

**EVALUACIÓN DE DAÑOS Y COSTO DE REPARACIÓN, EN ESTRUCTURAS
MARINAS AFECTADAS POR LA ACCIÓN DE LOS CLORUROS DEL MEDIO.
(CASO DE ESTUDIO: MUELLE TERMINAL CHEVRON PETROLEUM
COMPANY)**



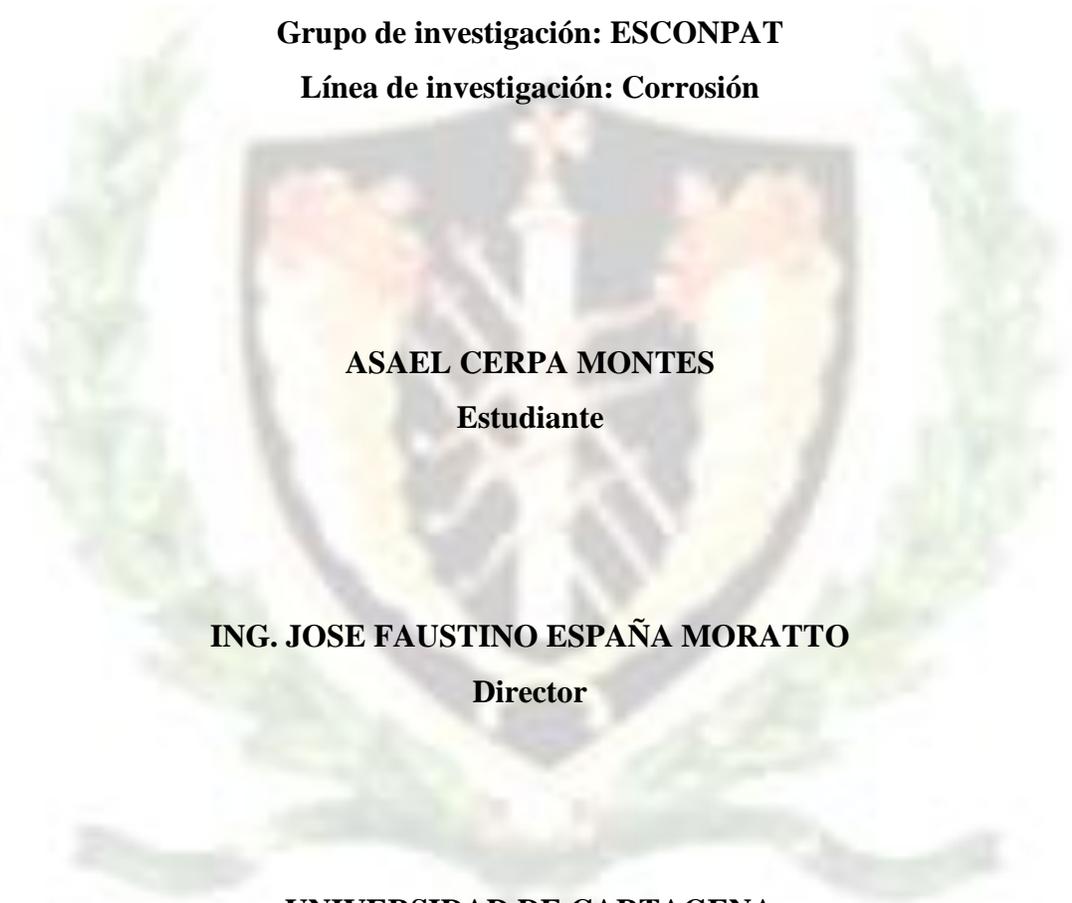
ASael CERPA MONTES
Estudiante

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.
2016

**EVALUACIÓN DE DAÑOS Y COSTO DE REPARACIÓN, EN ESTRUCTURAS
MARINAS AFECTADAS POR LA ACCIÓN DE LOS CLORUROS DEL MEDIO.
(CASO DE ESTUDIO: MUELLE TERMINAL CHEVRON PETROLEUM
COMPANY)**

Grupo de investigación: ESCONPAT

Línea de investigación: Corrosión



ASAEL CERPA MONTES

Estudiante

ING. JOSE FAUSTINO ESPAÑA MORATTO

Director

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.**

2016



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1 MARCO DE REFERENCIA	13
1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	13
1.1.1 Local.....	13
1.1.2 Nacional.	18
1.1.3 Internacional.....	19
1.2 MARCO TEÓRICO	32
1.2.1 Concreto	32
1.2.2 Concreto reforzado.....	32
1.2.3 Composición del concreto.....	33
1.2.4 Corrosión.....	36
1.2.5 Aditivos.....	43
1.2.6 Conceptos generales sobre costos.	46
2 OBJETIVOS.....	51
2.1 OBJETIVO GENERAL	51
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	51
3 ALCANCE.....	52
3.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	52
3.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL	53
3.3 PRODUCTO FINAL A ENTREGAR Y PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS 53	
3.4 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL	53
4 METODOLOGÍA.....	54
4.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
4.2 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL	56
4.3 INVESTIGACIONES EXPERIMENTAL DE CAMPO	56
4.3.1 Toma de lectura con el esclerómetro	57



4.3.2	Toma de registro fotográfico e inspección ocular al muelle Chevron Petroleum Company.....	60
4.3.3	Toma de muestras para determinación de cloruros totales	61
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
5.1.1	Resistencia a la compresión del concreto.....	63
5.1.2	Contenido de cloruros totales.....	65
5.1.3	Evaluación de daños en la estructura	70
5.1.4	Alternativa de solución propuesta.....	88
5.1.5	Costo de reparación de los elementos dañados del muelle	89
5.1.6	Comparación de resultados con otras investigaciones.....	90
6	CONCLUSIONES	94
7	RECOMENDACIONES	95
8	REFERENCIAS BIBIOGRAFICAS	96
ANEXOS		



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Riesgo de corrosión de la barra de refuerzo con relación a los rangos de concentraciones críticas de iones cloruros totales y solubles.....	15
Tabla 2. Proceso de Evaluación	20
Tabla 3. Resultados de la resistencia a la compresión de la losa, trabes y pilas	30
Tabla 4. Resistencia a la tensión indirecta de la losa y las trabes	31
Tabla 5 Clasificación de la eficiencia en la productividad de la mano de Obra	47
Tabla 6 Desperdicios de Materiales	48
Tabla 7 Cantidades de Concreto por M ² de placa en varios espesores	48
Tabla 8. Lecturas “R” del esclerómetro en las vigas 4-9 del eje A.....	58
Tabla 9. Lecturas “R” del esclerómetro en las vigas 10-15 del eje A.....	58
Tabla 10. Lecturas “R” del esclerómetro en las vigas 4-9 del eje B.....	59
Tabla 11. Lecturas “R” del esclerómetro en las vigas 10-15 del eje.....	60
Tabla 12. Datos de extracción de muestras, para el cálculo de cloruros totales.	62
Tabla 13. Resistencia a la compresión de las vigas 4-9 del eje "A"	63
Tabla 14. Resistencia a la compresión de las vigas 10-15 del eje "A"	63
Tabla 15. Resistencia a la compresión de las vigas 4-9 del eje "B".....	64
Tabla 16. Resistencia a la compresión de las vigas 10-15 del eje "B".....	64
Tabla 17. Contenido de cloruros totales, testigo 1. Viga 3A-I.....	65
Tabla 18. Contenido de cloruros totales, testigo 2. Viga 4 A-I.....	66
Tabla 19. Contenido de cloruros totales, testigo 3. Viga 5 A-D	66
Tabla 20. Contenido de cloruros totales, testigo 4. Viga 6 A-I.....	66
Tabla 21. Contenido de cloruros totales, testigo 5. Viga 7 A-D	66
Tabla 22. Contenido de cloruros totales, testigo 6. Viga 8 B-D	66
Tabla 23. Contenido de cloruros totales, testigo 7. Viga 9 A-I.....	67
Tabla 24. Contenido de cloruros totales, testigo 8. Viga 11B-D	67



Tabla 25. Contenido de cloruros totales, testigo 9. Viga 12 A-I.....	67
Tabla 26. Contenido de cloruros totales, testigo 10. Viga 13 B-D	67
Tabla 27. cantidades de obra en concreto en la viga 3 A.....	74
Tabla 28. cantidades de obra en concreto en la viga 4 A.....	74
Tabla 29. cantidades de obra en concreto en la viga 4 B	74
Tabla 30. Cantidades de obra en concreto en la viga 5 A.....	75
Tabla 31. Cantidades de obra en concreto en la viga 5 B	75
Tabla 32. Cantidades de obra en concreto en la viga 6 A.....	75
Tabla 33. Cantidades de obra en concreto en la viga 6 B	76
Tabla 34. Cantidades de obra en concreto en la viga 7 A.....	76
Tabla 35. Cantidades de obra en concreto en la viga 7 B	76
Tabla 36. Cantidades de obra en concreto en la viga 8 A.....	77
Tabla 37. Cantidades de obra en concreto en la viga 8 B	77
Tabla 38. Cantidades de obra en concreto en la viga 9 A.....	77
Tabla 39. Cantidades de obra en concreto en la viga 9 B	78
Tabla 40. Cantidades de obra en concreto en la viga 10 A.....	78
Tabla 41. Cantidades de obra en concreto en la viga 10 B	78
Tabla 42. Cantidades de obra en concreto en la viga 11 A.....	79
Tabla 43. Cantidades de obra en concreto en la viga 11 B	79
Tabla 44. Cantidades de obra en concreto en la viga 12 A.....	79
Tabla 45. Cantidades de obra en concreto en la viga 12 B	80
Tabla 46. Cantidades de obra en concreto en la viga 13 A.....	80
Tabla 47. Cantidades de obra en concreto en la viga 13 B	80
Tabla 48. Cantidades de obra en concreto en la viga 14 A.....	81
Tabla 49. Cantidades de obra en concreto en la viga 14 B	81
Tabla 50. Cantidades de obra en concreto en la viga 15 A.....	81
Tabla 51. Cantidades de obra en concreto en la viga 15 B	82
Tabla 52. Volumen requerido de hormigón para la reparación de las vigas de la pasarela .	82
Tabla 53. Volumen total de concreto de reparación	89



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de la muestra del testigo de la probeta de hormigón.....	15
Figura 2 Perfiles de concentración de cloruros solubles experimentales a 180 días	16
Figura 3 Perfiles de concentración de cloruros solubles experimentales a 360 días	17
Figura 4 Perfiles de concentración de cloruros solubles experimentales a 510 días	17
Figura 5 Daños encontrados en la inspección visual del puerto A	21
Figura 6a) Muestra la destrucción del recubrimiento y acero corroído	22
Figura 7 Daños más comunes encontrados	24
Figura 8 Daños más comunes	25
Figura 9 Croquis del muelle 6, las X indican las zonas donde se realizó la inspección	28
Figura 10 Croquis de la vista en planta del muelle 6. Las X señalan los puntos donde se realizaron las extracciones de los núcleos para el análisis químico de la losa (carbonatación y cloruros)	29
Figura 11 Representación esquemática del proceso electroquímico de corrosión de las armaduras en el concreto.....	38
Figura 12 muestra dos barras sumergidas en agua de mar.....	45
Figura 13 Ubicación geográfica del epicentro que será objeto de estudio	52
Figura 14. Localización de la Ciudad de Cartagena en la República de Colombia	54
Figura 15 Ubicación del Muelle Chevron Company en la zona industrial de Mamonal	55
Figura 16. Ubicación Muelle Terminal Chevron Petroleum Company	55
Figura 17 Localización de Toma de Lectura “R” con el esclerómetro. Puntos ensayados en las vigas del eje A	57
Figura 18. Localización de Toma de Lectura “R” con el esclerómetro. Puntos ensayados en las vigas del eje “B”.....	59
Figura 19. Viga 4 eje B	60



Figura 20: Viga 6 eje B lado Derecho.....	61
Figura 21. Pasarela y vigas 15ejes A -B	61
Figura 22. Viga 10 eje B con F'c bajo.....	64
Figura 23 Viga 12 eje A con F'c bajo.....	65
Figura 24. Viga 7 eje A.....	68
Figura 25. Viga 8 eje B	68
Figura 26. Viga 3 A en contacto directo con el agua de mar y con mayor concentración de cloruros.....	69
Figura 27.Viga 4 A en contacto directo con el agua de mar y con mayor contenido de cloruros	69
Figura 28. Planta estructural del muelle terminal Chevron Petroleum Company.....	71
Figura 29. Longitud de las vigas de la pasarela	74
Figura 30. Viga con agrietamiento y desprendimiento de concreto.....	82
Figura 31.Viga con desprendimiento y pérdida de diámetro de la barra de refuerzo.	83
Figura 32. Vigas con presencia de grietas.....	83
Figura 33.Plataforma en buen estado	84
Figura 34.Plataforma en buen estado	84
Figura 35. Planta de la Plataforma	85
Figura 36. Viga Y 3 del tablero.....	86
Figura 37. Viga Y 5del tablero.....	86
Figura 38. Volumen de concreto para reparar la viga Y 5.....	87
Figura 39.volumen de concreto para reparar la viga Y 16'	87
Figura 40.Volumen de concreto para reparar la viga Y 17'	87
Figura 41. Remoción de masa de concreto dañada	88
Figura 42. Diseño experimental	91



RESUMEN

La ciudad de Cartagena es una ciudad costera por lo tanto enfrenta ataques agresivos de los iones cloruros, siendo este una de las principales causas de corrosión del acero de refuerzo en las estructuras de concreto reforzado.

En esta investigación se evalúan los daños causados por la acción de los cloruros al Muelle Terminal Chevron Petroleum Company. La extracción de las muestras pulverizadas de concreto, se obtuvo a través de la perforación de las vigas del muelle con un taladro percutor eléctrico y posteriormente llevado a los laboratorios de la universidad de Cartagena, donde se determinó el porcentaje de cloruros totales mediante el método ASTM D 114.

Se obtuvieron porcentajes máximos de cloruros a profundidades entre 2 y 6 cm de 0,58⁰% y mínimo de 0,14 % los cuales fueron comparados con los criterios internacionales que establecen el 0,4% concentración de cloruros respecto al peso de cemento como valor umbral para el inicio de la corrosión.

Con lo que se puede concluir que los elementos que están expuestos de manera directa al mar tienen mayor contenido de cloruros.



ABSTRAC

The city of Cartagena is a coastal city therefore faces aggressive attacks of chloride ions, this being one of the main causes of corrosion of reinforcing steel in reinforced concrete structures.

This research evaluates the damages caused by the action of chlorides to the Chevron Petroleum Company Terminal Dock. The extraction of the pulverized samples of concrete was obtained through the piercing of the beams of the pier with an electric hammer drill and later taken to the laboratories of the University of Cartagena, where the percentage of total chlorides was determined by the ASTM method D 114.

Maximum percentages of chlorides were obtained at depths between 2 and 6 cm of 0.58% and minimum of 0.14%, which were compared with the international criteria that establish the 0.4% concentration of chloride with respect to the weight of cement as Threshold value for the start of corrosion.

Thus, it can be concluded that the elements that are exposed directly to the sea have a higher content of chlorides.



INTRODUCCIÓN

La corrosión por la acción de cloruros es uno de los problemas principales que afectan las estructuras de concreto reforzado expuestas a ambientes agresivos, en especial al marino, evidenciando el deterioro de los elementos por el ataque al acero embebido en las masas de concreto. En la mayoría de los casos, el recubrimiento desaparece totalmente y el refuerzo pierde su diámetro original amenazando la estabilidad de las edificaciones, causando deterioro y pérdidas económicas en las construcciones de concreto reforzado.

Cartagena, por ser una ciudad ubicada en zona costera es ideal para realizar este tipo de investigación, teniendo en cuenta que cualquier estructura expuesta a la acción agresiva de los cloruros, será blanco para grandes problemas corrosivos en el acero de refuerzo.

En esta investigación se realizaron estudios al Muelle Terminal Chevron Petroleum Company ubicado en Mamonal en el km 9, zona industrial de Cartagena. Dentro de este estudio se determinó la concentración de cloruros totales en el concreto reforzado, así como la resistencia a la compresión del hormigón. El estudio se realizó haciendo una marcación de identificación convencional a los elementos estructurales que conforman el muelle, complementado con una inspección ocular preliminar y una segunda inspección minuciosa detallada y clasificatoria de las lesiones observadas, haciendo mediciones manuales y tomas fotográficas, para obtener los valores de la concentración de cloruros se perforaron las vigas, con taladro percutor para extraer la muestra pulverizada de concreto, posteriormente fue analizada en los laboratorios de la universidad de Cartagena con la norma ASTM D 114 que es un método utilizado para el análisis de cloruros totales.

Es importante realizar este tipo de investigaciones porque aporta conocimientos reales respecto a lo que está causando los daños en la estructura, en este caso la causa principal de corrosión es el ion cloruro, el cual fue comparado con los valores de la tabla 1, que establece



**Evaluación De Daños Y Costo De Reparación, En Estructuras Marinas
Afectadas Por La Acción De Los Cloruros Del Medio.
(Caso De Estudio: Muelle Terminal Chevron Petroleum Company)**



valores a partir del cual existe riesgo de corrosión de la barra de refuerzo con relación a los rangos de concentraciones críticas de iones cloruros totales.



1 MARCO DE REFERENCIA

1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

Con el transcurrir del tiempo las estructuras de concreto reforzado expuestas a ambientes marinos, evidencian deterioro del refuerzo y de las masas de concreto de recubrimiento. En la mayoría de los casos este recubrimiento desaparece totalmente y el refuerzo pierde su diámetro original amenazado la estabilidad de las edificaciones. Como respuesta a este fenómeno a nivel nacional e internacional se han desarrollado investigaciones para tratar de dar solución a esta problemática.

A continuación se presenta una muestra de estos estudios para vislumbrar hasta donde avanzado la investigación en este campo específico.

1.1.1 Local

1.1.1.1 Corrosión del concreto en ambientes marinos (Evaluación de parámetros de durabilidad mediante agresión simulada de agua de mar: Fuad Curí Ahumada, Rafael Marimon Pianeta, tesis de la universidad de Cartagena, facultad de ingeniería.1995.

En esta investigación se realizaron ensayos bastante extensos y variados, los sondeos químicos fueron realizados en los laboratorios de ZIKA Andina en Bogotá, tales pruebas permitieron evaluar las cantidades de sustancias presentes en el agua de mar, estos estudios posibilitaron la observación de tendencias generales en las mezclas ensayadas, tales como:

- Al concreto lo afectan muchas sustancias en variados ambientes y de muchas maneras, los mecanismos de corrosión son muy diversos y su complejidad se incrementa.



- La permeabilidad del concreto es un factor fundamental en su capacidad de resistir ataques del medio externo, las medidas encaminadas para mejorar su desempeño en el ambiente marino deben ser dirigidas a buscar mezclas lo más impermeable posible.
- La producción de concreto para el ambiente marino, requiere sus propias normas, controles y especificaciones, además da la sola resistencia a la compresión.

En conclusión la investigación de la corrosión del concreto en ambientes agresivos y prácticamente en el medio marino se encuentra que a pesar de haberse realizado grandes esfuerzo en este tema en el que aún falta mucho por hacer y estudiar los problemas relacionados con la corrosión de estructuras de concreto requieren, sin embargo soluciones urgentes.

En esta investigación se hace un estudio sobre la velocidad de penetración de la corrosión y las cantidades de sustancias en el agua de mar, pero no determina el contenido de cloruros presentes en una estructura de concreto reforzado expuesta al ambiente marino.

1.1.1.2 Modelo de difusión de cloruros en probetas cilíndricas de hormigón armado sumergidas en agua sintética (Tovar Tejada, Villabona Ortíz, & Villabona Duràn, 2013)

En esta investigación se aplicaron la norma ASTM-114: Método estándar para el análisis de cloruros totales, así como la norma ASTM C-1218/C1218M-93: Método estándar para el análisis de cloruros solubles.

