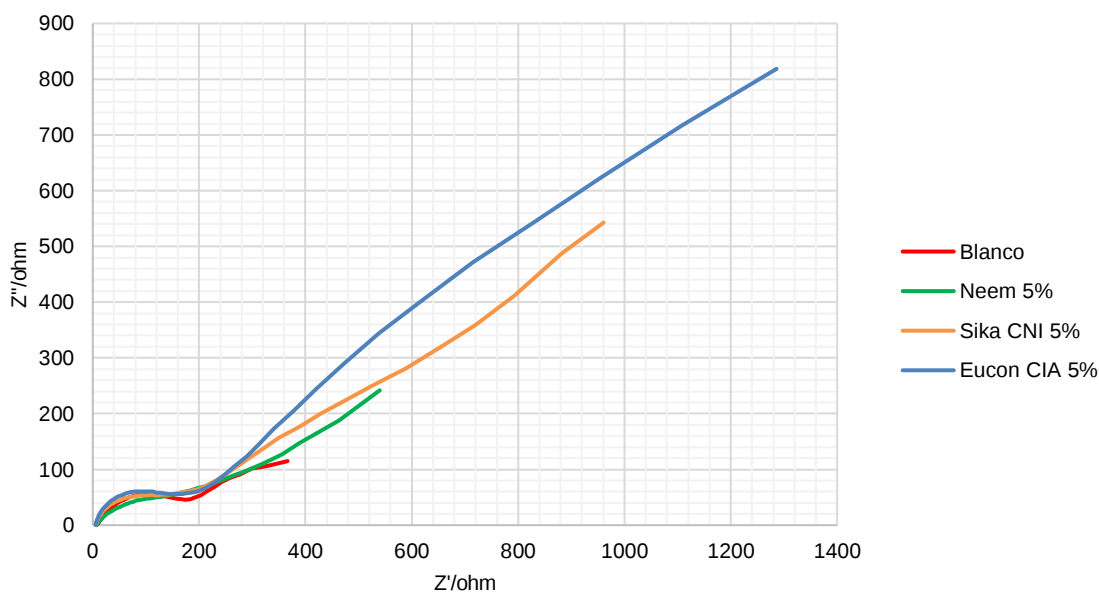
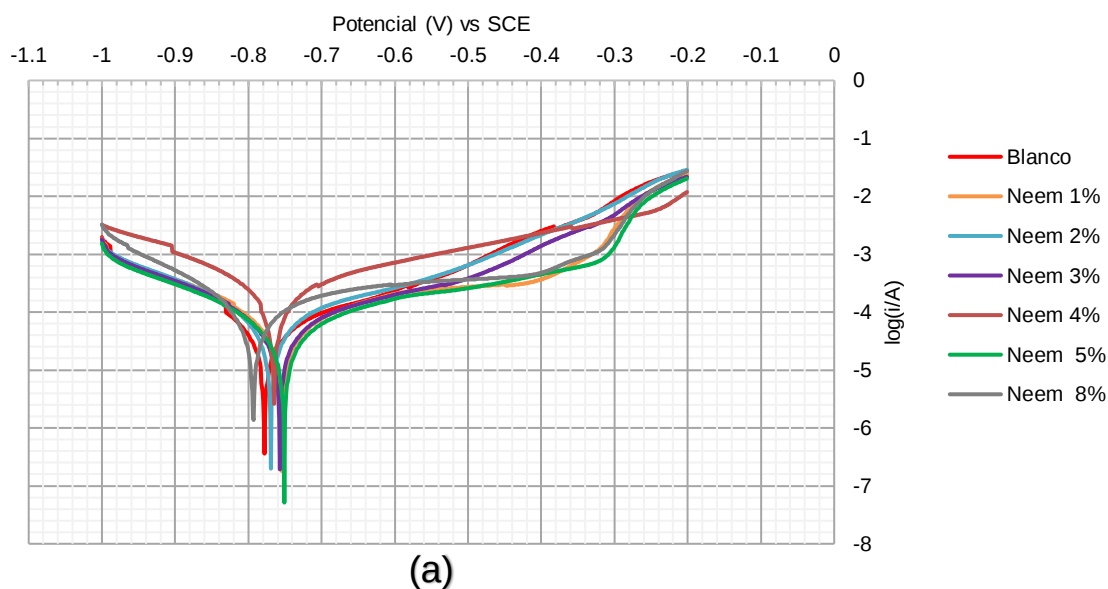


Figura 58. Gráfico de Nyquist de acero en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 3.5% w/w de NaCl en concentración del 5% del extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión.

Por otra parte, con los gráficos de polarización potenciodinámica ilustran el mecanismo de reacciones parciales anódicas y catódicas y el efecto de inhibición. En la figura 59 (a, b y c), se observa que hay un desplazamiento del potencial de corrosión hacia un cambio positivo y una disminución de la corriente de corrosión en presencia del extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión comparándolos contra el blanco. Esto indica que existe una absorción de moléculas inhibidoras que disminuyen a medida que se agrega las concentraciones del extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión validando la protección de una fina película protectora sobre la superficie del metal [97]. Otro aspecto, que se puede observar en las gráficas con el desplazamiento de potencial es el tipo de mecanismo de inhibición que presentan donde los aditivos inhibidores de corrosión muestran un mecanismo de inhibición anódico en la superficie del metal, confirmando el mecanismo de acción de los inhibidores inorgánicos de nitrito de calcio [29]. Por otro lado, con el desplazamiento del extracto de neem en sus potenciales, se pudiera considerar que presenta un mecanismo de acción mixto en la superficie del metal [98].



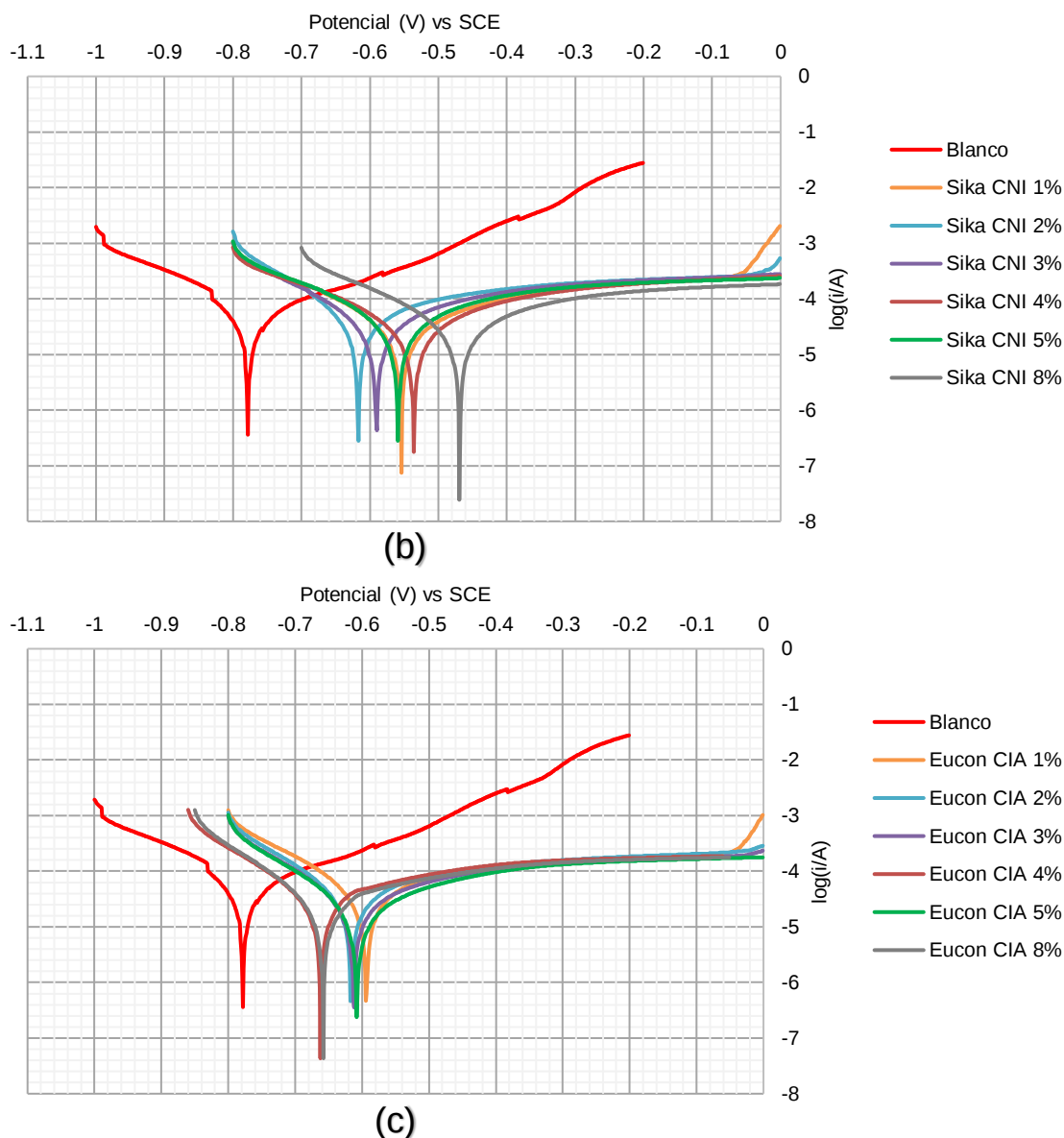


Figura 59. Gráficos de curva polarización potenciodinámica de acero en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 3.5% w/w de NaCl a diferentes concentraciones del extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión: (a) Extracto de hoja de neem, (b) Sika CNI y (c) Eucon CIA.

Esta protección en el extracto de hoja de neem se observa en las concentraciones 1%, 3% y 5% y en los aditivos inhibidores de corrosión en todas sus concentraciones evaluadas. Validando esta protección la tabla 12, se muestra resultados los parámetros cinéticos de la corrosión de las gráficas de polarización potenciodinámica, los cuales ayudan a calcular la eficiencia de inhibición del extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión en todas las concentraciones evaluadas, esta eficiencia de

inhibición muestran un resultado favorable para las concentraciones de 1%, 3% y 5% de extracto de hoja de neem dando la eficiencia más alta en la concentración de 5% con 31.7% de eficiencia. Además, los aditivos inhibidores de corrosión Sika CNI y Eucon CIA muestran un resultado favorable en todas sus concentraciones, dando la eficiencia más alta de 61.2% con 4% de concentración de Sika CNI y 71.87% con 5% de concentración de Eucon CIA.

Tabla 12. Parámetros de polarización obtenidos mediante gráficos potenciodinámicos con y sin concentraciones de inhibidor.

Concentración (%)	E _{corr} (V vs SCE)	β_a (mV/dec)	β_c (mV/dec)	i _{corr} (μA)	CR (mm/año)	Eficiencia (%)
Neem						
0	-0.778	4.285	5.379	0.00007937	46.46	-----
1	-0.754	4.447	6.126	0.00006894	40.36	13.1
2	-0.769	4.160	6.182	0.00008259	48.34	-4.0
3	-0.757	4.243	6.419	0.00006471	37.88	18.5
4	-0.765	4.651	5.633	0.00024410	143.00	-207.8
5	-0.751	4.404	6.387	0.00005422	31.74	31.7
8	-0.793	3.555	6.986	0.00012230	71.59	-54.1
Sika CNI						
0	-0.778	4.285	5.379	0.00007937	46.46	-----
1	-0.554	4.387	6.555	0.00003229	18.9	59.32
2	-0.617	3.759	7.78	0.00004778	27.97	39.80
3	-0.590	4.257	6.905	0.00003562	20.85	55.12
4	-0.536	4.584	6.148	0.00003081	18.04	61.17
5	-0.559	4.392	6.353	0.00003696	21.63	53.44
8	-0.469	4.248	6.321	0.00003329	19.48	58.07
Eucon CIA						
0	-0.778	4.285	5.379	0.00007937	46.46	-----
1	-0.594	3.766	7.052	0.00004286	25.09	46.00
2	-0.617	3.859	7.522	0.00004009	23.47	49.48
3	-0.612	3.988	7.492	0.00002965	17.36	62.63
4	-0.662	2.932	7.806	0.00003542	20.73	55.38
5	-0.608	4.541	7.495	0.00002232	13.07	71.87
8	-0.658	3.011	8.278	0.00002954	17.29	62.79

Con lo antes mencionado y haciendo una comparación en la evaluación de la concentración del %5 del extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión (Figura 60). Estos últimos muestran el desplazamiento hacia un cambio más positivo del potencial de corrosión, así como también las corrientes de corrosión más bajas con respecto al blanco, por esta razón muestra un resultado más favorable en la eficiencia de inhibición que el extracto de hoja de neem.

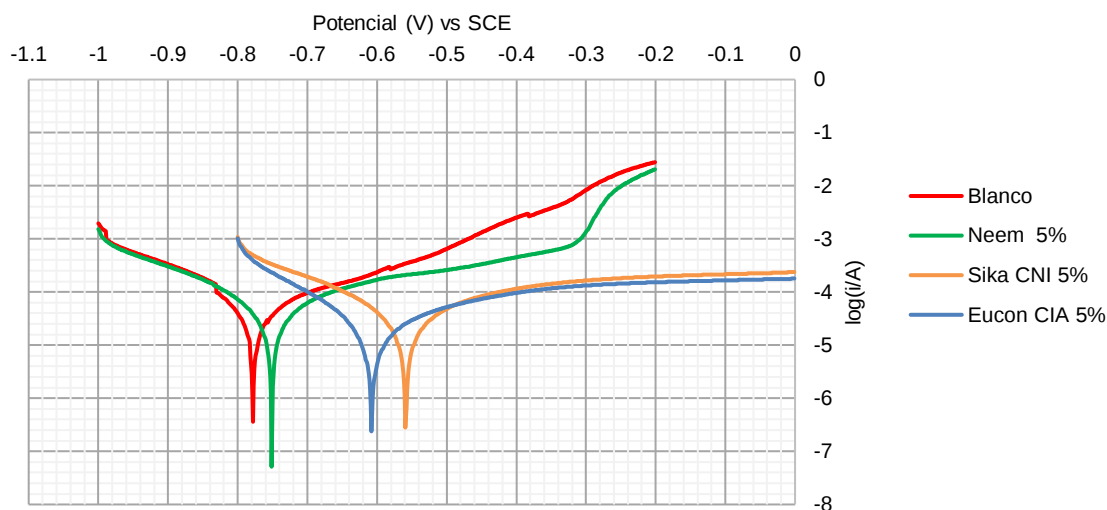


Figura 60. Gráficos de curvas de polarización potencio dinámica de acero en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 3.5% w/w en concentración del 5% del extracto de hoja de neem y aditivos inhibidores de corrosión.

5.1.2. Pruebas gravimétricas.

Para complementar la eficiencia de inhibición obtenida en las pruebas electroquímicas del extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión se evaluó la eficiencia de inhibición en pruebas de pérdida de peso considerando la concentración del 5% (eficiencia de inhibición más alta del extracto de hoja de neem) en la solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 3.5% w/w de NaCl con diferentes tiempos de inmersión. Los resultados de cada evaluación en los diferentes tiempos de inmersión se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Resultados de pérdida de peso, velocidad de corrosión y eficiencia al variar el tiempo de inmersión con una concentración de inhibidor del 5%.

Tiempo (h)	Masa perdida (mg)	CR (mm/año)	Eficiencia (%)
Blanco			
24	0.90	73.31	-----
168	6.75	76.02	-----
336	12.60	70.66	-----
504	18.70	74.04	-----
696	27.23	78.28	-----
Neem			
24	0.90	72.63	0.93
168	4.60	54.20	28.70
336	5.40	32.13	54.52
504	9.85	40.29	45.59
696	12.90	38.18	51.22

Sika CNI			
24	0.00	0.00	100.00
168	0.25	3.19	95.81
336	-0.10	-0.64	100.00
504	0.10	0.43	99.42
696	0.60	1.66	97.88
Eucon CIA			
24	0.15	11.12	84.83
168	0.65	7.20	90.54
336	0.25	1.33	98.12
504	0.05	0.20	99.73
696	0.20	0.54	99.31

En la figura 61, muestra los resultados graficados de pérdida de masa con respecto al tiempo para cada tiempo de inmersión.

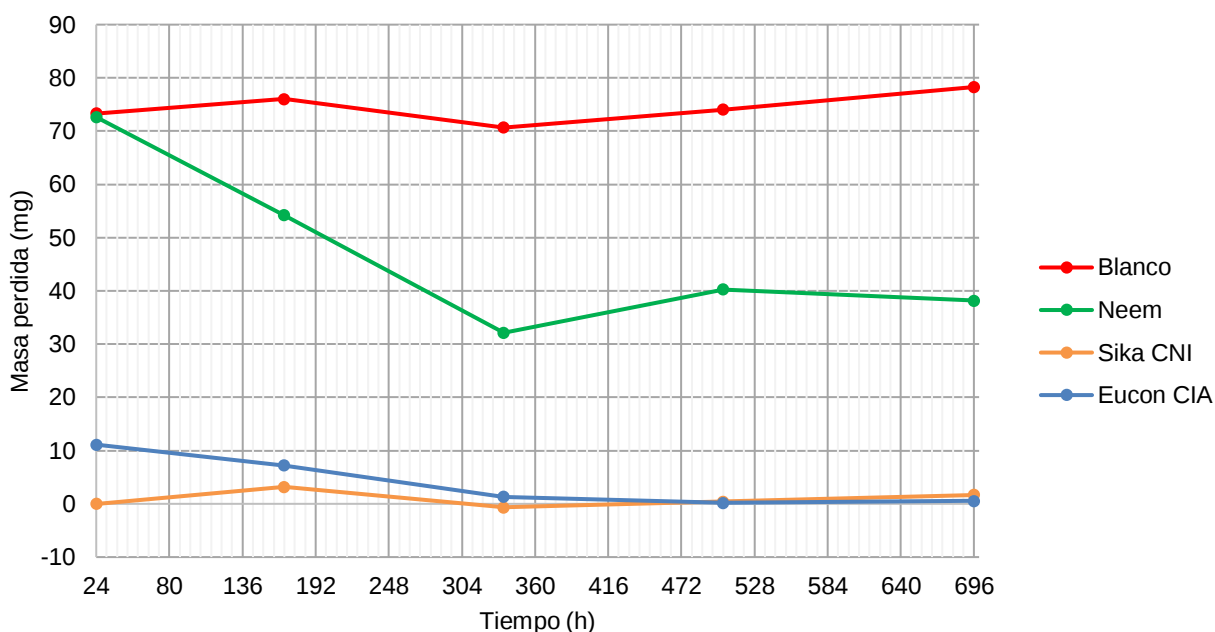


Figura 61. Grafica de pérdida de masa vs tiempo.

