

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Centro de Investigaciones de Soldadura

TRABAJO DE DIPLOMA

FENÓMENOS DE DEGRADACIÓN EN INFRAESTRUCTURA SOBRE PILOTES EN EL MAR

Autor: Guillermo Alejandro Muñoz Sañudo

Tutores: Dr. Jorge Luis García Jacomino

Ing. Alexey Ramírez Salazar

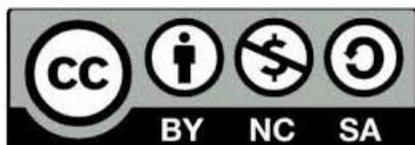
Santa Clara, 2018

Santa Clara
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419



“no debe construirse lo que después no se pueda mantener y tenemos que educarnos en el estricto cumplimiento del deber”



Dedicatoria

A nuestro Comandante en Jefe, principal educador y guía de la de la Revolución por más de 50 años de resultados y victorias.

A mis padres, para los que nunca hubo obstáculos, cuando se trató del bienestar o de la felicidad de sus hijos.



Agradecimientos

A mi madre, porque creyó en mí, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque gracias a ella hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvo impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mi padre, porque estuvo allí en todo momento y me enseñó a luchar para alcanzar mis sueños.

A mi esposa, con quien he compartido proyectos e ilusiones durante estos años, por su infinita paciencia, por su tierna compañía y su inagotable apoyo.

A mis suegros, porque en los momentos difíciles me dieron buenos consejos y palabras de aliento para continuar con mi carrera.

A mis hermanos, no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, sino por la felicidad que siempre me han causado.

A Maye, por compartir su vida a nuestro lado, por los regañones que me merecía y que no entendía.

A todos mis amigos de la universidad, quienes han compartido conmigo todos los sacrificios de la vida universitaria.

Un agradecimiento especial a mis dos tutores, Jorge Luis García Jacomino y Alexey Ramírez Salazar, al primero porque pese a toda la carga de trabajo que tenía, siempre sacó el tiempo para poder atenderme e incluso visitarme, y al segundo por todo el apoyo brindado, porque a pesar de no tener casi tiempo siempre me brindó su ayuda incondicional, por todo lo que me enseñó que ha sido y será de gran ayuda para mi vida como profesional.

A todas aquellas personas que ayudaron de una forma u otra y permitieron que este sueño de ser un profesional se cumpliera.

Muchas gracias.



Resumen

El presente trabajo de diploma estudia los fundamentos teóricos sobre los principales fenómenos de degradación en estructuras pilotadas. Se describen las condiciones de explotación en ambiente marino en función de la composición del agua de mar, la temperatura, la presión hidrostática, la acción de las mareas y el spray salino. Se definen las principales zonas de exposición marina y su vinculación con los fenómenos de degradación que provocan. Aspectos que se manifiestan en la instalación *offshore*, Delfinario Las Guasas, perteneciente al Grupo de Hotelería y Turismo Gaviota S.A. Se caracteriza su estado de conservación con énfasis en los pilotes hincados en el lecho marino. Los resultados de la inspección visual sobre y bajo el agua muestran los efectos del ambiente marino con la adherencia de flora y fauna marina, acreción de carbonatos y corrosión de los elementos metálicos. Se propone aplicar protección catódica por corrientes impresas para disminuir el efecto de la corrosión del acero P50 y establecer un mantenimiento basado en la condición en función de la degradación presente y su evolución, acciones que pueden contribuir a extender la vida útil de la instalación y disminuir los costos de mantenimiento.



Abstract

The present work of diploma studies the theoretical foundations on the main phenomena of degradation in piloted structures. The operating conditions in the marine environment are described according to the composition of the seawater, the temperature, the hydrostatic pressure, the action of the tides and the saline spray. The main areas of marine exposure are defined and their connection with the degradation phenomena they cause. Aspects that are manifested in the offshore installation, Dolphinarium Las Guasas, belonging to the Hotel and Tourism Group Gaviota S.A. Its conservation status is characterized with emphasis on the piles driven into the seabed. The results of the visual inspection on and underwater show the effects of the marine environment with the adherence of marine flora and fauna, accretion of carbonates and corrosion of metallic elements. It is proposed to apply cathodic protection by printed currents to reduce the corrosion effect of P50 steel and establish a maintenance based on the condition as a function of the present degradation and its evolution, actions that can contribute to extend the useful life of the facility and reduce maintenance costs.



Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES DE LAS ESTRUCTURAS PILOTADAS.....	5
1.1. Estructuras offshore.....	5
1.2. Ambiente marino.....	5
1.2.1. Composición del agua de mar.....	6
1.2.3. Temperatura	7
1.2.4. Presión hidrostática	9
1.2.5. Acción de las mareas.....	9
1.2.6. Mareas meteorológicas y temporales de olas	9
1.2.7. Niebla y rocío.....	10
1.3. Zonas de exposición marina y fenómenos de degradación	10
1.3.1. Zona enterrada	13
1.3.2. Zona sumergida	13
1.3.3. Zonas de mareas	14
1.3.4. Zonas de salpicaduras	14
1.3.5. Zonas de atmósfera marina	15
1.3.6. Corrosión de las armaduras.....	15
1.4. Características del agua de mar en el Delfinario las Guasas.	17
1.5. El mantenimiento en construcciones sobre el mar	18
CAPÍTULO II. ESTADO TÉCNICO DEL DELFINARIO LAS GUASAS	27

2.1. Delfinario Las Guasas	27
2.1.1. Características generales de la instalación	27
2.1.2. Objeto social que desarrolla.....	28
2.1.3. Infraestructura.....	28
2.1.3.1. Materiales utilizados para la construcción de la infraestructura.....	30
2.1.3.2. Materiales empleados en la fabricación de los pilotes.....	31
2.1.5. Sistema de mantenimiento aplicado a la instalación	34
2.2. Caracterización del estado técnico de la instalación	35
2.3. Propuesta de acciones de mantenimiento enfocado a los fenómenos de degradación de los pilotes	41
2.3.1. Técnicas que se proponen para atenuar la degradación de los pilotes	41
2.3.2. Propuesta de sistema de mantenimiento para los pilotes	43
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48



Introducción

INTRODUCCIÓN

El turismo es uno de los sectores económicos con más potencial y con mayor previsión de crecimiento en los próximos años. Si se analizan los datos aportados por la Organización Mundial del Turismo (OMT), la cual es el ente más importante del sector a nivel mundial, se puede contrastar lo dicho anteriormente.

Las llegadas de turistas internacionales registraron un notable aumento del 7 % en 2017 hasta alcanzar un total de 1.322 millones (Turismo, 2018). Las previsiones apuntan a que este fuerte impulso se mantendrá en 2018, con un ritmo de entre el 4 % y el 5 %. A partir de los datos que han comunicado los destinos de todo el mundo, se estima que las llegadas de turistas internacionales (visitantes que pernoctan) en todo el mundo se incrementaron un 7 % en 2017. Es una tasa muy superior a la tendencia sostenida y constante del 4 % o más que se había registrado desde 2010 y representa el mejor resultado en siete años.

Según este organismo (Turismo, 2018) en el 2017 las Américas recibieron 207 millones de llegadas de turistas internacionales (+3 %), habiendo disfrutado de resultados positivos casi todos los destinos. Sudamérica (+7 %) encabezó el crecimiento, seguida de Centroamérica y el Caribe (ambas +4 %), habiendo mostrado esta última claros signos de recuperación después de los huracanes Irma y María.

En el caso de Cuba se mantiene como un destino turístico muy importante en la región del Caribe, posicionándose como el segundo país de la región con mayor número de llegadas turísticas, llegando a alcanzar la cifra de 4 700 000 al cierre del año 2017, y donde las playas son el atractivo principal (ONEI, 2018). A partir de los años 90 los organismos gubernamentales encargados de la gestión del turismo, detectaron la necesidad de diversificar el sector e intentar cambiar la imagen del destino, creando así una imagen más vanguardista y actual.

Es por ello que, en la búsqueda permanente de nuevas opciones vinculadas al turismo de sol y playa, a partir del desarrollo alcanzado por el polo turístico de Cayo Santa María, al norte de la Cayería de Villa Clara y las características físico-geográficas y condiciones medio ambientales de esta parte del archipiélago Sabana-Camagüey se realizaron

estudios en diferentes áreas con la finalidad de determinar la ubicación de un Delfinario en semicautiverio, en los que se definió por sus condiciones de resguardo, profundidades y la naturaleza de sus fondos, su ubicación en el Canal de La Guasa, ubicado entre los cayos Ensenacho y Santa María.

Una de las características que distingue a esta instalación es que la infraestructura se encuentra mar adentro (*offshore*¹), construida sobre pilotes de acero al carbono hincados en el lecho del mar. Esto provoca que las condiciones de degradación estructural a que están sometidos, sean particularmente agresivas en cuanto a la corrosión, impacto de las olas del mar y el sol. Por lo que las acciones de mantenimiento deben ser lo suficiente previsoras para mantener los elementos estructurales y el equipamiento en este contexto operacional, permitiendo ofrecer un producto turístico diversificado e integral que por sus características tenga aceptación en el mercado internacional y sea competitivo a nivel regional.

En la provincia Villa Clara se han realizado diferentes investigaciones sobre el tema del mantenimiento de instalaciones turísticas:

- ✓ Estudio del Sistema de Mantenimiento en las Pasarelas en el Hotel Playa Cayo Santa María. Autor: Javier Antonio Hernández Santana. Año: 2017.
- ✓ Propuesta de la Metodología de las 5S¹ para aplicar en los Cuartos de Máquinas del Hotel Playa Cayo Santa María. Autor: Ariadna Suárez Valles. Año 2017.
- ✓ Propuesta de mejoras al confort de los restaurantes especializados Hotel Playa, Cayo Santa María. Autor: Néstor Javier Martínez Recio. Año 2017.
- ✓ Aplicación de la Prueba de Integridad de Pilotes en puentes de Cayo Cruz, Camagüey. Autor: Yandiel Santos Melgarejo. Año 2016.
- ✓ Ensayos de carga en cimentaciones sobre pilotes. Autor: Moidel Rodríguez Padrón. Año: 2012.

¹ Término del idioma inglés que literalmente significa "en el mar, alejado de la costa", "ultramar".

- ✓ Sitio experimental de pruebas y ensayos del hormigón hidráulico sometido a diferentes condiciones de agresividad marina. Autor: Henry del Toro Fleites. Año: 2012.

Aunque estos trabajos sientan importantes bases sobre la investigación del mantenimiento en este entorno, no existen estudios previos que permitan proponer mejoras de la gestión de mantenimiento del Delfinario Las Guasas, la necesidad de optimizar los recursos financieros y humanos existentes, así como el anhelo de extender la vida útil de su infraestructura, dando lugar a la situación problemática.

Esto permite definir como problema a resolver: ¿Qué acciones permitirán mejorar la gestión de mantenimiento del Delfinario Las Guasas enfocada a atenuar los fenómenos de degradación estructural?

Partiendo de este problema el objeto de investigación es la gestión de mantenimiento y el campo de acción las estructuras offshore del Delfinario Las Guasas.

De ahí que el objetivo general sea: proponer acciones de mantenimiento específicas para la infraestructura offshore del Delfinario Las Guasas.

Como objetivos específicos se proponen:

1. Sistematizar los fundamentos teóricos que sustentan la gestión del mantenimiento.
2. Estudiar el sistema de mantenimiento aplicado en las instalaciones pertenecientes al Grupo de Hotelería y Turismo Gaviota S.A. en el contexto operacional del Delfinario Las Guasas con énfasis en los fenómenos de degradación estructural.
3. Proponer acciones de mantenimiento para la infraestructura del Delfinario Las Guasas.

La pertinencia de esta investigación se basa en que dotará al Grupo de Hotelería y Turismo Gaviota S.A de un grupo de acciones que mejorarán la gestión del mantenimiento de las estructuras offshore presentes en el Delfinario Las Guasas. Además de que permitirá programar la utilización de forma racional de los recursos humanos y técnicos en busca de la sostenibilidad y desarrollo de las instalaciones, teniendo en cuenta los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución (PCC, 2016), en específico el 213 que enuncia *“Continuar priorizando la*

reparación, el mantenimiento, renovación y actualización de la infraestructura turística y de apoyo. Aplicar políticas que garanticen la sostenibilidad de su desarrollo, implementando medidas para disminuir el índice de consumo de agua y de portadores energéticos e incrementar la utilización de fuentes de energía renovable y el reciclaje de los desechos que se generan en la prestación de los servicios turísticos, en armonía con el medio ambiente”



Capítulo I

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES DE LAS ESTRUCTURAS PILOTADAS

1.1. Estructuras offshore

La construcción de plataformas offshore surgió como una necesidad para extraer petróleo de las reservas que se localizaban en el fondo del lecho marino. Dada la importancia de esta finalidad junto a la complejidad de su diseño y debido a su localización en mar abierto donde están expuestas a condiciones ambientales muy hostiles, este campo de la ingeniería está en continuo desarrollo y requiere de las más avanzadas tecnologías. Este contexto es el que ha posibilitado que este tipo de estructuras se empiece a utilizar con más frecuencia y con otras finalidades.

Según (Fernández and Pardo, 2011) una estructura *offshore* es una construcción situada en el mar y que por tanto se encuentra sometida a la acción del oleaje y condiciones meteorológicas adversas. Estos fenómenos naturales es importante tenerlos en cuenta en el diseño y el cálculo de las mismas, ya que los fenómenos meteorológicos son una de sus principales causas de fallos.

Las estructuras *offshore* se pueden clasificar en dos grupos: las apoyadas en el fondo marino, objeto de nuestro estudio, y las flotantes.

En las estructuras apoyadas en el fondo marino, la frecuencia natural más baja del movimiento de flexión de la estructura está por encima de la frecuencia más alta de excitación de ola significativa. Se comportan como un cuerpo rígido y deben resistir todas las fuerzas dinámicas del ambiente. Principalmente están hechas de hormigón armado, se sustentan en su gran volumen y peso; y son susceptibles de erosión en la base y hundimiento por su pesada naturaleza.

1.2. Ambiente marino

El ambiente marino es muy agresivo para los materiales de construcción que se usan habitualmente en las estructuras offshore. El agua de mar contiene iones corrosivos, gases y numerosos organismos marinos que son perjudiciales para los materiales de construcción.

