

XXI COPINAVAL 2009

TITULO DEL TRABAJO

PROCEDIMIENTO DE INSPECCION PARA EL DIAGNOSTICO CORROSIVO-ESTRUCTURAL EN LA SUPERESTRUCTURA DE OBRAS HIDROTECNICAS

Autor: Ing. Civil. Ignacio Sinconegui.
Administración Portuaria Nacional. Ministerio del Transporte. La Habana. Cuba.
e-mail: ignacio@apn.transnet.cu

Autor: Técnico en Prefabricados. Sandra LLorca.
Empresa Constructora de Obras Marítimas. Ministerio de la Construcción. La Habana. Cuba.
e-mail: construcciones@eomarit.com.cu

RESUMEN

Se presenta un procedimiento de inspección para las construcciones hidrotécnicas con el propósito de identificar y describir las causas, evaluar, y clasificar los daños que aparecen en las obras adyacentes a las costas como son los muelles y espigones. Estas instalaciones se encuentran expuestas a los efectos agresivos del agua de mar, por las acciones accidentales de origen natural del choque de las olas, las que ocurren en la zona de salpicadura y en la zona atmosférica, ésta última afectada por el aerosol marino. El objetivo del trabajo es diagnosticar la magnitud de las lesiones por corrosión de las estructuras de hormigón armado, que por inadecuadas maniobras de las embarcaciones y de las operaciones sobre la plataforma de servicios, y los inapropiados sistemas de defensas y de puntos de amarres provocan deterioros puntualmente localizados o generalizados en la superestructura de una obra marítima, cuyas alteraciones y desperfectos inciden en la pérdida de la capacidad portante para la cual fueron diseñada.

ABSTRACT

This paper shows up an inspection procedure for maritime constructions with the purpose to identify and describe the causes, asses, and to classify the damages at constructions that appear beside to the coast such as piers and jetties. These facilities are exposed to the aggressive effects of the seawater by the natural source of break wave, which occur in splash zone and marine atmosphere zone, the latter affected by the spray. The aim of this paper is to diagnose the magnitude of the injuries due to corrosion in reinforced concrete structures by improper manoeuvres of vessels and in platform of service operations, the inadequate system defences and of points of tie-ups, cause punctually localized or widespread of damages in superstructures of maritime constructions, whose deterioration, damages, affect the loss of the bearing capacity for which they were designed.

INTRODUCCION.

La superestructura de una obra marítima ubicada en la zona costera y los materiales utilizados en la fabricación del hormigón que lo compone, son susceptibles de degradarse y desarrollar lesiones cuando se exponen al contacto directo o indirecto del aerosol marino y las salpicaduras del agua de mar, la cual contiene sulfatos y cloruros que se depositan en las superficies de toda la estructura y penetran en la masa del hormigón endurecido a través de su porosidad. Estos agentes agresivos de origen químico como son los sulfatos (SO_4^{-2}) y cloruros (Cl^-), reaccionan con algunos productos de la hidratación del cemento entre los que se destacan el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y el aluminato tricálcico (C_3A).

Ante las reacciones químicas que se producen entre los agentes agresivos presentes en el aerosol marino y en el agua de mar y los productos de la hidratación del cemento, resulta la cristalización de nuevos compuestos con el consecuente aumento de volumen que conllevan al agrietamiento, variaciones en el pH y la corrosión del acero de refuerzo del hormigón de la estructura.

El objetivo del trabajo es presentar un procedimiento de inspección preliminar para diagnosticar la magnitud de las lesiones por corrosión que aparecen en las instalaciones hidrotécnicas, con evidencias de inadecuadas maniobras de atraque y desatraque de embarcaciones, deficiencias operacionales sobre la plataforma de servicios, así como inapropiados sistemas de defensas y de puntos de amarres, que provocan deterioros puntualmente localizados o generalizados en la superestructura de una obra marítima, cuyas alteraciones y desperfectos inciden en la pérdida de la capacidad portante para la cual se diseñaron.

ALCANCE.

Abarcar la inspección preliminar de la superestructura de las obras hidrotécnicas a partir de un examen visual y los antecedentes que conduzcan al levantamiento de daños corrosivos-estructurales basada en la etapa de prediagnos al inspeccionar las estructuras para evaluar los daños de las obras. En este trabajo no se abordan los estudios previos/diagnos que tienen lugar in situ y a escala de laboratorio, ni los trabajos de gabinete concluyentes de un diagnóstico.

ANTECEDENTES.