Del mismo modo las muestras sumergidas en la solución con la adición del extracto de hoja de neem mostraron una pérdida de peso de similar al blanco en las primeras 24 h, sin embargo, en los demás tiempos de inmersión mostraron una pérdida de peso menor al blanco, resultando en la última evaluación (inmersión de 696 h) una disminución de la velocidad de corrosión por debajo de 40 mm/año.

Por otro lado, las muestras sumergidas en la solución con la adición de los aditivos inhibidores corrosión mostraron pérdida de peso por debajo de 0.16 mg en las primeras 24 h cinco veces menos que el extracto de hoja de neem. Otro aspecto que se muestra

en la gráfica que estos aditivos inhibidores de corrosión muestran una pérdida de peso menor a 0.60 mg en todas sus evaluaciones, resultando una velocidad de corrosión por debajo a las del extracto de hoja de neem.

Con los resultados obtenidos de la de velocidad de corrosión del blanco, el extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión se calculó la eficiencia de inhibición para cada tiempo de inmersión (Figura 62), donde muestra un aumento en la eficiencia del extracto de hoja de neem por encima del 50% a 696 h de inmersión. Sin embargo, la eficiencia de corrosión sigue siendo más alta para los aditivos inhibidores de corrosión por arriba del 95% a 696 h de inmersión corroborando una mayor eficiencia para estos últimos.

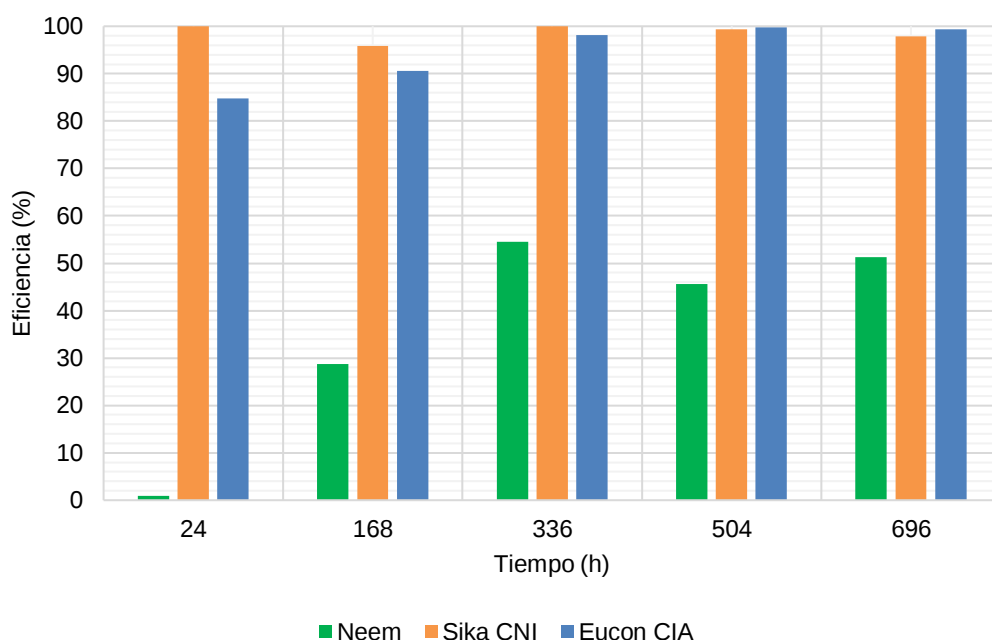


Figura 62. Grafica de eficiencia de inhibición de corrosión vs tiempo.

5.1.3. Análisis de superficie.

Dentro de los análisis de la superficie de los cupones de acero que se evaluaron, se realizó un análisis preliminar con microscopio óptico a 500x a los cupones de acero sometidos a los diferentes tiempos de inmersión (Figura 63). Lo primero que podemos ver en esta figura 63, es la agresividad del medio de exposición a un tiempo de 696 horas observando el cupón blanco, el cual presenta un deterioro en la superficie del metal con una topografía en granos, validando este deterioro con las pruebas gravimétricas. Otro aspecto que se observa es la incorporación de una capa oscura en

el cupon expuestos a 696 horas en la solución con el extracto de neem, la cual pudo ayudar a la disminución de la velocidad de corrosión en la superficie del metal [99]. Por último, se observa que los cupones expuestos en la solución con los aditivos inhibidores de corrosión muestran una superficie con líneas, la cual se puede deber por lo provocado con el papel de SiC, indicándonos el poco deterioro de la superficie metal, esto nos puede indicar el potencial que tienen los aditivos inhibidores de corrosión.

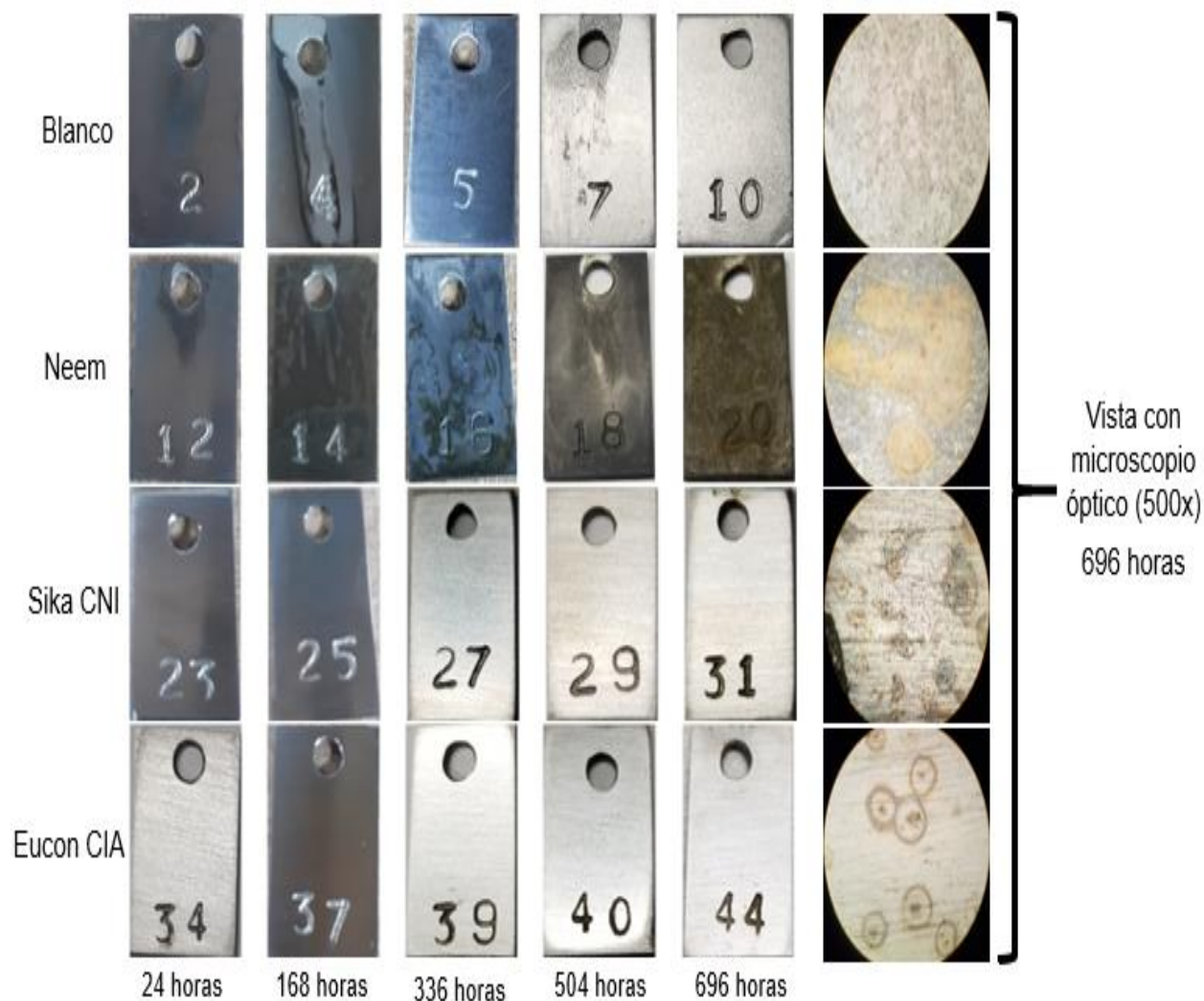


Figura 63. Cupones evaluados y vista con microscopio óptico a 696 horas.

Por otra parte, para hacer un análisis más detallado de lo que sucedió en la superficie las imágenes SEM (Figura 64) muestran las micrografías de las muestras de 696 horas de inmersión, estas imágenes revelan productos en la superficie del extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión.

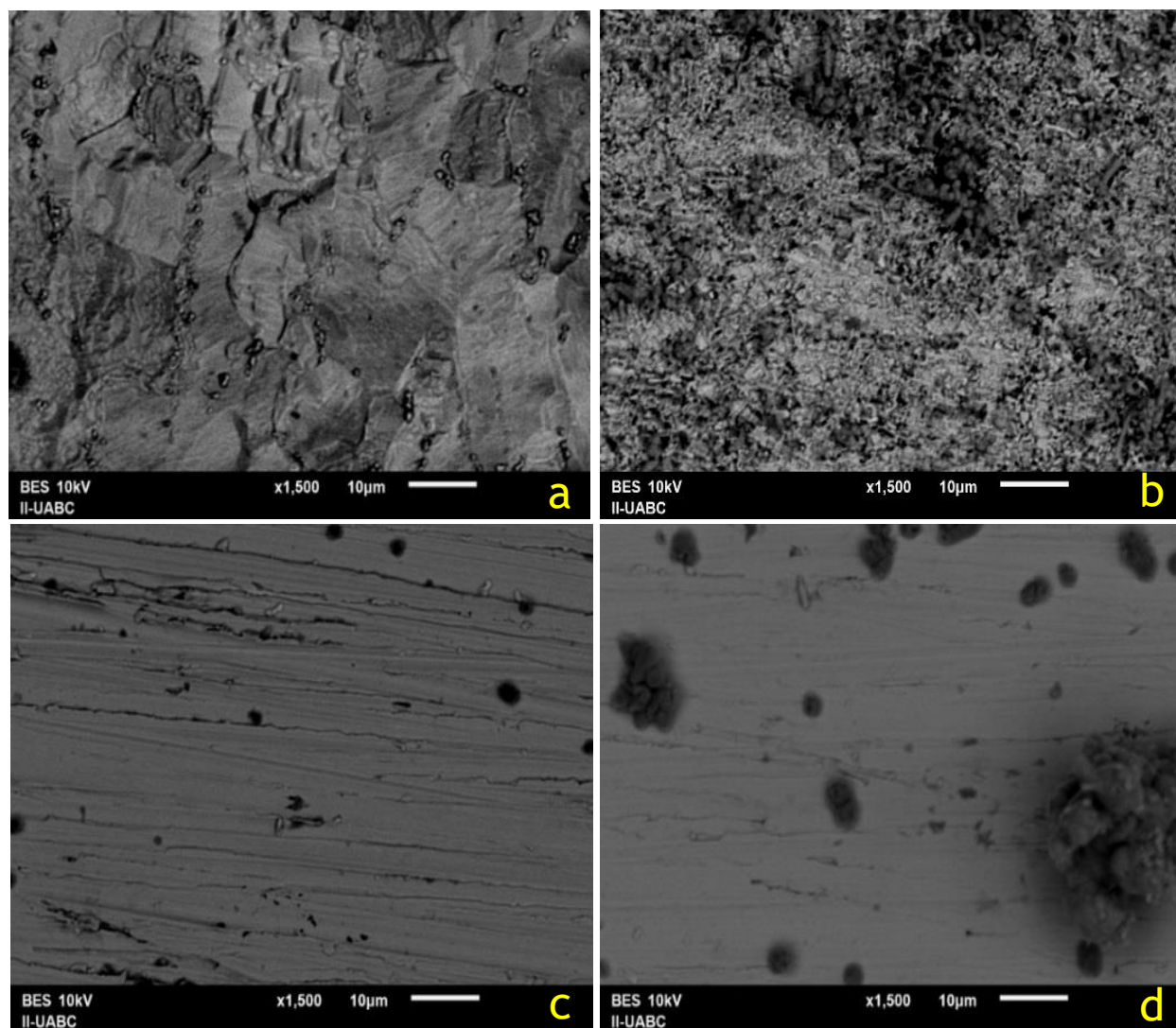


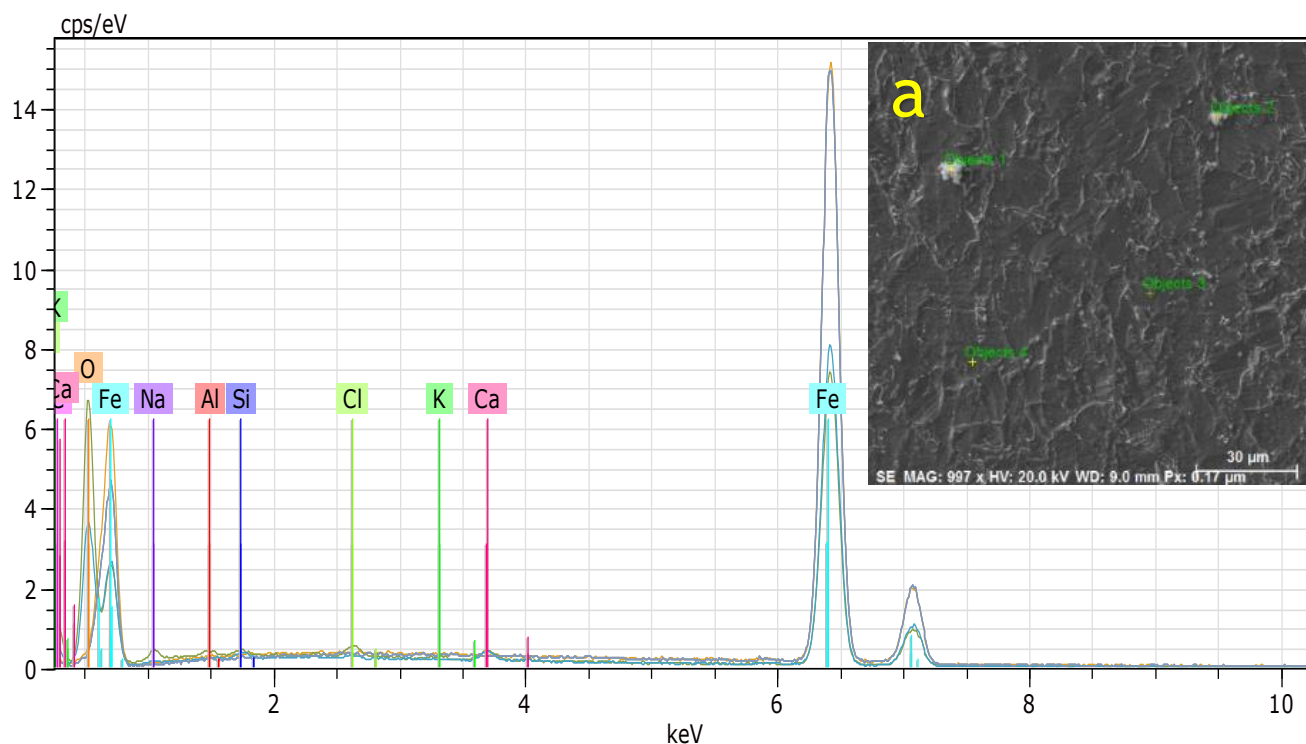
Figura 64. Micrografías SEM 1500X de acero con Neem y diferentes inhibidores en concentración al 5% después de 696 h de exposición en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 3,5% w/w de NaCl: (a) Blanco, (b) Neem, (c) Sika BNI y (d) Eucon CIA.

