

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“IMPORTANCIA DE LA INSPECCIÓN PRELIMINAR EN EL PROCESO DE
REHABILITACIÓN DE MUELLES, CASO PUERTO DE GUAYMAS,
SONORA”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA
ZEFERINO GONZALEZ ALMAZAN**

**ASESOR
M.A. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA**

**COASESORA
DRA. ANGÉLICA DEL VALLE MORENO**

Morelia Michoacán, diciembre de 2006



AGRADECIMIENTOS

Al M. A. Wilfrido Martínez Molina, por ser mi asesor en este trabajo de tesis y aportar en mí una buena parte de su experiencia y conocimiento como ingeniero y como persona; y por dedicar su tiempo a revisar este trabajo y resolver mis dudas.

A la Doctora Angélica del Valle Moreno, por formar parte como coasesora en este importante trabajo de tesis, por facilitarme la obtención de resultados, por dedicar un poco de su tiempo haciendo las correcciones, aclaraciones necesarias para la comprensión de conceptos necesarios en esta tesis.

A la Doctora Elia Mercedes Alonso Guzmán, ya que gracias a ella he tenido la oportunidad de formar parte activa de su grupo de trabajo y a adquirir experiencia que me será de mucha ayuda en mi futuro profesional.

Al Doctor José Carlos Rubio Avalos, por su apoyo en la comprensión de conceptos relacionados con el tema de tesis.

Al Instituto Mexicano del Transporte, ya que gracias al convenio No. IMT-QC-C-09-2006 celebrado entre el Instituto Mexicano del Transporte y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en relación al levantamiento de daños por corrosión realizado en el Puerto de Guaymas, Sonora, México, se me ha brindado la oportunidad de realizar este proyecto de titulación.

Al Técnico Jesús Zauno Zamudio, ya que de él he aprendido muchas cosas valiosas en la práctica en el laboratorio de materiales y por tener siempre de su parte un trato cordial y amable.

Al personal que labora en el laboratorio de materiales por brindarme su ayuda cuando la he requerido de una u otra manera.



DEDICATORIA

A mi papá Zeferino González, por que siempre me ha brindado su apoyo incondicional aunque a veces lejos pero siempre para que yo mejore. A mi mamá Reyna Almazán por que nunca deajo de creer en mi y por darme el animo necesario para continuar cuando me sentí derrotado, a ambos por permitirme lograr un proyecto personal y además por darme la vida.

A mis hermanas Silvia, Queta, Luvia y Yessica, por que me han brindado su compañía y cariño incondicional.

A mis abuelitas Francisca[†] por que aún sigue ayudándome aunque no este ya a mi lado, y Epitacia, por el cariño que le tengo.

A mis amigos: Francisco, Euriel, Luís, Rodrigo, Miguel, Vicente, Chucha, Paulis, Alex, Ramsés, Doly, Iván, Vero, Omar, Tacho, Ely, Gaby, Cindy, Pati, porque han sabido demostrar el importante lazo que representa la amistad y por que han estado en los momentos mas importantes de mi vida.



INDICE

I.- INTRODUCCIÓN

I.1 Importancia de los Puertos en México.	2
I.2 Puerto de Guaymas, Sonora.	4
I.2.1 Ubicación.	5
I.2.2 Historia del Puerto de Guaymas.	6
I.2.3 Profundidad de calado.	7
I.2.4 Terminales.	8
I.2.5 Obras de atraque.	9
I.2.6 Zona de Influencia.	10
I.2.7 Distancias del puerto a las ciudades principales.	10
I.2.8 Cabotaje.	10
I.2.9 Exportación.	11
I.2.10 Industria.	11

II.- PRINCIPIOS SOBRE CORROSIÓN

II.1 Concepto de corrosión.	14
II.2 Clasificación de los procesos de corrosión.	17
II.2.1 Clasificación según el medio.	17
II.2.1.1 Corrosión química.	17
II.2.1.2 Corrosión microbiológica.	18
II.2.1.3 Corrosión electroquímica.	19
II.2.2 Clasificación según la forma.	20
II.2.2.1 Corrosión localizada.	20
a) Corrosión por picaduras.	20
b) Corrosión en espacios confinados.	20
c) Corrosión bajo tensión.	20
d) Corrosión por corrientes de interferencia.	21
II.2.2.2 Corrosión uniforme/generalizada.	21
a) Atmosférica.	22
II.2.2.3 Corrosión galvánica.	25
II.3 Corrosión inducida por la contaminación del agua.	26
II.4 Pasividad de metales.	27
II.4.1 Mecanismos de pasivación.	28
II.4.2 Potencial de pasivación.	28



II.4.3 Engrosamiento de la película anódica.	28
II.5 Factores que afectan y desencadenan la corrosión.	29
II.5.1 Dosificación del concreto.	29
II.5.2 Compacidad y homogeneidad.	30
II.5.3 Espesor de recubrimiento del concreto.	30
II.5.4 Humedad ambiental.	31
II.5.5 Efecto del oxígeno.	32
II.5.6 Efecto de la temperatura.	32
II.5.7 Estado superficial del acero.	33
II.5.8 Tensiones mecánicas del acero.	33
II.5.9 Corrientes erráticas o de interferencia.	33
II.5.10 Contacto galvánico entre dos metales.	33
II.5.11 Iones despasivantes.	33
II.5.11.1 Cloruros.	34
II.5.11.2 Sulfatos.	37
II.5.12 Carbonatación.	38
II.5.13 Lixiviación por aguas blandas.	40
II.5.14 Presencia de coqueas en contacto con las armaduras.	41
II.5.15 Existencia de Fisuras.	41

III.- LEVANTAMIENTO DE DAÑOS.

III.1 Inspección preliminar.	46
III.1.1 Elaboración de una ficha de antecedentes de la estructura y del medio.	47
III.1.2 Examen visual general de la estructura.	47
III.2 Inspección detallada.	48
III.2.1 Selección de técnicas de medición.	49
III.3 Procedimiento de levantamiento de daños en el muelle de Guaymas.	51
III.3.1 Equipo utilizado en el levantamiento de daños.	51
III.3.2 Simbología utilizada en el levantamiento de daños.	51
III.3.3 Procedimiento empleado en el levantamiento de daños en el muelle de Guaymas.	55
III.3.4 Procedimiento empleado en la captura de los daños en el muelle de Guaymas.	56
III.3.5 Daños representativos en pilotes, traves, losa y pantallas.	57



IV.- PRUEBAS REALIZADAS.

IV.1 Resistencia a la compresión.	72
IV.1.1 Objetivo.	72
IV.1.2 Definiciones.	72
IV.1.3 Equipos y materiales.	72
IV.1.4 Procedimiento.	72
IV.1.5 Criterio de evaluación de resultados.	75
IV.2 Profundidad de carbonatación.	75
IV.2.1 Objetivo.	75
IV.2.2 Definiciones.	75
IV.2.3 Equipos y materiales.	75
IV.2.4 Procedimiento.	75
IV.2.5 Criterios de evaluación.	76
IV.3 Esclerometría.	77
IV.3.1 Objetivo.	77
IV.3.2 Definiciones.	77
IV.3.3 Equipo y Materiales.	77
IV.3.4 Campo de aplicación.	77
IV.3.5 Procedimiento.	77
IV.3.6 Utilización del esclerómetro.	78
IV.3.7 Criterios de evaluación.	78
IV.4 Concentración de cloruros.	79
IV.4.1 Objetivo.	79
IV.4.2 Equipo y Materiales.	79
IV.4.3 Procedimiento.	79
IV.4.4 Evaluación de resultados.	80
IV.5 Medición de potenciales.	81
IV.5.1 Objetivo.	81
IV.5.2 Equipo y Materiales.	81
IV.5.3 Procedimiento.	81
IV.5.4 Criterios de evaluación.	82
IV.6 Detección de armados.	83



IV.6.1 Objetivo. 83
IV.6.2 Definiciones. 83
IV.6.3 Equipos y materiales. 83
IV.6.4 Procedimiento. 84
IV.6.5 Criterios de evaluación. 84

V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

V.1 Pruebas de compresión. 86
V.2 Pruebas de esclerometría. 89
V.3 Pruebas de adherencia. 95
V.4 Detección de armados. 97
V.5 Contenido de cloruros. 99
V.6 Potenciales de corrosión. 102

VI.- PROPUESTAS DE SOLUCIÓN.

VI.1 Reparación por parcheo. 115
VI.2 Encamisado de subestructuras y superestructuras. 116
VI.3 Selladores y recubrimientos superficiales. 116
 VI.3.1 Selladores. 116
 VI.3.2 Recubrimientos. 117
VI.4 Inhibidores. 117
VI.5 Extracción electroquímica de cloruros. 120
VI.6 Protección catódica. 121

VII.- CONCLUSIONES. 124

VIII.- GLOSARIO. 125

IX.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 128



CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN



I. INTRODUCCIÓN

El trabajo de tesis que se presenta, nos da una clara idea de la importancia que tiene el levantamiento de daños en un proceso de restauración o ampliación de la capacidad de carga de un puerto y un diagnóstico correcto de las causas que provocan el deterioro de los elementos estructurales tales como la losa, las trabes y los pilotes.

Es indispensable tener en cuenta también que los elementos de concreto reforzado si no les damos un mantenimiento adecuado no son durables como la mayoría de nosotros tiene entendido, ya que no solamente están expuestos a la acción de las solicitaciones mecánicas para las que las diseñamos, sino que también hay que tomar en cuenta una serie de factores que nos pueden afectar el desempeño de éstos elementos, tales como la zona en la que se construyeron y en general las condiciones atmosféricas con las que se cuenta en el lugar. Conociendo estos factores se puede obtener un diagnóstico sobre lo que puede causar el deterioro de las estructuras de concreto reforzado y los daños que nos van a causar.

Pero no solamente el concreto es lo que se daña en los elementos de concreto reforzado, también el acero que utilizamos como refuerzo puede sufrir daños como la corrosión lo que conlleva a una disminución en el diámetro de las varillas empleadas, o incluso a la pérdida total del elemento, y esto a causa de un mal procedimiento constructivo, por una mala supervisión o por el empleo de materiales que no son los adecuados para soportar las condiciones ambientales, dando por resultado delaminaciones, desconchamientos, apanalamientos, o también que el acero quede expuesto desde un inicio y acelere el proceso de destrucción de nuestros elementos.

I.1 IMPORTANCIA DE LOS PUERTOS EN MÉXICO.

El transporte marítimo es una fase del proceso total de transporte. En el puerto termina una fase y empieza otra; por ello que el puerto es un eslabón de la cadena del transporte, pero en realidad es mucho más, un eslabón es simplemente un enlace, un elemento de unión y la misión del puerto no es solamente de enlace, es mucho más compleja.

Al puerto llegan las mercancías por vía terrestre o fluvial, pudiendo efectuarse entre otras, las siguientes operaciones: descarga, transporte al costado del buque, a un almacén o tinglado cubiertos o a una superficie descubierta, manipulación y apilado de la mercancía en el almacén, desapilado y manipulación, transporte desde el almacén hasta el costado del buque, carga hasta la bodega, estiba; cada



una de estas operaciones puede realizarse de diferentes formas y su costo puede ser muy elevado, hasta el extremo de que en muchos casos el costo de todas estas manipulaciones es superior al flete marítimo, de ahí la importancia de una buena organización portuaria que permita reducir estos costos, pero además, el puerto en general no se limita a estas funciones mencionadas de tipo comercial, sino que en muchos casos es el núcleo de una zona industrial a la que sirve, estando instalados en él importantes industrias que dan salida a sus productos directamente al puerto, evitando así un transporte terrestre que en muchos casos, encarecería de tal manera el costo de la mercancía en condiciones que la haría incapaz de competir en el mercado. Igualmente, en él están instalados almacenes o silos para recepción y distribución de mercancías a granel.

En el puerto existen una serie de servicios para atender a los buques que hacen escala en ellos: suministros de agua, de combustible, de pertrechos, talleres de reparación, diques secos o flotantes, etc. ^[1]

Es innegable que hoy en día, los puertos están realizando cuantiosas inversiones para hacer frente a estas nuevas necesidades y posicionarse como grandes centros de carga, de hecho en cada uno de los continentes las metas que se han adoptado van acordes con los requerimientos de los transportistas y del intercambio comercial que se da desde y hacia estas naciones. ^[2]

La participación del sistema portuario nacional en el rubro de exportaciones representa un 80%. La participación en la carga total manejada por todos los modos de transporte representa un 33%. La inversión anual requerida es de 5,152 millones de pesos, incluye API's federales e inversión privada, 2001-2006. Esta cifra representa el 0.1% del PIB nacional. ^[3]

Frecuentemente se olvida el hecho de que el puerto no puede ser considerado como una estructura física aislada y, por lo tanto tiende a omitirse una problemática central como es precisamente, la de la integración modal y regional.

Hoy día, el transporte integrado comprende una gran diversidad de ramas especializadas, como son, entre otras: el transporte de carga general y de contenedores; de productos líquidos y sólidos a granel; de piezas pesadas y de dimensiones extraordinarias; de productos perecederos en buques refrigerados; de productos químicos; de vehículos armados, etc. Asimismo dentro del transporte marítimo como tal se tiene la operación de cruceros y de embarcaciones de aprovisionamiento y apoyo a las industrias extractiva y de construcción. ^[2]

En el caso de Guaymas, la productividad del puerto es elevada en el manejo de graneles entre otros productos, ocupando los primeros lugares en el manejo de carga. Cuenta con importantes servicios como son almacenamiento, muelles, atraque, manejo de equipaje, remolque, agua potable, suministro de combustible,



avitallamiento, recolección de basura, servicios de comunicación, renta de equipo, talleres de reparaciones y lanchaje. ^[1]

Por lo tanto, debido a la importancia que tiene los puertos tanto en la comunicación, como en la exportación e importación de productos, se debe de tener un especial cuidado en la conservación y mantenimiento de ellos para poder así contar con puertos de clase mundial y para competir con éxito en el contexto internacional, mejorando aún más sus instalaciones y equipo para procurar convertirse en grandes centros de acopio o transferencia de carga que operen con niveles de costo y eficiencia comparables a los países mas avanzados.

I.2 PUERTO DE GUAYMAS, SONORA.





I.2.1 Ubicación.

El Puerto de Guaymas se encuentra localizado en las coordenadas 27° 55' N y 110° 54' W, en el estado de Sonora, México. A solo 400 km al norte se encuentra la Ciudad de Nogales frontera con Estados Unidos. El puerto se enlaza a 1.8 km con la carretera federal No. 15 de 4 carriles, eje del corredor CANAMEX, que conecta con esta ciudad fronteriza.

El puerto cuenta también con servicio de Ferrocarril a costado de buque y las vías conectan a la red regional con el servicio de Ferromex. La Ciudad de Guaymas cuenta con todos los servicios, incluyendo el Aeropuerto Internacional Gral. José María Yañez, a 8 Km de distancia del Recinto Portuario. [4]



Figura I.1: Ubicación del Puerto de Guaymas [5]



I.2.2 Historia del Puerto de Guaymas.

Guaymas: "Tirar flechas a la cabeza". Según el idioma Cahíta. Ibarra de Anda, Geonimia Indígena Mexicana. Se designa con este apelativo a la región habitada por la tribu Guaima.^[4]

Esta importante ciudad sonorenses fue fundada en 1701 por los misioneros Eusebio Franciscano Kino Y Salvatierra, quienes construyeron la misión de San José de Guaymas a 10 Kilómetros (6 millas) al norte de la ciudad actual.

En **1703** el padre Salvatierra arribó a la bahía para aprovisionar desde ahí las misiones a su cargo constituyéndose la zona como una dependencia de la Misión de Loreto. El pueblo fue abandonado y restablecido en varias ocasiones debido el peligro que presentaban los seres rebeldes.

En **1767** el Virrey Marqués de Croix ordena el reconocimiento de la bahía de Guaymas, a fin de aprovecharla durante el desarrollo de las operaciones militares de la "Expedición Sonora".

En **1769** Don José Gálvez decretó la fundación de Guaymas.

En **1811** se autoriza el tráfico comercial marítimo en el puerto; en 1814 las cortes españolas lo habitaban para el comercio nacional y en 1823 se establece la aduana marítima.

En **1825** se le otorga categoría de municipio.

En **1837** se confirma como puerto de altura.

El 13 de Julio de **1854** el General José Ma. Yáñez encabeza a los porteños en defensa de Guaymas y la integridad nacional, derrotando al filibustero francés Conde Gastón Rousset de Boulbon que pretendía apoderarse de Guaymas.

El 13 de julio de **1859** se otorga el título de ciudad; en 1862 el congreso local decreta "la ciudad de Guaymas se denomina en lo sucesivo Guaymas de Zaragoza".

En **1925** se construyen las primeras instalaciones portuarias en Punta de Lastre, constituidas por el muelle de la zona naval.

En **1942** se constituyen el muelle y bodega de La Ardilla, instalaciones en las que comienza a esbozarse la zona comercial.



Para **1954** las actividades comerciales comienzan a tener un papel relevante por lo que se construye el muelle, patio, conformado por las bandas Este y Sur, así como el patio fiscal.

En **1961** se construye el muelle de PEMEX para la descarga de fluidos, y para el suministro de buques, se construye el muelle de combustibles.

Para **1964** dos importantes obras se realizan en el Puerto, una es el Varadero Nacional ejecutado por la Secretaría de Marina para las reparaciones navales, y la otra son los silos edificados por Almacenes Nacionales de Depósito, para la exportación a granel.

En **1972** se enlaza por la vía marítima la Ciudad de Santa Rosalía, Baja California, con la construcción del muelle para transbordadores y se inicia la desconcentración de la actividad pesquera, con la construcción del Parque Industrial Pesquero "Sánchez Taboada" en el paraje nuevo.

En **1980** el impulso que se da a la zona en esta década es muy importante ya que se optimizan los tiempos de carga y descarga con la construcción del patio de contenedores, el muelle para gas, los muelles para reparaciones a flote, muelles de alistamiento, muelle Cooperativa Sánchez Taboada, además de otras obras con las que la iniciativa privada comienza a movilizar sus productos e insumos por vía marítima, como es el caso de la bodega de la Compañía Mexicana de Cobre, el muelle de Cementos Tolteca y los tanques de la Compañía Mexicana de Ácido Sulfúrico.

Los principales puntos de interés en Guaymas son la iglesia de San Fernando que data del siglo XIX y la del Sagrado Corazón. El banco de Sonora construido en el estilo neoclásico, el Ayuntamiento que data de 1899, la plaza de San Fernando con su Kiosco, la estructura del pescador (símbolo de la ciudad) y la plaza de los Tres Presidentes construida en honor de Adolfo de la Huerta, Plutarco Elías Calles y Abelardo Rodríguez, todos nativos de Guaymas y presidentes de México. ^[6]

I.2.3 Profundidad de calado. ^[7]

RESTRICCIONES	metros	pies
Calado máximo	10.0 m	33'
Eslora máxima	250 m	820'
Manga máxima	30.0 m	98'



MUELLE	Calado permitido	
	metros	pies
2 RP Muelle 2	9.5 m	31'
3 RP Muelle 3	9.5 m	31'
4 RP Muelle 4	10.0 m	33'
5 RP Muelle 5	10.0 m	33'
6 RP Muelle 6	10.0 m	33'
Muelle de cemento	11.0 m	36'
Muelle de PEMEX	9.0 m	30'
Muelle Trasbordador	5.0 m	16'
Muelle Ardilla E-N	3.0 m	10'
Muelle Ardilla E-S	5.0 m	16'
Muelle Ardilla O-N	5.0 m	16'
Muelle Ardilla O-S	5.0 m	16'

1.2.4 Terminales

El puerto de Guaymas cuenta con 9 terminales: ^[8]

- Una de uso público con 5 posiciones de atraque para carga general, producto de pesca, graneles agrícolas, graneles minerales, fluidos y contenedores.
- Una terminal con 3 posiciones de atraque para productos petroleros, operada por PEMEX.
- Una terminal especializada para el manejo de cemento, operada por CEMEX.
- Una terminal de transbordadores para pasajeros y manejo de carga general sobre vehículos, operada por SEMATUR.
- Tres terminales (una en el muelle de la Ardilla y dos en los muelles de Bahía de Baños) para servicios a embarcaciones pesqueras.
- Una terminal de almacenamiento de ácido sulfúrico, minerales a granel y bloques de cobre, operada por Mexicana de Cobre.
- Una terminal de silos para manejo de graneles agrícolas operada por Seranorsa.



Figura I.2. Plan maestro del Puerto de Guaymas.

I.2.5 Obras de atraque.

Muelle	Longitud	Posición de atraque
Bahía de Baños	524.76 m	6
Muelle de la Ardilla	247.00 m	3
Cemex	154.00 m	1
Sematur	47.47 m	1
PEMEX	2084.00 m	3
Recinto Fiscal	1256.38 m	7



I.2.6 Zonas de Influencia.

La zona de influencia corresponde a la región geoeconómica del Noroeste del país y se relaciona principalmente con los Estados de Sonora, Baja California Norte y Baja California Sur, también se encuentra la zona de influencia externa que se enfoca a los países integrantes de la Cuenca del Pacífico, en especial con las costas occidentales de Estados Unidos y Canadá, así como Japón, China, Australia, Nueva Zelanda y Chile, entre otros. ^[1]

I.2.7 Distancias del puerto a las ciudades principales.

Al Sur		Al Norte		E.U.	
Cd. Obregón	126	Hermosillo	143	Tucson	525
Navojoa	198	Santa Ana	311	Phoenix	720
Los Mochis	351	Nogales	420		
Culiacán	567	Mexicali	832		

I.2.8 Cabotaje.

En lo que respecta a cabotaje es preciso mencionar que el cemento, en la versión de superbolsas de 2 ton y pallets, ocupa el 98% del movimiento anual en este rubro. Con la llegada de una embarcación cada 10 días proveniente de Manzanillo, Colima, el mercado regional se surte de este producto e impulsa el desarrollo económico de la construcción. ^[4]



Puerto de Guaymas. Origen y destino de los principales productos de importación y exportación, 1998 ^[9]

Producto de importación	Origen	Miles de tons.	Destino
Concentrado de cobre	Sudamérica, Asia, Norteamérica*	352.1	Tucson, USA, Nacozari
Fertilizantes	Norteamérica*, Europa	124.9	Cd. Obregón, La Paz, B.C.S.
Semilla de nabo y canola	Norteamérica*	101.1	Cd. Obregón, Navojoa
Maíz	Norteamérica*	75.4	Cd. Obregón, Navojoa, Hermosillo
Soya	Sudamérica	22.5	Cd. Obregón, Navojoa, Hermosillo,
Trigo	Norteamérica*	53.6	Cd. Obregón, Navojoa
Avena	Oceania	41.3	Hermosillo.
Sorgo	Norteamérica*	29.7	Cd. Obregón, Navojoa
Girasol	Sudamérica	22.5	Cd. Obregón, Navojoa, Hermosillo
Producto de exportación	Origen	Miles de tons.	Destino
Ácido sulfúrico	Cananea, Nacozari	371.3	Norteamérica, Caribe, Sudamérica.
Trigo	Cd. Obregón, Navojoa	168.5	Europa, África, Sudamérica
Cemento	Hermosillo	47.3	Centroamérica, Asia, Sudamérica
Concentrado de cobre	Nacozari	34.3	Asia, Sudamérica
Barita	Hermosillo	13.0	Europa
Concentrado de zinc	Chihuahua	10.0	Asia

* Norteamérica incluye a Estados Unidos y Canadá.



I.2.9 Exportación.

El ácido sulfúrico proveniente del norte del estado de Sonora es uno de los principales productos que se exportan hacia Cuba, Chile y Estados Unidos. Vía férrea llega al recinto portuario hasta la instalación de 4 tanques de 10,000 ton de almacenamiento y otro más de recepción ubicados en la cima del cerro de la ardilla hacen que su mecanismo de gravedad sea eficiente y se exporten 50,000 ton promedio por mes. En menor proporción se comienza a mandar hortalizas del valle de Hermosillo directamente a Japón. ^[4]

I.2.10 Industria.

La industria manufacturera de producción de alimentos de origen pesquero, tanto para consumo humano como animal sobresale como la principal rama de actividad.

La planta industrial pesquera consiste de 5 enlatadoras, 8 harineras y 12 congeladoras, todas ellas ubicadas en el Puerto de Guaymas.

En los últimos 3 años la ocupación de esta rama de actividad disminuyó de 4,153 empleos a 2,153, es decir, presentó una tasa decreciente del 28 por ciento en promedio anual.

Así mismo, en el Puerto de Guaymas, operan 4 maquiladoras, de las cuales 2 son de la rama de componentes electrónicos, una del vestido y la otra de componentes automotrices, generando un total de 760 empleos.

En la industria de construcción existen 32 empresas que se dedican a la edificación de viviendas e inmuebles en general y otras 10 a la construcción y reparación de embarcaciones; las primeras generan un total de 300 empleos y las segundas 559 empleos, entre mano de obra de planta y eventual. ^[4]



CAPÍTULO II

PRINCIPIOS SOBRE

CORROSIÓN



II. PRINCIPIOS SOBRE CORROSIÓN

II.1 CONCEPTO DE CORROSIÓN.

La corrosión de la armadura en el concreto consiste en la oxidación destructiva del acero, por el medio que lo rodea. Así, la corrosión ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica, la cual consiste en cuatro elementos principales:

- Un ánodo.- Es aquella porción de la superficie del metal que se está corroyendo. Es el lugar donde el metal se disuelve y pasa a la solución; al momento de ocurrir esto es por que los átomos metálicos pierden electrones y pasan a la solución como iones. Los átomos contienen la misma cantidad de protones y electrones y al ocurrir una pérdida de electrones ocurre un exceso de carga positiva lo que resulta un ión positivo. ^[10]
- Un cátodo.- Es la cantidad de superficie metálica que no se disuelve y es el sitio de otra reacción química necesaria para que ocurra el proceso de corrosión. Los electrones que se liberan al dividir el metal en el ánodo viajan hasta la zona catódica en donde se consumen por la reacción de un agente oxidante presente en el agua. ^[10]
- Un conductor metálico.- donde la corriente eléctrica es el flujo de electrones.
- Un electrolito.- Para que se complete el circuito eléctrico la superficie metálica, tanto como el cátodo como el ánodo, deben estar cubiertas por una solución conductora de electricidad, es decir, de electrolito. El electrolito conduce la corriente del ánodo al cátodo y luego vuelve al ánodo a través del metal, completando el circuito. ^[10]

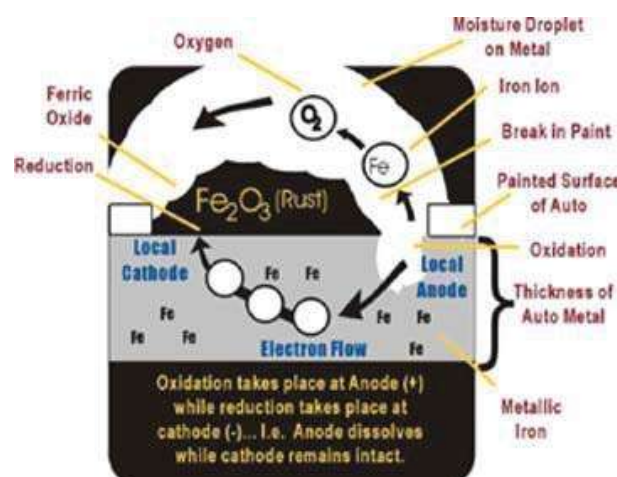


Figura II.1.- Proceso de corrosión



La corrosión electroquímica del acero en el concreto resulta de la falta de uniformidad en el acero, contacto con metales menos activos, así como las heterogeneidades en el concreto que rodea el acero. Pero si bien a causa de las heterogeneidades en el concreto pueden provocar la corrosión, este también previene al acero de esta mediante la formación de una capa pasivante, la cual se rompe cuando hay un cambio en las condiciones de servicio y el concreto se altera o a través de él penetran sustancias agresivas provocando que la corrosión en las armaduras se desencadene con una triple consecuencia:

- El acero disminuye su sección o incluso se convierte completamente en óxido,
- El concreto puede fisurarse o delaminarse debido a las presiones que ejerce el óxido expansivo al generarse y,
- La adherencia armadura concreto disminuye o desaparece.



Figura II.2. Efecto de la corrosión del acero

La corrosión de los metales también puede ser considerada como el proceso inverso de la metalurgia extractiva. Muchos metales existen en la naturaleza en estado combinado, por ejemplo, como óxidos, sulfatos, carbonatos o silicatos. En estos estados, las energías de los metales son más bajas. En el estado metálico las energías de los metales son más altas, y por eso, hay una tendencia espontánea de los metales a reaccionar químicamente para formar compuestos.

[11]

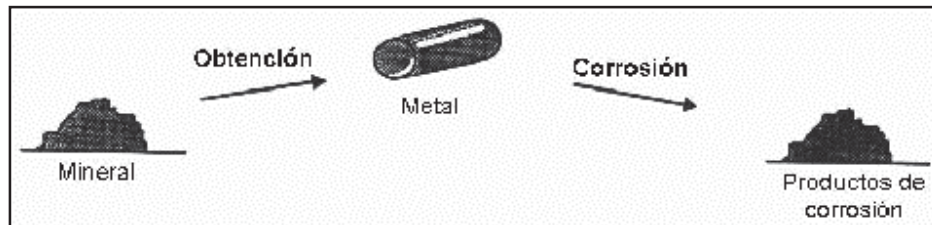
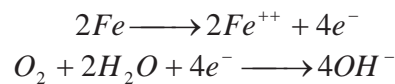


Figura II.3. Semejanza entre obtención y corrosión de los metales.

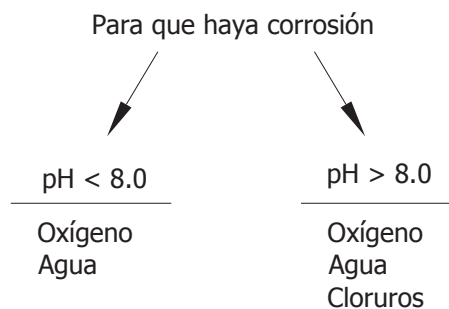
Para que la corrosión del acero pueda iniciarse y mantenerse existen dos mecanismos que en general son aceptados: ^[12]

- a) Reducción de la alcalinidad por lixiviación de las sustancias alcalinas con agua o neutralización parcial con dióxido de carbono u otro material ácido y,
- b) Por la acción electroquímica que involucra al ion cloruro en presencia de oxígeno.

Así, el acero se corroe por la reacción anódica que permite que el se disuelva como ion ferroso. Debe haber una reacción catódica simultanea, como la reducción de oxígeno, todo esto en presencia de agua.