- **Parte experimental**

Para el desarrollo del experimento se utilizaron 4 probetas cilíndricas de hormigón armado, dos tipos de resistencia (dos relaciones agua-cemento). El diseño se aplica para la inmersión en la solución de cloruro de sodio.

- **Preparación de la solución salina**

La solución de iones cloruros se preparó a partir de cloruro de sodio con la concentración del agua del mar de Cartagena de Indias (11,1gr/l).



- **Preparación de las probetas**

Se prepararan 4 probetas con cemento clase I, con dos marcas de cemento encontradas en el medio de la construcción de mayor circulación en la ciudad de Cartagena de Indias, para dos tipos de resistencia: 3000 y 4000psi. Teniendo en cuenta la norma técnica colombiana NTC 550.

- **Obtención de perfiles de concentración de cloruros**

Se analizó un testigo de cada probeta cilíndrica, y se evaluó la concentración de cloruros a una distancia radial de 0,5, 1,0 y 2,0cm del borde hacia el centro, obteniendo perfiles de concentración de cloruros versus distancia en cm (ver figura 1). (Castañeda Valdés, Días Brito, Gonzáles Mellor, Martínez Hernández, & Corvo Pérez, 2005)

Concentración de iones cloruros a la profundidad del acero (% por peso del cemento)	Riesgos para la iniciación de la corrosión
< 0.4	Insignificante
0.4 - 1.0	Posible
1.0 - 2.0	Probable
> 2.0	Seguro

Tabla 1. Riesgo de corrosión de la barra de refuerzo con relación a los rangos de concentraciones críticas de iones cloruros totales y solubles

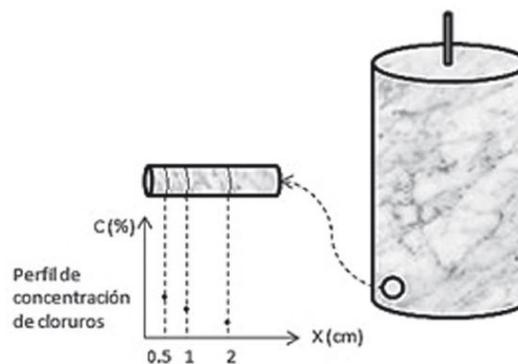


Figura 1 Esquema de la muestra del testigo de la probeta de hormigón



Se analizaron testigos tomados de las probetas de hormigón inmersas en soluciones salinas en tiempos de 180, 360 y 520 días.

Resultados y Discusión

Perfiles de concentración de cloruros

Para la evaluación del grado de corrosión en las probetas de hormigón sumergidas en la solución salina, se construyó el perfil de difusión de cloruros, se tomaron tres mediciones de datos, una vez iniciado el experimento a 180, 360 y 510 días, tal como se relaciona a continuación.

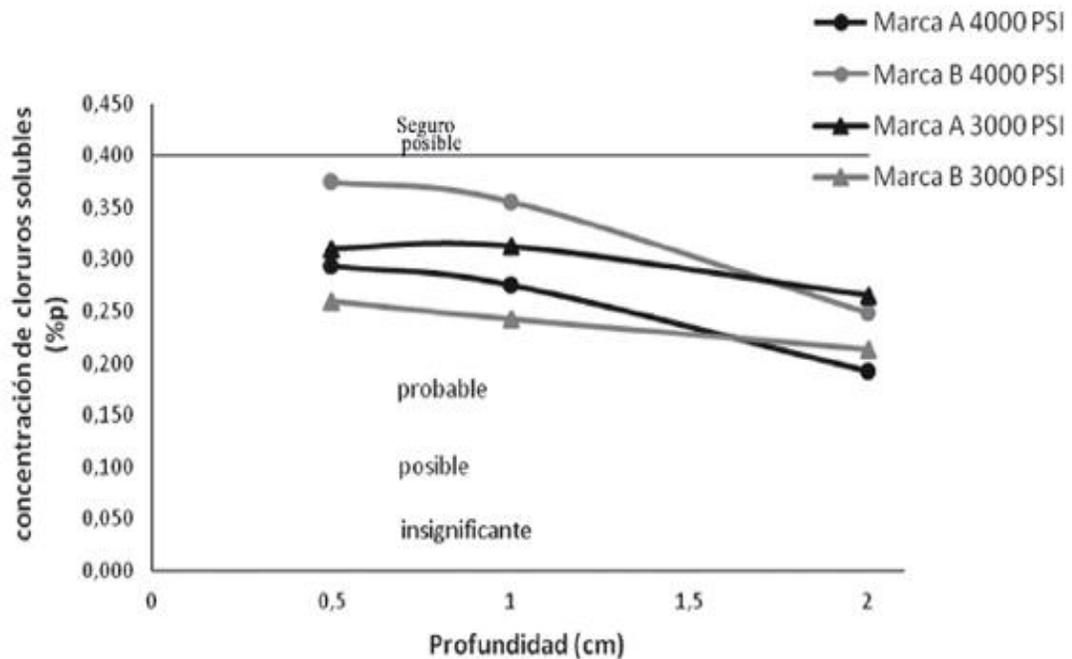


Figura 2 Perfiles de concentración de cloruros solubles experimentales a 180 días

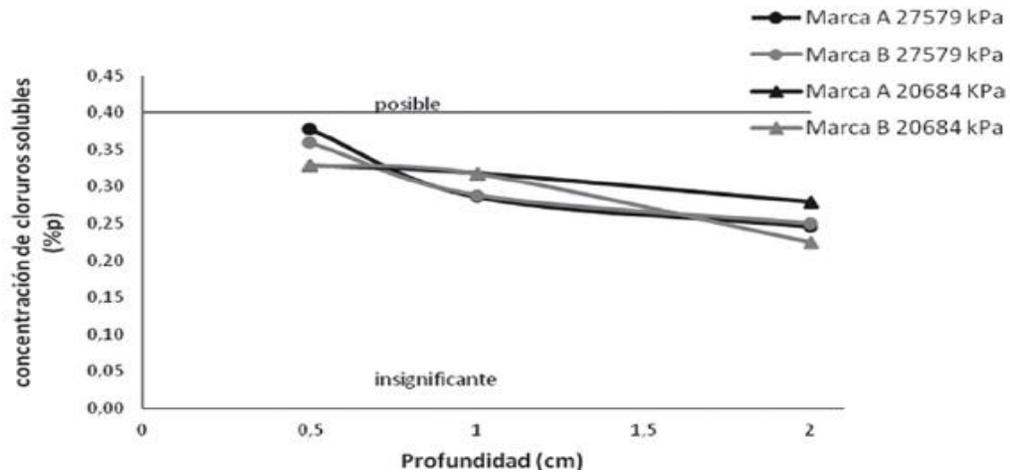


Figura 3 Perfiles de concentración de cloruros solubles experimentales a 360 días

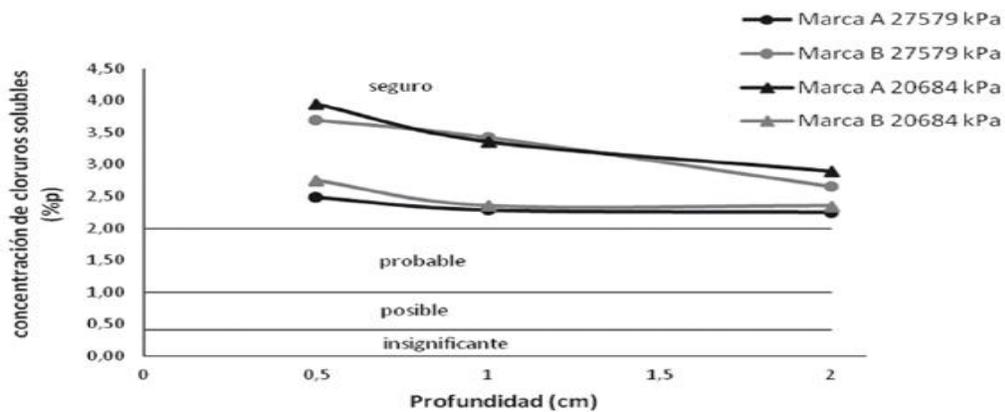


Figura 4 Perfiles de concentración de cloruros solubles experimentales a 510 días

Como puede apreciarse en las Figuras 2, 3 y 4, los perfiles de las probetas inmersas en solución salina a 180 y 360 días presentan valores de concentración por debajo al nivel crítico de cloruros ($C_{\text{crítico}} \approx 1\%$), mientras que a 510 días presenta valores más elevados de concentración de cloruros, por encima del nivel crítico de concentración para provocar la corrosión del acero en el hormigón.

Cabe resaltar que el estudio patológico que se realizó en esta investigación fue de manera descriptiva ya que no se evaluó, diagnóstico y tampoco se realizaron ensayos-físico



mecánicos con el objetivo de darle soluciones al problema, mucho menos se diseñó un plan de intervención y monitoreo para ayudar con el control de las patologías presentes

En esta investigación se determina el contenido de cloruros, pero tiene como limitante que no plantea alternativas de solución para controlar la problemática.

1.1.2 Nacional.

1.1.2.1 Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro: Roa-Rodríguez Guillermo, Aperador-Chaparro William, Delgado-Tobón Emilio, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, Ingeniería Investigación y Tecnología volumen XVI 2015.

En el presente trabajo se diseñó y construyó un equipo de monitoreo remoto que permite obtener los potenciales de corrosión en los aceros de refuerzo inmersos en concreto reforzado, los cuales se sometieron previamente al ataque de cloruros en un ambiente hostil. El sistema de monitoreo, basado en la norma ASTM C876-91, permite determinar desde 0 a 100% la probabilidad de corrosión sobre las muestras evaluadas.

Se fabricaron probetas con diámetros de 150 mm y 300 mm de longitud con refuerzo de acero de ½” las cuales se construyeron usando cemento Portland tipo I. Posteriormente se sometieron a inmersión en una solución que simula las condiciones marinas (NaCl 3.5%). El equipo se dispuso para realizar el monitoreo de probetas sometidas a ataque de cloruros, almacenando los valores de potencial de circuito abierto en intervalos periódicos, durante un lapso total de 12 meses, iniciando el ataque de cloruros transcurridas 140 días.

A través de este estudio se desarrolló un equipo de monitoreo remoto de corrosión capaz de adquirir potenciales de media celda, para determinar a partir de estos, las probabilidades de corrosión (10 a 90%) con errores medios de 0.029% con base en equipos comerciales patrón (Gamry PCI 4). El equipo desarrollado se expuso a ambientes corrosivos saturados, como el ambiente marino (saturación de 3.5% de ion cloruro), en donde se encontró que es posible



monitorear los potenciales de media celda y su evolución en el tiempo de forma remota y estable, sin superar errores máximos de 2.2044%.

El estudio permitió obtener un sistema capaz de realizar mediciones de potencial de media celda con una precisión de $\pm 1 \text{ mV}$, cuya tasa de muestreo es de 1 segundo, garantizando la obtención de un potencial de media celda verídico. El sistema desarrollado posee una gran versatilidad en cuanto a su lugar de ubicación, ya que el uso de la red celular que dispone (*GSM*), le habilita para comandar de forma remota independiente de la distancia desde donde se encuentre el centro de control. Asimismo, proporciona ventajas sobre el personal y equipo necesario, pues reduce costos al disponer directamente la información en un servidor Web accesible por cualquier usuario con una conexión mínima a internet.

A pesar de las ventajas de este y de la fiabilidad que puede proporcionar sus resultados en cuanto a la corrosión del acero en ambientes marinos, tiene como limitante que no hace un análisis de costo que permita hacer un avalúo de los daños.

1.1.3 Internacional

1.1.3.1 Rendón Belmonte M, Torres Acosta AA, Del Valle Moreno A, Pérez Quiroz JT, Lomelí González G, Martínez Madrid M. Evaluación de estructuras de concreto reforzado en México, muelles. En Valdés Salas B, & Schorr Wiener M (Eds.). Corrosión y preservación de la infraestructura industrial. Barcelona, España: OmniaScience; 2013. pp. 175-205.

Existen numerosas tecnologías para prevenir y reparar daños causados por corrosión. Las estrategias para retrasar el inicio de la corrosión en estructuras nuevas se categorizan como estrategias de “prevención”; las tecnologías y materiales desarrollados para reparar el daño inducido por corrosión son referidos como “reparación” y el término que se utiliza si el propósito elimina, controla la causa o interfiere con el proceso de deterioro es



“rehabilitación”. Para diseñar la estrategia adecuada, es necesario primero realizar una evaluación detallada para conocer el nivel del avance del daño por deterioro de la estructura.

Existen dos métodos de evaluación que se interrelacionan mutuamente; a) Método Simplificado y b) Método Detallado. El uso de uno y otro depende de los alcances de la evaluación, la información disponible, el interés del propietario de la estructura y el costo de la evaluación.

- a) El Método Simplificado (MS) consiste en establecer un nivel del estado de la estructura actual y recomienda los periodos de inspección o evaluación necesarios.
- b) El Método Detallado (MD) consiste en un análisis riguroso de la estructura, elemento a elemento, teniendo en cuenta los efectos de la corrosión de las armaduras en la sección concreto–acero.

Independientemente del método, deberán valorarse los siguientes criterios:

INSPECCIÓN VISUAL PRELIMINAR	
Objetivo	Información necesaria
Identificación del mecanismo de deterioro	Cloruros / carbonatación, corrosión bajo tensión
Levantamiento de daños	Localización, frente del agresivo, mapa de fisuración, desprendimientos, pérdida de sección
Formación de lotes	Tipología estructural, agresividad ambiental, nivel de daño
Selección de sitios para ensayos	Lotes, mecanismo de deterioro.
TRABAJO DE OFICINA	
Recopilación de información	Cálculos, modelos estructurales. - Histórico de acciones. - Edad de la estructura.
Clasificación ambiental	Datos de clima, fenómenos ambientales: lluvia, humedad, contenido de cloruros
Formación de lotes	Tipología estructural, agresividad ambiental, nivel de daño
ENSAYOS IN SITU	
Ensayos	Carbonatación y contenido de cloruros, microestructura del concreto, resistencia mecánica, intensidad de corrosión y resistividad
Mediciones	Geometría y dimensiones de los elementos, cargas actuantes, detalle de armado, espesor de recubrimientos y pérdida de sección

Tabla 2. Proceso de Evaluación



- **Resultados**
 - **Inspección visual preliminar (puerto A)**

La mayoría de los pilotes han sido reparados en diferentes etapas para mitigar los daños por corrosión. Muchas de éstas reparaciones se conservan en buen estado, pero una buena cantidad presenta deterioro. La Figura 5 muestra los principales daños detectados en los tramos 2 al 6: pérdida de sección de acero, manchas de óxido, acero descubierto, desprendimiento de concreto.



Figura 5 Daños encontrados en la inspección visual del puerto A

En algunos casos, la corrosión es local, justo encima o debajo de donde se ha realizado reparaciones, en la (Figura 6 a), se observan áreas extensas delaminadas. Con pérdida



significativa de sección en el acero de refuerzo longitudinal y pérdida total en el acero transversal (Figura 6b).



Figura 6a) Muestra la destrucción del recubrimiento y acero corroído

b) áreas con pérdidas significativas en el puerto A

- **Conclusión**

- De manera general y basándose en las inspecciones simplificadas, los 16 puertos federales presentan deterioro ambiental y por carga en sus estructuras. En algunos casos el deterioro llega a presentar problemas ya con el acero de refuerzo y por ende de la capacidad portante de cada muelle.
- La inspección detallada de los 4 puertos (A-D) presentada en este trabajo, demuestra en todos los casos una gran variabilidad de las propiedades físicas del concreto y electroquímicas del acero, a pesar de que se encuentren en un mismo micro clima. Esto debe tomarse en cuenta en todo trabajo de inspección detallada de estructuras de concreto, por lo que la selección de las zonas de inspección deben ser ubicadas en diferentes posiciones en la estructura a evaluar.
- Para conocer el estado de durabilidad del acero de refuerzo será también importante realizar pruebas electroquímicas en mayor número de elementos que conforman la



estructura ya que se ha demostrado, de nueva cuenta, la variabilidad que estos valores podrían tener, sobre todo por la cercanía con la zona de cambio de mareas.

Esta investigación la evaluación del estado del muelle sin embargo no cuantifica la magnitud de los daños.

1.1.3.2 Angélica Del Valle, A., Torres, A., Fabela, M., & Martínez, M. (2006). Degradación por corrosión de un muelle del pacífico mexicano. Instituto Mexicano del Transporte, Querétano, MÉXICO, PAG. 193 – 204.

Se recopiló la mayor información posible, incluyendo algunos datos del proyecto original y planos de modificaciones. Posteriormente se hizo el levantamiento de daños y la realización de ensayos. Con toda esa información se realizó el análisis teórico del comportamiento de los elementos para evaluar los daños encontrados y encontrar las causas de dichos daños. Finalmente se desarrolló una metodología de análisis y evaluación de las ventajas y desventajas de cada opción considerada.

La evaluación de la estructura comprendió los siguientes ensayos físico-químicos de tipo semi destructivo y no destructivo:

- Determinación de las características mecánicas del concreto mediante pruebas de resistencia a la compresión de núcleos (26 ensayos), índices esclerométricos (115 series) y ensayos de resistencia a tensión por adherencia (21 ensayos).
- Verificación de la concordancia entre la información documental y la estructura construida, mediante detecciones y cuantificaciones del acero de refuerzo en 41 sitios. · Determinación del potencial de corrosión en aproximadamente 200 m².
- Pruebas de carga estáticas y dinámicas para medir valores de deformación unitaria superficial, es decir, alargamiento o acortamiento relativo en la superficie de losas y pilotes, para estimar los esfuerzos correspondientes.
- Identificación y caracterización de daños.



Resultados y discusión

- **Resistencia a la compresión**

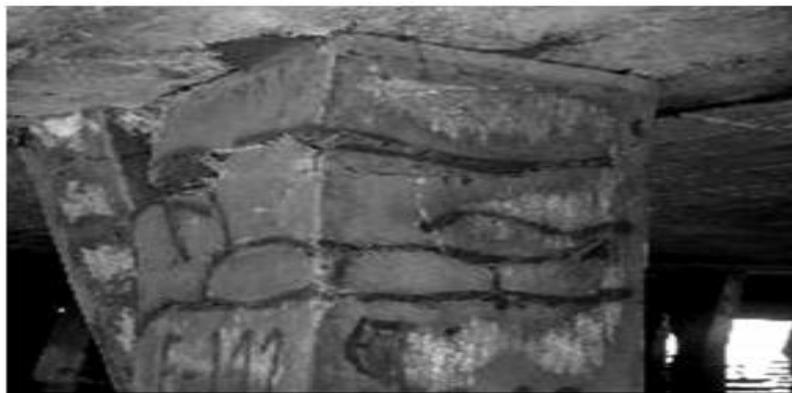
La resistencia de diseño fue de 35 MPa y los promedios de las resistencias obtenidas estuvieron por encima de este valor, sin embargo se obtuvieron valores muy variados, uno de ellos de tan solo 17 MPa. El peso unitario promedio obtenido (2 108 kg/m³) (2 317 kg/m³ máx., 1 921 kg/m³ mín., un coeficiente de variación de 9,4 y n=26 muestras), denota un concreto de peso normal. (2 200 kg/m³). (Del Valle et al., 2005a).

- **Contenido de cloruros**

Los contenidos de cloruros obtenidos se encuentran por encima del valor umbral permitido internacionalmente para el inicio de la corrosión de 0,4% con respecto al contenido de cemento a todas las profundidades exploradas.

- **Levantamiento de daños**

La mayoría de los daños en los pilotes se localizaron justo por encima del nivel de marea máximo, que fue precisamente la zona en que se identificó que existe un mayor contenido de cloruros y el mayor nivel de potencial de corrosión, por lo tanto, fue la zona de mayor actividad corrosiva. Las Figuras 7 y 8 muestran ejemplos de los daños más comunes encontrados.