Este procedimiento de inspección para el diagnóstico corrosivo-estructural en la superestructura de las obras hidrotécnicas está sustentado en exámenes visuales reales de estructuras severamente dañadas por corrosión del hormigón ubicados en diversos puertos de Cuba, y cuyos datos son indispensables para la toma de decisiones sobre la intervención a realizar en la obra. La base metodológica se fundamenta en una línea de chequeo de la instalación portuaria donde se incluyen los datos generales de la obra, documentación existente, tipo de operaciones que realiza, tipo y característica de las embarcaciones que operan, descripción técnica de la instalación, sistemas a inspeccionar y otros datos físicos y medioambientales de interés para el proyecto de mantenimiento y conservación según proceda.

PLANTEAMIENTO DE CRITERIOS PARA LA INSPECCION PRELIMINAR.

En el monitoreo visual de la obra hidrotécnica se analizan criterios para sugerir las principales intervenciones o acciones constructivas a realizar, posterior al diagnóstico corrosivo-estructural. Estos criterios se basan en el nivel y estado de los daños de las estructuras y son descritas a continuación:

1. Trazar el objetivo de las evaluaciones en la inspección preliminar en el contexto que enmarca la superestructura en general.
2. Considerar la importancia de la estructura dañada referida a sus funciones portantes.
3. Cuantificar los elementos estructurales dañados.
4. Medir las dimensiones y extensión dañada en las estructuras.
5. Recopilar la información técnica de la obra donde se incorporen listas de chequeos efectuados con anterioridad.
6. Adquirir la información del proyecto original u otra modificación realizada a la instalación portuaria, tales como, rehabilitación, reconstrucción, restauración, reparación, o nueva inserción.
7. Disponer de la documentación de archivo que incluya el proceso de ejecución de la obra hidrotécnica, como son, el libro de obra, las actas de trabajos ocultos, y otros relacionados con las acciones constructivas acometidas.
8. Valorar los aspectos económicos y financieros vinculados con el presupuesto para la inversión, de la propuesta de intervención o acciones constructivas.

METODO PARA LA EVALUACION DE LA OBRA HIDROTECNICA.

Fase de inspección.

Se establece la causa del daño de la superestructura y la recopilación de la información técnica.

➤ **Pasos de la inspección.**

- Identificar las inadecuadas maniobras de atraque y desatraque de las embarcaciones.
- Identificar las deficientes operaciones sobre la plataforma de servicio.
- Identificar los inapropiados sistemas de defensas y de puntos de amarres.
- Identificar la magnitud de las lesiones por corrosión que aparecen en la superestructura.
- Identificar el mecanismo de deterioro que está dañando la superestructura por causas del medio ambiente y la ubicación geográfica.

➤ **Aspectos fundamentales en el procedimiento de evaluación.**

- Impactos inherentes a daños externos.
- Efectos corrosivos por vulnerabilidad de la superestructura a la agresividad del medio.

EVALUACION DE LOS DAÑOS EN LAS OBRAS HIDROTECNICAS.

Inspección y Control.

La inspección de las estructuras hidrotécnicas se encamina a comprobar su capacidad de carga y determinar la utilidad y continuidad en el servicio que brinda. Las razones para realizar la evaluación funcional de un atraque son variadas, lo que infiere una planificación del trabajo con un ordenamiento lógico que permita arribar a conclusiones. El procedimiento planteado en este artículo solo aborda la etapa de prediagnóstico in situ.

➤ **Prediagnóstico en las obras hidrotécnicas.**

El propósito es realizar un análisis del estado de la obra hidrotécnica y de sus características y hacer una valoración para decidir la necesidad de continuar la inspección. Esta etapa se limita a reconocer la obra y fundamentar su funcionalidad, así como puntualizar las características de los

materiales y localizar las lesiones y las posibles causas, orígenes y mecanismos que las ocasionan. Se trata de hacer un reconocimiento inicial sobre la seguridad que ofrece la estructura, y priorizar las medidas necesarias para acometer la intervención. Si en esta etapa se dictamina que la estructura se encuentra en perfecto estado, concluye el estudio preliminar. Si por el contrario, el estado estructural es deplorable, continúa el proceso y entonces se orienta la siguiente etapa de estudios previos/diagnosis in situ y a nivel de laboratorio hacia aquellas zonas que requieran la atención.

La inspección preliminar se efectúa basada en la pericia del experto donde se decretan los defectos más significativos tales como: las fisuras o grietas, deformaciones, cambios de coloración y aspecto exterior, y los deterioros provocados por la corrosión del hormigón que aparecen y son visibles en los elementos estructurales de la obra.

SISTEMA DE DEFENSA DE UNA OBRA HIDROTECNICA.