A continuación se muestra un cuadro descriptivo de algunas condiciones para que exista o no corrosión del acero en el concreto:





Para que no haya corrosión

Mantener fuera del concreto armado alguna de las siguientes opciones:

Oxígeno
Agua
Cloruros

Colocar en el concreto armado alguna de las siguientes opciones:

Iones Hidróxilos
Potencial negativo sobre el acero
Iones ferrosos
Inhibidor

II.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CORROSIÓN

Para su estudio los procesos de corrosión pueden ser clasificados según en el medio que se desarrollan o según su morfología. Una de las clasificaciones podría ser:

II.2.1 Clasificación según el medio.

Corrosión Química: Son aquellos casos en que el metal reacciona con un medio no iónico (por ejemplo oxidación en aire a alta temperatura, reacción con una solución de yodo en tetracloruro de carbono, etc.).^[13]

Corrosión Electroquímica: Considerados desde el punto de vista de la participación de iones metálicos, todos los procesos de corrosión son electroquímicos. Sin embargo, es usual designar corrosión electroquímica a la que implica un transporte simultáneo de electricidad a través de un electrolito. A este grupo pertenecen la corrosión en soluciones salinas y agua de mar, la corrosión atmosférica, en suelos, etc.^[13]

Corrosión Microbiológica: la corrosión puede acelerarse debido a la presencia de organismos microbianos, ya sea porque estos fabrican especies agresivas o porque actúan como catalizadores de las reacciones. La mayoría de los organismos activos son bacterias que reducen u oxidan compuestos de azufre como parte de su metabolismo.^[13]

II.2.1.1 Corrosión química.

Al exponerse una superficie metálica limpia a la acción del oxígeno, el metal comenzará a reaccionar con éste y formará óxidos. Según la temperatura del ensayo y la concentración de oxidantes se observarán diferentes comportamientos. A baja temperatura, la primera etapa será la formación de una capa adsorbida de



oxígeno. Si la temperatura es suficientemente baja o la concentración de oxidante es escasa, la reacción puede detenerse después de formar esa capa adsorbida. A mayor concentración y temperatura del oxidante se forma una película de óxido, cuyo espesor varía según las condiciones.

Es usual diferenciar las películas delgadas de las gruesas, para estudiar el crecimiento de los óxidos. Como clasificación arbitraria podemos definir óxidos delgados aquellos que tienen un espesor de 1000 Å y óxidos gruesos los que tienen un espesor mayor. Hasta no hace mucho tiempo se creía que las películas delgadas crecían en forma continua a partir de la capa adsorbida, se suponía también que el espesor de la película era uniforme. Se demostró más tarde que la oxidación como en la sulfuración de metales, durante el crecimiento de la película forma óxidos y sulfuros respectivamente. Se trata de un proceso de nucleación homogénea que depende de la temperatura y presión del oxidante. Su existencia define propiedades importantes tales como textura, estructura y de los óxidos más gruesos.

Si la película es porosa y permite el libre acceso del oxígeno hasta el metal, el ataque continuará constante hasta consumir el metal o agotar el oxígeno. Se comportan de esta manera, los metales alcalino y alcalino térreos, (Na, K, Ca, Ba, etc.).

Se ha comprobado que el crecimiento de los óxidos está gobernado por difusión y que al disponer en un par de ejes coordinados las variables aumento de peso vs. tiempo, estas responden a una ley parabólica. Cuando el metal puede presentar varias valencias el óxido formado durante la oxidación suele ser bastante complejo.
[13]

II.2.1.2 Corrosión Microbiológica.

Como los microorganismos que participan en este proceso habitan en gran variedad de sistemas naturales en condiciones ambientales muy diversas sobreviviendo en presencia de niveles de nutrición muy bajos, los casos de corrosión debido a ellos son muy variados. Puede decirse que salvo en aquellos casos en que las características físico - químicas del medio son incompatibles con la vida (altas temperaturas, bajo pH, concentración salina inhibitoria, etc.), es factible encontrar casos de corrosión microbiana en ambientes tan diferentes como suelos, agua dulce, sistemas de enfriamiento, tanques de almacenaje de combustible, estructura de piedra, etc.

La corrosión microbiológica está directamente vinculada con la electroquímica. En todos los casos se encuentra una zona anódica donde se produce un proceso de oxidación que conduce a la disolución del metal (corrosión); mientras transcurre simultáneamente la reducción de algún otro componente del medio a través de la



correspondiente reacción catódica. Los microorganismos participan del proceso en forma activa sin modificar la naturaleza electroquímica del fenómeno.

Los microorganismos participan del proceso de corrosión: produciendo sustancias corrosivas, originadas en su crecimiento o metabolismo, que transforman un medio originalmente inerte en agresivo originando celdas de aireación diferencial por efecto de un desigual consumo de O_2 en zonas localizadas destruyendo cubiertas protectoras sobre el metal, que son metabolizados por los microorganismos consumiendo sustancias inhibitoras de la corrosión y facilitando de esa forma la acción de iones agresivos presentes en el medio o producidos por el metabolismo microbiano; como es el caso de la corrosión microbiológica de aleaciones de aluminio en los sistemas agua / combustibles.^[13]

II.2.1.2 Corrosión electroquímica.

La hipótesis de que la corrosión es un proceso electroquímico es bastante antigua. La idea surgió como resultado de los primeros trabajos con pilas galvánicas, y se supuso que durante la corrosión actuaban micropilas en el metal. La demostración cuantitativa de la relación entre corrientes eléctricas y ataque de metales en corrosión se debe a Evans; quien demostró que durante la corrosión se cumplen con las Leyes de Faraday.^[13]

Origen de las corrientes eléctricas durante la corrosión:

En los procesos de corrosión electroquímica sucede que, en general, circulan sobre el material expuesto a corrosión corrientes eléctricas que originan el ataque. Las causas más frecuentes son:^[13]

- I. Dos o más metales distintos en contacto. (corrosión galvánica). Tal como ocurre con el aluminio en contacto con el cobre o con el grafito.
- II. Presencia de fases diferentes en una misma aleación. Por ejemplo aleaciones termotratables de aluminio, aceros inoxidable sensibilizados, etc.
- III. Presencia de capas de óxidos conductores de electrones. Por ejemplo, óxido de laminación en chapas de hierro, o capas de aceite carbonizado en el interior de los tubos de cobre.
- IV. Diferentes grados de aireación de una pieza metálica. Se observa que las zonas en que escasea el oxígeno se comportan como ánodos cuando están unidas a otras zonas con buena aireación.
- V. Corrientes inducidas por circuitos eléctricos mal aislados. Tal es el caso de las corrientes vagabundas en estructuras metálicas enterradas.
- VI. Presencia de oxidantes en el medio, que causan la disolución electroquímica de un metal aún cuando este sea puro, sin segundas fases, y aislado de otros metales.



II.2.2 Clasificación según la forma.

II.2.2.1 Corrosión localizada.

Este ataque actúa solamente en determinadas áreas de superficie. Tiende a profundizar mucho más rápidamente que la corrosión generalizada, pudiendo ser en extremo peligroso ya que puede conducir al fallo prematuro de la pieza. ^[14]

a) Corrosión por picaduras.

Las picaduras se forman por la disolución localizada de la película pasiva. Típicamente resultan del ingreso de iones cloruro al medio, ya sea por que provienen del exterior o porque fueron incorporadas en la masa del concreto. ^[14]

La corrosión por picaduras es una forma de ataque extremadamente localizada, y puede afectar desde una milésima parte del total de la superficie del elemento. ^[15]

b) Corrosión en espacios confinados.

Este tipo de corrosión puede ocurrir cuando sobre la superficie del metal existe un espacio lo suficientemente resguardado que evita el acceso continuo de oxígeno a esa zona, pudiendo crearse celdas diferenciales de oxígeno que inducen la corrosión del refuerzo.

Son varias las situaciones que pueden inducir a este tipo de daño, entre ellas se puede mencionar la inyección de grietas (estructurales o por corrosión) con material epóxico, donde ya el medio agresivo ha llegado al refuerzo, siendo esta zona donde la corrosión se aceleraría por la falta de oxígeno. Adicionalmente, si hay iones cloruro en el hormigón, estos pueden acumularse en el intersticio resultante entre el recubrimiento y el acero. ^[12]

c) Corrosión bajo tensión.

Este tipo de corrosión ocurre cuando se dan conjuntamente dos circunstancias: esfuerzos de tracción sobre el acero y un medio agresivo. Esto ocurre preferentemente en concreto pre- o postensado, donde se utilizan aceros de alta resistencia debido, en general, a la presencia de hidrógeno atómico difundido a través del metal. Este tipo de corrosión se caracteriza por incubar grietas no visibles al ojo humano, que se propagan con relativa rapidez hacia el interior.

Este tipo de corrosión es un fenómeno muy específico, generalmente asociado a una mala calidad del hormigón o a la presencia de iones, generalmente aportados por algunos aditivos. ^[12]



d) Corrosión por corrientes de interferencia.

Las corrientes de interferencia, llamadas también vagabundas, erráticas o de fuga, pueden ser definidas como las corrientes que fluyen en una estructura y que no forman parte de del circuito eléctrico/celda electroquímica específica. Para que se de la corrosión por corrientes de interferencia debe existir un intercambio de corriente entre una estructura metálica y un medio electrolítico.

Las fuentes más comunes de este tipo de corrientes son: sistemas de protección catódica operando en las cercanías de estructuras de concreto armado, especialmente en medios de muy baja resistividad, como el agua salobre.

Es importante indicar que si el acero se encuentra pasivado en un concreto contaminado por cloruros, esta corriente de interferencia no produciría la corrosión del refuerzo, ya que lo podría mantener pasivo o llevar a la zona de inmunidad. [12]

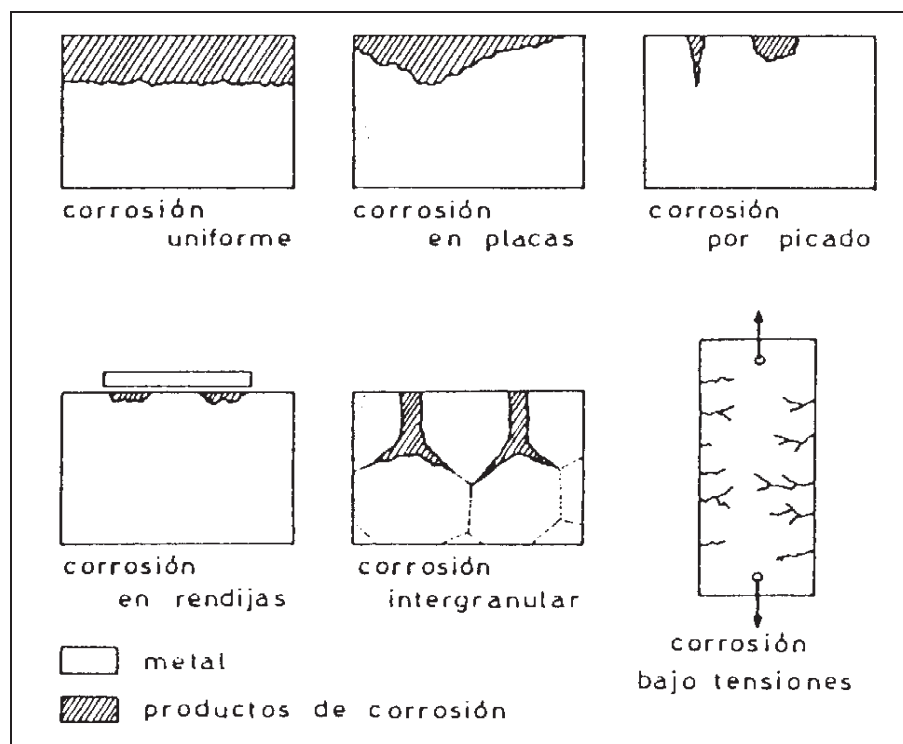


Figura II.4. Clasificación morfológica de las formas de corrosión. [13]

II.2.2.2 Corrosión Uniforme/Generalizada.

La corrosión uniforme es el resultado de una pérdida generalizada de la película pasiva, resultante de la carbonatación del hormigón y/o a la presencia excesiva en



la cantidad de iones cloruro. También puede ocurrir por efecto de la lixiviación del concreto producida por la precolación y/o lavado por aguas puras o ligeramente acidas. ^[12]

La corrosión uniforme se aprovecha en varios de los procesos de acabado de metales en los que, a través de un control cuidadoso, es posible detener la corrosión en el punto en que la superficie metálica atacada tiene una apariencia atractiva o ha adquirido una capa deseada de producto de corrosión. ^[13]

A su vez esta clase de corrosión se subdivide en otras:

a) Atmosférica.

De todas las formas de corrosión, la Atmosférica es la que produce mayor cantidad de daños en el material y en mayor proporción. Grandes cantidades de metal de automóviles, puentes o edificios están expuestas a la atmósfera y por lo mismo se ven atacados por oxígeno y agua. La severidad de esta clase de corrosión se incrementa cuando la sal, los compuestos de sulfuro y otros contaminantes atmosféricos están presentes. Para hablar de esta clase de corrosión es mejor dividirla según ambientes. ^[16]

La corrosión atmosférica puede ser clasificada en: ^[17]

- a) Corrosión seca. Se produce en los metales que tienen una energía libre de formación de óxidos negativa.
- b) Corrosión húmeda. Requiere de la humedad atmosférica, y aumenta cuando la humedad excede de un valor crítico, frecuentemente por encima del 70%.
- c) Corrosión por mojado. Se origina cuando se expone el metal a la lluvia o a otras fuentes de agua.

Los ambientes atmosféricos son los siguientes:

➤ Industriales

Son los que contienen compuestos sulfurosos, nitrosos y otros agentes ácidos que pueden promover la corrosión de los metales. En adición, los ambientes industriales contienen una gran cantidad de partículas aerotransportadas, lo que produce un aumento en la corrosión. ^[16]

➤ Marinos.

La agresión de las sales marinas sobre el concreto no es significativa, generalmente no llegan a causar desarreglos que inhabiliten la estructura, como si



ocurre con la corrosión de las barras de refuerzo en el concreto armado. En este caso, el concreto se dilata y se fractura, la sección del acero se reduce, pierde resistencia a la tracción y a la fatiga, generalizándose progresivamente el proceso corrosivo. En el concreto armado en contacto – permanente o intermitente- con agua de mar, los sulfatos y cloruros de calcio, magnesio y alcalinos, que se encuentran de forma inseparable, pueden penetrar por porosidad, capilaridad, ósmosis y difusión. Los sulfatos atacan al concreto formando compuestos expansivos causantes de fisuración. Los cloruros, si llegan hasta la armadura, causan la despasivación de ésta y provocan su corrosión. ^[18]

La fisuración ocasionada por los sulfatos facilita la penetración de los cloruros y la corrosión de la armadura. Los productos expansivos de la corrosión dan lugar a pérdida de adherencia y la fisuración interna que se suma a la externa producida por los sulfatos, incrementando y acelerando ambas acciones. Estos fenómenos, en principio pueden presentarse sucesivamente, iniciándose con la difusión del ion cloruro cuyo radio iónico es menor que el del sulfato, por lo que se difunde más rápidamente, terminando por ocurrir de forma simultánea, con superposición de causa y efecto. ^[9]

El ion sulfato, penetra más lentamente que el cloruro en el concreto, entra en contacto con el aluminato tricálcico anhidro si lo hay y con aluminatos de calcio hidratados. Con los aluminatos anhidro e hidratado libres de sulfato se puede formar etringita expansiva. También con el cloroaluminato de calcio hidratado por razones de solubilidad. Esta transformación, libera aluminato tricálcico, que quedan pueden formar con el sulfato que lo ha liberado y con el que sigue penetrando, etringita secundaria y diferida, expansiva y más dañina aún que la primera, para un concreto consolidado. Además, se liberan aniones cloruro, los cuales quedan aptos para seguir penetrando, a las armaduras y provocan corrosión. ^[18]

Las estructuras en ambiente marino pueden clasificarse según su ubicación y las condiciones agresivas del medio, en las siguientes zonas, cuyas fronteras en la realidad no son definidas: ^[18]

1) Zona de inmersión:

El concreto que se encuentra permanentemente sumergido por debajo de las zonas de mareas, es capaz de proteger las barras de acero de refuerzo pues debido a la débil concentración de oxígeno en el agua que impide la actividad corrosiva del ión cloruro, en el caso de haberse introducido hasta las barras.

En algunos elementos sumergidos, que sobresalen por encima de las zonas de mareas altas – como ocurre en los pilotes – se produce la corrosión en las zonas emergentes por efecto del fenómeno denominado de “macro celdas”.



Esto se debe al estado de humedad permanente del concreto que facilita la corrosión electrolítica. El mecanismo se inicia en las zonas de mareas, en una sección de concreto pobre en cemento (generalmente por segregación), que bajo la acción del ión cloruro actúa como ánodo y en la zona sumergida, se constituye el cátodo, con eventual despasivación del acero, sin corroerse por la falta de oxígeno.

En las zonas sumergidas, la penetración del agua tiene lugar inicialmente por succión capilar y se acelera en razón de la presión hidráulica, el agua ingresa con sustancias disueltas como el cloro y los sulfatos.

En estos casos el comportamiento del concreto a la corrosión se diferencia según la profundidad en que se encuentra. En las zonas más profundas, la permeabilidad del concreto disminuye, pues se cierran los poros superficiales.

2) Zona de marea:

Comprende los elementos entre los niveles de marea alta y baja, donde el concreto está permanentemente húmedo, debido a que la inmersión es cíclica en el lapso de un día.

Los poros se encuentran saturados, pues, el tiempo de baja marea es reducido y no se produce la desecación, lo que disminuye el peligro de corrosión, pues el concreto absorbe agua más rápidamente que la pierde. En esta zona el agua ingresa por succión capilar, transportando las sustancias disueltas como el cloro y los sulfatos, sin difusión de gases.

En el concreto comprendido entre mareas, se pueden producir fisuras que adelanten la corrosión, sea por golpes de impacto o por la acción de las olas.

3) Zona de salpicaduras:

Se ubica por encima del nivel de la marea alta, propensa a la salpicadura de las olas y el baño de la espuma, presenta el riesgo de ciclos alternados de humidificación y secado, de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad del medio, que pueden afectar severamente el concreto.

En el período húmedo se produce el ingreso del ion cloruro por difusión, en el secado se elimina el agua en exceso, pero el concreto retiene el cloro, al repetirse el ciclo sucesivamente el porcentaje ion cloruro resulta muy elevado. En esta zona de abundante oxígeno, la corrosión por cloro puede darse conjuntamente con la corrosión por carbonatación.



4) Zona de ambiente marino:

El concreto no está en contacto con el agua de mar, pero recibe las sales procedentes de la brisa marina y la niebla salina. Puede comprender muchos kilómetros al interior de la costa dependiendo de las características de los vientos dominantes. ^[18]

Las construcciones de concreto ubicadas en el litoral o alrededores, son propensas a la corrosión por cloro en suspensión en la atmósfera, en forma de microscópicas gotas de agua de mar. En la niebla o aerosol la concentración salina de cloruros y sulfatos eventualmente puede ser mayor que en el agua de mar, debido a la gran dispersión de las gotas y la evaporación parcial de agua, en especial cuando la temperatura es alta y la humedad relativa es baja. En esta zona la corrosión produce fallas características en el concreto, como fisuras, grietas y desprendimientos del revestimiento, pero además, causa un peligroso daño invisible, que afecta las estructuras en casos de sismos. En efecto, los cloruros de la brisa marina atacan la estructura reduciendo la sección del acero de refuerzo, de manera que cuando recibe sollicitaciones por efecto del sismo, únicamente puede soportar una pequeña parte de la carga de diseño. ^[18]

En las estructuras aéreas los poros mayores del concreto generalmente se llenan de aire pero cuando la humedad ambiente es mayor, la superficie de los poros se cubre con una capa de agua adsorbida. Los cloruros disueltos se difunden a través de esta capa de agua que recubre las paredes de los poros o a través de los poros llenos de agua; si la cantidad de agua es menor, entonces la cantidad de difusión se reduce. El transporte de las sustancias disueltas en el agua es un proceso de difusión por la humedad del aire, inducido por la gradiente de tensiones. ^[18]

➤ Rurales.

En estos ambientes se produce la menor clase de corrosión atmosférica, caracterizada por bajos niveles de compuestos ácidos y otras especies agresivas.

Existen factores que influyen la corrosión atmosférica. Ellos son la temperatura, la presencia de contaminantes en el ambiente y la humedad. ^[16]

II.2.2.3. Corrosión galvánica.

Este tipo de corrosión se puede dar cuando existen dos metales diferentes en el medio electrolítico. En el caso del acero en el concreto, esta situación se da cada vez que alguna zona se dañe o no se forma la película pasiva característica. También se puede presentar cuando el refuerzo se encuentre en contacto con otros conductores más nobles. Un ejemplo típico es el caso de las armaduras



exteriores que se corroen al ingresar los cloruros, mientras que las armaduras interiores permanecen pasivas. ^[12]

Esta forma de corrosión es la que producen las Celdas Galvánicas. Sucede que cuando la reacción de oxidación del ánodo se va produciendo se van desprendiendo electrones de la superficie del metal que actúa como el polo negativo de la pila (el ánodo) y así se va produciendo el desprendimiento paulatino de material desde la superficie del metal. Este caso ilustra la corrosión en una de sus formas más simples. ^[16]

II.3 CORROSIÓN INDUCIDA POR CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

Las aguas naturales son medios complejos, en evolución permanente, que se pueden considerar en una primera aproximación como disoluciones de diferentes especies químicas en agua. Las especies más abundantes son los iones, cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Fe^{2+} , etc., y iones como HCO_3^- , CO_3^{2-} ; SO_4^{2-} Cl^- , etc., así como gases, O_2 , CO_2 , etc. Y a veces H_2S .

La agresividad de un agua depende de su capacidad para conducir la corriente eléctrica. Un agua poco conductora ocasionará que la actividad de las pilas de corrosión que se puedan formar en la misma sea pequeña, ya que el circuito eléctrico que se cierra a través de ella presenta una resistencia eléctrica elevada. En el agua de mar; cuya conductividad es muy alta por la gran cantidad de iones presentes, la actividad de los procesos de corrosión es tan alta, que en lapsos muy cortos se pueden originar fenómenos muy graves.

Un agua dulce y una de mar constituyen casos extremos, y entre ambos existen una gran variedad de aguas cuya agresividad frente a los metales varía en función de su composición y factores como la concentración de oxígeno disuelto, pH, temperatura, concentración de cloruros y sulfatos, agitación y velocidad del medio, etcétera.

El agua de mar se caracteriza por la gran estabilidad de sus propiedades fisicoquímicas, y sobre todo por su salinidad, que varía entre 30 y 37%. Por salinidad se entiende la cantidad de sales anhidras contenidas en 1 kg de agua de mar, lo cual puede determinarse evaporando 1 kg de esta agua de mar y pesando el residuo seco.

Hay que señalar que la velocidad media de corrosión en un agua de mar no contaminada es de $0.12 \mu\text{m/año}$.

Así, la contaminación desempeña un papel determinante en la agresividad de una determinada agua frente a los metales de uso más común. Tanto es así, que una



posible indicación del grado de contaminación de un agua de mar puede llegar a establecerse por su velocidad de corrosión.

Las sales corrosivas más importantes son los cloruros, Cl^- . Muchas aguas subterráneas contienen cloruros provenientes de procesos de contaminación (infiltración de aguas superficiales provenientes de actividades mineras, de tiraderos industriales y de fenómenos de intrusión marina, fundamentalmente), y las aguas superficiales están cada vez más contaminadas por deposiciones antropogénicas. Concentraciones de cloruros superiores a 100 mg/l en aguas de dureza mediana pueden causar problemas de corrosión, crecientes en forma exponencial, de tal manera que concentraciones de iones cloruro de 1 g/l provocan rápidamente la destrucción por corrosión de metales como el hierro y el acero inoxidable.

Asimismo, la presencia de sales disueltas modifica la estructura de las posibles incrustaciones existentes, volviéndolas porosas y heterogéneas, de tal forma que no constituyen una protección de las superficies metálicas. También se pueden formar zonas de aireación diferencial, al absorberse el oxígeno presente en el agua.

En cuanto a los sulfatos, en principio son poco corrosivos, aunque intervienen en el ciclo del azufre, y en sistemas anóxicos pueden contribuir a la formación de ácido sulfhídrico, H_2S compuesto muy agresivo que provoca problemas de corrosión muy serios. El poder corrosivo de los sulfatos, SO_4^{2-} aumenta al asociarse a los Cl^- , especialmente en aguas blandas, de baja alcalinidad y que no estén saturadas con CaCO_3 . La presencia de Ca^{2+} en el agua, asociada al equilibrio calco-carbónico puede contribuir; en aguas incrustantes, a proteger el sistema frente a la corrosión.

El tradicional axioma de que un agua incrustante no es corrosiva debe manejarse con cuidado. La presencia de un agua estable o sobresaturada en relación al CaCO_3 , aun cuando es una condición satisfactoria para la prevención de la corrosión, es un remedio que tiene muchas limitaciones.

En la formación de una película protectora sobre el metal no sólo hay que tomar en cuenta los datos típicos que se reúnen para deducir el pH de saturación del CaCO_3 , aunque algunas veces éstos pueden dar una idea bastante aproximada. ^[19]

II.4 PASIVIDAD DE METALES.

La pasividad de los metales es un fenómeno conocido desde hace más de siglo y medio. Se estudió principalmente en hierro, teniéndoselo por un fenómeno curioso, porque el metal se comporta como si fuera noble en condiciones en que cabría esperar fuera atacado muy severamente. En 1836 Faraday atribuye el fenómeno a la formación de una fina película de óxido sobre la superficie metálica, y tal



explicación sigue aún vigente. Además del hierro, muchos otros metales presentan este fenómeno de la pasividad. En todos los casos se observa una característica común: la pasividad aparece por encima de un cierto potencial, llamado potencial de Flade. La pasivación puede lograrse aplicando una corriente exterior o usando un oxidante lo bastante energético para hacer que el metal adquiera un potencial superior al de Flade. ^[13]

II.4.1 Mecanismos de pasivación.

En la mayoría de los casos prácticos parece bien establecido que la pasividad se mantiene por una película superficial, probablemente de óxido, o tal vez de algún otro compuesto. En todos estos casos parece tratarse de una película tridimensional de espesor definido. Lo que no parece totalmente aclarado es el mecanismo de transición del estado activo al estado pasivo. En ciertos casos (Ag en Cl, Pb en SO_4^-), se sabe que se forman núcleos del producto pasivante que se extienden y llegan a recubrir por completo la superficie metálica. Sin embargo, en un gran número de casos, en particular los del hierro y el acero inoxidable, la explicación de la pasivación como proceso de nucleación y crecimiento de óxido no parece suficiente por la rapidez del proceso; se cree que en tales casos la pasivación aparece por formación de una monocapa de óxido o hidróxido del metal en disolución. ^[13]

II.4.2 Potencial de pasivación.

La pasivación aparece a un potencial determinado, el potencial de Flade, que varía según el metal y el medio corrosivo considerado. Se han hecho muchos estudios para relacionar el valor de este potencial con el mecanismo de pasivación. Se cree que el potencial de Flade varía con el pH de las soluciones. El hecho de obtener la misma dependencia del potencial de Flade con un pH en diferentes metales sugiere estar en presencia de un electrodo del tipo metal / óxido. La reacción que se supone ocurre en dicho electrodo puede ser:



II.4.3 Engrosamiento de la película anódica.

Una vez formada una película continua de óxido, su engrosamiento sólo puede ocurrir por transporte de iones a través de la misma. Si se trata de películas delgadas en extremo se obtienen intensidades de campo de 10^7 V / cm . A campos tan altos no se aplica la Ley de Ohm y la corriente que circula por la película es una función exponencial del campo. A medida que aumenta el potencial, el campo eléctrico a través de la película disminuye. De esto se desprende que la velocidad de engrosamiento de la película decrece con el tiempo y llega finalmente a un



estado estacionario. El espesor de un óxido pasivante se puede medir por métodos ópticos o eléctricos (culombimetría). Por el primero se relaciona el espesor de la película con el grado de alteración de la luz polarizada al reflejarse sobre el metal, en tanto que en el segundo se mide el número de culombios necesarios para producir o reducir electrolíticamente una película pasivante. ^[13]

La estructura de la película pasivante es en general la más estable desde el punto de vista termodinámico del sistema. Pero suele ocurrir también que de las formas posibles de material anódico, la que compone la película no sea precisamente estable. Tal es el caso cuando se forman óxidos amorfos o cuando se forma el óxido en condiciones en las que el hidróxido es termodinámicamente más estable. ^[13]

II.5 FACTORES QUE AFECTAN Y DESENCADENAN LA CORROSIÓN.

Se denominan de esta manera al conjunto de circunstancias que inducen la despasivación del acero en el concreto. Existen varios factores que afectan, desencadenan o producen ambos efectos en el proceso de corrosión de las armaduras. Entre estos factores se encuentran: la dosificación, la compactación y la homogeneidad del concreto; también el espesor del recubrimiento del concreto, el estado superficial de la armadura y la humedad ambiental.

Por otra parte, los factores desencadenantes que con más frecuencia dan lugar a la corrosión de la armadura son: presencia de cangrejas en contacto con la armadura, altas tensiones mecánicas en el acero, corrientes de interferencia o erráticas, contacto galvánico entre dos metales, iones despasivantes, CO₂ atmosférico o cualquier líquido que neutralice la alcalinidad, lixiviación por aguas blandas y las fisuras, presentando estos últimos, ambos efectos. ^[12]

II.5.1 Dosificación del concreto.

La dosificación del concreto es un factor que influye de forma significativa en el comportamiento futuro de éste, como elemento protector del acero de refuerzo.

El concreto que protege las barras de acero debe cumplir una doble función protectora:

- a) Como barrera física que se opone a la penetración de los agentes agresivos externos y
- b) Creando una capa pasivante sobre el acero que lo mantiene protegido durante un tiempo indefinido.