Grietas en pilotes y coronas de pilotes

Figura 7 Daños más comunes encontrados



Figura 8 Daños más comunes

El levantamiento de daños incluyó la identificación y medición de los daños en cada cara de cada pilote, lo que se plasmó en planos que permitieron la rápida ubicación de cada pilote en particular.

- **Proyecto de rehabilitación**

Los estudios de daño en general requieren de un equipo multidisciplinario y especialista, que permita profundizar en el entendimiento de las variables que influyen en la patología de la estructura.

La clasificación de las reparaciones se dio como sigue:

Clasificación Tipo I, requiere reposición de acero, reposición de concreto y adición de protección.

Clasificación Tipo II, requiere reposición del concreto y adición de protección.

Clasificación Tipo III, requiere sólo adición de protección. Una vez establecida la clasificación de los pilotes, se procedió a buscar la alternativa óptima de reparación para cada



caso en particular, por lo que se desarrolló una metodología de análisis en donde se valoraron las ventajas y desventajas de cada opción considerada.

Las opciones analizadas fueron en síntesis: Encamisado simple de los pilotes; Encamisado de los pilotes con un sistema de protección catódica; Uso de Fibra de Carbono como refuerzo estructural de todo el pilote y de los casos en donde se requería sólo reforzar la zona de salpique y oleaje; Uso de concretos convencionales; Uso de aditivos tales como superfluidificantes, microsílica e inhibidores de la corrosión; Uso de morteros tixotrópicos; Aplicación de morteros expansivos autonivelantes.

Debido al avanzado estado de deterioro general en que se encontraron algunos tramos del muelle (específicamente la Banda A), su rehabilitación requería un reforzamiento estructural que implicaba un costo bastante elevado.

- **Conclusiones**

La combinación de materiales y tecnologías nuevas con las buenas prácticas tradicionales de ingeniería es la mejor opción para rehabilitar estructuras de concreto. El 20% del total de los pilotes se encuentra dentro de la Clasificación Tipo I, por lo que requiere reposición de acero, reposición de concreto y adición de protección.

El 48% del total de los pilotes se encuentra dentro de la Clasificación Tipo II, por lo que requiere reposición del concreto y adición de protección. El 32% del total de los pilotes se encuentra dentro de la Clasificación Tipo III.

Debido a la pérdida de capacidad estructural de pilotes dañados por corrosión, los pilotes sin daño deben soportar mayores niveles de esfuerzo y deformación. Estos niveles se ven amplificados si la estructura se sujeta a cargas que se desplazan sobre la superficie de la losa, comparada con las mediciones de cargas estáticas.

Este estudio a pesar de ser muy útil, tiene como limitación que no hace el análisis de costo de reparación de la estructura.



1.1.3.3 Caracterización y comparación de la velocidad de corrosión del acero de refuerzo determinada por ruido electroquímico y diferencia de espesor bajo la influencia de iones cloruro, Abel Castañeda y Francisco Corvo, revista cenic ciencias químicas, vol. 39, no. 2, 2008.

En este trabajo se comparó la evaluación de la corrosión determinada por la técnica del ruido electroquímico basado en el tiempo y la frecuencia en probetas con acero de refuerzo en hormigón armado preparado en tres relaciones agua/cemento y en dos condiciones de exposición. La medición directa de la velocidad de corrosión por diferencia de espesor se tomó como referencia. La velocidad de corrosión en el dominio de la frecuencia resultó más significativa en comparación con la determinada en el dominio del tiempo con respecto a la diferencia de espesor. Se confirmó la existencia de corrosión localizada bajo la influencia de iones de cloruro, en las señales del ruido de la corriente en el dominio del tiempo y la frecuencia y en el índice de picadura, confirmada con la observación visual en los aceros de refuerzo. La condición de exposición a intemperie incide en que se produzca una mayor corrosión en el acero de refuerzo, en comparación con las condiciones de inmersión, debido a una mayor penetración de los agentes agresivos. Se confirmó que al incrementar la relación agua/cemento en la dosificación del hormigón, aumenta la corrosión en el acero de refuerzo.

En esta investigación se da a conocer la velocidad de penetración de la corrosión en estructuras en el hormigón, tiene como limitante que no se evalúa la concentración total de iones cloruros presentes en una estructura.

1.1.3.4 Castro-Borges, P., Torres-Acosta, A., Balancán-Zapata, M., & López-González, A. (2012). Análisis de daños por la interacción de cargas ambientales y estructurales en una subestructura marina. *Revista de la Construcción*, p.88-98.

El presente estudio se realizó su investigación en el muelle 6 del Puerto de Progreso, la principal consecuencia de los daños ha sido hasta ahora la corrosión del concreto reforzado



de las losas, vigas y pilas. El objetivo de este trabajo es presentar y discutir la información obtenida así como las recomendaciones para una reparación

La superestructura está compuesta por 11 vigas o trabes longitudinales (largueros) apoyadas sobre vigas T (vigas de piso) invertidas transversalmente y 5 cubiertas continuas de concreto con una superficie de desgaste no aparente. La longitud total del muelle es de 250 m, dividida en 25 secciones (cubiertas) de 10 m. El ancho total del muelle es de 20.8 m.

Los principales daños observados en este muelle, durante la inspección del 2009, fueron agrietamientos longitudinales en la dirección del acero, debido a la corrosión de las armaduras y la pérdida de sección de concreto en varias vigas.

- **Procedimiento experimental**
 - **Selección de las áreas a inspeccionar**

Las figuras 9 y 10 muestran los ejes numerados, las zonas seleccionadas para la inspección y la orientación geográfica del Muelle 6. Los ejes del 0-37 corresponden al Muelle 7 y no son mostrados en la figura 6.

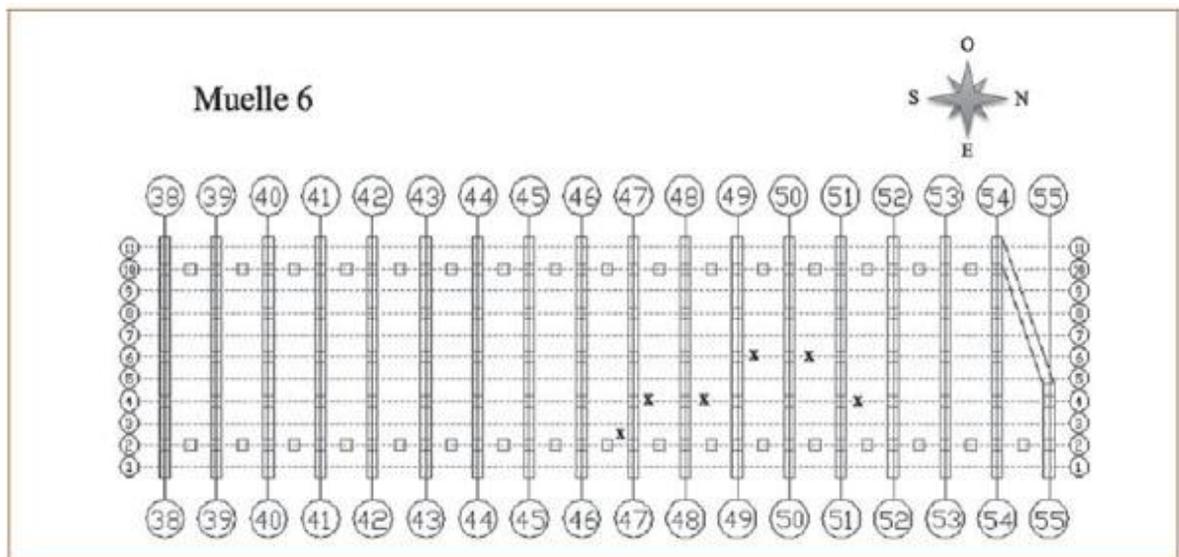


Figura 9 Croquis del muelle 6, las X indican las zonas donde se realizó la inspección

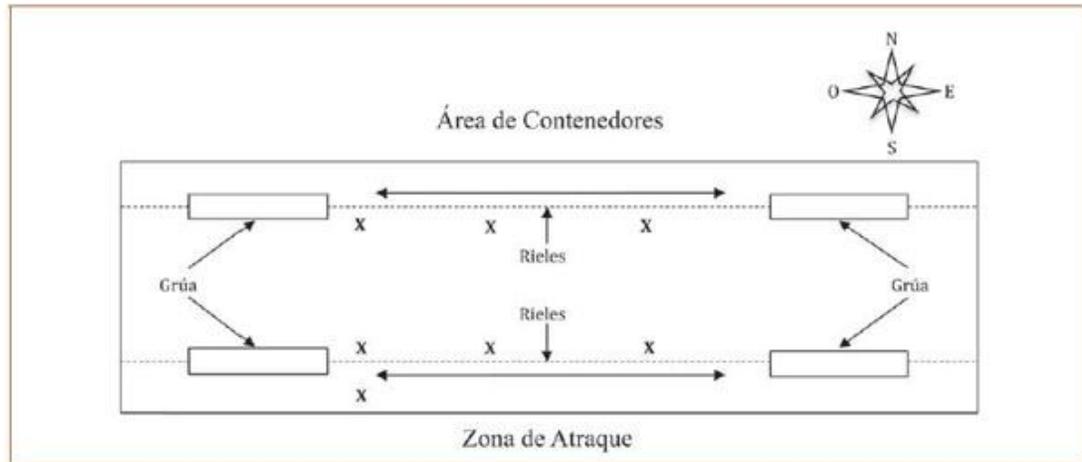


Figura 10 Croquis de la vista en planta del muelle 6. Las X señalan los puntos donde se realizaron las extracciones de los núcleos para el análisis químico de la losa (carbonatación y cloruros)

Se inspeccionaron 3 pilas, 3 tramos de losa y 3 trabes longitudinales. El criterio de selección fue el siguiente:

- Conjunto de elementos (pila, tramo de losa y trabe) sin daño visual
 - Pila tres de trabe 50, tramo central de la losa.
- Conjunto de elementos con daño marginal (grietas únicamente)
 - Pila dos de trabe 48, extremo noreste de la losa
- Conjunto de elementos con daño severo (agrietamiento severo e incluso desprendimiento).
- Pila tres de trabe 47, extremo suroeste de la losa.
- **Análisis químico (cloruros)**

Se extrajeron núcleos de concreto (75 mm de diámetro x 150 mm de profundidad nominal) en algunos elementos estructurales, con el fin de determinar el contenido de cloruros totales (en un medio ácido) a diferentes profundidades de acuerdo a la norma estándar ASTM C 1152 (ASTM C1152, 1990). Los resultados, los cuales corresponden a un promedio de dos muestras, se presentan en la siguiente sección.



- **Pruebas mecánicas (resistencia a la compresión y el método para el número de rebote del concreto endurecido)**

La resistencia a la compresión se llevó a cabo mediante la extracción de núcleos de concreto (75 x 150 mm) en ciertas partes de la losa y en determinada vigas de acuerdo con el procedimiento de la norma ASTM C42/C42M (ASTM C42/C42M, 2010). Las propiedades mecánicas de los pilotes se realizaron mediante la prueba de dureza por número de rebote (ASTM C805/ C805M, 2008) con un esclerómetro analógico modelo 58-C0181N.

- **Resultados**

La tabla 3 muestra la resistencia a la compresión, según el método ACI 318 (ACI-318, 2005), encontrada en los diferentes elementos estructurales a partir de núcleos de la losa y trabes, utilizado para las pilas. Los problemas de corrosión en las trabes observadas fueron corroborados con los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión, que demuestran valores típicos de un concreto permeable. Sin embargo, la tabla 3 muestra los resultados de la prueba a la tracción (prueba brasileña), que en realidad es un método indirecto para obtener la resistencia a la tracción del concreto. Un ensayo brasileño debe mostrar valores del orden del 8% al 10% de los de la resistencia a la compresión (ASTM C496/C496M-04e, 2004). Los resultados de la tabla 4, son casi un tercio de los resultados de la tabla 3. Esta situación puede conducir a la formación de grietas y problemas mecánicos en las trabes y pilas, procedentes de la operación de las grúas Gantry y Gottwald en el muelle

Resistencia a la compresión obtenida en los elementos estructurales evaluados (kg/cm ²)									
Losa				Trabes			Pilas		
Extremo sureste	Extremo Suroeste	Centro de losa	Extremo Noroeste	47	48	50	Bajo trabe 47	Bajo trabe 48	Bajo trabe 50
272*	255*	255*	250*	237	232*	231*	367**	359**	335**

Nota*: Los resultados que se muestran de losa y trabes son el promedio de tres y cuatro núcleos respectivamente.

Nota**: Valor promedio de las tres pilas bajo cada una de las trabes. En cada pila se tomaron 20 mediciones de esclerometría y se reporta el promedio de estas.

Tabla 3. Resultados de la resistencia a la compresión de la losa, trabes y pilas



Elementos estructurales		Resistencia a la tensión indirecta kg/cm ²
Losa	Centro de losa	11.23*
	Extremo Suroeste	8.93*
	Extremo Noroeste	7.43*
Trabes	47	13.00*
	48	10.93*
	50	15.28*

Nota: Los resultados que se muestran de losa y trabes son el promedio de tres y cuatro núcleos respectivamente*

Tabla 4. Resistencia a la tensión indirecta de la losa y las trabes

- **Discusión**

La observación visual y los resultados indican que los elementos mecánicos tienen un comportamiento estructural adecuado, especialmente si se consideran las cargas axiales con un alto peso específico. Sin embargo, el nivel de daños observados, llevó a pensar sobre la interacción inesperada de cargas estructurales y el medio ambiente.

El efecto ambiental aparentemente ha producido corrosión en la armadura del muelle. Las evidencias de corrosión son comprensibles, debido a que la resistencia mecánica, tanto a la compresión como tracción, no corresponden a concretos durables. Sin embargo, el problema de corrosión no es solo debido a la penetración de cloruros del medio ambiente en el concreto, sino también al ingreso de cloruros en las grietas de los elementos estructurales como consecuencia de los problemas de impactos durante la instalación y funcionamiento de las grúas.

Esta investigación tiene como limitación que no cuantifica los daños en la estructura, ni hace un análisis del costo de reparación de la misma.



1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 Concreto

Material estructural que se forma por medio de la mezcla homogénea de los agregados inertes finos o arena, agregados gruesos o grava, un ligante que es el cemento hidráulico y agua, con o sin aditivos. (Segura Franco, estructura del concreto 1, 2011)

1.2.2 Concreto reforzado

Concreto al cual se le ha adicionado un refuerzo de acero en barras, mallas electro soldadas, pernos con cabeza y fibras de acero deformadas dispersas para absorber los esfuerzos que el concreto por su propia condición no lo puede hacer.

A continuación se enuncian aquellas características de los materiales que convierten la combinación, concreto y acero de refuerzo en un eficiente material estructural:

La notable resistencia a la compresión del concreto y a la tracción del acero hacen posible combinarlos dentro de la sección estructural en forma tal que los dos materiales se utilizan de una manera óptima.

La relativa similitud de los coeficientes de dilatación térmica de ambos materiales permite su combinación para ser sometida a deformaciones por cambios de temperatura normales para estructuras.

El concreto actúa como protector del acero cuya resistencia a la corrosión es muy baja.

La baja conductividad térmica del concreto resulta útil protegiendo al acero en el caso de estructuras expuestas transitoria o permanentemente al fuego. (Segura Franco, Estructuras de Concreto 1, 2011)



1.2.3 Composición del concreto

1.2.3.1 Cemento

Las características del cemento empleado en la mezcla de concreto tienen una gran influencia en la resistencia del concreto, pues es el elemento más activo de la mezcla. Aunque todos los cementos tienen una buena calidad el incremento de resistencia con la edad no es el mismo, algunas cementos aumentan su resistencia más rápidamente a edades tempranas.

La cantidad de cemento en la mezcla, es decir su proporción, es decisiva en la resistencia, a medida que se aumenta la cantidad de cemento aumenta la resistencia, sin embargo mezclas en un alto contenido de cemento (por encima de 470 kg por m³ de concreto) tienen un retroceso en su resistencia especialmente cuando tienen máximos muy altos. Además se presenta una contracción en la pasta de cemento al pasar del estado plástico al estado endurecido. (Bernal Arias , 2009)

1.2.3.1.1 Clases de cemento portland

La clasificación es la siguiente

- **Cemento portland tipo I**

Destinado a usos generales: Estructuras, pavimentos, bloques, tubos y mampostería. (Bernal Arias , 2009)

- **Cemento portland tipo II**

Modificado, adecuado en general para obras hidráulicas por su calor de hidratación moderado u su regular resistencia a los sulfatos. (Bernal Arias , 2009)



- **Cemento portland tipo III**

Alcanza alta resistencia inicial y en 7 días tiene la misma resistencia que un concreto tipo I o II en 28 días. (Bernal Arias , 2009)

- **Cemento portland tipo IV**

El desprendimiento de calor es bajo ideal para chorreas masivas que no requieran una alta resistencia inicial. (Bernal Arias , 2009)

- **Cemento portland tipo V**

Ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos es muy utilizado en estructuras hidráulicas expuestas a aguas con gran concentración de álcalis o estructuras expuestas a agua de mar

1.2.3.2 Agregado fino.

El agregado fino o arena se usa como llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto.

Una falta de arena se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de arena demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua cemento.

El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, deberá estar entre 2,3 y 3,1 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas ásperas.

La presencia de materia orgánica en la arena que va a utilizarse en la mezcla de concreto llega a interrumpir parcial o totalmente el proceso de fraguado del cemento. (Bernal Arias , 2009)



1.2.3.3 Agregado grueso

Teniendo en cuenta que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el concreto. En consecuencia se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia.

Hasta para la resistencia de 250kgr/cm² se debe usar el mayor tamaño posible del agregado grueso; para resistencias mayores investigaciones recientes han demostrado que el menor consumo de concreto para mayor resistencia dada (eficiencia), se obtiene con agregados de menor tamaño. (Bernal Arias , 2009)

1.2.3.4 El Agua

El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y morteros, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante.

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes.

El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable.

Algunas de las sustancias que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas y que inciden en la calidad del concreto se presentan a continuación: (Bernal Arias J. A., 2009)



- Las aguas que contengan menos de 2000 ppm. de sólidos disueltos generalmente son aptas para hacer concretos; si tienen más de esta cantidad deben ser ensayados para determinar sus efectos sobre la resistencia del concreto. El alto contenido de cloruros en el agua de mezclado puede producir corrosión en el acero de refuerzo o en los cables de tensionamiento de un concreto pre esforzado.
- El agua que contenga hasta 10000 ppm. de sulfato de sodio, puede ser usada sin problemas para el concreto.
- Las aguas acidas con pH por debajo de 3 pueden crear problemas en el manejo u deben ser evitadas en lo posible.
- Cuando el agua contiene aceite mineral (petróleo) en concentraciones superiores a 2%, pueden reducir la resistencia del concreto en un 20%.
- Cuando la salinidad del agua del mar es menor del 3.5%, se puede utilizar en concretos no reforzados y la resistencias del mismo disminuye en un 12%, pero si la salinidad aumenta al 5% la reducción dela resistencia es del 30%. (Bernal Arias , 2009)

1.2.4 Corrosión.

La corrosión puede definirse como el deterioro de un material o de sus propiedades, debido a la acción del medio ambiente que lo rodea (Fontana, 1986). No obstante que otros materiales, además de los metales (madera, plásticos, etc.) pueden corroerse, el término se emplea especialmente al deterioro de metales. Algunas propiedades de los materiales pueden alterarse debido a la corrosión, lo cual suele ocasionar fallas inesperadas. Estos cambios pueden pasar inadvertidos en exámenes visuales y/o cambios de peso.

Durante el proceso de corrosión, el metal revierte el proceso artificial para regresar a su estado natural. La velocidad de regreso del metal a su estado natural como mineral es directamente proporcional a la cantidad de energía almacenada por él mismo (Fontana, 1986).