1.2.1. Composición del agua de mar

El agua de mar contiene muchas sales disueltas, algunas de las cuales afectan a la durabilidad del hormigón. Las sales presentes en cantidades suficientes, en la mayor parte de los mares, son: cloruro de sodio (NaCl), cloruro de magnesio ($MgCl_2$), sulfato de magnesio ($MgSO_4$), sulfato de calcio ($CaSO_4$), cloruro de potasio (KCl) y sulfato de potasio (K_2SO_4).

(Werlinger et al., 2004) plantean que la distribución de salinidad de la superficie del mar tiene tendencia a ser zonal, pero las corrientes marinas pueden introducir alteraciones en este esquema. Los principales procesos responsables de esta distribución son: la evaporación, la precipitación y la mezcla, así las aguas más saladas están en latitudes medias donde la evaporación es alta, mientras que aguas menos saladas están las zonas próximas al Ecuador en donde las lluvias bajan la concentración de sales en superficie, y en las latitudes altas donde el hielo derretido en las estaciones más cálidas también desaliniza las aguas superficiales.

Los valores más altos se presentan en regiones con alta evaporación como el este del Mediterráneo (39 g/l) y el Mar Rojo (41 g/l); también en mares como el Caribe y el Mediterráneo (36 g/l). Los valores más bajos se presentan localmente cerca de las costas donde desembocan grandes ríos y en regiones polares en donde la salinidad es casi nula. Sin embargo y desde una perspectiva global las variaciones de salinidad, tanto en superficie como en profundidad, se producen en un rango muy estrecho. La salinidad promedio del agua de mar es $S = 34,7$ g/l y cerca del 50 % del agua está en el rango 34,6 a 34,8 g/l.

Debe mencionarse que el agua de mar también contiene oxígeno y dióxido de carbono disueltos. La cantidad de estos gases puede variar mucho en función de las condiciones locales. Según (Abascal, 2013) la cantidad disuelta de dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S / ácido sulfhídrico en disolución acuosa) pueden causar disminuciones del pH del agua de mar de los valores normales 8,2 a 8,4 a 7 o menos. Las aguas ácidas reducen la alcalinidad y resistencia del hormigón e incrementan la corrosión electroquímica del acero que contienen las estructuras de hormigón armado.

1.2.2. Organismos marinos

Los organismos marinos que interaccionan con las estructuras de hormigón pueden ser algas, moluscos, erizos de mar, percebes² y bacterias.

(Abascal, 2013) considera que tanto las algas como los moluscos pueden ser un problema cuando la superficie del hormigón es porosa y pueden generar una pérdida importante de alcalinidad. Los percebes, erizos de mar y los moluscos pueden generar ácidos orgánicos que pueden causar agujeros en la superficie del hormigón que pueden dar lugar al inicio de la corrosión por picaduras en los aceros.

Asimismo, se debe tener en cuenta que el crecimiento de las algas marinas sobre la estructura puede aumentar la rugosidad superficial aumentando la carga hidrodinámica que a su vez, influye en la estabilidad estructural y mayor superficie para la corrosión.

1.2.3. Temperatura

La temperatura de la superficie del mar varía desde los -2 °C en las zonas muy frías hasta los 30 °C en las zonas tropicales.

En la literatura consultada (Kosmatka et al., 1992, Ortiz Lozano, 2005, de Guzmán, 2001) existe coincidencia en que la temperatura del agua es un factor determinante de las reacciones químicas y electroquímicas en las estructuras de hormigón. En general, los climas cálidos o muy cálidos aceleran los procesos de inicio y progresión de los mecanismos de deterioro del hormigón.

Por su parte (Ortiz Lozano, 2005) considera que se debe tener muy en cuenta la temperatura del aire a la que va a estar sometida la estructura marina, ya que el gradiente térmico generador de tensiones térmicas de la temperatura del aire es mucho más grande que el de la temperatura del agua del mar.

En el caso de las estructuras de acero (Sandoval, 2013) expone que a medida que aumenta la temperatura del agua de mar aumenta la velocidad de corrosión, es decir, son directamente proporcionales. La Figura 1 muestra esta dependencia.

² Crustáceo cirrípedo de la familia Scalpellidae que crece sobre rocas batidas por el oleaje.

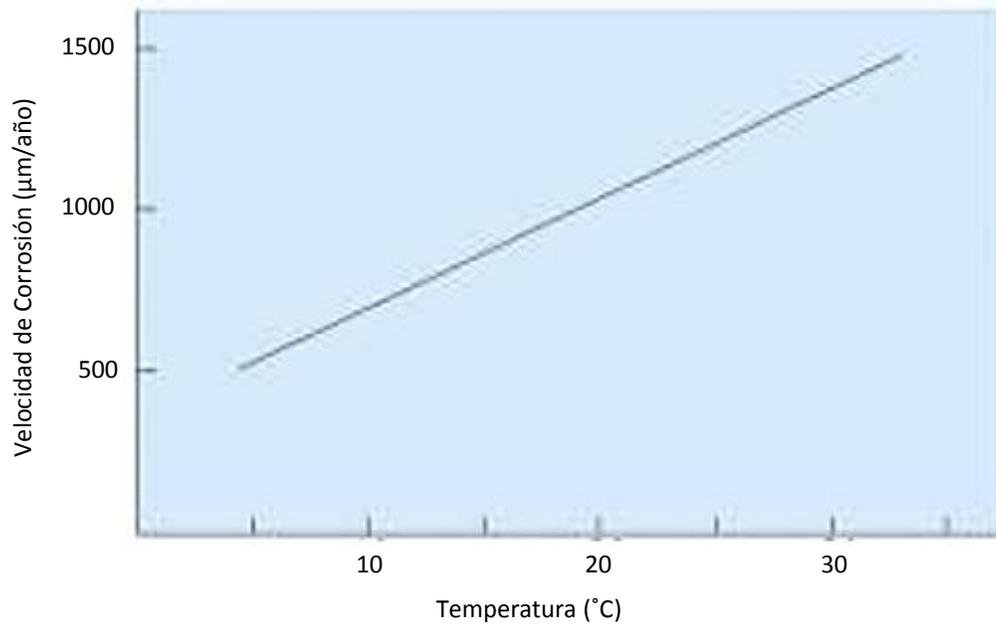


Figura 1. Efecto de la temperatura del agua de mar en la corrosión del acero.

Fuente: (Sandoval, 2013)

Es evidente que para el caso del mar Caribe con una temperatura que oscila entre los 25 °C y 31 °C (Arenal, 2001) por lo que pueden existir velocidades de corrosión que superan 1 mm/año, esta una de las causa de degradación estructural a prestar mayor atención.

Existen cuatro tipos de climas marinos para el dimensionamiento de la estructura desde el punto de vista de la durabilidad:

- Frío.
- Templado.
- Caluroso y seco.
- Caluroso y húmedo.

En su investigación (Abascal, 2013) demuestra que los ambientes más agresivos son los climas caluroso y seco y caluroso y húmedo.

Según (Gómez, 2007) hay dos efectos producidos por cambios de temperatura, tales como la formación de celdas galvánicas debido a un diferencial de temperatura local y el

otro es el incremento de concentraciones de sal y cristalizaciones debido a la evaporación incrementada causada por el calor radiado.

1.2.4. Presión hidrostática

Según (Abascal, 2013) la presión hidrostática actúa como una fuerza que conduce al agua de mar, a intentar entrar en cualquier estructura marina que se encuentre sumergida. A mayor profundidad, mayor presión hidrostática y mayor fuerza va a tener el agua para intentar entrar en la estructura. La acción de la presión hidrostática debe ser tomada muy en cuenta a la hora de proyectar y construir una estructura marina, no debiéndose aceptar estructuras con hormigones con porosidades medias o altas ni estructuras fisuradas o con cavidades interiores.

1.2.5. Acción de las mareas

Las estructuras marinas están expuestas a la acción de las mareas astronómicas generadas por la interacción entre la Tierra y la Luna. Este fenómeno causa dos veces al día, una exposición a ciclos de humedad-sequedad, calor-frío.

La carrera de la marea puede variar de los 0,5 a los 15 m. Como dato medio, en los océanos Atlántico y Pacífico, en zonas profundas, el rango de variación es menor de 1 m y de 4 a 5 m en la costa (Abascal, 2013, Romero, 1985).

1.2.6. Mareas meteorológicas y temporales de olas

Además de la marea astronómica, las bajas presiones pueden generar importantes aumentos del nivel del mar que en situaciones especiales puede variar de 4 a 7 m o más con los huracanes (Rodríguez, 2006).

Estas situaciones de bajas presiones suelen también asociarse a importantes temporales con grandes series de olas generadas por la fricción del viento con el agua. La cantidad de energía que un gran temporal puede transmitir a una estructura marina es de una

magnitud enorme. (Martín et al., 1995) exponen que una gran ola puede llegar a aplicar 30 t/m² sobre la parte de la estructura que impacta directamente.

A su vez (Abascal, 2013) plantea que la parte de la estructura que está sometida a la intensa acción de las olas puede ser atacada por la erosión por cualquier sólido en suspensión que llevan las olas como arena, gravillas, maderas, etc.

Es decir, que las estructuras van a estar sometidas a importantes cargas dinámicas y estáticas, que el caso de una alta responsabilidad son elementos a tener en cuenta durante el diseño y explotación de la instalación.

1.2.7. Niebla y rocío

En verano o épocas calurosas, la niebla marina se forma cuando el aire caliente procedente de tierra pasa sobre la superficie fría del océano. En invierno o épocas frías, el aire frío de tierra cruza por el ambiente del agua de mar más cálido y húmedo, formando nieblas marinas y nubes bajas. (Escorihuela and Fernández-Peña, 1976) en su publicación afirman que estas nieblas costeras generan una acción de rociado de pequeñas gotitas de agua de mar sobre las zonas donde se producen. Por su parte (Abascal, 2013) explica que el viento, al actuar sobre las olas, así como la acción de las olas contra la costa o contra las estructuras marinas genera el efecto del rocío

Es evidente que este rocío cargado de microgotas de NaCl es un spray salino, causa directa en la corrosión de los metales, y en el caso de Cuba, por la forma estrecha y alargada, este rocío puede llegar afectar zonas distantes de la costa.

1.3. Zonas de exposición marina y fenómenos de degradación

Según (Bermúdez, 2007) en las estructuras de hormigón armado expuestas al ambiente marino, la duración tanto del periodo de iniciación como del de propagación, y consecuentemente el riesgo de corrosión, está condicionada por el tipo de ambiente marino en el que se encuentra la estructura. La Figura 2 muestra las zonas de exposición marina.

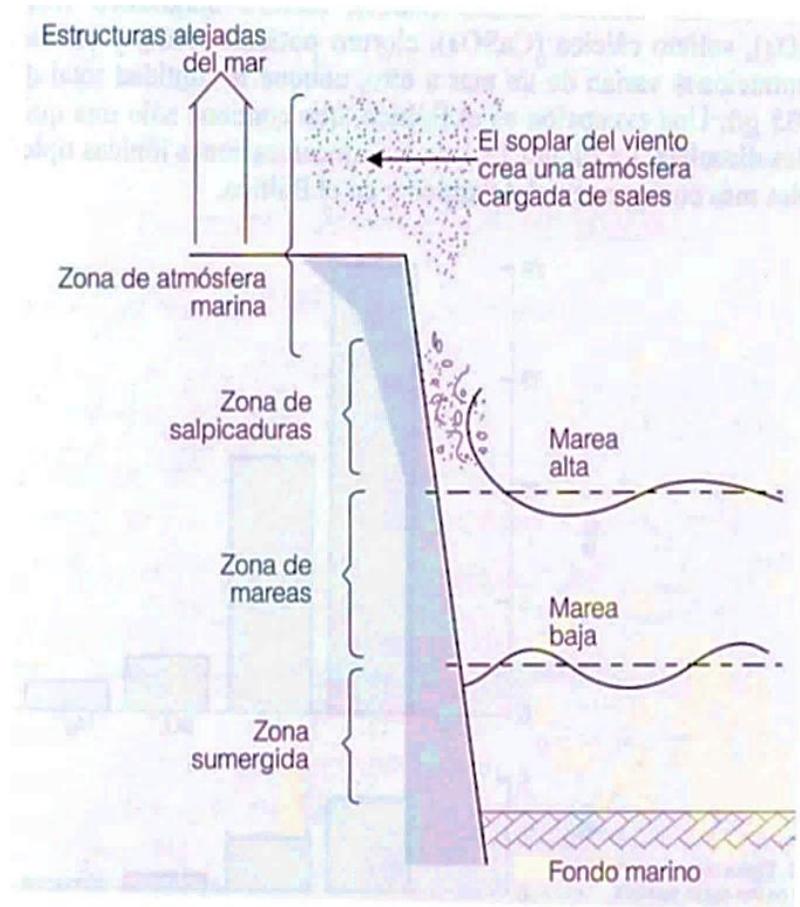


Figura 2. Zonas de exposición marina.

Fuente: (Abascal, 2013)

Se observa que existen 4 zonas afectadas: la zona de atmósfera marina caracterizada por un ambiente cargado de spray salino que es arrastrado por el viento y afecta a las estructuras, aunque se encuentren alejadas del mar; la zona de salpicaduras que se encuentra en el límite de marea alta y se caracteriza por un ciclo de humedad y sequedad combinado con el impacto de las olas que en ocasiones arrastran objetos flotantes; la zona de las mareas, muy similar a la anterior y la zona sumergida, donde hay una gran concentración de cloruros y que aparentemente pudiera existir menor concentración de oxígeno, pero por el propio movimiento de las olas provoca una aireación de esa zona, esto sucede en los primeros metros de profundidad.

La Figura 3 muestra de manera más detallada como estas zonas descritas afectan un pilote de una estructura *offshore*.