Algunos aspectos importantes que se deben de tomar en cuenta en al dosificación del concreto son la relación agua-cemento, el grado de hidratación y la cantidad de pasta ya que son factores determinantes en la cantidad y tipos de poros en el hormigón. ^[12]

La relación agua cemento es el factor más importante en la protección de las armaduras, gobierna el volumen de vacíos capilares y su interrelación en el interior del concreto, siendo éste el vehículo para la penetración de las sales agresivas. Se ha establecido que el mínimo de vacíos se obtiene con relaciones a/c 0.37. ^[20]

El Comité del ACI 318 prescribe una relación a/c de 0.40 para los concretos expuestos al agua de mar o "spray" marino. El Comité 352 recomienda este mismo valor para la zona de salpicadura y para las construcciones aéreas, asumiendo un valor de 0.45 para los concretos sumergidos. ^[20]

Es conveniente considerar el contenido mínimo de cemento, como garantía de la formación de productos de hidratación, que aseguren el buen comportamiento del concreto frente a la corrosión. Esta práctica generalizada en el continente europeo, ha sido adoptada por el comité 357 del ACI que recomienda un mínimo de 356kg/m^3 , para proteger el acero de la corrosión y un contenido máximo de 415kg/m^3 a efecto de evitar las fisuras por deformación térmica. ^[20]

II.5.2 Compacidad y homogeneidad.

La compacidad del concreto es la propiedad más importante del mismo a los efectos de su resistencia la penetración de los agentes agresivos externos, es función, principalmente, de la cantidad y calidad de los materiales y de la adecuada proporción entre ellos. Pero la compacidad puede verse afectada por un mal mezclado y un mal transporte, ya que esto afecta la homogeneidad del concreto, provocando la segregación de los materiales.

Por otra parte, la homogeneidad del hormigón es la cualidad por la cual los distintos componentes aparecen igualmente distribuidos en toda su masa. El concreto por su naturaleza, es un material heterogéneo pero se puede lograr su homogeneidad mediante un adecuado proceso tecnológico de producción, transporte, colocación, compactación y curado. ^[12]

II.5.3 Espesor de recubrimiento el concreto.

El espesor de la capa de recubrimiento del concreto es importante para garantizar la protección de la armadura, dependiendo del ambiente al cual va a estar expuesto.



Sin embargo, estructuralmente es recomendable que este espesor sea el mínimo indispensable, ya que esta zona no cuenta con una armadura pudiera verse afectada por fisuración, por tal motivo las normas recomiendan que en ambientes agresivos se utilice una mezcla de calidad con alto contenido de cemento y una baja relación a/c y así garantizar espesores de 2 a 3 pulgadas que permitan una alta durabilidad de la estructura. ^[12]



Figura II.5. Importancia del recubrimiento como protección del acero.

II.5.4 Humedad ambiental.

La presencia de agua es imprescindible para la corrosión en medios neutros y alcalinos, pues interviene en el proceso catódico de reducción del oxígeno. Además el agua es necesaria para la movilidad de los iones a través del electrolito.

El contenido en agua de los poros es función, en situaciones de no inmersión o no saturación, de la humedad relativa del ambiente. La humedad relevante, es decir, la que influye en los procesos de corrosión, es la realmente contenida en los poros. A este respecto, se debe de tener presente que la humedad ambiental y la del concreto solo coinciden en regimenes estacionarios y que en condiciones cambiantes es mayor la humedad del concreto, por que este pierde agua a menor velocidad de lo que la gana a causa de la existencia de tensiones capilares.



Así mismo aunque el ambiente exterior este seco, el interior del concreto no se seca más que cuando tales circunstancias se prolongan por largo tiempo. En concretos este comportamiento esta muy influenciado por la porosidad, ya que en caso de que sean muy porosos permitirán una respiración mas profunda.

En las siguientes figuras se muestran diferentes interpretaciones de la influencia que ejerce la humedad contenida en los poros del concreto sobre el proceso de corrosión de la armadura.^[12]

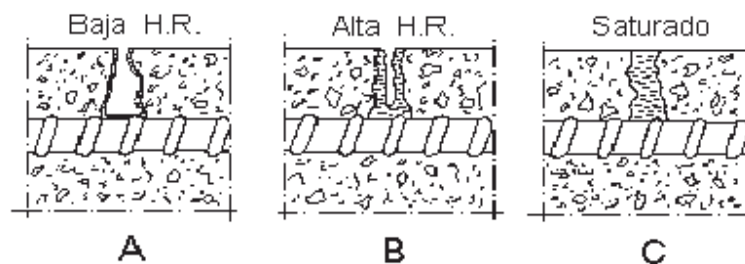


Figura II.6. Efecto de humedad en los posos del concreto. ^[21]

II.5.5 Efecto del Oxígeno.

No es posible que el proceso de corrosión se desarrolle sin que llegue una mínima cantidad de oxígeno hasta las armaduras, es decir es necesaria cierta aireación de las mismas.

Cuando el concreto tiene los poros completamente saturados de agua, el oxígeno se tiene que disolver en ella antes de alcanzar las cercanías de la armadura. En este caso el flujo de oxígeno es el factor controlante, ya que la cantidad que fluye es muy limitada. En todos los demás casos, el acceso de oxígeno siempre es suficiente para soportar la velocidad de corrosión que permita la resistividad del concreto.^[12]

II.5.6 Efecto de la temperatura.

La temperatura juega también un doble papel, por un lado, su incremento proporciona la movilidad de las moléculas facilitando el transporte de las sustancias; por otro, su disminución puede dar lugar a condensaciones que, a su vez, pueden producir incrementos locales importantes del contenido de humedad del material. Existe un efecto opuesto entre la humedad y la temperatura, ya que al aumentar esta última se evapora la humedad y cuando desciende, condensa agua líquida en los capilares.^[12]



II.5.7 Estado superficial del acero.

En general, el acero cuya superficie posee la cubierta de óxidos provenientes del proceso de conformado se presenta menos reactivo que aquel cuya superficie no cuenta con esta capa. No obstante, la presencia de productos de oxidación generados por la corrosión atmosférica no necesariamente demuestra igual comportamiento, siendo probable que de ser contaminados con agentes agresivos como el ion cloruro, se propicie la corrosión.^[12]

II.5.8 Tensiones mecánicas del acero.

Los aceros de pre- y postensado tienen una composición de alrededor del 0.8% de carbono y suelen estar sometidos a tensiones entre el 60 y 80% de su límite elástico. Estas elevadas tensiones no representan ningún riesgo si el acero está expuesto de imperfecciones y de óxidos superficiales y si el concreto que lo rodea es de elevada calidad.

En el concreto donde la carbonatación alcance los alambres tensados, o donde haya ciertos iones despasivantes, existe el riesgo de una corrosión bajo tensión. No todos los concretos pre- o postensados que se deterioran lo hacen mediante este mecanismo, la mayoría de las fallas se debe a una corrosión por cloruros o por carbonatación.^[12]

II.5.9 Corrientes erráticas o de interferencia.

Estas corrientes son aquellas que, por diversas causas, abandonan sus circuitos naturales para circular por el medio en el que se encuentran los conductores. En el caso de las estructuras de concreto armado se ha demostrado que este efecto es importante para acelerar un proceso de corrosión ya iniciado por otros factores y esto induce a un rápido incremento en la disolución localizada del material, pudiendo llegar a ser un daño catastrófico.^[12]

II.5.10 Contacto galvánico entre dos metales.

El contacto de las armaduras con otros metales no suele ocasionar su corrosión en ausencia de agentes desencadenantes. Sin embargo, deberá evitarse este contacto, pues podrían existir determinadas circunstancias que sitúen al acero en condiciones más favorables para la despasivación, si los otros metales lo polarizaran hacia potenciales más anódicos.^[12]

II.5.11 Iones despasivantes.

De los iones despasivantes, son los cloruros los que más afectan directamente la pasivación del refuerzo. Los iones sulfato intervienen en la degradación del



concreto, lo cual puede permitir que la armadura se exponga al medio produciéndose así su corrosión.

II.5.11.1 Cloruros.

Provocan la disolución localizada de la capa pasiva, dando lugar a ataques puntuales que pueden reducir drásticamente la sección de trabajo del acero, en espacios de tiempo relativamente cortos. ^[12]

La corrosión inducida por cloruro se presenta en nuestro país en estructuras expuestas al medio marino. Los iones cloruro están presentes en el agua de mar, pero es posible que también los desplace el viento de la brisa marina a la zona costera y los deposite en estructuras de concreto cercanas a la línea de mar. Otra fuente de cloruros es en el agua de amasado, lo cual aumenta el alto riesgo de corrosión. ^[22]

Debido a su alto contenido de cloruros, el agua de mar representa un elemento ofensivo para el concreto y el acero de refuerzo pues propicia y acelera una vez que se ha iniciado el fenómeno de la corrosión. En las franjas costeras, la brisa marina acarrea importantes contenidos de humedad que, naturalmente, lleva en sí cloruros; de esta manera, estructuras que no están en contacto directo con el agua de mar, sufren igualmente sus embates. ^[23]

Los cloruros se vuelven así un elemento activo en el proceso de daño y degradación de las estructuras de concreto en franjas marítimas. De acuerdo con la concentración con que se presenten en el agua de mar, quedará definido su grado de agresividad, por lo que habrá que esperar que algunas zonas tengan un mayor potencial dañino que otras. ^[23]

La unión física de los cloruros a las fases sólidas del concreto se produce mediante el fenómeno conocido como adsorción. Los cloruros disueltos en el agua de los poros se unen a la superficie de las partículas sólidas del concreto. El principal sólido responsable de la adsorción es el gel CSH, que durante la hidratación del concreto precipita en forma coloidal presentando un área superficial muy elevada sobre la cual se adsorben los cloruros. ^[24]

Los iones cloruro disueltos en los poros pueden interactuar con las fases sólidas del concreto quedando inmovilizados, por tanto el cloruro dentro del concreto puede encontrarse en varios estados: ^[24]

- Cloruro libre.- es el que permanece disuelto en el agua que contiene los poros. Se desplaza por el interior del concreto mediante difusión u otros mecanismos.

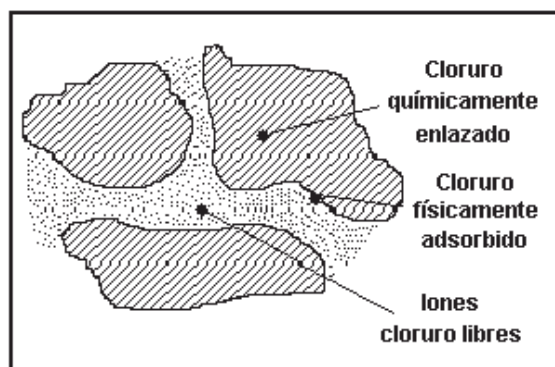


- Cloruro ligado.- Es el que permanece unido a las fases sólidas del concreto. Este cloruro queda inmovilizado, sin la posibilidad de moverse hacia el interior del concreto.
- Cloruro total.- Es la cantidad total de cloruro que contiene el concreto, sin hacer distinción entre cloruro libre y cloruro ligado.

El cloruro libre es el más peligroso ya que al quedar disuelto en el agua de los poros es capaz, de despasivar la armadura e iniciar su corrosión, localizándose en determinados puntos del acero. Es muy importante conocer la capacidad de ligar cloruros de cada concreto. Los que son capaces de ligar muchos cloruros, son menos susceptibles de sufrir corrosión de sus armaduras. También debe tenerse en cuenta, que aunque el cloruro ligado no puede conducir a la corrosión de la armadura, si puede ser liberado en determinadas circunstancias. Por ejemplo, la carbonatación del concreto produce la liberación del cloruro ligado, pasando este a ser cloruro libre e incrementando, por lo tanto, el riesgo de corrosión. ^[24]

Los cloruros ligados son los que están íntimamente asociados al cemento hidratado y no son solubles en agua, por lo que no causan corrosión; por lo tanto, los límites en las especificaciones deben aplicarse al contenido de cloruros libres en lugar de al contenido total o soluble en ácido. ^[23]

En términos de la química del concreto, se asume que el cloruro total es igual a la porción soluble en ácido de los constituyentes del concreto; así su extracción, previa a la determinación del contenido, implica digerir una muestra de concreto endurecido en ácido nítrico. ^[23]



Equilibrios del cloruro en el concreto

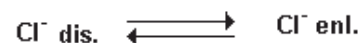
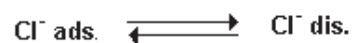
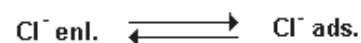


Figura II.7. Equilibrios del ion cloruro en el concreto ^[22]

Los cloruros pueden encontrarse en la masa del hormigón por dos causas:

- Porque los contengan las materias primas, o
- Porque penetren desde el exterior al estar situada la estructura en ambientes marinos o estar sometida a la acción de sales de deshielo. ^[12]



Los cloruros pueden penetrar al concreto por succión capilar del agua salada en el concreto más o menos seco a través de la red de poros, en el caso de las estructuras sumergidas, los cloruros pueden penetrar principalmente por difusión. [14]

Tres son los aspectos relevantes a tener en cuenta en el caso de los cloruros que penetran desde el exterior: [12]

- El tiempo que tardan en llegar hasta la armadura.
- La proporción que induce la despasivación.
- La velocidad de corrosión que provocan una vez desencadenada la corrosión.

Una vez que han llegado a la barra de refuerzo en cantidades suficientes, los cloruros pueden destruir la pasividad natural del refuerzo provocando su corrosión. Aún se discute el mecanismo por el cual estos iones destruyen la pasividad, sin embargo se han propuesto varias teorías. En general, estas teorías sugieren que solo los cloruros libres, es decir los disueltos en la solución de poro, participan en el proceso de corrosión. [14]

Para que los cloruros rompan la capa pasivante de la barra requieren estar en una concentración llamada nivel iniciador de la corrosión. Este valor depende de numerosos factores: [14]

- × El proporcionamiento del concreto,
- × El tipo de cemento (finura, contenido de yeso, contenido de aluminato tricálcico, etc.,
- × La relación agua/cemento,
- × El contenido de sulfatos,
- × Las condiciones de curado, edad, e historia ambiental del concreto,
- × Rugosidad y limpieza de la barra de refuerzo.

El contenido límite de cloruros se expresa comúnmente en porcentaje por peso de cemento (%Cl⁻ ppc), en porcentaje por peso de concreto (%Cl⁻ pp de concreto) o en Kg. de Cl⁻ por m³ de concreto. [14]

En México se han realizado investigaciones para conocer la concentración umbral de cloruros en concreto fabricado con agregados pétreos de trituración y ensayando diferentes relaciones de a/c y tiempos de curado. Dicho valor se encuentra entre 1 y 2 Kg. de Cl⁻/m³ de concreto para circunstancias específicas.

Varios investigadores opinan que el nivel limite de cloruros también esta en función de la cantidad de hidroxilos que se encuentran en la solución de poro y



que el cociente Cl^-/OH^- es el factor más importante para determinar si la barra está aún pasivada. Hausmann y Tutti proponen un valor límite de Cl^-/OH^- de 0.61. ^[14]

II.5.11.2 Sulfatos.

El ion sulfato (SO_4^{2-}) puede estar presente en las aguas residuales industriales en forma de solución diluida de ácido sulfúrico. El contenido de sulfatos por tanto, será expresado como concentración del anión SO_4^{2-} en mg/L.

La presencia de sulfatos en un agua que está en contacto con una pasta endurecida de cemento, puede incrementar considerablemente la solubilidad de los componentes de dicha pasta y causar, el desarrollo de la degradación del concreto por lixiviación. En ciertas circunstancias puede ocurrir, sin embargo que la presencia de sulfatos de lugar a una degradación por expansión debido a la formación de otros componentes estables en la masa endurecida del cemento.

Una de las causas de la nocividad de los sulfatos es el yeso que se forma al reaccionar el anión sulfato del agua con el $Ca(OH)_2$ liberado por el cemento, el cual se deposita en los poros del concreto en donde se cristaliza con absorción de dos moléculas de agua, el cual es acompañado de un incremento de volumen y ejerce una acción expansiva en los poros del concreto y termina por lograr su desmoronamiento.

La degradación producida por los sulfatos es causada en su mayor parte por el contenido de aluminato tricálcico del cemento. ^[12]

Como muestra la figura II.8, los iones despasivantes dan lugar a una corrosión de tipo localizado, mientras que la reducción del pH permite la disolución completa de la capa pasivante y, por lo tanto, da lugar a una corrosión del tipo generalizado. Se da lugar también a otro tipo de corrosión, la corrosión figurante bajo tensión, que aparece solo en el concreto pretensado o postensado. ^[25]

Los productos derivados de la corrosión de las armaduras son más voluminosos que el acero original, o que se traduce en la aparición de tensiones radiales que pueden fisurar el recubrimiento del concreto. Estas fisuras cuando aparecen corren paralelas a las armaduras. ^[25]

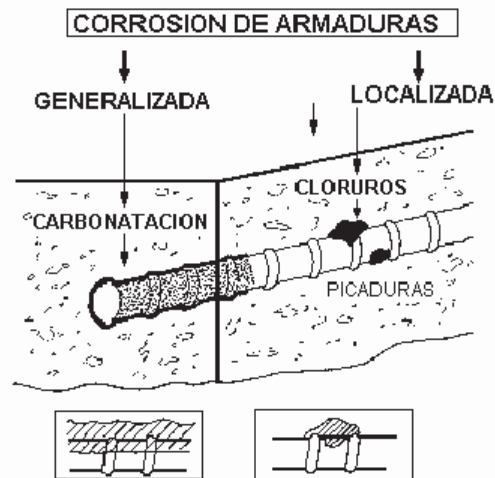


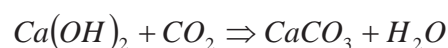
Figura II.8. Tipos de corrosión de armaduras y factores que la provocan.

II.5.12 Carbonatación.

Se denomina así al proceso en el que el dióxido de carbono de la atmósfera reacciona con los componentes alcalinos de la fase acuosa del concreto y da lugar a una neutralización de todo el material. Con el cambio abrupto de pH que se produce en el interior del concreto se da lugar a la aparición de un frente carbonatado. Cuando este frente llega hasta la armadura, esta se despasiva en forma generalizada como consecuencia de la disminución del pH. ^[12]

Es un problema la pérdida de pH porque el concreto, con su ambiente altamente alcalino (rango de pH de 12 a 13), protege al acero de refuerzo ahogado contra la corrosión. Esta protección se logra por la formación de una capa de óxido pasivo sobre la superficie del acero que permanece estable en el ambiente altamente alcalino. Esta es la misma capa pasivadora que atacan los cloruros cuando alcanzan el acero de refuerzo expuesto a sales descongelaes y ambientes marinos. ^[26]

El proceso de carbonatación se lleva a cabo de la siguiente manera: el aire que está en contacto con la superficie del concreto penetra por los poros capilares (ver figura II.9) y el CO_2 reacciona rápidamente con los hidróxidos en la solución de poro: ^[14]



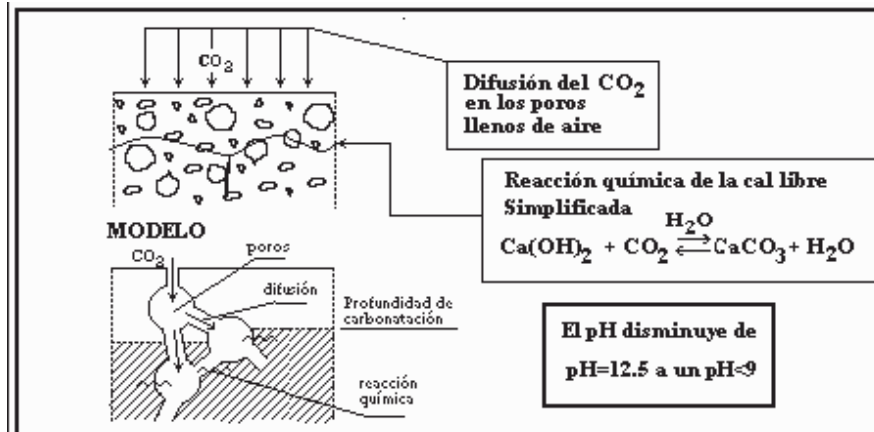


Figura II.9 Carbonatación en el concreto.

Cuando progresa la carbonatación hacia la profundidad del refuerzo, la capa de óxido protectora y pasivadora deja de ser estable. A este nivel de pH (por debajo de 9.5), es posible que empiece la corrosión, resultando finalmente en el agrietamiento y astillamiento del concreto. Aunque la difusión del dióxido de carbono a través de los poros de concreto pueda requerir años antes de que ocurra el daño por corrosión, puede ser devastadora y muy costosa de reparar. [26]

Es muy importante identificar la presencia de la carbonatación cuando también hay cloruros en el concreto. En el concreto nuevo que tiene un pH de 12 a 13, se requieren aproximadamente de 7,000 a 8,000 partes por millón (ppm) de cloruros para comenzar la corrosión del acero ahogado. Sin embargo, si el pH baja a un rango de 10 a 11, el umbral de cloruro para la corrosión es significativamente menor -100 ppm o menos-. [26]

La velocidad de avance del frente carbonatado es también de vital importancia para calcular el tiempo que tardara éste en llegar hasta la armadura. La velocidad de avance es función fundamentalmente de: [12]

- el contenido en humedad del concreto
- su porosidad (relación a/c) y
- su contenido en materia alcalina carbonatable.

El contenido de humedad resulta crucial, ya que si los poros están completamente secos, el CO₂ no podrá reaccionar y, si están completamente saturados, su penetración será lentísima, debido a la baja solubilidad del CO₂ en el agua. Solo cuando los poros están parcialmente llenos de agua (entre 50 y 80%) es cuando se dan las condiciones óptimas para la carbonatación. [12]

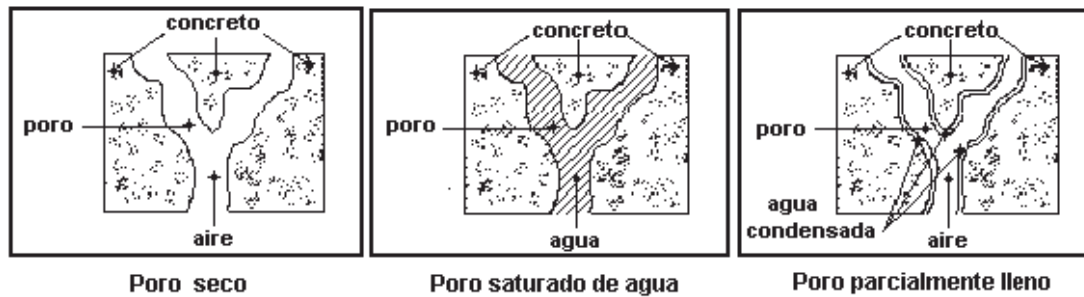


Figura II.10. Efecto del contenido de humedad en los poros del concreto [22]

La porosidad del concreto es también un parámetro muy importante ya que los concretos porosos se carbonatan a gran velocidad. Una vez carbonatado el concreto a la altura de las armaduras, si la humedad ambiental es mas baja que 80%, la despasivación no dara lugar a velocidades de corrosión apreciables. [12]

La carbonatación puede tener un aspecto beneficioso de protección en concreto, como sucede en los elementos marítimos inmersos. Sin embargo, tiene efectos negativos, Pues es un factor importante en la corrosión de las barras de refuerzo y en la contracción y fisuración del concreto. [27]

Otra circunstancia favorable a tener en cuenta es que, al igual que en el caso de la corrosión atmosférica, la corrosión por carbonatación puede dar lugar a capas de herrumbre con características protectoras que atenúan la velocidad de corrosión subsecuente. Es por ello que la corrosión causada por carbonatación es un fenómeno menos peligroso que la causada por cloruros. [12]

La carbonatación se presenta comúnmente en medios rurales y con mayor incidencia en zonas urbanas, en las que se alcanzan grandes concentraciones de óxidos sulfurosos (SO_x) y nitrosos (NO_x), que son combinados con el agua de la humedad ambiental formando los respectivos ácidos sulfurosos y nitrosos. En zonas de alta contaminación ambiental y altas precipitaciones pluviales, el pH llega a tomar valores cercanos a 4, lo que se conoce como lluvia ácida, que afecta las estructuras de concreto de la misma forma que la carbonatación. [22]

II.5.13 Lixiviación por aguas blandas.

La degradación del concreto no solo puede ser causada por agua que contenga sustancias agresivas, sino también por aguas puras, libres de sales, por aguas blandas que tengan pocas impurezas o por aguas de condensación industrial, aguas de función de glaciares, aguas de lluvia, aguas pantanosas blandas y algunas aguas procedentes de grandes profundidades, las cuales tienden a disolver el calcio de la estructura.



La lixiviación del hidróxido cálcico del concreto, conduce a la destrucción del resto de sus componentes como son silicatos, aluminatos y ferritos hidratados; como consecuencia el concreto pierde resistencia y se desmorona. Los concretos de cemento portland son atacados fuertemente y destruidos cuando el contenido de CaO del cemento, se reduce en mas de un 20% como resultado de la lixiviación. Este efecto permite que el acero se corroa, ya que pierde su película pasiva al exponerse directamente al ambiente por el desmoronamiento del concreto y la reducción de su alcalinidad.

El signo externo del principio de la destrucción del concreto por lixiviación es el desprendimiento de de cal, que toma la forma de eflorescencia gradualmente crecientes en la superficie del concreto especialmente en la proximidad de deficientes enlaces estructurales, grietas imprevistas, coqueras, así como en la zona de las oscilaciones del nivel de la capa acuífera. ^[12]

II.5.14 Presencia de coqueras en contacto con las armaduras.

Las discontinuidades producidas por la formación de coqueras interiores hacen que haya zonas de las armaduras sometidas a la elevada humedad del interior del concreto, pero sin estar en contacto con alcalinidad alguna. Estas zonas se corroerán de la misma forma que si estuvieran sometidas a una atmósfera de elevada humedad. ^[12]

II.5.15 Existencia de fisuras.

Las grietas en el concreto constituyen un camino para que los agentes externos lleguen rápidamente hasta el acero de refuerzo. A través de las grietas, tanto la carbonatación como los cloruros tienden a penetrar más de prisa hacia el acero; una vez que estos alcanzan el refuerzo se forman macropilas de corrosión, de manera que el acero expuesto en la fisura actúe anódicamente mientras que el proceso catódico ocurre en áreas sin fisuras. ^[14]

Las fisuras que acompañan las armaduras en su misma dirección son, en general, resultantes de un proceso de corrosión ya iniciado. Pueden sin embargo, aparecer también por un mal procedimiento constructivo.

La abertura máxima de fisuras se limita, entre otras exigencias, por la durabilidad de la armadura. Los códigos suelen limitar el ancho de fisura a valores entre 0.1 y 0.4 mm.

La incidencia de la abertura de la fisura en la corrosión de la armadura depende de factores como:

- La agresividad del medio ambiente.



- El recubrimiento de la armadura.
- La calidad del hormigón.

La tendencia actual con respecto a la abertura máxima de fisuras para estructuras de concreto armado es, acotarla por el valor de 0.4 mm al considerarse que por debajo de este valor el riesgo de ataque no se incrementa. Al igual se limita indirectamente la abertura por recomendaciones constructivas: recubrimiento de la armadura, diámetros y espaciamientos entre barras y calidad del concreto.

En cuanto a las fisuras longitudinales debidas a asentamientos del concreto o a retracción plástica, se puede considerar que son más agresivas que las transversales, dado que el área de la armadura expuesta al ataque es mayor en las fisuras longitudinales. [12]

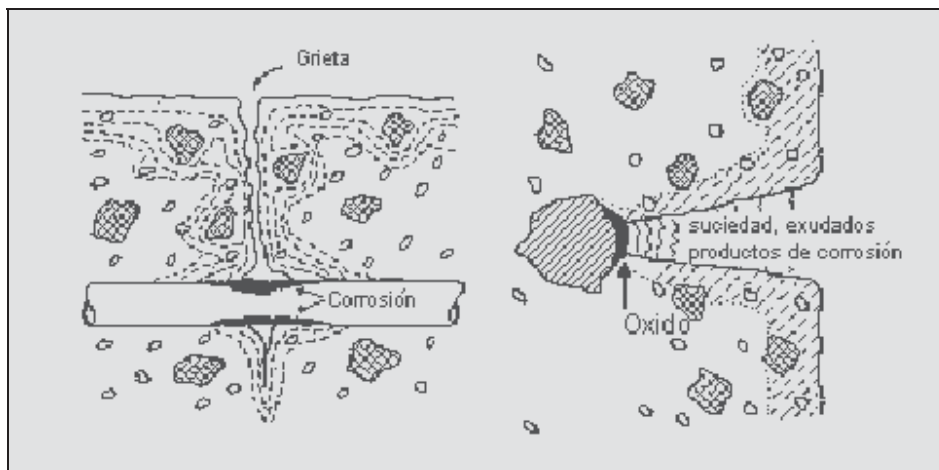


Figura II.11. Influencia de las grietas en el proceso de corrosión

Por otra parte, lo que se refiere a las causas por las cuales aparecen diferentes modalidades de corrosión, es más difícil encontrar datos. Las más usuales, sin embargo, parecen ser: [28]

- Errores en la construcción y/o fabricación,
- Especificación inadecuada de los materiales,
- Diseño erróneo,
- Funcionamiento incorrecto de la planta, y mantenimiento inadecuado.

Más concretamente, las razones que han causado accidentes con impacto ambiental originados por la corrosión han sido, con mayor frecuencia:

- Introducción de modificaciones en el diseño inicial de la planta,



- Cambio en la composición de las materias primas,
- Introducción de contaminantes en el proceso,
- Existencia de sobrecalentamientos locales, y
- Falta de seguimiento del manual de operaciones, sobre todo en el arranque y en las paradas.