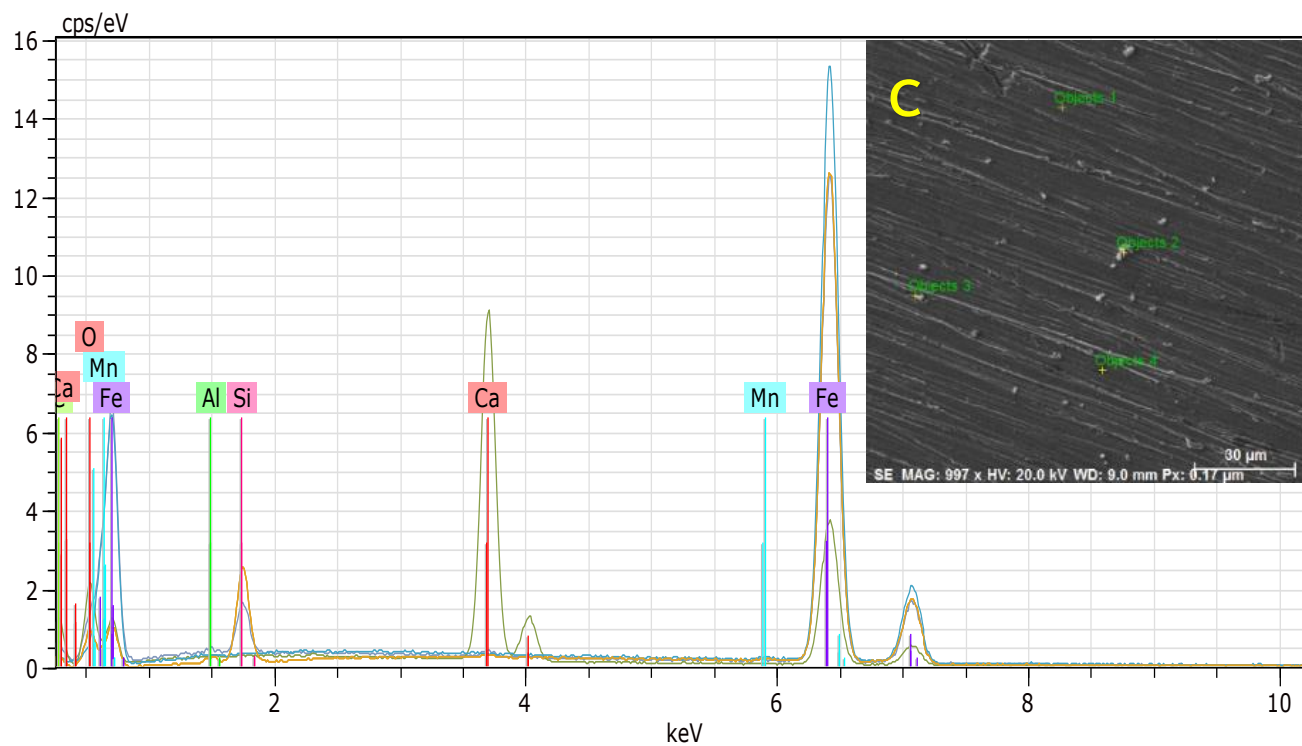
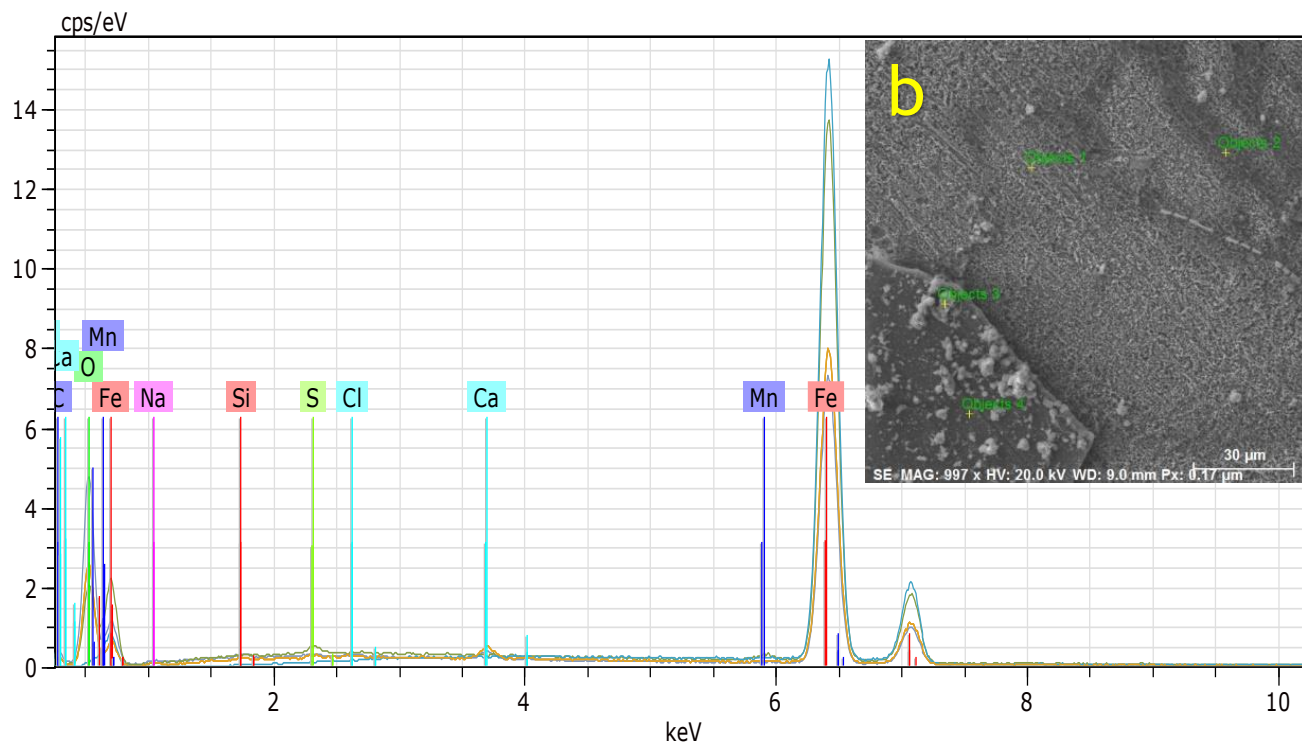
La figura 64 (a), muestra la superficie del blanco donde se observa que predomina una topografía accidentada, producto de la agresiva corrosión. La superficie terminó con la eliminación de material del metal. Este resultado confirma la agresividad de la solución sobre el acero.

La figura 64 (b), muestra el efecto del extracto de hoja de neem en la superficie del acero, donde se puede ver un producto uniforme sobre toda la superficie mostrando una superficie poco accidentada con respecto al blanco, debido a que no se muestra la línea provocada por el papel de SiC final utilizado.

La Figura 64 (c y d) presenta el efecto de los aditivos inhibidores de corrosión sobre el acero. Por un lado, el sustrato se observa intacto con líneas provocadas por el papel de SiC final utilizado. Por otro lado, la figura 64 (c) muestra manchas negras en la superficie y la figura 64 (d) contiene algunos productos de corrosión adheridos. Después de remover estos productos, muestra la presencia de pequeñas cavidades. Con lo antes observado en las figuras 64 (b, c y d) muestra evidencia de una película protectora sobre la superficie del metal que apoya los hallazgos que sugieren los resultados de las pruebas electroquímicas de la presencia de una capa en la superficie del metal con la adición del extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión.

Por otra parte, en el análisis EDS (Figura 65) presenta las imágenes 997X SEM, donde se seleccionaron diferentes puntos para analizar la composición de la muestra con el fin de comprender si existe corrosión.





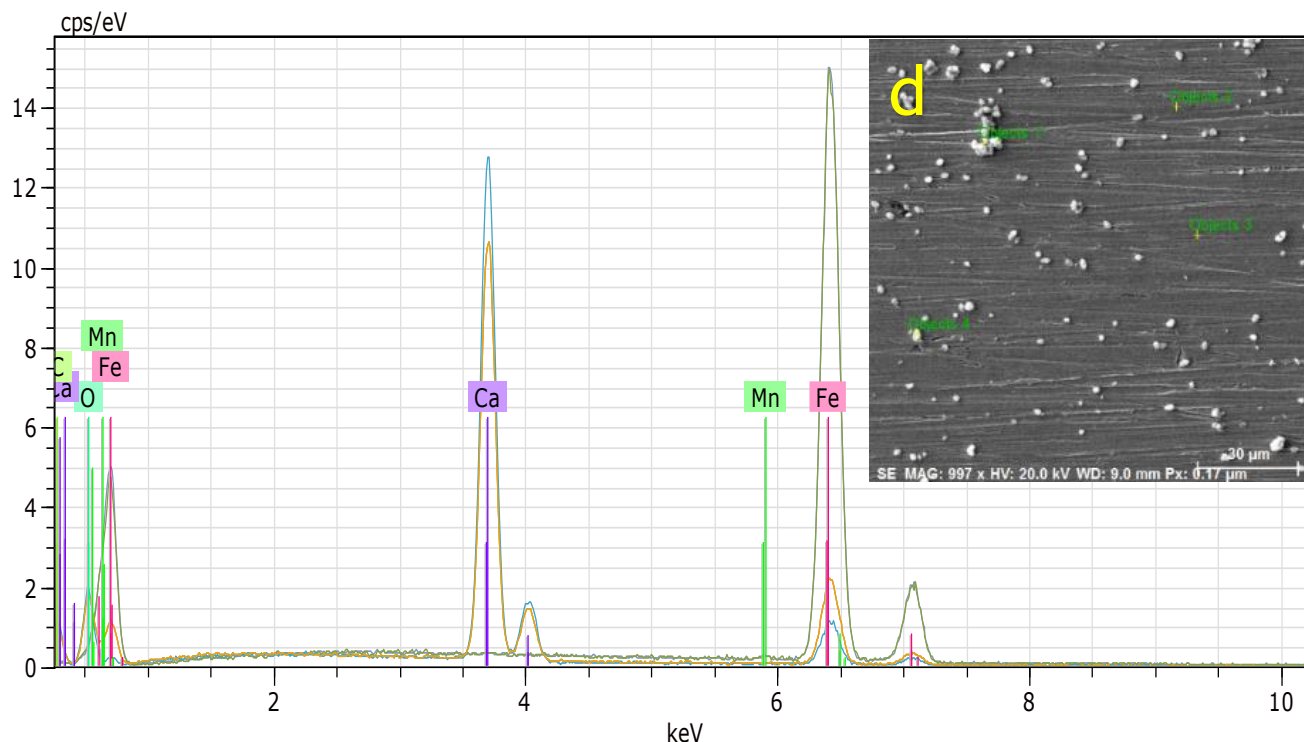


Figura 65. Imágenes 997X SEM y espectros EDS del acero obtenido después de 696 h de inmersión en una solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 3,5% w/w de NaCl. (a) Blanco, (b) Neem, (c) Sika CNI, (d) Eucon CIA.

Los resultados de los análisis EDS de los diferentes puntos seleccionados en la superficie se condensa en la tabla 14, los cuales muestran que el blanco y neem contienen la mayoría de elementos en el punto 1 y 2 por parte del blanco y en los puntos 3 y 4 por parte del neem, donde se encuentra un porcentaje de Fe y C por encima de 39% y 6% respectivamente, lo que indica los principales elementos de la muestra acero evaluada. También se encuentra un porcentaje Ca y Na por encima de 0.60% y 0.50% respectivamente, estos se encuentran en la muestra, como resultado de la solución de prueba. Finalmente se encontró en estos puntos analizados, O por encima del 22%, lo que podría llevar a pensar en la presencia de productos de corrosión, como los óxidos. Por otra parte, los resultados de EDS de los aditivos inhibidores corrosión revelan un alto porcentaje de Ca por encima del 26% en los puntos 1 y 4 por Eucon CIA y en el punto 2 por Sika CNI. Este alto porcentaje de Ca con respecto al blanco y al neem podría explicarse por la composición de los aditivos inhibidores de corrosión probados en este estudio (nitrito de calcio). En estos puntos, el

porcentaje de O es superior al 30%, lo que también puede indicar presencia de productos de corrosión como óxidos.

Tabla 14. Resultados del análisis de elementos para la superficie de acero después de 696 h de inmersión para cada muestra.

Blanco				
Elemento	Punto			
	1	2	3	4
	%	%	%	%
C	10.61	13.18	3.55	4.69
O	31.1	38.19	-	-
Na	1.2	0.79	-	-
Al	-	0.2	-	-
Si	-	0.11	-	-
Cl	-	0.43	-	-
K	-	0.18	-	-
Ca	0.68	0.67	-	-
Fe	64.58	39.29	96.46	98.1
Neem				
Elemento	Punto			
	1	2	3	4
	%	%	%	%
C	1.21	4.24	7.47	6.20
O	-	12.11	35.25	22.33
Na	-	-	0.57	0.81
Si	-	-	0.19	0.20
S	-	0.44	0.11	0.09
Cl	-	-	0.02	-
Ca	-	-	0.62	0.92
Mn	-	1.95	-	-
Fe	96.50	90.12	55.76	65.77
Sika CNI				
Elemento	Punto			
	1	2	3	4
	%	%	%	%
C	5.6	16.27	10.9	7.16
O	-	35.93	-	6.63
Al	-	-	-	0.86
Si	-	-	2.21	9.93
Ca	-	26.37	0.43	-
Mn	1.64	-	-	-
Fe	94.43	26.4	85.18	82.52
Eucon CIA				
Elemento	Punto			
	1	2	3	4
	%	%	%	%
C	12.45	3.52	3.64	12.42
O	42.94	-	-	35.52
Ca	36.8	-	-	31.54
Mn	-	-	1.6	-
Fe	8.47	95.47	94.98	15.78

5.2. Resultados de pruebas en concreto reforzado

5.2.1. Materiales para las mezclas de concreto.

Los resultados obtenidos de las características de los materiales que se utilizaron para la fabricación de las mezclas de concreto se muestran a continuación:

- **Cemento:** La tabla 15, muestra los resultados de las especificaciones físicas del cemento, este material cumplió para un Cemento Portland Compuesto de clase 40 de acuerdo a la NMX-C-414-ONNCCE-2017 [68].

Tabla 15. Especificaciones físicas del cemento.

Especificaciones Físicas		Especificación de la Norma NMX-C-414-ONNCCE-2017		Resultado	Unidades
		Mínimo	Máximo		
Resistencia a la Compresión	3 días	-	-	30.5	N/mm ²
	28 días	40.0	-	47.0	N/mm ²
Tiempo de Fraguado	Inicial	45	-	119	Minutes
	Final	-	600	162	Minutes
Estabilidad de volumen en auto clave		-0.20	0.80	0.016	%
Expansión en barras sumergidas a 14 días		-	0.020	-0.028	%
Trióxido de Azufre (SO ₃)		-	4.0	3.4	%
Densidad		-	-	3.02	Kg/cm ³

- **Agua de mezclado:** Los resultados sales e impurezas del agua utilizan para la elaboración de las mezclas se muestran en la tabla 16, los resultados cumplen de acuerdo a los límites que marca la NMX-C-122-ONNCCE-2019 [71].

Tabla 16. Sales e impurezas del agua.

Especificación de la Norma NMX-C-122-ONNCCE-2019		Resultado
Parámetro	Límites en ppm	ppm
Sólidos suspendidos	2,000	No detectables
Cloruros como CL	400	102.9
Sulfatos como SO ⁴	3,000	320.0
Magnesio como Mg	100	24.3
Carbonatos como CO ³	600	0
Dióxido de carbono como CO ²	5	0
Álcalis totales como sodio Na	300	150
Grasas y aceites	0	No detectables
Total, de impurezas en solución	3 500	836
Materia Orgánica	150	No detectable
Valor del pH	No menor de 6	7.35

- **Agregados:** En la tabla 17 y 18, muestra los resultados de las propiedades físicas y granulometría de los agregados AN, GS y GT, los cuales cumplen de acuerdo a la NMX-C-111-ONNCCE-2018 [69].

Tabla 17. Propiedades físicas de los agregados.

Propiedades Físicas	Unidades	AN	GS	GT
Densidad	kg/m ³	2.60	2.67	2.65
Absorción	%	1.42	1.01	0.78
Humedad Total	%	0.40	0.20	0.11
Masa Volumétrica Suelta	kg/m ³	1561	1422	1398
Masa Volumétrica Compactada	kg/m ³	1701	1549	1532
Pérdida por Lavado	%	0.75	0.33	0.56
Contaminación de Grava o Arena	%	3.05	2.3	0.24
Módulo De Finura	adim	2.4	6.0	6.0

Tabla 18. Granulometría de los agregados.

Malla No.	AN		GS		GT	
	Peso Retenido (gr)	% Pasa Acumulado	Peso Retenido (gr)	% Pasa Acumulado	Peso Retenido (gr)	% Pasa Acumulado
2"	0.0	100.0	0	100.0	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0	0	100.0	0.0	100.0
1"	0.0	100.0	0	100.0	639.0	92.0
3/4"	0.0	100.0	0	100.0	3772.0	44.8
1/2"	0.0	100.0	110	96.3	2793.0	9.9
3/8"	0.0	100.0	922	65.6	663.0	1.6
No. 4	60.5	96.9	1897	2.3	112.0	0.2
No. 8	82.5	92.8	64	0.2	3.5	0.2
No. 16	109.0	87.3	0	0.2	0	0.2
No. 30	334.0	70.5	0	0.2	0	0.2
No. 50	1127.5	13.6	0	0.2	0	0.2
No. 100	198.0	3.6	0	0.2	0	0.2
No. 200	64.0	0.4	0	0.2	0	0.2
Ch.	8.0	0.0	5	0.0	16	0.0
Total	1984	-----	2996	-----	7998	-----

- **Aditivos químicos:** El aditivo utilizado que cumple como un Tipo D de acuerdo a la clasificación de NMX-C-255-ONNCCE-2013 [72]. La tabla 19, muestra los resultados de los parámetros medidos del aditivo.