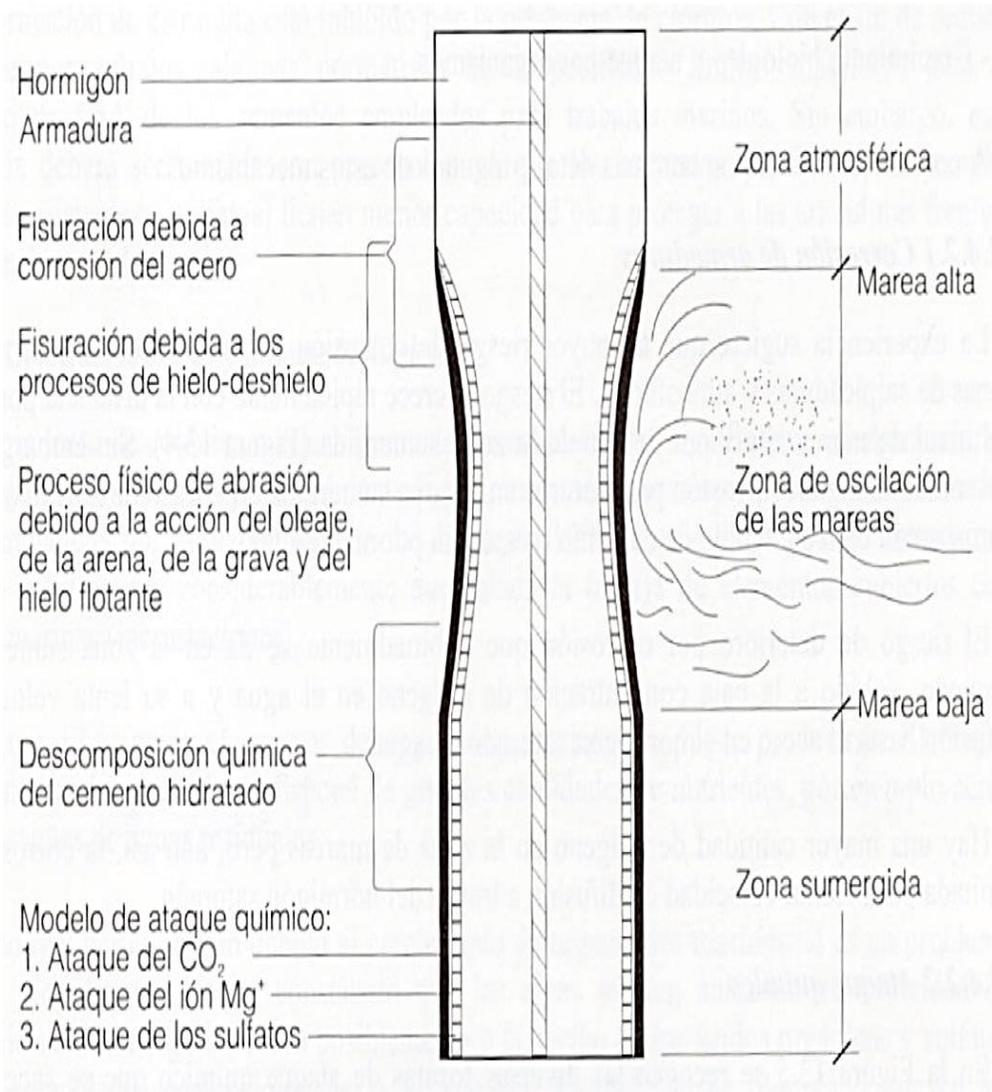


Figura 3. Influencia de las zonas de exposición.

Fuente: (Abascal, 2013)

Se observa que la mayor afectación del pilote ocurre en la zona de oscilación de las mareas (entre la marea alta y la marea baja) con fenómenos de fisuración debido a la corrosión del acero, abrasión debido a la acción del oleaje, de la arena y de sólidos flotantes y existe descomposición química del cemento hidratado.

1.3.1. Zona enterrada

Por lo general es similar a la zona sumergida, sin embargo, aquí se tiene como efecto la abrasión de la arena, el cual se extiende alrededor de los productos de corrosión que han sido removidos de la superficie del acero.

(Sandoval, 2013) plantea que la velocidad de corrosión en los lugares sin ningún producto de corrosión es acelerada y semejante al ánodo en una celda de macro corrosión; esto lleva a una rápida reducción del espesor del acero, a este fenómeno se le conoce como corrosión por erosión

1.3.2. Zona sumergida

Se extiende desde un punto inmediatamente debajo del nivel bajo del agua al fondo del mar. Usualmente esta zona es cubierta por una espesa capa de óxido lo cual limita el ataque corrosivo, es por eso que gran influencia corrosiva se esperaría de no estar presente esta capa.

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, que bajo la acción del ion 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. La Figura 4 muestra el fenómeno de macro celdas.

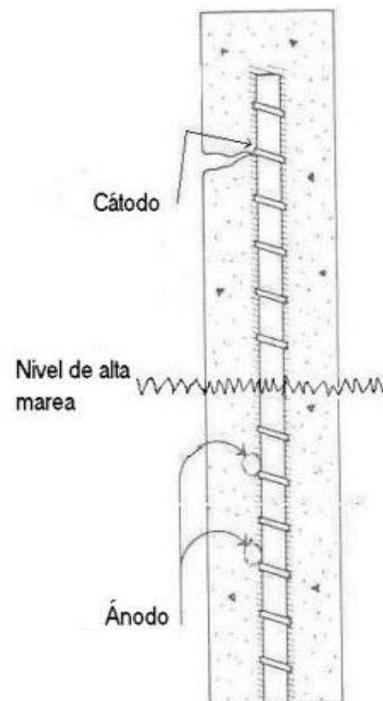


Figura 4. Fenómeno de macro celdas.

Fuente: (COTERA, 1998)

1.3.3. Zonas de mareas

En esta zona el hormigón no llega a secarse, por lo que siempre está saturado. En esta zona los cloruros avanzan lentamente por difusión, pero con el tiempo pueden alcanzar el nivel de armaduras. Sin embargo, en esta zona tampoco hay oxígeno para generar la corrosión.

1.3.4. Zonas de salpicaduras

Esta zona se encuentra en el aérea inmediatamente superior al nivel alto de la zona de mareas, la misma se humedece y seca alternativamente. Los cloruros pueden avanzar rápidamente por succión capilar, alcanzando así una determinada profundidad, a partir de la cual continúan profundizando por difusión. En esta zona sí hay acceso de oxígeno y elevada humedad, por lo que el riesgo de corrosión es alto.

Si se da la circunstancia de que en la estructura marina, la armadura que se encuentra en zona de mareas, está conectada con armadura situada en zona de salpicaduras se pueden establecer macro celdas con la zona anódica (que sufre la corrosión) en la parte más alta en la zona de mareas y la zona catódica en la zona de salpicaduras.

La Figura 5 muestra el fenómeno de corrosión en las zonas de marea y de salpicaduras



Figura 5. Zona de mareas y de salpicaduras.

Fuente: (COTERA, 1998)

1.3.5. Zonas de atmósfera marina

En esta zona, los cloruros acceden por la niebla salina, depositada en superficie por el viento, condensación etc. Puede haber algún transporte por succión capilar, pero fundamentalmente lo hay por difusión. El avance es más lento que en el resto de zonas, y tarda mucho tiempo en alcanzar las armaduras. Cuando esto sucede, se produce corrosión porque hay oxígeno y humedad accesibles. Pero antes se habrá originado la corrosión en las zonas de mayor riesgo.

Si adicionalmente el hormigón situado en las zonas de mayor riesgo antes mencionadas, está fisurado con anchura de fisura por encima de 0,4 mm, a través de las fisuras los cloruros avanzan muy rápidamente por absorción, alcanzando puntualmente las armaduras, y originando ánodos de corrosión localizada. Sin embargo, incluso en estas circunstancias puede no aparecer corrosión, si el hormigón del recubrimiento es de muy elevada calidad, y no permite el acceso de oxígeno y humedad para generar las zonas catódicas.

1.3.6. Corrosión de las armaduras

Es un fenómeno electroquímico que requiere de la presencia de agua (electrolito), oxígeno y diferencia de potencial. Como el acero en el hormigón está sometido a un pH mayor que 12,5, se crea una capa microscópica de óxido ferroso que lo pasiva. Si el valor del pH desciende por debajo de 9 (carbonatación), o si el contenido en cloruros supera un cierto valor crítico, se destruye de forma generalizada o localizada la capa pasivante (Sergio, 2017).

El hormigón que envuelve las barras de acero de la armadura en las estructuras *offshore* debe cumplir una doble función protectora: como barrera física que se opone a la penetración de los agentes agresivos externos y creando una capa pasivante sobre el acero, en virtud de su alcalinidad, que lo mantiene protegido durante un tiempo indefinido.

Efectos de la corrosión de las armaduras en el hormigón armado:

1. Reducción de la sección transversal de las barras y por tanto disminución de la capacidad resistente del elemento. Estos efectos perjudican la durabilidad de las estructuras de hormigón armado.
2. Generación de manchas de color pardo-rojizas provocadas por distintos compuestos de la corrosión.
3. Formación de fisuras, agrietamiento y hasta delaminación en casos avanzados.
4. Disminución de la adherencia hormigón-acero, por lo que se va perdiendo la capacidad de transferir las tensiones de tracción del hormigón al acero.

La dosificación del hormigón es un factor que influye de forma significativa en el comportamiento futuro de éste, como elemento protector del acero de refuerzo. Debe ser sólido, homogéneo, compacto, resistente y poco poroso, que garantice, además de sus significativas prestaciones mecánicas, la protección de la armadura de acero de la estructura, de las acciones agresivas de los agentes externos.

El ión cloruro es el principal agente corrosivo del acero de refuerzo en ambientes marinos. Puede depositarse en una estructura como consecuencia de la brisa marina a través de suelos con alto contenido de sales de mar. Una vez que se deposita sobre la estructura de concreto, puede penetrar por diferentes mecanismos hasta alcanzar el acero de refuerzo.

Dependiendo de las características del concreto tales como su permeabilidad o porosidad, y de características del ambiente como son las condiciones de humedad, la temperatura y los contaminantes, el cloruro puede llegar hasta el acero por absorción capilar, por difusión o por una combinación de ambos (Borges and Salazar, 2000).

Existen varios factores que afectan, desencadenan o producen ambos efectos en el proceso de corrosión de las armaduras. De tal manera que: La dosificación, la compactación y la homogeneidad del hormigón, así como el espesor de cubrimiento del hormigón, el estado superficial de la armadura y la humedad ambiental son los factores que afectan este proceso.

(Tarradillos et al., 2008, Borges and Salazar, 2000) coinciden en que los factores, que con más frecuencia dan lugar a la corrosión de la armadura son: altas tensiones

mecánicas en el acero (creación de resquicios en fisuras), corrientes erráticas o de interferencia, contacto galvánico entre dos metales, iones despasivantes (Cl^- , SO_4^{2-} , etc.), CO_2 atmosférico o cualquier líquido que neutralice la alcalinidad, lixiviación por aguas blandas y las fisuras, presentando estos últimos, ambos efectos.

La Figura 6 muestra el riesgo a la corrosión respecto a las zonas de exposición. Se observa que en el caso del acero las mayores afectaciones suceden en la zona sumergida, muy cerca del nivel bajo de marea, debido a la aeración que se produce en esta zona; y por encima de la zona de marea alta, es evidente que allí es donde va a existir mayores condiciones en cuanto a concentración de oxígenos e iones cloruro.

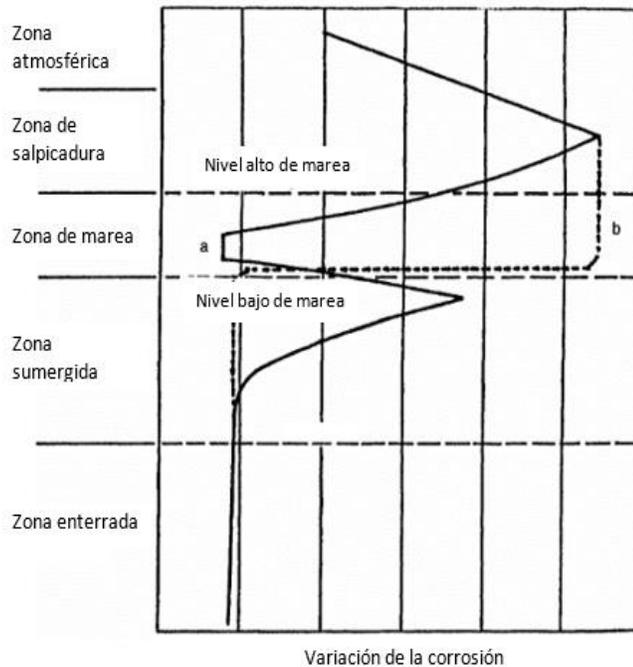


Figura 6. Perfil de corrosión en pilotes de acero en agua de mar.

Fuente: (Gómez, 2007)

1.4. Características del agua de mar en el Delfinario las Guasas.

La Tabla 1 muestra estudios realizados por (González, 2017) en el mes de diciembre del año 2017, donde se muestra una caracterización de las aguas en el Delfinario las Guasa ubicado en cayo Santa María teniendo en cuenta una serie de variables fisicoquímicas.

Tabla 1. Promedios de las variables fisicoquímicas de las aguas.

Temperatura (°C)	Salinidad (%)	O.D³ (mg/l)	DBO₅⁴ (mg/l)
21,66 ± 0,24	38,6 ± 0,3	6,03 ± 0,5	0,938 ± 0,6
Nutrientes			
N-NO₃⁻ (mg/l)	N-NO₂⁻ (mg/l)	N-NH₄⁺ (mg/l)	pH⁵
< 2,5	< 0,02	< 0,04	7,95 ± 0,15

En la tabla se observa que a pesar de que la temperatura del agua es de solo 21 °C para ese mes, la salinidad es de aproximadamente 39 %, con un pH = 7,95. Estas condiciones propician la degradación de las estructuras de soporte mediante la acreción de carbonatos. Esta compleja formación propicia el crecimiento de organismos biológicos. Las bacterias forman una película bacteriana en forma de baba, así como también las esporas producidas por las malas hierbas y los organismos incrustantes que se adhieren produciendo picaduras en la superficie de los pilotes (Gómez, 2007).

1.5. El mantenimiento en construcciones sobre el mar

Según (Nil and Albert, 2007) en las construcciones sobre el mar, el mantenimiento se lleva a cabo a través de actividades de monitoreo que deben reflejar la necesidad de trabajos de reparación y mantenimiento. El mismo debe llevarse a cabo de acuerdo con un plan basado en la vida útil de la estructura o cuando los esfuerzos de inspección o supervisión especificados detectan sucesos imprevistos.

La estructura también debe ser monitoreada para detectar pequeños daños y defectos que puedan desarrollar una situación crítica (Guillermo et al., 2015). Se debe poner particular énfasis en la identificación de los posibles pequeños fallos, que puedan conducir a un colapso progresivo.

Para lo que se refiere a la corrosión se deben hacer exámenes periódicos con las mediciones que se llevarán a cabo para verificar que el sistema de protección catódica

³ Oxígeno Disuelto.

⁴ Demanda bioquímica de oxígeno.

⁵ Potencial de hidrogeno.

está funcionando dentro de sus parámetros de diseño y establecer el grado de agotamiento del material (Ballesteros et al., 2015).