Debido a los efectos de la corrosión, Hace algunos años se hicieron estudios del costo económico que produce la corrosión en algunos países y se encontró que consume entre el 2 y el 5% del Producto Nacional Bruto de cada país. Entre un 15 y un 25% de este costo se pudo haber evitado si se hubiese aplicado la tecnología para contrarrestarla. ^[14]

En los últimos veinte años el término "durabilidad" se ha estado escuchando con más frecuencia en la rama de la ingeniería civil. Países industrializados como los EEUU y algunos en Europa (España, Francia, Gran Bretaña, etc.), al igual que Japón, han tomado a la durabilidad como un tema de gran importancia, invirtiendo sumas millonarias en estudios de investigación específicos. ^[29]

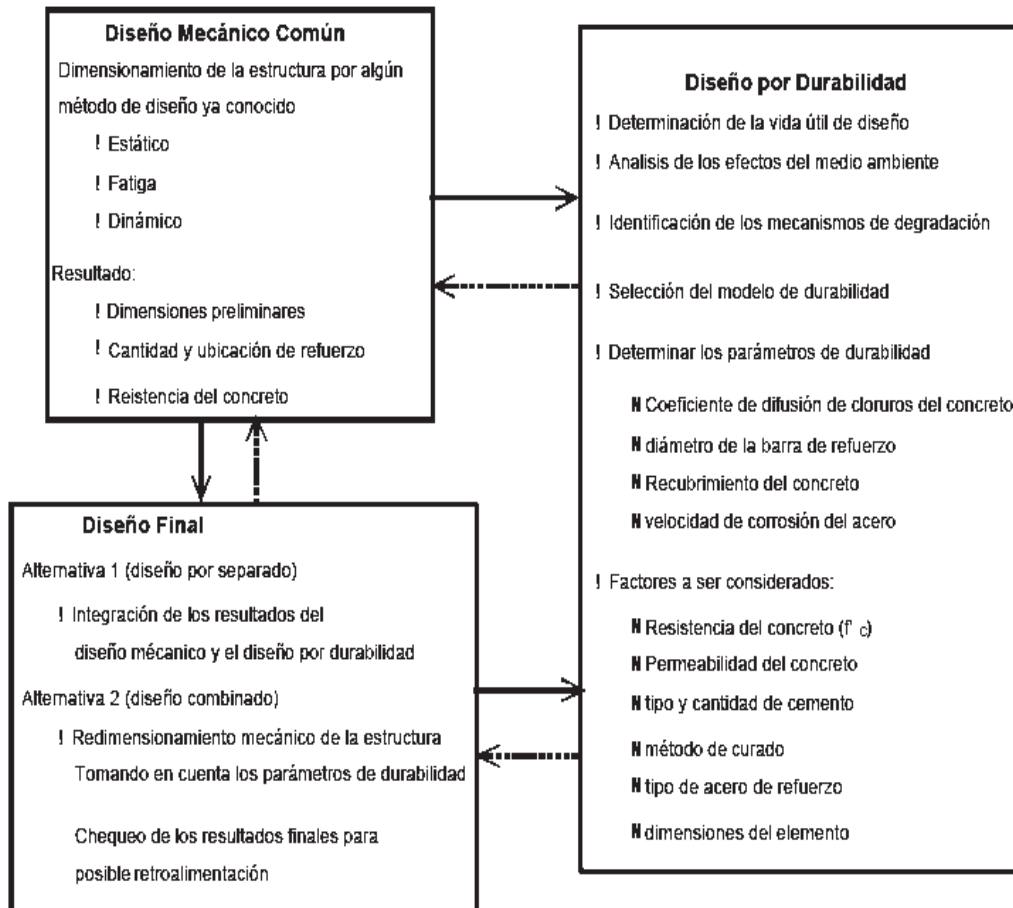
Hace poco tiempo, aproximadamente una década, estos países han estado intentando incluir en sus códigos de diseño recomendaciones básicas para obtener un mejor uso de los materiales y así poder fabricar estructuras más durables. El principio fundamental de estas recomendaciones ha sido proporcionar las bases para el diseño por durabilidad de estructuras bajo condiciones ambientales diversas. Aunque innovadoras en su época, estas recomendaciones no contemplan la determinación directa de la durabilidad, sino proporcionan las reglas de 'que se debe y no hacerse' para obtener estructuras durables a diversos agentes externos. ^[29]

El concepto de vida útil aparece porque el concreto armado tiene una duración limitada en condiciones aceptables con las implicaciones económicas, tecnológicas y sociales correspondientes. Este nuevo concepto tiene que comenzar a ser familiar tanto al proyectista como al constructor y a los usuarios ya que es la realidad que hay que afrontar. Desde el punto de vista del proyectista, éste ya no puede conformarse con diseñar con unos requisitos mínimos de durabilidad, además deberá especificar y prever la vida en servicio de la estructura. ^[14]

Las estructuras de concreto son regularmente consideradas como estructuras durables con un bajo costo de mantenimiento. Sin embargo, en las últimas tres décadas, se ha observado un incremento en los agrietamientos y delaminaciones de elementos de concreto relacionados con la corrosión de la armadura de acero en el ámbito mundial. ^[29]



El procedimiento usado para el diseño integral (diseño mecánico + diseño por durabilidad) se representa de manera sintética en el siguiente diagrama:



En la fase de proyecto se definen los requisitos de seguridad y funcionalidad con los que se va a dotar una determinada estructura. Estas decisiones están basadas en las solicitudes del tipo mecánico que van a actuar sobre la estructura. Se entiende por vida útil el periodo en el que la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento. ^[12]

Estos conceptos básicos se han extendido también a la consideración de durabilidad, de tal forma que se incluyen las acciones del medio ambiente entre las posibles solicitudes a las que la estructura estará sometida.



CAPÍTULO III

LEVANTAMIENTO DE DAÑOS



III.- LEVANTAMIENTO DE DAÑOS

El levantamiento de daños es una parte muy importante para identificar el posible daño por corrosión de una estructura este consta de dos partes principalmente:

- Inspección preliminar.
- Inspección detallada.

La inspección preliminar constituye una etapa importante en la evaluación y posterior reparación ya que a través de esta se obtiene información para realizar una inspección detallada que nos sirva para dar un diagnóstico y recomendaciones para una posible solución del problema.

El procedimiento para la inspección consiste primeramente en una inspección preliminar y posteriormente a una inspección detallada. En general se recomienda el siguiente procedimiento:

- a) Elaboración de una ficha de antecedentes de la estructura y el medio.
- b) Examen visual general de la estructura.
- c) Levantamiento de daños.
- d) Selección de zonas para examen detallado de la estructura (plan de muestreo)
- e) Determinación de las técnicas de ensayo/medición/análisis más apropiadas.
- f) Selección de las zonas para la realización de los ensayos o mediciones en el concreto y en el acero.
- g) Examen visual detallado en zonas seleccionadas.
- h) Ejecución de las mediciones, ensayos y análisis en el concreto y/o en el acero.

La inspección preliminar consiste en un examen visual para determinar todos los daños que pudiera tener la estructura. Esta inspección permite tener una idea general del ambiente que rodea a las estructuras y en base a los detalles que surjan y a la experiencia del evaluador se procederá a una inspección detallada.

La inspección detallada tiene por objeto cuantificar la extensión del deterioro mediante ensayos y mediciones y así definir los sistemas de intervención. ^[12]

III.1 INSPECCIÓN PRELIMINAR

Como ya se indicó, en base a la información obtenida mediante esta etapa, es posible ya determinar la naturaleza y el origen del problema, o bien construir solo la etapa previa a un estudio más detallado.

Las actividades de esta etapa son:



III.1.1 Elaboración de una ficha de antecedentes de la estructura y del medio.

- a) *Estructura*: se debe procurar recoger la mayor información posible referente a la edad o tiempo en servicio, naturaleza y procedencia de los materiales del concreto, dosificación y resistencia característica del concreto, tecnología de fabricación del concreto, edad del inicio de los problemas, diagnósticos y/o reparaciones anteriores, niveles de tensiones de trabajo de los elementos o componentes estructurales así como los posibles cambios de uso de la estructura.
- b) *Datos del medio*: información que permita caracterizar su agresividad. Es fundamental señalar la forma de interacción entre el medio y la estructura afectada; en este sentido, posteriormente corresponderá al criterio y experiencia del evaluador el determinar y calificar la intensidad de esta interacción. Principalmente debe indicarse lo siguiente:
- Tipo de atmósfera (predominantemente urbana, rural, marina, industrial, o una combinación de dos o mas tipos) y estimación de la presencia de posibles contaminantes; aproximación de ciclos de condiciones de temperatura, humedad relativa y vientos atmosféricos y locales.
 - Tipos de aguas (naturales. Salobres, dulces, subterráneas, potable; de desecho: tras uso domestico o industrial, etc.), su composición química y eventual contaminación.
 - Naturaleza del terreno o suelo (natural o de relleno, ácido o alcalino, resistividad eléctrica, características).
 - Presencia de corrientes de interferencia o erráticas y evaluación de posible contaminación.
 - Presencia de agentes químicos (sales utilizadas para deshielo, en plantas industriales, etc.)

III.1.2 Examen visual general de la estructura.

Este proceso debe permitir determinar si el problema se presenta por igual en todos los elementos de las mismas características, o si existen diferencias por causas locales. Para ello debe realizarse un examen diferenciado por elementos (trabes, losas pilotes, pilas, etc.), registrando los signos aparentes de corrosión (manchas de oxido: color, extensión y curso; fisuras: ubicación, dirección y dimensiones; zonas de desprendimiento del recubrimiento de concreto con o sin exposición de acero), degradación del concreto, así como cualquier otra seña particular que se pudiera constituir un indicativo de algún agente externo.

Es importante elaborar un registro fotográfico amplio que acompañe las observaciones, luego además de binoculares y se debe incluir una cámara



fotográfica apropiada como parte del equipo necesario para llevar a cabo la inspección preliminar.

Ahora bien si el problema no es complejo y los evaluadores son experimentados y se puede elaborar ya el pre-diagnostico, se procederá entonces a la elaboración de croquis o planos con el levantamiento de daños, para proceder a la rehabilitación.

En otros casos puede requerirse la realización de un mínimo de ensayos o mediciones complementarios a la información básica obtenida, para llegar a un diagnostico. Según el caso, pueden ser elegidos puntos o zonas representativas, en donde se efectúe alguno de los siguientes ensayos:

- Determinación de la disminución del diámetro.
- Localización de armaduras y medición del espesor de recubrimiento de concreto.
- Determinación de la resistividad eléctrica del concreto.
- Medición de los potenciales electroquímicos.
- Determinación de la profundidad e carbonatación y presencia de iones cloruro en el concreto. ^[12]

III.2 INSPECCIÓN DETALLADA.

Para realizar una inspección detallada es imprescindible la elaboración de un plan de trabajo. La concepción de un plan de trabajo requiere la evaluación de la información básica obtenida previamente en la inspección preliminar. ^[14]

La estructura debe ser dividida en elementos que sean representativos de la situación de deterioro, tomando uno o varios de estos para hacer la evaluación. La clasificación de las zonas en las que se practicará la evaluación debe estar basada en criterios orientados a facilitar la determinación de las causas que originaron los daños por corrosión en el concreto. Se sugiere seguir los siguientes criterios básicos:

- Diferenciar las zonas con exigencias estructurales/mecánicas.
- Determinar las características originales del concreto cuando fue puesto en servicio.
- Diferenciar las zonas sometidas a distintos medios agresivos.
- Establecer grados de deterioro en el concreto y en el acero.

De acuerdo a lo anterior, se puede dividir la estructura en porciones representativas en las que, por un lado se representa la calidad homogénea del concreto, y por otro se identifique las que están sometidas a una misma agresividad para finalmente ubicarlas en un croquis aquellas que aparentemente estén igual de deterioradas. Deben tomarse muestras de las porciones



representativas de la estructura a evaluar. Así mismo deberá extraerse el menor número posible de testigos para no afectar la estructura y elevar los costos de operación. El número de determinaciones necesarias para que cada tipo de ensayo resulte representativo de la muestra, dependerá de la dispersión del parámetro a determinar y de la variabilidad de los tipos de ambiente en los que se encuentre la estructura.

III.2.1 Selección de técnicas de medición.

Una vez realizada la división de la estructura, para poder efectuar un dictamen sobre las causas que produjeron los daños por corrosión y su propagación en la estructura de concreto reforzado debe realizarse los siguientes ensayos:

- a) Evaluación de las condiciones del concreto que rodea al acero de refuerzo desde el punto de vista de los parámetros que intervienen en la corrosión del acero de refuerzo:
 - Espesor del recubrimiento del concreto.
 - Las concentraciones de iones despasivantes (cloruros y sulfatos)
 - Resistividad del concreto.
 - La absorción de agua y porosidad del concreto.
 - La resistencia del concreto frente a la penetración de cloruros.
 - El pH o la profundidad de carbonatación del concreto.

- b) Evaluación de la corrosión del acero de refuerzo.
 - Medición de los potenciales electroquímicos.
 - Extracción de porciones del acero para evaluar la pérdida de sección.
 - Estimación de las velocidades de corrosión.
 - Identificación de productos de corrosión.

- c) Evaluación de la calidad del concreto.
 - Ensayo de resistencia a la compresión.
 - Prueba del martillo de rebote (esclerómetro).
 - Determinación del contenido de cemento.
 - Medición de permeabilidad del concreto.
 - Exámenes visuales.
 - Mapeo de infrarrojo, mapeo de radar y ensayos acústicos.
 - Mapeo de grietas
 - Ensayos de carga (evaluación estructural)

Para realizar una evaluación por corrosión en una estructura, no es necesario realizar todas y cada una de las pruebas, ya que sería costoso y poco rentable. Lo mejor es seleccionar las que servirán para resolver el problema específico.^[14]



A continuación se presenta una tabla que muestra los ensayos más comunes en la evaluación de corrosión de las armaduras:

Tabla III.1 Ensayos más comunes en la evaluación de corrosión de armaduras.

ENSAYO	CAPACIDAD DE DETECCION	APLICACIÓN	VENTAJAS	LIMITACIONES
Medición de resistividad	Cualitativa	Problemas por presencia de Cl ⁻	<ul style="list-style-type: none">- Permite pre-seleccionar áreas con potencialidad corrosiva.- Medida rápida.	<ul style="list-style-type: none">- Interpretación compleja de los resultados.- Disponibilidad de equipo de medida.- concreto carbonatado.
Medición de potenciales	Cualitativa	Cualquier estructura	<ul style="list-style-type: none">- Permite pre-seleccionar áreas con potencialidad corrosiva.- Medida rápida.	<ul style="list-style-type: none">- Interpretación compleja de los resultados.
Medición de velocidad de corrosión	Cuantitativa	Cualquier estructura	<ul style="list-style-type: none">- Permite, una vez conocido el tipo de corrosión, evaluar la pérdida de sección de la armadura.	<ul style="list-style-type: none">- Interpretación.- Disponibilidad del equipo adecuado que permite compensación de caída óhmica (IR).
Medición de resistencia a la compresión y volumen de vacíos	Cuantitativa	Cualquier estructura	<ul style="list-style-type: none">- En conjunto con el volumen de vacíos o relación agua/cemento o contenido de cemento, evalúa calidad del concreto.	<ul style="list-style-type: none">- Ensayo destructivo
Definición de profundidad de carbonatación	Cuantitativa	Estructuras con calidad del concreto de baja a mala.	<ul style="list-style-type: none">- Prueba sencilla que permite identificar fácilmente este fenómeno y el tiempo para alcanzar la armadura.	<ul style="list-style-type: none">- Ensayo destructivo
Perfil de cloruros	Cuantitativa	Cualquier estructura	<ul style="list-style-type: none">- Permite determinar la calidad del concreto y el tiempo para que se presente la corrosión del refuerzo.	<ul style="list-style-type: none">- Ensayo destructivo.- Interpretación compleja.- Apoyo estadístico.



III.3 PROCEDIMIENTO DE LEVANTAMIENTO DE DAÑOS EN EL MUELLE DE GUAYMAS.

El levantamiento de daños en el Puerto de Guaymas, Sonora; se llevó a cabo en campo del día 2 al 14 de agosto de 2006, con la participación de 10 ingenieros y 6 lancheros, por medio del Laboratorio de Materiales "Ing. Luís Silva Ruelas de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo conjuntamente con el Instituto Mexicano del Transporte, en este lapo de dos semanas se llevó a cabo una inspección detallada de los daños en los 23 módulos de los que consta el muelle de Guaymas; dentro de estos módulos se cuenta con el levantamiento de aproximadamente 2660 pilotes dentro de los cuales encontramos que en algunos ya se les había colocado encamisados de concreto, estos encamisados son de dos tipos: encamisados rectangulares y encamisados circulares y en algunos casos los pilotes no contaban con dicho encamisado.

También se desarrollo el levantamiento de daños el las trabes, la losa y la pantalla tanto interior como exterior. En ambos casos se hizo también un levantamiento fotográfico de los daños para así poder de manera conjunta elaborar un informe más detallado.

De manera conjunta al levantamiento de daños en el muelle, también se estuvo capturando en computadora los datos que se obtuvieron en campo y así poder despejar dudas que fueran surgiendo durante la captura.

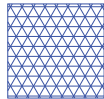
III.3.1 Equipo utilizado en el levantamiento de daños.

- Cámaras fotográficas.
- Cámaras de video.
- Martillos.
- Pintura en aerosol.
- Flexómetros.
- Hojas de registro de daños.
- Leds.
- Grietómetros.
- Cintas.
- Lámparas de mano.
- Lanchas.

III.3.2 Simbología utilizada en el levantamiento de daños.

En el levantamiento de daños se opto por tomar la siguiente simbología para la tipificación de los daños en los pilotes:

a) Delaminación.- Se representa mediante la siguiente simbología y se caracteriza por presión interna en el concreto a causa de la corrosión del acero o bien por la falta de adherencia entre el acero y el concreto.

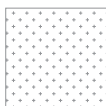


Delaminación



Fig. III.1 Representación de daño por delaminación

b) Reparación.- Se representa mediante la siguiente simbología e indica cualquier tipo de reparación en la estructura o los elementos de esta.



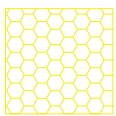
Reparación



Fig. III.2 Representación de una reparación.



c) Apanalamiento.- Se da a causa de un mal colado de los elementos, lo que puede dar como resultado un fácil acceso al acero de refuerzo de los agentes causantes de la despasivación del acero. Y se representa de la siguiente manera:

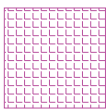


Apanalamiento,
Cangrejera o
Coquera



Fig. III.3 Representación de daño por apanalamiento.

d) Desconchamiento.- Es un desprendimiento de concreto, el cual puede ser el recubrimiento como producto de la corrosión de la armadura del elemento. La simbología empleada para este daño es la siguiente:



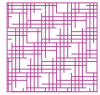
Desconchamiento



Fig. III.4 Representación de daño por desconchamiento.



e) Desconchamiento con exposición de acero.- Al igual que el desconchamiento las causas son las mismas solo que en este caso ya se aprecia el acero corroído por consecuencia de la falta de recubrimiento. La representación es:

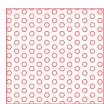


Desconchamiento con exposición de acero



Fig. III.5 Representación de daño por desconchamiento con exposición de acero.

f) Incrustaciones de madera en los elementos.- La simbología empleada es la que se presenta a continuación. Y hace referencia a pedazos de madera que se encuentran incrustados o bien cimbra que no se quite del elemento.



Madera



Fig. III.6 Representación de daño por incrustaciones de madera.



g) Fisuras.- La representación es mediante una línea simplemente acotando la longitud, la dirección y el espesor de estas y pueden ser causadas por cambios en los elementos mecánicos en los elementos o bien producto de la corrosión de la armadura en el concreto.

Fisuras

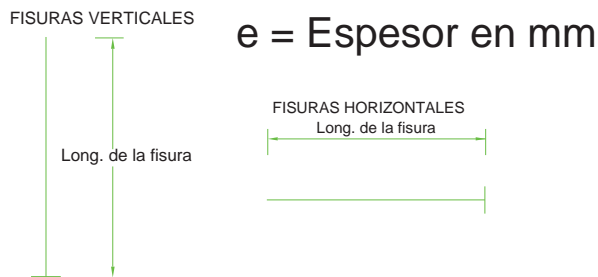


Fig. III.7 Representación de daño por fisuras.

III.3.3 Procedimiento empleado en el levantamiento de daños en el muelle de Guaymas.

- Se golpeó con el martillo las cuatro caras del pilote que se está inspeccionando, de manera semejante en caso de los encamisados rectangulares, para los encamisados circulares se golpeaba en todo el perímetro de este. Para identificar si existía algún daño se puso atención en el sonido que emitía el martillo al golpear el elemento, si este emitía un sonido hueco, se reportaba como una delaminación. Ya que se tenía identificado el daño se marcaba la cara que tenía este daño y se procedía a medir con el flexómetro la magnitud del daño de una forma regular.
- En el caso de la presencia de desconchamientos en el concreto no fue tan complicado identificarlo ya que se podía observar y de igual manera que en las delaminaciones se procedía a tomar las medidas del daño.
- Cuando se presentaba un desconchamiento con exposición de acero, se marcaba la cara que tenía el daño y se le tomaba fotografía que mostrara el daño en el elemento.
- Cabe señalar que todos los pilotes fueron marcados con aerosol para poder identificarlo de una manera rápida en caso de que se tuviera alguna duda sobre el levantamiento o para la ratificación del daño.



- e) Solamente se realizo el levantamiento fotográfico de los elementos que se consideraban altamente dañados, es decir los que presentaban un desconchamiento con exposición de acero, los que presentaban fisuras e incluso los que estaban degollados, y también se fotografiaron aquellos que tenían aún la cimbra de los encamisados.
- f) Siempre en la hoja de levantamientos se indico si el pilote se encontraba encamisado o no y si tenía dicho encamisado se menciona si era circular o rectangular así como también se tomaron las alturas a partir de las traveses a las que se encontraba el encamisado. Y de existir pilotes inclinados también se anotaba la dirección de la inclinación y el ángulo aproximado de la inclinación.
- g) En la revisión de los pilotes también se tuvo cuidado de observar si se encontraban fisuras en las caras del pilote y si existían se marcaba la longitud, la inclinación y el espesor de estas fisuras.
- h) En algunos casos muy especiales se realizo solamente una inspección visual de los elementos debido a la poca accesibilidad de estos por lo que se opto por hacer un pilote que representara los daños de los que se encuentran alrededor, o incluso se reporto como pilote sin acceso.
- i) Para el levantamiento tanto de traveses, losa y pantallas se realizo un levantamiento visual anotando en plano el número de elemento y unas dimensiones aproximadas de estos daños ya fueran de lixiviación, delaminación, apanamiento o exposición de acero.
- j) En casos excepcionales en los que un mismo encamisado abarcara más de un pilote esto se anoto de manera especial indicando los pilotes que abarcaba y las dimensiones de los encamisados.

III.3.4 Procedimiento empleado en la captura de los daños en el muelle de Guaymas.

- a) Debido a que los encamisados no son iguales en todos los pilotes se opto por dejar un valor constante, para los encamisados circulares se tomo un perímetro de 2.5 metros distribuidos en los cuatro puntos cardinales, para los encamisados rectangulares se tomaron de 0.70 metros de lado y en el caso de los pilotes se tomaron lados de 0.50 metros.
- b) Debido a que no todas las traveses eran de la misma medida se opto por tomar como referencia una trabe de 0.50 metros o en dado caso que no fuese así se menciona como nota la altura de la trabe de la que se tomó.
- c) La simbología utilizada para la representación de daños fue definida previo al levantamiento como ya se hizo referencia con anterioridad. Al igual que la simbología se designo un color para cada daño para la fácil interpretación del los planos de daños.



- d) Ya que los pilotes no tienen un nivel de regencia claro se tomo una altura de trabe a nivel de mar de 3.00 metros con la finalidad de tener un pilote tipo y facilitar la captura de cada uno de ellos.
- e) Se tuvo especial cuidado en realizar las acotaciones tanto de alturas en las que se presentan los daños así como también en las dimensiones de los daños para no cometer errores de captura.
- f) Se realizaron revisiones de avance para saber lo que llevábamos y aclarar las dudas sobre levantamientos aparentemente repetidos.
- g) Se relacionaron los elementos levantados con los que se encontraban en los planos que nos fueron proporcionados, esto con la finalidad de seguir con la numeración de los planos y no cometer errores de repetir la numeración.
- h) En el levantamiento de daños de losa, pantalla y traveses se colocó sobre el plano el daño con su respectivo número y una serie de tablas en las que se indica el número de daño, tipo de daño y dimensiones de los daños para así poder tener una cuantificación de estos.

III.3.5 Daños representativos en pilotes, traveses, losa y pantallas

De manera general los daños más representativos son los siguientes:

a) Daños en pilotes.

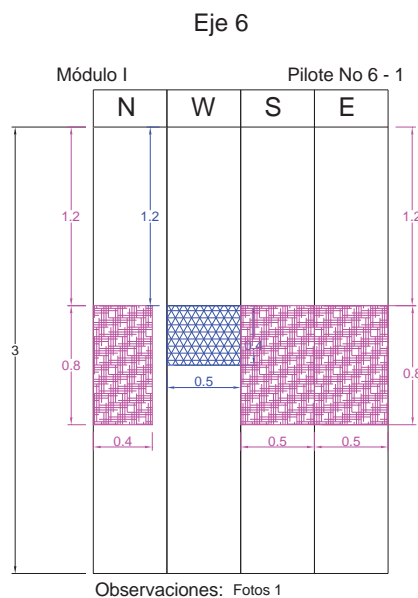
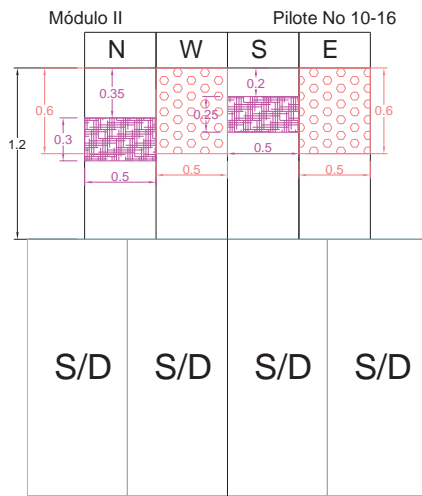


Fig. III.8 Representación de daños en el pilote No. 6-1, del Módulo I.

Eje 10

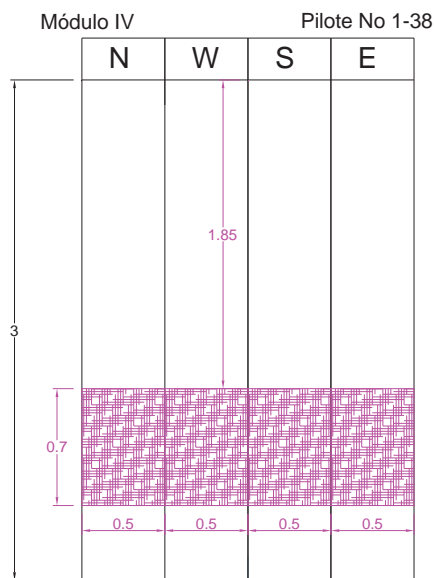


Observaciones: Foto 1, Foto 2, Foto 3
Foto 4, Foto 5, Foto 6



Fig. III.9 Representación de daños en el pilote No. 10-16, del Módulo II.

Eje 1



Observaciones: Foto 1



Fig. III.10 Representación de daños en el pilote No. 1-38, del Módulo IV.

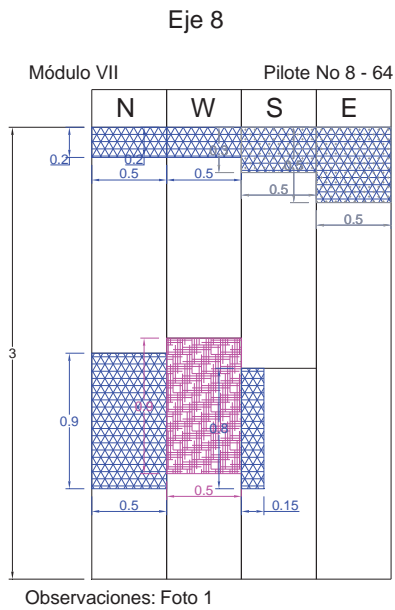


Fig. III.11 Representación de daños en el pilote No. 8-64, del Módulo VII.

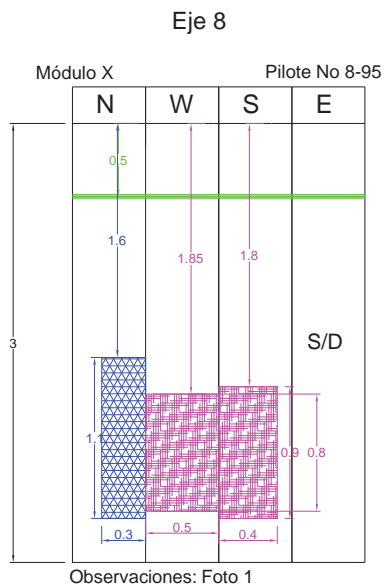
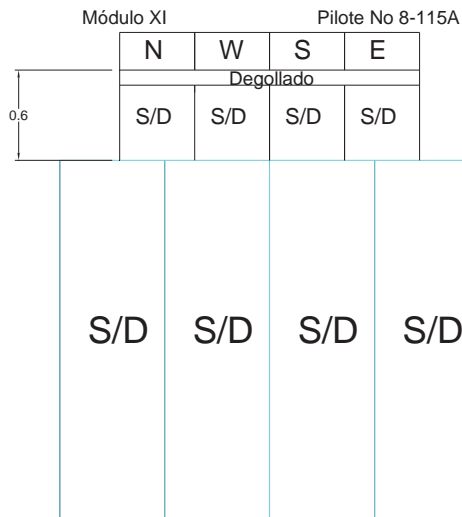


Fig. III.12 Representación de daños en el pilote No. 8-95, del Módulo X.



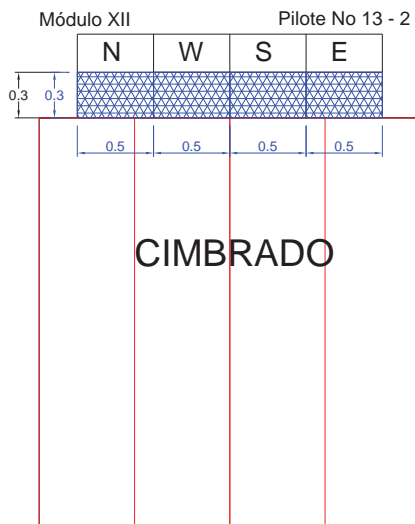
Eje 8



Observaciones: Inclinación E-W a 10°.

Fig. III.13 Representación de daños en el pilote No. 8-115A, del Módulo XI.

Eje 13

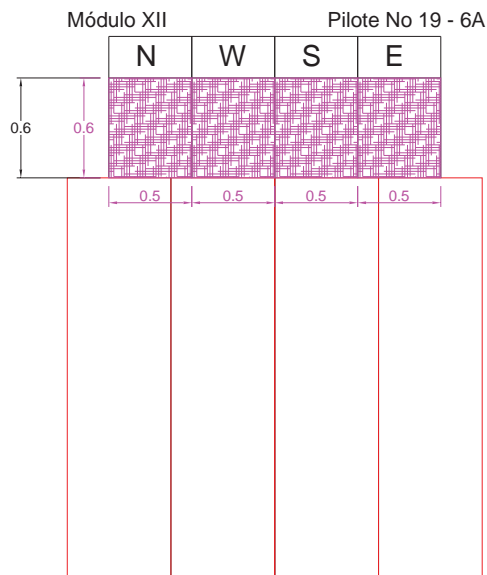


Observaciones: Foto 1, Foto 2, Foto 3

Fig. III.14 Representación de daños en el pilote No. 13-2, del Módulo XII.