El producto que resulta de la corrosión del hierro es el óxido; el cual tiene la misma composición química que la hematita. La energía que se requiere para convertir el hierro



natural al hierro metálico, se revierte cuando el hierro se corroe para formar el mismo compuesto. Lo único que cambia es la velocidad de la liberación de la energía. (Torres Acosta, Pèrez Quiroz, Ramirez Renteria, & Martinez Madrid, 2006).

1.2.4.1 Corrosión por acción de cloruros.

Este fenómeno se produce sobre todo en zonas costeras, los iones de cloruro que se encuentran en el ambiente penetran en el hormigón destruyendo la capa protectora que cubre el acero de refuerzo y provocando una zona anódica con relación a la catódica, las condiciones desfavorables de la superficie producen una profunda y acelerada penetración de la corrosión en el acero de refuerzo.

La presencia de cloruros en el concreto puede provenir de sus componentes como del cemento, agua, agregados, aditivos o el ambiente.

El componente del cemento que reacciona con los iones de cloruro es el aluminato tricalcico (C3A), formando cloro aluminato cálcico lo cual provoca la disminución del pH provocando el medio ácido que genera la corrosión. (Paredes & Prieto)

1.2.4.2 Cómo sucede la corrosión

- **El proceso electroquímico de la corrosión**

En la corrosión húmeda, el metal reacciona con soluciones acuosas. La corrosión por humedad es la causa de la mayor cantidad del deterioro de materiales. Se ha establecido perfectamente que la corrosión húmeda es regularmente una reacción electroquímica. La reacción electroquímica se define como la reacción química que requiere de transferencia de electrones o que requiere de un proceso de oxidación y reducción (Ávila y Genescá, 1986).

Durante el proceso de corrosión, hay un flujo de electricidad desde ciertas áreas de la superficie del metal a otras áreas, a través de una solución (un electrolito) capaz de conducir electricidad. Los electrolitos conducen la electricidad debido a la presencia de iones, los cuales son átomos o grupos de átomos cargados positiva o negativamente en una solución. El término ánodo describe la superficie del metal desde la cual la corriente deja el metal para



entrar a la solución; y ésta es el área donde la corrosión o disolución del metal se lleva a cabo (Ávila y Genescá, 1986).

1.2.4.3 Corrosión del acero en concreto

En la actualidad y desde hace tiempo, el material más utilizado en la industria de la construcción es el concreto, cuyo consumo supera al de todos los materiales de construcción. La mayoría de las estructuras de concreto está reforzada con varillas de acero, y la corrosión de estos refuerzos es la causa principal del deterioro de las mismas en ambientes marinos (Torres Acosta, 2001). Cuando el acero embebido en concreto se corroe, se consume una capa de la superficie del acero, y se forma una capa de productos de corrosión (óxido, Fe_3O_4 , o hidróxido de hierro, $Fe(OH)_2$) en el perímetro de la barra. El volumen ocupado por dicho óxido (o hidróxido) es mayor que el que ocupaba el acero original, creando presiones contra el concreto que rodea al acero; esto propiciará la formación de grietas y desprendimientos del concreto. Dichas grietas y/o desprendimientos del recubrimiento de concreto además de ser antiestéticas, pueden disminuir el anclaje del acero, y potencialmente, la resistencia del elemento estructural (Torres Acosta y Martínez Madrid, 2001). En la Figura 11 se puede observar en detalle, el proceso de corrosión del acero en concreto.

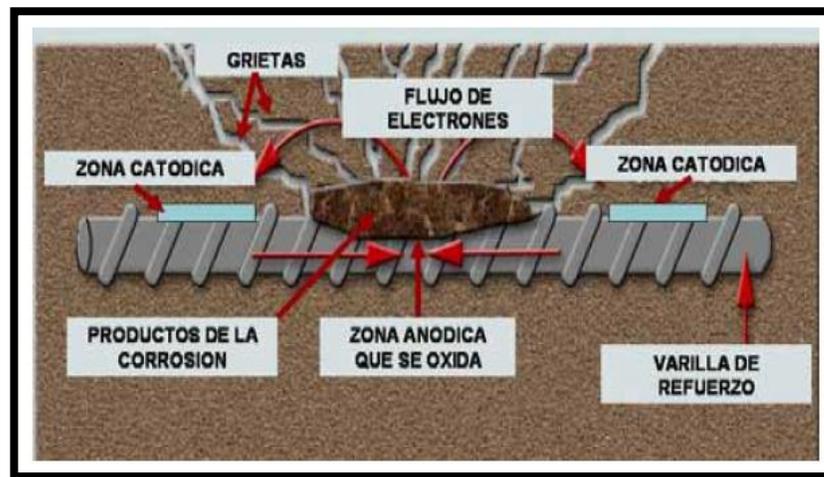


Figura 11 Representación esquemática del proceso electroquímico de corrosión de las armaduras en el concreto.

Fuente: *International Conferences of construction and rehabilitation of concrete structure*



Las primeras observaciones sobre la corrosión de acero en concreto se hicieron a principios de este siglo, principalmente en ambientes marinos y plantas químicas. Sin embargo, fue hasta la segunda mitad de este siglo cuando el estudio sistemático de la corrosión de los refuerzos metálicos en concreto llegó a ocupar un papel importante en las investigaciones a nivel mundial por la ocurrencia del problema en muchos tipos de estructuras, y por lo elevado de los costos de reparación. La corrosión del acero en concreto se considera como uno de los problemas más importantes para el mantenimiento de la integridad de las obras civiles, puentes, túneles, carreteras y puentes del país (Pérez Quiroz, 2001).

Los elementos del concreto reforzado (varilla, cemento Portland, arena, grava y agua) le confieren propiedades excelentes a éste tales como: resistencia a la compresión y a la tensión. La elevada alcalinidad de concreto (pH entre 12.5 y 13.5) y resistividad eléctrica (en concreto sano de 100,000 Ohm-cm) proporcionan condiciones ideales para alcanzar la pasividad (protección) del acero. La corrosión del acero de refuerzo en concreto no se presenta, a menos que un agente externo al medio (Cl^- , SO_4^- , CO_2 , SO_2) modifique el estado pasivo normal de ese medio alcalino. (Pérez Quiroz, 2001)

El ion cloruro causa el rompimiento de la condición pasiva normal del acero en concreto, y da como resultado el desarrollo de la corrosión. El umbral de cloruros que puede iniciar corrosión, se ha estimado en una concentración de 710 ppm (para un $\text{pH}=12.5$). Por arriba de esta concentración la película fallará irremediablemente. El ataque de los cloruros en acero embebido en concreto, como un proceso electroquímico donde el agua está presente funcionando ésta como un electrolito y proporcionando oxígeno que se reducirá en el cátodo. El ion cloruro ataca al acero formando FeCl_2 . Y en una reacción secundaria se forma $\text{Fe}(\text{OH})_2$, dejando al ion Cl^- libre para atacar nuevamente. (Pérez Quiroz, 2001)



1.2.4.4 Avance de cloruros

En al cuanto al avance de cloruros, existen varios métodos que pueden aplicarse para determinar el contenido total de cloruros en el concreto. Los ensayos se llevan a cabo sobre muestras de polvo tomadas de taladros en la estructura realizados a diferentes profundidades. Cuando el recubrimiento está fisurado o desprendido, pueden emplearse los fragmentos para realizar los análisis químicos. El objetivo final es determinar el perfil o gradiente de cloruros desde la superficie hacia el interior e identificar el umbral de cloruros que produce la despasivación de las armaduras. Los perfiles de cloruros pueden obtenerse a partir de testigos que luego son cortados milímetro a milímetro. (Rendon Belmonte, Torres Acosta, Del Valle Moreno, Perez Quiroz, & Martinez Madrid, 2013)

1.2.4.5 Estrategias para controlar la corrosión

1.2.4.5.1 Estrategias para controlar la corrosión por cloruros en concreto existente.

Un enfoque directo es la remoción del concreto contaminado con cloruros, seguido por el remplazo de concreto de baja permeabilidad.

Los métodos de protección con recubrimientos, membranas, selladores y acero de refuerzo pueden usarse en conjunción con el remplazo del concreto para protección adicional. (Emmons, 1993)

- Selladores

Los selladores penetrantes aplicados a la superficie se han convertido en una estrategia común usada para minimizar la penetración de cloruro en el concreto existente. Los selladores permiten el libre flujo del vapor de humedad hacia adentro y hacia afuera del concreto contaminado. (Emmons, 1993)

- Recubrimientos y membranas



Forman una capa y se aplican a la superficie. Son sistemas de barrera más positivos que los selladores para evitar el ingreso de cloruros y la absorción de humedad. Los recubrimientos y las membranas tienen muy baja capacidad de transmisión de vapor, y por lo tanto, limitan la capacidad del concreto para respirar. Debe tenerse mucha precaución al encapsular completamente una estructura de concreto o sus elementos. (Emmons, 1993)

- Sistema de protección catódica

Proporcionan un método positivo para controlar el proceso de corrosión. Los sistemas requieren monitoreo y ajustes continuos. (Emmons, 1993) (emmons, 1993) (emmons, 1993)

1.2.4.5.2 Estrategias para controlar la corrosión de la varilla de refuerzo en grietas y juntas de construcción.

Para controlar la corrosión del acero de refuerzo ahogado en grietas y en las juntas de construcción se requiere interrumpir la entrada de cloruros en el refuerzo. Hay tres estrategias que logran la interrupción de los cloruros. (Emmons, 1993)

- Recubrimiento a membrana aplicada a la superficie.

Las propiedades físicas del sistema de recubrimiento /membrana dependen del grado de movimiento de la grieta/ junta y las condiciones de servicio. (Emmons, 1993)

- Ruteo y sello

Un método simple y efectivo de minimizar la penetración de cloruros (a través de las grietas) el refuerzo es el uso de un sellador de junta elastomérico colocando en un ruteo de la junta. Con frecuencia se usa en conjunción con un sistema de membrana o de recubrimiento. (Emmons, 1993)

- Lechada por inyección

Se llena la grieta con un sellador (epóxico, poliéster, metacrilato, uretano) el éxito de este método depende en gran medida del grado en que el sellador se adhiere a la superficie



agrietada y cuánto movimiento puede acomodar la grieta / junta sin causar falla en el sellador o en el concreto adyacente. (emmons, 1993)

1.2.4.6 Protección contra la corrosión.

Los métodos para proteger las estructuras nuevas consisten en la elaboración de un concreto que funcione como una barrera física y química contra los agentes agresivos del ambiente, ya que no existe una mejor protección del acero de refuerzo que la formación de una película pasiva formada por la hidratación del cemento. (Torres Acosta, Pèrez Quiroz, Ramirez Renteria, & Martinez Madrid, 2006).

Los métodos más utilizados para prevenir y atacar el problema de corrosión en concreto, son los siguientes:

1.2.4.6.1 Protección indirecta (concreto)

- Inhibidores
- Revestimientos
- Recubrimientos
- Realcalinización electroquímica
- Extracción electroquímica de los iones cloruro

1.2.4.6.2 Protección directa del acero

- Protección catódica
- Recubrimientos epóxicos
- Recubrimiento galvanizado



- Reemplazo del acero por un material más resistente a la corrosión como acero inoxidable o materiales compuestos. (Torres Acosta, Pèrez Quiroz, Ramirez Renteria, & Martinez Madrid, 2006).

1.2.5 Aditivos

De acuerdo con el ACI un aditivo es una sustancia diferente al cemento, adiciones minerales, agregados y fibras, que se incluye en el concreto en un volumen inferior al 5% del peso del cementante.

Existen numerosas clasificaciones de aditivos, sin embargo una de las más usadas corresponde a la norma ASTM C 494. Esta norma cuya primera versión se remonta a 1962 establece hoy en día, los siguientes tipos de aditivos: (Sika)

Tipo A - Reductores de agua (Plastificantes).

Tipo B - Retardantes.

Tipo C - Acelerantes.

Tipo D - Reductores de agua y retardantes.

Tipo E - Reductores de agua y acelerantes.

Tipo F - Reductores de agua de alto rango o superfluidificantes.

Tipo G - Reductores de agua de alto rango y retardantes o superfluidificantes y retardantes

1.2.5.1 Plastificantes

Los plastificantes han sido con cierta frecuencia subestimados pero son en realidad sustancias cuya altísima eficiencia les permite perdurar en la producción actual de concreto. Basadas en compuestos orgánicos, los plastificantes logran optimizar los diseños de concreto disminuyendo las necesidades de agua y cemento para alcanzar las propiedades exigidas por la construcción. (Sika)



1.2.5.2 Retardantes

Al igual que los plastificantes puros los aditivos exclusivamente retardantes son más bien poco usados en la construcción. Sin embargo en algunos casos si se requieren tiempos de transporte extremadamente largos, si la temperatura ambiente o del concreto son muy altas o si se trata de disminuir el calor de hidratación del concreto (como es el caso de concretos masivos), el uso de retardantes aislados o dosificados de manera individual permite una mayor versatilidad al momento de regular los tiempos de fraguado. El uso combinado de un plastificante (reductor de cemento y agua) y un retardante de fraguado, permite así cambiar en el tiempo el ritmo de hidratación. En el caso de un concreto deslizado resulta conveniente disminuir en las noches la dosificación de retardante debido a la disminución de la temperatura ambiente. De esta forma se mantiene constante la dosis de plastificante pero se cambia la dosis del retardante dependiendo de las condiciones de avance de la estructura. Los retardantes puros también han encontrado una aplicación clara en los morteros larga vida donde regulan el tiempo de fraguado a edades que pueden ir desde 3 horas hasta 72 horas. Un ejemplo de un retardante lo constituye el SikaTard E que se usa principalmente en mortero larga vida, aunque también se ha usado con éxito en concreto. (Sika)

1.2.5.3 Inhibidores de corrosión

Los inhibidores de corrosión son un tipo particular de aditivo químico para hormigón cuya función principal no va dirigida a actuar directamente sobre el hormigón en sí, sino sobre la armadura protegiéndola frente al ataque de agentes agresivos.

Las armaduras de acero en el hormigón se encuentran en un estado pasivado debido a la elevada alcalinidad del medio que las mantiene pasivadas. La despasivación del medio alcalino se produce por la alteración del entorno (carbonatación), aumentando la velocidad de corrosión

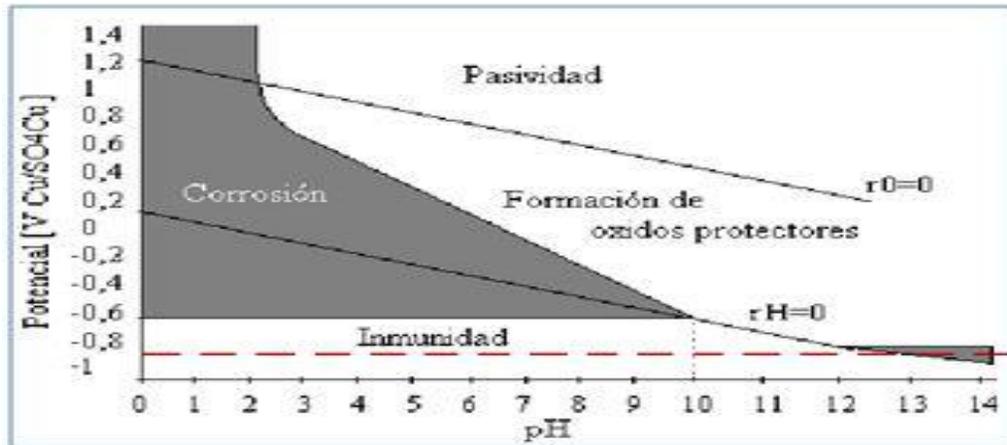


Figura 12 muestra dos barras sumergidas en agua de mar

Además de la presencia de agua y oxígeno, necesarios para la corrosión, la presencia de algunas sales actúa como catalizadores de esta reacción acelerando también los procesos de corrosión.

El empleo de inhibidores de corrosión puede minimizar significativamente las consecuencias de estos ataques, ya que son aditivos químicos capaces de prevenir o retardar la corrosión de armaduras embebidas en hormigón.

La figura 12 anterior muestra dos barras sumergidas en agua de mar. A la derecha se observa como con la presencia de un inhibidor no existe corrosión. El empleo de aditivos inhibidores de corrosión en el hormigón puede reducir significativamente los costes de mantenimiento de estructuras de hormigón armado. En este sentido, las estructuras expuestas a ambiente marino son aquellas donde el empleo de aditivos inhibidores es potencialmente muy beneficioso. (Universidad Técnica de Machala, 2012).

1.2.5.4 Impermeabilizantes

La penetración de fluidos como de gases dentro del concreto determina en buena parte la durabilidad del material. En el caso particular de los líquidos estos pueden penetrar la red porosa del concreto usando principios físicos muy distintos como la permeabilidad, la difusión (adsorción) y la absorción capilar. La permeabilidad se refiere al movimiento de un



líquido en presencia de un gradiente de presión como es el que tiene lugar en las estructuras de contención de agua. La absorción capilar corresponde al desplazamiento casi siempre ascendente de un frente líquido a través de un capilar, como consecuencia de la tensión superficial del líquido, sobre las paredes del capilar. (Sika)

1.2.6 Conceptos generales sobre costos.

El costo se puede definir como un recurso en dinero que se invierte para obtener un bien o un servicio, por lo tanto el costo debe ser clasificado y evaluado durante el desarrollo del proyecto de construcción de la obra. (Unad)

En la industria de la construcción, normalmente dividimos los costos en dos grupos principales:

- a) Los costos directos
- b) Los costos indirectos

1.2.6.1 Costos directos

Suma de materiales, mano de obra y equipo necesarios para la realización de un proceso productivo, sin ninguna utilidad. (Beltrán Razura, 2012)

1.2.6.1.1 Mano de obra

En el sector de la construcción la mano de obra hace referencia específicamente al personal que ocupa de realizar las actividades relacionadas directamente con la ejecución de la misma y se definen como trabajadores de la construcción. Esta mano de obra se puede clasificar como mano de obra calificada y no calificada, dependiendo el grado de cualificación académica y práctica, que cada uno de ellos posee, de este factor depende la remuneración que pueda tener el trabajador, siendo directamente proporcional en cuanto mayor cualificación posee, mayor remuneración recibe. (Unad)



1.2.6.1.2 Valoración y cálculo de la Mano de Obra

Para valorar la mano de obra a los trabajadores de la construcción se tiene en cuenta la magnitud de la obra, los sistemas de pago, las relaciones de trabajo, el costo de vida, entre otros. (Unad)

1.2.6.1.3 Teoría del consumo de mano de obra

Se define como cantidad de obra ejecutada en una unidad de tiempo, o el tiempo que se necesita para ejecutar una unidad de obra. El tiempo se expresa en horas – hombre, horas - cuadrilla y horas – maquina.

Se encuentra entre un rango de 0% a 100%. Cuando no se elabora ninguna actividad es el 0% y cuando se alcanza la máxima eficiencia teórica posible 100%. De acuerdo a la eficiencia de productividad, la mano de obra se encuentra entre los anteriores límites, como se muestra en la siguiente tabla, propuesta hecha por: Jhon S. Page en su libro “Estmator ‘S general construction – man hour manual” (Unad)

EFICIENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD	RANGO
Muy Baja	10% - 40%
Baja	41% - 60%
Normal (Promedio)	61% - 80%
Muy Buena	81% - 90%
Excelente	91% - 100%

Tabla 5 Clasificación de la eficiencia en la productividad de la mano de Obra



1.2.6.1.4 Materiales

Son los elementos de mayor influencia en los costos directos de la producción de la obra. Los materiales representan más de la mitad del costo total de una construcción. El costo del material se establece a través de la clasificación genérica, que se adquieren directamente en el mercado, listos para su manipulación y consumo. (Unad)

La experiencia en el transcurso de las actividades de construcción demuestra que los desperdicios de materiales se deben calcular en un rango entre el 3% al 10%. En la tabla siguiente se puede observar el desperdicio, solamente se enumeran de algunos de ellos.