Para proteger de la corrosión las estructuras de concreto armado, en especial en zonas de ambiente marino, la medida más eficiente y económica es proteger las barras con un recubrimiento de concreto de apropiado espesor y mínima porosidad (Amaya et al., 2016). Este último factor, se evalúa por una diminuta relación agua cemento, alrededor de 0,4 % y por la cantidad de cemento, en un límite de 350 kg/m³. Estas condiciones se controlan generalmente por la resistencia a la compresión.

La selección de cemento más apropiado como son los tipos resistentes a los sulfatos y los cementos adicionados o los Portland Tipo I según sea el caso, contribuye efectivamente a la prevención. En obras especiales, en las cuales se justifique económicamente otras medidas de protección directa utilizando barras de acero recubiertas de epoxy⁶.

Otras de las técnicas preventivas que pueden ser usadas para combatir la degradación según (Gómez, 2007) son:

a) Recubrimientos Inorgánicos

Chaqueta de mortero, Chaqueta de metal (mediante placas de acero o metales resistentes a la corrosión o spray metálico)

b) Recubrimiento Orgánicos

Poliuretano, Súper High-Build, tape contra la corrosión, fibra plástica reforzada, caucho tratado con cloro.

c) Recubrimientos Combinados (orgánicos e inorgánicos)

Base de pintura de High-Build rica en Zinc con una capa de resina epóxica, un sistema formado por una capa de primera base de High-Build rico en Zinc, una capa intermedia de resina epóxica y una capa externa a prueba de agua (por ejemplo: poliuretano, silicona modificada con resina acrílica y resinas con alto

⁶ polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor

contenido de Flúor), una capa de High-Build rico en Zinc con una capa externa de una resina epóxica con alquitrán, resina con laminilla de vidrio.

d) Recubrimientos a base de Bitumen (betún).

En la práctica los recubrimientos son colocados sobre el acero en la porción de la zona atmosférica y principalmente en las regiones de salpicadura y variaciones de marea por debajo del nivel bajo de marea.

e) Sistemas de Protección Catódica por Ánodos de sacrificio.

En general, los sistemas de ánodos de sacrificio han sido aplicados en estructuras marinas de acero porque esto puede ser fácilmente instalado y no requiere mantenimiento. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de protección catódica por ánodo de sacrificio.

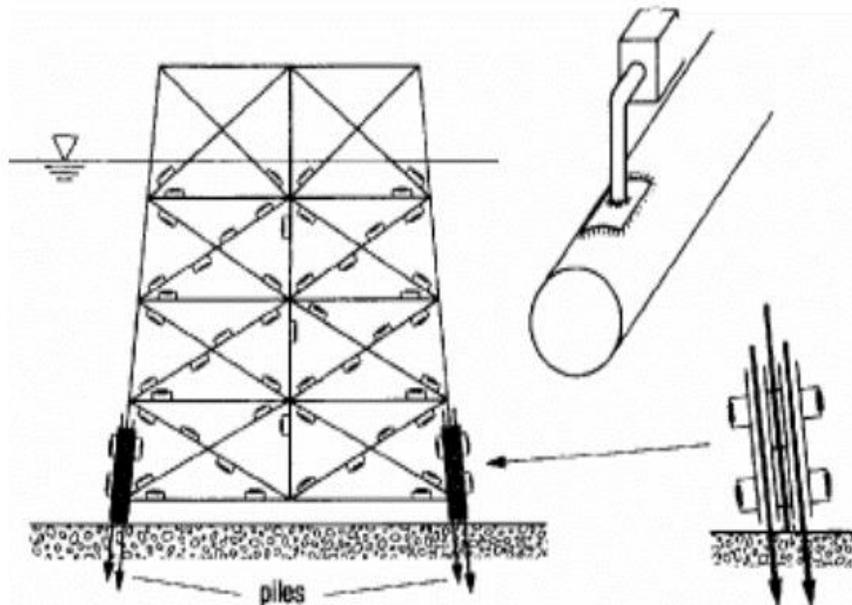


Figura 7. Mecanismo de protección catódica por ánodo de sacrificio.

Fuente: (Gómez, 2007)

Cuando se diseñan sistemas de ánodos de sacrificio, se deben considerar los siguientes puntos para obtener un potencial de protección requerido:

- La condición ambiental, la condición superficial de los objetos a proteger y la densidad de corriente.

- Especificaciones de los ánodos
- Distribución de los ánodos
- La estructura de los objetos, conductividad y continuidad eléctrica
- Mantenimiento

f) Sistemas de Protección Catódica por Corrientes Impresas.

En la práctica, este tipo de protección (ver Figura 8) es aplicada a las estructuras marinas de acero por debajo del nivel bajo de marea. La eficiencia es del 90 % en pilotes desnudos y la densidad de corriente es de 100 mA/m² en el agua de mar y de 130 a 150 mA/m² en agua de mar contaminada. Cuando se aplica protección catódica a un ambiente especial, por ejemplo, una zona de alta conductividad, es necesario usar corrientes impresas en el rango para obtener una adecuada corriente eléctrica.

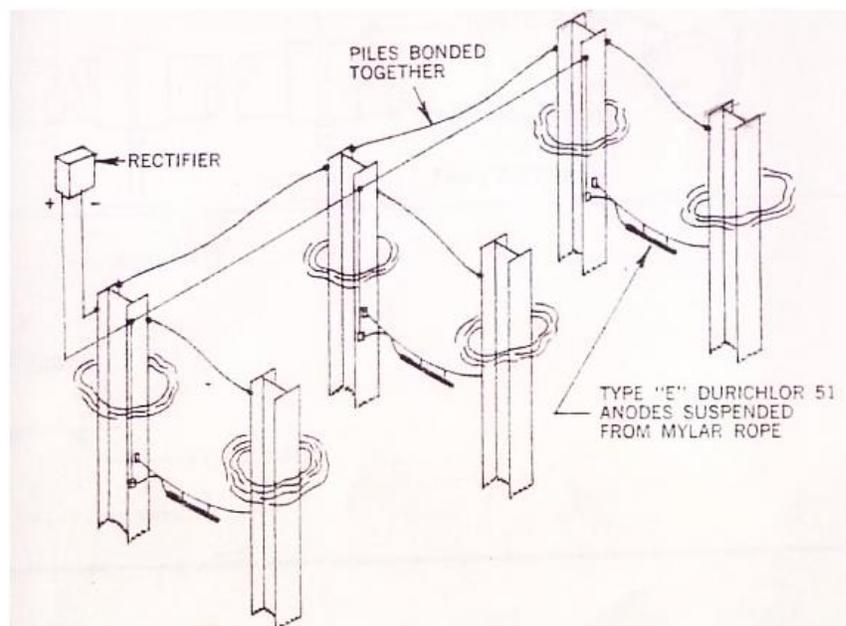


Figura 8. Sistema de protección catódica por corriente impresa.

Fuente: (Gómez, 2007)

Además, la selección de los componentes del sistema de protección catódica, no deben ser hechos con los suministros de menor costos, más bien deberían apuntar hacia la resistencia, soportes libres de problemas, calidad y que requiera un mínimo de mantenimiento.

Según (Sandoval, 2013) también son usados para prevenir la corrosión en este tipo de estructuras:

- sistema de enchaquetado de pilotes, el cual está compuesto por dos capas de revestimiento de cera microcristalina con inhibidores de corrosión (el *Pile Primer*⁷ y el *Pile Inner Wrap*⁸). Además posee una cubierta (*Pile Shield*⁹) que brinda la protección mecánica. En la Figura 9 se puede apreciar paso a paso la aplicación de este tipo de protección.

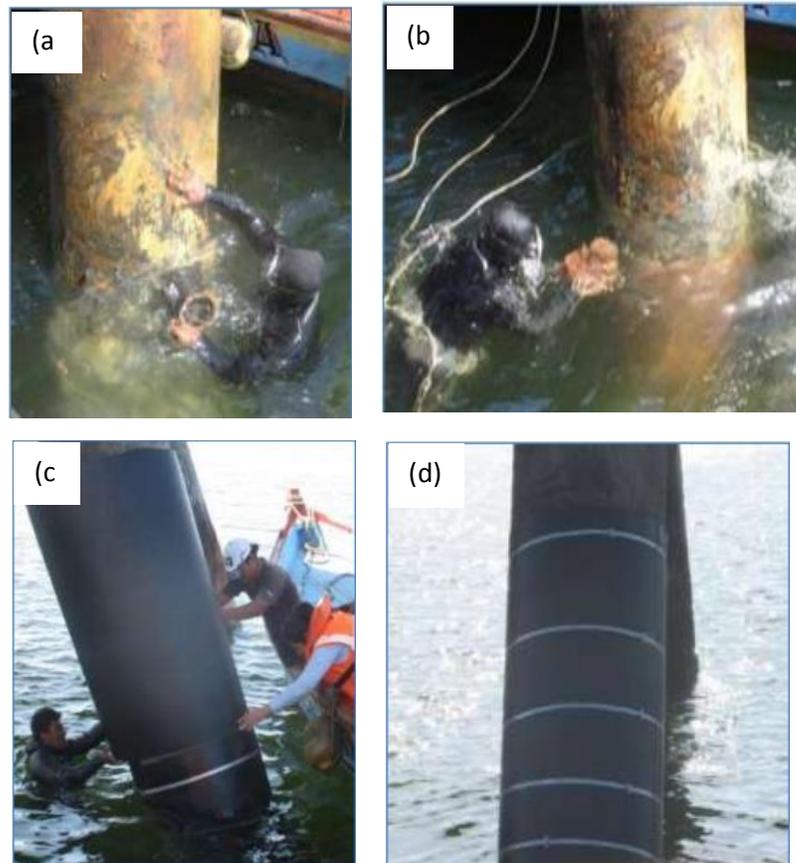


Figura 9. Aplicación del sistema *Pile Shield*. (a) Aplicación del *Pile Primer*, (b) Colocación del *Inner Wrap*, (c) Colocación del *Pile Shield*, (d) Pilote con el sistema *Pile Shield* aplicado.

Fuente: (Sandoval, 2013)

⁷ Imprimante compuesto en un 100% por cera de petróleo microcristalina, que actúa como inhibidor de la corrosión.

⁸ Cinta que combina inhibidores de corrosión con una cera de petróleo y junto con el imprimante brindan una barrera anticorrosiva a la estructura.

⁹ Chaqueta de polietileno de alta densidad (HDPE), la cual brinda protección mecánica a la cinta inner wrap, se caracteriza por ser resistente a los rayos UV.

- sistema *Syntho Shield*, el cual está integrado por dos componentes, una cinta de fibra de vidrio (*Syntho Glass*) para las capacidades mecánicas y de corrosión y un recubrimiento interior de Cinta de Petrolato¹⁰ que brinda protección contra la corrosión a largo plazo, este es aplicado posterior al Primer Denso, el cual facilita la mejor adherencia de la Cinta de Petrolato. Este sistema ofrece resistencia mecánica y al impacto, empleado para aplicaciones de revestimientos protectores contra la corrosión en el agua, sobre y bajo la superficie terrestre. La Figura 10 muestra la aplicación de este sistema.

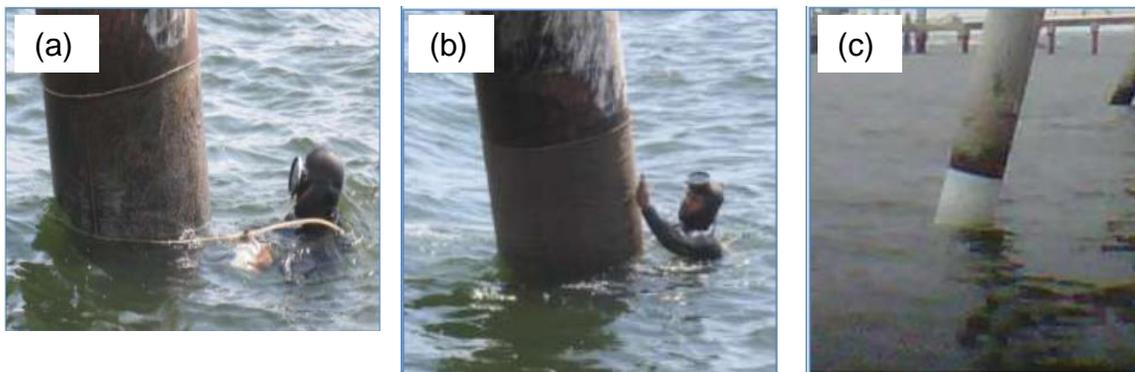


Figura 10: Aplicación del *Syntho Glass*. (a) Aplicación del primer denso, (b) Aplicación de la cinta de petrolato, (c) Pilote con *Syntho Glass*

Fuente: (Sandoval, 2013)

En la Figura 11 se puede apreciar la colocación de la cinta de compresión sobre y en la dirección de la última capa del “*Syntho Glass*”, con la finalidad de obtener un mejor curado de la cinta de fibra de vidrio y su posterior perforación con ayuda de un rodillo, para eliminar el agua que pueda haber quedado atrapada entre el “*Syntho Glass*” y la cinta de compresión.

¹⁰ Vaselina

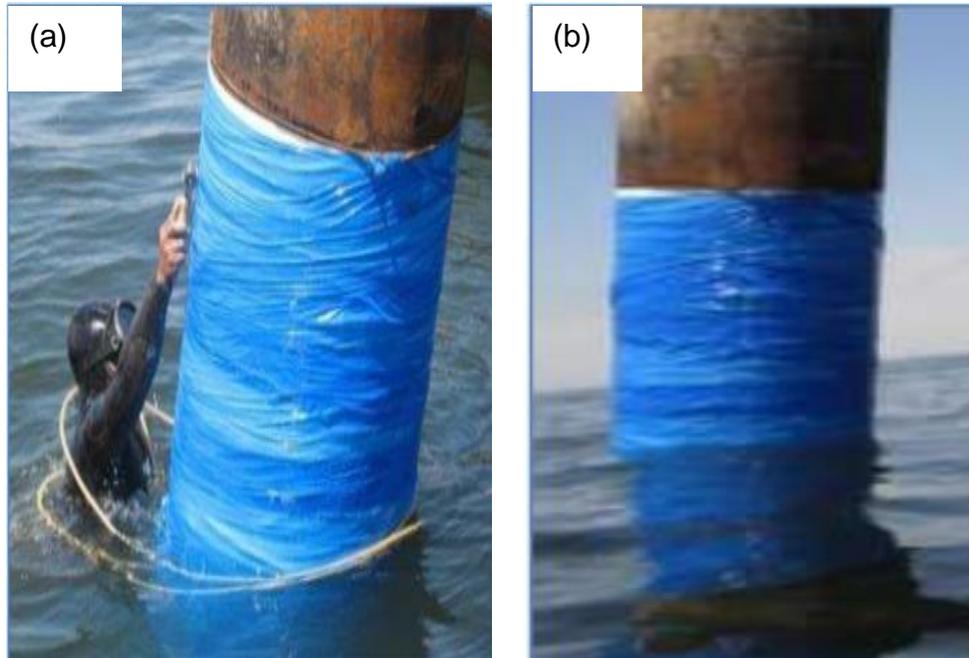


Figura 11. Pilote con el sistema *Syntho Shield* aplicado. (a) Colocación y perforación de la cinta de compresión, (b) Aplicación finalizada.