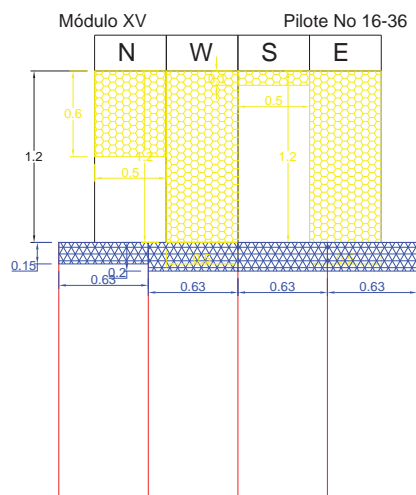
Eje 19



Observaciones: Foto 1

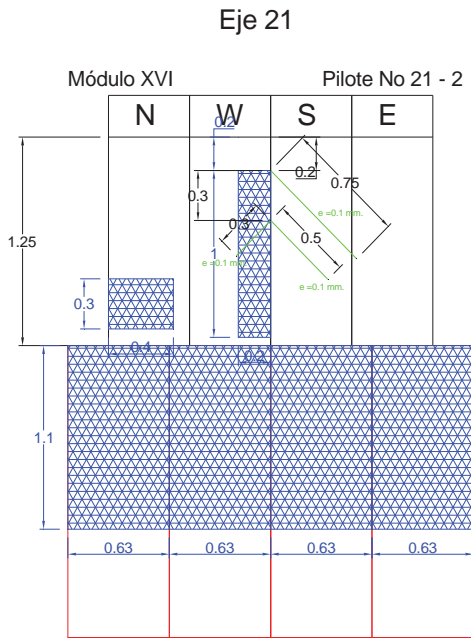
Fig. III.15 Representación de daños en el pilote No. 19-6A, del Módulo XII.

Eje 16



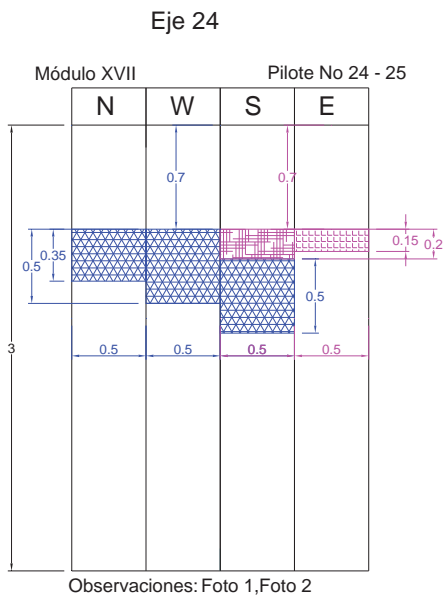
Observaciones: Sin inclinación Foto 1

Fig. III.16 Representación de daños en el pilote No. 16-36, del Módulo XV.



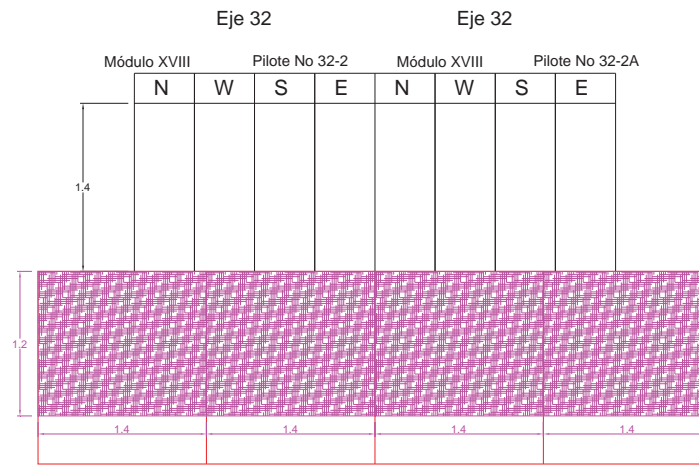
Observaciones: Foto 1, Foto 2

Fig. III.17 Representación de daños en el pilote No. 21-2, del Módulo XVI.



Observaciones: Foto 1, Foto 2

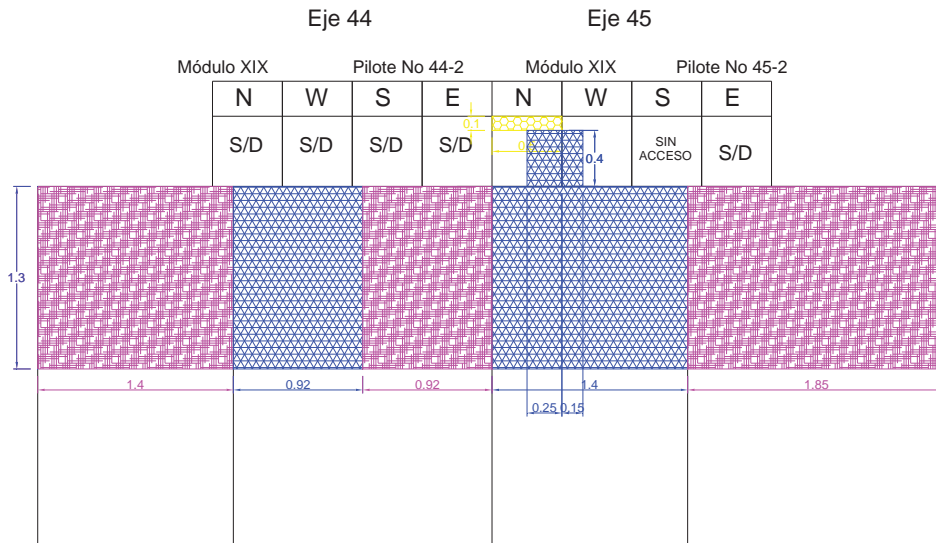
Fig. III.18 Representación de daños en el pilote No. 24-25, del Módulo XVII.



Observaciones: Foto 1



Fig. III.19 Representación de daños en los pilotes No. 32-2 y 32-2A, del Módulo XVIII.



Observaciones: Foto 1, Foto 2, Foto 3, Foto 4



Fig. III.20 Representación de daños en los pilotes 44-2 y 45-2 del Módulo XIX.



b) Daños en traveses.



Fig. III.21 Representación de daños en TRABE I_1-5,2-5, del Módulo I.



Fig. III.22 Representación de daños en TRABE II_9-19,10-19, del Módulo II.



Fig. III.23 Representación de daños en TRABE XVII_23-26,21-26, del Módulo XVII.

c) Daños en losa.



Fig. III.24 Representación de daños en LOSA II_5-16,5-17,6-17,6-16, del Módulo II.



Fig. III.25 Representación de daños en LOSA IV_9-36,9'-36,9'-35,9-35, del Módulo IV.



Fig. III.26 Representación de daños en LOSA IX _4-82B, 4-82,4-81,4-81A, del Módulo IX.



Fig. III.27 Representación de daños en LOSA V_5-42,-5-43,6-43,6-42, del Módulo V.

d) Daños en pantalla.



Fig. III.28 Representación de daños en PANTALLA INT I_1-8,1-9, del Módulo I.



Fig. III.28 Representación de daños en PANTALLA INT. XIX_49-4-50-4, del Módulo XIX.



Fig. III.29 Representación de daños en PANTALLA EXT. XXIII_6,7, del Módulo XIX.

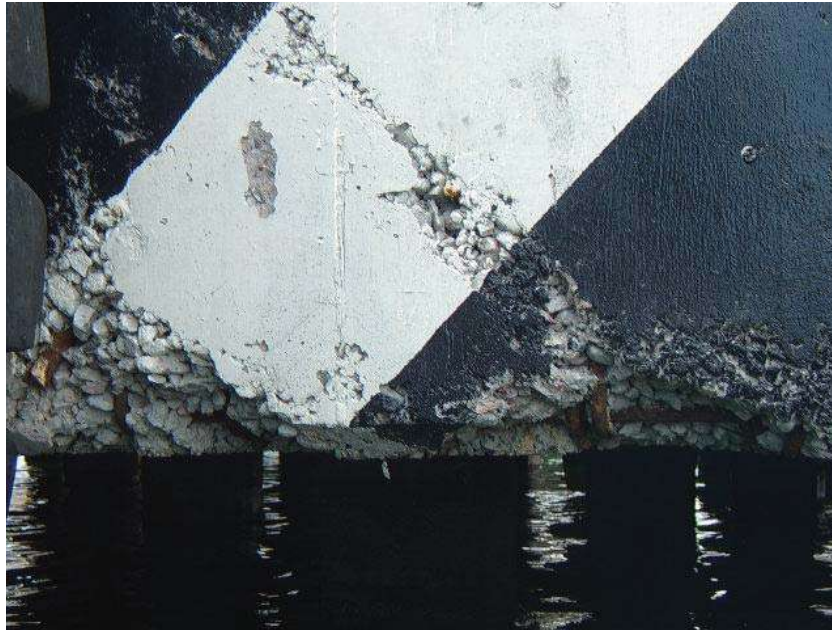


Fig. III.29 Representación de daños en PANTALLA EXT. XI_103,102, del Módulo XI.



CAPÍTULO IV PRUEBAS REALIZADAS



IV.- PRUEBAS REALIZADAS

IV.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

IV.1.1 Objetivo.

Determinar la resistencia a la compresión del concreto de la estructura a través de la extracción de testigos de concreto con taladros de diámetro adecuado. La resistencia a la compresión del concreto puede ser considerada como una de las propiedades más importantes y necesarias para establecer una evaluación general de la estructura, tanto desde el punto de vista de durabilidad, como de la capacidad de resistencia mecánica.

IV.1.2 Definiciones.

La resistencia a la compresión del concreto corresponde a la tensión máxima (de ruptura general) de compresión axial, en MPa, que puede soportar un testigo cilíndrico de diámetro igual o superior a tres veces el Tamaño Máximo Nominal del agregado (TMNS). La relación entre la altura (h) y el diámetro (Φ) del testigo debe ser $h/\Phi=2$ y deseable que nunca $h/\Phi < 1$, retirado de lugares estratégicos de una estructura, preparado y llevado hasta la ruptura en condiciones normales de un laboratorio.

IV.1.3 Equipos y materiales.

- Agua para la refrigeración del taladro.
- Energía eléctrica o fuente de energía tipo hidrocarburo, diesel o gasolina, dependiendo de las características del taladro.
- Pacómetro u otro equipo capaz de identificar la posición de las armaduras en el componente o elemento estructural. Esa identificación puede ser hecha manualmente, a través del retiro de concreto de recubrimiento.
- Taladro eléctrico o a gasolina, con broca y copa, conforme a la descrito en la Norma ASTM C-42.
- Disco de corte para cortar y separar los extremos de los testigos cilíndricos.
- Prensa para ensayo de compresión axial que cumpla con los requerimientos de la Norma ASTM E-4.

IV.1.4 Procedimiento.

a) Identificación de los lotes que serán ensayados.

- Se deben elegir regiones representativas de los componentes estructurales, o sea, en columnas y muros no se recomienda mezclar testigos extraídos del primer tercio (hasta 1m. de altura) con testigos de otros dos tercios. De la misma forma testigos representativos de losas y vigas no pueden ser



representativos del concreto de los pilotes, es decir, los lotes bajo análisis deben ser compuestos de trozos equivalentes de elementos estructurales compatibles y similares.

- Es recomendable que el lote de concreto a ser evaluado cumpla con ser homogéneo, tener la misma proporción entre los materiales, ser mezclado con los mismos materiales, haber tenido la misma consistencia cuando fresco y haber sido sometido a los mismos procedimientos al mezclarlo y curarlo.

b) Tamaño de la muestra.

- Para cada lote bajo estudio se elegirá una muestra representativa.
- El número mínimo de testigos o ejemplares para constituir una muestra representativa es del orden de seis para testigos de diámetro igual o mayor a 10 cm.
- Para testigos de diámetro inferior a 10 cm., se recomienda por lo menos una muestra de diez testigos.
- Para casos excepcionales de análisis de un pequeño lote, puede admitirse una muestra de tres testigos.

c) Dimensión de los testigos.

- Siempre que sea posible los testigos deben guardar la relación altura/diámetro igual a dos. Pueden aceptarse testigos con $(h/\Phi) \geq 1.00$ (ASTM-C-42).
- El diámetro debe ser siempre igual o superior a tres veces la dimensión del material grueso utilizado durante la elaboración del concreto.
- No son admitidos testigos con altura inferior a su diámetro.



Figura IV.1 Testigos de concreto empleados en la prueba de resistencia a la compresión. ^[30]



d) Cuidados durante la extracción.

- Se debe localizar la armadura en el concreto.
- Evitar extraer o cortar acero de las armaduras.
- Llenar los agujeros de los testigos con concreto, mortero autonivelante o morteros de resistencia compatible con la resistencia del concreto original. Y el modulo de elasticidad igual o superior a la del concreto original, además de que debe tener muy buena adherencia.
- No considerar testigos con vacíos o con fallas, o sea, todos los testigos que se utilicen en esta prueba deben ser íntegros.

e) Ensayo:

- Cortar con disco de corte los topos de los testigos de forma de obtener una superficie perfectamente plana y ortogonal a la generatriz del cilindro. Eso puede ser obtenido con un fuerte lijado de la superficie.
- Los testigos representativos de todos los lotes húmedos (estructura bajo agua) deben ser ensayados húmedos.
- Se determina la tensión de ruptura directa del valor obtenido de la prensa, dividido entre el área del testigo. La resistencia a la compresión del concreto, $f'c$, depende de las dimensiones de los testigos y puede ser obtenida a partir del uso de los coeficientes de la siguiente tabla:

Relación Altura/Diámetro	Multiplicar la Tensión directa por:
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.90
1.00	0.89

La resistencia característica estimada, $f_{ck,est}$, del concreto a la compresión puede ser calculada por:

$$f_{ck,est} \geq \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n * 0.9} \quad \text{O bien} \quad f_{ck,est} \geq \frac{f_{cl}}{0.80} \quad \text{----- [1]}$$

Donde se debe considerar el mayor de los resultados con los siguientes significados:

$f_{ck,est}$ = Resistencia característica estimada del concreto a la edad del ensayo.



f_{ci} = Resistencia a la compresión de cada testigo de la muestra, en MPa.

n = Número total de testigos de una muestra, tamaño de la muestra.

f_{ct} = Mínima resistencia a la compresión entre los testigos de la muestra. [12]

IV.1.5 Criterio de evaluación de resultados.

El criterio clásico entre los ingenieros civiles, es que la resistencia estimada debe ser igual o mayor que la resistencia diseñada.

IV.2 PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN.

IV.2.1 Objetivo.

Determinar el avance de la carbonatación en el concreto por el método de la vía húmeda con solución de indicador ácido-base.

IV.2.2 Definiciones.

La carbonatación es la reducción de alcalinidad normal (pH entre 12 y 14) del concreto por efecto del CO_2 que difunde desde el ambiente que lo rodea. En presencia de humedad, el CO_2 reacciona con los álcalis (usualmente hidróxidos de calcio, sodio y potasio), neutralizándolos para formar carbonatos disminuyendo el pH por debajo de 10.

IV.2.3 Equipos y materiales.

- Instrumentos de medición: escala milimétrica, vernier, etc.
- Herramientas para extracción de muestras: piquetas, taladros, etc.
- Material para limpieza superficial: brocha, trapos, etc.
- Solución indicadora ácido-base: fenolftaleína (1 g fenolftaleína + 49 g alcohol + 50 g agua) o timolftaleína (1 g timolftaleína + 99 g agua).

IV.2.4 Procedimiento.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

a) Toma probetas-testigo.- La sección será un corte transversal donde un extremo corresponderá a la superficie expuesta a la atmósfera. La probeta-testigo puede ser cilíndrica o una porción extraída. El tiempo de exposición de la superficie a evaluar no podrá ser mayor de 15 minutos (fractura fresca).

b) determinación de la profundidad de carbonatación.- Una vez seleccionada la probeta y estando su superficie libre de polvo, se aplicará por atomización el indicador ácido-base en forma uniforme.



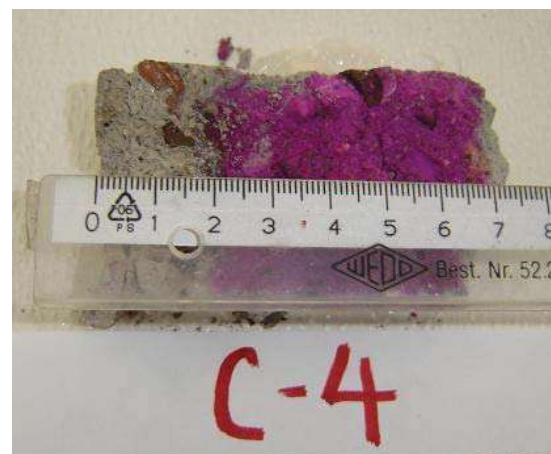
Luego de la aplicación, antes de transcurridos 15 minutos, se efectuará la medición de la longitud de la zona incolora desde la superficie, determinándose con precisión los valores máximos/mínimos del frente incoloro y la media aritmética, de un mínimo de medición, en función del tamaño de la probeta. El procedimiento no debe tardar más de 20 minutos.

Deberá levantarse un registro preciso sobre la ubicación de los testigos, tonalidad visualizada, profundidad de carbonatación medida e indicar explícitamente el tipo de indicador utilizado. Igualmente se efectuará un registro fotográfico donde sea pertinente.



Núcleo C-2

Frente de carbonatación: 20 mm



Núcleo C-4

Frente de carbonatación: 20 mm

Figuras IV.2 y IV.3. Profundidades de carbonatación. ^[30]

IV.2.5 Criterios de evaluación.

Lo ideal es que la carbonatación sea tan pequeña como sea posible y que no llegue a las varillas.

En función del indicador ácido-base seleccionado, se establecerá el pH del frente incoloro en la muestra.

La fenolftaleína es el indicador más comúnmente usado y su rango de viraje está entre pH de 8.2 y pH de 9.8. Varía su tonalidad de incoloro a violeta.

La timolftaleína es otro indicador que podría utilizarse, ya que su rango de viraje está entre pH de 9.3 y pH de 10.5, con tonalidades de incoloro a azul. ^[12]



IV.3 ESCLEROMETRÍA

IV.3.1 Objetivo.

Evaluar la dureza superficial del concreto mediante el uso del esclerómetro de reflexión.

IV.3.2 Definiciones.

El ensayo esclerométrico es un método no destructivo que mide la dureza superficial del concreto, proporcionando elementos para la evaluación de la calidad del mismo en su estado endurecido.

El índice esclerométrico (IE) es el valor obtenido a través de un impacto del esclerómetro de reflexión sobre una área de ensayo, proporcionado directamente por medio del aparato, medido como el número de rebote del martillo.

IV.3.3 Equipo y Materiales.

- Esclerómetro de reflexión.
- Disco o piedra abrasiva de carburo para remover la capa superficial de muy poco espesor (aproximadamente 2mm.), que es la más dura y por lo tanto no sería representativa del resto del concreto.

IV.3.4 Campo de aplicación.

- a) El método esclerométrico no debe ser considerado sustituto de otros métodos si no como un método preliminar.
- b) Los métodos esclerométricos proporcionan informaciones en relación a la dureza superficial del concreto.
- c) Los métodos esclerométricos deben ser empleados en las siguientes circunstancias:
 - Determinación de la uniformidad de la dureza superficial del concreto.
 - Comparación de concretos como una referencia. En los casos en que se desee comparar la calidad de las piezas de concreto o bien como un recurso para el control de calidad de elementos prefabricados.
 - Estimación de la resistencia a la compresión del concreto: El fabricante del aparato debe proporcionar junto con el instrumento, un gráfico correlacionando la resistencia a la compresión con especímenes contra el número de rebote (índice esclerométrico).

IV.3.5 Procedimiento.

El esclerómetro debe ser verificado antes de su utilización o cada 300 impactos realizados en una misma inspección, siguiendo las instrucciones del fabricante del equipo.



Las superficies del concreto deben estar secas, limpias y preferencialmente planas, evitándose superficies húmedas y carbonatadas.

Las áreas de ensayo deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Localizadas en las caras verticales.
- Alejadas de regiones afectadas por segregación, apanalamientos, exudación, concentración excesiva de armadura, juntas.
- Alejadas por lo menos 60 mm de los cantos o aristas de los elementos.
- Tener una superficie entre 8000 mm² y 40.000 mm².

Frecuentemente el número de impactos está limitado por la separación de las barras de refuerzo. Sin embargo, se recomienda:

- Efectuar un mínimo de 9 impactos en cada área de ensayo.
- Evitar impactos sobre agregados y/o armaduras.
- No se debe permitir más de un impacto sobre un mismo punto.
- Distancia mínima entre impactos de 30 mm.

Limitaciones. Los esclerómetros de reflexión no deben ser utilizados cuando los índices esclerométricos son inferiores a 20.

IV.3.6 Utilización del esclerómetro.

- El esclerómetro debe ser siempre aplicado ortogonalmente sobre el área de ensayo.
- La barra de percusión debe ser presionada contra un punto del área de ensayo, previamente delimitada y, antes de que dicha barra desaparezca completamente en el cuerpo del esclerómetro, el martillo debe ser liberado.
- La liberación del martillo debe ser efectuada a través de un aumento gradual de presión en el cuerpo del aparato.
- Después del impacto, la punta indicadora localizada en la escala del esclerómetro proporciona directamente el índice esclerométrico. Este puede ser fijado por medio del botón de presión, para permitir una lectura más segura en áreas de poca luminosidad o posiciones de difícil acceso.
- El esclerómetro debe ser aplicado preferentemente en posición horizontal y consecuentemente sobre superficies verticales. Cuando sea necesario aplicarlo en posiciones diversas, el índice esclerométrico debe ser corregido con los coeficientes proporcionados por el fabricante del esclerómetro.

IV.3.7 Criterios de evaluación.

Es deseable una baja dispersión de los índices, lo que significa homogeneidad del estado del concreto.^[12]



IV.4 CONCENTRACIÓN DE CLORUROS.

IV.4.1 Objetivo.

El objetivo de este ensayo es la determinación de la concentración de los cloruros, totales y libres, presentes en la masa del concreto a diferentes niveles de profundidad, resultados que permiten el cálculo del coeficiente de difusión aparente del cloruro hacia el interior y con ello la velocidad de penetración del mismo en el tiempo. Esta información, interrelacionada con otras variables, permite analizar el estado actual de la estructura y también permite estimar el tiempo que tardará este ion en alcanzar el refuerzo.

IV.4.2 Equipo y Materiales.

- Equipo de molturación.
- Estufa de 0 a 150°C.
- Tamices No. 20 y 200 ASTM.
- Balanza analítica de precisión.
- Plancha calefactora y agitador.
- Probeta graduada de 100ml.
- Embudo de filtración.
- Vaso de 250 ml.
- Matraz aforado de 250 ml y pipetas volumétricas de 5-10-20 ml (opcionales).
- Papel de filtro de porosidad media o rápida.
- Reactivos: ácido nítrico, nitrato de plata y cloruro de sodio.
- Agua destilada.

IV.4.3 Procedimiento.

a) Toma de testigo.- Los testigos se pueden extraer en piezas cilíndricas utilizando un extractor de testigos o en polvo mediante un taladro. En todos los casos debe minimizarse el número de muestras y consultar un ingeniero estructural acerca de las zonas de muestreo, para no afectar puntos críticos de la estructura.

A continuación se detallan dos técnicas:

Extracción de testigos.- El diámetro del testigo está relacionado con el tamaño del agregado grueso, recomendándose una relación de 3 a 1. Debe utilizarse la mínima agua posible en la toma de la muestra, puesto que ésta ocasiona pérdida de cloruros. Una vez tomado el testigo deberá identificarse correctamente y colocarlo en bolsa plástica para protegerlo del medio ambiente, así como ejecutar los ensayos en el menor tiempo posible para evitar cambios en el proceso de difusión de los cloruros.



El testigo se corta con un disco de corte en rodajas de 5 a 10 mm, tal como se indica en la Figura IV.4. Las rodajas se deben triturar antes de someterlas al análisis correspondiente. La primera rodaja puede desbastarse mm a mm cuando se considere necesario.

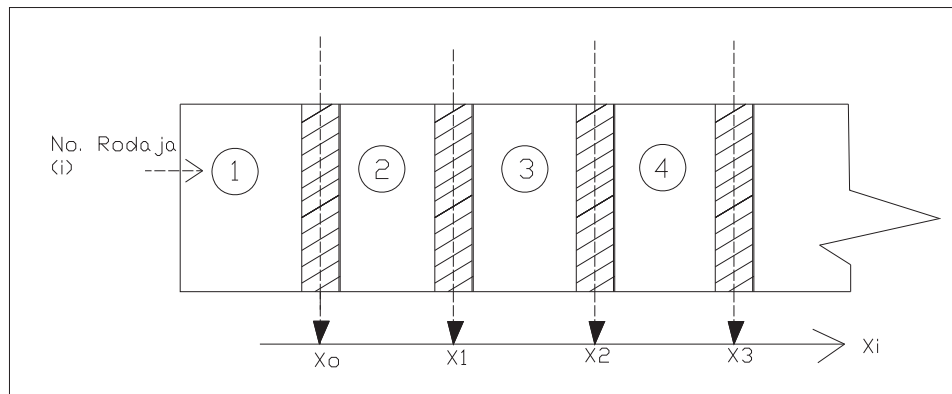


Figura IV.4. Cortes Sobre Núcleo Testigo

Extracción de muestra en polvo.- El concreto se puede perforar utilizando un taladro adecuado, acoplado con una broca. Así, se puede retirar material en polvo a diferentes profundidades. Es recomendable la utilización de un equipo que acople con guía que permita llegar a la profundidad a la cual se toma la muestra. Se debe tener especial cuidado para que no se contamine una muestra con la anterior.

b) Determinaciones.

- Ensayo: la determinación de los cloruros totales puede ser efectuada con el método ASTM C-1152.
- La determinación de los cloruros solubles puede ser efectuado de acuerdo con el método ASTM C-1411.
- Contenido de cloruros: El contenido de cloruros obtenido del ensayo puede expresarse referido al peso de la muestra o al peso de cemento en el concreto, para lo cual deberá conocerse la composición del mismo. ^[12]

IV.4.4 Evaluación de resultados.

Los valores del contenido de cloruros dan una idea del grado de contaminación y de la evolución del posible daño, pero no se pueden tomar como un límite absoluto sin la interpretación basada en la experiencia del evaluador correspondiente.



Las normas recomiendan adoptar como un valor límite permisible de 0.4% de cloruros totales en relación a la masa de cemento para las estructuras de concreto armado. Para concreto pretensado y postensado el límite debe ser de 0.2%.

Es importante resaltar que la concentración de cloruros, aunque supere el nivel límite, no determina por si sola la posibilidad de riesgos de corrosión o su severidad.

IV.5 MEDICIÓN DE POTENCIALES.

IV.5.1 Objetivo.

Medir el potencial de la armadura del concreto reforzado mediante el uso de un multímetro acoplado a un electrodo de referencia y uno de trabajo.

IV.5.2 Equipo y Materiales.

- Brocha, cepillo, lima y otras herramientas para limpieza manual/mecánica de la superficie.
- Cables y conectores.
- Esponja plana, agua potable, para humedecer la superficie, etc.
- Electrodo de referencia apropiado, por ejemplo: Cu/CuSO_4 .
- Voltímetro de alta impedancia.

IV.5.3 Procedimiento.

- Seleccionada la superficie a evaluar debe tenerse libre acceso a una sección de la armadura de refuerzo del concreto. En caso de no existir, deberá perforarse la estructura hasta descubrir el acero de refuerzo, una vez localizado. Deberá haber garantía de continuidad eléctrica del acero al momento de efectuar las mediciones.
- Limpiar la superficie seleccionada, limpiar la superficie del acero expuesto para la conexión.
- Localizada la distribución del acero de refuerzo, trazar sobre la superficie del concreto unas cuadrículas múltiples con espaciamiento entre nodos uniformes.
- Efectuar la conexión del electrodo de referencia (por ejemplo Cu/CuSO_4) al negativo del voltímetro. El acero de refuerzo se conecta al positivo del voltímetro, como se indica en la Figura IV.5, así se leerá en la pantalla su polaridad real.



Figura IV.5. Medición de Potenciales de una armadura

- Los nodos de la cuadrícula serán los puntos de referencia, en estos se colocará sobre la superficie del concreto una esponja plana delgada, previamente humedecida. Se debe colocar el electrodo sobre la esponja, efectuar y registrar la medida.
- Elaborar un plano de la superficie y ubicar los valores resultantes de las mediciones de potencial.^[12]

IV.5.4 Criterios de evaluación.

Las medidas de potencial informan sobre la posibilidad de corrosión de la armadura de una estructura de concreto reforzado, pero es esencial que los resultados sean correctamente interpretados a la luz de la información disponible sobre las condiciones de humedad, contaminación, calidad del concreto, etc.

Los criterios de evaluación, internacionalmente aceptados y que sirven como una guía de referencia de las condiciones y riesgo asociados a valores de potencial se indica en la Tabla IV. 1.



CONDICIÓN	POTENCIAL (ESC)	OBSERVACIONES	RIESGO DE DAÑO
ESTADO PASIVO	0,200 a -0,200	Ausencia de Cl^- , $\text{pH} > 12.5$, $\text{H}_2\text{O}(\text{HR}\uparrow)$	DESPRECIABLE
CORROSIÓN LOCALIZADA	-0,200 a -0,600	Cl^- , O_2 , H_2O ($\text{HR}\uparrow$)	ALTO
CORROSIÓN UNIFORME	-0,150 a -0,600 +0,200 a 0,150 +0,400 a 0,600	Carbonatado O_2 , H_2O , ($\text{HR}\uparrow$) Carbonatado O_2 , seco, ($\text{HR}\uparrow$) Cl^- Elevado, H_2O ó carbonatado	Moderado Alto Bajo Alto
CORROSIÓN UNIFORME	< -0,600	$\uparrow \text{Cl}^-$, $\uparrow \text{H}_2\text{O}$ (sin O_2)	DESPRECIABLE

Tabla IV.1.- Criterio de Valoración de potenciales del acero en Concreto vs. Cu/CuSO_4

- Las lecturas mayores a -200 mV indican un probabilidad del 90% o mayor de que no exista corrosión.
- Las lecturas comprendidas entre -200 y -350 mV indican incertidumbre (50% de probabilidad) en la actividad corrosiva.
- Las lecturas menores a -350 mV indican una probabilidad del 90% o mayor de existencia de corrosión activa.

IV.6 DETECCIÓN DE ARMADOS.

IV.6.1 Objetivo.

Definir la ubicación de la armadura embebida en concreto armado y determinar la profundidad de ésta desde la cara exterior del elemento.

IV.6.2 Definiciones.