Tabla 19. Parámetros de aditivo Sikament 792.

Parámetro	Resultados	Especificaciones
Aspecto	Líquido de ligero color ámbar	Líquido de ligero color ámbar
pH	8.54	8.00 – 9.00
Densidad (g/ml)	1255	1245 – 1265

5.2.2. Características de concreto en estado fresco.

Los resultados obtenidos de las características de concreto en estado fresco de las mezclas elaboradas se muestran la tabla 20. En los siguientes puntos se analizan los resultados obtenidos para cada prueba.

Tabla 20. Características de concreto en estado fresco.

Mezcla	Temperatura (°C)	Revenimiento (cm)	Contenido de Aire (%)	Peso Unitario (kg/m ³)	Rendimiento Relativo
Blanco	29	6	1.4	2379	0.99
Neem	30	11	1.2	2374	1.00
Sika CNI	30	11	1.1	2383	1.00
Eucon CIA	30	11	0.9	2380	1.00

Estos resultados se analizan por cada prueba en los puntos siguientes:

- **Temperatura del concreto.**

Con respecto a la temperatura del concreto, los resultados de las mezclas presentaron temperatura aproximada de 30 °C. Estas temperaturas que presentaron son comúnmente utilizadas en clima caluroso, muchas especificaciones en estos climas requieren que el concreto tenga una temperatura en un rango de 29 °C a 32 °C durante su colocación [42,100].

La PCA, menciona que el efecto de la alta temperatura inicial del concreto por arriba de 32 °C, puede tener efectos negativos sobre la resistencia del concreto como presentar resistencia por debajo del 95%, esto se debe porque una temperatura más alta acelera

la hidratación del cemento a una fase más temprana, y puede desarrollar estructuras más pobres o porosas en la pasta del concreto. Lo anterior indica que las temperaturas iniciales del concreto obtenidas en las cinco mezclas, contribuyeron para alcanzar un desarrollo de resistencia, por arriba del 95% [31, 42, 100].

- **Revenimiento del concreto.**

Los resultados del revenimiento indican que las mezcla con los diferentes inhibidores de corrosión y el extracto de hoja Neem presentaron una consistencia dentro del rango de aceptación de acuerdo a la NMX-C-155-ONNCCE-2014, para un asentamiento de 10 cm +/- 2.5 cm [43]. Por otro lado, el blanco, se encuentra fuera del rango de aceptación, debido al diseño de la mezcla, en el cual se descartó el agua requerida por lo especificado en las fichas técnicas de los aditivos inhibidores de corrosión (9.9 lts por m³) y poder mantener la relación a/c (0.65), por esta razón presento la consistencia fuera de tolerancia. La PCA, menciona que se requiere un ajuste de 3 a 12 kilogramos de agua por metro cubico de concreto, para aumentar el asentamiento de 1.5 a 6 cm, para poder estar dentro del rango de aceptación de la norma mencionada. Esto nos indica que las mezclas presentaron la consistencia esperada para mantener la relación a/c 0.65 [42].

- **Peso Unitario y rendimiento relativo del concreto.**

Los pesos unitarios del concreto de las mezclas estuvieron en un rango de 2,379 a 2,383 kg/m³, esto indica que el concreto cumple con lo establecido para concretos estructurales de masa normal de acuerdo a la NMX-C-155-ONNCCE-2014 [43]. Otro aspecto, es el rendimiento relativo de cada mezcla concreto, estas se encuentran en un rango de 0.99 a 1.00, donde la NMX-C-162-ONNCCE-2014 menciona que un valor mayor que 1.00 produce un exceso volumen con respecto al diseño y menor a 1.00 produce menos volumen con respecto al diseño [42,75]. Esto nos indica que las mezclas elaboradas no presentaron exceso de volumen.

- **Contenido de aire en el concreto.**

El contenido de aire de las mezclas de concreto está en un rango de 0.9 a 1.4%, cumpliendo con el contenido de aire recomendado en el ACI 211.1 para los concretos sin aire incluido con agregado de tamaño máximo nominal de 25 mm [65].

Los resultados obtenidos de las características del concreto en estado fresco de todas las mezclas elaboradas, nos indican que el extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión mantienen la integridad del concreto de acuerdo a las especificaciones en estado fresco del concreto. Además, muestra que el extracto de hoja de neem presenta un comportamiento similar a los aditivos inhibidores de corrosión.

5.2.3. Características de concreto en estado endurecido.

La figura 66, muestra los resultados de resistencia a la compresión a una edad a 7 días para tener desarrollo a edades tempranas y a 28 días puesto que es un requerimiento que se debe cumplir con lo especificado en los diseños de estructuras de concreto.

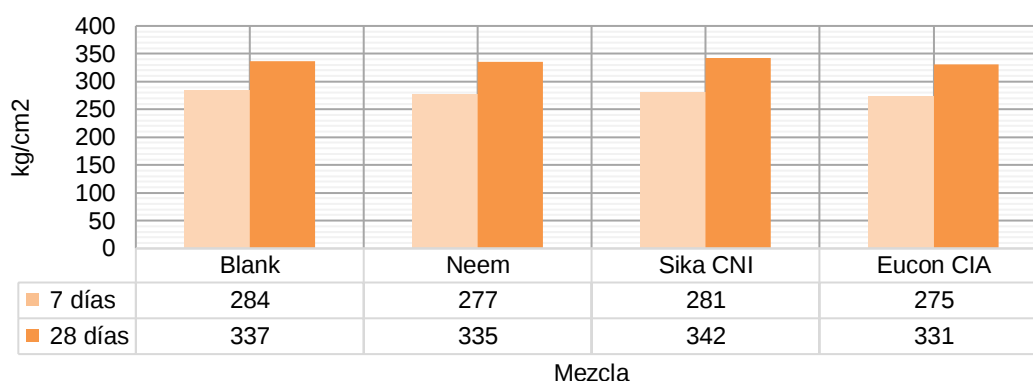


Figura 66. Resistencia a la compresión.

Los resultados a 7 días se encuentran en un rango de 277-284 kg/cm² y a 28 días en un rango de 331-342 kg/cm². Estos resultados, muestran que el extracto de hoja de neem y los inhibidores de corrosión pueden llegar a cumplir con estructuras expuestas a congelación y deshielo, agua, congelación y deshielo en condiciones húmedas y cloruros, ya que presentaron resistencias a la compresión por arriba de 330 kg/cm². Además, estos cumplen una resistencia a la compresión para una relación a/c más baja en concreto sin aire incluido de acuerdo al ACI 211.1 [65]. Esto indica que el extracto de hoja de neem y los inhibidores de corrosión pueden llegar alcanzar resistencia por arriba de 330 kg/cm² con una relación a/c por debajo de 0.65. Los resultados de resistencia a la compresión, nos indican que el extracto de hoja de neem sigue manteniendo un comportamiento similar a los aditivos inhibidores de corrosión en sus características del concreto en estado endurecido [42].

5.2.3. Resultados de penetración de cloruro en el concreto.

La figura 67 y 68 presentan los resultados de la penetración de iones cloruro a 91 y 182 días respectivamente.

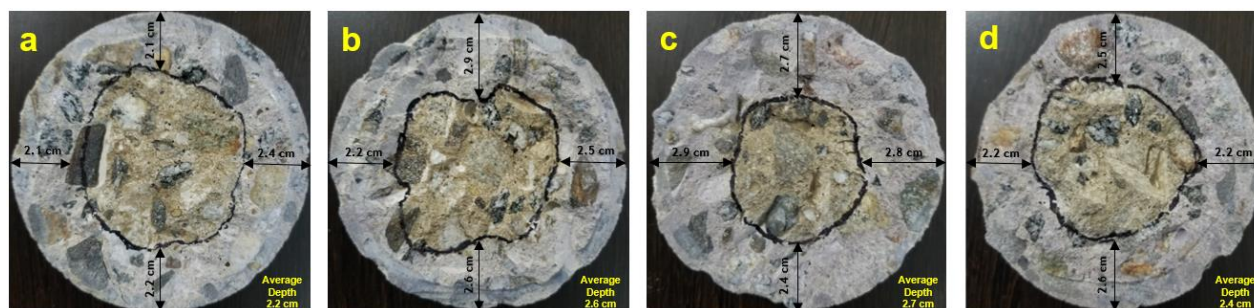


Figura 67. Penetración de cloruros en concreto a 91 días de exposición: (a) Blanco, (b) Neem, (c) Sika CNI, (d) Eucon CIA.

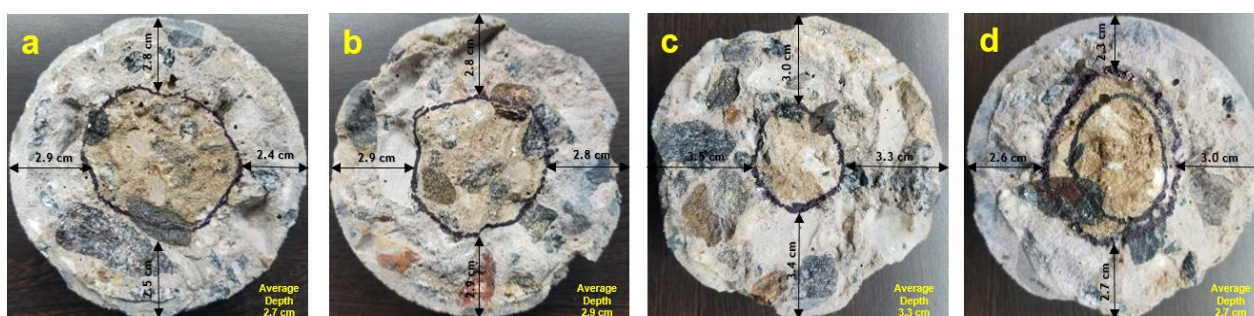


Figura 68. Penetración de cloruros en concreto a 182 días de exposición: (a) Blanco, (b) Neem, (c) Sika CNI, (d) Eucon CIA.

La profundidad máxima promedio de penetración de cloruros a los 91 días, la presento Sika CNI con 2.7 cm, seguida Neem con 2.6 cm y por último Eucon CIA (2.4 cm) y Blanco (2.2 cm) respectivamente; teniendo las cinco mezclas un promedio superior a 2.1 cm. Por otra parte, la profundidad máxima promedio de penetración de cloruros a los 182 días presentaron un orden igual a los 91 días, pero con un aumento en la profundidad en un rango de 0.3 a 0.6 cm.

Lo anterior indica que las varillas en las probetas con acero, se encontraban en una zona con cloruros libres y solubles en agua después de los 91 días y continuado a los 182 días de exposición. Esta penetración a corto plazo en todas las probetas se esperaba debido a la relación a/c 0.65, ya que el ACI 318 especifica cumplir una relación a/c 0.40 mínima para esta condición de exposición [65,70].

Por otra parte, también se puede ver que con la adición de extracto de hoja neem y los inhibidores de corrosión promueven el aumento de la penetración de cloruros, aun

presentando un contenido de aire menor que el blanco en las características del concreto en estado fresco. Esta penetración de cloruros en los inhibidores de corrosión se puede deber por la característica de estos aditivos como acelerante del fraguado Tipo C de acuerdo a la NMX-C-255-ONNCCE-2013, esta característica pudo influir en una evaporación más rápida del agua en el concreto y formar más canales capilares en la masa de concreto condicionándolo absorber líquidos y provocar una capacidad de flujo a través de él más rápida [29,30]. Se puede llegar a pensar que el extracto de hoja de neem afecta en el fraguado del concreto ya que presento una penetración de cloruros mayor que el blanco y similar a los inhibidores de corrosión.

5.2.4 Resultados medición electroquímica de potencial de media celda.

Los resultados de potencial de media celda de cada probeta con acero de las diferentes mezclas (Blanco, Extracto de hoja de neem, Sika CNI y Eucon CIA) durante el tiempo de exposición, se muestran graficados en la figura 69. Para una mayor interpretación de los resultados y poder observar el comportamiento de los potenciales corrosión, se marcan en la gráfica los porcentajes de la probabilidad de corrosión de acuerdo a los criterios Stratful. Este porcentaje indica la probabilidad de encontrar corrosión activa es decir entre menos porcentaje hay menos probabilidad de encontrar corrosión activa en la superficie del acero.

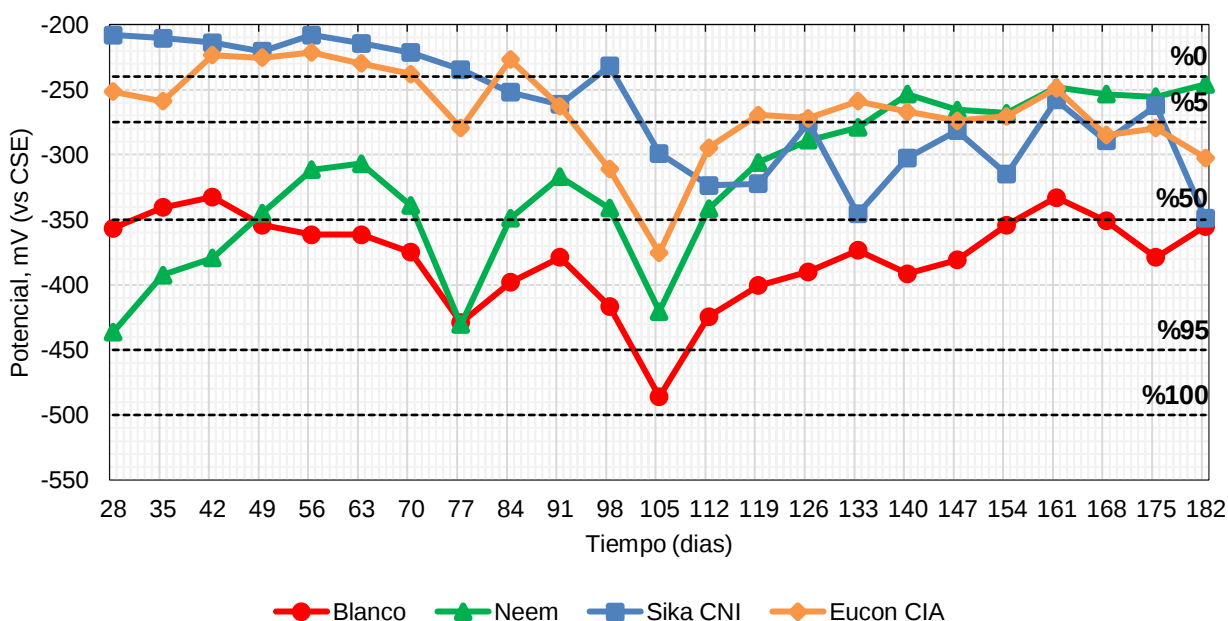


Figura 69. Resultados de potencial de media celda de cada probeta con acero.

En general, los comportamientos para extracto de neem y los aditivos inhibidores de corrosión muestran dos etapas, un descenso a los 105 días donde las posibilidades de corrosión rondaron de 50% (Sika CNI) a 95% (Eucon CIA y Neem); y un incremento hasta el último día de análisis (182 días), resultando el extracto de hoja de Neem en una probabilidad de corrosión del 5%. En cambio, los otros aditivos inhibidores, así como el blanco obtuvieron una probabilidad del 50%. Esto nos indica que el extracto de neem al final de la evaluación presenta menos porcentaje de encontrar corrosión activa sobre la superficie del acero.

Por otra parte, para comprender el comportamiento de los porcentajes de corrosión del extracto de hoja de neem y los aditivos inhibidores de corrosión, se ha encontrado en algunos estudios lo siguiente:

- Los aditivos inhibidores de corrosión a base de Nitrito de Calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$), forman una película protectora insoluble de óxido en las superficies del ánodo para pasivar el acero en presencia de iones cloruro en el concreto. Simultáneamente, auto-repara los puntos débiles de la película de óxido, provocando una reducción de la velocidad de corrosión. También han indicado que el mecanismo de protección está relacionado con $[\text{Cl}^-]/[\text{NO}_2^-]$ [1,4]. Esto puede ayudar a explicar el comportamiento de los aditivos inhibidores de corrosión mostrando un efecto auto-reparación de los puntos débiles de la película de óxido con el paso del tiempo en presencia de iones cloruros.
- En los extractos naturales se ha encontrado que hay una interacción de los metabolitos secundarios procedentes de las plantas y la superficie de los metales. Estos metabolitos secundarios como alcaloides, flavonoides, taninos y terpenoides brindan una protección contra la corrosión en diferentes ambientes agresivos [101,102]. Esta interacción (compuesto fitoquímico-metal) puede ser descrita por modelos de Langmuir por fisiorción, quemisorción, o mecanismos mixtos [103]. Análisis fitoquímicos han demostrado que el extracto acuoso de hoja de neem contiene grandes cantidades de alcaloides, saponinas, taninos, flavonoides y glicosidos, sin embargo, alcaloides y taninos son los que se encuentran en mayor proporción [62,63]. Estos taninos pueden reaccionar con

los iones férricos y ferrosos formando quelatos altamente estables por medio de grupos OH y el oxígeno adsorbido sobre la superficie del metal, dando como resultado un mecanismo de quemisorsión e incrementando su eficiencia con un incremento en la concentración del extracto [104,105]. Esta explicación puede servir para interpretar el descenso del porcentaje con el paso del tiempo que mostró el extracto de hoja de neem en este estudio, ya que, mostraría que, con el paso del tiempo, el extracto conteniendo los metabolitos secundarios, cubren por completo la superficie del acero de refuerzo brindando una protección contra la corrosión [103,106].

