

Arica, 07 de Abril 2017.
GGE 089/2017



Señor
Iván Silva Focacci
Gerente General Empresa Portuaria Arica
Región de Arica y Parinacota
Presente

REF: Envío informes plan de Mantención.-

De nuestra consideración,

Según lo establecido en el Contrato de Concesión respecto al cumplimiento de los informes establecidos en la Sección 5.16 CVIII y CXII, enviamos a usted los siguientes informes del programa 2016.

1. 3.1.6 Molo de Abrigo

- a. Informe de inspección básico anual Molo de Abrigo 2016. Realizado por Baird.
- b. Análisis de mediciones topográficas en tetrápodos.

2. 3.5.3 Señalizaciones y Demarcaciones

- a. Informe de inspección básico anual Señalizaciones y demarcaciones 2016.

Sin otro particular se despide atentamente a usted.


Diego Bulnes Valdés
Gerente General
Terminal Puerto Arica S.A.

DBV/RAQ
c.c.: Archivo

Baird

oceans

engineering

lakes

design

rivers

science

watersheds

construction

Evaluación del Estado Estructural del Rompeolas Monitoreo 2016 Puerto de Arica

Fecha	8 Febrero 2017
Número de Proyecto	0222.016
Número de informe	0222.016 - 1



Evaluación Preliminar del Estado Estructural del Rompeolas

Monitoreo 2016

Puerto de Arica

Preparado para



TERMINAL PUERTO ARICA S.A.
MÁXIMO LIRA 389, ARICA

Preparado por

Baird

Baird & Associates S.A.
Marchant Pereira 150, of. 402, Providencia, Santiago

Para mayor información, favor contactar a
Roberto Salinas (562) 22361222
rsalinas@baird.com

Número de proyecto: 0222.016

Versión	Fecha	Estado	Comentarios	Preparado por	Revisado por	Aprobado por
A	03 Feb. 2016	Borrador	Revisión Interna	AAZ	RSN	
B	08 Feb. 2016	Final	Revisión Cliente	AAZ	RSN	

Este informe fue preparado por Baird and Associates S.A., para Terminal Puerto Arica. El material contenido en él refleja la opinión de Baird & Associates de acuerdo a la información disponible en el momento de su elaboración. Cualquier uso o decisión tomada, basada en este informe, por parte de terceros, es de entera responsabilidad de ellos. Baird & Associates no se hace responsable por daños y/o perjuicios causados como resultado de las decisiones o acciones tomadas por terceros, en relación a la información entregada en este informe.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
	1.1 Alcances	4
	1.2 Objetivos	4
	1.3 Antecedentes	5
2	DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE TRABAJOS REALIZADOS EN TERRENO	6
	2.1 Datos generales	6
	2.2 Monitoreo sobre nivel de marea	6
	2.2.1 Introducción a los levantamientos fotogramétricos con drone	6
	2.2.2 Metodología utilizada	7
	2.2.3 Levantamiento	7
	2.2.4 Análisis de fotografías aéreas	10
	2.2.4.1 Evaluación de desplazamientos mediante fotografías	10
	2.2.4.2 Evaluación de estabilidad mediante el Método de Van der Meer (1988)	13
	2.3 Calidad de hormigón de los tetrápodos	16
	2.4 Inspección Submarina	17
3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	18

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS AÉREAS

ANEXO B: INFORME DE LABORATORIO ENSAYOS HORMIGÓN

ANEXO C: INSPECCIÓN SUBMARINA

1 INTRODUCCIÓN

Terminal Puerto Arica (TPA) ha contratado a Baird & Associates S.A. (Baird) para desarrollar los trabajos de terreno necesarios para el monitoreo del estado del rompeolas del Puerto de Arica, correspondiente al año 2016.

Las actividades y los estudios realizados se desarrollaron según las especificaciones definidas en el Anexo C-VIII del contrato de concesión. Estos son:

- Monitoreo aéreo fotográfico del rompeolas.
- Extracción de testigos y análisis del hormigón.
- Inspección submarina

1.1 Alcances

Este informe tiene los siguientes alcances:

- Adjunta las fotografías aéreas del rompeolas obtenidas y analiza su estado de acuerdo a las especificaciones contenidas en el contrato.
- Adjunta y analiza los resultados del monitoreo de resistencia del hormigón realizado en los tetrápodos.
- Evalúa la estabilidad del rompeolas.

1.2 Objetivos

Los objetivos del presente estudio son los siguientes:

- Evaluar la evolución del estado del rompeolas.
- Realizar recomendaciones para mejorar la estabilidad del mismo, si es necesario.
- Realizar recomendaciones para mejorar los monitoreos a realizar en el futuro, si corresponde.