El recubrimiento, estructuralmente, se refiere al espesor de concreto medido desde la superficie más externa de la armadura principal hasta la cara externa del elemento.

IV.6.3 Equipos y materiales.

- Pacómetro (digital o analógico).
- Regla metálica de 2m.
- Barras de marcador indeleble.
- Formatos para información de campo.



IV.6.4 Procedimiento.

- a) **Información Preliminar.-** Antes de iniciar la actividad de campo se debe disponer de los planos definitivos de la estructura a estudiar, donde se indique con precisión la ubicación de los armados, los diámetros de las barras y el espesor del recubrimiento. También es necesario conocer la posición y características de otros elementos metálicos embebidos en el concreto.
- b) **Localización de la armadura.-** Se procede a localizar la armadura realizando un barrido rápido con el sensor del Pacómetro en sentido perpendicular a la dirección tentativa de la armadura hasta observar un pivoteo de la aguja (pacómetro analógico).

Luego se invierte lentamente el barrido en la misma dirección, hasta encontrar la máxima deflexión de la aguja que indicará la posición del acero. Luego, para la ubicación definitiva de la armadura se hará girar el sensor pivoteándolo con centro en alguno de los extremos, hasta encontrar la deflexión máxima de la aguja, que indicará la dirección correcta de la armadura en el eje del lado mayor del sensor; este eje deberá marcarse sobre la cara del elemento con un producto indeleble.

- c) **Determinación de la profundidad de la armadura.-** Se determinará el recubrimiento, según la armadura involucrada. Para cualquiera de los casos es importante colocar, previo ajuste del dial, el sensor sobre la barra elegida en los tramos que no interfieran con otros aceros, para concentrar la respuesta magnética sólo en la barra en la que se desea determinar su profundidad.
- d) **Levantamiento de la información.-** Cada determinación será registrada en formatos preparados donde se registren todos los parámetros relacionados con la determinación: diagrama esquemático del elemento en cuestión y profundidad de la armadura en cada uno de los sitios seleccionados.^[12]

IV.6.5 Criterios de evaluación.

Las normas recomiendan que en ambientes agresivos se utilice una mezcla de calidad con alto contenido de cemento y una baja relación a/c y así garantizar espesores de 2 a 3 pulgadas que permitan una alta durabilidad de la estructura.^[12]



CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS



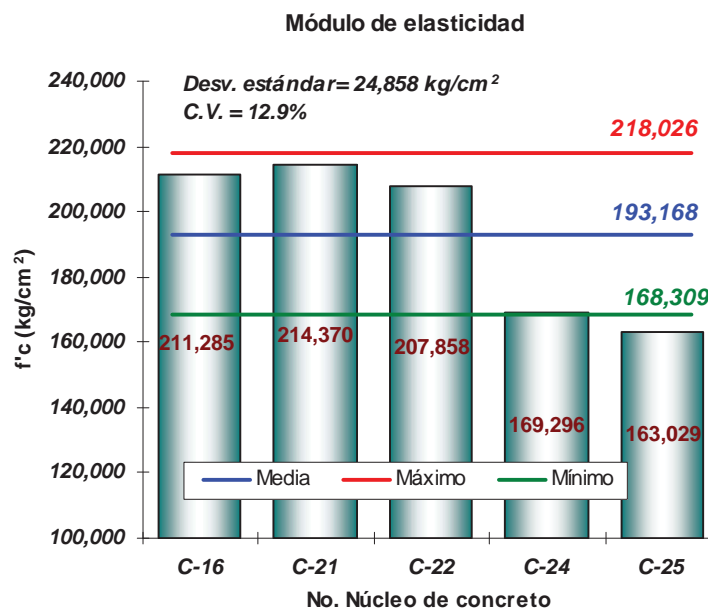
V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

V.1 PRUEBAS DE COMPRESIÓN. ^[31]

Los resultados obtenidos en las pruebas de carga son los siguientes:

Módulo Elástico.

No. de núcleo	Pila / Pilote	Diámetro (cm)	Área de la sección (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Módulo elástico (kg/cm ²)
C-16	VI-5-53	6.94	37.8	14,820	385	211,285
C-21	XVIII-36-9	6.94	37.8	18,280	457	214,370
C-22	XX-54-2	6.94	37.8	15,300	402	207,858
C-24	XXIII-113A	6.94	37.8	13,620	338	169,296
C-25	XIV-15-29	6.94	37.8	14,000	349	163,029

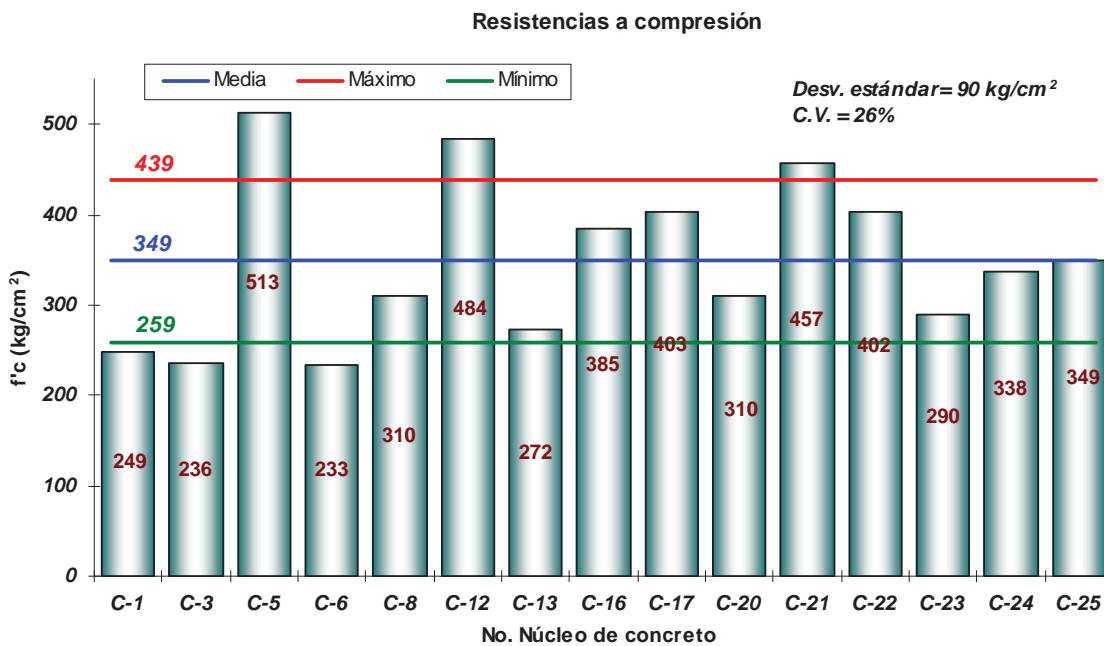




RESISTENCIA DE LOS NÚCLEOS DE CONCRETO ENSAYADOS A COMPRESIÓN SIMPLE

No. de núcleo	Pila / Pilote	Diámetro (cm)	Altura sin cabeceo (cm)	Altura con cabeceo (cm)	Relación H/D	Factor de ajuste	Área de la sección (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	Peso Vol. (kg/m ³)	Carga Máxima (kg)	Resistencia corregida (kg/cm ²)
C-1	XXIII-39D	4.56	7.44	7.80	1.711	0.988	16.3	121.3	255.5	2,107	4,110	249
C-3	Rep. XXI-90-2	4.56	8.30	8.61	1.888	0.996	16.3	135.3	294.6	2,178	3,860	236
C-5	Rep. XVI-25-6	4.56	8.30	8.62	1.890	0.996	16.3	135.3	296.0	2,188	8,400	513
C-6	XI-5-3	4.56	8.30	8.62	1.890	0.996	16.3	135.3	287.0	2,121	3,820	233
C-8	Rep. IX-4-87	4.56	8.30	8.62	1.890	0.996	16.3	135.3	285.8	2,112	5,080	310
C-12	Rep. XIII-17-16	4.56	6.75	7.15	1.57	0.976	16.3	110.0	235.5	2,140	8,080	484
C-13	Rep. XVII-26-12	4.56	8.30	8.62	1.890	0.996	16.3	135.3	275.5	2,036	4,450	272
C-16	VI-5-53	6.94	10.96	11.42	1.65	0.982	37.8	414.3	859.1	2,074	14,820	385
C-17	Rep. V-4-45	4.56	8.30	8.62	1.890	0.996	16.3	135.3	287.8	2,127	6,600	403
C-20	XII-2-6	6.94	12.26	12.58	1.813	0.993	37.8	463.4	991.0	2,138	11,810	310
C-21	XVIII-36-9	6.94	8.54	8.92	1.285	0.945	37.8	322.8	692.0	2,144	18,280	457
C-22	XX-54-2	6.94	12.47	12.90	1.86	0.994	37.8	471.4	978.1	2,075	15,300	402
C-23	XXII-110-3	6.94	10.30	10.61	1.529	0.993	37.8	389.3	853.0	2,191	11,050	290
C-24	XXIII-113A	6.94	8.16	8.52	1.23	0.938	37.8	308.4	621.8	2,016	13,620	338
C-25	XIV-15-29	6.94	8.49	8.91	1.28	0.944	37.8	320.9	704.2	2,194	14,000	349

2,123



Si realizamos un análisis de los resultados que se presentan podemos notar lo siguiente:

Si consideramos que los valores de las resistencias varían desde 259 kg/cm.² hasta lo 439 kg/cm.² y cuya media es de 349 kg/cm.² podemos decir que la resistencia que se obtuvo es alta, en relación a las resistencias que normalmente son utilizadas en este tipo de elementos (entre 250 kg/cm² - 300 kg/cm²), y aunque no se cuentan con antecedentes o datos para comparar con la resistencia de proyecto y tomando en cuenta la edad de la estructura (aproximadamente 60 años) esta resistencia se considera adecuada; además de que esta resistencia deberá ser considerada para la evaluación estructural que debe realizarse para verificar las solicitaciones estructurales reales que soportan y saber si cumple con las especificaciones mínimas en función del tipo de estructura, zona sísmica en la que se encuentra y el tipo de servicio que brinda.



Por otra parte también se observa que el módulo de elasticidad del concreto es aceptable si lo comparamos con la expresión que normalmente se emplea en el diseño de elementos de concreto armado la cual es de $10000\sqrt{f'_c}$ (aproximadamente un valor de 173205 kg/cm² si consideramos un concreto que tiene un $f'_c = 300\text{kg/cm}^2$) el cual es utilizado en los diferentes métodos que existen para analizar el comportamiento de estructuras sujetas a ciertos tipos de carga.

Encontramos también que la desviación estándar en la resistencia a la compresión es de 90 kg/cm² y un C.V = 26%, lo cual es demasiado grande y dado que es una medida de dispersión se concluye que el control de calidad en la fabricación de los pilotes fue pobre, aunque también puede deberse a que estos elementos dada su diferente ubicación dentro del muelle, y por lo tanto las sollicitaciones a las que están sujetas pueden variar, esto por que si tomamos en cuenta la batimetría del lugar podemos encontrar diferentes relaciones de esbeltez en cada situación y como consecuencia diferentes elementos mecánicos causados por el esfuerzo de flexo compresión.

V.2 PRUEBAS DE ESCLEROMETRÍA. [31]

Los resultados de esta prueba son los siguientes:

Resúmen de las series esclerométricas

	Posición del esclerómetro	No. de rebote promedio	Desviación estándar	Coficiente de variación	No. de rebote mínimo y máximo	Resistencia promedio estimada (kg/cm ²)	Resistencia mínima y máxima estimada (kg/cm ²)
Pilas / Pilotes originales	Horizontal	47.8	5.8	12.1%	42.0	457	380
					53.6		541
Reparaciones	Horizontal	43.4	6.3	14.4%	37.1	393	302
					49.7		492



ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS

No. de serie	Pila / Pilote	Número de rebote										Promedio	Límite máx.	Límite mín.	Valores válidos	Promedio corregido
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
E-1	I-2-6	54	55	53	53	52	55	56	52	53	52	54	59	49	10	54
E-2	I-3-10	50	45	62	54	60	56	60	60	54	55	56	61	51	7	57
E-3	I-3-7	48	48	42	48	50	48	47	48	49	51	48	53	43	9	49
E-4	I-4-5A	45	42	45	40	48	45	42	48	46	47	45	50	40	10	45
E-5	I-8-4A	40	46	42	43	43	43	45	41	42	48	43	48	38	10	43
E-6	II-2-11	40	42	46	43	44	44	43	44	46	42	43	48	38	10	43
E-7	II-3-21	50	54	58	55	55	59	50	54	60	57	55	60	50	10	55
E-8	II-4-15	50	48	48	52	54	56	52	50	46	40	50	55	45	8	50
E-9	II-7-12	52	50	43	45	48	50	50	51	51	45	49	54	44	9	49
E-10	III-10-28	42	42	40	40	40	39	39	40	36	41	40	45	35	10	40
E-11	III-7-21	42	42	42	38	42	36	38	39	38	38	40	45	35	10	40
E-12	III-9-26	50	54	52	54	58	53	53	51	50	58	53	58	48	10	53
E-13	V-2-42	50	46	49	51	51	54	52	56	48	49	51	56	46	10	51
E-14	V-8-41	54	51	46	49	51	49	52	48	44	51	50	55	45	9	50
E-15	VI-2-58A	52	51	49	51	50	47	51	50	49	47	50	55	45	10	50
E-16	VI-5-53	40	39	41	41	43	42	41	46	43	42	42	47	37	10	42
E-17	VI-6-59	39	40	40	38	37	34	36	38	37	39	38	43	33	10	38
E-18	VII-3-70A	47	44	44	43	44	49	42	41	43	48	45	50	40	10	45
E-19	VII-6-66	46	42	49	47	47	49	44	48	49	45	47	52	42	10	47
E-20	VIII-5-74	42	41	43	43	44	44	46	47	43	41	43	48	38	10	43
E-21	IX-3-83	54	55	50	48	47	47	49	43	44	44	48	53	43	8	47
E-22	X-3-98	55	38	46	40	40	39	42	40	34	48	42	47	37	7	41
E-23	X-8-100	44	46	47	46	48	44	46	38	38	48	45	50	40	8	46
E-24	XI-3-114	46	43	45	50	52	40	53	55	50	43	48	53	43	8	48
E-25	XI-5-105	49	50	59	59	48	49	51	50	54	55	52	57	47	8	51
E-26	XI-5-116	51	47	48	46	48	52	48	53	48	54	50	55	45	10	50
E-27	XII-11-3	42	40	43	52	52	44	44	44	46	46	45	50	40	8	44
E-28	XII-12-12	38	40	37	41	44	39	38	36	34	39	39	44	34	10	39
E-29	XII-12-18B	35	36	35	37	41	41	30	42	39	42	38	43	33	9	39
E-30	XII-12-5	55	56	52	57	56	56	54	60	55	54	56	61	51	10	56
E-31	XII-13-9	50	44	50	44	40	48	51	46	50	51	47	52	42	9	48



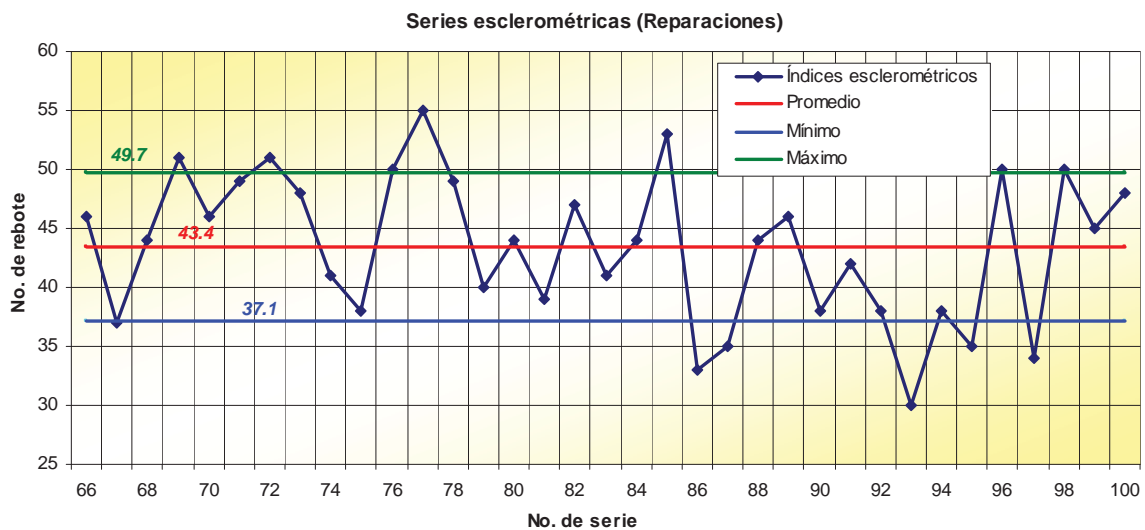
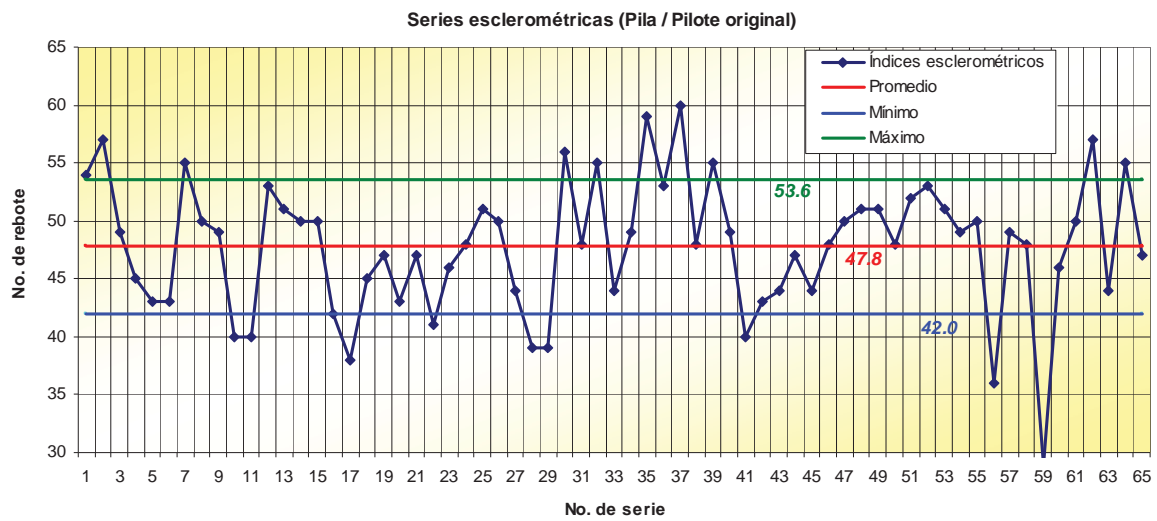
ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS

No. de serie	Pila / Pilote	Número de rebote										Promedio	Límite máx.	Límite mín.	Valores válidos	Promedio corregido
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
E-32	XIII-13-20	60	54	55	50	56	56	56	48	55	56	55	60	50	9	55
E-33	XIII-19-18	53	54	55	45	43	42	42	50	43	46	47	52	42	7	44
E-34	XXIII-20C	48	48	52	52	47	48	51	49	50	48	49	54	44	10	49
E-35	XIV-14-22	51	52	49	58	62	60	61	57	58	61	57	62	52	8	59
E-36	XIV-14-29	49	52	58	45	51	57	53	54	52	54	53	58	48	9	53
E-37	XIV-19-21	60	60	61	61	59	62	58	59	61	61	60	65	55	10	60
E-38	XIV-8-77	50	50	49	48	51	50	49	47	46	44	48	53	43	10	48
E-39	XV-11-39	58	44	56	56	55	56	54	58	49	53	54	59	49	9	55
E-40	XV-15-33	48	48	52	50	48	50	44	48	52	54	49	54	44	10	49
E-41	XVI-27-7	39	39	42	38	39	40	42	41	42	41	40	45	35	10	40
E-42	XVII-21-15B	43	49	43	45	40	45	43	42	40	43	43	48	38	9	43
E-43	XVII-25-12	48	50	35	35	43	44	45	40	42	48	43	48	38	7	44
E-44	XVII-29-12	42	46	45	49	48	50	49	44	45	49	47	52	42	10	47
E-45	XVIII-23-25	42	38	46	48	50	42	43	49	41	44	44	49	39	8	44
E-46	XVIII-33'-10	50	47	45	51	52	50	50	47	48	44	48	53	43	10	48
E-47	XVIII-33-14	55	50	55	52	58	45	48	44	43	46	50	55	45	7	50
E-48	XVIII-34-4	52	48	52	52	55	49	55	49	51	50	51	56	46	10	51
E-49	XVIII-35-14	58	49	45	50	52	54	54	52	47	47	51	56	46	8	51
E-50	XVIII-36-11	40	52	50	47	43	45	46	48	51	51	47	52	42	9	48
E-51	XVIII-36-3	50	53	53	53	55	54	48	52	48	52	52	57	47	10	52
E-52	XVIII-38-8A	51	52	52	53	55	50	55	55	53	53	53	58	48	10	53
E-53	XVIII-39-9	50	53	49	48	52	48	53	55	52	52	51	56	46	10	51
E-54	XVIII-40-4	52	52	49	45	46	47	50	49	50	47	49	54	44	10	49
E-55	XX-53-2	50	47	50	41	52	42	52	50	50	50	48	53	43	8	50
E-56	XX-56-2	38	34	36	33	38	37	32	37	33	40	36	41	31	10	36
E-57	XX-63-3	43	46	52	50	45	54	54	52	48	44	49	54	44	9	49
E-58	XXI-76-1	45	49	46	50	49	50	46	47	49	50	48	53	43	10	48
E-59	XXI-84-2	30	28	29	28	26	32	30	29	28	31	29	34	24	10	29
E-60	XXI-86-3	44	47	45	43	47	48	44	49	48	47	46	51	41	10	46
E-61	XXIII-14A	54	48	49	38	52	52	48	46	46	52	49	54	44	9	50
E-62	XXIII-31E	57	53	58	60	54	46	57	57	58	59	56	61	51	9	57
E-63	XXIII-3-B	50	44	45	43	44	43	43	45	43	42	44	49	39	9	44
E-64	XXIII-41D	64	56	53	56	57	55	56	54	58	53	56	61	51	9	55
E-65	XXIII-6E	46	44	54	50	44	48	48	48	45	47	47	52	42	9	47
E-66	Rep. I-4-1A	44	48	48	46	46	42	48	50	38	46	46	51	41	9	46
E-67	Rep. I-7-8	36	36	33	33	38	36	36	42	39	42	37	42	32	10	37



ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS

No. de serie	Pila / Pilote	Número de rebote										Promedio	Límite máx.	Límite mín.	Valores válidos	Promedio corregido
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
E-68	Rep. II-2-13	40	42	44	41	46	44	44	47	43	45	44	49	39	10	44
E-69	Rep. II-8-15	52	52	50	50	42	50	50	52	53	49	50	55	45	9	51
E-70	Rep. III-4-22	48	46	41	48	46	44	42	49	50	50	46	51	41	10	46
E-71	Rep. III-4-39	46	44	48	50	52	50	50	50	50	50	49	54	44	10	49
E-72	Rep. III-9-23	53	50	50	53	46	52	49	53	60	50	52	57	47	8	51
E-73	Rep. V-4-45	50	52	48	45	45	50	45	50	45	49	48	53	43	10	48
E-74	Rep. VII-3-63	44	38	36	44	45	43	43	38	38	41	41	46	36	10	41
E-75	Rep. VII-6-70	34	36	38	42	43	40	35	36	42	38	38	43	33	10	38
E-76	Rep. VIII-4-73	48	49	52	53	50	54	50	53	48	46	50	55	45	10	50
E-77	Rep. IX-4-88	58	56	58	55	54	56	52	52	52	52	55	60	50	10	55
E-78	Rep. IX-6-82	48	52	54	50	46	48	46	50	50	50	49	54	44	10	49
E-79	Rep. IX-6-89	38	37	40	41	38	39	42	42	43	44	40	45	35	10	40
E-80	Rep. X-5-100	42	41	44	41	42	46	48	48	48	44	44	49	39	10	44
E-81	Rep. X-7-93	32	34	38	38	36	32	40	40	42	43	38	43	33	8	39
E-82	Rep. XI-4-108	46	45	50	49	43	47	47	44	49	45	47	52	42	10	47
E-83	Rep. XI-7-112	40	39	38	40	43	42	44	42	41	42	41	46	36	10	41
E-84	Rep. XII-13-12	46	45	43	43	44	42	46	43	44	44	44	49	39	10	44
E-85	Rep. XII-18-8	53	55	52	50	54	55	50	50	52	54	53	58	48	10	53
E-86	Rep. XII-19-2A	36	32	34	36	32	30	31	34	34	31	33	38	28	10	33
E-87	Rep. XIII-16-20	36	38	36	32	36	30	38	37	35	36	35	40	30	10	35
E-88	Rep. XV-11-33	46	44	43	44	40	40	46	44	44	46	44	49	39	10	44
E-89	Rep. XVI-29-3A	42	43	43	49	40	42	50	49	48	50	46	51	41	9	46
E-90	Rep. XVII-22-10	35	35	39	40	41	40	36	36	40	40	38	43	33	10	38
E-91	Rep. XVII-27-11	39	38	42	42	43	42	43	39	43	44	42	47	37	10	42
E-92	Rep. XVIII-35-12	40	40	38	36	35	36	35	40	39	41	38	43	33	10	38
E-93	Rep. XVIII-35-7	30	30	33	31	31	31	29	28	27	31	30	35	25	10	30
E-94	Rep. XIX-41-11	38	39	38	36	39	40	38	40	38	37	38	43	33	10	38
E-95	Rep. XIX-46-1	32	33	38	32	36	37	33	33	37	36	35	40	30	10	35
E-96	Rep. XXI-91-3	52	46	48	49	46	51	55	52	53	50	50	55	45	10	50
E-97	Rep. XXI-96-1	34	33	33	32	35	33	35	35	37	33	34	39	29	10	34
E-98	Rep. XXII-101-1	50	50	52	47	42	50	52	50	49	50	49	54	44	9	50
E-99	Rep. XXII-105-2	48	46	45	46	49	40	43	44	43	44	45	50	40	10	45
E-100	Rep. XXII-111-3	51	53	47	48	45	46	48	46	46	45	48	53	43	10	48



Los resultados nos arrojan a lo siguiente:

Si analizamos los índices esclerométricos tanto para pilotes originales (zona de pilote o pila sin reparaciones) contra las reparaciones se tiene que en los pilotes originales se tiene un promedio de 47.8 y en las reparaciones de 43.4 y tenemos una desviación estándar de 5.8 y 6.3 respectivamente y con C.V de 12.1 y 14.4 lo cual nos indica que el concreto utilizado en las reparaciones no cumple por lo



menos con la resistencia de los pilotes ya que se supone que si se repara un elemento, por lo menos debe tener la resistencia del elemento a reparar.

Pero también si hacemos énfasis en los valores de los coeficientes de variación y de la desviación estándar podemos ver que si bien en el caso de los pilotes se tiene un valor relativamente alto, en el caso de las reparaciones es aun mayor. Sin embargo la resistencia a la compresión sigue cumpliendo por lo que no se debería tener problemas por cargas que nos provoquen los diferentes elementos mecánicos.

Si hacemos una análisis de que pasa con los pilotes que fueron tanto máximos como mínimos se tiene esto: el pilote que da un mayor índice esclerométrico (de 60) es el pilote 19-21 del módulo XIV es un pilote sin reparación y se encuentra delaminado; pero el pilote que da un menor índice esclerométrico (de 29) es el pilote 84-2 del módulo XXI el cual tiene un desconchamiento con exposición de acero y delaminado en totalmente en su reparación.

Ahora bien si comparamos los resultados obtenidos mediante las pruebas destructivas de compresión en corazones de concreto contra los índices esclerométricos llegamos a lo siguiente: si consideramos que en la prueba de compresión obtuvimos que la máxima fue de 439 kg/cm^2 y en índices esclerométricos de 457 kg/cm^2 la variación es tan solo del 4% por lo cual no varia una prueba de la otra ya sea prueba destructiva o no destructiva, por lo que se considera que existe una alta confiabilidad en los resultados de estas pruebas no destructivas.

**V.3 PRUEBAS DE ADHERENCIA. ^[31]**

Los resultados son:

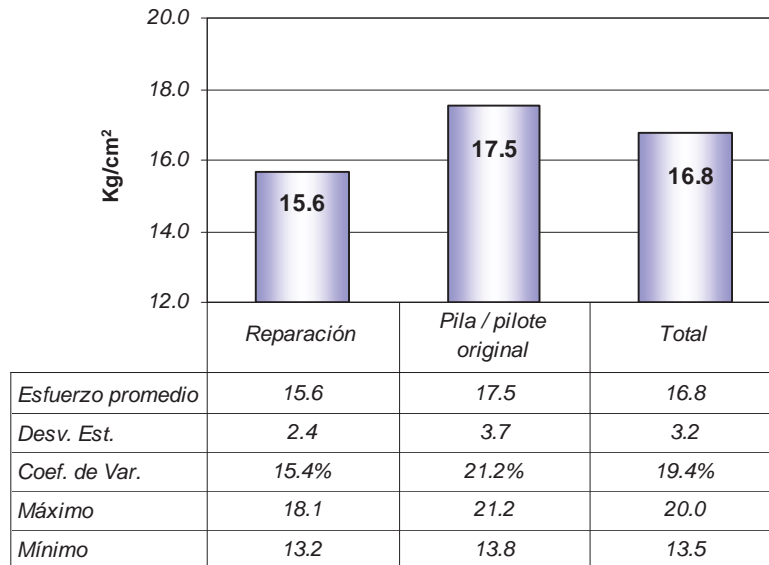
No. de prueba	Pila / Pilote	Diámetro de la probeta (cm)	Lectura de falla (KN)	Area efectiva (%)	Esfuerzo de tensión (kg/cm ²)
A-1	Rep. II-5-17	7.6	6.5	100%	14.5
A-2	Rep. VII-4-75B	7.6	6.0	100%	13.4
A-3	Rep. XII-16-4	7.6	8.5	95%	19.0
A-4	Rep. XX-60-3	7.6	7.0	100%	15.6
A-5	V-2-51B	7.6	7.5	100%	16.8
A-6	XI-5-105	7.6	10.5	100%	23.5
A-7	XIV-14-33	7.6	7.0	100%	15.6
A-8	XVII-25-12	7.6	5.5	80%	12.3
A-9	XVIII-38-8A	7.6	8.5	70%	19.0
A-10	XXIII-33E	7.6	8.0	100%	17.9

En resumen:

Ubicación	Promedio (kg/cm ²)	Desviación estándar	Coef. de variación	Máximo (kg/cm ²)	Mínimo (kg/cm ²)
Reparación	15.6	2.4	15.4%	18.1	13.2
Pila / pilote original	17.5	3.7	21.2%	21.2	13.8
Total	16.8	3.2	19.4%	20.0	13.5



Resistencia promedio a la tensión por adherencia



Analizando los resultados:

Si se toma de referencia que el concreto debe resistir a la tensión entre un 8% - 12% con respecto a su esfuerzo de compresión y si consideramos que se tiene un valor medio de resistencia a compresión de 349 kg/cm.² se debe tener un esfuerzo a la tensión en el rango de 28 kg/cm.² hasta un 42 kg/cm.² y si los comparamos con los valores mínimos se tiene que en pila/pilote original solo tiene el 63% y en el caso de las reparaciones es del 56% y comparando ambos se puede notar que el esfuerzo a tensión en reparaciones es un 7% menor con respecto a la pila/pilote original.