MATERIAL	RANGO
Cemento	4% - 8%
Hierro de Refuerzo	3% - 7%
Ladrillos	5% - 12%
Azulejos	7% - 10%
Yeso	15% - 20%

Tabla 6 Desperdicios de Materiales

1.2.6.1.5 Cuantificación de materiales

Para cuantificar la cantidad de material que se necesita para una actividad se debe realizar mediante las siguientes etapas: Elaborar un diagrama con todas las medidas de la actividad y de los materiales, así como también las especificaciones de construcción. Se cuantifican los materiales geométricos (áreas, volúmenes, longitudes, unidades). Se convierten, cuando sea necesario, las unidades geométricas a unidades comerciales. (Unad)

Espesor cm.	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	15,0	20,0	25,0
Área en m ² *	20,0	16,7	14,3	12,2	11,1	10,0	8,3	6,7	5,0	4,0
Vol. En m ³ **	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,20	0,250
* M ² de área que cubre un metro cúbico de material										
** M ³ de material que se requiere por metro cuadrado										

Tabla 7 Cantidades de Concreto por M 2 de placa en varios espesores



1.2.6.2 Costos indirectos.

Los costos indirectos aplicados a una obra de construcción son todos aquellos que son considerados como gastos generales, estos son los que hacen posible la realización de todas las operaciones. Los costos indirectos son perfectamente previsibles, es decir se pueden estimar y analizar previamente, así mismo como los costos directos, estos costos se pueden controlar durante la ejecución de la obra y se presentan como un porcentaje de los costos directos. Los costos indirectos se clasifican en la siguiente forma: (Unad)

1.2.6.2.1 Gastos de administración de la obra

Son los costos relacionados con la administración y organización de la obra. Los gastos de administración de la obra son evaluados de acuerdo a cada proyecto en particular, y aunque es poco recomendable tomar un porcentaje estadístico, según la experiencia del constructor colombiano oscila entre el 10% y 15 % del costo de construcción del proyecto. (Unad)

Estos costos se pueden agrupar en los siguientes rubros:

- Sueldo y prestaciones sociales de: Jefe administrativo, Jefe de personal, Contador, Pagador, Almacenista, Secretaria, Mensajero, Ayudante de oficina, Jefe de compras Conductores y Vigilantes.
- Gastos de preinversión: Son los gastos que se pagan para el estudio de suelos, levantamiento topográfico del terreno, estudios de factibilidad técnica y financiera y al estudio de impacto ambiental.
- Gastos de dirección de obra: Son aquellos gastos técnicos que representan la estructura operativa, con salarios y prestaciones sociales: Ingeniero o jefe de obra Ingeniero residente, Auxiliares de ingeniería, Topógrafos, Maestros generales.
- Gastos de instalaciones provisionales: Para una mayor productividad de la obra se hace necesario los gastos, tales como: Oficinas principales, Almacenes, Bodegas del cemento, Talleres de carpintería, Laboratorio de ensayos, entre otros. Campamento de obreros, Instalación de letrinas, duchas y baños.



- Derechos de instalación de servicios públicos: Son los gastos que están relacionados con los pagos por concepto de instalación de acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, teléfono y gas.
- Impuestos de construcción: Son los gastos que se cancelan por concepto de tarjeta de hilos, permiso de ocupación de vías, licencia de construcción, aprobación del proyecto, entre otros.
- Honorarios: De presupuesto de construcción, programación y control de proyectos, propiedad horizontal, interventoría de obra, avalúos prediales, y gerencia del proyecto.
- Gerencia del Proyecto: Hacen parte de los costos de administración de la obra.
- Gastos de estudio especiales: comprende Diseños especiales, Consultas legales, Consultas a geólogos.
- Gastos varios: Depreciación de muebles, archivadores y máquinas de oficina, Comunicaciones telefónicas, correos, Mantenimiento de cercas y patios, Mantenimiento de campamentos y oficinas.
- Costos Financieros: Son los intereses causados por el capital solicitado a las entidades financieras para financiar el proyecto, denominado intereses de capital.
- Legalizaciones, impuestos y seguros: La legalización y publicación en el Diario Oficial tiene un valor correspondiente al 2.5% del valor del contrato, en este rubro se consideran los costos legales y los costos de Garantías y seguros.

1.2.6.3 Utilidad

Todo esfuerzo que se haga y en el que además se invierta un determinado capital debe generar una ganancia o utilidad que debe representar la retribución que corresponde por los elementos expuestos.

Esta ganancia debe ser lícita y debe corresponder a varios conceptos. El primero que sea justa en función del capital expuesto, por el tiempo expuesto y la tecnología aplicada y el segundo que permita la expansión y subsistencia lógica de la empresa. (Beltrán Razura, 2012).



2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar, por medio de estudios y ensayos especializados de laboratorio, el contenido de cloruros totales en una estructura de concreto reforzado, expuestas al ambiente marinos, determinar los daños y evaluar los costos que demandaría el proceso de reparación y recuperación del elemento de concreto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el contenido de cloruros totales presente en el concreto reforzado, que está generando las lesiones en la estructura.
- Evaluar el alcance de los daños ocasionados por cloruros en los elementos que conforman la estructura.
- Realizar trabajos de inspección ocular, complementada con toma de registro fotográfico.
- Estudiar alternativas de soluciones para las intervenciones requeridas en la recuperación del estado óptimo de los elementos afectados
- Hacer evaluaciones de costo a la alternativa promisorio propuesta.



3 ALCANCE

Con esta investigación se pretende determinar el contenido de cloruros totales y los daños causados por la acción del mismo en una estructura de concreto reforzado expuesta a ambientes marinos para evaluar los daños y determinar el costo de reparación de los daños que presenten muelle.

3.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

La investigación será realizada en el muelle del terminal CHEVRON PETROLEUM COMPANY ubicado en Mamonal en el km 9, zona industrial de la ciudad de Cartagena departamento de Bolívar.



Figura 13 Ubicación de geográfica del epicentro que será objeto de estudio

Fuente: Google Earth,



3.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

La ejecución de este proyecto se prevé realizar en un lapso de tiempo de cinco meses aproximadamente, comprendido entre los meses de Julio a noviembre del segundo periodo académico del año 2016.

3.3 PRODUCTO FINAL A ENTREGAR Y PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS

Luego de realizar el trabajo de investigación, se presentara un informe final en el cual se analizaran e interpretaran los resultados que se obtengan a partir de cada inspección minuciosa, con base a la información obtenida se podrá tener criterios para determinar el contenido de cloruros totales en la estructura y plantear una solución promisorias que resuelva el problema que presente el muelle terminal (CHEVRON PETROLEUM COMPANY) y a su vez estar el costo de reparación de la mismo.

3.4 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

En este estudio se investiga la variación en el grado de corrosión del acero estructural embebido, los daños estructurales del muelle causados por la acción de los cloruros y la estimación del costo de reparación de los daños del mismo. Busca también fijar parámetros tentativos que contribuyan a establecer conclusiones y recomendaciones que conlleven a dar una alternativa de solución a la problemática presentada en este tipo de estructura.



4 METODOLOGÍA

Esta investigación fue desarrollada durante el segundo semestre de año 2016, en el MUELLE TERMINAL CHEVRON PETROLEUM COMPANY, ubicado en Mamonal en el km 9, de la zona industrial de la ciudad de Cartagena de Indias, en la República de Colombia, departamento de Bolívar como se ilustra a continuación en las figuras 14,15 y 16.

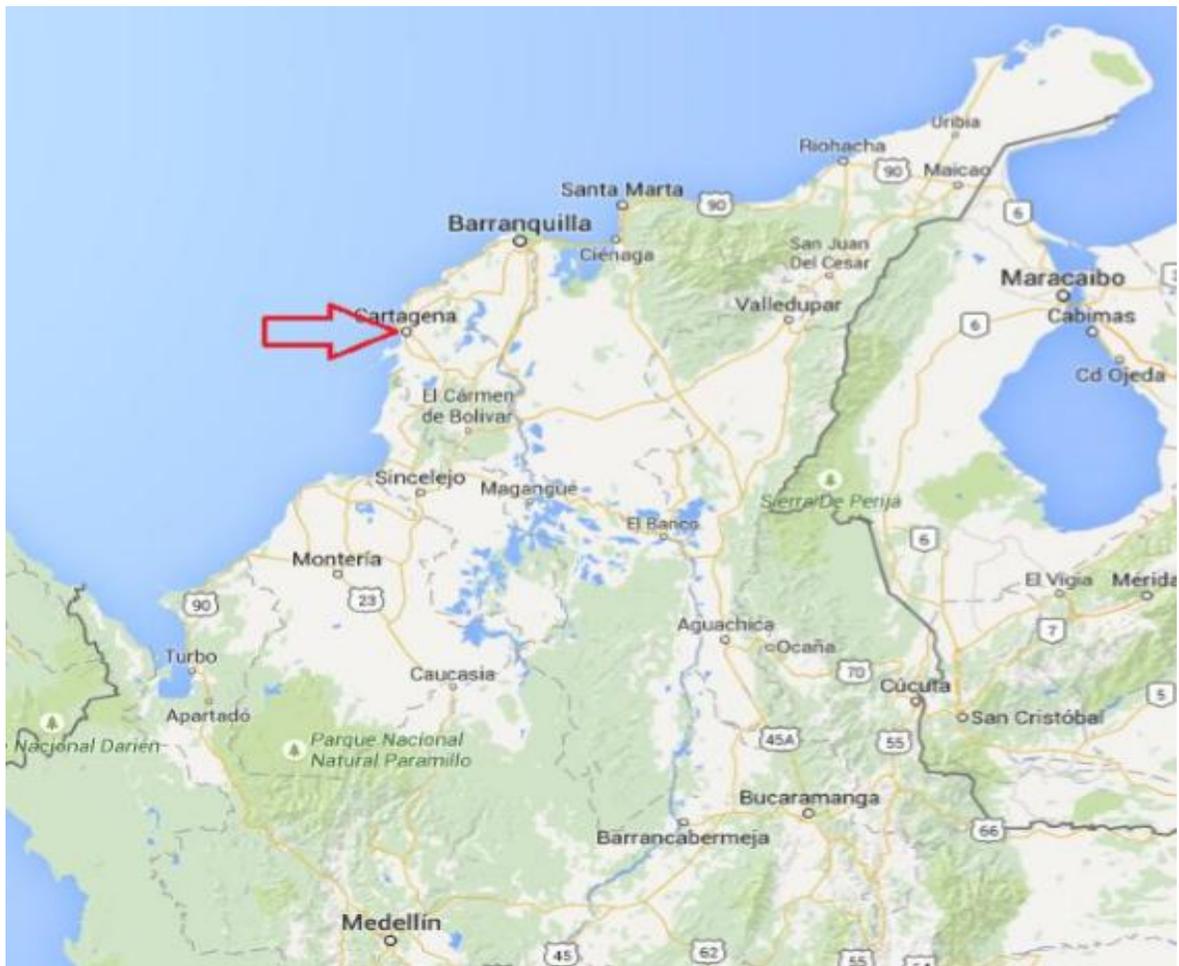


Figura 14. Localización de la Ciudad de Cartagena en la República de Colombia

Fuente: Google Earth. Año 2016

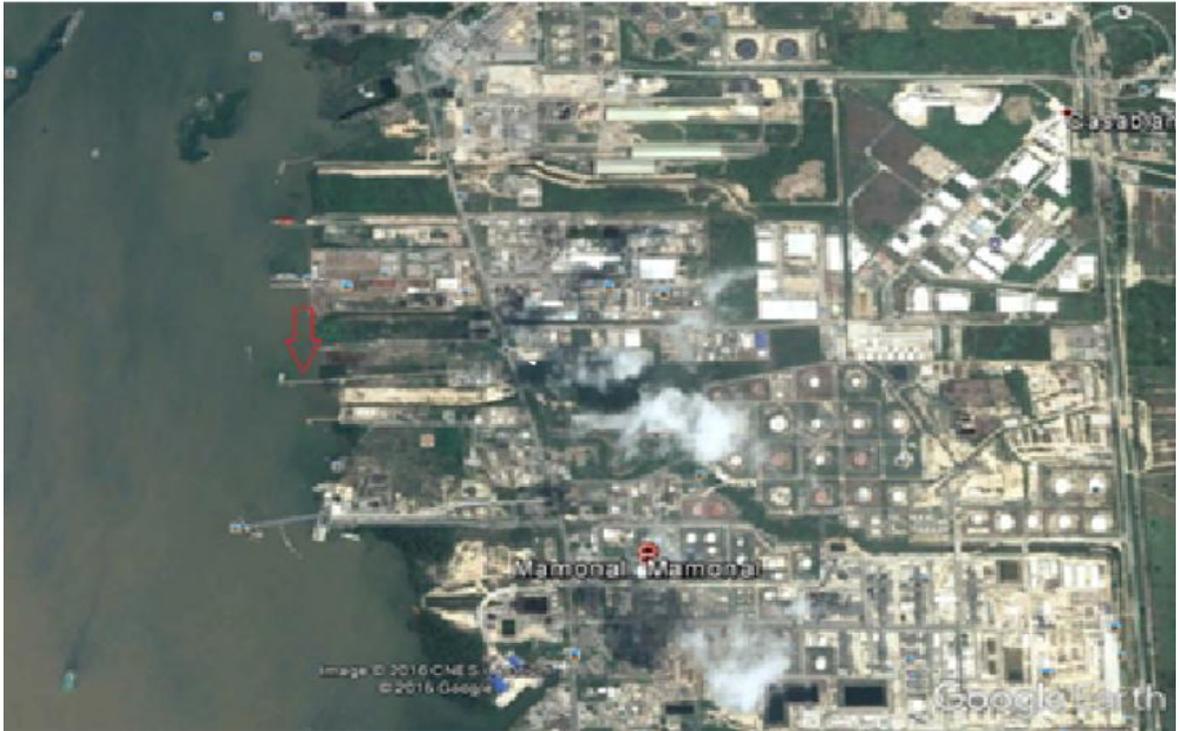


Figura 15 Ubicación del Muelle Chevron Company en la zona industrial de Mamonal

Fuente: Google Earth. Año 2016.



Figura 16. Ubicación Muelle Terminal Chevron Petroleum Company

Fuente: Google Earth. Año 2016



4.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación realizada fue de tipo descriptiva y experimental, orientada a diagnosticar el deterioro producido por el ambiente marino al Muelle Terminal Chevron Petroleum Company, esta permitió medir la información recolectada para luego describir, analizar e interpretar de manera sistemática las características de la estructura.

En este estudio se plantearon en cuatro etapas las cuales son:

- Recolección de información.
- Análisis y procesamiento de la información.
- Interpretación de resultados.
- Determinación del costo de reparación de la estructura.

4.2 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Esta etapa consistió en obtener información estudiada y detallada de investigaciones previas realizadas por expertos, estudiantes, libros y con la ayuda bibliográfica de la base de datos de la Universidad de Cartagena y en la biblioteca de la universidad de Cartagena sede piedra Bolívar, donde se encontraron artículos científicos fiables referentes al tema de corrosión, contenido de cloruros, estructuras expuestas al ambiente marino, sin embargo fue poca la información obtenida sobre estudios realizados donde se cuantifiquen los daños estructurales causados por los cloruros y los costos de reparación de la misma.

4.3 INVESTIGACIONES EXPERIMENTAL DE CAMPO

Para obtener la información se realizó un trabajo de campo in situ, por medio una minuciosa inspección ocular con toma de registro fotográfico, además se hizo un muestreo que comprendió mediciones de resistencia a la compresión del hormigón con el esclerómetro y toma de muestra pulverizada de la estructura a través de un taladro percutor con la finalidad



de determinar los cloruros totales presentes en los elementos estructurales que conforman el Muelle Terminal Chevron Petroleum Company ubicado en la zona industrial de Mamonal. Los trabajos de campo y obtención de muestras fueron realizados durante el mes de agosto de 2016.

4.3.1 Toma de lectura con el esclerómetro

Se procedió a tomar lectura a las vigas del muelle tanto del eje "A" como del eje "B". En cada uno de los puntos se tomó diez (10) lecturas "R" enmarcadas dentro de un cuadrado de aproximadamente (0.30 m por 0.30 m) con el esclerómetro digital o martillo de rebote con serie 406 siguiendo recomendaciones del fabricante del equipo de laboratorio, usando un ángulo de inclinación $\alpha=0$. Los resultados de la investigación de campo experimental se presentan a continuación.

4.3.1.1 Resultado de la Investigación Experimental de Campo Realizado en las vigas del eje "A" del muelle Chevron Petroleum Company.

A continuación se ilustra la forma en la que se tomaron las lecturas R con el esclerómetro en las vigas de la pasarela del eje A.

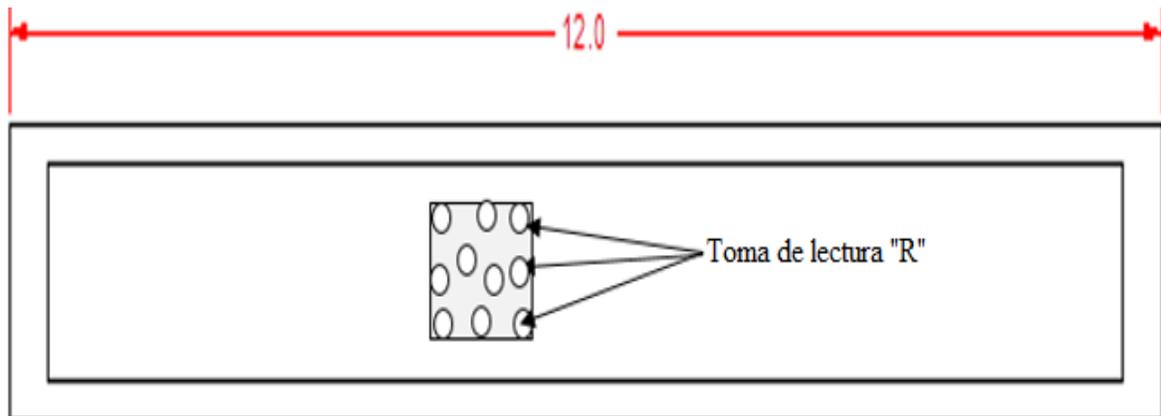


Figura 17 Localización de Toma de Lectura "R" con el esclerómetro. Puntos ensayados en las vigas del eje A



LECTURA "R" DEL ESCLEROMETRO REGISTRADOS EN LA VIGAS PARA $\alpha= 0^\circ$						
EJE "A" VIGAS 4-9.						
LECTURA "R"	VIGA 4	VIGA 5	VIGA 6	VIGA 7	VIGA 8	VIGA 9
1	54	45	29	35	39	36
2	51	47	30	31	35	42
3	50	44	28	44	34	39
4	43	46	31	31	34	36
5	45	44	28	41	31	43
6	41	43	28	38	30	38
7	44	48	29	36	38	41
8	44	44	27	44	30	36
9	43	46	27	43	34	36
10	47	47	32	35	36	40

Tabla 8.Lecturas "R" del esclerómetro en las vigas 4-9 del eje A

LECTURA "R" DEL ESCLERÓMETRO REGISTRADOS EN LAS VIGAS PARA $\alpha= 0^\circ$						
EJE "A"VIGAS 10-15.						
LECTURA "R"	VIGA 10	VIGA 11	VIGA 12	VIGA 13	VIGA 14	VIGA 15
1	25	34	37	25	25	45
2	29	35	34	34	30	46
3	25	31	34	35	45	40
4	26	31	34	34	34	46
5	27	32	25	36	20	46
6	22	36	26	31	20	41
7	26	30	25	32	36	39
8	26	33	27	34	40	44
9	26	35	25	35	44	39
10	29	35	27	32	43	44

Tabla 9.Lecturas "R" del esclerómetro en las vigas 10-15 del eje A



4.3.1.2 Resultado de la Investigación Experimental de Campo Realizado en las vigas del eje “B” del muelle Chevron Petroleum Company.