1.3 Antecedentes

El año 2005, Baird realizó el monitoreo base del rompeolas del Puerto de Arica y determinó el estado estructural del mismo. En dicho informe se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El análisis de las fotografías reveló que el rompeolas se encuentra en mal estado. Ello fue evaluado cuantitativamente por dos métodos ampliamente aceptados: el del SPM 1977 y el de Van der Meer 1999.
2. Se realizó un monitoreo post-sismo 2005, mostrándose que hubo movimiento de unidades de armadura, cuyas magnitudes no pueden ser permitidas en este tipo de estructuras, lo que sugiere que existen problemas de trabazón entre unidades.
3. El análisis de la roca de filtro mostró que el material utilizado no es de la calidad que se exige a la roca en este tipo de estructuras. Ello aceleró el deterioro del estado del rompeolas al meteorizarse y permitir el desplazamiento de los tetrápodos.
4. El estudio del hormigón de los tetrápodos muestra que la resistencia del material es inferior al generalmente utilizado en este tipo de obras en un 69%, aumentando la probabilidad de rotura de elementos al haber desplazamiento de unidades.
5. La inspección submarina mostró que existen unidades de armadura directamente contra el fondo marino, ello significa que no hay pie, disminuyéndose la estabilidad estructural de la escollera.
6. El análisis de todos los estudios realizados mostró que el estado general del rompeolas es deficiente, sin llegar a un estado de falla.
7. No existe información del estado del núcleo.

Entre los años 2007 y 2015 se realizaron 9 monitoreos, cuyas conclusiones han sido las siguientes:

1. Se mostró mediante comparaciones de fotografías aéreas tomadas al rompeolas entre los años 2005 y 2015 que el deterioro que presenta la estructura no ha avanzado, dado a que el movimiento relativo entre ellas es menor.
2. Con las fotografías se revisó la estimación de la estabilidad mediante el método de Van der Meer (1988), confirmándose que este valor se encuentra entre dos límites; por encima de la condición de diseño máxima y por debajo de la condición de falla.
3. El análisis de laboratorio de la resistencia del hormigón muestra que ésta no ha variado significativamente durante los últimos años. El comportamiento de las mediciones en el tiempo puede ser atribuible a las variaciones estadísticas de las muestras recopiladas y no necesariamente a un deterioro acelerado de la resistencia del hormigón.
4. El deterioro del rompeolas no ha progresado de una manera significativa desde el año 2005. El desplazamiento acumulado no ha alcanzado niveles que hagan necesaria una reparación de la estructura en alguna de sus secciones.
5. La zona reparada el año 2005 se encuentra estable.

2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE TRABAJOS REALIZADOS EN TERRENO

2.1 Datos generales

Se realizaron las siguientes actividades de terreno, según especificaciones del Anexo C-VIII del contrato de concesión:

- Monitoreo fotográfico sobre nivel de marea.
- Toma de testigos y ensayo de hormigón.
- Inspección submarina.

Cada una de las actividades desarrolladas se explica a continuación. Destacamos que al igual que en los monitoreos de los últimos dos años se realizaron innovaciones tecnológicas.

2.2 Monitoreo sobre nivel de marea

Este trabajo está apoyado por la toma y análisis de fotografías aéreas, según contrato de concesión y las que se compararon con las realizadas durante los monitoreos del 2005 al 2015.

La toma de fotografías aéreas permite cuantificar la densidad de tetrápodos rotos y/o en malas condiciones sobre el nivel del mar.

La toma de imágenes aéreas fue realizada desde un vehículo aéreo no tripulado (drone). Con esto, se buscó simplificar la logística de combinar vuelos en avioneta/helicóptero con condiciones favorables de luminosidad y mareas.

2.2.1 Introducción a los levantamientos fotogramétricos con drone

El levantamiento de fotografías aéreas con drones facilita el uso de técnicas fotogramétricas, capaces de generar información espacial mediante la identificación de formas y objetos comunes por sus colores y texturas entre distintas imágenes de un mismo sitio, tal como el ojo humano es capaz de concebir profundidad al tener dos puntos de vista de un mismo objeto. La calidad y las características de la información espacial generada con esta técnica dependerán de diversos factores. Entre ellos podemos encontrar los siguientes:

- La riqueza de la textura del área levantada,
- La presencia de edificaciones en altura,
- La calidad general de las imágenes,
- La estaticidad del área levantada versus el tiempo entre la toma de las imágenes,
- La cantidad de imágenes que cubren un mismo punto.

Sin embargo, para situar dicha información en el espacio y asignarle medidas espaciales reales es necesario entregarle al modelo información adicional respecto a la cámara utilizada y a la ubicación

en el geoide de los objetos levantados. Sólo con esto, es posible entregar una georreferenciación adecuada en las 3 dimensiones a la superficie generada.