V.4 DETECCIÓN DE ARMADOS. [31]

De esta prueba los resultados son los siguientes:

No. de detección	Pila / Pilote	Acero longitudinal	Estribos		*Lecturas de recubrimiento (cm)			
			Diámetro (#)	Separación (cm)	(1)	(2)	(3)	(4)
D-1	(Pila) XXXIII-39D	26v # 12	4	10 a 12	8.5	8.4	8.7	9.2
D-2	(Pila) XXXIII-14A	26v # 12	4	10 a 12	5.6	5.8	5.8	6.0
D-3	Rep. XXI-90-2	n/d	3	14 a 15	12.8	12.4	12.6	13.0
D-4	XIX-42-7	8v # 8	3	16 a 20	5.4	5.5	5.8	6.5
D-5	Rep. XVI-25-6	n/d	n/d	n/d	8.8	9.0	8.5	9.0
D-6	XI-5-3	8v # 8	3	18 a 20	8.2	8.0	8.5	7.8
D-7	X-8-97	8v # 8	3	9 a 12	6.2	5.5	4.8	5.4
D-8	Rep. IX-4-87	n/d	n/d	n/d	12.0	11.8	12.5	13.0
D-9	XVIII-4-76	8v # 8	3	18 a 25	7.4	8.4	7.8	7.0
D-10	Rep. XV-14-33	n/d	n/d	n/d	13.5	12.6	14.0	12.4
D-11	XIV-17-24	8v # 8	3	14 a 17	8.0	8.2	8.0	8.0
D-12	Rep. XIII-17-16	n/d	n/d	n/d	11.0	10.6	10.8	11.0
D-13	Rep. XVII-26-12	n/d	n/d	n/d	13.0	12.2	11.8	13.4
D-14	Rep. I-5-3	n/d	n/d	n/d	10.8	11.0	11.4	11.2
D-15	VII-6-63	8v # 8	3	20	5.3	4.2	5.5	4.6
D-16	VI-5-53	8v # 8	3	8 a 12	4.5	4.8	4.1	3.7
D-17	Rep. V-4-45	n/d	n/d	n/d	14.0	13.2	12.6	13.2
D-18	IV-3-33	8v # 8	3	10 a 12	4.6	4.2	4.8	4.8
D-19	Rep. III-2-23	n/d	n/d	n/d	11.0	11.5	11.6	11.2
D-20	XII-2-6	8v # 8	3	8 a 12	2.2	2.6	2.5	3.2
D-21	XVIII-36-9	8v # 8	3	13 a 15	6.9	7.5	7.5	7.2
D-22	XX-54-2	8v # 8	3	13 a 15	6.8	7.1	5.3	6.0
D-23	XXII-110-3	8v # 8	3	12 a 15	9.6	9.0	9.0	8.7
D-24	(pila) XXIII-113A	8v # 8	3	13 a 16	4.9	5.4	5.0	6.1
D-25	XIV-15-29	8v # 8	3	15 a 18	6.0	6.2	6.2	6.0
D-26	Rep. XXI-96-2B	n/d	n/d	n/d	13.0	12.4	11.9	12.8

* En las áreas reparadas, las lecturas de recubrimiento son para el acero del pilote original



Lecturas de recubrimiento en pilas o pilotes				
Profundidad de 0 a 2,5 cm	Profundidad de 2,5 a 5 cm	Profundidad de 5 a 7,5 cm	Profundidad mayor a 7,5 cm	Total Lecturas
2	15	29	18	64
3.1%	23.4%	45.3%	28.1%	

Lecturas de recubrimiento en reparaciones				
Profundidad de 5 a 7,5 cm	Profundidad de 7,5 a 10 cm	Profundidad de 10 a 12,5 cm	Profundidad mayor a 12,5 cm	Total Lecturas
0	8	17	15	40
0.0%	20.0%	42.5%	37.5%	

El análisis es el siguiente:

Si tomamos en cuenta que las lecturas del recubrimiento en la pilas o pilotes la mayoría esta dentro de un rango de 2 pulg. a 3 pulg. (Cuyo criterio se menciona en la parte IV.6.5) se nota que cumple con los espesores.

Aplicando el criterio de evaluación en las reparaciones también se cumple con lo establecido con anterioridad, ya que la mayoría de los ensayos están en un rango de 4 a 5 pulg.



V.5 CONTENIDO DE CLORUROS. [31]

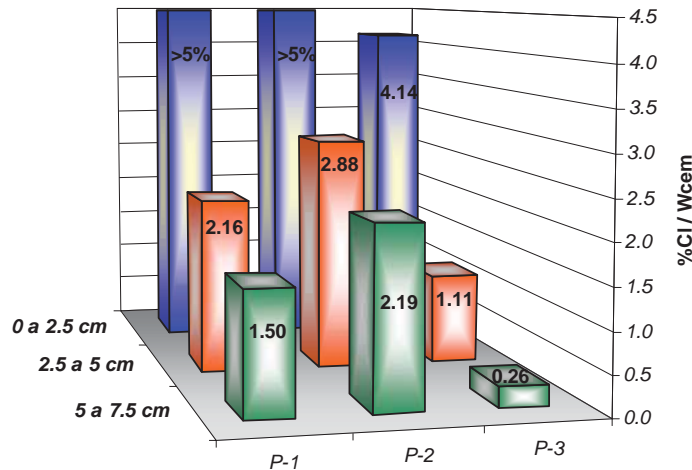
Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Comparativo de lecturas de recubrimiento contra contenido de cloruros

Ubicación	Profundidad de 0 a 2,5 cm		Profundidad de 2,5 a 5 cm		Profundidad de 5 a 7,5 cm		Profundidad > 7,5 cm		Total Lecturas
	No. de lecturas	%	No. de lecturas	%	No. de lecturas	%	No. de lecturas	%	
Pilas / pilotes originales	2	3.1%	15	23.4%	29	45.3%	18	21.1%	64
Cl ⁻ promedio (%/ W _{cem})	5.00%		2.05%		1.18%		n/d		

Ubicación	Profundidad de 5 a 7,5 cm		Profundidad de 7,5 a 10 cm		Profundidad de 10 a 12,5 cm		Profundidad > 12,5 cm		Total Lecturas
	No. de lecturas	%	No. de lecturas	%	No. de lecturas	%	No. de lecturas	%	
Reparaciones	0	0.0%	8	20.0%	17	42.5%	15	37.5%	104
Cl ⁻ promedio (%/ W _{cem})	0.60%		0.39%		0.26%		n/d		

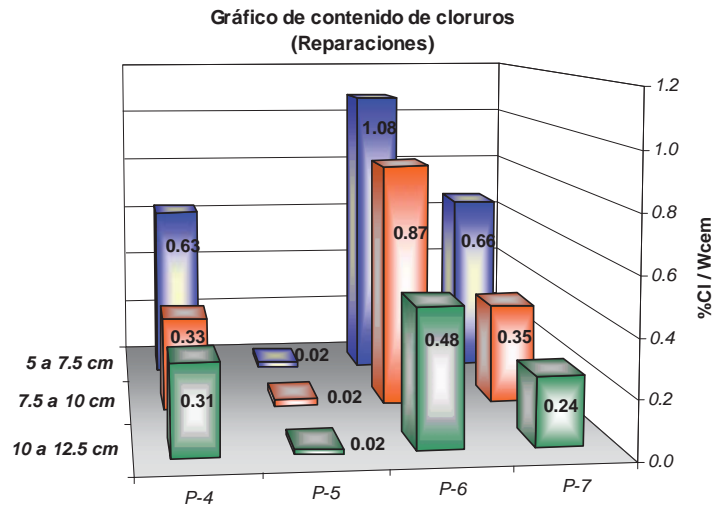
Gráfico de contenido de cloruros (Pila / pilote original)





CONTENIDO DE CLORUROS

No, muestra	Profundidad (cm)	Lectura (mV)	%Cl / W _{concreto}	%Cl / W _{cemento}
En pila / pilote original				
P-1 XVIII-39-7	0 - 2,5	-24.5	> 0.9	> 5.40
	2,5 - 5	1.6	0.36	2.16
	5 - 7,5	10.4	0.25	1.50
P-2 XXIII-23A	0 - 2,5	-23.5	> 0.9	> 5.40
	2,5 - 5	-5.5	0.48	2.88
	5 - 7,5	1.4	0.365	2.19
P-3 VI-8-70	0 - 2,5	-13.1	0.69	4.14
	2,5 - 5	17.3	0.185	1.11
	5 - 7,5	50.7	0.043	0.26
En reparaciones				
P-4 IV-12-34B	5 - 7,5	30.7	0.105	0.63
	7,5 - 10	45.2	0.055	0.33
	10 - 12,5	47.1	0.052	0.31
P-5 I-8-10	5 - 7,5	98.0	0.0034	0.02
	7,5 - 10	94.1	0.0041	0.02
	10 - 12,5	101.3	0.0028	0.02
P-6 XXI-79-2B	5 - 7,5	17.8	0.18	1.08
	7,5 - 10	23.6	0.145	0.87
	10 - 12,5	36.7	0.08	0.48
P-7 XXI-98-1	5 - 7,5	29.8	0.11	0.66
	7,5 - 10	44.3	0.059	0.35
	10 - 12,5	52.6	0.04	0.24
En zona de variación de mareas:				
Pilote original				
P-8 III-8-24	0 - 2,5	-7.3	0.53	3.18
	2,5 - 5	17.0	0.19	1.14
	5 - 7,5	35.2	0.085	0.51
Reparación				
P-9 XI-8-106	0 - 2,5	-25.6	> 0.9	> 5.40
	2,5 - 5	13.3	0.22	1.32
	5 - 7,5	38.6	0.075	0.45
En bloque de reparación para dos pilotes simultáneos:				
P-10 XII-19-2A	0 - 2,5	-29.8	> 0.9	> 5.40
	2,5 - 5	-22.9	> 0.9	> 5.40
	5 - 7,5	-17.4	0.83	4.98
En losa, lecho inferior				
P-11 I (entre 7-3 y 7-2)	0 - 2,5	69.9	0.0155	0.09
	2,5 - 5	92.5	0.0046	0.03
	5 - 7,5	95.2	0.004	0.02
P-12 V (entre 3-47 y 4-47)	0 - 2,5	77.3	0.0105	0.06
	2,5 - 5	82.3	0.008	0.05
	5 - 7,5	85.4	0.0068	0.04
En rampa de acceso al muelle (Tramo 5)				
P-13	0 - 2,5	73.6	0.013	0.08
	2,5 - 5	98.9	0.0032	0.02
	5 - 7,5	99.2	0.0031	0.02



En el caso del contenido de cloruros, para la pila/pilote original, es decir en la zona donde no se cuenta con reparaciones, en todos los comparativos se excede en demasía incluso llegando a sobrepasar el 5% variando el 5% al 1.18% referido al peso del cemento y si aplicamos el criterio de que no debe pasar de un 0.4% se llega al resultado de que se cuenta con un altísimo contenido de cloruros en el concreto lo cual puede llevar a la conclusión de que el acero ya se puede encontrar corroído. Si se hace un análisis semejante al realizado en los índices esclerométricos, el elemento que nos da un mayor contenido de cloruros es el pilote 39-7 del módulo XVIII el cual es un pilote que no cuenta con una reparación previa y que se encuentra delaminado, y el que presenta un menor contenido de cloruros es el pilote 8-10 del módulo I el cual es un pilote con una reparación cuadrada y que no presenta ningún tipo de daño según la inspección preliminar realizada.

Para el caso de los elementos que cuentan con reparaciones el contenido de cloruros no es tan excesivo como el los pila/pilote original sin embargo en algunos casos si se pasa del 0.4% establecido como límite máximo de cloruros referido al peso del cemento.

En donde si se puede notar que no existen problemas de este tipo es en la losa como en la rampa de acceso al muelle en el cual tenemos un valor máximo de 0.09% lo cual no representa riesgo por contenido de cloruros.



V. 6 POTENCIALES DE CORROSIÓN. [31]

LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 1

Pilote XI-8-103

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-70	-65	-60	-88
1.6	-100	-90	-146	-195
1.2	-165	-124	-169	-205
0.8	-272	-350	-275	-360
0.4	-442	-426	-420	-405

Pilote XI-3-103

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-35	-56	-32	-42
1.6	-43	-45	-39	-65
1.2	-156	-138	-124	-134
0.8	-176	-213	-180	-178
0.4	-280	-346	-265	-231

Pilote XI-7-103

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-21	-25	-19	-15
1.6	-20	-18	-30	-25
1.2	-85	-91	-69	-77
0.8	-89	-99	-111	-106
0.4	-178	-268	-169	-165

Pilote XI-1-103

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-32		-28	
1.6	-45		-36	
1.2	-127		-113	
0.8	-205		-189	
0.4	-290		-273	

Pilote XI-5-103

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-27	-35	-32	-30
1.6	-25	-40	-36	-25
1.2	-81	-66	-65	-75
0.8	-195	-208	-204	-267
0.4	-305	-290	-281	-399

Pilote XI-4-103

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-43	-38	-54	-60
1.6	-80	-88	-65	-76
1.2	-145	-136	-158	-143
0.8	-304	-235	-296	-273
0.4	-356	-288	-306	-375

Notas:

Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.

N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento

AR = Altura aproximada de la reparación existente.



LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 2

Pilote VII-7-66

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-43	-36	-47	
1.6	-52	-45	-67	
1.2	-176	-134	-195	AR 1.2m
0.8	-285	-276	-345	
0.4	-360	-346	-455	

Pilote VII-5-66

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-43	-40	-32	-50
1.6	-64	-71	-68	-49
1.2	-158	-175	-175	-192
0.8	-290	-335	-345	-370
0.4	-375	-398	-376	-410

Pilote VII-7-66-A

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-27		-34	
1.6	-46		-43	
1.2	-124		-161	AR 1.2m
0.8	-245		-284	
0.4	-340		-356	

Pilote VII-5-66-A

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-72		-46	
1.6	-45		-59	
1.2	-186		-173	AR 1.2m
0.8	-195		-223	
0.4	-286		-312	

Pilote VII-6-66

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-24	-36	-19	
1.6	-35	-44	-36	
1.2	-112	-142	-140	AR 1.2m
0.8	-243	-305	-196	
0.4	-303	-375	-295	

Pilote VII-6-66-A

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-36		-32	
1.6	-54		-45	
1.2	-138		-126	AR 1.2m
0.8	-187		-152	
0.4	-295		-197	

Notas:

Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.

N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento

AR = Altura aproximada de la reparación existente.



LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 3

Pilote V-8-50

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-47	-68	-60	-75
1.6	-55	-35	-75	-27
1.2	-195	-110	-184	-145
0.8	-320	-335	-330	-445
0.4	-460	-470	-520	-570

Pilote V-4-50

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-54	-105	-75	-90
1.6	-60	-154	-98	-126
1.2	-145	-252	-186	-162
0.8	-187	-318	-278	-252
0.4	-254	-386	-295	-354

Pilote V-7-50

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-70	-95	-45	-55
1.6	-148	-132	-68	-110
1.2	-172	-165	-160	-188
0.8	-354	-350	-345	-350
0.4	-390	-376	-380	-395

Pilote V-3-50

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-47		-61	-74
1.6	-59		-79	-91
1.2	-125		-125	-135
0.8	-202		-208	-219
0.4	-276		-423	-358

Pilote V-6-50

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-47	-63	-72	-74
1.6	-85	-72	-93	-46
1.2	-75	-78	-170	-122
0.8	-160	-158	-235	-220
0.4	-235	-205	-240	-232

Pilote V-5-50

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-65	-70	-45	-34
1.6	-137	-115	-86	-98
1.2	-169	-175	-155	-174
0.8	-295	-365	-338	-354
0.4	-368	-380	-372	-378

Notas:

Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.

N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento

AR = Altura aproximada de la reparación existente.



LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 4

Pilote XV-12-35

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-46	-35	-47	-54
1.6	-88	-74	-63	-60
1.2	-35	-46	-35	-56
0.8	-158	-182	-190	-162
0.4	-375	-394	-395	-402

AR 1m

Pilote IV-9-35

N	S	E	W
-28	-19	-37	-43
-80	-45	-50	-66
-72	-87	-70	-102
-195	-185	-210	-251
-402	-366	-305	-378

AR 1m

Pilote XV-11-35

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-95	-80	-93	-92
1.6	-35	-75	-37	-45
1.2	-105	-180	-155	-144
0.8	-238	-390	-310	-308
0.4	-448	-460	-495	-502

AR 1.3m

Pilote IV-8-35

N	S	E	W
-76	-56	-58	-80
-167	-215	-232	-190
-205	-320	-325	-285
-295	-365	-420	-280
-370	-456	-480	-356

AR 1.5m

Pilote IV-10-35

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-92	-95	-87	-40
1.6	-57	-82	-76	-97
1.2	-125	-165	-266	-162
0.8	-239	-305	-358	-256
0.4	-405	-365	-367	-380

AR 1.3m

Pilote IV-9'-35

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-25	-48	-38	-55
1.6	-122	-248	-304	-280
1.2	-535	-512	-545	-547
0.8	-554	-549	-560	-566
0.4	-575	-585	-580	-575

AR 1.3m

Notas:

Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.

N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento

AR = Altura aproximada de la reparación existente.



LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 5

Pilote XIV-13-20

Altura (m)	N	S	E	W
1.1	-148	-127	-178	-185
0.70	-289	-290	-315	-302
0.35	-387	-391	-365	-350

Trabe					Pilote XIV-13-21
-25	-28	-34	-35	S	
-45	-55	-28	-42	N	

Pilote XIV-13-21

Altura (m)	N	S	E	W
1.1	-137	-120	-250	-165
0.70	-287	-275	-295	-290
0.35	-390	-404	-375	-340

Trabe					Pilote XIV-13-22
-155	-190	-245	-290	S	
-170	-168	-140	-195	N	

Pilote XIV-13-22

Altura (m)	N	S	E	W
1.1	-115	-132	-147	-179
0.70	-230	-285	-245	-275
0.35	-398	-370	-335	-364

Trabe					Pilote XIV-13-23
-23	-39	-185	-190	S	
-45	-30	-180	-126	N	

Pilote XIV-13-23

Altura (m)	N	S	E	W
1.1	-119	-90	-78	-133
0.70	-265	-252	-335	-343
0.35	-490	-483	-523	-511

Trabe					Pilote XIV-13-23
-90	-88	-125	-75	S	
-110	-95	-109	-87	N	

AR 0.6m

Pilote XIV-13-24

Altura (m)	N	S	E	W
1.1	-95	-104	-86	-79
0.70	-240	-192	-223	-178
0.35	-385	-358	-432	-394

Notas:

Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.

N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento

AR = Altura aproximada de la reparación existente.



LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 6

Pilote I-7-7

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-68	-75	-90	-76
1.6	-42	-39	-25	-60
1.2	-27	-45	-50	-75
0.8	-118	-115	-145	-160
0.4	-245	-293	-285	-275

AR 1m

Pilote I-7-6

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-100	-74	-65	-78
1.6	-85	-115	-140	-90
1.2	-284	-295	-170	-224
0.8	-314	-312	-324	-336
0.4	-353	-382	-245	-385

AR 1m

Pilote I-7-5

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-35	-47	-45	-37
1.6	-55	-37	-72	-75
1.2	-95	-117	-198	-109
0.8	-195	-160	-182	-225
0.4	-566	-545	-498	-515

AR 1.2m

Pilote I-7-4

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-35	-48	-44	-53
1.6	-65	-57	-89	-88
1.2	-154	-138	-146	-186
0.8	-225	-283	-205	-237
0.4	-355	-363	-325	-340

AR 1.2m

Pilote I-7-3

Altura (m)	N	S	E	W
2.0				
1.6	-59	-75	-64	-90
1.2	-122	-105	-98	-111
0.8	-198	-293	-280	-302
0.4	-315	-345	-365	-380

AR 0.8m

Trabe → Pilote I-7-2

-170	-155	-202	-194	S
-154	-138	-180	-167	N

Pilote I-7-2

Altura (m)	N	S	E	W
2.0				
1.6				
1.1	-52	-66	-39	-45
0.70	-305	-296	-312	-280
0.35	-435	-395	-431	-412

AR 0.9m

Trabe → Pilote I-7-1

-354	-270	-249	-206	S
-288	-306	-227	-193	N

Pilote XIV-13-24

Altura (m)	N	S	E	W
2.0				
1.6				
1.1		-63		-54
0.70		-223		-196
0.35		-375		-311

AR 0.9m

Notas:

Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.

N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento

AR = Altura aproximada de la reparación existente.



LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 7

Pilote XVIII-38'-10

Altura (m)	Pilote XVIII-38'-10				Trabe → Pilote XVIII-38-10					
	N	S	E	W					S	
1.2										
0.9		-55	-40	-62						
0.6		-135	-120	-148						
0.3		-232	-227	-254						
		-308	-325	-346						

Pilote XVIII-38-10

Altura (m)	Pilote XVIII-38-10			
	N	S	E	W
1.2		-178	-212	-197
0.9		-353	-316	-322
0.6		-395	-393	-358
0.3		-510	-508	-478

Pilote XVIII-38-10A

Altura (m)	Pilote XVIII-38-10A				Trabe → Pilote XVIII-38-9					
	N	S	E	W					S	
1.2										
0.9		-35	-27							
0.6		-145	-160							
0.3		-370	-267							
		-501	-455							

Pilote XVIII-38-9

Altura (m)	Pilote XVIII-38-9			
	N	S	E	W
1.2		-233	-160	-205
0.9		-352	-333	-345
0.6		-480	-445	-453
0.3		-538	-550	-515

Pilote XVIII-38'-9

Altura (m)	Pilote XVIII-38'-9				Trabe → Pilote XVIII-38-8					
	N	S	E	W					S	
1.2										
0.9		-67	-56	-50						
0.6		-168	-165	-172						
0.3		-260	-256	-240						
		-385	-360	-372						



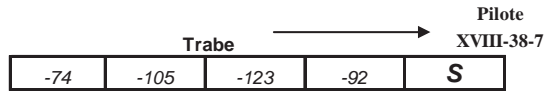
Pilote XVIII-38-8

Altura (m)	N	S	E	W
1.2		-42		-47
0.9		-191		-208
0.6		-251		-303
0.3		-365		-372

AR 1m

Pilote XVIII-38-8A

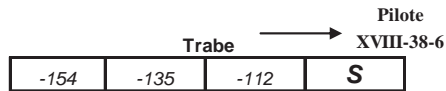
Altura (m)	N	S	E	W
1.2		-65	-70	-56
0.9		-176	-198	-135
0.6		-225	-290	-196
0.3		-334	-365	-340



Pilote XVIII-38-7

Altura (m)	N	S	E	W
1.2		-115	-112	-99
0.9		-215	-206	-190
0.6		-390	-310	-363
0.3		-435	-490	-380

AR 1.3m



Notas:

Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.

N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento

AR = Altura aproximada de la reparación existente.



LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 8

Pilote XX-51-3

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-243	-234	-318	
1.6	-294	-322	-264	AR 1.9m
1.2	-256	-330	-280	
0.8	-265	-360	-300	
0.4	-296	-402	-355	

Pilote XX-54-3

Altura (m)	N	S	E	W
2.0				
1.6		-275	-286	AR 1.9m
1.2		-256	-254	
0.8		-268	-283	
0.4		-322	-324	

Pilote XX-52-3

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-230	-242	-371	
1.6	-279	-287	-332	AR 1.9m
1.2	-261	-250	-274	
0.8	-265	-265	-260	
0.4	-321	-390	-385	

Pilote XX-54-3A

Altura (m)	N	S	E	W
2.0				
1.6	-194	-215	-240	AR 1.9m
1.2	-215	-229	-245	
0.8	-269	-278	-280	
0.4	-387	-341	-365	

Pilote XX-52-3B

Altura (m)	N	S	E	W
2.0				
1.6	-297	-309	-328	AR 1.9m
1.2	-306	-320	-338	
0.8	-345	-347	-365	
0.4	-487	-420	-410	

Pilote XX-53-3

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-380	-410	-285	
1.6	-180	-222	-164	AR 1.9m
1.2	-270	-341	-250	
0.8	-311	-309	-355	
0.4	-350	-358	-333	

Notas:

Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.

N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento

AR = Altura aproximada de la reparación existente.



LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 9

Pilote XXII-104-3

Altura (m)	N	S	E	W
2.0		-27	-45	
1.6		-69	-117	
1.2		-160	-198	
0.8		-235	-283	
0.4		-295	-390	

RTA

Pilote XXII-106'3

N	S	E	W
-85	-110	-97	
-142	-131	-195	AR 1.7m
-280	-157	-275	
-346	-284	-330	
-460	-324	-384	

Pilote XXII-104-3B

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-110		-95	-152
1.6	-201		-209	-166
1.2	-275		-284	-233
0.8	-396		-390	-346
0.4	-533		-570	-475

RTA

Pilote XXII-107-3

N	S	E	W
-65		-72	
-138		-197	
-245		-260	
-324		-340	
-380		-402	

RTA

Pilote XXII-105-3

Altura (m)	N	S	E	W
2.0	-64	-152	-134	
1.6	-123	-132	-170	
1.2	-147	-185	-198	
0.8	-189	-195	-210	
0.4	-320	-255	-230	

RTA

Pilote XXII-107-3

N	S	E	W
-112	-134	-112	
-138	-165	-108	
-185	-191	-176	
-235	-263	-198	
-352	-375	-289	

RTA

Pilote XXII-106-3B

Altura (m)	N	S	E	W
2.0		-188	-200	
1.6		-195	-209	
1.2		-219	-232	
0.8		-270	-355	
0.4		-366	-390	

RTA

Notas:

Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.
N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento
AR = Altura aproximada de la reparación existente.
RTA = Reparación existente en toda la altura.



LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 10

Pila XXIII-37. Table with columns N, NE, E, SE, S, SW, W, NW and rows for heights 2.0, 1.6, 1.2, 0.8, 0.4. Includes a secondary table for 'Trabe' with values -96, -134, -122, -143, -78, -89, -105, -112.

Pila XXIII-37C. Table with columns N, NE, E, SE, S, SW, W, NW and rows for heights 2.0, 1.6, 1.2, 0.8, 0.4. Includes a secondary table for 'Trabe' with values -45, -66, -43, -90, -55, -72, -75, -56.

Pila XXIII-37A. Table with columns N, NE, E, SE, S, SW, W, NW and rows for heights 2.0, 1.6, 1.2, 0.8, 0.4.

Notas:
Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.
N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento

LECTURAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN (mV)
SERIE 11

Pila XXIII-14. Table with columns N, NE, E, SE, S, SW, W, NW and rows for heights 2.0, 1.6, 1.2, 0.8, 0.4. Includes a secondary table for 'Trabe' with values -45, -64, -75, -58, -69, -77, -98, -79.

Pila XXIII-14C. Table with columns N, NE, E, SE, S, SW, W, NW and rows for heights 2.0, 1.6, 1.2, 0.8, 0.4. Includes a secondary table for 'Trabe' with values -102, -115, -99, -88, -111, -143, -134, -97.

Pila XXIII-14A. Table with columns N, NE, E, SE, S, SW, W, NW and rows for heights 2.0, 1.6, 1.2, 0.8, 0.4.

Notas:
Alturas aproximadas, referidas al nivel máximo de marea.
N,S,E,W = Punto cardinal al que apunta la cara del elemento



Analizando los resultados de los potenciales de corrosión en los elementos se tiene lo siguiente:

El 80% de los pilotes que se analizaron presentan un riesgo del 90% de que exista corrosión y en el otro 20% se presenta un 50% de probabilidad de que exista ya que esta es la condición de incertidumbre según lo presentado en el capitulo de las pruebas realizadas.

En el caso de las pilas que se analizaron se tiene que el 100% de ellas tiene un porcentaje del 90% de probabilidad que exista la corrosión ya que en todas se tienen lecturas mas negativas que 350.

También se observa que los potenciales mas negativos, es decir, con mayor riesgo de corrosión se presentan en la llamada zona de splash (zona del pilote donde se tiene los niveles de marea tanto máximo como mínimo) y la cual también coincide con las alturas de las reparaciones ya existentes.



CAPÍTULO VI

PROPUESTAS DE SOLUCIÓN



VI.- PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Los métodos de rehabilitación son usados para restaurar un componente a un nivel aceptable de servicio y mitigar o parar el proceso responsable del deterioro. ^[25]

Después de haber detectado el daño por corrosión en una estructura, es necesario emprender acciones para repararla o alargar su vida residual. Debido a su carácter electroquímico la corrosión puede ser evitada o minimizada si se logra controlar el proceso anódico o el catódico o la movilidad de iones entre la región catódica y la anódica. En otras palabras lo que se trata es eliminar alguno de los componentes de la celda de corrosión. ^[14]

Entre los sistemas de reparación o protección están la técnica de reparación por parcheo, las técnicas electroquímicas de realcalinización y remoción de cloruros, la protección catódica y el uso de los inhibidores de corrosión. ^[14]

VI.1 REPARACIÓN POR PARCHEO.

Un sistema completo de reparación por parcheo incluye, por lo general, la remoción del concreto dañado, la limpieza del acero, la aplicación de un agente de unión que incremente la adherencia entre el mortero o lechada de reparación y el concreto viejo, la reconstitución de la sección de la estructura por medio de la aplicación de un mortero o lechada y, por último la aplicación de una pintura superficial para evitar la entrada de agentes agresivos. ^[14]

Los materiales tradicionalmente usados son los basados en el cemento Pórtland, como la pasta de cemento, empleada en protecciones temporales del refuerzo expuesto a la intemperie, y el mortero tradicional de cemento y arena, pero debido a la retracción, las reparaciones hechas con estos materiales no logran buenos resultados. ^[14]

Pero si a los materiales tradicionales se les añaden aditivos especiales como superplastificantes y adiciones de minerales como la microsílíce, se obtienen materiales que son empleados en la producción de morteros de reparación e imprimaciones. ^[14]

Los parches tienen una vida relativamente corta por que al hacerlos no se enfrenta a la causa de del problema (corrosión del acero de refuerzo) sino a los síntomas (delaminaciones). Cuando se deja concreto contaminado con cloruros mas allá del límite máximo permitido, se acelera la velocidad de deterioro de las áreas circundantes al parche ya que el área parchada actúa como un cátodo y se forman celdas de corrosión.



