

Trabajos de reparación y mantenimiento en el muelle de Tolú (Colombia).

Tolu (Colombia) jetty: rehabilitation and maintenance.

Txomin ECHEVESTE

Ingeniero Civil
Freyssinet S.A.
Jefe de Obra
txomin_e@freyssinet-es.com

Luis COSANO LÓPEZ-FANDO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Freyssinet S.A.
Responsable de Explotación y Marketing
luis_c@freyssinet-es.com

Pablo VILCHEZ MOTINO

Ingeniero Industrial
Freyssinet S.A.
Director Técnico
pablo_v@freyssinet-es.com

Ángel ROZAS GÓMEZ

Ingeniero Industrial
Freyssinet S.A.
Ingeniero Departamento Técnico
angel_r@freyssinet-es.com

Oscar LLAMAZARES GRANDA

Ingeniero de Minas
Freyssinet Colombia S.A.S.
Director General
oscar_l@freyssinet-es.com

RESUMEN

Siguiendo los principios recogidos en la norma UNE-EN-1504 [1] entre agosto de 2014 y marzo de 2015, Freyssinet ha llevado a cabo una intervención en profundidad en la zona aérea de los pilotes y la estructura del muelle de Tolú. Esta actuación, desarrollada sin afeción al servicio que prestaba el muelle, pone de manifiesto que es posible, con la normativa y recomendaciones internacionales actuales, acometer con total garantía trabajos de reparación y rehabilitación estructural que prolonguen la vida útil inicialmente concebida en proyecto.

ABSTRACT

Following the basic principles laid down by UNE-EN-1504 [1], Freyssinet carried out over the period August 2014 to Mars 2015, an intervention in depth in Tolú jetty piles and deck. This intervention, which was carried out on the operative structure, reveals that it is possible, with current standards and recommendations, execute repairing and structural rehab interventions that make possible to guarantee works and durability of the structures, extending the durability defined in the original project.

PALABRAS CLAVE: reparación, muelle, ánodos de sacrificio.

KEYWORDS: repair works, jetty, zinc anodes.

1. Introducción

El muelle de Tolú se ubica en el Golfo de Morrosquillo, en el km 4 de la carretera troncal del Caribe, que une las localidades de Tolú y Coveñas, ambas pertenecientes al Departamento de Sucre (Colombia).



Figura 1. Gráficos para determinar la ubicación del muelle de Tolú. Fuente: elaboración propia a partir de imágenes obtenidas en Google Maps.

2. Descripción de la estructura

Construida en cuatro fases distintas, que corresponden principalmente a los años 1980, 1990, 1992 y 1998, la estructura presenta una heterogeneidad a nivel constructivo que representó una dificultad añadida a la hora de abordar su rehabilitación. En el momento de la intervención que es objeto de la presente ponencia, la estructura alcanzaba los 205 m de longitud y mantenía en casi toda su extensión los 10 m de ancho (a excepción, como se aprecia en la figura 2, de la zona entre las piñas de amarre 1 y 2). Quedaba resuelta mediante una losa de hormigón armado de 0.25 m de espesor soportada por 39 pórticos transversales, en su mayor parte equidistantes. Estos pórticos, de dos vanos de igual luz (5 m), consisten en vigas de hormigón armado de sección 0.90x1.30 m, (contabilizando el espesor de la losa). En sentido longitudinal la estructura dispone de dos vigas laterales o de cierre, de sección 0.50x1.50 m (canto total), y una central de 0.90x1.30 m (losa incluida). En el extremo del muelle, existían dos piñas de atraque de dimensiones en planta 9.63x10.00 m. El conjunto quedaba sustentado por pilotes de acero estructural y/u hormigón, con secciones en perfil doble T (H-12'') o circulares (12, 20 y 22'').

En lo que se refiere a los materiales, pese a haberse ejecutado en varias etapas, la estructura presentaba un hormigón y un acero pasivo con las siguientes características principales:

- Resistencia característica mínima del hormigón: $f_{ck}=24$ MPa
- Acero de refuerzo pasivo: $f_{yk}=420$ MPa.