Bajo condiciones aceptables del área a levantar y la calidad de las imágenes, es posible lograr productos derivados de la fotogrametría. De dichos productos, interesa la generación de ortomosaicos para el monitoreo visual del molo de abrigo.

2.2.2 Metodología utilizada

Dadas las necesidades para este trabajo, se voló una altitud de 30 metros respecto al nivel de la losa, lo que entrega una resolución aproximada de 2 cm/pixel.

Para ajustar la georreferenciación de las imágenes, se levantó puntos de control en tierra (GCP) a lo largo del área de interés. Una vez obtenidas sus coordenadas, los puntos a utilizar se marcan de manera de que se identifiquen en las imágenes aéreas.

Las imágenes se post-procesaron usando el software Pix4Dmapper, mediante el cual se filtran y se combinan.

Pix4Dmapper es capaz de trabajar con más de 1500 imágenes, para realizar levantamientos aéreos y terrestres (oblicuos). En un proceso casi autónomo, Pix4Dmapper es capaz de generar modelos 3D, ortomosaicos y modelos de elevación digital con una precisión del orden de los centímetros. Dicha precisión es variable y dependerá de la calidad de las imágenes, la precisión de los GCP, la textura del terreno, la altitud de las imágenes, del traslape entre imágenes y misiones, entre otras variables.

2.2.3 Levantamiento

Se tomó más de 2000 fotografías aeras del puerto desde el drone, aunque aproximadamente 700 de la zona del rompeolas. Se realizó distintas misiones, obteniéndose una vista continua del rompeolas. El uso de casi la totalidad de las fotos fue de ayuda para calibrar correctamente las imágenes con los puntos georeferenciados. El ortomosaico generado se encuentra en el Anexo A-4.

Se cuantificaron las unidades de armadura dañadas visibles el día del vuelo, miércoles 14 de diciembre de 2016, entre las 10:00 y las 16:00 horas y jueves 15 de diciembre de 2016, entre las 9:00 y 12:00 en marea vaciante.

El análisis de las fotografías muestra que hay secciones en las cuales el número de unidades dañadas varía por sobre o por bajo el número de unidades dañadas en años anteriores, aunque similares a las del año 2015. Ello se explica por las diferentes perspectivas de las fotografías en los distintos monitoreos y además las condiciones de marea al momento de la fotografía, permitiendo ver tetrápodos dañados donde antes no se veían y viceversa. Con este antecedente se estimó nuevamente el número de unidades rotas y/o dañadas en las secciones antes nombradas, comparándose el dato con lo obtenido en los años anteriores.

Para el cálculo del porcentaje de tetrápodos dañados desde NRS hasta la cota del muro parapeto en cada sección del rompeolas (arranque, codo, tronco y cabeza), se utilizó el número teórico total de

unidades de tetrápodos existentes en una sección de rompeolas de 20 metros de largo. Los resultados se resumen en la Figura 2.1, comparándose con los estudios realizados en años anteriores. Además, se incluye en la Tabla 1 del Anexo A-3, un detalle de los porcentajes de elementos rotos y dañados para cada sector analizado.

Para toda la defensa se calculó un total histórico (máximo) de 31,1% de tetrápodos dañados en la zona sobre el nivel de marea a momento de la toma de las fotografías. Al excluir la zona del codo, puesto que esta fue reparada, los tetrápodos dañados llegan a un 34,8%.