Fuente: (Sandoval, 2013)

- sistema FX-70, el cual es empleado en la restauración de estructuras marinas, acero, concreto y madera; como pilotes, plataformas marinas, pilares de puentes, etc, representado en las Figuras 12 y 13 donde se muestran algunas fotos que detallan el procedimiento seguido para la aplicación del sistema. Este consiste en una chaqueta de fibra de vidrio diseñada según la geometría de la superficie (tubos redondos, cuadrados, columnas H, T, etc.) seccionada longitudinalmente con juntas de acople, las cuales se colocan permanentemente alrededor del pilote, llenando el espacio anular entre la superficie y la chaqueta con Hydro Ester Epoxy Grout una resina insensible al agua. El sistema puede aplicarse tanto en la atmósfera o bajo el agua para construcciones nuevas o en mantenimiento.

En el paso 1 procederá a la construcción de la Base soporte, la cual se colocará dos pulgadas por debajo del punto inferior de la distancia a proteger. Este soporte se ajusta al pilote brindándole el ángulo apropiado, para apoyar en él la primera chaqueta y así mantener la misma inclinación de la superficie a cubrir, en el

paso 2 se realizará una limpieza con rasquetas y cepillo con cerdas de acero, con el objetivo de retirar la película de óxido formada, el 3^{er} paso se ejecutará previo a la colocación de la chaqueta en la estructura, agregando la masilla epóxica multifuncional insensible al agua y cubriendo totalmente ambas partes de la junta de la chaqueta para pegar el corte longitudinal y así sellar las uniones evitando que se fugue el *grout*¹¹ al ser vaciado dentro del espacio anular, en el 4^{to} paso se instalará la primera chaqueta sobre el soporte base que se ha instalado previamente.

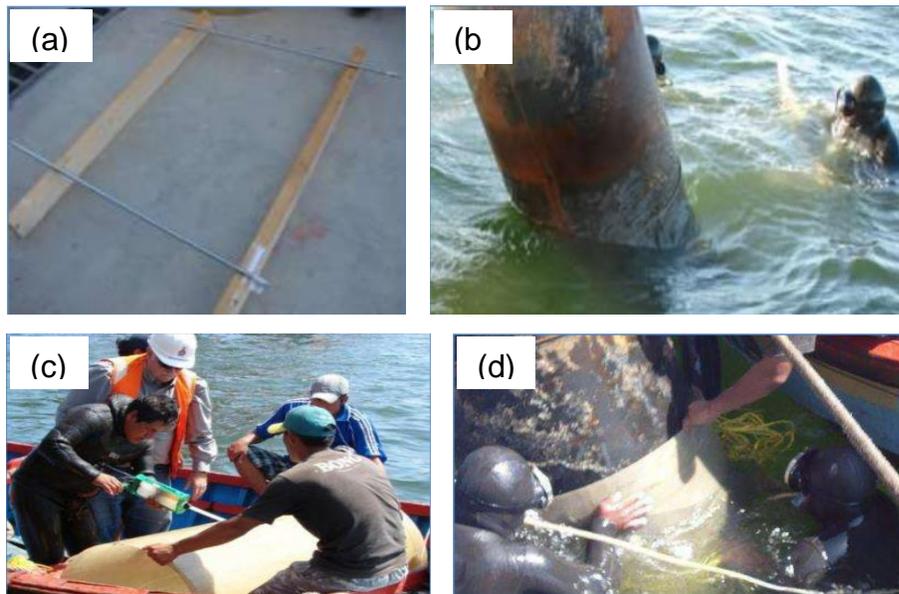


Figura 12. Algunos pasos para la colocación de la protección. (a) Base soporte, (b) Limpieza manual del pilote, (c) Colocación de masilla en la junta, (d) Colocación de la primera chaqueta.

Fuente: (Sandoval, 2013)

La segunda cubierta se apoyará sobre la primera, la cual contará con una terminación especial en donde encajará, manteniendo así la dirección con el pilote. En el 5^{to} paso se realizará la preparación del *grout*, mezclando en un recipiente libre de agua o cualquier sustancia, el componente A, el componente B y el Epoxy Hidro Ester, en el 6^{to} paso se agrega el *grout* en el espacio anular, procurando no dejar poros o discontinuidades, en el 7^{mo} paso, se siguen los mismos

¹¹ Relleno estructural sin contracción para la colocación bajo estructuras y maquinaria

procedimientos realizados para la instalación de la primera chaqueta. Colocada la chaqueta superior se procede al llenado de toda la camisa.

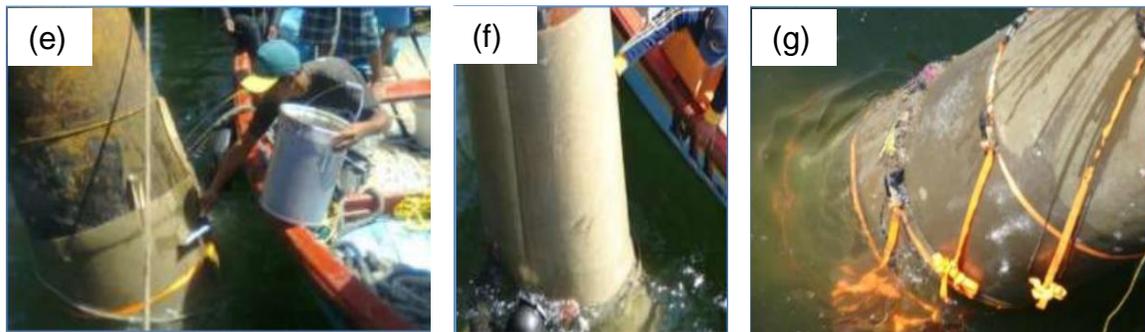


Figura 13. Últimos pasos para la aplicación de la protección. (e) Vaciado de *grout* en chaqueta, (f) Colocación de la chaqueta superior, (g) Pilote con sistema FX – 70 aplicado

Fuente: (Sandoval, 2013)

En el 8^{vo} paso se llena el espacio anular, se sellan los bordes superiores y las uniones entre chaquetas de todos los elementos que conforman el sistema. Luego de unas horas de curado se retirarán las correas ajustables (zunchos) aplicadas en cada una de las chaquetas y quedará terminada la aplicación.

- sistema *Shaic & Stopaq*.
- sistema de encapsulamiento avanzado de pilotes.
- inhibidores de corrosión, aplicados como adiciones en la masa del concreto, que recientemente han cobrado nuevo desarrollo. Siendo un tipo particular de aditivo químico para hormigón cuya función principal no va dirigida a actuar directamente sobre el hormigón en sí, sino sobre la armadura protegiéndola frente al ataque de agentes agresivos.

Como se ha descrito, existen una extensa gama de soluciones para la protección de los pilotes de soporte para las estructuras *offshore* o espigones, ya sea durante su construcción o durante su explotación. La selección de uno u otro tipo va a depender del contexto operacional de la instalación y de la disponibilidad de recursos financieros. Ya sea uno u otro sistema de protección utilizado, siempre se va extender la vida útil de la infraestructura y reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.



Capítulo II

CAPÍTULO II. ESTADO TÉCNICO DEL DELFINARIO LAS GUASAS

2.1. Delfinario Las Guasas

2.1.1. Características generales de la instalación

Nombre: Acuario Delfinario las Guasas

Ubicación: El Delfinario "Cayo Santa María", instalación extrahotelera del Polo Turístico de la Cayería Noreste de Villa Clara, se localiza en las inmediaciones del subarchipiélago de Sabana Camagüey, al sur de Cayo Ensenachos y específicamente en el Canal de La Guasa correspondiéndose con las coordenadas planas rectangulares siguientes:

X: 695 000 Y: 312 700

X: 696 000 Y: 313 500

La Figura 14 muestra la ubicación geográfica del Cayo Santa María y la posición que ocupa el Delfinario dentro del mismo y la Figura 15 una vista satelital de la instalación.

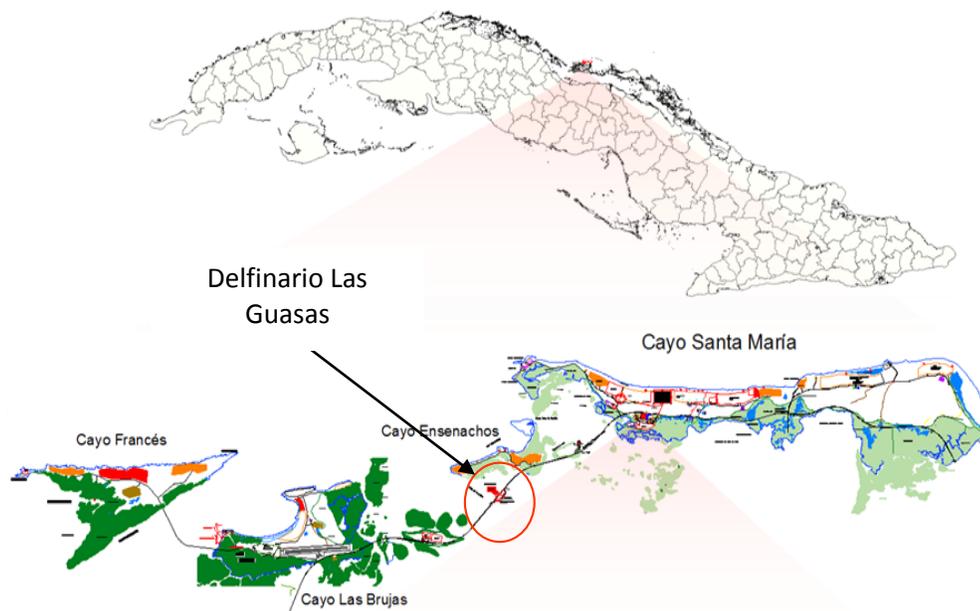


Figura 14. Ubicación geográfica del Delfinario.

Fuente: (GONZALEZ, 2017)



Figura 15. Vista satelital de la ubicación del Delfinario.

2.1.2. Objeto social que desarrolla

El Delfinario es una infraestructura de apoyo al turismo, con espectáculos de delfines, leones marinos, baño de turistas con delfines, que brinda servicios de cafeterías, venta de comestibles, bebidas y servicios de restaurant.

Tiene como misión y visión: (Resolución N°. 22/2007 del Director General Marinas Gaviota S.A.)

Misión: Satisfacer las expectativas de los clientes garantizándoles una alta vocación que distinga la calidad en los servicios náuticos, recreativos y gastronómicos.

Visión: Estabilizar un servicio turístico dinámico y sólido, que permita estimular las ventas y repitencia de los clientes, para lograr el liderazgo dentro del mercado.

2.1.3. Infraestructura

La instalación cuenta con un edificio administrativo, un local de mantenimiento, una garita para guardia, nueve piscinas para la interacción con delfines, un acuario, un restaurante, un bar-café, un centro de fotos, servicios sanitarios, parqueo, muelle de embarcaciones, cocina, un comedor de internos, varias cámaras frías, almacén, local para entrenadores,

un vivero de langostas, un área de show de leones marinos y un área para show de delfines. La Figura 16 muestra un esquema de la instalación.

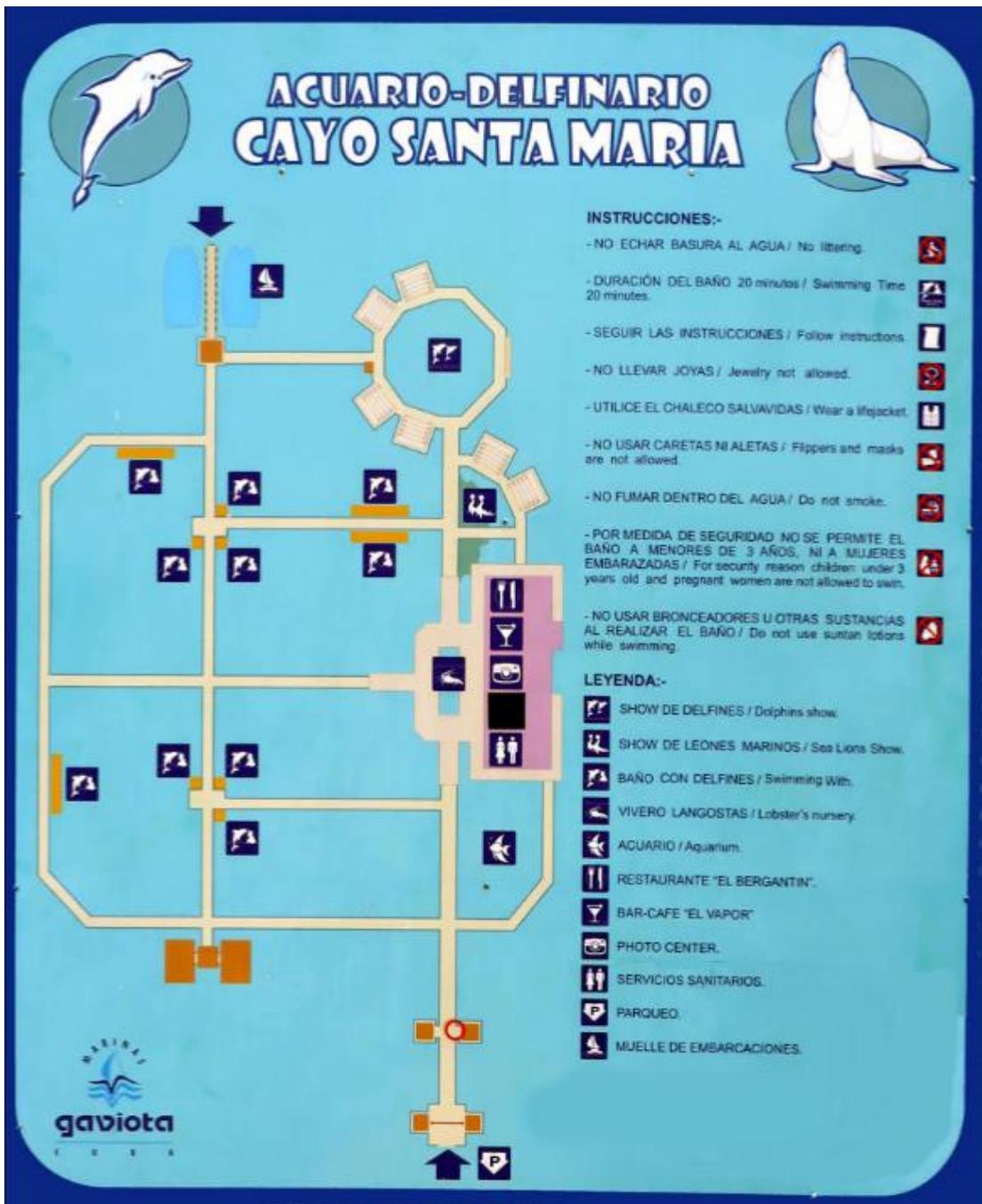


Figura 16. Infraestructura del Delfinario.