Esta terminal portuaria, cuya propiedad ostenta la mercantil COMPAÑÍA DE PUERTOS ASOCIADOS S.A. (en adelante COMPAS), fue sometida, entre agosto de 2014 y marzo de 2015, a una importante rehabilitación estructural, que tenía por fin restaurar su capacidad portante y extender su vida útil 10 años. El desarrollo completo del proyecto y los trabajos de reparación fueron desarrollados por Freyssinet-Tierra Armada de Colombia S.A.S., en colaboración con Freyssinet España S.A., de acuerdo con los estándares y recomendaciones internacionales, y en especial a los requisitos y principios establecidos en la norma EN-1504 [1] en sus partes 1 a 10.

3. Antecedentes

Con anterioridad a la intervención aquí descrita, la propiedad encargó distintos trabajos de ingeniería a la consultora colombiana Aqua & Terra, entre los que destacan por su interés para las operaciones de reparación que fueron desarrolladas con posterioridad, la inspección visual y los

ensayos físicos y químicos que se realizaron en el marco de dicha prestación,. Estos merecen, aunque sea brevemente, una especial atención.

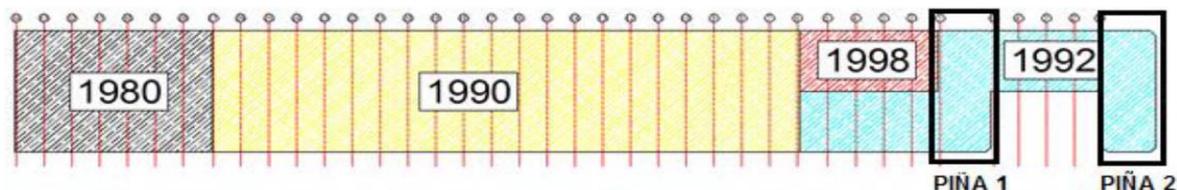


Figura 2. Vista en planta esquemática del muelle indicando sus diferentes etapas constructivas. Fuente: informe por título “Análisis estructural y de patología de la superestructura de los pilotes del muelle ubicado en las instalaciones de la Compañía de Puertos Asociados S.A. – COMPAS S.A. Muelle de Tolú”, de la ingeniería Aqua & Terra.

Se llevó a cabo en primer lugar un levantamiento completo de las dimensiones de la denominada “superestructura” (vigas y losas), y sobre éste se presentó toda la patología que durante el trabajo había salido a la luz. Se aprovechó la presencia de personal técnico para la extracción de 25 testigos de hormigón y la realización de 142 mediciones de la resistencia del hormigón con esclerómetro, quedando su ubicación referida en planos, por si la misma fuera necesaria en ulteriores estudios.

Código	Título de la norma ¹
NTC 221	Ingeniería civil y arquitectura. Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico.
NTC 1136	Ingeniería civil y arquitectura. Materiales refractarios granulados. Método para la determinación de la densidad aparente y la porosidad aparente
NTC 3726	Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar el contenido de cemento portland del concreto hidráulico endurecido
NTC 4049	Ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Método de ensayo para determinar cloruros solubles en agua en mortero y concreto
ASTM D4373-14	Standard Test Method for Rapid Determination of Carbonate Content of Soils
INV-E 121	Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición
INV-E 233	Determinación cuantitativa de los compuestos de azufre en los agregados
NTC 550	Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra

Tabla 1. Normativa empleada en la realización de los ensayos de los testigos. Fuente: informe por título “Análisis estructural y de patología de la superestructura de los pilotes del muelle ubicado en las instalaciones de la Compañía de Puertos Asociados S.A. – COMPAS S.A. Muelle de Tolú”, de la ingeniería Aqua & Terra.