Cuando se realiza una rehabilitación completa, donde todo el concreto delaminado y dañado y el concreto contaminado por cloruros y/o carbonatado es removido y se aplica un sellador o recubrimiento periódicamente el elemento rehabilitado, se pueden esperar vidas de aproximadamente 50 años. ^[25]

VI.2 ENCAMISADO DE SUBESTRUCTURAS Y SUPERESTRUCTURAS.

El método de encamisado se usa en columnas o en elementos severamente dañados para restaurar su capacidad estructural. El concreto dañado es removido y se coloca nuevo concreto para llenar las cavidades reparadas y proporcionar una capa de concreto sobre el elemento encamisándolo completamente.

El espesor de la capa del encamisado es de 20.3 cm. como no se consideran las causas de deterioro cuando se emplea este método, por lo tanto la vida en servicio es limitada. La mejor vida estimada para subestructuras y superestructuras con encamisados es de 10 a 20 años sin importar las condiciones de exposición. La vida en servicio estimada para este método de rehabilitación puede llegar a 50 años. ^[25]

VI.3 SELLADORES Y RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES.

Los selladores y recubrimientos superficiales son utilizados con el fin de tratar de prevenir la difusión de los iones cloruro en el concreto.

VI.3.1 Selladores.

Son solventes o líquidos base agua aplicados a la superficie previamente preparada. Existen dos categorías de selladores las cuales son utilizadas actualmente: selladores penetrantes y selladores superficiales. Los penetrantes, donde se incluyen a los xilianos y xiloxanos, reaccionan con las paredes de los poros del concreto endurecido para crear una superficie no húmeda. Los selladores de tipo superficial, por otra parte, bloquean los poros e incluyen materiales epóxicos o aceite de linaza, con contenidos en sólidos por debajo del 50% en peso.

Los selladores penetrantes previenen el ingreso de agua al concreto, pero generalmente son permeables al vapor de agua. La permeabilidad de los selladores es una propiedad muy deseable, dado que previene que la humedad se quede atrapada dentro del concreto cuando este es sellado. Al secarse el concreto, la resistividad se incrementa significativamente, lo que inhibe la corrosión aún más.

Varias condiciones ambientales pueden influenciar la vida útil de los selladores. Estas incluyen la radiación ultravioleta, la humedad relativa y la acción del tránsito.



La vida útil de los selladores de penetración, es de 5 a 7 años. Típicamente, los selladores penetrantes deben ser reaplicados cada 6 años.

VI.3.2 Recubrimientos.

Un recubrimiento es un líquido orgánico de uno o dos componentes (tales como epóxicos, acrílicos, metacrilatos y uretanos). Son aplicados en una o dos capas a una superficie reparada. El principal objetivo de los recubrimientos es evitar el paso de humedad y por tanto de iones cloruro hacia el concreto. A diferencia de los selladores, los recubrimientos tienen una permeabilidad baja al vapor de agua.

La selección del recubrimiento se realiza en función de las condiciones individuales del sistema a proteger. Para el caso de los cubrimientos para el acero de refuerzo, uno de los mecanismos más comunes para protegerlo contra la corrosión es recubrirlo con materiales que funcionan como una barrera física hacia reactivos dañinos.

Los recubrimientos para el acero de refuerzo se clasifican en dos categorías:

- 1.- Aquellos aplicados al acero de refuerzo antes de su instalación en una estructura de concreto nueva. (Principalmente la fusión de epóxicos y zinc, como por ejemplo el acero galvanizado).
- 2.- Aquellos aplicados al acero de refuerzo con el propósito de rehabilitación o reparación de estructuras dañadas (como por ejemplo recubrimientos poliméricos y epóxicos modificados).^[25]

La superficie del acero anterior a la aplicación de recubrimientos de reparación es de primordial importancia. Una adecuada preparación superficial es esencial para obtener la máxima adhesión posible.

Existen diversos materiales de reparación por recubrimientos, entre los que destacan:

- 1.- Cemento modificado con polímeros.
- 2.- Epóxicos no pasivantes.
- 3.- Epóxicos pasivantes.
- 4.- Epóxicos ricos en zinc.
- 5.- Recubrimientos base agua enriquecidas con zinc.

VI.4 INHIBIDORES.

Los inhibidores son sustancias químicas usadas para controlar la corrosión de metales en ambientes agresivos. Se han usado extensivamente por muchas décadas. A fines de los 70's el nitrito de calcio fue identificado como un inhibidor



efectivo en el concreto reforzado y desde entonces ha dominado el mercado. En los 80's surgieron los compuestos orgánicos que tenían como base las aminas. Existen básicamente 2 tipos de productos: los inorgánicos (basados principalmente en el nitrito de calcio) y los orgánicos que incluyen una amina orgánica de base agua y los hidrocarburos oxigenados. ^[25]

El principio del funcionamiento de los inhibidores es formar en la superficie misma de los electrodos de la pila causante de la corrosión, un compuesto insoluble, o bien la fijación de una determinada materia orgánica, con el objeto de polarizar la pila de corrosión. ^[32]

El comportamiento de los inhibidores puede ser muchas veces peligroso, ya que en función de la concentración o de las circunstancias, pueden jugar tanto el papel de inhibidores como de estimuladores de la corrosión. ^[32]

El empleo de los inhibidores de la corrosión, entra dentro del control de ésta por modificación del medio ambiente. Los ambientes más comunes asociados con la corrosión son de tres tipos: aguas, la atmósfera y los suelos. ^[32]

Los problemas de corrosión pueden evitarse mediante una adecuada selección de materiales, diseños y técnicas de fabricación. Sin embargo, suele ocurrir que en numerosas aplicaciones es más económico modificar el medio corrosivo que el material. Esto es particularmente cierto cuando el medio corrosivo tiene poco volumen o cuando se trata de una situación temporal. ^[13]

Ventajas y desventajas de los inhibidores inorgánicos:

La efectividad de los nitritos como inhibidores de la corrosión de acero embebido en concreto se ha establecido con base en un número de estudios independientes, sin embargo existen ventajas y desventajas en el uso del nitrito de calcio.

Ventajas:

1. Son totalmente compatibles con el cemento portland y puede usarse durante la mezcla.
2. No requieren de mantenimiento después de su instalación.
3. Se pueden utilizar en prácticamente cualquier tipo de estructura de concreto incluyendo el concreto reforzado, prevaciado y presforzado.
4. En ciertas aplicaciones los nitritos pueden actuar como acelerante y como inhibidor.
5. Los nitritos se comparan favorablemente con otros sistemas de protección respecto a costos, versatilidad y facilidad de aplicación.
6. Los nitritos en forma de solución, pueden usarse en concreto contaminado por cloruros sin mucha necesidad de preparación superficial o necesidad de exposición de las varillas corroídas.



Desventajas:

1. La propiedad acelerante del nitrito de calcio puede crear dificultades en la instalación, acabado y curado del concreto bajo ciertas condiciones tales como la alta temperatura ambiental y el uso de cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico (C_3A).
2. Los nitritos en el concreto incrementan la pérdida de revenimiento.
3. No obstante los nitritos inherentemente incrementan la resistencia del concreto, tienen el efecto de reemplado debido a la rigidización del concreto tratado.
4. Debido a que la cantidad de nitritos requerida para proteger al acero es dictada por la cantidad de cloruros que pueden introducirse en el concreto, se requiere hacer estimaciones cuidadosas para cuantificar la cantidad de inhibidor requerido en cada situación particular.

Ventajas y desventajas de los inhibidores orgánicos:

Ventajas:

1. Se pueden utilizar como elementos mezclados en el concreto o como recubrimientos penetrantes.
2. Son muy eficientes, fáciles de instalar y económicos.
3. No presentan efectos nocivos sobre las propiedades del concreto tales como tiempo de curado, revenimiento o rigidez del concreto cuando se usan como aditivos.
4. Cuando se utilizan como aditivos, reducen el ingreso de iones cloruro, también de los iones sulfatos.
5. Cuando se utilizan como recubrimientos no se requiere remover el concreto, tan solo es necesario la limpieza superficial.
6. Son sustancias base agua, fácil de manejar y usar y son ecológicamente seguros.
7. Si se usan como recubrimiento, pueden ser aplicados directamente sobre la estructura mediante rociado o pintado con brocha.

Desventajas:

1. No trabajan bien en sistemas con relaciones agua/cemento bajas debido a la estructura porosa mas compacta.
2. Producen un ligero decremento en la resistencia del concreto.
3. La forma de recubrimiento no puede ser utilizado por debajo de los $2^{\circ}C$, y el material no debe ser aplicado a estructuras en las que la temperatura baje mas de $2^{\circ}C$ en las 12 horas posteriores a su aplicación.
4. La superficie del concreto debe estar perfectamente seca antes de la aplicación del inhibidor como recubrimiento. ^[25]



VI.5 EXTRACCIÓN ELECTROQUÍMICA DE CLORUROS.

El principio de la extracción de cloruros es similar al de protección catódica, la mayor diferencia es la magnitud de la corriente utilizada, la cual es de alrededor de 50 a 500 veces al que se ocupa en protección catódica. La cantidad total de carga aplicada para la extracción de cloruros es la misma que se pudiera utilizar en un sistema de protección catódica durante 10 años. Otra diferencia importante es que la extracción de cloruros es un tratamiento de corto tiempo. La extracción es aplicable en estructuras donde existe corrosión activa, pero sólo ocurren daños menores al concreto, el acero no es de pre-esfuerzo y se desea prolongar la vida de la estructura de 5 a 10 años.

La extracción de cloruros se lleva a cabo al aplicar una corriente entre un ánodo y un electrolito de la superficie de la estructura y se hace pasar una corriente directa entre el ánodo y el acero de refuerzo, el cual funciona como un cátodo. La conducción de corriente directa es realizada por el movimiento de los iones cargados. Como los aniones migran hacia el polo positivo, es posible que los iones cloruro migren alejándose de la varilla. La velocidad a la que se realiza este proceso depende de la magnitud de la corriente aplicada.

Las reacciones involucradas en el sistema resultan en un importante beneficio adicional, el aumento de la alcalinidad del concreto, ya que se producen iones hidroxilo, lo cual tiende a repasar el acero y ayuda a prevenir el regreso de la corrosión, sin embargo, en algunos casos se produce la evolución del hidrógeno, lo que puede causar la fragilización de la varilla de refuerzo. ^[25]

Dentro de las condiciones de operación para la extracción de cloruros se destacan las siguientes:

Criterios requeridos:

- Corrosión inducida por cloruros.
- Acero sin condición de pre-esfuerzo.
- Sistema sin agregados con álcalis reactivos.
- Continuidad razonable en el acero.
- Resistividad del concreto no muy elevada.

Criterios deseados:

- Daño mínimo en el concreto.
- Sin recubrimientos externos.
- Mínimo de acero expuesto.
- Interrupciones mínimas al tránsito.
- Corriente alterna disponible.



- Continuidad excelente en el acero.
- Baja resistividad del concreto.
- Geometría simple.
- Corrosión inducida por cloruros.

De esta forma, para que una estructura sea candidata a aplicársele la extracción de cloruros debe presentar corrosión activa hasta el nivel de la armadura. Aunque es posible realizar la extracción de cloruros antes de que la corrosión empiece, el beneficio de este tratamiento es cuestionable. ^[25]

VI.6 PROTECCIÓN CATÓDICA.

La protección catódica se puede definir como la única técnica que reduce la corrosión de una superficie metálica, haciendo circular por la misma superficie corriente catódica, de tal forma que la velocidad de la disolución anódica llega a ser despreciable. Desde un punto de vista simple, corresponde al empleo de corriente continua proveniente de una fuente externa, que se opone a una corriente de corrosión en las áreas anódicas de una estructura metálica sumergida en un medio conductor, o electrolito, tal como el suelo o el agua. Cuando un sistema catódico está instalado en forma apropiada, toda la porción de estructura protegida, recoge corriente del electrolito que la rodea y toda la superficie expuesta se comporta como una sola área catódica; de aquí su nombre. ^[10]

Los sistemas de protección catódica pueden ser agrupados en dos tipos básicos: sistemas de corriente impresa y sistemas de ánodos galvánicos. En ambos tipos el acero de refuerzo es forzado a funcionar como cátodo.

La protección catódica por corriente impresa se logra imprimiendo una corriente directa de bajo voltaje de un ánodo relativamente inerte, a través del concreto, hasta el acero de refuerzo. Se aplica una corriente directa de suficiente magnitud y dirección que se opone al flujo de corriente natural resultante del proceso de corrosión electroquímico. La corriente directa es proporcionada por una fuente externa de poder, generalmente un rectificador.

La protección catódica por ánodos galvánicos se basa en el principio de corrosión de metales disímiles y la posición relativa de materiales específicos en la serie galvánica. No se requiere fuente de poder externa y se necesita mucho menos mantenimiento que el sistema de protección por corriente impresa. ^[25]

Los ánodos galvánicos o de sacrificio, son aleaciones de alta pureza de magnesio, cinc y aluminio, los cuales exhiben potenciales lo suficientemente altos que desarrollan usualmente un flujo de corriente a través del electrolito hacia la estructura a proteger. ^[10]



El empleo de aleaciones de aluminio como ánodos galvánicos en la actualidad está limitado al agua de mar o a salmueras en donde funcionan muy bien. Se han realizado ensayos de empleo de ánodos de aluminio en ampliaciones de suelos, pero se ha encontrado que no son prácticos para este tipo de trabajo.^[10]

Los ánodos de magnesio son los de uso más amplio en aplicaciones de suelo, debido a su elevado potencial impulsor. Los ánodos de cinc encuentran su mayor aplicación en agua y en suelos de baja resistividad.^[10]

En general los ánodos galvánicos se emplean cuando la cantidad de corriente protectora que se necesita es pequeña o debe estar bien distribuida, por ejemplo a lo largo de una tubería desnuda. Sin embargo, existen límites, el agua y el suelo deben tener la suficiente baja resistividad como para que la corriente generada por el ánodo sea de uso práctico. Por otra parte, los sistemas de corriente impresa, son capaces de generar mucho más corriente en un medio dado, pero requiere una fuente de poder externa.^[10]

Ventajas y desventajas de la corriente impresa.

Las principales ventajas que se derivan del tiempo de corriente impresa sobre la técnica de ánodos de sacrificio son las siguientes:

- Utilización de menor número de ánodos y larga duración con las ventajas que ello supone a trabajos de inspección y mantenimiento del sistema de protección catódica.
- Posibilidad de alcanzar, sin grandes dificultades, el potencial e intensidad de corriente de protección, aún en medios poco conductores.
- Fácil ajuste del potencial de protección, frente a condiciones cambiantes del medio, particularmente en el caso de los sistemas automáticos.

Entre los inconvenientes figuran:

- Costos de instalación más elevados, necesitando una fuente externa de corriente.
- Posibilidad de causar interferencia con estructuras metálicas vecinas.
- Peligro de sobre protección en zonas próximas a los ánodos.
- Exige tanto para su instalación como para los trabajos de inspección y mantenimiento la presencia de técnicos especializados.

Un cuidadoso estudio de cada caso, tomado en consideración los factores económicos, tales como costos de aplicación y mantenimiento, vida útil del sistema, y circunstancias experimentales imperantes, decidirán el sistema.^[10]



CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES



VII. CONCLUSIONES

La importancia que tienen los puertos en México como en cualquier país es muy alta, ya que sirven como enlace tanto para actividad mercante como para la actividad turística, y es por ello que se deben de mantener siempre en condiciones optimas, para que cumplan con las funciones para las cuales fueron concebidos.

La inspección preliminar en los procesos de rehabilitación o restauración de muelles es muy importante, ya que mediante ella podemos tener una idea de las condiciones en las que se encuentra la estructura, para saber que es necesario hacer para restablecer sus capacidades tanto estructurales como funcionales.

En lo que respecta a las pruebas realizadas se puede notar que en la capacidad de carga del concreto no esta afectada aun al paso del tiempo sino que cumple con las condiciones de servicio, ya que las pruebas destructivas como no destructivas nos permiten saber que por lo menos estructuralmente si soporta la acción de las cargas que pueden pasar en este muelle.

En los valores del contenido de cloruros se concluye que si se tienen valores altos de acuerdo a lo establecido como valores máximos permisibles, sin embargo no estamos ante algo que no tenga solución solamente hay que considerar y analizar minuciosamente los resultados.

En las mediciones de los potenciales de corrosión también se observa que los potenciales mas negativos, es decir, con mayor riesgo de corrosión se presentan en la llamada zona de splash (zona del pilote donde se tiene los niveles de marea tanto máximo como mínimo) y la cual también coincide con las alturas de las reparaciones ya existentes.



CAPÍTULO VIII GLOSARIO DE TÉRMINOS



Agua de amasado.- Agua que se utiliza para lograr la mezcla homogénea de los materiales que componen en concreto.

Ánodo.- Zona del metal donde tiene lugar la reacción de oxidación. Lugar donde se produce la corrosión de la armadura.

Cabotaje.- Movimiento de carga por vía marítima entre puertos de un mismo país.

Carbonatación.- Proceso en el que el dióxido de carbono de la atmósfera reacciona con los componentes alcalinos de la fase acuosa del concreto y da lugar a una neutralización de todo el material, provocando una disminución del pH del concreto.

Cátodo.- Zona del metal donde tiene lugar la reacción de reducción.

Capa pasivante.- Películas invisibles, de óxidos, oxígeno adsorbido o, en algunos casos de naturaleza desconocida, que al formarse reducen la velocidad de corrosión, al impedir el contacto directo con del material metálico con el medio agresivo.

Cloruro enlazado o ligado.- Este es el cloruro combinado con las diferentes fases o compuestos de la pasta de cemento, de los cuales el principal es el aluminato tricálcico.

Cloruros libres.- Son los solubles en agua y éstos son los que presentan un riesgo para el acero de refuerzo al alcanzar niveles críticos y causar su despasivación.

Cloruros totales.- Están representados por la sumatoria del cloruro enlazado y el cloruro libre.

Coqueras.- Espacios vacíos de corta extensión en el concreto, producto de un mal colado del elemento.

Corrosión.- Oxidación destructiva de un metal o aleación por el medio que lo rodea.

Delaminación.- Se caracteriza por presión interna en el concreto a causa de la corrosión del acero o bien por la falta de adherencia entre el acero y el concreto.

Durabilidad.- Término que, referido a una pieza o estructura metálica, indica la vida en servicio remanente de la misma.

Eflorescencia.- Sal soluble en agua exudada y depositada en el interior del concreto.

Electrodo.- Conductor electrónico, normalmente metálico, por medio del cual se proporcionan los electrones necesarios a una reacción, o se consumen los electrones resultantes de la misma.

Factor de las picaduras: Es la relación entre la penetración de la picadura mas profunda y la penetración media calculada a partir de pérdida de peso del material.

Herrumbre.- Producto de corrosión del hierro y aleaciones de base hierro, de color pardo rojizo, compuesto principalmente por óxido férrico hidratado.

Humedad relativa.- Es la relación expresada en porcentaje, entre la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera a una temperatura dada y la cantidad requerida para la saturación a la temperatura indicada.

Ion.- Un átomo o grupo de átomos con carga eléctrica.



Inhibidor de corrosión.- Sustancia o mezcla de sustancias capaces de reducir de manera eficaz la velocidad de de corrosión de un material metálico.

Imprimación.- Primera capa de pintura, aplicada para inhibir la corrosión o mejorar la adherencia de la capa siguiente.

Lixiviación.- Proceso de extracción de componentes solubles, por percolación del agua, a través del concreto.

Mapa de potenciales.- Son líneas de isopotencial que se dibujan sobre la superficie evaluada con la finalidad de establecer el área de cambio de potencial.

Oxidación.- Pérdida de electrones de un metal/aleación en una reacción.

Pasivación.- Reducción de la velocidad de oxidación de un metal, por la formación de productos de reacción sobre su superficie.

pH.- Medida de la acidez o alcalinidad de una solución.

Picaduras: Corrosión de una superficie del metal, confinada a un punto o a un área pequeña, que toma la forma de cavidades. ^[19]

Potencial electroquímico.- Es el potencial eléctrico de un metal, relativo a un electrodo de referencia, medido bajo condiciones de circuito abierto.

Reducción.- Proceso químico o electroquímico en el cual una sustancia gana electrones.

Vida residual.- Se llama así al período de tiempo en el que la estructura ya dañada, va perdiendo progresivamente sus prestaciones mecánicas.

Vida útil.- Periodo en que la estructura conserva los requisitos de del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento.



CAPÍTULO IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



[1] Antecedentes históricos y condiciones de desarrollo de la Marina Mercante Mexicana. [En línea]. [México]. Disponible en World Wide Web: <http://www.cddhcu.gob.mx/comisiones/marina/mercante/mamer.htm> "fecha de publicación desconocida". [Citado octubre 24, 2006]. [aprox. 7 pantallas]

[2] KASSIAN Díaz, Francisco. LA IMPORTANCIA DEL TRANSPORTE INTEGRADO MULTIMODAL EN PUERTOS Y TERMINALES. [En línea]. México. Disponible en World Wide Web: <http://banobras.gob.mx/ponencias/2.html>. 27 de julio 2001. [Citado octubre 24, 2006], [aprox. 2 pantallas]

[3] GOMEZ Rocha, Florencia. Situación actual de la infraestructura de comunicaciones y transportes en México. Asociación Nacional del Transporte Privado [En línea]. [México]. Octubre-Noviembre 2002. Disponible en internet: <http://www.antp.org.mx/rev/octnov02/saicym.html> [Citado octubre 24, 2006], [aprox. 2 pantallas]

[4] Administración Portuaria Integral de Guaymas S.A de C.V. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. México 2006. Disponible en World Wide Web: <http://www.puertodeguaymas.com/index1.asp> [Citado octubre 2, 2006].

[5] www.ontheroadin.com/.../mapa%20guaymas.htm México 2006

[6] Copyright-©2003.www.TURISMOSONORA.com-Derechos Reservados. [en línea]. [México]. Disponible en World Wide Web: <http://www.turismosonora.com/guaymas/historia.php> [Citado octubre 2, 2006]

[7] Bunker's de México S.A. de C.V. [en línea]. [México] Disponible en World Wide Web: <http://www.bunkers.com.mx/sflash/esp/guaymas.html>, "Fecha de publicación desconocida" [Citado octubre 3, 2006].

[8] Cámara Mexicana de la Industria del Transporte Marítimo, [en línea]. México D.F. 2006, Disponible en World Wide Web: <http://www.cameintram.org.mx/guaymas.htm>, [Citado octubre 3, 2006], [aprox. 2 pantallas].

[9] MARTNER Peyrelongue, Carlos. Redes multimodales y articulación territorial del puerto de Guaymas. Región y Sociedad. VOL. XIV. NO. 23.2002, revisado abril de 2001. Disponible en World Wide Web: http://lanic.utexas.edu/project/etext/colson/23/23_1.pdf#search=%22CABOTAJE%20EN%20PUERTO%20DE%20GUAYMAS%22 [Citado octubre 4, 2006], pp. 18, Derechos reservados de El Colegio de Sonora, ISSN 0188-7408



[10] La Corrosión. "Lugar de publicación desconocido". Disponible en World Wide Web: http://html.rincondelvago.com/corrosion-de-materiales_1.html, "Fecha de publicación desconocida", [citado octubre 4, 2006], [aprox. 2 pantallas].

[11] ESTUDIO DE LA CORROSIÓN. [En línea]. "Lugar de publicación desconocido". Disponible en World Wide Web: http://www.fisicanet.com.ar/quimica/q3ap01/apq3_20c_Corrosion.php, "Fecha de publicación desconocida", [citado octubre 4, 2006], [aprox. 2 pantallas].

[12] TROCONIS de Rincón, O., Romero de Carruyo, A., Andrade, C., Helene, P., et al. MANUAL DE INSPECCIÓN, EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. CYTEC. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 3ª Edición, Agosto de 2000. ISBN 980-296-541-3. pp. 18 – 27, 28 – 47, 68 – 82, 97 – 128, 196 – 204.

[13] BERNARDO, Carlos. Metalurgia y electroquímica: Corrosión Electroquímica. [En Línea] Argentina. Disponible en World Wide Web: http://html.rincondelvago.com/metalurgia-y-electroquimica_corrosion.html "fecha de publicación desconocida". [Citado octubre 5, 2006]. pp. 1 -19.

[14] CASTRO Borges, Pedro., et al. Corrosión en estructuras de concreto armado: Teoría, inspección, diagnostico, vida útil y reparaciones. México D.F. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. 1998, Primera edición. ISBN 968-464-085-4, pp. 9 - 18, 24 – 30, 33 – 36, 43 – 45, 93 – 95, 17 -124.

[15] PEMEX CORROSION SEMINAR, primer apartado, Exxon chemical company. "lugar de publicación desconocido". Octubre de 1990. pp. 27- 29

[16] Tipos de Corrosión. "Lugar de publicación desconocido". [En línea]. Disponible en internet: <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos> "fecha de publicación desconocida". [Citado octubre 5, 2006], [aprox. 2 pantallas].

[17] GENESCÁ, Joan., MAS ALLA DE LA HERRUMBRE III. CORROSIÓN Y MEDIO AMBIENTE: Corrosión Atmosférica. [En línea], México D.F., Disponible en internet: http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/121/htm/sec_6.htm, "fecha de publicación desconocida". [Citado octubre 6, 2006], [aprox. 3 pantallas].

[18] LA CORROSIÓN EN AMBIENTE MARINO. "Lugar de publicación desconocido", [En línea]. Disponible en World Wide Web: http://66.102.7.104/search?q=cache:7F5Aw1jzp5QJ:www.asocem.org.pe/bva/it/investigaciones/concreto/durabilidad/Corrosion.pdf+corrosion+POR+CLORUROS&hl=es&ql=mx&ct=clnk&cd=24&lr=lang_es, "fecha de publicación desconocida", [Citado octubre 6, 2006], pp. 14 – 18.



[19] GENESCA, Joan., MAS ALLA DE LA HERRUMBRE III. CORROSIÓN Y MEDIO AMBIENTE: Corrosión Atmosférica. [En línea], México D.F., Disponible en internet: http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/121/htm/sec_7.htm, "fecha de publicación desconocida". [Citado octubre 6, 2006], [aprox. 3 pantallas].

[20] GONZALES de la Cotera S, Manuel., LA CORROSIÓN DEL CONCRETO EN AMBIENTE MARINO. [En línea]. Conferencias magistrales del 1^{er} Congreso Nacional de Ingeniería Estructural y Construcción, Capítulo Peruano, diciembre de 1998. pp.21 -22

[21] BARRERA V, H., et al. La Carbonatación en Edificios de Santiago. [En línea]. Santiago de Chile, disponible en World Wide Web: http://www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/HugBar_HorPer_RamSan.pdf#search=%22iones%20despasivantes%22, "fecha de publicación desconocida" [Citado octubre 6, 2006], [aprox. 15 pantallas]

[22] DEL VALLE Moreno, A., Pérez López, T., Martínez Madrid, M., EL FENOMENO DE LA CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO. Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No. 182, Sanfandila, Qro., 2001. ISSN 0188-7297, pp. 40 – 47.

[23] GIRON V, Humberto., Ataque por cloruros en el concreto. [En línea]. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto A.C. México D.F., 1998, disponible en internet: <http://www.imcyc.com/revista/1998/oct/ataque.htm>, [citado octubre 7, 2006]

[24] Extracción electroquímica de cloruros del hormigón armado. [En línea]. "lugar de publicación desconocido". Disponible en World Wide Web: http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/04702848688026806532268/013870_2.pdf#search=%22iones%20despasivantes%22 "fecha de publicación desconocida". [Citado octubre 7, 2006]

[25] DEL VALLE Moreno, A., Martínez Madrid, M., Zea González R., MEMORIAS DEL TERCER CURSO INTERNACIONAL SOBRE CORROSIÓN EN PUENTES Y ESTRUCTURAS CONCRETO-METAL. Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro., 2001. ISSN 0188-7297, pp. 129, 69 – 81.

[26] MONTANI, Rick., La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. [En línea]. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto A.C. México D.F. disponible en internet: <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/carbonatacion.htm>, Diciembre de 2000. [Citado octubre 8, 2006].

[27] GONZALES de la Cotera S, Manuel., ATAQUE QUIMICO AL CONCRETO, Exposición en el ciclo organizado por el ACI, Capítulo Peruano sobre Corrosión en



Estructuras de Concreto. [En línea] "lugar de publicación desconocido". Disponible en World Wide Web: <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/QU01201M.pdf#search=%22%20pila%20de%20corrosion%20%22> , diciembre de 1991. pp. 14

[28] GENESCÁ, Joan., MAS ALLA DE LA HERRUMBRE III. CORROSIÓN Y MEDIO AMBIENTE: INCIDENCIA DE LA CORROSIÓN SOBRE EL MEDIO AMBIENTE. [En línea], México D.F., Disponible en World Wide Web: <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/121/htm/masalla3.htm>, "fecha de publicación desconocida". [Citado octubre 6, 2006], [aprox. 3 pantallas].

[29] TORRES Acosta, A., Martínez Madrid, M., DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO CON CRITERIOS DE DURABILIDAD. Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro., 2001. ISSN 0188-7297, pp. 1-3, 36.

[30] DEL VALLE Moreno, A. Anexo 2: ensayos de carbonatación y ensayos de adherencia. PROYECTO No. EE 07/06: Determinación del estado de corrosión y capacidad de carga de los muelles de los tramos 2, 3, 4, 5 y 6 del Puerto de Guaymas, Son. Diciembre de 2006, México.

[31] DEL VALLE M., Angélica et al. "Primer Informe Parcial, Proyecto EE 07/06 Determinación del estado de corrosión y capacidad de carga de los muelles de los Tramos 2, 3, 4, 5 y 6 del Puerto de Guaymas, Son. Instituto Mexicano del Transporte (IMT), diciembre 15, 2006, México.

[32] GENESCÁ, Joan., MAS ALLA DE LA HERRUMBRE. [En línea], México D.F., Disponible en World Wide Web: http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/09/htm/sec_1_0.html, "fecha de publicación desconocida". [Citado octubre 6, 2006], [aprox. 3 pantallas].