2.1.3.1. Materiales utilizados para la construcción de la infraestructura

El Delfinario Las Guasas se puede considerar una construcción *offshore* apoyada sobre el lecho del mar, puesto que está separado del cayo varios metros y soportado por pilotes mixtos de rieles y hormigón armado. En su infraestructura se encuentran diferentes materiales entre los que se pueden mencionar:

- Cerchas utilizado en las vigas de los techos, todos los elementos son de madera unidos mediante tornillos M16 (acero inoxidable)

Características de la madera: Pino Tea, peso 740 kg/m^3 , $\sigma = 90 \text{ MPa}$, $E = 12.000 \text{ MPa}$. Según el fabricante es una madera de primera calidad resistente a la intemperie, insectos y humedad.

- Las cubiertas planas son de losas SPIROLL¹² de 200 mm de espesor.
- Las vigas de hormigón están hechas de:
 - Hormigón R'bk de 30 MPa
 - R'ak de 280 MPa
 - Cuadro de acero tipo: G-34, G-35 y G-40
- Toda la carpintería es de aluminio y los herrajes y tornillería de acero galvanizado.
- Las barandas son de acero galvanizado y de acero inoxidable.
- Las gradas de los shows tienen pintura azul de aceite resistente a la intemperie.

Todas las columnas tienen las siguientes características:

- Son fundidas in situ y penetran al menos 1 m dentro de los pilotes.

Especificaciones del hormigón: R'bk = 30 MPa, R'ak = 280 MPa, tamaño máximo de áridos de 19 a 38 mm, consistencia plástica, máxima condición a/c = 0,40, contenido mínimo de cemento 350 kg/m^3 , recubrimiento neto 50 mm, vibrado y curado según NC-120-2001, contenido máximo de cloruros 0,20 %,

¹² elemento extruido pretensado el cual tiene ductos integrados en su sección transversal en toda su longitud que permiten reducir el peso de la pieza

tamaño máximo de áridos 25 mm, cuadros de acero: marca 404, 601 y 602 (tipo G40).

2.1.3.2. Materiales empleados en la fabricación de los pilotes

Los materiales empleados para la fabricación de los pilotes en el Delfinario fueron

1. Acero P-50 para el núcleo
2. Acero G-40 para el cuadro del inserto
3. Hormigón P-350

La Tabla 2 muestra la composición química y las propiedades mecánicas de los aceros empleados en la construcción de los pilotes.

Tabla 2. Composición química y propiedades mecánicas de los aceros empleadas.

Materiales	Composición química	Propiedades mecánicas
Acero P-50 (Según GB 2587-2007)	C = 0,65 a 0,77 % Mn = 1,10 a 1,50 % Si = 0,15 a 0,35 % P <= 0,04 % S <= 0,04 %	$\sigma_y = 880$ MPa $\sigma_u = 460$ MPa HB = 260
Acero G-40 (Según ASTM A615 Gr40)	C = 0,21 a 0,25 % Mn = 1,05 a 1,15 % Si = 0,5 a 0,7 % P <= 0,035 % S <= 0,035 %	$\sigma_y = 510$ MPa $\sigma_u = 410$ MPa

La Tabla 3 muestra los materiales de los cual se compone el Hormigón y sus propiedades mecánicas

Tabla 3. Composición y propiedades mecánicas del hormigón

Material	Composición	Propiedades mecánicas
Hormigón	Cemento P-350 Áridos tipo A y 1 ^{era} clase Contenido máximo de iones cloruro < 0,08 % el peso del cemento Agua	Resistencia a la compresión de 300 kg/cm ²
Nota	<ol style="list-style-type: none"> 1. El contenido mínimo de cemento empleado fue de 385 kg/m³ de Hormigón 2. Para los áridos se usó la NC 54-125:85 3. La relación máxima Agua/Cemento fue de 0,4 4. El tamaño máximo del árido grueso fue de 19 mm (preferentemente gravilla.) 	

Para ensamblar la armadura de los pilotes se usó una grúa para posicionar los dos primeros carriles y soldarlos en un ángulo de 120° cada uno, y luego posicionar el otro completando la estructura, ver Figura 17.

El primer cordón realizado fue el AA en la zona de la superficie de rodamiento (corona), continuando posteriormente con los cordones A, B y C. Se usaron electrodos AWS E7018 de diámetro 5 mm.

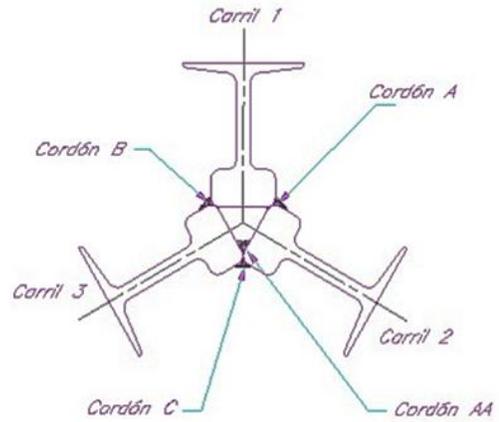
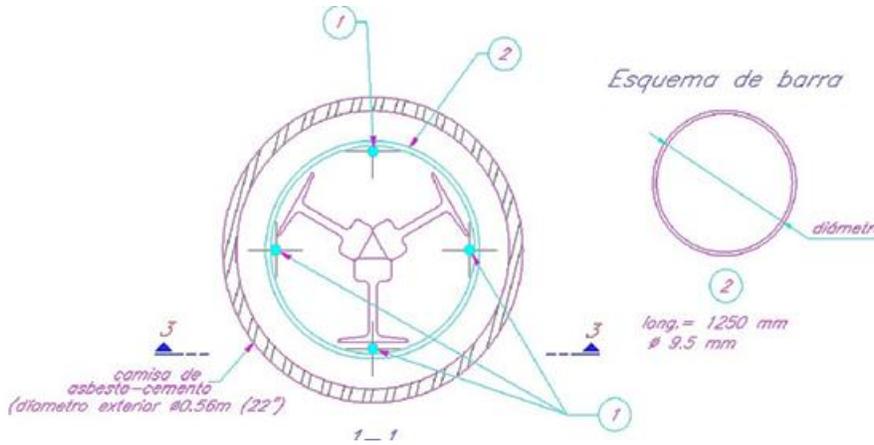


Figura 17. Colocación de los carriles a soldar.

En la Figura 18 se muestra el esquema de los pilotes y el resumen de hincas del edificio principal.



RESUMEN DE HINCA EDIFICIO PRINCIPAL									
Pilote		Elementos				Hormigon			
Esquema	Cantidad	Marca	Longitud (m)		Peso (ton)		Material	Cont. (m³)	
			Marca	TOTAL	Marca	TOTAL		Marca	TOTAL
	239	Riel P-50 (o Riel P-43)	18.75	4482	0.94	225	R'bk=300 Kg/cm² (relleno en cofre)	0.29	69.31
		Tubo (cofre perdido)	1.43	342	-	-			
		Acero de refuerzo	ver cuadro de acero		0.017	4.04			

CUADRO DE ACERO DEL INSERTO									
Marca	No de Pos.	Descripción	Long. (mm)	Cantidad		Peso (kg)	Peso Marca (kg)	Cant. de Marcas	Sub-total (kg)
				d	l				
1	1	Barra G-40 #25.4 mm	1240	1		4.9	12.28	1	12.28
	2	R 12x280x280 mm	280	1		7.38			

Figura 18. Plano de los Pilotes y resumen de hincas.

2.1.4. Departamento de Servicios Técnicos

Para las actividades de mantenimiento en el Delfinario existe un departamento de servicios técnicos (SSTT). Dentro de las principales funciones que debe desarrollar este departamento se encuentran:

1. Planificar, impulsar y realizar las acciones de mantenimiento preventivo en la instalación.
2. Supervisar el adecuado cumplimiento y realizar las acciones de mantenimiento correctivo.
3. Establecer métodos bien estudiados para la corrección de averías típicas, ya sea para evitarlas o para que su reparación resulte económica en cuanto a materiales y mano de obra.
4. Dotar a la instalación de los materiales necesarios para un correcto desempeño de su cometido.
5. Organizar, planificar y formar el equipo técnico de la instalación.
6. Elaborar y adaptar las normativas operacionales y de seguridad del trabajo en correspondencia con la Legislación vigente.
7. Cumplimentar el sistema de comunicación existente entre el Departamento y los demás Departamentos de la instalación.
8. Elaborar de conjunto con la Defensa Civil el Plan Contra Catástrofes e instrumentar las actuaciones del personal para cada situación.

Está conformado por seis personas dentro de las que se destaca el Ingeniero Mecánico, egresado de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas Alexey Ramírez Salazar el cual ocupa el puesto de Jefe de SSTT. El resto de los operarios son: Anselmo L. Curbelo Duque, Yasmany Enríquez Mesa, Manuel Casimiro Rodríguez, Raúl de Pastors Hernández los cuales se desempeñan en el puesto de operario general de mantenimiento y Eduardo Rey Medina Alfaro el cual ocupa la plaza de auxiliar general de mantenimiento.

Las herramientas principales con que cuentan para realizar las labores de mantenimiento asignadas son: manómetro de prueba, destornilladores magnéticos, tijeras para ojalatero y para podar, machete, cuchara para albañil, pala cuadrada, pico, pistola de soplado, nivel de aluminio, escuadra de metal, pistola p/pintura, llaves ajustables cromadas de 8”,

12", 16", Alicates, juego de llaves de vaso de 1 a 2" 23 PCS, serrucho, caja profesional porta herramientas, extensión eléctrica, martillo mecánico, equipo de soldar portable, lijadora orbital, corta tubos, probador de corriente 100 V-300 V, juego de llaves ALLIEN, atornillador base plana 3,5 x 100, cincel con protector, mazo de 2 lb, cortador Star-60 N Plus con maleta, taladro percusión variable Revers 16 V, amoladora AGR23-18/24-28, cepillo de carpintero, juego de broca plana p/madera, juego de broca de acero al carbono para madera, juego de terraja profesional, cinta métrica metálica 5 m y segueta.

2.1.5. Sistema de mantenimiento aplicado a la instalación

El Manual de SSTT de (Gaviota, 2011), en el epígrafe 3.4 trata sobre la ejecución del mantenimiento preventivo y reparación de inmuebles y establece:

La explotación, el mantenimiento y la reparación de los inmuebles tienen una extraordinaria importancia económica, ya que la aplicación de una correcta política de uso y conservación de los mismos, contribuyen a prolongar su vida útil sin la necesidad de realizar inversiones apreciables y al mismo tiempo mantener la imagen requerida para el servicio que deben prestar.

En este epígrafe se trata el término de vida útil que no es más que el tiempo que se fija para el uso de una construcción o de sus elementos componentes con la misma seguridad y eficiencia con que se proyectó y se ejecutó, (...), recibiendo trabajos periódicos de conservación.

Teniendo en cuenta que el Delfinario fue construido para 20 años de explotación, de los cuales lleva 7 y aunque se evidencia un buen estado general de conservación, no se realizan inspecciones periódicas a los pilotes, los que constituyen la columna vertebral de dicha estructura.

Por otra parte, el subíndice 3.4.3. (Inspecciones para el control del estado técnico) establece que las inspecciones pueden ser de carácter ordinario y extraordinario. La primera se refiere a las que se efectúan periódicamente de acuerdo a una planificación y las segundas las efectuadas por indicaciones o por situaciones especiales. Por lo que se pudiera establecer un sistema de inspecciones a los pilotes no solo a la parte visible, sino inspeccionar la sumergida. Esto garantizará mantener un monitoreo de la degradación

estructural y tomar oportunamente las medidas para contrarrestarla extendiendo la vida útil de la instalación.

Con respecto al tiempo de vida útil de los elementos componentes los clasifica en tres grupos según su durabilidad:

Nivel de durabilidad

Grupo A: Elementos de gran durabilidad de 40 a 100 años.

Grupo B: Elementos de durabilidad media de 10 a 60 años.

Grupo C: Elementos de poca durabilidad de 1 a 5 años.

El tiempo de vida útil estimado de los elementos fabricados de hormigón armado pertenecen al Grupo A, aunque los elementos tratados son: cimientos aislados de hormigón armado y columnas o muros del mismo material, por lo cual no se toma en cuenta la vida útil que puede tener un pilote hincado en el lecho marino.

Se puede concluir que en el manual de SSTT de Gaviota no se establece un plan de mantenimiento a seguir para una instalación con las características del Delfinario teniendo en cuenta que es una infraestructura *offshore* sobre pilotes como elementos componentes de la misma.

No obstante, en la instalación se aplica un mantenimiento compuesto por el Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP) y el Mantenimiento Correctivo con el objetivo de mantener la misma en óptimas condiciones de explotación, esto ha permitido mantener la infraestructura en excelentes condiciones, muestra de la profesionalidad del personal de mantenimiento.

2.2. Caracterización del estado técnico de la instalación

En este aspecto se aborda lo relacionado con los principales elementos por los que está compuesta la infraestructura del Delfinario, su estado técnico actual y las posibles causas que puedan estar generando los daños encontrados.

Los principales elementos por los que está compuesta dicha infraestructura son:

- Los muelles de acceso.
- Las barandas metálicas.
- Las gradas del show de delfines y del león marino.
- El local de entrenadores.

- Edificio principal.
- Los pilotes de cementación.