Cinco de los veinticinco testigos extraídos fueron empleados para inspección visual del estado del cemento y los áridos, siendo destinados los 20 restantes a ensayos de laboratorio. Los testigos, con un diámetro estándar de 83 mm y un ratio altura/diámetro que variaba entre 1.23 y 1.98,

¹ Recogido en el idioma original de la norma.

fueron sometidos a una batería de ensayos de laboratorio de acuerdo a la normativa recogida en la tabla 1, que se resumen en:

1. Ensayos físicos:
 - a. Resistencia a la compresión: 20 muestras.
 - b. Porosidad: 7 muestras.
 - c. Densidad: 7 muestras.
2. Ensayos químicos:
 - a. Contenido de cemento: 7 muestras
 - b. Contenido de materia orgánica: 7 muestras.
 - c. Porcentaje de carbonatación: 7 muestras.
 - d. Contenido de cloruros: 7 muestras.
 - e. Contenido de sulfatos: 7 muestras.

Se seleccionó una serie de pilotes que fueron inspeccionados en las tres zonas en las que se dividían (por encima del nivel de pleamar, en zona de carrera de mareas, y en zonas sumergidas permanentemente), apoyándose para ello en el trabajo de equipos de buzos siempre comunicados y dirigidos desde tierra. En base a los resultados obtenidos en el muestreo preliminar de los pilotes, optaron por desarrollar una segunda inspección en mayor profundidad, sobre un total de 35 pilotes escogidos específicamente (muestra superior al 20%). Los trabajos consistieron en su ensayo mediante ultrasonidos (4 muestras por zona, hasta completar un total de 12 muestras por pilote seleccionado).

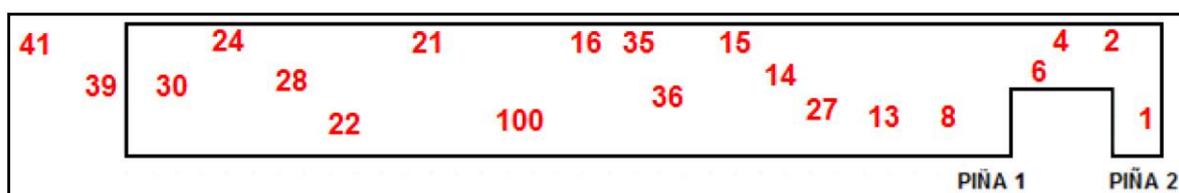


Figura 3. Extracto de plano de ubicación de testigos de hormigón. Fuente: informe por título “Análisis estructural y de patología de la superestructura de los pilotes del muelle ubicado en las instalaciones de la Compañía de Puertos Asociados S.A. – COMPAS S.A. Muelle de Tolú”, de la ingeniería Aqua & Terra.

El resultado de todos estos ensayos puede resumirse en:

- Resistencia característica del hormigón (MPa): valor máximo: 34.9 (testigo 6), valor mínimo: 12.4 (testigo 30).
- Porosidad (%): valor máximo: 4.22 (testigo 18); valor mínimo: 1.62 (testigo 16). Conclusión: <10%. Buena calidad.
- Densidad (kg/m^3): valor máximo: 2590 (testigo 101); valor mínimo: 2330 (testigo 34/35). Conclusión: ≈ 2400 . Resultados dentro de los parámetros normales.
- Contenido de cemento (kg/m^3): valor máximo: 879.16 (testigo 16); valor mínimo: 279.84 (testigo 18). Resultados dentro de los parámetros normales.
- Carbonatación (CO_2) (%): valor máximo: 16.22 (testigo 101); valor mínimo: 6.04 (testigo 34). Conclusión: resultados no concluyentes.
- Contenido de Cl^- (%): valor máximo: 0.38 (testigo 101); valor mínimo: 0.11 (testigo 10/16). Conclusión: <0.4%. Resultados no concluyentes al no disponer de perfiles de profundidad de la penetración de los iones Cl^- .

- Contenido de SO₄ (%): valor máximo: 1.94 (testigo 35); valor mínimo: 0.35 (testigo 18).
Conclusión: todos los valores dentro del rango de ataque severo o muy cerca del muy severo.