El sistema de defensa se instala en una estructura hidrotécnica para cumplimentar las siguientes razones:

1. Absorber la energía de impacto debida al atraque del buque.
2. Evitar que el casco del buque entre en contacto con la superestructura en el momento del atraque.
3. Evitar y/o reducir los movimientos del buque mientras permanece amarrado a la instalación hidrotécnica.

La finalidad de las defensas es absorber la energía cinética del buque en el momento de su atraque, evitando que sufran daños el casco y la propia estructura del muelle. En la medida que se ha incrementado el desplazamiento de los buques se ha demostrado la eficacia de estos sistemas de protección, por lo que la inversión por este concepto está plenamente justificada en función de los costos de reparación los cuales tienden a disminuir, y por otra parte, se optimiza el diseño estructural del atraque a la hora de proyectar la obra.

El sistema de defensa dispuesto evita que la parte curva de la proa del buque, cuando este atraca, entre en contacto con la superestructura de la obra hidrotécnica (vigas frentemuelleres) y con los

sistemas de amarres (bolardos, bitas, etc). Las defensas impiden también que el casco del buque y el atraque puedan dañarse por los movimientos causados por los vientos, variaciones del nivel del mar, oleajes generados por los vientos, las corrientes marinas o pasos de buques por las cercanías de la instalación, igualmente, las defensas reducen los movimientos del buque atracado.

Los buques que presentan su sistema de amarras y defensas, tienen un período propio de oscilación que cuando están próximos al de las olas o grupos de olas que alcanzan el nivel del muelle, el sistema puede entrar en resonancia y dificulta las operaciones de cargas o descargas. Con un diseño apropiado del sistema amarras y de defensa es posible cambiar el período de oscilaciones del barco y mejorar las condiciones de operatividad.

Las defensas deben contar con atributos a tener en cuenta y serán incorporados en el diseño estructural del atraque.

- Diseño sencillo y económico.
- Que el sistema de montaje se adapte a la estructura diseñada.
- Longitudes y diámetros en correspondencia con el diseño de la estructura.
- Resistencia a la abrasión por condiciones adversas.
- Características de deformación progresiva de la carga.
- Largas trayectorias de colocación en la instalación.
- Diámetro interior y exterior, cadena y grillete.
- Diseño de los elementos de sujeción de las defensas.

FICHA DE INSPECCION PARA LA ETAPA DE PREDIAGNOSIS IN SITU DE UNA INSTALACION HIDROTECNICA.

En las tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se presentan plantillas de datos generales (expediente) que reflejan los datos y parámetros técnicos mas significativos a tener en cuenta en la etapa de prediagnosis al inspeccionar una obra hidrotécnica.

Tabla 1. Plantilla de datos generales y técnicos de la instalación, operaciones que realiza, y características del buque tipo de cálculo de la obra hidrotécnica.

1.-DATOS GENERALES DE LA INSTALACION.	
DATOS	DESCRIPCION
• UBICACIÓN GEOGRAFICA	
• AÑO DE CONSTRUCCION	
• OPERADOR PORTUARIO	
• FECHA DE INSPECCION	
2.-DATOS TECNICOS DE LA INSTALACION.	
DATOS	DESCRIPCION
• LONGITUD (m)	
• ANCHO (m)	
• AREA (m ²)	
• ORIENTACION	
• ESLORA MAXIMA CERTIFICAD (m)	
• CALADO MAXIMO CERTIFICADO (m)	
• DESPLAZAMIENTO MAXIMO CERTIFICADO (ton)	
3.-TIPO DE OPERACIONES QUE REALIZA LA INSTALACION.	
4.-CARACTERISTICAS DEL BUQUE TIPO DE CALCULO DE LA OBRA HIDROTECNICA.	
PARAMERTOS GENERALES	DESCRIPCION
• TIPO DE EMBARCACION	
• ESLORA (m)	
• MANGA (m)	
• CALADO (REFERIDO N.M.T.) (m)	
• DESPLAZAMIENTO MAXIMO (ton)	

Tabla 2. Plantilla de datos de las condiciones hidrometeorológicas de la zona.

5.-CONDICIONES HIDROMETEOROLOGICAS DE LA ZONA.	
VARIABLES	DESCRIPCION
• VIENTOS PREDOMINANTES	
• INTENSIDAD DE LOS VIENTOS PREDOMINANTES (kph)	
• NIEBLAS	
• AMPLITUD DE MAREAS (m)	
• CORRIENTES DE MAREAS (km/h)	
• OLEAJE DE GENERACION LOCAL (m)	
• OLEAJE DE GENERACION DISTANTE (km)	
• TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO ANUAL (°c)	
• TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO ANUAL (°c)	
• HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO ANUAL (%)	
• PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL (mm)	
• NUBOSIDAD MEDIA ANUAL	
• INCIDENCIA LUZ SOLAR PROMEDIO ANUAL (h)	
• RADIACION PROMEDIO ANUAL (kcal / m ²)	

Tabla 3. Plantilla de datos de las características geológicas e hidrográficas de la zona.