Según la inspección realizada por ALMEST el 27/02/18, al Delfinario, instalación que tiene casi 7 años de explotación, se considera que el inmueble según su estado técnico se cataloga de bien, con un grado de deterioro del 14 % y presenta un IDA¹³ de 2,09 %. Al aspecto de Arquitectura y Estructura le corresponde un grado de deterioro del 10 % con una incidencia de 17,8 % y un IDA de 1,55 %.

En los muelles de acceso, luego de las inspecciones realizadas se pudo comprobar, que se encuentran en buen estado, exceptuando el muelle de acceso al local de entrenadores, el cual luego del paso del huracán Irma, sufrió algunos daños estructurales en la unión con el muelle principal.

Durante la inspección, se detecta que la unión entre estos muelles Figura 19, se fracturó, por lo cual se puede apreciar la pequeña oscilación que sufre este muelle. Estas oscilaciones pueden dañar la estructura restante por la fatiga ocasionando mayores afectaciones.

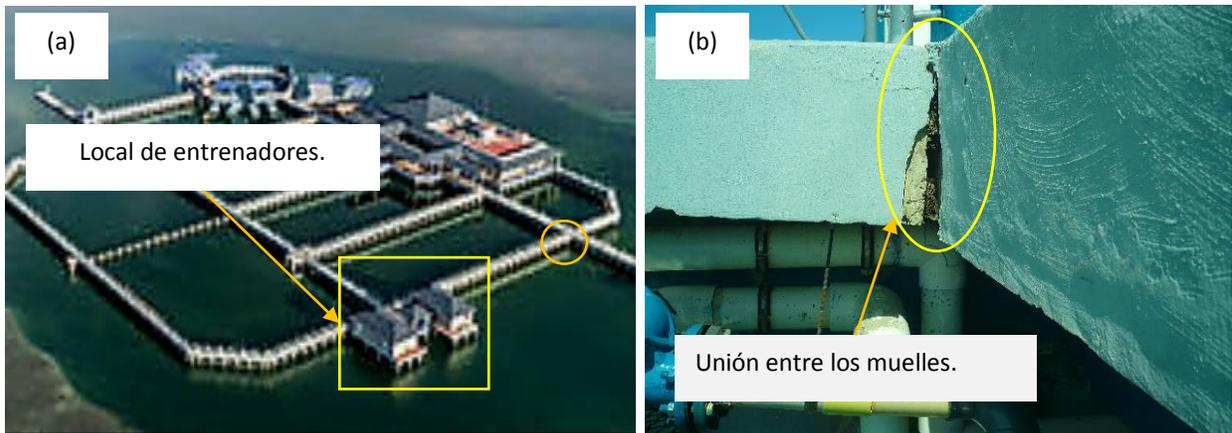


Figura 19. Unión entre muelle principal y muelle de acceso. (a) Vista superior, el círculo indica el lugar de la fractura, (b) Detalle de la fractura.

¹³ índice de deterioro anual

Las barandas metálicas y soporte de los techos de los shows, las cuales están conformadas en su mayoría de acero galvanizado y de acero inoxidable las de los shows de delfines y león marino. Se puede apreciar que las de acero galvanizado, en su gran mayoría ya se encuentran afectadas por la corrosión, principalmente por la cara exterior del muelle, esto debido al espray salino constante al que están sometidos el cual crea una capa de macro cristales NaCl provocando corrosión por picaduras. Las más afectadas han sido cambiadas, las que no, se protegieron con pintura anticorrosiva gris.

En el caso de las barandas de acero inoxidable (Figura 20), en su mayoría ya presentan manchas oscuras, manifestación de corrosión localizada y por picaduras, además que la tornillería utilizada es de acero inoxidable con arandelas de acero al carbono y en algunos casos juntas de gomas las cuales ya no cumplen objetivo por su mal estado, esto provoca la creación de un par galvánico que ha afectado tanto a las barandas como a la arandela, todo por una mala selección de los elementos de sujeción.

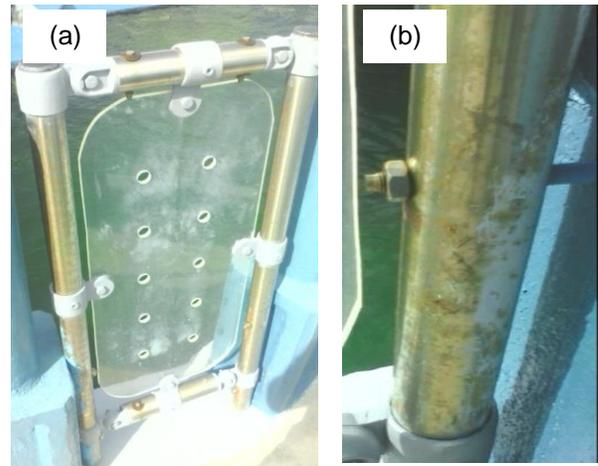


Figura 21. Barandas de acero inoxidable. (a) Vista de la baranda, (b) Detalle del tubo.

En la Figura 21 se pueden observar la manifestación de este fenómeno de degradación.

En lo correspondiente a las gradas de los shows, no se aprecian daños en la estructura y se observa que están protegidas por una reciente capa de pintura azul de esmalte sintético resistente a la intemperie como se puede observar en la Figura 22.



Figura 20. Corrosión por par galvánico.



Figura 22. Gradas de los Shows.

En el local de entrenadores y al edificio principal, se puede apreciar el desprendimiento en algunas partes del *shingle*¹⁴ asfáltico que fue colocado en las cubiertas inclinadas producto del huracán Irma, el piso del pasillo de circulación de acceso al área de servicio del restaurante se encuentra desconchado en la cocina en varios locales se encuentran laminas metálicas del falso techo corridas. En las columnas no se aprecian grietas, fisuras, delaminaciones, ni daños en las armaduras, muestras del buen estado técnico de la estructura.

En inspección subacuática realizada a los pilotes, se aprecia una gran cantidad de incrustaciones producidas por organismos marinos como moluscos, algas, corales, percebes y bacterias los cuales se encuentran presentes tanto en la parte cubierta por el hormigón como en el acero desnudo como se observa en la Figura 23.

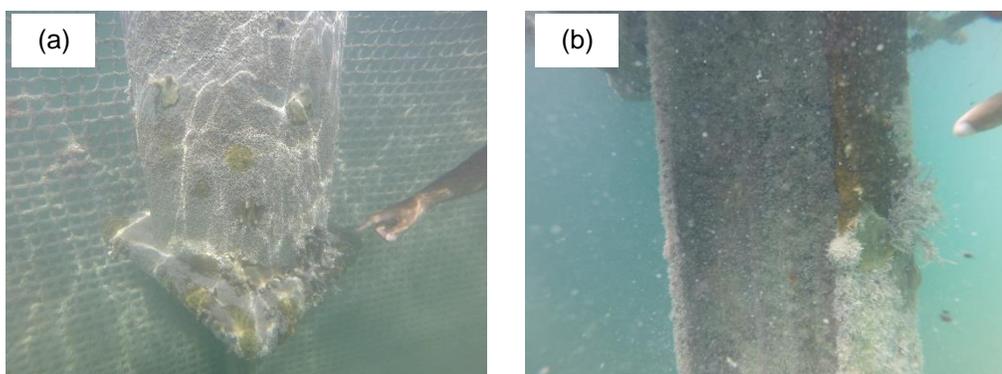


Figura 23. Presencia de crecimiento de flora marina en las Pilotes, (a) camisa del pilote, (b) vigas de acero P50

¹⁴ delgada pieza de madera, pizarra, metal, amianto o similar, generalmente oblonga, colocada en filas superpuestas para cubrir los techos y las paredes de los edificios

Esta compleja flora y fauna marina adherida al pilote puede provocar degradación por corrosión por picaduras y generalizada por los ácidos orgánicos que están presentes en los procesos de metabolismo (Gómez, 2007).

También se puede apreciar en el área de salpicadura la presencia de delaminaciones, desprendimientos, grietas, fisuras y formación de óxido en las armaduras expuestas como lo indica la Figura 24.

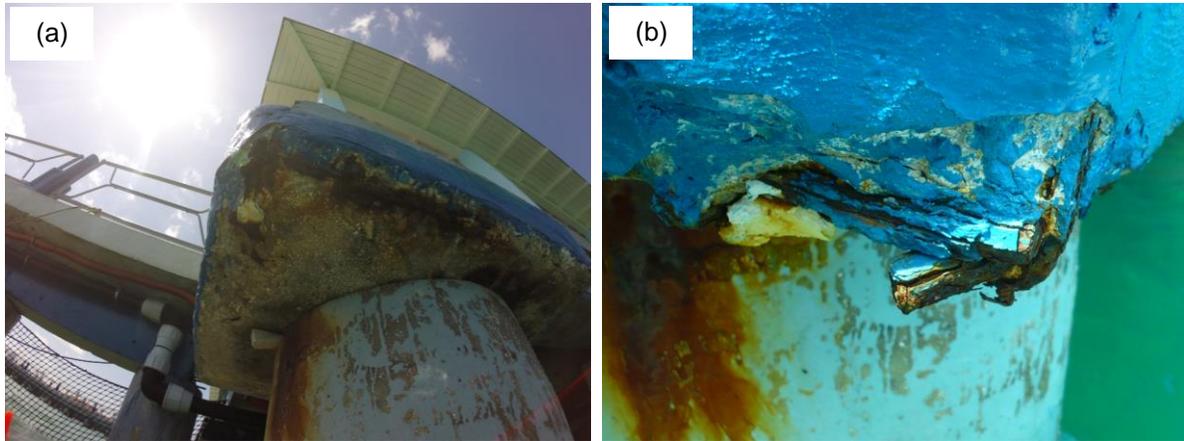


Figura 24. Condición actual de la zona de salpicadura, (a) imagen por la parte inferior de la loza de soporte, (b) detalle de la degradación.

Esto demuestra la vulnerabilidad de los soportes a la acción del medio, lo que puede provocar un fallo del soporte estructural de la plataforma si no se realizan acciones correctivas para eliminar la afectación y mantener un sistema periódico de inspecciones.

La Figura 25 muestra una secuencia de fotos tomadas durante un raspado realizado a una viga de acero P50 en la zona sumergida.

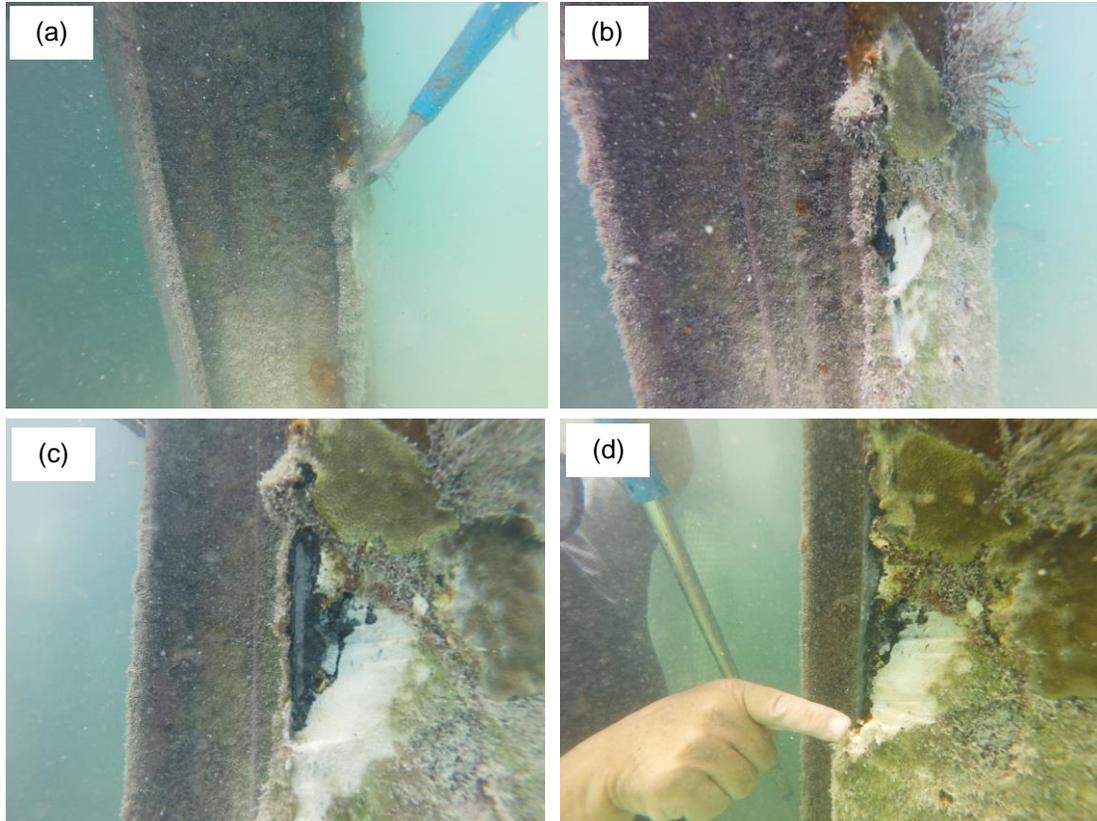


Figura 25. Raspado de los Pilotes, (a) raspado de la viga de acero P50, (b) detalle de la acreción de carbonatos y vegetación marina, (c) y (d) detalle de la zona donde se raspó.

La Figura 25 (a) muestra cómo se raspa la viga de acero P50 con una espátula, la (b) muestra la acreción de los carbonatos y el crecimiento de vegetación adherida a la superficie, la (c) y (d) detalle de la zona raspada donde se observa la capa de carbonatos, seguida de una de óxido con un espesor aproximado de unos 10 y 6 mm respectivamente.

Los fenómenos de degradación observados están propiciados por las condiciones de operación tan agresivas en las cuales se desempeñan, favoreciendo el daño de las armaduras por la acción de los cloruros, la creación de celdas galvánicas y la formación de picaduras producidas por los ácidos orgánicos generados por los organismos marinos, lo que coincide con la literatura consultada (Gómez, 2007, Sandoval, 2013, Bermúdez, 2007)

2.3. Propuesta de acciones de mantenimiento enfocado a los fenómenos de degradación de los pilotes

En el caso del Delfinario, es importante tener en cuenta los diferentes mecanismos de degradación estructural y su relación con los fenómenos que se observan, para de esta forma ejercer de la mejor manera cualquier acción correctiva enfocada a mantener en buen estado técnico la instalación alargando su vida útil.

Es evidente que la ubicación de la instalación propicia que la estructura sobre y bajo el mar, sea muy propensa al continuo ataque de agentes agresivos. Esto se manifiesta en la inspección preliminar realizada, donde se observan varios tipos de daños en las estructuras, principalmente la caída del recubrimiento de concreto en algunos elementos, delaminaciones y agrietamientos, así como la acreción de carbonatos y corrosión de los pilotes.