Estos resultados siguen mostrando que el extracto de hoja de neem presenta efectividad de inhibición en concreto reforzado, dando un panorama prometedor para el extracto de hoja de neem de funcionar como un inhibidor de corrosión en largas exposiciones.

6. Conclusión

Con los resultados alcanzados en este estudio y de acuerdo a los objetivos planteados, se puede concluir lo siguiente:

Las pruebas preliminares nos indicaron que existe una efectividad de inhibición en presencia del extracto de hoja neem en un ambiente donde se simuló el poro de concreto con 3.5% NaCl. Dentro de estos resultados, las pruebas electroquímicas y análisis de superficie nos indicaron que hay una rugosidad y una absorción de moléculas inhibidoras en la superficie, la cual mostró una protección reduciendo la velocidad de corrosión. Esta protección mostró una mayor efectividad de inhibición en presencia del 5% w/w del extracto de hoja de neem, desarrollando un aumento en las pruebas gravimétricas por arriba del 50% de eficiencia de inhibición. Sin embargo, dentro de estos resultados el extracto de hoja de neem se mostró inferior a los aditivos inhibidores de corrosión presentando estos últimos una eficiencia de inhibición por arriba del 95%.

Por otra parte, dentro de los resultados obtenidos en las pruebas en concreto reforzado, nos indicaron lo siguiente:

- Analizando las propiedades del concreto, el extracto de hoja de neem, cumple con las especificaciones en estado fresco y endurecido, indicando que no altera las propiedades y mantiene la integridad del concreto, mostrando un comportamiento similar a los aditivos inhibidores de corrosión comerciales.
- En cuanto a la penetración de cloruros, se puede deducir que el extracto de hoja de neem promueve la penetración a corto plazo de los agentes agresivos, ya que los resultados mostraron un incremento en la penetración, no obstante, este incremento también es apreciado en los inhibidores de corrosión comerciales.
- Mientras que con los resultados de potencial de media celda, se puede inferir que el extracto de hoja de neem muestra efectividad en la inhibición de la corrosión en el acero de refuerzo después de 105 días de exposición aun estando en una zona de cloruros libres, indicando una probabilidad de corrosión activa del 5% al término de la evaluación. Con este efecto el extracto de hoja de neem, indicó un resultado favorable en comparación a los aditivos inhibidores de corrosión comerciales.

Con lo antes mencionado, se puede concluir que el extracto de hoja de neem tiene un efecto de inhibición de la corrosión en el acero al carbono en concreto reforzado en un ambiente salino, con lo que se puede validar la hipótesis de esta investigación.

Por último, sería importante seguir realizando evaluaciones y trabajos de investigación para fundamentar a un más esta propuesta y en un futuro lograr incorporar este extracto natural en la industria de la construcción.

7. Referencias

1. Lee, H.S., Sarawathy, V., Kwon, S.J., and Karthick, S. (2017). Corrosion Inhibitors for Reinforced Concrete: A Review, Chapter 5, Corrosion inhibitors, Principles and recent applications. IntechOpen.
2. Bolzoni, F., Brenna, A., Fumagalli, G., Goidanich, S., Lazzari, L., Ormellese, M., and Pedferri, MP. (2014). Experiences on corrosión inhibitors for reinforced concrete. *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 3, no. 4, 254-278 p.
3. Brenna, A., Ormellese, M., Pedferri, MP., and Bolzoni, F. (2018). Effect of binary mixtures on chloride induced corrosion of rebars in concrete. *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 7, no. 2, 151-164 p.
4. Sousa, M.L., Andreade, J., Santana, N., and Vêras D. (2017). Corrosion inhibitors for reinforced concrete, Chapter 2, Corrosion inhibitors, Principles and recent applications. IntechOpen.
5. Öz, G. S., and Bilgic, S. (2018). The inhibition effect of sodium tetraborate on the corrosion of steel in KOH media. *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 7, no. 3, 390-408 p.
6. Brenna, A., Bolzoni, F., Pedferri, MP., Ormellese, M. (2017). Corrosion inhibitors for reinforced concrete structutres: a study of binary mextures. *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 6, no. 1, 59-69 p.
7. Abdulrahman, A.S., and Mohammad, I. (2011). Green Plant Extract as a passivation-promoting Inhibitor for Reinforced Concrete. *IJEST*, Vol. 3, no.8, 6484-6490 p.
8. Odewunmi, N.A., Umoren, S.A., and Gasem, Z.M. (2015) Watermelon waste products as green corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3, 296-296 p.
9. Salawu, A.A., Mohammand, I., Muhd, A.M., Zaiton, A.M., CheSobry A., and Jahangir M. (2014). Green Bambusa Arundinacea leaves extract as a sustainable corrosion inhibitor in steel reinforced concrete. *Journal of Cleaner Production*, 67, 139-146 p.
10. Peter, A., and Sharma, S. K. (2017). Use of *Azadirachta indica* (AZI) as green corrosion inhibitor against mil steel in acidic medium: anti-corrosive efficacy and adsorptive behaviour. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 6, no. 2, 112-131 p.
11. Kavya, K., Keerthana, S., and Pradeep, T. (2020). Effecto of Green Corrosion Inhibitors on the Properties of Mortar and Concrete. *Smart Technologies for Sustainable Development*, Vol. 78, 395-405 p.
12. Rajendran, S., Srinivasan, R., Dorothy, R., Umasankareswari, T., and Al-Hashem, A. (2019). Green solution to corrosion problem- at a glance. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 8, no. 3, 437-479 p.
13. Cheng N., Valdez, B., Moe, P., and Salvador, J. S. (2019). Optimization and characterization of commercial water-based volatile corrosion inhibitor. *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 8, no. 2, 366-386 p.

14. Okanfor, P.C., Ebenso, E.E., and Ekpe, U.J. (2010). *Azadirachta Indica* Extracts as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acid Medium. *Int. J. Electrochem. Sci.*, Vol. 5, 978-993 p.
15. Oguzie, E.E. (2006). Adsorption and corrosion inhibitive properties of *Azadirachta indica* in acid solution. *Pigment & Resin Technology.*, Vol. 35, no. 6, 334-340 p.
16. Eddy, N.O., and Mamza, P.A.P. (2009). Inhibitive and Adsorption Properties of Ethanol Extract of Seeds and Leaves of *Azadirachta Indica* on the Corrosion of Mild Steel in H₂SO₄. *Port. Electrochim. Acta*, 27, 4, 443-456 p.
17. Castañeda, A., y Rodríguez, M. (2014). Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado. *CENIC Ciencias Químicas*, Vol. 45, 52-59 p.
18. Noricumbo, M., Vidaud, E., y Vidaud, I. (2014). Una alternativa sustentable frente al ataque de la corrosión en el concreto armado. *Construcción y Tecnología en Concreto*. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (Consultado el 15 de enero del 2021).
19. Abdulsada, S. A., Al-Mosawi, A. I., Hadi, A. A. A. (2017). Studying the Effect of Eco-addition Inhibitors on Corrosion Resistance of Reinforced Concrete. *Bioprocess Engineering*. 3, 81-86 p.
20. Zomorodian, A., Bagonyi, R., and Al-Tabbaa, A. (2021). The efficiency of eco-friendly corrosion inhibitors in protecting steel reinforcement. *Journal of Building Engineering*, 38, 1-9 p.
21. Avaro, R. D. (2020). Utilización de inhibidores de corrosión verdes y sustentables en la industria. *Aloe Trade*. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (Consultado el 16 de enero del 2021).
22. Ismail, M., Bothi, P., and Asipita A. (2015). Developing Deeper Understanding of Green Inhibitors for Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete. *IGI Global*. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (Consultado el 16 de enero del 2021).
23. Tejeda, L. P., Meza P. J., Altamiranda, E. D., and Berrocal M. J. (2014). Uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión. *Informador Técnico (Colombia)*, 78, 155-164 p.
24. Raichev, R., Veleva, L., Valdez, B. (2009). *Corrosión de metales y degradación de materiales*. Baja California: Departamento de Editorial Universitaria UABC. 1-480 p.
25. Pancorbo, F. J. (2011). *Corrosión, Degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. Marcombo, Ediciones técnicas. 1-594 p.
26. Winston, R., Uhlig, H. (2008). *Corrosion and Corrosion Control – An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. Wiley-Interscience. Fourth Edition. 1-479 p.
27. López, R., Pérez, J. T., Torres, A. A., Martínez, M., Martínez, W., Ariza, L. E., Genescá, J., y Valdez, B. (2006). *Durabilidad de la infraestructura de concreto*

- reforzado expuesta a diferentes ambientes urbanos de México. Publicación Técnica No. 292. Sanfandila, Querétaro, México: IMT. 1-149 p.
28. Shubina, V., Gaillet L., Chaussadent, T., and Creus J. (2016). Biomolecules as a sustainable protection against corrosion of reinforced carbon steel in concrete. *Journal of Cleaner Production*. Volume 112, Part 1, 666-671 p.
29. Castro, P., Castillo, R., Carpio. J., Genescá, J., Helene, P., López, W., Pazini, E. J., Sanjuán M. A., y Veléva, L. (1998). Corrosión en estructuras de concreto armado – Teoría, inspección, diagnostico, vida útil y reparación. IMCYC. (Primera Edición). 1-125 p.
30. Sanjuán, M. A., y Castro P. (2001). Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto. IMCYC (Primera Edición). 1-46 p.
31. Technical consultant team (2013), Technical Manual-Cement & Concrete, Holcim (Vietnam) Ltd, 2013, 1-104 p.
32. Del Valle A, Pérez T, & Martínez M. (2001). El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado. Publicación Técnica No. 182. Sanfandila, Queretaro, México: IMT. 1-88 p.
33. El Maaddawy, T., and Soudki K. (2007). A model for prediction of time from corrosion initiation to corrosion cracking. *Cement and Concrete Composites*. Volume 29, Issue 3, 168-175 p.
34. Lee, F., Torres, A., Terán, J., and Martínez, M. (2006). Caracterización de un sistema de refuerzo-protección en elementos de concreto reforzado dañados por corrosión, utilizando compuestos base fibras de carbón. Publicación Técnica No 295. Sanfandila, Querétaro: IMT. 1-128 p.
35. Böhni H. (2005). Corrosion in reinforced concrete structures. Woodhead Publishing limited. Cambridge Engalnd. 1-262 p.
36. Zhe, L., Zuquan, J., Xiangbo, X., Tiejun, Z., Penggang, W., and Zongjin, L. (2020). Combined application of novel electromagnetic sensors and acoustic emission apparatus to monitor corrosion process of reinforced bars in concrete. *Construction and Building Materials*. 245, 1-13 p.
37. Palazzi P., Albuquerque K., and Campos T. (2019). Carbonatação de estruturas de concreto: Estudo comparativo entre os modelos de tuutti e ceb model code. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 1 de marzo del 2021).
38. Yoon I., Çopurulug O., and Park K. (2007). Effect of global climatic change on carbonation progress of concrete. *Atmospheric Environment*. 41, 7274-7285 p.
39. Galan I., Andrade C., Mora P., and Sanjuan M. A. (2010). Sequestration of CO2 by concrete Carbonation. *Environ. Sci. Technol*. 44, 3181-3186 p.
40. Castañeda, A., Dias, N., Gonzales, E., Martinez, M., y Corvo, F. (2005). Influencia de la penetración de los Iones Cloruros en el Hormigón Armado a diferentes relaciones Agua/Cemento y condiciones de Exposición. *Revista CENIC. Ciencias Química*. Vol. 36, 1-16 p.

41. Yonglai, Z., Yujue, Z., Yubao, Z., Tanbo, P., Limin, S., and Don, L. (2020). Localized corrosion induced damage monitoring of large-scale RC piles using acoustic emission technique in the marine environment. *Construction and Building Materials*, 243, 1-17 p.
42. Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., and Panarese, W.C. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures*, (14 th edition), Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 1-370 p.
43. NMX-C-155-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Dosificado en Masa Especificaciones y Métodos de Ensayo*. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 3 de marzo del 2021).
44. Pedferri, P., Lazzari, L., and Pedferri M. (2018). *Corrosion Science and Engineering*, Springer, 1-737 p.
45. Brenna, A., Bolzoni, F., Perdeferri, MP., and Ormellese, M. (2017). Corrosion inhibitors for reinforced concrete structures: a study of binary mixtures, *International Journal of Corrosion Scale and Inhibitors*, Vol. 6, No. 1, 59-69 p.
46. Chung, D.L. (2000). Corrosion control of steel-reinforced concrete, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 9, No. 5, 585-588 p.
47. Zhenglin, T. (2019) A review of corrosion inhibitors for rust preventive fluids, *Current Opinion in Solid State & Materials Science*, 2019.
48. Kahraman, R., Al-Mathami, A., Saricimen, H., Abbas, N., and Rahman, S. (2002). A study of corrosion control of carbon steel using inhibitors in a simulated environment, *Anti-Corrosion Methods and Materials*, Vol. 49, No.5, 346-353 p.
49. NACE. (1970). *Basic Corrosion Course – Fundamentals of Inhibitors*. Chapter 9, Houston, Texas. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 4 de marzo del 2021).
50. Ryu, H. S., Singh, J. K., Lee, H. S., and Park, W. J. (2017). An Electrochemical Study to Evaluate the Effect of Calcium Nitrite Inhibitor to Mitigate the Corrosion of Reinforcement in Sodium Chloride Contaminated Ca (OH)₂ Solution, *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-14 p.
51. Shi, J., and Sun, W. (2012). Electrochemical and analytical characterization of three corrosion inhibitors of steel in simulated concrete pore solutions, *International Journal of Minerals*, 19, no. 1, 38-47 p.
52. Myrdal R. (2010). *Corrosion Inhibitors – State of the art*. In: COIN Project Report; 2010; Oslo. Oslo: SINTEF Building and Infrastructure, 1-38 p.
53. Valladares, M. G., Melgoza, R. M., y Cuevas, A. (2015). Inhibidores naturales en el control de la corrosión de materiales metálicos. *Inventio*, Vol. 11, Num. 25. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 5 de marzo del 2021).
54. Bothi, P., Ghoreishiamiri, S., and Ismail, M. (2015). Natural corrosion inhibitors for steel reinforcement in concrete- a review. *Surface Review and Letters*, Vol. 22, No. 3, 1-8 p.

55. Hossain, N., Chowdhury, M., and Kchaou, M. (2020). An overview of green corrosion inhibitors for sustainable and environment friendly industrial development. *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol. 35, Issus 7, 673-690 p.
56. Shehata, O. S., Korshed, L. A., & Attia, A. (2018). Green corrosion inhibitors, past, present, and future. Chapter 6, *Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications*. InTechOpen.
57. Rayma, K., and Muralimohan, N. (2016). Study on Corrosion Inhibitor in Mild Steel by Various Habitual Plant Extract-Review. Vol. 2, No. 2, 70-75 pages.
58. Loto, R. T., Loto, C. A., and Busari, A. (2019). Effect of *Azadirachta Indica* Oil Extracts of on the Corrosion Inhibition and Passivation of Low Carbon Steel in 2.5 M C₆H₈O₇ Acid Solution. *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 5, No.70.1-9 p.
59. CONAFOR. *Azadirachta indica* (Juss). SIRE-Paquete Tecnológico. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 9 de marzo del 2021).
60. Neemble Innovation. (2015). Acerca de Neem. Disponible en línea: Página de referencia. (consultado el 6 de marzo del 2021).
61. Vega, C. (2016). Identificación de metabolitos bioactivos de Neem (*Azadirachta indica* Adr. Juss.). *La Calera*, 14(23), 60-66 p.
62. Priyanka-Dash, S., Dixit, S., and Sahoo S. (2017). Phytochemical and Biochemical Characterizations from Leaf Extracts from *Azadirachta Indica*: An Important Medicinal Plant. *Biochem Anal Biochem*, 6(2), 1-4 p.
63. Sharma, S. K., Peter, A., and Obot, I. B. (2015). Potential of *Azadirachta indica* as a green corrosion inhibitor against mild steel, aluminium and tin: a review, *Journal of Analytical Science and Technology*, 6, 26, 1-16 p.
64. Meza. P., Tejada, C., Loaiza, S., Vidales, A., and Villabona, A. (2016). Evaluación de extracto de árbol de neem (*Azadirachta indica*) como inhibidor de corrosión en medio salino. *Revista Ingeniería, Universidad de Medellín*, Vol. 16, No. 31, 1-17 p.
65. ACI Committee 211. (2009). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2009, 1-38 p.
66. Cemex. Productos. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 10 de marzo del 2021).
67. Holcim. Productos y Servicios. Disponible en línea: Página de referencia. (consultado el 10 de marzo del 2021).
68. NMX-C-414-ONNCCE. (2017). Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Ensayo. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 10 de marzo del 2021).