6.-CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LA ZONA.	
NATURALEZA	DESCRIPCION
• ESTRUCTURA GEOLOGICA	
• FORMACION GEOLOGICA	
• LITOLOGIA	
• CLASIFICACION DEL SUELO (SUCS)	
7.-CARACTERISTICAS HIDROGRAFICA DE LA ZONA.	
PARAMETROS	DESCRIPCION
• RELIEVE DEL FONDO MARINO (BATIMETRIA)	

Tabla 4. Plantilla de datos de la descripción técnica de la instalación, sistema de amarre y de defensa.

8.-DESCRIPCION TECNICA DE LA INSTALACION.		
9.-SISTEMA DE AMARRE.		
TIPO	DESCRIPCION	
	ESPACIAMIENTO (m)	CAPACIDAD (ton)
• CORNAMUSA		
• BOLARDO		
• BITA		
• BITON		
10.-SISTEMA DE DEFENSA.		
PARAMETROS	DESCRIPCION	
• TIPO		
• NIVEL DE ABSORCION DE ENERGIA (%)		
• ESPACIAMIENTO ENTRE DEFENSAS (m)		
• ENERGIA CINETICA QUE ABSORVE LA DEFENSA (ton-m)		
• ENERGIA CINETICA QUE TRANSMITE EL BUQUE (ton-m)		
• SISTEMA DE SUJECION		
• CADENAS		
• GRILLETES		

Tabla 5. Plantilla de datos del sistema de iluminación y descripción de los medios de señalización.

10.-SISTEMA DE ILUMINACION.	
PARAMETROS	DESCRIPCION
• COMPOSICION	
• TIPO DE TORRES	
• ALTURA DE TORRES	
• CANTIDAD DE LUMINARIAS	
• CORRIENTE (v)	
• POTENCIA (w)	
• ACOMETIDA ELECTRICA	
• ENCENDIDO	
• PROTECCION	
• ESTADO INTEGRAL DEL SISTEMA	
11.-DESCRIPCION DE LOS MEDIOS DE SEÑALIZACION.	

Tabla 6. Plantilla de datos de la inspección técnica de la superestructura, lesiones mas significativas, origen, causas y mecanismo de los daños.

12.-INSPECCION TECNICA VISUAL DE LA SUPERESTRUCTURA DE LA INSTALACION.	
ESTRUCTURA	DESCRIPCION
• VIGA FRENTMUELLE	
• VIGA LONGITUDINAL	
• VIGA TRANSVERSAL	
• LOSA DE RODADURA	
• MUROS GUARDARRUEDAS	
13.- LESIONES MAS SIGNIFICATIVAS	
DESPERFECTOS	DESCRIPCION
• DESCONCHADOS (SIN LLEGAR AL ACERO)	
• GRIETAS Y FISURAS	LONGITUD: ANCHO: ORIENTACION: ESTABILIDAD (ACTIVA): ESTABILIDAD (PASIVA): LOCALIZACION (SIGUEN LINEAS): LOCALIZACION (ROMPEN PIEZAS):
• PERDIDA DE SECCION TRANSVERSAL (SIN LLEGAR ACERO)	
• ACERO EXPUESTO (CON CORROSION)	
• COLAPSO TOTAL	
• EFLORESCENCIA	

14.-ORIGEN, CAUSAS Y MECANISMOS DE LOS DAÑOS.			
DESPERFECTOS	DAÑOS		
	ORIGEN	CAUSAS	MECANISMOS
• PRESENCIA DE FISURAS EN LA SUPERFICIE DEL HORMIGON			
• DISGREGACION EN EL HORMIGON			
• DELAMINACION EN EL HORMIGON			
• CORROSION CON PERDIDA DE SECCION DEL ACERO			
• CORROSION POR PICADURA			

CASO DE ESTUDIO DE UNA INSPECCION PRELIMINAR DEL MUELLE DE CARGA GENERAL EN UN PUERTO DE CUBA.

○ **Descripción de la instalación.** La estructura del muelle está conformada por un sistema de losas prefabricadas, que se apoyan sobre vigas transversales fundidas in situ, las cuales se apoyan a su vez sobre pilotes prefabricados. La certificación de este muelle está en trámites.