Es importante resaltar que la calidad y la duración de las reparaciones de estructuras de hormigón armado dependen de la correcta evaluación y de un acertado diagnóstico del problema, basados en adecuados procedimientos de inspección, así como de los pilotes.

A continuación, se proponen una serie de acciones que pueden ser llevadas a cabo, luego de algunos años de servicio de la instalación (como es este el caso), con el fin de atenuar o disminuir los fenómenos de corrosión que puedan estar dañando los pilotes.

2.3.1. Técnicas que se proponen para atenuar la degradación de los pilotes

Para los pilotes se pueden utilizar dos tipos de protección:

I. Sistemas de protección catódica por ánodos de sacrificio.

Estos sistemas se aplican en estructuras marinas de acero debido a que puede ser fácilmente instalado. Los costos de instalación y mantenimiento no son elevados y se realizan con relativa facilidad.

II. Sistemas de protección catódica por corrientes impresas.

Es aplicada a las estructuras marinas de acero por debajo del nivel bajo de marea. La eficiencia es del 90 % en pilotes desnudos y la densidad de corriente es de 100 mA/m² en el agua de mar y de 130 a 150 mA/m² en agua de mar

contaminada. Los costos de instalación es un aspecto a considerar, así como los de mantenimiento.

De los dos sistemas propuestos, se recomienda aplicar inicialmente la protección catódica por corriente impresa ya que es más eficiente por su largo tiempo de uso y altas corrientes de protección y es el que se recomienda para instalaciones de mediana y gran envergadura.

Otra de las razones por la cual se propone utilizar este sistema es por las ventajas y desventajas que ofrece.

Ventajas

- Puede diseñarse para un amplio intervalo de potencial y corriente.
- Un ánodo o lecho anódico puede suministrar una gran corriente.
- Con una sola instalación se pueden proteger superficies muy grandes.
- Potencial y corrientes variables.
- Se puede utilizar en ambientes de resistividad elevados.
- Ideal para proteger estructuras mal cubiertas o cubiertas.

Desventajas

- Puede causar problemas de interferencia.
- Requiere una inspección periódica y de mantenimiento.
- Requiere de una fuente de corriente continua.
- Posibilidad de condiciones de sobreprotección con daños a recubrimientos y problemas de fragilización por la acción del hidrógeno.
- Tiene costo elevado.

Es de suma importancia insistir que el sistema por corrientes impresas duplica la vida del sistema por ánodos de sacrificio. Esto lleva a confirmar que el sistema de protección catódica por corrientes impresas es la mejor opción para proteger los pilotes del Acuario Delfinario.

2.3.2. Propuesta de sistema de mantenimiento para los pilotes

El propósito de esta sección es especificar requisitos y recomendaciones para la inspección en servicio (monitoreo de condición) y mantenimiento basado en la condición de los pilotes del Delfinario, e indicar cómo estos requisitos y recomendaciones pueden ser alcanzados.

I. Sistema de inspección basado en tres niveles y que su aplicación estará determinada por la condición detectada y por el acceso a la tecnología de diagnóstico.

- **Primer nivel: Inspección Visual Global**

Esta se realizará para detectar daños evidentes puntuales o extensos como los daños por impacto, grietas anchas, los asentamientos, la inclinación, etc. La inspección se puede realizar a distancia, si no tienen acceso directo a las zonas inspeccionadas, por ejemplo, mediante el uso de binoculares. La limpieza previa de la inspección no se necesita. La inspección debe incluir un estudio para determinar si la estructura está sufriendo asentamientos uniformes o diferenciales.

- **Segundo nivel: Inspección Visual Detallada**

La misma es un examen visual de la superficie específica, para detectar daños incipientes o leves. El método de inspección requiere el acceso directo a la zona inspeccionada. Podría ser necesaria la limpieza del elemento inspeccionado. Es de vital importancia mantener un registro fotográfico de los daños encontrados con el objetivo de posteriores comparaciones para tener una medida de como aumenta el daño con el paso del tiempo.

- **Tercer nivel: Inspecciones mediante técnicas no destructivas**

Es un examen minucioso que se realizara con el objetivo de detectar daños ocultos, este puede ser realizado por métodos eléctricos, electroquímicos o de otro tipo, así con equipamiento especializado (ultrasonido, etc.). El método de inspección requiere el acceso directo a la zona inspeccionada. La limpieza previa del elemento de inspección se requiere normalmente.

Las inspecciones deben centrarse en la detección de posibles daños o defectos causados por:

- Cargas ambientales
- Cargas mecánicas
- Cloruro de entrada
- Las cargas de impacto.

Los defectos típicos serán:

- Grietas
- Corrosión de las armaduras
- Revestimientos dañados
- Daños por impacto local.

La estructura debe ser monitoreada con el objetivo de detectar pequeños daños y defectos que puedan desarrollar una situación crítica. Se debe poner particular énfasis en la identificación de los posibles pequeños fallos, que puedan conducir a un colapso progresivo.

Finalmente se establecerá un sistema de marcado para facilitar la identificación de elementos significativos para inspecciones futuras. El marcado también debe ser considerado para las zonas sospechosas y con posibles reparaciones importantes.

Una vez que se tengan los resultados de estas inspecciones se procede a realizar un mantenimiento basado en la condición.

II. Protección catódica por corriente impresa y mantenimiento basado en la condición

Para efectuar el mantenimiento del sistema de protección catódica por corriente impresa se recomienda que este sea con acciones preventivas e incluirá inspecciones periódicas, controles y acciones de recubrimientos de superficies y un monitoreo periódico del sistema.

Se deben realizar mediciones periódicas de los potenciales de polarización, inspección y revisión de los parámetros de los transformadores y rectificadores. Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Condiciones de operación
- ✓ Corriente de salida por ánodos inertes
- ✓ Resistencia del aislamiento del cableado

En el caso del mantenimiento basado en la condición, se debe diseñar un plan de acciones específico a ejecutar en función de los resultados de la inspección realizada.

Para que este plan tenga buen desempeño se deben respetar los siguientes pasos:

- Se centrará en las áreas de alta probabilidad de daño (zona de salpicadura y zona de cambio de mareas)
- Debe ser repetitivo, para establecer la evolución de la degradación.

Las acciones son diversas y de diferentes grados de complejidad, que pueden incluir desde la aplicación de una capa protectora de pintura hasta la sustitución de elementos del pilote. Siempre tener en cuenta que afecte lo menos posible los servicios que se ofertan en la instalación, así como alguna contaminación al medio ambiente.

Las actividades de monitoreo deben reflejar la necesidad de trabajos de reparación y mantenimiento. El mantenimiento debe llevarse a cabo de acuerdo con un plan basado en la vida útil de la estructura o cuando los esfuerzos de inspección o supervisión especificados detectan sucesos imprevistos.

Es de suma importancia que el personal que participe en la inspección y evaluación del estado, tenga la competencia pertinente en relación con el diseño de los pilotes y experiencia específica en la aplicación de técnicas de control y el uso de instrumentos y equipos de inspección y diagnóstico técnico.



Conclusiones

CONCLUSIONES

Como resultado de esta tesis se arriban a las siguientes conclusiones:

1. Las infraestructuras de instalaciones cercanas a la costa o dentro del mar (*offshore*) están sometidas a agresivos fenómenos de degradación estructural por parte del ambiente con mayor impacto en las partes que se encuentran en contacto directo con el agua de mar. Aspectos que complejizan el contexto operacional de estas instalaciones y su mantenimiento.
2. Los fenómenos de degradación presentes en el Delfinario se manifiestan en tres zonas: zona completamente sumergida, en la que el acero se corroe a muy baja velocidad, dada la poca disponibilidad de oxígeno, zona intermedia, comprendida en la zona de salpicadura, donde ocurre un alto porcentaje de corrosión, debido a un continuo humedecimiento seguido por un secado, que provee a la estructura tanto de altas concentraciones de cloruros como de suficiente oxígeno y la zona atmosférica, donde presenta un menor grado de corrosión, debido a que los cloruros son transportados allí por el viento en menor cantidad. Acrecentado por las propiedades físico química de las aguas que lo rodean con una salinidad del 38,6 % y un pH de 7,95, factores que favorecen la carbonatación del hormigón y la corrosión de los pilotes.
3. El Delfinario Las Guasas tiene un buen estado técnico en su infraestructura, sin embargo, los resultados de la inspección visual realizada a los pilotes muestran los efectos de la degradación del medioambiente en solo 7 años de explotación, manifestado principalmente por la acreción de carbonatos, fauna y flora marina, corrosión de los pilotes en la parte sumergida y en la parte de salpicadura corrosión generalizada de la armadura con el agrietamiento del hormigón.
4. Se proponen un conjunto de acciones de mantenimiento enfocado a atenuar los fenómenos de degradación de los pilotes, iniciando con un sistema de inspección basado en tres niveles, aplicar protección catódica por corrientes impresas para disminuir el efecto de la corrosión del acero P50 y establecer un mantenimiento basado en la condición en función de la degradación presente y su evolución.



Recomendaciones

RECOMENDACIONES

Con la realización de este trabajo se recomienda:

1. Proponer a los directivos del Grupo de Hotelería y Turismo Gaviota S.A. aplicar los resultados expuestos en este trabajo de diploma en el Delfinario las Guasas en lo referido a:
 - a) Crear una cultura de los fenómenos de degradación de las estructuras cercanas al mar y *offshore*, no solamente del conocimiento, sino también el comportamiento proactivo para la toma de decisiones en el tiempo oportuno, lo que hará posible un mayor rendimiento con menor deterioro, evitando riesgos que atenten la integridad de las personas y del medio ambiente.
 - b) Realizar una inspección general a la instalación dejando evidencia documental del estado de la degradación, de modo que permita posteriores acciones de investigación y de corrección.
 - c) Aplicar la protección catódica por corrientes impresas para disminuir el efecto de la corrosión del acero P50
 - d) Establecer un mantenimiento basado en la condición en función de la degradación presente y su evolución.



Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- ABASCAL, J. 2013. Hormigón en ambiente marino. *Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones*, 53.
- AMAYA, J. L., CORNEJO, M., RIGAIL-CEDENO, P. & ENG, D. Análisis del costo del ciclo de vida del uso de inhibidores de corrosión para la protección de estructuras de hormigón armado. 2016. 14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering Innovations for Global Sustainability.
- ARENAL, I. M. 2001. Caracterización general de la capa activa oceánica en los mares cercanos a Cuba y su posible enlace con el desarrollo de los ciclones tropicales. *Rev. Invest. Mar*, 22, 81-91.
- BALLESTEROS, D. Y. P., AMADOR, A. S., DURÁN, H. A. E., FAJARDO, D. S. & ASCANIO, L. Q. 2015. Corrosión de acero galvanizado en un ambiente que contiene cloruros y sulfatos mediante técnicas electroquímicas/Corrosion behavior of galvanized steel in an atmosphere containing chlorides and sulfates by electrochemical techniques. *Informador Técnico*, 79, 127.
- BERMÚDEZ, M. A. O. 2007. *Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: Zona de carrera de mareas y zona sumergida*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid
- BORGES, P. C. & SALAZAR, R. C. 2000. Inspección de daños por corrosión en estructuras de la costa yucateca (estudio de caso). *Corrosión en estructuras de concreto reforzado*, 5.
- DE GUZMÁN, D. S. 2001. *Tecnología del concreto y del mortero*, Pontificia Universidad Javeriana.
- ESCORIHUELA, M. J. & FERNÁNDEZ-PEÑA, O. 1976. Durabilidad del hormigón. *Materiales de Construcción*, 26, 65-81.
- FERNÁNDEZ, R. P. & PARDO, M. L. El comportamiento en la mar de estructuras flotantes. *anales de mecánica y electricidad*, 2011.
- GAVIOTA 2011. *Manual de Servicios Técnicos del Turismo*. La Habana: Gaviota S. A.

- GÓMEZ, J. A. M. 2007. *Diseño de Sistema de Protección Catódica de Pilotes Metálicos Tipo Frodingham en Puelles Portuarios*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- GONZÁLEZ, R. L. 2017. Monitoreo y caracterización de aguas de mar al Delfinario ubicado en el Cayo Santa María. 24.
- GUILLERMO, R.-R., WILLIAM, A.-C. & EMILIO, D.-T. 2015. Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 16, 565-572.
- KOSMATKA, S. H., PANARESE, W. C. & BRINGAS, M. S. 1992. *Diseño y control de mezclas de concreto*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- MARTÍN, F. L., VIDAL, C., LOSADA, M. Á. & MEDINA, R. 1995. Un método para el cálculo de las acciones del oleaje sobre los espaldones de los diques rompeolas. *Ingeniería del agua*, 2.
- NIL, G. A. & ALBERT, R. M. J. 2007. *Investigación de los materiales de una plataforma offshore*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- ONEI 2018. Anuario estadístico de Cuba. Capítulo 15 Turismo. Ciudad de la Habana: Oficina Nacional de Estadística e Información.
- ORTIZ LOZANO, J. Á. 2005. *Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado*, Universitat Politècnica de Catalunya.
- PCC 2016. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el periodo 2016-2021 *VII Congreso del Partido Comunista de Cuba*, 56.
- RODRÍGUEZ, A. M. 2006. Características del “Rastro” de un Huracán a su paso Sobre la Superficie Oceánica. *Revista Cubana de Meteorología*, 13.
- ROMERO, P. 1985. *Mareas terrestres y rotacion de la Tierra*. Tesis Doctoral. Fac. Ciencias Matematicas. Univ. Complutense. Madrid.

- SANDOVAL, T. E. M. 2013. *Mejoras para la protección anticorrosiva en la zona splash de los pilotes en el muelle del Terminal Bayóvar*. Tesis de pregrado en Ingeniería Mecánico-Eléctrica, Universidad de Piura.
- SERGIO, B. R. 2017. La corrosión del acero de refuerzo en el hormigón armado. *Conferencia 8*.
- TARRADILLOS, P. G., LLORCA, M. A. C. & GÓMEZ, E. Z. 2008. *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado*, ECU.
- TURISMO, O. M. D. 2018. *Resultados del turismo internacional en 2017: los más altos en siete años* [Online]. Available: <http://media.unwto.org/es/press-release/2018-01-15/resultados-del-turismo-internacional-en-2017-los-mas-altos-en-siete-anos> [Accessed 25 enero 2018].
- WERLINGER, C., ALVEAL, K. & ROMO, H. 2004. *Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos*, Consejo Nacional del Libro y la Lectura.