En lo que respecta a los resultados de los test de ultrasonidos que se realizaron sobre los pilotes, los valores obtenidos fueron:

% Sección de acero perdida en pilotes			
Zona del muelle donde se ubica el pilote	Zona emergida	Zona de carrera de mareas	Zona sumergida
1	41.1	48.1	49.5
2	42.2	54.9	51.9
3	52.7	59.2	58.2

Tabla 2. Secciones de acero perdidas en pilotes. Fuente: informe por título “Análisis estructural y de patología de la superestructura de los pilotes del muelle ubicado en las instalaciones de la Compañía de Puertos Asociados S.A. – COMPAS S.A. Muelle de Tolú”, de la ingeniería Aqua & Terra.



Figura 4. Imagen de vista general del muelle. Fuente: elaboración propia.

Los resultados de los ensayos anteriores junto con los análisis estructurales que Aqua y Terra desarrolló (que incluían un estudio de las acciones de oleaje, atraque y amarre y sísmicas, además de las gravitatorias) fueron plasmados en un informe que concluía instando a la propiedad a que procediera de manera urgente a la contratación de trabajos de reparación de los daños observados tanto en la plataforma como en la estructura de vigas de soporte del muelle. Aunque consideraba que los mismos no eran susceptibles de provocar un colapso inminente de la estructura, sí debían ser tratados sin demora a fin de frenar y/o detener su progresión; el informe finalizaba haciendo hincapié en la gravedad de los daños observados en los pilotes, fundamentalmente en las zonas de unión con el tablero/vigas (cabeza de pilotes).

Todo ello dio pie a COMPAS a la licitación de un proyecto “llave en mano”, en base a las siguientes premisas de partida:

1. Todos los trabajos deberían ser ejecutados sin afcción a la operativa de carga y descarga,
2. Tras la finalización de los trabajos, debería asegurarse el servicio del muelle durante los siguientes 10 años, al menos.
3. Intervención en dos fases diferenciadas, una primera para todos los trabajos de la “superestructura”, y una segunda para los pilotes,

4. Trabajos desarrollados en el marco de la reparación

4.1. Actuaciones previas

Dentro del proceso de análisis de la oferta, ingenieros senior del Departamento Técnico de Freyssinet se desplazaron al muelle con el fin de llevar a cabo una inspección visual del estado del mismo. El objeto de dichos trabajos era analizar la evolución de la patología detectada por Aqua & Terra, evaluar la posible aparición de nuevos daños, visto el tiempo transcurrido (aproximadamente un año y cuatro meses), realizar un chequeo exhaustivo de la definición geométrica que figuraba en planos, y valorar, en base al criterio y experiencia en este tipo de intervenciones, las estrategias a seguir durante los trabajos de reparación, de forma que la oferta se adecuara a los requerimientos establecidos por el cliente.

Los trabajos se desarrollaron en dos campañas durante el año 2014, ocupando la primera un total de 5 días, y la segunda 4 días. En ambas actuaciones, se aprovechó además para tomar datos de otros posibles condicionantes de la ejecución, y que iban a resultar fundamentales a la hora de la valoración económica, tales como alturas de mareas, dirección de corrientes y oleaje, etc.



Figura 5. Corrosión generalizada, con roturas de barras y pérdida de sección de viga. Fuente: elaboración propia.

Conforme a los principios y criterios establecidos en la EN-1504 para la protección, reparación y mantenimiento de estructuras de hormigón [1], se realizó una nueva catalogación de todas las anomalías encontradas en la estructura, así como su categorización por el nivel de importancia en lo que se refiere a durabilidad y seguridad estructural. El listado final obtenido se recoge a continuación:

Catalogación y categorización de daños con grado de severidad bajo (A)	
Número de orden	Descripción
1A	Grietas o fisuras ≤ 3 mm
2A	Delaminación del hormigón
3A	Cobertura vegetal
4A	Manchas por oxidación de la armadura pasiva de refuerzo
5A	Procesos de corrosión en armaduras de flexión, con pérdida reciente del recubrimiento de la armadura, y pérdida reducida de la sección resistente (<15%)
6A	Hormigón hueco

Tabla 3. Catalogación y categorización de los daños detectados en la inspección. Fuente: elaboración propia.