- 69.NMX-C-111-ONNCE. (2018). Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Ensayo. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 10 de marzo del 2021).
- 70.ACI Committee 318. (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318R-02, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1-624 p.
- 71.NMX-C-122-ONNCE. (2019). Industria de la Construcción - Agua para Concreto – Especificaciones. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 10 de marzo del 2021).
- 72.NMX-C-255-ONNCE. (2013). Industria de la Construcción - Aditivos Químicos Para Concreto - Especificaciones y Métodos de Ensayo. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 10 de marzo del 2021).
- 73.NMX-C-156-ONNCE. (2010). Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 12 de marzo del 2021).
- 74.NMX-C-435-ONNCE. (2010). Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Determinación de la Temperatura del Concreto Fresco. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 12 de marzo del 2021).
- 75.NMX-C-162- ONNCE. (2014). Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Determinación de la Masa Unitaria, Cálculo del Rendimiento y Contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método Gravimétrico. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 12 de marzo del 2021).
- 76.NMX-C-157-ONNCE. (2006). Industria de la Construcción - Concreto - Determinación del Contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método de Presión. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 12 de marzo del 2021).
- 77.NMX-C-159-ONNCE. (2016). Industria de la Construcción - Concreto - Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 12 de marzo del 2021).
- 78.NMX-C-083-ONNCE. (2014). Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes - Método de Ensayo. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 12 de marzo del 2021).
- 79.NMX-C-169-ONNCE. (2009). Industria de la Construcción - Concreto - Extracción de Especímenes Cilíndricos O Prismáticos de Concreto Hidráulico Endurecido. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 12 de marzo del 2021).
- 80.ASTM C876. (2015). Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in concrete; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.

81. Villagrán, Y.A.; Di-Maio, A.A.; Traversa, L.P. (2010). Deficiencias Constructivas como Causa de Corrosión en Estructura de Hormigón Armado Ubicada en Ambiente Marino. VI Congreso Internacional Sobre Patología y Recuperación de Estructuras.
82. Cabrera, R., Marín, J., and González, I. (2007). La utilización de la espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) para identificar diferentes estados superficiales en el proceso de corrosión de acero al carbono en medios amargos. Bol. Soc. Quim. Méx. 1, 32-41 p.
83. Pérez, T. (2002). Aplicación de la técnica espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) en el estudio de la corrosión del acero de refuerzo embebido en concreto. 1-29 p.
84. González, S. y Souto, R. M. (2002). Investigación de comportamiento anticorrosivo de sustratos metálicos protegidos con recubrimientos orgánicos por medio de la espectroscopia de impedancia electroquímica. Materiales y Procesos Electrónicos. 85-130 p.
85. ASTM G3-14. (2019) Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing, ASTM International, West Conshohocken, PA.
86. Bard, A. J., Faulkner, L. R., Leddy, J., & Zoski, C. G. (1980). Electrochemical methods: fundamentals and applications. New York: wiley.
87. ASTM G4-01. (2014). Standard Guide for Conducting Corrosion Tests in Field Applications. ASTM International, West Conshohocken, PA.
88. ASTM G31-21. (2004). Standard Guide for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals, ASTM International, West Conshohocken, PA.
89. SCAI. (2016). Microscopia electrónica de barrido. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 15 de marzo del 2021).
90. Renau, J., y Faura, M. (1994). Principios básicos de Microscopio Electrónico de barrido. Sección de Microscopia Electrónica, 73-92 p. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 15 de marzo del 2021).
91. Sika CNI. (2019) Ficha Técnica, Versión 01.01. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 20 de marzo del 2021).
92. Eucon CIA. (2016). Ficha Técnica, Versión 01.16. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 20 de marzo del 2021).
93. Fajardo, S., Bastidas, D. M., Criado, M., and Bastidas, J. M. (2014). Electrochemical study on the corrosion behaviour of a new low-nickel stainless steel in carbonated alkaline solution in the presence of chlorides, Electrochimica Acta, 2014, 129, 160–170 p.
94. NMX-C-161-ONNCE. (2013). Industria de la Construcción - Concreto Fresco - Muestreo. Disponible en línea: [Página de referencia](#). (consultado el 12 de marzo del 2021).

95. ASTM C1202-05. (2005). Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM International, West Conshohocken, PA.
96. Real, L. V., Oliveira, D. R. B., Soares, T., and Medeiros, M. H. F. (2015) AgNO₃ spray method for measurement of chloride penetration: the state of art, ALCONPAT Journal, Vol. 5, no. 2, 148-158 p.
97. Cheng, N., Valdez-Salas B., Moe, P., and Salvador-Carlos, J. S. (2019) Optimization and characterisation of commercial water-based volatile corrosion inhibitor, Int. J. Corros. Scale Inhib., 2019, 8, No. 2, 366-386 p.
98. Brindha, T., and Mallika, J. (2015). Adsorption and Corrosion inhibition of *Azadirachta indica* Gum with Zn²⁺/Ni²⁺ cations on Mild Steel in 1 mol L⁻¹ HCL. Oriental Journal of Chemistry, Vol. 31, No. 2, 741-752 p.
99. Tolulope, R., Akintoye., C., and Busar, A. (2019). Effect of *Azadirachta Indica* Oil Extracts of on the Corrosion Inhibition and Passivation of Low Carbon Steel in 2.5 M C₆H₈O₇ Acid Solution. Journal of Bio-and Tribo-Corrosion, 5, 2-9 p.
100. IMCYC. (2010). ACI PRC-305S-10 Guide to Hot-Wather Concreting/306S-10 Guide to Cold Wwather Concreting, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1-102 p.
101. Ugi, B. U., Bassey, V. M., Obeten, M. E., Adalikwu, S. A., and Namdi, D. O. (2020). Secondary plant metabolites of natural product origin-*Strongylodon macrobotrys* as pitting corrosion inhibitors of steel around heavy salt desposits in Gabu, Nigeria, Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 8, 38-60p.
102. Li, H., Zhang, W., and Wu, Y. (2018). Anti-Corrosive Properties of Alkaloids on Metals, Chapter, IntechOpen, Alkaloids-Their Importance in Nature and Human Life, 1-15 p.
103. Miralrio, A. and Espinoza, A. (2020). Plant Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Different Metal Surfaces and Corrosive Media: A Review. Processes. 2020, 8, 942, 1-27 p.
104. Valek, L. and Martinez, S. (2007) Copper corrosion inhibition by *Azadirachta indica* leaves extract in 0.5 M sulphuric acid, Materials letters, 61(1), 148-151 p.
105. Silveira-Peres, R., Cassel, E., and Schermann-Azambuja, D. (2012). Black wattle tannin as steel corrosion inhibitor, ISRN Corrosion, 1-9 p.
106. Umoren, S.A., Eduok, U.M., Solomon, M.M. and Udoh, A.P. (2016) Corrosion inhibition by leaves and stem extracts of *Sida acuta* for mild steel in 1 M H₂SO₄ solutions investigated by chemical and spectroscopic techniques, Arabian Journal of Chemistry, 9, 209-224 p.

Anexo 1

Identificación Especimen	Dimensiones										Superficie de contacto		Superficie de contacto cm2	Peso miligramos
	Long. 1 mm	Long. 2 mm	Long. Prom. mm	Ancho 1 mm	Ancho 2 mm	Ancho Prom. mm	Espesor 1 mm	Espesor 2 mm	Espesor Prom. mm	Superficie Area mm2	Perforación mm2	Superficie de contacto mm2		
E-1	20.61	20.67	20.64	12.01	11.98	12.00	1.15	1.15	1.15	581.68	15.83	565.85	5.66	2117.1
E-2	20.48	20.56	20.52	12.47	12.45	12.46	1.03	1.02	1.03	589.19	15.83	573.36	5.73	1916.9
E-3	20.70	20.70	20.70	12.36	12.34	12.35	1.16	1.16	1.16	599.54	15.83	583.70	5.84	2138.6
E-4	20.86	20.80	20.83	12.49	12.53	12.51	1.18	1.17	1.18	611.24	15.83	595.40	5.95	2230.6
E-5	20.73	20.72	20.73	12.02	12.05	12.04	1.11	1.11	1.11	582.65	15.83	566.82	5.67	2077.2
E-6	20.74	20.69	20.72	13.13	13.27	13.20	1.11	1.11	1.11	633.24	15.83	617.40	6.17	2269.2
E-7	20.69	20.71	20.70	12.13	11.84	11.99	1.10	1.11	1.11	579.43	15.83	563.60	5.64	2020.3
E-8	20.71	20.74	20.73	11.70	11.72	11.71	1.14	1.14	1.14	570.70	15.83	554.87	5.55	2051.7
E-9	20.81	20.79	20.80	11.86	11.78	11.82	1.17	1.17	1.17	579.71	15.83	563.88	5.64	2133.7
E-10	20.65	20.65	20.65	12.27	12.37	12.32	1.16	1.14	1.15	596.12	15.83	580.28	5.80	2110.2
E-11	20.74	20.78	20.76	11.09	11.13	11.11	1.15	1.14	1.15	545.69	15.83	529.86	5.30	1978.7
E-12	20.58	20.52	20.55	12.30	12.40	12.35	1.15	1.15	1.15	594.73	15.83	578.89	5.79	2141.6
E-13	20.72	20.69	20.71	12.07	12.00	12.04	1.15	1.15	1.15	585.14	15.83	569.31	5.69	2110.4
E-14	20.69	20.73	20.71	11.92	12.04	11.98	1.10	1.11	1.11	579.48	15.83	563.64	5.64	2044.0
E-15	20.66	20.68	20.67	11.96	12.04	12.00	1.11	1.11	1.11	579.68	15.83	563.84	5.64	2053.6
E-16	20.82	20.81	20.82	12.13	12.02	12.08	1.15	1.15	1.15	589.80	15.83	573.97	5.74	2155.5
E-17	20.67	20.66	20.67	11.37	11.52	11.45	1.07	1.07	1.07	552.41	15.83	536.58	5.37	1893.2
E-18	20.79	20.79	20.79	11.60	11.70	11.65	1.05	1.02	1.04	561.88	15.83	546.05	5.46	1894.9
E-19	20.76	20.79	20.78	11.37	11.14	11.26	1.15	1.14	1.15	552.41	15.83	536.58	5.37	1998.5
E-20	20.69	20.61	20.65	11.51	11.33	11.42	1.11	1.11	1.11	553.91	15.83	538.08	5.38	1950.7
E-21	20.82	20.80	20.81	11.56	11.41	11.49	1.11	1.12	1.12	561.15	15.83	545.31	5.45	1943.0
E-22	20.81	20.81	20.81	11.15	11.05	11.10	1.13	1.13	1.13	545.37	15.83	529.54	5.30	1906.7
E-23	20.76	20.75	20.76	11.01	11.15	11.08	1.13	1.13	1.13	543.15	15.83	527.31	5.27	1916.9
E-24	20.72	20.76	20.74	10.87	10.99	10.93	1.13	1.13	1.13	536.22	15.83	520.39	5.20	1878.2
E-25	20.68	20.61	20.65	11.10	11.24	11.17	1.03	1.03	1.03	537.02	15.83	521.19	5.21	1696.8
E-26	20.74	20.72	20.73	11.09	11.06	11.08	1.06	1.06	1.06	537.17	15.83	521.33	5.21	1806.6
E-27	20.75	20.73	20.74	11.09	10.92	11.01	1.09	1.11	1.10	537.30	15.83	521.46	5.21	1886.3
E-28	20.60	20.56	20.58	11.78	11.90	11.84	1.12	1.10	1.11	570.38	15.83	554.54	5.55	1960.8
E-29	20.89	20.86	20.88	11.13	10.91	11.02	1.13	1.11	1.12	542.70	15.83	526.87	5.27	1888.0
E-30	20.82	20.80	20.81	11.24	11.27	11.26	1.11	1.10	1.11	550.32	15.83	534.48	5.34	1884.6
E-31	20.85	20.89	20.87	12.44	12.18	12.31	1.14	1.11	1.13	599.70	15.83	583.86	5.84	2074.9
E-32	20.72	20.79	20.76	12.27	12.09	12.18	1.12	1.11	1.12	590.16	15.83	574.32	5.74	2051.1
E-33	21.05	21.00	21.03	13.53	13.52	13.53	0.93	0.92	0.93	641.87	15.83	626.04	6.26	1873.1
E-34	20.83	20.82	20.83	13.06	13.26	13.16	0.97	0.98	0.98	624.11	15.83	608.28	6.08	1918.8
E-35	21.00	21.00	21.00	13.68	13.73	13.71	0.97	0.97	0.97	652.61	15.83	636.78	6.37	2058.2
E-36	21.05	21.04	21.05	12.84	13.25	13.05	0.85	0.84	0.85	615.10	15.83	599.27	5.99	1620.1
E-37	20.51	20.59	20.55	12.91	12.95	12.93	1.11	1.12	1.12	617.21	15.83	601.37	6.01	2175.2
E-38	21.08	21.05	21.07	13.50	13.45	13.48	0.76	0.77	0.77	628.18	15.83	612.34	6.12	1428.8
E-39	20.89	20.85	20.87	11.55	12.10	11.83	1.01	0.96	0.99	567.81	15.83	551.97	5.52	1720.2
E-40	20.51	20.52	20.52	12.38	12.60	12.49	1.02	1.01	1.02	589.59	15.83	573.75	5.74	1832.2
E-41	20.96	20.96	20.96	12.88	12.99	12.94	1.02	1.01	1.02	621.17	15.83	605.33	6.05	1961.1
E-42	20.87	20.76	20.82	11.81	11.73	11.77	1.14	1.16	1.15	576.40	15.83	560.57	5.61	2019.1
E-43	20.96	20.95	20.96	12.75	12.94	12.85	1.08	1.09	1.09	622.50	15.83	606.67	6.07	2019.8
E-44	20.80	20.78	20.79	12.35	12.35	12.35	1.07	1.07	1.07	595.11	15.83	579.27	5.79	1962.7

Figura 70. Reporte de medición de cupones de pruebas gravimétricas.

Identificación Especimen	Superficie de contacto mm ²	Peso mg	Peso 24 hrs mg	Peso 168 hrs mg	Peso 336 hrs mg	Peso 504 hrs mg	Peso 696 hrs mg	Diferencia Peso mg	Velocidad Corrosion mm/y	Promedio Vel. Corrosión mm/y	Eficiencia		Fecha de la Prueba
											%		
E-1	5.66	2117.1	2116.5					0.6	49.3	73.3			18/08/2019
E-2	5.73	1916.9	1915.7					1.2	97.3				18/08/2019
E-3	5.84	2138.6		2132.2				6.4	72.8	76.0			25/08/2019
E-4	5.95	2230.6		2223.5				7.1	79.2				25/08/2019
E-5	5.67	2077.2			2065.2			12.0	70.3	70.7			1/9/2019
E-6	6.17	2269.2			2256			13.2	71.0				1/9/2019
E-7	5.64	2020.3				2001.5		18.8	73.9	74.0			8/9/2019
E-8	5.55	2051.7				2033.1		18.6	74.2				8/9/2019
E-9	5.64	2133.7					2105.8	27.9	79.3				16/09/2019
E-10	5.80	2110.2					2082.5	27.7	76.5	78.3			16/09/2019
E-11	5.30	1978.7					1952.6	26.1	79.0				16/09/2016
E-12	5.79	2141.6	2140.3					1.3	104.4	72.6	0.9		18/08/2019
E-13	5.69	2110.4	2109.9					0.5	40.8				18/08/2019
E-14	5.64	2044.0		2039.3				4.7	55.4	54.2	28.7		25/08/2019
E-15	5.64	2053.6		2049.1				4.5	53.0				25/08/2019
E-16	5.74	2155.5			2149.1			6.4	37.0	32.1	54.5		1/9/2019
E-17	5.37	1893.2			1888.8			4.4	27.2				1/9/2019
E-18	5.46	1894.9				1884.9		10.0	40.5	40.3	45.6		8/9/2019
E-19	5.37	1998.5				1988.8		9.7	40.0				8/9/2019
E-20	5.38	1950.7					1937.8	12.9	38.4	38.2	51.2		16/09/2019
E-21	5.45	1943.0					1930.1	12.9	37.9				16/09/2019
E-22	5.30	1906.7											
E-23	5.27	1916.9	1916.9					0.0	0.0	0.0	100.0		18/08/2019
E-24	5.20	1878.2	1878.2					0.0	0.0				18/08/2019
E-25	5.21	1696.8		1696.5				0.3	3.8	3.2	95.8		25/08/2019
E-26	5.21	1806.6		1806.4				0.2	2.5				25/08/2019
E-27	5.21	1886.3			1886.5			-0.2	-1.3	-0.6	100.9		1/9/2019
E-28	5.55	1960.8			1960.8			0.0	0.0	0.4	99.4		1/9/2019
E-29	5.27	1888.0				1887.4		0.6	2.5				8/9/2019
E-30	5.34	1884.6				1885.0		-0.4	-1.7	1.7	97.9		8/9/2019
E-31	5.84	2074.9					2074.1	0.8	2.2				16/09/2019
E-32	5.74	2051.1					2050.7	0.4	1.1				16/09/2016
E-33	6.26	1873.1											
E-34	6.08	1918.8	1918.7					0.1	7.6	11.1	84.8		18/08/2019
E-35	6.37	2058.2	2058.0					0.2	14.6	7.2	90.5		18/08/2019
E-36	5.99	1620.1		1619.3				0.8	8.9				25/08/2019
E-37	6.01	2175.2		2174.7				0.5	5.5				25/08/2019
E-38	6.12	1428.8			1428.2			0.6	3.3	1.3	98.1		1/9/2019
E-39	5.52	1720.2			1720.3			-0.1	-0.6	0.2	99.7		1/9/2019
E-40	5.74	1832.2				1832		0.2	0.8	0.5	99.3		8/9/2019
E-41	6.05	1961.1				1961.2		-0.1	-0.4				8/9/2019
E-42	5.61	2019.1					2019.0	0.1	0.3				16/09/2019
E-43	6.07	2019.8					2019.5	0.3	0.8				16/09/2019
E-44	5.79	1962.7											

Figura 71. Reporte de resultados de medición de pruebas gravimétricas.