A continuación se ilustra la forma en la que se tomaron las lecturas “R” con el esclerómetro en las vigas de la pasarela del eje A

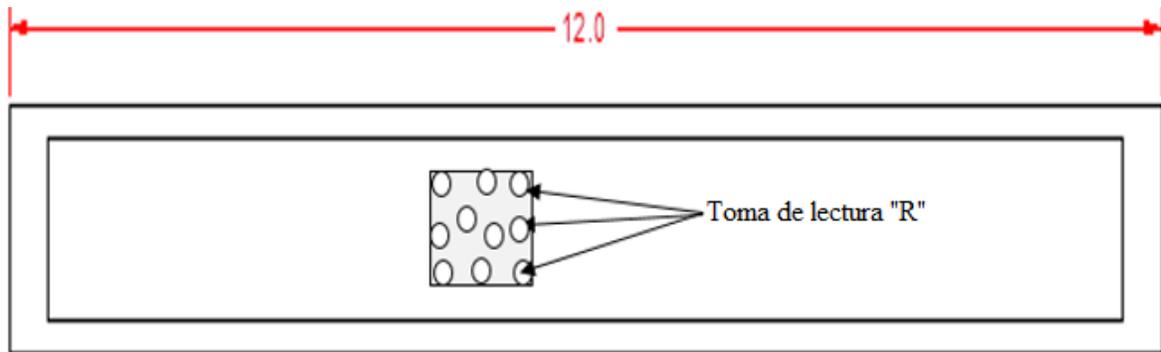


Figura 18. Localización de Toma de Lectura “R” con el esclerómetro. Puntos ensayados en las vigas del eje “B”

”

LECTURA “R” DEL ESCLEROMETRO REGISTRADOS EN LAS VIGAS PARA $\alpha = 0^\circ$						
EJE "B" VIGAS 4-9						
LECTURA "R"	VIGA 4	VIGA 5	VIGA 6	VIGA 7	VIGA 8	VIGA 9
1	33	49	30	29,5	33	38
2	42	43	33	37	33	33
3	42	50	30	35	31	35
4	45	48	35	33	33	36
5	46	50,5	29	35	34	36
6	49	50	30	31	34,5	35
7	49	49	32	34	29	40
8	41	52	33	39	29	35
9	51	48	32	30	29,5	34,5
10	49	49	31	34	32,5	36

Tabla 10. Lecturas “R” del esclerómetro en las vigas 4-9 del eje B



LECTURA "R" DEL ESCLEROMETRO REGISTRADOS EN LA VIGAS PARA $\alpha= 0^\circ$						
EJE "B"						
LECTURA "R"	VIGA 10	VIGA 11	VIGA 12	VIGA 13	VIGA 14	VIGA 15
1	32,5	32	23	31	50	37
2	29	35	22	34	50	32
3	31	36	24	30	30	38
4	27	37	21	33	35	33
5	30	35	20	33	45	30
6	30	33	26	35	42	39
7	28	31	25	33	40	35
8	33	35,5	22	36	44	39
9	31	35	22	36	48	34
10	30	39	20	31	36	32

Tabla 11. Lecturas "R" del esclerómetro en las vigas 10-15 del eje

4.3.2 Toma de registro fotográfico e inspección ocular al muelle Chevron Petroleum Company.

Mediante la inspección al muelle se hizo un registro fotográfico de toda la estructura construida en concreto reforzado, con la finalidad de documentar y evidenciar el estado actual de los miembros que componen el muelle objeto de estudio.



Figura 19. Viga 4 eje B



Figura 20: Viga 6 eje B lado Derecho



Figura 21. Pasarela y vigas 15 ejes A -B

4.3.3 Toma de muestras para determinación de cloruros totales

Para este procedimiento fue necesario la utilización de un taladro percutor eléctrico con broca para hormigón, con la finalidad de extraer muestras de concreto pulverizado, tomados del Muelle Terminal Chevron Petroleum Company.



Los testigos fueron tomados en 10 vigas del muelle relacionadas en la tabla número 12, donde se muestra el número de las vigas, su eje, el lado donde fue extraída y la profundidad hasta la que fue tomada desde el borde hacia adentro.

extracción de muestras pulverizadas de concreto			
numero de Vigas	Ejes	Lado	Profundidad (cm)
3	A	Izquierdo	2- 4
4	A	Izquierdo	2- 4
5	A	Derecho	2- 4
6	A	Izquierdo	2- 4
7	A	Derecho	2- 4
8	B	Derecho	2- 4
9	A	Izquierdo	2- 4
11	B	Derecho	2- 4
12	A	Izquierdo	2- 4
13	B	Derecho	2- 4

Tabla 12. Datos de extracción de muestras, para el cálculo de cloruros totales.

Para calcular la concentración de cloruros totales presentes en la estructura, se llevaron los testigos a los laboratorios de la universidad de Cartagena, del programa de química, con sede en Zaragocilla, para ser estudiados bajo la norma ASTM D 114 que permitió la concentración de cloruros en cada una de las muestras obtenidas.



5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1.1 Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión del concreto se obtuvo una vez tomadas las lecturas con el esclerómetro, de cada uno de los valores obtenidos por toma en los puntos ensayados de las vigas, se le hizo un promedio de lecturas "R".

Los resultados del trabajo de campo de esta investigación que comprende lecturas promedio del martillo de rebote "R" y los valores correspondientes a la resistencia a la compresión de los concretos $F'c$ (Kg/cm²) se relacionan a continuación.

VALORES PROMEDIO DE LECTURAS "R" Y RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LAS VIGAS ENSAYADAS.						
EJE "A"	VIGA 4	VIGA 5	VIGA 6	VIGA 7	VIGA 8	VIGA 9
LECTURA PROMEDIO "R"	44,7	48,85	31,5	33,75	31,85	35,85
$F'c$ (Kg/cm ²)	447,1	508,7	251,1	284,5	256,3	315,7

Tabla 13. Resistencia a la compresión de las vigas 4-9 del eje "A"

VALORES PROMEDIO DE LECTURAS "R" Y RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LAS VIGAS ENSAYADAS.						
EJE "A"	VIGA 10	VIGA 11	VIGA 12	VIGA 13	VIGA 14	VIGA 15
LECTURA PROMEDIO "R"	30,15	34,85	22,5	33,2	42	34,9
$F'c$ (Kg/cm ²)	231	300,8	117,4	276,3	407	301,5

Tabla 14. Resistencia a la compresión de las vigas 10-15 del eje "A"



VALORES PROMEDIO DE LECTURAS "R" Y RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LAS VIGAS ENSAYADAS.						
EJE "B"	VIGA 4	VIGA 5	VIGA 6	VIGA 7	VIGA 8	VIGA 9
LECTURA PROMEDIO "R"	46,2	45,4	28,9	37,8	34,1	38,7
F'c (Kg/cm ²)	469,3	457,5	212,5	344,6	289,7	358

Tabla 15. Resistencia a la compresión de las vigas 4-9 del eje "B"

VALORES PROMEDIO DE LECTURAS "R" Y RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LAS VIGAS ENSAYADAS.						
EJE "B"	VIGA 10	VIGA 11	VIGA 12	VIGA 13	VIGA 14	VIGA 15
LECTURA PROMEDIO "R"	26,1	33,2	29,4	32,8	33,7	43
F'c (Kg/cm ²)	170,9	276,3	219,9	270,4	283,7	421,8

Tabla 16. Resistencia a la compresión de las vigas 10-15 del eje "B"

De los resultados obtenidos con el esclerómetro se puede analizar que los valores de F'c (Kg/cm²), en las vigas V 10 eje B y V 12 eje A, dieron valores de resistencia muy bajos, por lo que se debe complementar este estudio con un método destructivo para poder tener valores más precisos.



Figura 22. Viga 10 eje B con F'c bajo



Figura 23 Viga 12 eje A con F'c bajo

5.1.2 Contenido de cloruros totales

La penetración de los iones cloruros en el hormigón armado depende de gran manera de las condiciones ambientales a las que están expuestas muchas estructuras de zonas costeras.

Para el análisis de concentración de cloruros totales presentes en la estructura se tomaron 10 testigos de concreto pulverizado a las vigas longitudinales de la pasarela del Muelle Terminal Chevron Petroleum Company, teniendo en cuenta que el acero del muelle se encuentra aproximadamente entre 3 y 5 cm de la superficie, las muestras fueron obtenidas en un rango de profundidad de 2- 4 cm.

Los resultados fueron obtenidos a través de la norma ASTM D 114 que es un método estándar para el análisis de cloruros totales. En las tablas número 17 -26 se muestran los resultados de las muestras estudiadas.

TESTIGO 1: VIGA 3 A -I		
DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES		
Método	Cloruros totales (ppm)	Cloruros totales (%)
ASTM D 114	5844,1	0,58441

Tabla 17. Contenido de cloruros totales, testigo 1. Viga 3A-I



TESTIGO 2: VIGA 4 A -I		
DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES		
Método	Cloruros totales (ppm)	Cloruros totales (%)
ASTM D 114	5518,15	0,551815

Tabla 18. Contenido de cloruros totales, testigo 2. Viga 4 A-I

TESTIGO 3: VIGA 5 A -D		
DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES		
Método	Cloruros totales (ppm)	Cloruros totales (%)
ASTM D 114	3421,72	0,342172

Tabla 19. Contenido de cloruros totales, testigo 3. Viga 5 A-D

TESTIGO 4: VIGA 6 A -I		
DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES		
Método	Cloruros totales (ppm)	Cloruros totales (%)
ASTM D 114	4837,16	0,483716

Tabla 20. Contenido de cloruros totales, testigo 4. Viga 6 A-I

TESTIGO 5: VIGA 7 A -D		
DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES		
Método	Cloruros totales (ppm)	Cloruros totales (%)
ASTM D 114	1478,96	0,147896

Tabla 21. Contenido de cloruros totales, testigo 5. Viga 7 A-D

TESTIGO 6: VIGA 8 B -D		
DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES		
Método	Cloruros totales (ppm)	Cloruros totales (%)
ASTM D 114	1685,41	0,168541

Tabla 22. Contenido de cloruros totales, testigo 6. Viga 8 B-D

TESTIGO 7: VIGA 9 A-I		
DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES		
Método	Cloruros totales (ppm)	Cloruros totales (%)
ASTM D 114	4489,13	0,448913



Tabla 23. Contenido de cloruros totales, testigo 7. Viga 9 A-I

TESTIGO 8: VIGA 11 B-D		
DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES		
Método	Cloruros totales (ppm)	Cloruros totales (%)
ASTM D 114	4634,9	0,46349

Tabla 24. Contenido de cloruros totales, testigo 8. Viga 11B-D

TESTIGO 9: VIGA 12 A-I		
DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES		
Método	Cloruros totales (ppm)	Cloruros totales (%)
ASTM D 114	1923,58	0,192358

Tabla 25. Contenido de cloruros totales, testigo 9. Viga 12 A-I

TESTIGO 10: VIGA 13 B-D		
DETERMINACIÓN DE CLORUROS TOTALES		
Método	Cloruros totales (ppm)	Cloruros totales (%)
ASTM D 114	2290,79	0,229079

Tabla 26. Contenido de cloruros totales, testigo 10. Viga 13 B-D

De los resultados obtenidos se puede observar que las vigas 3 A-I, 4 A-I, 6 A-I, 9 A-I y 11 B-D fueron mayor al 0,4 % que de acuerdo los criterios de evaluación internacionales establece que se puede iniciar el proceso de corrosión por cloruros en las barras de acero. (Ver tabla 1).

Los valores de concentración de cloruros totales en las vigas 5 A-D, 7 A-D, 12 A-I, 8 B-D y 13 B-D fueron inferiores al 0,4% por lo cual se podría decir de acuerdo a la tabla 1 que el riesgo de corrosión por cloruros es insignificante, no obstante el riesgo de corrosión por la acción del ion cloruro puede ser posible, debido a que la muestra fue tomada a una profundidad aproximada a la que se encuentra embebida la barra de acero y las vigas se encuentran agrietadas, lo que facilita la penetración de los iones cloruros. .



En las vigas 7 A y 8 B, cuyos resultados fueron de los más bajos en concentración de cloruros muestran como la corrosión está causando daños en la estructura, debido a que la barra de acero se ha expandido y esta causando agrietamiento y desprendimiento de la masas de concreto, acelerando el proceso de penetración de cloruros lo que causa que el refuerzo pierda su diámetro original. Ver figura 24 y 25.



Figura 24. Viga 7 eje A



Figura 25. Viga 8 eje B



Las vigas longitudinales con mayor concentración de cloruros son las 3 A- I y 4 A-I correspondientes a las figuras 26 y 27, podría decirse que esto se debe a que están en contacto directo con el agua de mar, lo que ocasiona el ataque agresivo del ion cloruro sobre la estructura .



Figura 26. Viga 3 A en contacto directo con el agua de mar y con mayor concentración de cloruros



Figura 27. Viga 4 A en contacto directo con el agua de mar y con mayor contenido de cloruros



5.1.3 Evaluación de daños en la estructura

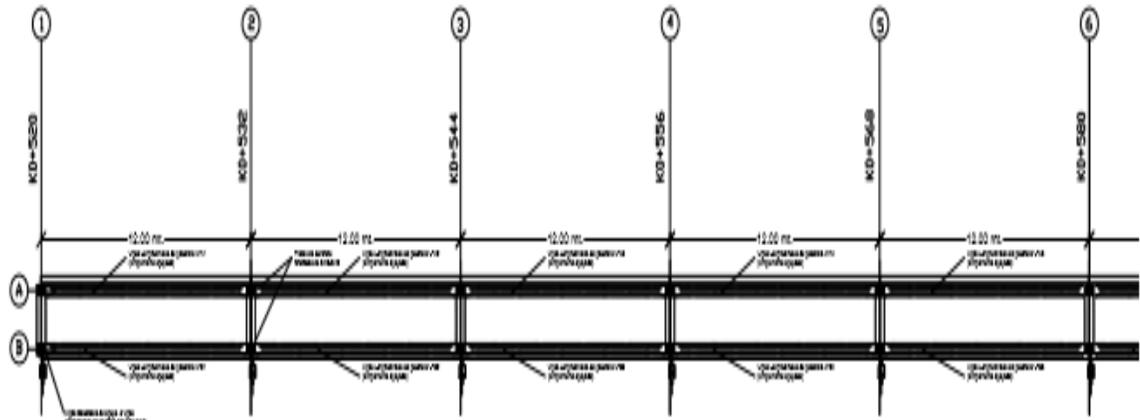
5.1.3.1 Estado general del muelle

Después de haber realizado la respectiva inspección ocular detallada a toda la estructura se pudo observar que se encuentra en un estado de deterioro en las vigas y que Una de las principales causas de los daños presentes en la estructura es el medio en el que se encuentra.

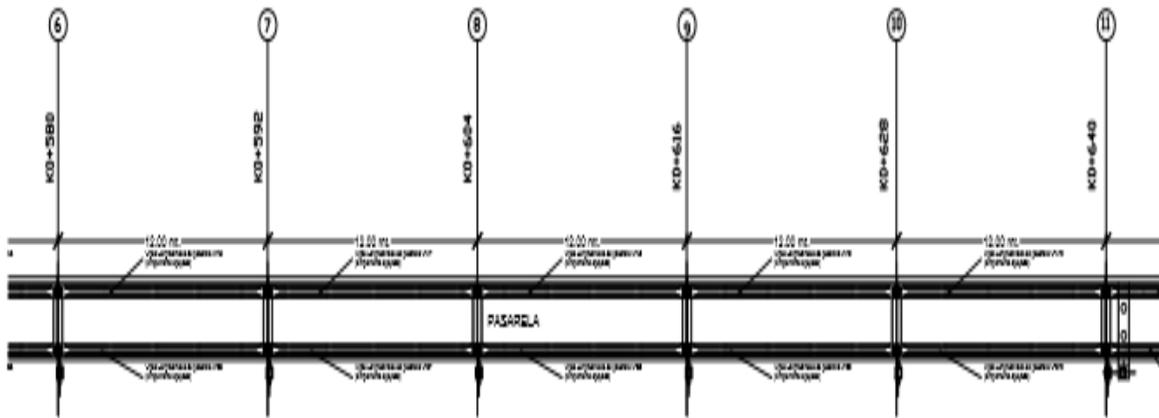
En general el muelle tiene una longitud de 190,4 metros, de los cuales 180 metros corresponden a la pasarela (K 0 +520 hasta el K0 + 700) y 10,4 metros a la plataforma.

La pasarela tiene dos ejes de viaja (eje A y eje B), cada eje tiene 15 vigas, las cuales tienen una longitud de 12metros. (Ver figura 28)

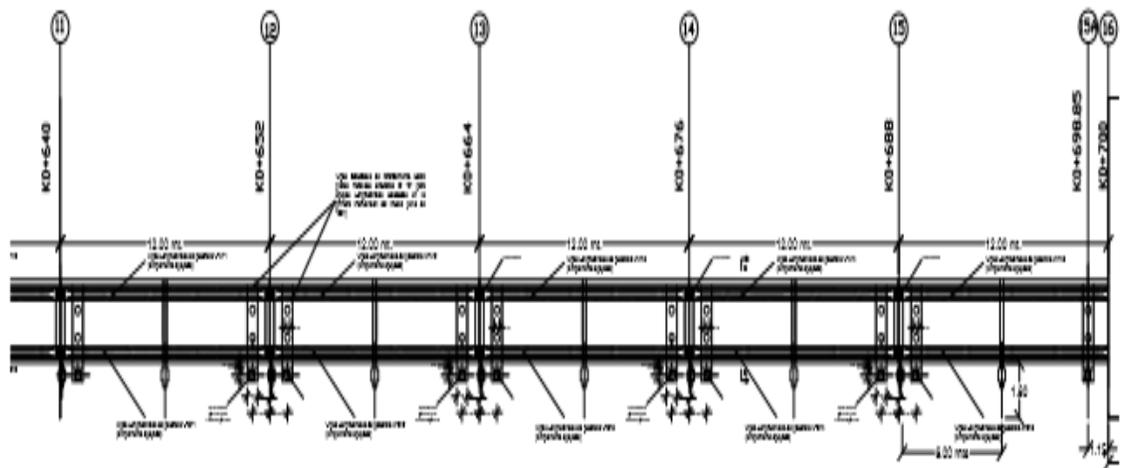
La plataforma de sección cuadrada (10,4m x 10,4) esta soportada por las vigas 16, 16', 17, 17' y 18, cada una con una longitud de 10,4 metros. Por el otro el otro eje esta soportada por las vigas Y'3 a, Y' 3, Y4, Y'5 a y Y'5, de igual longitud. (Ver figura 31)



Tramo de Pasarela desde eje 1 K0+520 hasta eje 6 K0+580



Tramo de Pasarela desde eje 6 K0+580 hasta eje 11 K0+640



Tramo de Pasarela desde eje 11 K0+640 hasta eje 16 K0+698.85

Figura 28. Planta estructural del muelle terminal Chevron Petroleum Company.



Se encontraron diferentes tipos de daños presentes en las vigas, el tablero conformado pasarela y plataforma del muelle se encuentra en buen estado. A continuación se describirán los tipos de lesiones encontradas en la estructura.

5.1.3.2 Tipos de Lesiones

Los miembros de concreto reforzado que conforman el muelle, fueron evaluados con base a los conceptos usados en las definiciones de los tipos de lesiones. Estos conceptos fueron aportados por el ingeniero José Faustino España Morato.

- LESIÓN TIPO 1

Este tipo de lesión se manifiesta con agrietamientos que indican que el refuerzo está afectado por la corrosión, presentando deterioro y hasta pérdida de diámetro del refuerzo.

Su reparación implica retiro y reposición de masas apreciables de concreto comúnmente localizada en las alas inferiores. Se reposición requiere formaleta

- LESIÓN TIPO 2

Las lesiones de este tipo generan grietas que implican retiro y reposición de masa pequeñas de concreto, se localizan usualmente en el alma de la viga.