○ **Losas pantallas.** Este muelle ha estado sometido a elevados niveles de impactos y esfuerzos por las acciones mecánica que ocurren en la maniobra de atraque de las embarcaciones, lo que ha provocado fracturas de la viga en casi toda su longitud, (Figura 1). Desde el extremo inferior de estas losas frente muelle hasta su arista superior, se pueden apreciar grietas y fisuras activas, áreas de desconchados con desprendimientos del recubrimiento de hormigón, y aceros expuestos con un alto grado de corrosión. Asimismo, existen tramos con averías y otros que evidencian desplomes de estas estructuras, lo cual compromete técnicamente la capacidad portante de esta instalación para prestar los servicios de su diseño estructura, (Figuras 2 y 3).



Figura 1. Vista del atraque



Figura 2. Acero expuesto



Figura 3. Desplomes

o **Losas de pavimento.** Presentan un estado de daños y deterioros muy avanzados. En la banda Sur del muelle no se ha vertido el hormigón en las juntas de las losas planas colocadas recientemente, por lo que el proceso de cargas y descargas del puerto en toda la plataforma de operaciones se limita por esta situación, (Figuras 4). Se aprecian zonas con hundimientos en el pavimento y en las tapas de las canalizaciones de las redes técnicas, (Figuras 5), fisuras por sobrecargas, deterioro de las juntas en todos sus contornos y falta de estanqueidad en las mismas, (Figuras 6).



Figura 4. Juntas sin hormigonar



Figura 5. Hundimiento en pavimentos y redes técnicas



Figura 6. Deterioro en juntas y falta de estanqueidad

Las losas planas mas arriba mencionadas son de doble malla de acero de refuerzo identificadas de tipo L-5 y L-6, construidas con el propósito de sustituirlas por las que están deterioradas en toda la plataforma del muelle. A algunas de estas losas planas le han cortado las barras de acero saliente, cuya función esencial es asegurar el anclaje entre las mismas para garantizar la continuidad estructural, por lo que de éstas, las que se encuentren afectadas por este suceso deben

ser nuevamente reconstruidas o en su defecto restituir la cuantía de acero según el proyecto ejecutivo de prefabricado, (Figuras 7 y 8).



Figura 7. Barras de acero dobladas.



Figura 8. Barras de acero cortadas.

o **Puntos de amarre.** Se observan falta de mantenimiento.

o **Sistema de defensa.** Muy deficiente, casi inexistentes, e inapropiadas. Se evidencia que son incompatibles a los desplazamientos de los buques de 2000 ton que deben operar en este muelle, (Figuras 9 y 10).

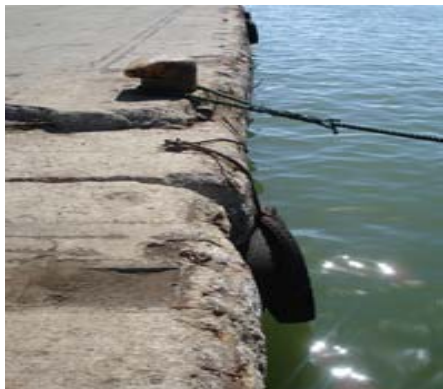


Figura 9. Defensas inapropiadas.



Figura 10. Ausencia de defensas.

Recomendaciones propuestas al caso de estudio de la inspección realizada a un muelle de carga general en la República de Cuba.

1) Sustituir todas las losas pantallas y las losas planas (42 y 189 unidades) respectivamente, que aparecen en el proyecto de reconstrucción del muelle de carga general, las cuales deben ser construidas nuevamente.

2) Garantizar que la reparación de las losas planas que se colocaron y fueron afectadas por el corte de las barras de anclaje de las mismas, se ejecute tal y como aparece en el proyecto de ejecución de prefabricado.

3) Emplear un sistema de defensa adecuado según las exigencias de los desplazamientos de los buques.

4) Actualizar la defectación de la obra hidrotécnica en su totalidad.

5) En caso que se determine la permanencia (“no sean demolidas”) un nivel de estructuras en el muelle, éstas deben ser sometidas a un estudio detallado de diagnóstico debido a la alta tasa de corrosión existente en esta instalación, inducido este deterioro por el efecto directo de los iones cloruros (Cl⁻) presentes en el agua de mar, que degradan las estructuras de hormigón armado expuestas permanentemente a esta acción deletérea. Estos estudios abarcarán tanto la zona submareal, intermareal y supramareal de la instalación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Anotaciones de los autores en talleres, charlas, cursos cortos, seminarios, ciclos de conferencias, reuniones técnicas y eventos a fines.