Catalogación y categorización de daños con grado de severidad alto (B)

Número de orden	Descripción
1B	Grietas o fisuras >3 mm
5B	Procesos de corrosión más o menos avanzados en armaduras de flexión y/o cortante, ya sea con pérdida reciente del recubrimiento de la armadura, y pérdida de sección resistente (>15%). Con pérdidas de sección por encima del 50% se optó por la eliminación completa del elemento estructural y ejecución de uno nuevo.

Tabla 4. Catalogación y categorización de los daños detectados en la inspección. Fuente: elaboración propia.

4.2. Concepción de las actuaciones y estrategia para acometer la reparación

De acuerdo con el número y grado de las anomalías que se podían encontrar en cada uno de los elementos estructurales que conformaban la estructura, inicialmente se procedió a la realización de una categorización de los defectos estructurales en tres grados: rojo, amarillo y verde. Posteriormente se consideró conveniente establecer dos graduaciones de amarillo para aquellos elementos que, presentando anomalías, se consideraba requerirían en fase de ejecución un estudio más detallado. Para cada una de las clasificaciones se proponía un determinado tipo de actuación. Tanto los deterioros que determinaban la clasificación de un determinado elemento estructural, como las intervenciones a llevar a cabo, quedan recogidas en la tabla 3.

Criterios de clasificación de elementos estructurales en función de sus daños y propuesta de intervención

Clasificación	Daños	Actuación propuesta
Rojo	4 o más daños que incluyan al menos uno de los daños catalogados como de severidad alta (1B, 5B)	Sustitución de los elementos
Amarillo 2	Entre 1 y 3 daños, que incluyan la presencia de daños del tipo 1B o 5B o dudas sobre su posible presencia.	Investigaciones más exhaustivas para convertirlo en rojo o en amarillo 1.
Amarillo 1	Entre 1 y 3 daños categorizados como tipo A (ha de incluir el 5A).	Reparación de las anomalías.
Verde	Menos de tres daños categorizados como tipo A; no ha de existir pérdida de sección por corrosión en armadura.	Reparación de las anomalías.

Tabla 5. Criterios de clasificación de elementos estructurales en función de los daños recogidos en las tablas 3 y 4, y propuesta de intervención. Fuente: elaboración propia.

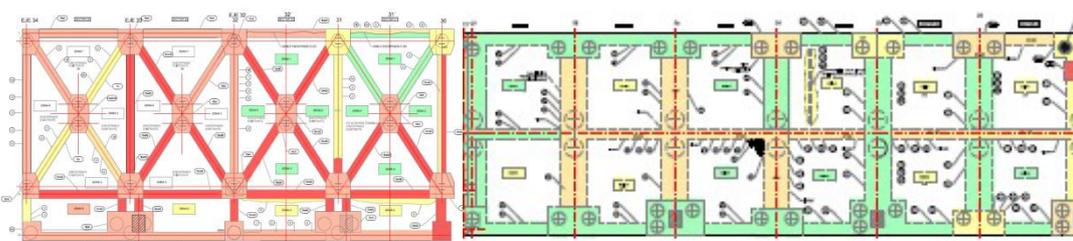


Figura 6. Extracto de plano de planta con zonificación de daños en colores de acuerdo con la clasificación establecida. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con esta clasificación, se llevó a cabo un trabajo de gabinete en el que, conforme a las fotografías y datos de campo recabados durante las distintas fases de inspección, se zonificó toda la estructura (ver figura 6).

4.3. Ejecución de los trabajos

Los trabajos que iban a ser desarrollados para cada uno de los niveles que se habían establecido fueron definidos teniendo en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos principales:

- Riesgo de accidentes por el oleaje y mareas,
- Productividad,
- Accesibilidad a las zonas de trabajo, y
- Facilidad para ejecutar los trabajos.