- LESIÓN TIPO 3

Se presenta mediante agrietamientos longitudinales, posiblemente motivado por causas diferentes a la acción corrosiva del medio. Normalmente localizada en la unión de la viga con la placa de cubierta que sirve de tablero.



- LESIÓN TIPO 4

Se manifiesta con agrietamientos y pérdidas de masa de concreto por deterioro del tablero.

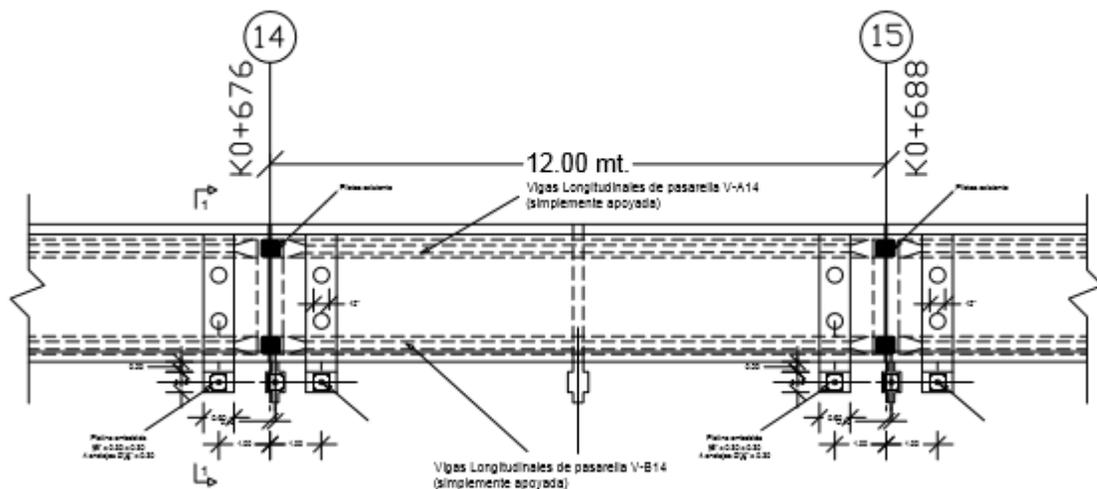
Requiere retiro y reposición de masas de concreto, en el área perimetral requiere el uso de formaletas.

- LESIÓN TIPO 5

Se manifiesta con el deterioro del concreto en la parte inferior de los voladizos o en el claro central. Requiere demolición, retiro y reposición del concreto (Concreto convencional enriquecido).

5.1.3.3 Análisis de daños en las vigas de la pasarela

En la inspección ocular se pudo observar daños que presentan las vigas que soportan la pasarela del Muelle Terminal Chevron Petroleum Company, los cuales se encuentran clasificados en los tres primeros tipos de lesiones (lesión de tipo 1, lesión de topo 2 y lesión de tipo 3) antes mencionados. Con base a estos análisis se calcularon los daños que presentan las vigas de la pasarela al igual que el volumen de concreto necesario para repararla.



PLANTA TIPICA TRAMO DE PASARELA



Figura 29. Longitud de las vigas de la pasarela

El cálculo de los volúmenes de concreto requerido para la reparación de las vigas longitudinales de la pasarela, se encuentran relacionados en las siguientes tablas.

VIGA 3 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V3A	Tipo 1	3,20	0,19	0,61	0,20	0,12
	Tipo 2	0,90	0,20	0,18	0,15	0,03
	Tipo 3	-	-	-	-	-
Volumen de concreto a reparar						0,15

Tabla 27.cantidades de obra en concreto en la viga 3 A

VIGA 4 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V4 A-I	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,19	0,34
	Tipo 2	2,00	0,80	1,60	0,70	1,12
	Tipo 3	-	-	-	-	-
V4A-D	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,19	0,34
	Tipo 2	1,30	1,00	1,30	0,07	0,09
	Tipo 3	6,00	0,12	0,72	0,10	0,07
Volumen de concreto a reparar						1,97

Tabla 28.cantidades de obra en concreto en la viga 4 A

VIGA 4 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V4B-I	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,19	0,34
	Tipo 2	-	-	-	-	-
	Tipo 3	1,20	0,15	0,18	0,10	0,02
V4B-D	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,19	0,34
	Tipo 2	0,95	0,50	0,48	0,15	0,07
	Tipo 3	12,00	0,15	1,80	0,10	0,18
Volumen de concreto a reparar						0,95

Tabla 29.cantidades de obra en concreto en la viga 4 B



VIGA 5 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V5A-I	Tipo 1	3,00	0,15	0,45	0,19	0,09
	Tipo 2	3,20	1,60	5,12	0,09	0,46
	Tipo 3	2,00	0,10	0,20	0,10	0,02
V5A-D	Tipo 1	1,00	0,15	0,15	0,20	0,03
	Tipo 2	3,70	1,70	6,29	0,10	0,63
	Tipo 3	0,90	0,10	0,09	0,10	0,01
Volumen de concreto a reparar						1,23

Tabla 30. Cantidades de obra en concreto en la viga 5 A

VIGA 5 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V5B-I	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,19	0,34
	Tipo 2	2,00	2,00	4,00	0,10	0,40
	Tipo 3	12,00	0,15	1,80	0,10	0,18
V5B-D	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,20	0,36
	Tipo 2	1,20	1,00	1,20	0,10	0,12
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
Volumen de concreto a reparar						1,52

Tabla 31. Cantidades de obra en concreto en la viga 5 B

VIGA 6 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V6A-I	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,20	0,36
	Tipo 2	2,00	0,80	1,60	0,22	0,35
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,15	0,18
V6A-D	Tipo 1	12,00	0,20	2,40	0,20	0,48
	Tipo 2	3,50	0,70	2,45	0,15	0,37
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
Volumen de concreto a reparar						1,86

Tabla 32. Cantidades de obra en concreto en la viga 6 A



VIGA 6 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V6B-I	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,19	0,34
	Tipo 2	1,00	0,50	0,50	0,09	0,05
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
V6B-D	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,19	0,34
	Tipo 2	1,40	1,00	1,40	0,70	0,98
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
Volumen de concreto a reparar						1,95

Tabla 33. Cantidades de obra en concreto en la viga 6 B

VIGA 7 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V7A-I	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,38	0,68
	Tipo 2	1,20	0,50	0,60	0,70	0,42
	Tipo 3	1,00	0,20	0,20	0,10	0,02
V7A-D	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	4,00	1,00	4,00	0,12	0,48
	Tipo 3	-	-	-	-	-
Volumen de concreto a reparar						1,60

Tabla 34. Cantidades de obra en concreto en la viga 7 A

VIGA 7 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V7B-I	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	1,00	0,50	0,50	0,70	0,35
	Tipo 3	6,00	0,10	0,60	0,10	0,06
V7B-D	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	0,90	0,60	0,54	0,07	0,04
	Tipo 3	2,00	0,10	0,20	0,10	0,02
Volumen de concreto a reparar						0,47

Tabla 35. Cantidades de obra en concreto en la viga 7 B



VIGA 8 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V8A-I	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	1,00	0,40	0,40	0,70	0,28
	Tipo 3	6,00	0,10	0,60	0,10	0,06
V8A-D	Tipo 1	6,00	0,15	0,90	0,38	0,34
	Tipo 2	1,70	0,60	1,02	0,70	0,71
	Tipo 3	3,00	0,15	0,45	0,10	0,05
Volumen de concreto a reparar						1,44

Tabla 36. Cantidades de obra en concreto en la viga 8 A

VIGA 8 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V8B-I	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,19	0,34
	Tipo 2	0,50	0,40	0,20	0,10	0,02
	Tipo 3	6,00	0,10	0,60	0,10	0,06
V8B-D	Tipo 1	12,00	0,15	1,80	0,19	0,34
	Tipo 2	0,50	0,20	0,10	0,70	0,07
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
Volumen de concreto a reparar						0,95

Tabla 37. Cantidades de obra en concreto en la viga 8 B

VIGA 9 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V9A-I	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	0,40	0,30	0,12	0,07	0,01
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
V9A-D	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	1,00	1,00	1,00	0,09	0,09
	Tipo 3	6,00	0,20	1,20	0,10	0,12
Volumen de concreto a reparar						0,34

Tabla 38. Cantidades de obra en concreto en la viga 9 A



VIGA 9 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V9B-I	Tipo 1	3,00	0,15	0,45	0,38	0,17
	Tipo 2	0,50	0,50	0,25	0,07	0,02
	Tipo 3	6,00	0,10	0,60	0,12	0,07
V9B-D	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	1,00	1,00	1,00	0,12	0,12
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
Volumen de concreto a reparar						0,50

Tabla 39. Cantidades de obra en concreto en la viga 9 B

VIGA 10 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V10A-I	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	0,70	0,70	0,49	0,07	0,03
	Tipo 3	-	-	-	-	-
V10A-D	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	0,40	0,20	0,08	0,07	0,01
	Tipo 3	6,00	0,10	0,60	0,10	0,06
Volumen de concreto a reparar						0,10

Tabla 40. Cantidades de obra en concreto en la viga 10 A

VIGA 10 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V10B-I	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	-	-	-	-	-
	Tipo 3	-	-	-	-	-
V10B-D	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	0,50	0,40	0,20	0,70	0,14
	Tipo 3	12,00	0,15	1,80	0,10	0,18
Volumen de concreto a reparar						0,32

Tabla 41. Cantidades de obra en concreto en la viga 10 B



VIGA 11 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V11A-I	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	0,70	0,45	0,32	0,10	0,03
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,12	0,14
V11A-D	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	0,70	0,40	0,28	0,10	0,03
	Tipo 3	1,00	0,30	0,30	0,10	0,03
Volumen de concreto a reparar						0,23

Tabla 42. Cantidades de obra en concreto en la viga 11 A

VIGA 11 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V11A-I	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	0,70	0,40	0,28	0,10	0,03
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
V11A-D	Tipo 1	-	-	-	-	-
	Tipo 2	0,70	0,40	0,28	0,10	0,03
	Tipo 3	1,00	0,50	0,50	0,10	0,05
Volumen de concreto a reparar						0,23

Tabla 43. Cantidades de obra en concreto en la viga 11 B

VIGA 12 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V12A-I	Tipo 1	1,00	0,15	0,15	0,19	0,03
	Tipo 2	1,00	0,50	0,50	0,07	0,04
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
V12A-D	Tipo 1	1,00	0,10	0,10	0,19	0,02
	Tipo 2	1,50	1,00	1,50	0,09	0,14
	Tipo 3	6,00	0,10	0,60	0,10	0,06
Volumen de concreto a reparar						0,40

Tabla 44. Cantidades de obra en concreto en la viga 12 A



VIGA 12 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V12B-I	Tipo 1	0,30	0,15	0,05	0,19	0,01
	Tipo 2	1,00	0,70	0,70	0,07	0,05
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
V12B-D	Tipo 1	1,00	0,10	0,10	0,19	0,02
	Tipo 2	0,70	0,70	0,49	0,07	0,03
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
Volumen de concreto a reparar						0,35

Tabla 45. Cantidades de obra en concreto en la viga 12 B

VIGA 13 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V13A-I	Tipo 1		-	-	-	-
	Tipo 2	0,60	0,20	0,12	0,07	0,01
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
V13A-D	Tipo 1	1,50	0,30	0,45	0,38	0,17
	Tipo 2	-	-	-	-	-
	Tipo 3	-	-	-	-	-
Volumen de concreto a reparar						0,30

Tabla 46. Cantidades de obra en concreto en la viga 13 A

VIGA 13 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V13B-I	Tipo 1	12,00	0,10	1,20	0,19	0,23
	Tipo 2	0,80	0,80	0,64	0,07	0,04
	Tipo 3	6,00	0,10	0,60	0,10	0,06
V13B-D	Tipo 1	12,00	0,10	1,20	0,19	0,23
	Tipo 2	-	-	-	-	-
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
Volumen de concreto a reparar						0,68

Tabla 47. Cantidades de obra en concreto en la viga 13 B



VIGA 14 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V14A-I	Tipo 1	12,00	0,10	1,20	0,19	0,23
	Tipo 2	0,40	0,40	0,16	0,07	0,01
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
V14A-D	Tipo 1	12,00	0,10	1,20	0,19	0,23
	Tipo 2	0,50	0,40	0,20	0,07	0,01
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
Volumen de concreto a reparar						0,72

Tabla 48. Cantidades de obra en concreto en la viga 14 A

VIGA 14 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V14B-I	Tipo 1	1,00	0,10	0,10	0,19	0,02
	Tipo 2	-	-	-	-	-
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
V14B-D	Tipo 1	1,00	0,10	0,10	0,19	0,02
	Tipo 2	-	-	-	-	-
	Tipo 3	12,00	0,15	1,80	0,12	0,22
Volumen de concreto a reparar						0,37

Tabla 49. Cantidades de obra en concreto en la viga 14 B

VIGA 15 EJE A						
Lado	Lesión	Longitud (m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
V15A-I	Tipo 1	12,00	0,20	2,40	0,19	0,46
	Tipo 2	0,60	0,60	0,36	0,07	0,03
	Tipo 3	12,00	0,10	1,20	0,10	0,12
V15A-D	Tipo 1	12,00	0,20	2,40	0,19	0,46
	Tipo 2	0,40	0,40	0,16	0,07	0,01
	Tipo 3	-	-	-	-	-
Volumen de concreto a reparar						1,07

Tabla 50. Cantidades de obra en concreto en la viga 15 A



VIGA 15 EJE B						
Lado	Lesión	Longitud (m)	Altura(m)	Área m²	Ancho (m)	Volumen (m³)
V15B-I	Tipo 1	12,00	0,10	1,20	0,20	0,24
	Tipo 2	-	-	-	-	-
	Tipo 3	12,00	0,30	3,60	0,10	0,36
V15B-D	Tipo 1	12,00	0,25	3,00	0,15	0,45
	Tipo 2	0,70	0,50	0,35	0,10	0,04
	Tipo 3	9,00	0,10	0,90	0,10	0,09
Volumen de concreto a reparar						1,18

Tabla 51. Cantidades de obra en concreto en la viga 15 B

Con base a los cálculos realizados de las cantidades de obras de concreto, se pudo establecer el volumen de concreto requerido para reparar las vigas longitudinales de la pasarela. Ver tabla 52.

Volumen total de concreto requerido para reparar en las vigas de eje A	11,42(m ³)
Volumen total de concreto requerido para reparar en las vigas de eje B	9,47(m ³)
Volumen total requerido	20,89(m³)

Tabla 52. Volumen requerido de hormigón para la reparación de las vigas de la pasarela

En las vigas longitudinales estudiadas se observó que todas presentaban agrietamiento lo que facilita la penetración de los cloruros en la estructura, en otras había desprendimiento de concreto y pérdida de diámetro de acero producto de la corrosión. Como se observa en las figuras 31, 32 y 33.



Figura 30. Viga con agrietamiento y desprendimiento de concreto



Figura 31. Viga con desprendimiento y pérdida de diámetro de la barra de refuerzo.



Figura 32. Vigas con presencia de grietas

5.1.3.4 Análisis de daños en la Plataforma y pasarela.

Luego de la inspección se pudo observar que en términos generales la pasarela se encuentra en buen estado tal vez debido a que esta fue reparada y le fue aplicada pintura epóxica.



Figura 33. Plataforma en buen estado



Figura 34. Plataforma en buen estado



5.1.3.5 Vigas de la plataforma

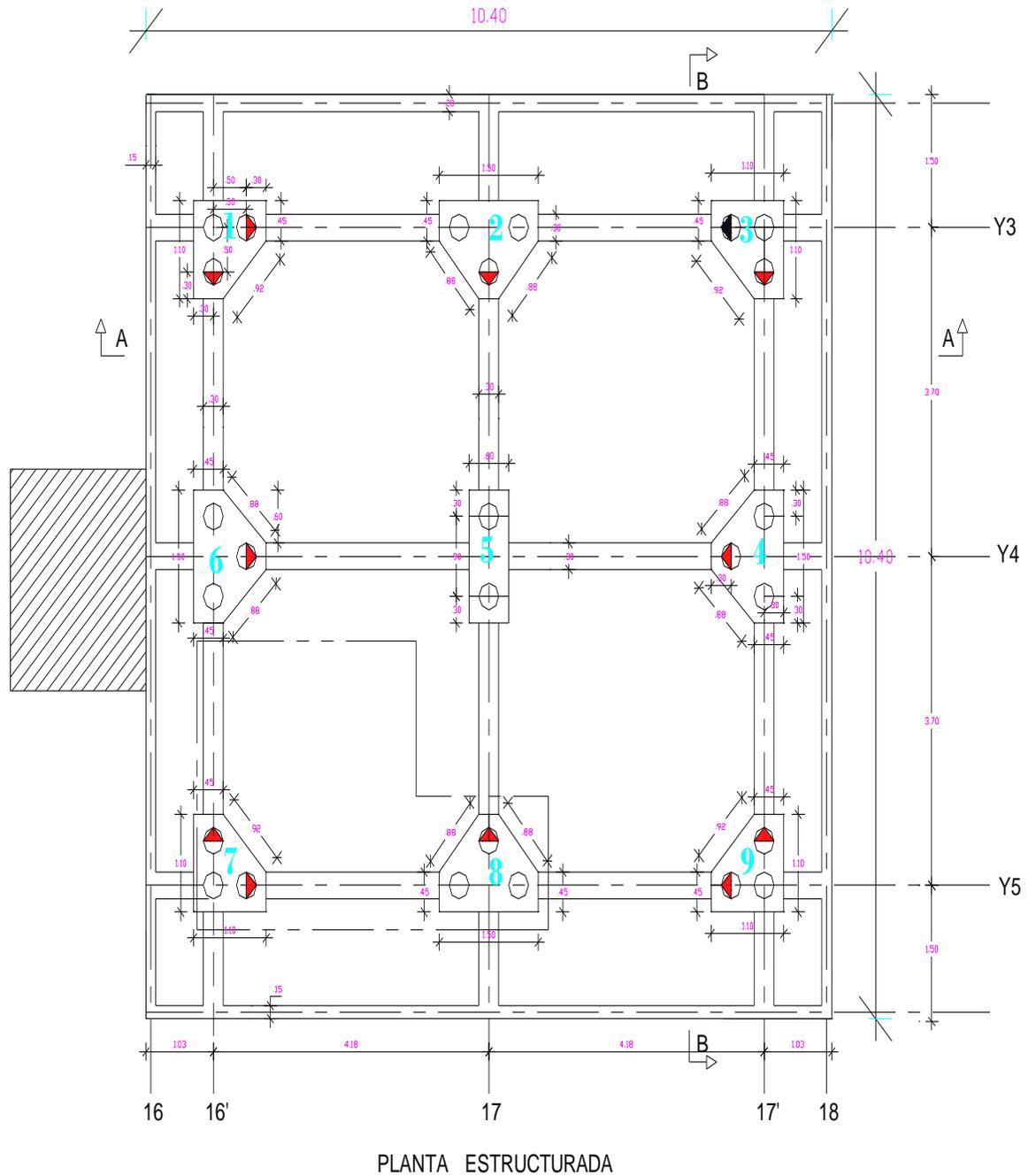


Figura 35. Planta de la Plataforma



VIGA Y 3 y VIGA Y 4

Se encuentran en buen estado como lo evidencian las figuras 27 y 28.



Figura 36. Viga Y 3 del tablero



Figura 37. Viga Y 5 del tablero



VIGA Y'5					
Tramo	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
7-8	0,90	10,00	9,00	0,20	1,80
8-9	1,20	0,20	0,24	0,15	0,04
Vol. S9	0,70	0,30	0,21	0,18	0,04
Vol. S7	-	-	-	-	-
volumen de concreto a reparar					1,87

Figura 38. Volumen de concreto para reparar la viga Y 5

VIGA 16'					
Tramo	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
6-7	2,200	0,300	0,66	0,20	0,13
1-6	0,600	0,150	0,09	0,15	0,01
Vol. S1	-	-	-	-	-
Vol. S7	-	-	-	-	-
volumen de concreto a reparar					0,15

Figura 39.volumen de concreto para reparar la viga Y 16'

VIGA 17'					
Tramo	Longitud(m)	Altura(m)	Área m ²	Ancho (m)	Volumen (m3)
4-9	0,500	0,250	0,13	0,15	0,02
3-4	1,100	0,300	0,33	0,15	0,05
Vol. S9	0,700	0,200	0,14	0,18	0,03
Vol. S3	1,000	0,300	0,30	0,20	0,06
volumen de concreto a reparar					0,15

Figura 40.Volumen de concreto para reparar la viga Y 17'

Con base a los cálculos hechos de las cantidades de obras de concreto que se necesita para reparar las vigas de la plataforma es de 0,41 m3.