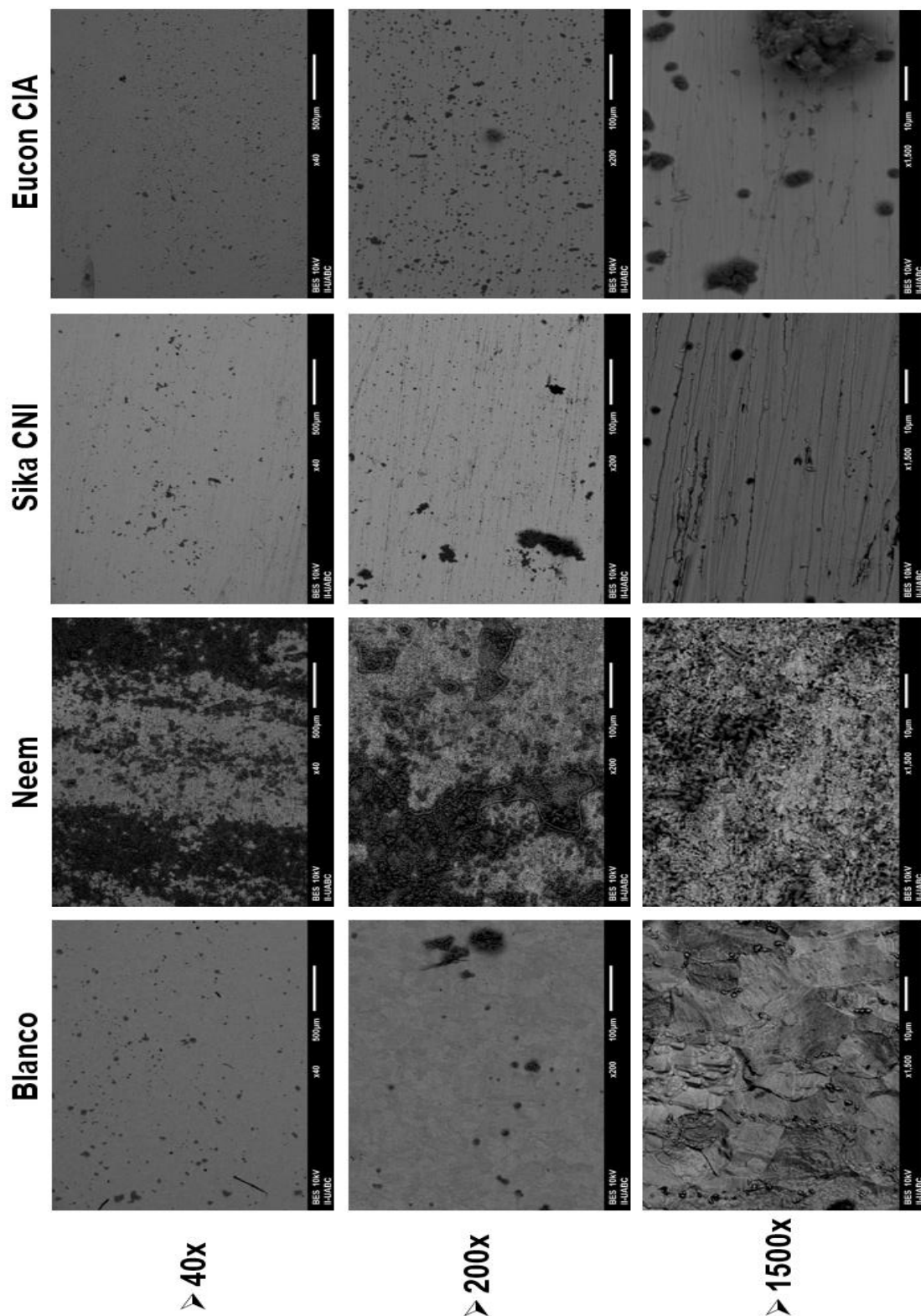


Figura 72. Micrografías SEM 40x, 200x y 1500X en concentración al 5% después de 696 h de exposición en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 3,5% w/w de NaCl: (a) Blanco, (b) Neem, (c) Sika CNI y (d) Eucon CIA.

REPORTE DE MUESTREO Y ENSAYOS DE CONCRETO FRESCO

FECHA DE PRODUCCIÓN: 7/28/2020

ABASOLO

PLANTA:

DATOS GENERALES									
PRUEBAS DE LABORATORIO									
Nombre del Cliente:									
No. de Obra:									
Unidad Colador:									
Sistema Dosificación:	Automático								
Cantidad cemento fuera ticket, kg *	9.70								
Cantidad total de cemento, kg **									
No. Ticket Sist. Dosificación:									
No. de Remisión:									
Hora de salida:	5:52								
Temp. Ambiente:	25								
Temp. de Concreto:	28								
Código No.	f.c. (kg/cm²)	Edad (Días)	Tro (DIB)	TMA (mm)	Rev (cm)				
70	300	N	D	20	10				
Apariencia:	Balanceada	Alta	Alta	Gravada	Media	Media	Arenosa	Regular	N. C.
Trabajabilidad:									
Cohesión:									
Revenimiento obtenido:	δ (cm)								
2do. Revenimiento obtenido:	1.4								
Contenido de aire	%								
Volumen de la entrega:	0.035								
No. de muestra:	MEZCLA 1								

RENDIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO POR REVOLUTURA

MASA DE LOS MATERIALES DOSIFICADOS

Material	Característica	Unidad	Diseño Original por m³	Carga Total Dosificada
Cemento	CPC40	(kg)	277	9.70
Grava 1	GS	(kg)	385	13.48
Grava 2	GT	(kg)	800	31.15
Grava 3		(kg)		
Arena 1	AN	(kg)	643	22.51
Arena 2		(kg)		
Agua	AGUA	(lt)	180	6.3
Aditivo 1	SIKAMET792	(lt)	5.5 CC	0.053
Aditivo 2		(lt)		
Aditivo 3		(lt)		
MASA TOTAL DE LOS MATERIALES (kg) :			2375	83.14

DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA DEL CONCRETO FRESCO

1.- Masa de recipiente: 3.47 (kg)

3.- Masa del recipiente con concreto: 20.28 (kg)

2.- Factor del recipiente: 141.50 (1/m³)

4.- Masa neta del concreto fresco: 16.81 (kg)

5.- Masa Unitaria del concreto fresco: 2379 (kg/m³)

DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO

Masa total por m³ de concreto = 83.14

Volumen de la entrega (m³) = 0.035

Masa total por m³ de concreto = 2375

Masa Unitaria del concreto fresco = 2379

RENDIMIENTO: 1000 L ± 1% CUMPLE NO CUMPLE

ELABORÓ: RAMIRO VAZQUEZ DELGADO
Responsable de Calidad

Figura 73. Reporte de concreto de ensayos de concreto fresco mezcla 1.

REPORTE DE MUESTREO Y ENSAYOS DE CONCRETO FRESCO

FECHA DE PRODUCCIÓN:

ABASOLO

PLANTA:

DATOS GENERALES											
Nombre del Cliente:		PRUEBAS DE LABORATORIO		Código No.		Edad (Días)		Tiro (D/B)		Rev (cm)	
No. de Obra:		Elemento Colado:		70		N		D		20	
Unidad Revolvedora:		Sistema Dosificación:		Automático Manual		6.7					
Cantidad cemento fuera ticket, kg *		Cantidad total de cemento, kg **		8.7							
No. Ticket Sist. Dosificación:		No. de Remisión:									
Hora de salida:		Hora de muestreo:		7:38							
Temp. Ambiente:		Temp. de Concreto:		29		30					
Apariencia: Trabajabilidad:		Balanceada Alta		Gravada Media		Arenosa Regular		N. C.			
Cohesión:		Revenimiento obtenido: 200. Revenimiento obtenido:		11		(cm)		Conf.			
		Contenido de aire		1.2		%					
		Volumen de la entrega:		0.035		(m³)					
		No. de muestra:		MEZCLA 2							
No. MOLDE											
RENDIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO POR REVOLUTURA											
MASA DE LOS MATERIALES DOSIFICADOS											
Material		Característica		Unidad		Diseño Original por m³		Carga Total Dosificada			
Cemento		GCP40		(kg)		277		9.70			
Grava 1		GSMG0612		(kg)		385		13.48			
Grava 2		GTMG1020		(kg)		890		31.15			
Grava 3				(kg)							
Arena 1		ANMG0005		(kg)		643		22.51			
Arena 2				(kg)							
Agua		AGUA		(lt)		180		6.3			
Aditivo 1		SIKA792		(lt)		5.5 CC		0.053			
Aditivo 2		NEEM		(lt)		9.9		0.347			
Aditivo 3				(lt)							
MASA TOTAL DE LOS MATERIALES (kg) :						2375		83.14			
DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA DEL CONCRETO FRESCO											
1.- Masa de recipiente:		3.47		(kg)		3.- Masa del recipiente con concreto:		20.25		(kg)	
2.- Factor del recipiente:		141.50		(1/m³)		4.- Masa neta del concreto fresco:		16.78		(kg)	
5.- Masa Unitaria del concreto fresco:						2374		(kg/m³)			
DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO											
Masa total por m³ de concreto =		Masa total de los materiales (kg)		83.14		=		2375		(kg/m³)	
		Volumen de la entrega (m³)		0.035		=					
RENDIMIENTO:		Masa total por m³ de concreto		2375		X 1000		=		1000	
		Masa Unitaria del concreto fresco		2374		X 1000		=			
		RENDIMIENTO		1000 L ± 1%		CUMPLE		NO CUMPLE			
ELABORÓ:		RAMIRO VAZQUEZ DELGADO		Responsable de Calidad							

Figura 74. Reporte de concreto de ensayos de concreto fresco mezcla 2.

REPORTE DE MUESTREO Y ENSAYOS DE CONCRETO FRESCO

PLANTA: ABASOLO

FECHA DE PRODUCCIÓN:

7/28/2020

DATOS GENERALES

Nombre del Cliente: _____
 No. de Obra: _____
 Elemento Colado: _____
 Unidad Revolvedora: _____
 Sistema Dosificación: _____
 Cantidad cemento fuera ticket, kg * _____
 Cantidad total de cemento, kg * * _____
 No. Ticket Sist. Dosificación: _____
 No. de Remisión: _____
 Hora de salida: _____
 Hora de muestreo: _____
 Temp. Ambiente: _____
 Temp. de Concreto: _____

Código No. 70
 f'c (kg/cm²) 300
 Edad (Días) N
 Tiro (DIB) D
 TMA (mm) 20
 Rev (cm) 10

Apariencia: Balanceada
 Trabajabilidad: Alta
 Cohesión: Alta

Gravada Media
 Media
 Regular
 Conf. N. C.

Revenimiento obtenido: 11 (cm)
 2do. Revenimiento obtenido: 1.1 %
 Contenido de aire: 0.035
 Volumen de la entrega: MEZCLA 3
 No. de muestra: _____

RENDIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO POR REVOLUTURA

MASA DE LOS MATERIALES DOSIFICADOS

Material	Característica	Unidad	Diseño Original por m³	Carga Total Dosificada
Cemento	GPC40	(kg)	277	9.70
Grava 1	GSM0512	(kg)	385	13.48
Grava 2	GTM31020	(kg)	890	31.15
Grava 3		(kg)		
Arena 1	ANMG0005	(kg)	643	22.51
Arena 2		(kg)		
Agua	AGUA	(lt)	180	6.3
Aditivo 1	SIKA792	(lt)	5.5 CC	0.0533
Aditivo 2	SIKA UNI	(lt)	9.8	0.347
Aditivo 3		(lt)		
MASA TOTAL DE LOS MATERIALES (kg) :				2375
				83.39

DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA DEL CONCRETO FRESCO

1.- Masa de recipiente: 3.47 (kg)
 3.- Masa del recipiente con concreto: 20.31 (kg)
 2.- Factor del recipiente: 141.50 (1/m³)
 4.- Masa neta del concreto fresco: 18.84 (kg)
 5.- Masa Unitaria del concreto fresco: 2383 (kg/m³)

DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO

Masa total por m³ de concreto = 83.387 = 2382 (kg/m³)
 Masa total de los materiales (kg)
 Volumen de la entrega (m³)
 Masa total por m³ de concreto = 2382
 Rendimiento: X 1000 = 1000 (Litros)
 Masa Unitaria del concreto fresco = 2383
 1000 L ± 1% CUMPLE NO CUMPLE

ELABORÓ: RAMIRO VAZQUEZ DELGADO
 Responsable de Calidad

Figura 75. Reporte de concreto de ensayos de concreto fresco mezcla 3.

REPORTE DE MUESTREO Y ENSAYOS DE CONCRETO FRESCO

7/28/2020

FECHA DE PRODUCCIÓN:

ABASOLO

PLANTA:

DATOS GENERALES									
Nombre del Cliente:		PRUEBAS DE LABORATORIO		Código		F'c		Edad	
No. de Obra:				No.		(kg/cm ²)		(Días)	
Elemento Colado:				70		300		N	
Unidad Revolvedora:								D	
Sistema Dosificación:		Automático							
Cantidad cemento fuera ticket, kg *		Manual							
Cantidad total de cemento, kg *				9.70					
No. Ticket Sist. Dosificación:									
No. de Remisión:									
Hora de salida:				7:02					
Temp. Ambiente:				27					
Temp. de Concreto:				30					
Apariencia:		Balanceada		Gravada		Tiro		TMA	
Trabajabilidad:		Alta		Media		(D/B)		(mm)	
Cohesión:		Alta		Media		D		20	
Revenimiento obtenido:		11		(cm)		Rev		(cm)	
2do. Revenimiento obtenido:		0.9		%		10			
Contenido de aire:		0.035		(m ³)					
Volumen de la entrega:		MEZCLA 4							
No. de muestra:									
No. MOLDE									
RENDIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO POR REVOLUTURA									
MASA DE LOS MATERIALES DOSIFICADOS									
Material	Característica	Unidad	Diseño Original	por m ³	Carga Total	Dosificada			
Cemento	GPC40	(kg)	277		9.70				
Grava 1	GSM0512	(kg)	385		13.48				
Grava 2	GTMG1020	(kg)	890		31.15				
Grava 3		(kg)							
Arena 1	ANMG0005	(kg)	643		22.51				
Arena 2		(kg)							
Agua	AGUA	(lt)	180		6.3				
Aditivo 1	SIKA792	(lt)	5.5 CC		0.053				
Aditivo 2	EUCON CIA	(lt)	9.9		0.347				
Aditivo 3		(lt)							
MASA TOTAL DE LOS MATERIALES (kg) :					2375	83.29			
DETERMINACION DE LA MASA UNITARIA DEL CONCRETO FRESCO									
1.- Masa de recipiente:		3.47		(kg)		3.- Masa del recipiente con concreto:		20.29	
2.- Factor del recipiente:		141.50		(1/m ³)		4.- Masa neta del concreto fresco:		16.82	
5.- Masa Unitaria del concreto fresco:				(kg/m ³)					
DETERMINACION DEL RENDIMIENTO									
Masa total por m ³ de concreto =		Masa total de los materiales (kg)		83.29		=		2380	
Volumen de la entrega (m ³)		0.035		=					
Masa total por m ³ de concreto		2380		=		X 1000		1000	
Masa Unitaria del concreto fresco		2380		=		X 1000		(Litros)	
RENDIMIENTO		1000 L ± 1%		CUMPLE		NO CUMPLE			
ELABORÓ:		RAMIRO VAZQUEZ DELGADO		Responsable de Calidad					

Figura 76. Reporte de concreto de ensayos de concreto fresco mezcla 4.

REGISTRO DE ENSAYE A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

Fecha de elaboración	Fecha de ensaye	No. Muestra	No. Especimen	Resistencia kg/cm ²	Diámetro (mm)			Altura (mm)			Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	
					D1	D2	Prom	A1	A2	Prom			7 Dias	28 Dias
28/7/2020	4/8/2020	BLANCO	5	300	21.1	21.1	21.1	10.1	10.1	10.1	80.1	22770	284	
28/7/2020	4/8/2020	NEEM	5	300	21.1	21.1	21.1	10.1	10.1	10.1	80.1	22220	277	
28/7/2020	4/8/2020	SIKA CNI	5	300	21.1	21.1	21.1	10.1	10.1	10.1	80.1	22500	281	
28/7/2020	4/8/2020	EUCON CIA	5	300	21.2	21.1	21.2	10.1	10.1	10.1	80.1	22020	275	
28/7/2020	25/8/2020	BLANCO	6 Y 7	300	21.1	21.1	21.1	10.1	10.1	10.1	80.1	26965		337
28/7/2020	25/8/2020	NEEM	6 Y 7	300	21.1	21.1	21.1	10.1	10.1	10.1	80.1	26875		335
28/7/2020	25/8/2020	SIKA CNI	6 Y 7	300	21.2	21.1	21.2	10.1	10.1	10.1	80.1	27390		342
28/7/2020	25/8/2020	EUCON CIA	6 Y 7	300	21.1	21.1	21.1	10.1	10.1	10.1	80.1	26485		331

Figura 77. Reporte de resistencia a compresión de cilindros.