4.3.1. Elementos clasificados como rojos

Estos elementos fueron completamente demolidos y reconstruidos con nuevos materiales (nuevo hormigón y armadura pasiva). Las demoliciones se llevaron a cabo de forma secuencial de forma que en ningún momento se comprometiera la seguridad estructural ante las acciones a las que estaba sometido el muelle, ya fuera por el entorno en el que se encontraba o por el servicio que prestaba. Para ello, se programaron todas las intervenciones de la obra a partir del calendario de amarres del cliente.

Las principales fases del proceso de sustitución de los elementos dañados puede reducirse a:

- Demolición completa, usando martillos eléctricos de baja/alta potencia (en función de la zona en la que nos encontrábamos, y de la posible afección a otros elementos que debían conservarse). Estas operaciones fueron concebidas para realizarse, siempre que fuera posible, desde la cara superior del muelle.
- Preparación de las cabezas de los pilotes para la adecuada reconexión del elemento de viga y/o losa que iba a ser reconstruido.
- Instalación de encofrado. Se realizaba mediante pernos de conexión y barras de acero de alta resistencia a la losa existente, de forma que quedaba suspendido de la misma, previa verificación estructural.
- Colocación de la jaula prefabricada de armadura pasiva prefabricada previamente de la viga.
- Vertido de hormigón.
- Reitrada del encofrado.

Para asegurar la calidad y durabilidad del hormigón que iba a ser dispuesto, éste no fue producido in-situ, sino que fue traído desde una planta de fabricación próxima, y vertido directamente desde el camión-hormigonera. Cuando las cantidades eran pequeñas (menores de 1 o 2 m³), y no resultaba posible el suministro directamente desde fábrica se recurrió al empleo de hormigones predosificados, aumentándose por este motivo el control de calidad.

Las cabezas de los pilotes fueron reconectadas usando refuerzos adicionales de armadura pasiva. Éstos se conectaban a partir de taladros realizados desde la cabeza de la losa mediante resinas de alta capacidad [3], [4].



Figura 7. Foto de una viga tipo roja (antes de reparación). Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta a la corrosión de los elementos de acero de las pilas, ésta fue eliminada usando sistemas de agua a alta presión. Los trabajos se completaban con la aplicación inmediata o poco tiempo después de un pasivante sobre el acero limpio. En algunos casos hubo de recurrirse al refuerzo de las cabezas de los pilotes mediante la adición de nuevas barras de acero pasivo y cercos circulares. La recomposición de la sección de los pilotes se ejecutó, salvo excepciones, mediante la proyección de mortero tipo R4 [1]. En todos los casos, la armadura pasiva y el acero estructural descubierto del pilote fueron además protegidos mediante la introducción y adecuada conexión de ánodos de sacrificio. En el caso de una de las piñas, se realizó la reconexión de los pilotes a la losa desde cara superior, empleando barras postesadas y placas como elementos de unión y anclaje respectivamente, e incluyendo en la operación el recrecido de dicha losa.

4.3.2. Elementos clasificados como amarillo 1 o verde

La cobertura vegetal de los elementos catalogados como amarillo 1 o verde se eliminó con agua a presión (200-350 bar), buscando no alterar el soporte de hormigón y que permitiese evaluar los daños que quedaban cubiertos bajo la misma. Las zonas delaminadas con superficie igual o inferior a los 0.2 m² fueron reparadas, tras la limpieza, mediante los procesos habituales que pueden resumirse en:

- Delimitación del parche a sanear con radial, de un perímetro con forma rectangular,
- Eliminación de una profundidad constante en todo el parche y remate de bordes, con martillos eléctricos de baja capacidad.
- Aplicación manual de morteros de reparación cementosos resistentes a sulfatos y/o epoxídicos aptos para su uso en ambientes húmedos.
- Las fisuras, para esta clasificación, fueron simplemente selladas a lo largo de todo su recorrido.