5.1.3.6 Remoción y remplazo del hormigón dañado

Para iniciar el proceso de reparación, primero se debe retirar el concreto que se encuentra deteriorado o suelto, una vez retirado este hormigón debe ser remplazo por un mortero preferiblemente más impermeable con la finalidad de minimizar la penetración de los iones cloruros que afectan el muelle.

En la investigación el volumen de hormigón de reparación para las vigas tanto de la pasarela como las de la plataforma fue de 21,3 m³. Cabe resaltar que este volumen podría aumentar un poco luego de hacer el retiro del concreto que se encuentra dañado.

5.1.4 Alternativa de solución propuesta.

Cualquier estructura que se encuentre ubicada en zonas costeras está expuesta a la acción agresiva de los iones cloruros, en la actualidad existen muchos métodos y técnicas encamadas en proteger y controlar la penetración de los cloruros a la masa de concreto armado.

Con base a los estudios realizados al muelle se pudo determinar que los daños que presenta el muelle Terminal Chevron Petroleum Company son debidos a la corrosión por cloruros. Razón por la cual se propone la siguiente alternativa de solución.

- Hacer remoción de sustratos

Se debe remover toda la masa de concreto por encima y alrededor de las barras de acero corroídas.



Figura 41. Remoción de masa de concreto dañada



- Reparar o reforzar la sección de acero de refuerzo afectada
- Aplicar el concreto de reparación con una relación de cemento mínimo de 4000 PSI.
- Aplicar Aditivo inhibidor de la corrosión tipo impregnación (Sika FerroGard® - 903) u otro producto semejante.

Mediante la utilización de Sika® FerroGard® 901 S se verán reducidas las reacciones aniónica y catiónica del proceso de corrosión electroquímico. El producto forma una capa en la superficie del acero que retrasa el comienzo de la corrosión y reduce su velocidad. Utilizando Sika® FerroGard®-901 S se pueden conseguir las siguientes ventaja. (Sika)

- Actúa como protección frente a la corrosión de armaduras, especialmente frente al ataque de cloruros.
- Protege el hormigón frente a influencias destructivas de la corrosión de las armaduras.
- No tiene influencia negativa sobre las propiedades del hormigón fresco o endurecido

5.1.5 Costo de reparación de los elementos dañados del muelle

Los elementos y el volumen de concreto de reparación se relacionan en la tabla 53.

volumen de concreto a reparar en las viga de la pasarela	20,89 m ³
volumen de concreto a reparar en las viga de la plataforma	0,41m ³
volumen de concreto de reparación	21,30 m ³

Tabla 53. Volumen total de concreto de reparación



Para el cálculo del costo de reparación, se tomaron en cuenta solo los siguientes ítems:

- Limpieza de sustrato
- Concreto de reparación
- Aditivos

Con la inspección ocular no es posible hacer el cálculo de la cantidad de acero que se encuentra corroída, para esto es necesario hacer la remoción de la masa de concreto afectada y así poder medir hasta donde se encuentra la barra de refuerzo corroída, por lo cual no será incluido en el costo de reparación.

No se incluyen otros ítems que afectan sustancialmente los costos, como son preliminares mano de obra, equipos y formaletas entre otros,

COSTO DE REPARACIÓN DE DAÑOS					
ITEMS	DESCRIPCION	UND	CANT	V/UNITARIO	V/PARCIAL
1	Limpieza de sustrato	m2	128,8	\$ 25000	\$ 3,220,000
2	Concreto de 4000 PSI	m3	21,3	\$ 520000	\$ 11,076,000
3	Aditivo Sika FerroGard® -903	kg	170,4	\$ 24000	\$ 4,089,600
				total	\$ 18,385,600

5.1.6 Comparación de resultados con otras investigaciones.

Modelo de difusión de cloruros en probetas cilíndricas de hormigón armado sumergidas en agua sintética (Tovar Tejada, Villabona Ortíz, & Villabona Duràn, 2013).

Esta investigación realizó pruebas preliminares ex situ del fenómeno de difusión de iones cloruros determinando coeficientes efectivos de difusión para calcular la concentración de



cloruros y realizar una comparación de estas concentraciones con las obtenidas experimentalmente a partir de las normas ASTM-114 y ASTM C-1218/C1218M-93. Para lo cual en el laboratorio de la universidad de Cartagena.

PARTE EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del experimento se utilizaron 4 probetas cilíndricas de hormigón armado, dos tipos de resistencia (dos relaciones agua-cemento). El diseño se aplica para la inmersión en la solución de cloruro de sodio.

Tabla 2. Diseño experimental

Marca de cemento	Resistencia (Relación/agua/cemento)
A	3000 PSI (A/C : 0,5)
	4000 PSI (A/C : 0,4)
B	3000 PSI (A/C : 0,5)
	4000 PSI (A/C : 0,4)

Figura 42. Diseño experimental

- Preparación de la solución salina

La solución de iones cloruros se preparó a partir de cloruro de sodio con la concentración del agua del mar de Cartagena de Indias (11,1gr/l).

- Preparación de las probetas

Se prepararan 4 probetas con cemento clase I, con dos marcas de cemento encontradas en el medio de la construcción de mayor circulación en la ciudad de Cartagena de Indias, para dos tipos de resistencia: 3000 y 4000 PSI. Teniendo en cuenta la norma técnica colombiana NTC 550. Con las composiciones químicas y físicas que se relacionan en las Tablas.

- Obtención de perfiles de concentración de cloruros



Se analizó un testigo de cada probeta cilíndrica, y se evaluó la concentración de cloruros a una distancia radial de 0,5, 1,0 y 2,0cm del borde hacia el centro, obteniendo perfiles de concentración de cloruros versus distancia en cm.

Se analizaron testigos tomados de las probetas de hormigón inmersas en soluciones salinas en tiempos de 180, 360 y 520 días.

Resultados y Discusión

Para la evaluación del grado de corrosión en las probetas de hormigón sumergidas en la solución salina, se construyó el perfil de difusión de cloruros, se tomaron tres mediciones de datos, una vez iniciado el experimento a 180, 360 y 510 días, tal como se relaciona a continuación.

Los perfiles de las probetas inmersas en solución salina a 180 y 360 días presentan valores de concentración por debajo al nivel crítico de cloruros ($C_{\text{crítico}} \approx 1\%$), mientras que a 510 días presenta valores más elevados de concentración de cloruros, por encima del nivel crítico de concentración para provocar la corrosión del acero en el hormigón.

Conclusión

De la determinación de perfiles de cloruros realizada para los diferentes tiempos (180 - 360 -510 días), se encuentra que para la marca A, la concentración de cloruros es mayor para el cemento menos resistente, pero para la marca B, la concentración de cloruros es mayor para el cemento más resistente. Además, la forma del perfil de concentración de cloruro que toma con el tiempo de inmersión depende de las condiciones ambientales, y puede cambiar en alto grado dependiendo de la calidad del hormigón.

Se obtuvo un modelo donde la tendencia de los datos en función del tiempo fue de tipo exponencial, tal como lo recomienda la literatura consultada. Los resultados obtenidos muestran la importancia de tener en cuenta los niveles de cloruros superficiales e iniciales, además de las variaciones de estas concentraciones al momento de estimar la vida útil del hormigón.



Los resultados obtenidos del ajuste de los datos experimentales para el modelo de difusión de perfiles de concentración de cloruros, a diferentes profundidades, a partir de coeficientes de difusión para cada probeta muestran niveles de correlación altos por lo que se pueden considerar satisfactorios.

5.1.6.1 Comparación de las dos investigaciones.

Haciendo un análisis de comparación entre las dos investigaciones, se puede observar que la extracción de la muestra pulverizada de concreto se hizo de la misma forma y en ambas se usa el método estándar ASTM D 114 para determinar la concentración de cloruros totales, en ambas los resultados dieron por encima y por debajo del umbral internacional que es de 0,4 % con respecto al peso del cemento para el inicio de la corrosión por cloruros de cloruros



6 CONCLUSIONES

La ciudad de Cartagena por ser una ciudad costera tiene un ambiente agresivo y propicio para proceso corrosivo por la acción de los iones cloruros en las estructuras en concreto reforzado. Por lo cual Adelantar estudios que permitan determinar en contenido de cloruros en las estructuras marinas es de mucha importancia para las ciudades costeras.

Con base a los resultados obtenidos mediante la investigación realizada al Muelle Terminal Chevron Petroleum Company se pudo que determinar:

- La principal causa de corrosión es el medio en que se encuentra la estructura
- Que la principal causa de corrosión en las vigas de la 3 A-I, 4 A-I, 6 A-I, 9 A-I y 11 B-D es debido a la acción de los iones cloruros.
- De conformidad con el porcentaje de concentración de cloruros presentes en las vigas 5 A-D, 7 A-D, 12 A-I, 8 B-D y 13 B-D no es posible afirmar que es por la acción del cloruro, no obstante el riesgo podría existir debido a que la concentración se encuentra a la profundidad del acero.
- Con base a los resultados los elementos con mayor concentración de iones cloruros totales en el concreto reforzado son las que tienen mayor grado de exposición al agua de mar.
- Los daños encontrados en el muelle están localizados principalmente en las vigas de la pasarela y en las vigas de la plataforma.
- Para obtener resultados mas precisos en resistencia a la compresión del acero se debe complementar el estudio con un método destructivo.



7 RECOMENDACIONES

Debido a los extensos estudios que demandan las evaluaciones de daños y determinar la concentración de cloruros presentes en la estructura, los altos costos de los estudios especializados para este fin y el corto tiempo, no se pudo hacer un estudio donde se calcule los costos de reparación de la estructura completo y calcular en todos los elementos que conforman la concentración de cloruros totales.

Por tal razón se recomienda:

- Calcular la concentración de cloruros totales en todos los elementos de concreto reforzado y a diferentes profundidades
- Calcular la concentración de cloruros totales al agua de mar.
-
- Determinar los perfiles de cloruros usando un modelo matemático y hacer comparaciones.
- calcular la resistencia a la compresión del concreto con equipos más especializados como el ultrasónico y de ser posible con métodos destructivos como el de extracción de núcleos de concreto.



8 REFERENCIAS BIBIOGRAFICAS

C. Andrade, I. M. (September 2009). Use of indices to assess the performance of existing and repaired concrete structures. *Construction and Building Materials, Volume 23*, Pages 3012-3019.

Angélica Del Valle, A., Torres, A., Fabela, M., & Martínez, M. (2006). Degradación por corrosión de un muelle del pacífico mexicano. Instituto Mexicano del Transporte, Querétano, MÉXICO, PAG. 193 – 204

Rendón Belmonte M, Torres Acosta AA, Del Valle Moreno A, Pérez Quiroz JT, Lomelí González G, Martínez Madrid M. Evaluación de estructuras de concreto reforzado en México, muelles. En Valdés Salas B, & Schorr Wiener M (Eds.). Corrosión y preservación de la infraestructura industrial. Barcelona, España: OmniaScience; 2013. pp. 175-205.

Eduardo A.L. Costaa, Vânia P. Camposb, Luiz C.P. da Silva Filhoc, Hélio A. Grevec. (February 2009,). Evaluation of the aggressive potential of marine chloride and sulfate salts on mortars applied as renders in the Metropolitan Region of Salvador – Bahia, Brazil. *a State University of Feira de Santana, BR 116, Km 03, Feira de Santana, Bahia, Brazil, Volume 90*, Pages 1060–1068.

M. Torres-Luque,E. Bastidas-Arteaga,F. Schoefs,M. Sánchez-Silva,J.F. Osmá. (October 2014). Non-destructive methods for measuring chloride ingress into concrete: State-of-the-art and future challenges. *Construction and Building Materials, Volume 68*, Pages 68–81.

Consuegra, j. g. (2002). Presupuestos de construcción. Bogotá: bhandar editores.



William, R.-R. G.-D.-T.-A.-C. (2015). Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro. *Ingeniería Investigación y Tecnología ISSN 1405-7743 FI-UNAM*, 565-572.

Alberto, B. A. (2009). el concreto.

Allstudies.com. (s.f.). *Acero Estructural* | Allstudies.com. Recuperado el 16 de ABRIL de 2015, de Acero Estructural | Allstudies.com: <http://allstudies.com/acero-estructural.html>

Paredes, J., & Prieto, J. (s.f.). Corrosión del acero en elementos de hormigon armado: Vigas y Columnas. *Escuela superior politecnica del litoral (ESPOL)*.

Xianming Shi, Ning Xie, Keith fortuna, Jing Gong. (May 2012). Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview. *Construcción y Materiales de Construcción*, 125-135.

Caracterización y comparación de la velocidad de corrosión del acero de refuerzo determinada por ruido electroquímico y diferencia de espesor bajo la influencia de iones cloruro, Abel Castañeda y Francisco Corvo, revista cenic ciencias químicas, vol. 39, no. 2, 2008.

Corrosión del concreto en ambientes marinos (Evaluación de parámetros de durabilidad mediante agresión simulada de agua de mar: Fuad Curí Ahumada, Rafael Marimon Pianeta, tesis de la universidad de Cartagena, facultad de ingenieria.1995.



Abel Castañeda y Francisco Corvo, Caracterización y comparación de la velocidad de corrosión del acero de refuerzo determinada por ruido electroquímico y diferencia de espesor bajo la influencia de iones cloruro, revista cenic ciencias químicas, vol. 39, no. 2, 2008.

Tejero Rivas , M. C., Del Ángel Meraz , E., Bautista Margulis, R. G., & Hernández Morales , N. E. (2015). Corrosividad atmosférica del cobre y del acero en dos localidades de Villahermosa, Tabasco. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 197-206.

Vargas, I. H. (1998). Ataque por cloruros en el concreto. Diplomado de Obras de Concreto que imparten la Facultad de Arquitectura de la UNAM y el IMCYC.

Castro-Borges, P., Torres-Acosta, A., Balancán-Zapata, M., & López-González, A. (2012). Análisis de daños por la interacción de cargas ambientales y estructurales en una subestructura marina. *Revista de la Construcción*, p.88-98.

Torres Acosta, A. A., Ramirez Renteria, A. j., Perez Quiroz, J. T., & Martinez Madrid, M. (2006). Estudio de la corrosión en barras de acero inoxidable en concreto por cloruros cuando se aplican esfuerzos residuales.

William, R.-R. G.-D.-T.-A.-C. (2015). Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro. *Ingeniería Investigación y Tecnología ISSN 1405-7743 FI-UNAM*, 565-572.

Sika. (s.f.). Aditivos para el concreto.



https://es.wikibooks.org/wiki/Patolog%C3%ADa_de_la_edificaci%C3%B3n/Estructuras_de_hormig%C3%B3n/Causas_funcionales_y_materiales_del_deterioro

Segura Franco, J. I. (2011). *Estructuras de Concreto 1*. Bogota

Beltrán Razura, I. (2012). *Costos y Presupuesto*. Mexico: Instituto Tecnológico de Tepic.

Comportamiento de los concretos tremé y bombeable al adicionarles inhibidores de corrosión, Arrieta Zea, Álvaro, tesis universidad de Cartagena, facultad de ingeniería. 2003.



ANEXOS

Cartagena, 22 de octubre de 2016

Reporte D.F. No 002210/2016

Señor(es)
Asael Cerpa Montes
Ciudad

Cordial saludo.

A continuación informamos el resultado del análisis practicado a diez (10) muestras de testigo tomadas del muelle chevron petroleum company, tomada y traída por ustedes.

MUESTRA: VIGA 3A-I			
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 114	5844,10

MUESTRA: VIGA 4A-I			
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 114	5518,15

MUESTRA: VIGA 5A-D			
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 114	3421,72

MUESTRA: VIGA 6A-I			
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 114	4837,16

MUESTRA: VIGA 7A-D			
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 114	1478,96

MUESTRA: VIGA 8B-D			
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 114	1685,41

MUESTRA: VIGA 9A-I			
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 114	4489,13

MUESTRA: VIGA 11B-D			
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 114	4634,90

MUESTRA: VIGA 12A-I			
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 114	1923,58

MUESTRA: VIGA 13B-D			
PARAMETROS	Unidades	METODO	RESULTADO
Cloruros Totales	ppm	ASTM D 114	2290.79

Vo. Bo.

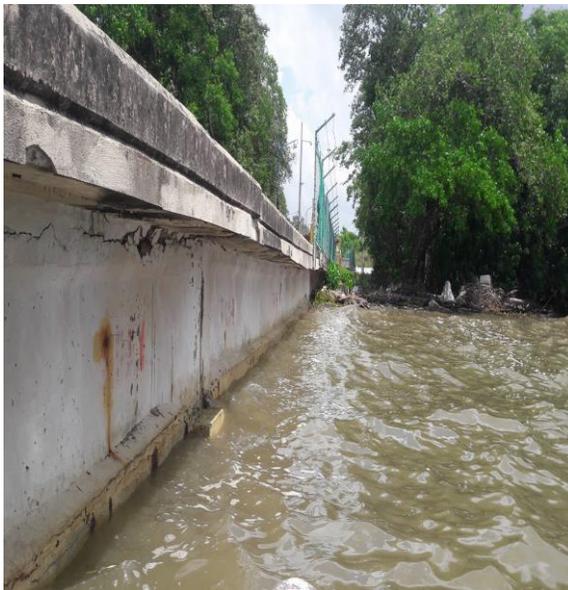


ORLANDO DE LA ROSA MERCADO, Q. F.
ANALISTA PROFESIONAL

REGISTRO FOTOGRAFICO MUELLE CHEVRON PETROLEUM COMPANY



VIGAGAS 3 A



VIGAGAS 3 B



VIGAS 4 A



VIGAS 4 A



VIGA 6 A-D



VIGA 6 B-D



VIGA 7 A-D



VIGA 7 A-D



VIGA 8 A-D



VIGA 8 A-I



VIGA 9 A-D



VIGA 9 A-



VIGA 10 A-D



VIGA 10 A-D



VIGA 11 A-I



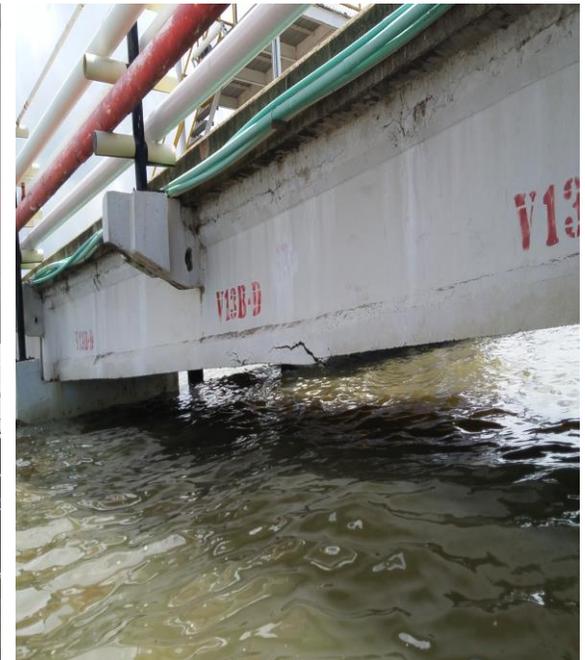
VIGA 11 B-D



VIGA 12 B-D



VIGA 12 B-D



VIGA 14 A-D



VIGA 14 B



VIGA 15 A-D



VIGA 15 B-I