Cementos Apasco, S.A. de C.V.
Planta Hermosillo
Carr. Hermosillo-Sahuaripa Km 23
C.P. 83309
Hermosillo, Sonora

INFORME DE RESULTADOS

Cemento Portland Compuesto de Clase 40

(CPC 40)

Periodo del Reporte 01.Jul.20 al 01.Aug.20

Especificaciones Físicas	Método de Prueba	Especificación de la Norma NMX-C-414- ONNCCE-vigente		Resultado	Unidades
		Mínimo	Máximo		
Resistencia a la Compresión	3 días	NMX-C-081	-	30.5	N/mm2
	28 días *	NMX-C-081	40 N/mm2	47.0	N/mm2
Tiempo de Fraguado	Inicial	NMX-C-059	45 minutos	119	minutos
	Final	NMX-C-059	-	600 minutos	162 minutos
Estabilidad de volumen en auto clave		NMX-C-062	- 0.20 %	0.80 %	0.016 %
Expansión en barras sumergidas a 14 días		NMX-C-185	-	0.020 %	-0.028 %

Especificaciones Químicas	Método de Prueba	Especificación de la Norma NMX-C-414 -ONNCCE-vigente		Resultado	Unidades
		Mínimo	Máximo		
Trióxido de Azufre (SO3) **	NMX-C-131	-	4.0 %	3.4	%

* Resultado de una muestra anterior

** De acuerdo a la norma NMX-C-414-ONNCCE vigente, el límite de trióxido de azufre (SO3) permitido puede excederse si las expansiones obtenidas en el ensaye de barras sumergidas en agua a 14 días, determinada conforme a la norma NMX-C-185-ONNCCE vigente, son menores al 0.020 % máximo estipulado.

I.Q. María Esther Parra Durazo
Coordinador de Control de Calidad

De acuerdo a los resultados, el cemento cumple con la norma NMX-C-414-ONNCCE vigente

Los resultados contenidos en el presente reporte corresponden a las muestras ensayadas en el periodo especificado.

El contenido de este documento no podrá ser reproducido parcial o totalmente sin la aprobación escrita de Holcim México.

Figura 78. Certificado de calidad de cemento Holcim CPC 40.



LAB SIN SERVICIOS PROFESIONALES, S.A. DE C.V.
ANÁLISIS QUÍMICOS, FÍSICOS Y BACTERIOLÓGICOS
Av. Uruguay # 798-11 Fracc. Sonora, Mexicali Baja California
Tel. 01 (686) 565 22 40, 565 21 04, 565 24 92

Mexicali, Baja California, Julio 23 del 2020.

Dicomsa
Carr. Abasolo km 13 S/N
Mexicali, Baja California.

At'n. Ing. Ramiro Vázquez.

Identificación de la Muestra: Muestra de agua para preparación de concreto. Planta colonia Abasolo.

Fecha de recepción: Julio 17 del 2020.

Parametro:	Resultados:
pH (u de pH)	7.35
Solidos suspendidos (mg/l)	No detectable
Cloruros (mg/l)	102.9
Sulfatos (mg/l)	320
Magnesio como mg (mg/l)	24.3
Carbonatos como CaCO ₃ (mg/l)	0
Dioxido de carbono (mg/l)	0
Alcalis totales como sodio (mg/l)	150
Grasas y aceites (mg/l)	No detectable
Total de impurezas en solución (mg/l)	836
Materia Organica	No detectable

Atentamente
Q.I. Rosa Elia Pérez Ruiz.

Figura 79. Análisis de agua utilizada en las mezclas de concreto.

Sika Mexicana SA de CV

Carretera Libre a Celaya Km. 8.5 Fracc.
Industrial Balvanera Corregidora, Qro.,
México. C.P. 76920

Tels: +52 442 238 58 00 Ext. 1216
Fax: +52 (442) 225 05 37
E-mail: lcc_lab.mexico@mx.sika.com
05-28 OPE Rev 02-D

CONSTRUYENDO CONFIANZA



CERTIFICADO DE CALIDAD

PRODUCTO: Sikament 792 Granel

NÚMERO DE LOTE:

200604-PF-0283559

No. CONTROL: CC-000096958

FECHA DE EMISIÓN: 25 de Junio de 2020



PRUEBAS REALIZADAS

Parámetro	Resultados	Especificaciones
Aspecto	Liq lig ambar	Liq lig ambar
Contenido de Sólidos Totales (%)	42.01	40.00 - 44.00
pH [-]	8.54	8.00 - 9.00
Densidad (g/ml)	1255.00	1245.00 - 1265.00

ADVERTENCIA: Todos nuestros productos han sido desarrollados y fabricados con toda la precaución razonable de acuerdo a normas de exactitud y calidad de Sika. La información que suministramos es correcta de acuerdo a nuestra experiencia; los productos tal como se venden, cumplen los fines para los cuales han sido fabricados. No obstante no se responde por variación en el método de empleo, condiciones en que sean aplicados, cuando la vigencia del producto esté vencida, o si son utilizados en forma que afecte la salud o cualquier patente propiedad de otros; para usos especializados o cuando surjan dudas en cuanto al uso o aplicación de un producto, deberá consultarse al Departamento Técnico de Sika.

Aprobado Por:

I.Q. MANUEL MORA MARTINEZ

Control de Calidad

Figura 80. Certificado de calidad de aditivo sikament 792.

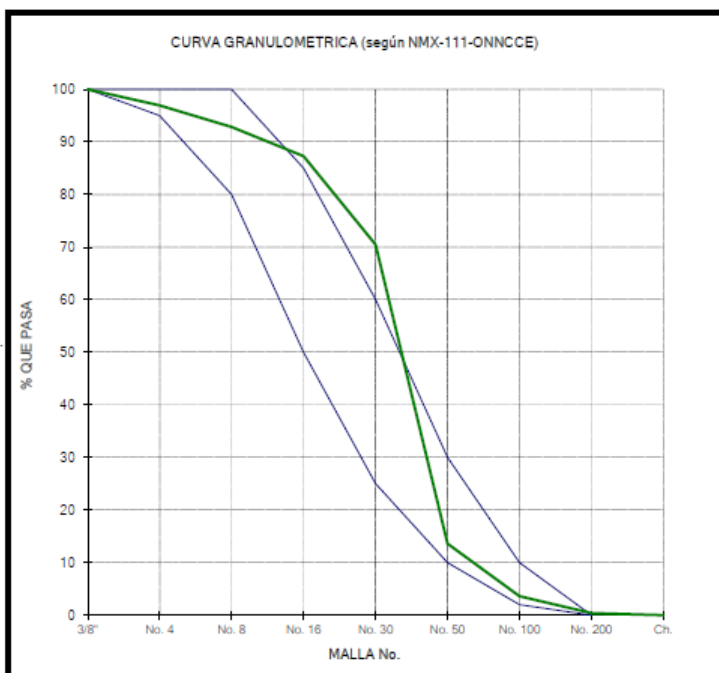
REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS DE ARENA

Planta / Lab: DICOMSA / ABASOLO Banco / Mina: HERRERA / LOPEZ MATEOS Fecha de Reporte: 7/24/2020
 Elaboró: OLIVER AYON VAZQUEZ Revisó: RAMIRO VAZQUEZ DELGADO TAMAÑO NOMINAL

DENSIDAD =	$\frac{M_{ss}}{\text{Volumen}} = \frac{1.000}{385.0} \times 1,000 = 2.60 \text{ kg/m}^3$
ABSORCIÓN =	$\frac{M_{ss} - M_s}{M_s} \times 100 = \frac{0.500 - 0.493}{0.493} \times 100 = 1.42 \%$
HUMEDAD TOTAL =	$\frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 = \frac{0.500 - 0.498}{0.498} \times 100 = 0.40 \%$
MASA VOLUMÉTRICA SUELTA =	$M. \text{ Suelta} \times \text{Factor Recip.} = 11.050 \times 141.24 = 1,561 \text{ kg/m}^3$
MASA VOLUMÉTRICA COMPACTADA =	$M. \text{ Comp.} \times \text{Factor Recip.} = 12.040 \times 141.24 = 1,701 \text{ kg/m}^3$
PÉRDIDA POR LAVADO =	$\frac{M_{s1} - M_{s2}}{M_{s1}} \times 100 = \frac{0.800 - 0.794}{0.800} \times 100 = 0.75 \%$

PROPIEDADES FÍSICAS		
DENSIDAD	kg/m ³	3
ABSORCIÓN	%	1.42
HUMEDAD TOTAL	%	0.40
MASA VOLUMÉTRICA SUELTA	kg/m ³	1,561
MASA VOLUMÉTRICA COMPACTADA	kg/m ³	1,701
PÉRDIDA POR LAVADO	%	0.75
CONTRACCIÓN LINEAL	%	ND
CONTAMINACIÓN DE GRAVA o ARENA	%	3.05
COEFICIENCIA DE FORMA	adim	ND
MATERIA ORGÁNICA	adim	ND
EQUIVALENTE DE ARENA	%	ND
MÓDULO DE FINURA	adim	2.4

DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA				
MALLA No.	PESO RET. INDIV.	% RET. INDIV.	% PASA ACUM.	% PASA REAL
2"	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	60.5	3.1	3.1	96.9
No. 8	82.5	4.2	7.2	92.8
No. 16	109.0	5.5	12.7	87.3
No. 30	334.0	16.8	29.5	70.5
No. 50	1127.5	56.8	86.4	13.6
No. 100	198.0	10.0	96.4	3.6
No. 200	64.0	3.2	99.6	0.4
Ch.	8.0	0.4	100.0	0.0
Total	1983.5			



MÉTODOS DE PRUEBA EMPLEADOS : NMX-C-30-ONNCE, C-73-ONNCE, C-77-ONNCE, C-154-ONNCE, C-155-ONNCE y C-170-ONNCE vigentes.

OBSERVACIONES
EL MATERIAL ANALIZADO CUMPLE CON EL PLAN DE CALIDAD :
SI CUMPLE

Figura 81. Reporte de análisis de arena (AN).

Anexo 2



Article

Azadirachta indica Leaf Extract as Green Corrosion Inhibitor for Reinforced Concrete Structures: Corrosion Effectiveness against Commercial Corrosion Inhibitors and Concrete Integrity

Benjamin Valdez-Salas ¹, Ramiro Vazquez-Delgado ^{1,*}, Jorge Salvador-Carlos ¹, Ernesto Beltran-Partida ¹, Ricardo Salinas-Martinez ¹, Nelson Cheng ² and Mario Curiel-Alvarez ¹

¹ Laboratorio de Corrosión y Materiales, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal s/n, Mexicali C.P. 21040, Baja California, Mexico; benval@uabc.edu.mx (B.V.-S.); jsalvador@uabc.edu.mx (J.S.-C.); beltrane@uabc.edu.mx (E.B.-P.); ricardo.salinas@uabc.edu.mx (R.S.-M.); mcuriel@uabc.edu.mx (M.C.-A.)

² Magna International Pte Ltd., 10 H Enterprise Road, Singapore 629834, Singapore; nelsoncheng@magnachem.com.sg

* Correspondence: ramiro.vazquez@uabc.edu.mx



Citation: Valdez-Salas, B.; Vazquez-Delgado, R.; Salvador-Carlos, J.; Beltran-Partida, E.; Salinas-Martinez, R.; Cheng, N.; Curiel-Alvarez, M. *Azadirachta indica* Leaf Extract as Green Corrosion Inhibitor for Reinforced Concrete Structures: Corrosion Effectiveness against Commercial Corrosion Inhibitors and Concrete Integrity. *Materials* **2021**, *14*, 3326. <https://doi.org/10.3390/ma14123326>

Academic Editor: Mercedes Sánchez Moreno

Received: 11 May 2021

Accepted: 11 June 2021

Published: 16 June 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The construction industry has extensively demanded novel green inhibition strategies for the conservation and protection of carbon steel-reinforced concrete structures. For the first time, the effect of *Azadirachta indica* leaf extract (Neem) as a potential corrosion inhibitor of carbon steel in reinforced concrete under corrosion in saline simulated media was evaluated. To assess the corrosion inhibition behavior of the Neem natural organic extract, three inorganic commercial inhibitors were tested to compare following the criteria established by Stratful for half-cell potential under a simulated chloride environment. Moreover, the effect of concrete integrity by the Neem treatment was recorded after different temperature conditions, slump, weight alteration, air content, compressive strength, and chloride-ions penetration. The results suggested that the Neem treatments did not alter the concrete integrity and the physicochemical parameters. We reached a promoted long-term corrosion protection of 95% after 182 days of evaluation. Thus far, our current results open up a new promising "green" road to the conservation of carbon steel in reinforced concrete for the construction industry.

Keywords: Neem; corrosion effectiveness; concrete integrity; green corrosion inhibitor; chloride environment

1. Introduction

The extensive industrial use of carbon steel in reinforced concrete structures may undergo a critical integrity degradation process generated by different corrosion mechanisms [1–4]. These alterations in the material's structure can have several harmful results, such as economic impact, a dramatic failure in the concrete supporting structures, and, far more importantly, fatal safety disasters [5]. Interestingly, the application of corrosion inhibitors to carbon steel concrete reinforced materials has been emerging as an optimal approach to improve stability and chemical surface protection, resulting in improved carbon steel functionality and durability [6–8]. The conventional corrosion inhibitors are mainly fabricated from organic, inorganic, and a combination of them to protect the metallic surfaces by different action mechanisms, such as interaction with corrosive species and the formation of adsorbed surface films. However, most of the available inorganic corrosion inhibitors present several detrimental environmental disadvantages and, more critically, are extensively harmful to human and animal health [7,8]. Thus, in response to the above-stated drawbacks, green corrosion inhibitors have emerged as a promising option to reduce the negative ecological and toxic impact without compromising its performance [9–12].

Anexo 3





**Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ingeniería**



Otorga la presente

CONSTANCIA

A: *Ramiro Vázquez Delgado*

Por haber asistido al curso:

"Espectroscopia de Impedancia Electroquímica para la Caracterización de Biomateriales de uso Médico"

Organizado por el Cuerpo Académico de Corrosión y Materiales, realizado en las instalaciones del Instituto de Ingeniería los días 17 a 23 de Mayo de 2018, con una duración de 20 horas y dirigido a estudiantes, profesores e investigadores.

POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE
Mexicali, Baja California, 23 de Mayo de 2018


Dra. Gisela Montero Alpírez
Directora




Dr. José María Bastidas Rull
Expositor



**ASOCIACIÓN MEXICANA DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES
DELEGACIÓN BAJA CALIFORNIA**

Otorga la presente

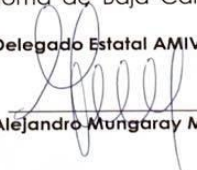
CONSTANCIA

a: M.I. RAMIRO VAZQUEZ DELGADO

Por su participación como: **PONENTE**

De la conferencia titulada: **"Evaluación de la corrosión en concreto reforzado en ambiente urbano"**, en el evento: **Jornada Colaborativa AMIVTAC BC Y AMIVTAC SONORA-ACI**. Evento técnico-académico nacional, llevado a cabo el día 08 de junio de 2018, en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería Mexicali.

Delegado Estatal AMIVTAC BC


Dr. Alejandro Mungaray Moctezuma.

Mexicali, Baja California a 08 de junio de 2018





American Concrete Institute
Always advancing



ACI México Capítulo Noroeste A.C.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE,
ACI MÉXICO CAPÍTULO NOROESTE, A.C.

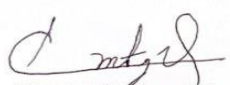
otorgan la presente

CONSTANCIA

a

Ramiro Vázquez

POR SU VALIOSA ASISTENCIA AL SEMINARIO VIRTUAL "CONCRETO EN CLIMA CÁLIDO", LLEVADO A CABO LOS DÍAS 27 Y 28 DE AGOSTO DE 2020, EN HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO, CON DURACIÓN DE 5 HORAS.



Ing. Alfredo Martínez Olivas
Presidente (Bienio 2019-2020)
ACI México Capítulo Noroeste



Ing. Oscar Antommattei
Director comité técnico ACI 305
ACI Internacional



Ing. Genaro Salinas
Director Comités Técnicos
ACI México Capítulo Noroeste





American Concrete Institute
Always advancing



ACI México Capítulo Noroeste A.C.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE,
ACI MÉXICO CAPÍTULO NOROESTE, A.C.

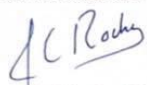
otorgan la presente

CONSTANCIA

a

Ramiro Vázquez Delgado

POR SU VALIOSA ASISTENCIA AL SEMINARIO VIRTUAL "DURABILIDAD Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO", LLEVADO A CABO LOS DÍAS 12 Y 13 DE NOVIEMBRE DE 2020, EN HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO, CON DURACIÓN DE 7 HORAS.



Ing. Juan C. Rocha Romero
Consejo Consultivo
ACI México Capítulo Noroeste



Ing. Genaro L. Salinas
Director Comités Técnicos
ACI México Capítulo Noroeste



117





Excon2021

Programa excelencia
en Concreto Premezclado



Aliados RMX



CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN

Holcim México hace constar que el participante:

Ramiro Vázquez Delgado

Concluyó satisfactoriamente el curso virtual:

Diseño de mezclas – Parte II De la teoría a la práctica

José Alfredo Rodríguez Campos
Gerente de innovación Holcim México

Armando Marín Muñoz
Coordinador Propuesta de Valor e Innovación

Construyamos juntos.



Excon2021

Programa excelencia
en Concreto Premezclado



Aliados RMX



CONSTANCIA DE PARTICIPACIÓN

Holcim México hace constar que el participante:

Ramiro Vázquez Delgado

Concluyó satisfactoriamente el curso virtual:

¿Cómo evaluar el desempeño del concreto en estado fresco?

José Alfredo Rodríguez Campos
Gerente de innovación Holcim México

Armando Marín Muñoz
Coordinador Propuesta de Valor e Innovación

Construyamos juntos.