Figura 8. Foto de una viga tipo amarillo 1 (antes de reparación). Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta a los elementos catalogados como amarillo 1, los trabajos consistieron básicamente en los mismos ya descritos para la categoría anterior, si bien en este caso las profundidades de saneo sobrepasaron la parte posterior de la armadura, para poder llevar a cabo el saneo de la corrosión en todo su perímetro, hasta obtener en la misma un grado de limpieza según norma tipo Sa 2 ½ [2]. Ello requirió el empleo de agua a mayor presión (350-400 bar). En base a los volúmenes de restitución de sección manejados en cada caso, la aplicación del mortero de reparación (tipo R4, y con características tixotrópicas [1]) se llevó a cabo mediante vertido sobre encofrado dispuesto a tal fin, o mediante proyección por vía húmeda.

Los trabajos se finalizaban en todos los casos (incluidos los elementos catalogados como rojo), con la aplicación en toda la superficie expuesta bajo la losa de un revestimiento en base cementosa con capacidad de puenteo de fisuras que proveyera al conjunto de una protección adicional frente a la penetración de iones contaminantes procedentes del agua de mar (iones cloruro y sulfato), así como resistente a la carbonatación.

4.4. Medios auxiliares

Se emplearon fundamentalmente plataformas metálicas (entramado de acero electrosoldado) colgadas de la losa a lo largo de toda la estructura. Ciertos trabajos puntuales, fundamentalmente de inspección, requirieron de plataformas flotantes y embarcaciones de pequeño tamaño.

5. Conclusiones

Siguiendo los principios y criterios establecidos en la norma europea UNE-EN-1504 [1] y con procedimientos propios basados en nuestra experiencia, Freyssinet Tierra Armada Colombia S.A.S. y Freyssinet España S.A. llevaron a cabo entre 2014 y 2015 una importante intervención sobre la estructura y cabezas de los pilotes del muelle de Tolú (Colombia), cuyo fin era restablecer su integridad estructural y durabilidad, garantizando su operatividad durante un período de al menos diez años. Esta intervención pone de manifiesto que, bajo el paraguas de la normativa y recomendaciones internacionales actuales, es posible llevar a cabo actuaciones de reparación y rehabilitación estructural que no solo permiten garantizar la funcionalidad y la vida útil de la estructuras, sino también prolongar ésta más allá del valor inicialmente contemplado en proyecto.



Figura 9. Antes y después de la intervención. Fuente: elaboración propia.

Agradecimientos

A COMPAS por la confianza depositada para la realización de la obra y a Ricardo Masson Leal, Ingeniero Civil, por su contribución como parte activa en la concepción y elaboración del proyecto de reparación, así como en el seguimiento de la ejecución.

Referencias

- [1] Norma EN-1504 partes 1 a 10. Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Parte 1 de 2005 : Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 1. Definiciones. Madrid: AENOR julio 2005. Parte 2. Sistemas de protección superficial para el hormigón. Madrid: AENOR, octubre 2004. Parte 3. Reparación estructural y no estructural. Madrid: AENOR, diciembre 2005. Parte 4. Adhesión estructural. Madrid: AENOR, noviembre 2004. Parte 5. Productos y sistemas para inyección del hormigón. Madrid: AENOR, diciembre 2004. Parte 6. Anclaje de armaduras de acero. Madrid: ANEOR, agosto 2006. Parte 7. Protección contra la corrosión de armaduras. Madrid: AENOR, agosto 2006. Parte 8. Control de calidad y evaluación de conformidad. Madrid: AENOR, noviembre 2004. Parte 9: Principios generales para el uso de productos y sistemas. Madrid: AENOR, enero de 2011. Parte 10: Aplicación "in situ" de los productos y sistemas y control de calidad de los trabajos. Madrid: AENOR, diciembre de 2003 y octubre de 2005.
- [2] Norma EN ISO 8501-1. Grados de oxidación y de preparación de sustratos de acero no pintados y de sustratos de acero después de estar totalmente decapados de revestimientos anteriores. Madrid: AENOR, 2007.
- [3] Norma ROM 2.0-11. Recomendaciones para el Proyecto y Ejecución en Obras de Atraque y Amarre
- [4] Norma ACI 318-14. American Concrete Institute. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.