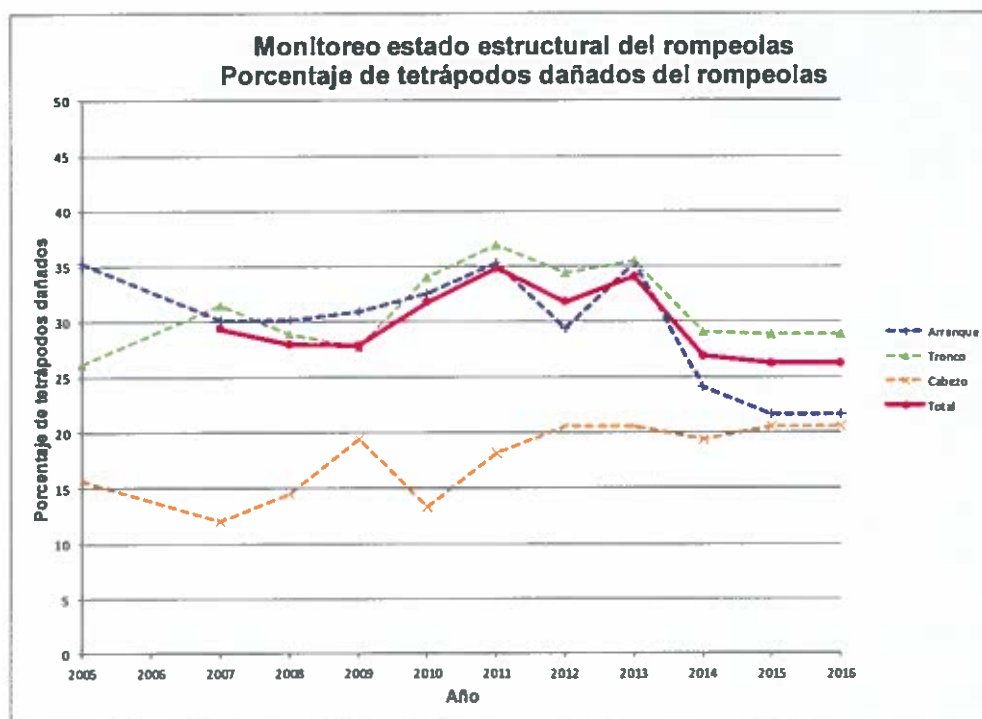


Figura 2.1: Porcentaje de tetrápodos dañados del rompeolas sobre el nivel de marea

La disminución en daño en el tiempo que se muestra en la Figura 2.1 en algunos años puede explicarse al nivel de marea al momento de capturar las fotografías, puesto que no permite contar algunos de los elementos de la zona intermareal cercana al NRS donde se concentra el daño. No hubo cambios entre los daños cuantificados el año 2015 y 2016.

En la Figura 2.2 se muestra un ejemplo de las fotografías utilizadas desde el año 2009 a la fecha. Las unidades rotas tienen marca roja y aquellas en mal estado tienen marca verde. El detalle de las fotografías analizadas se encuentra en el Anexo A-2.

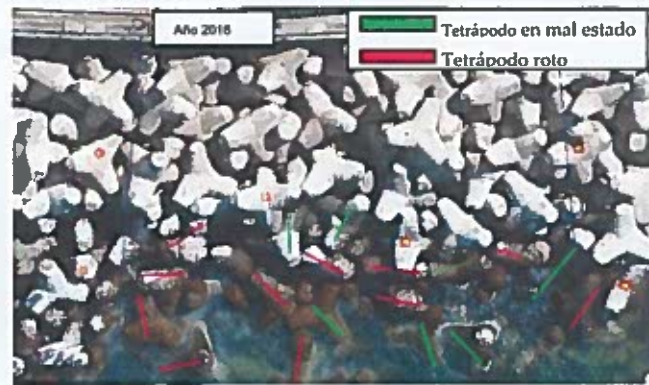
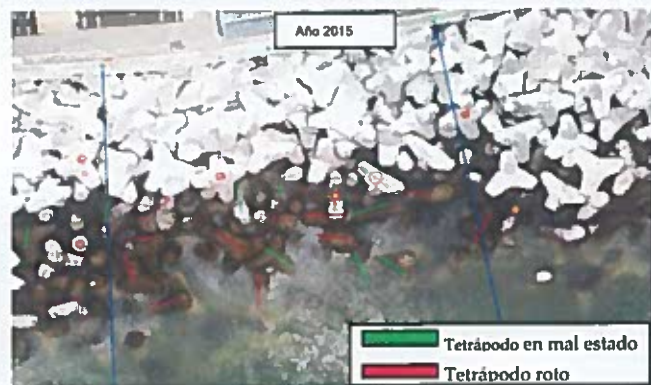


Figura 2.2: Tetrapodos Rotos y Dañados, para una misma sección (2008 a 2016)

2.2.4 Análisis de fotografías aéreas

Con las fotografías aéreas se evaluó el estado estructural actual de la escollera de dos maneras. Una permitió evaluar el desplazamiento relativo entre unidades y la otra evaluar el daño del rompeolas de acuerdo a la metodología de Van der Meer (1988), tal como se hizo durante el monitoreo de línea base en el año 2005 y los monitoreos de los años 2007 al 2015.

2.2.4.1 Evaluación de desplazamientos mediante fotografías

Las series de fotografías de los monitoreos en años anteriores son las siguientes:

1. Años 2007 y 2008 fueron tomadas desde un helicóptero.
2. Desde el año 2009 al 2013 las fotografías son tomadas desde una avioneta. Por ello no es posible realizar una medición cuantitativa del desplazamiento de los tetrápodos basándose en las fotografías. Sin embargo, se tomaron puntos y líneas de referencia que permiten realizar comparaciones entre dos fotografías con diferentes ángulos y distancias focales. El procedimiento se explica a continuación.
 - 1) Se insertan las series de imágenes de en un archivo CAD.
 - 2) Se marcan los tetrápodos pintados con dos circunferencias concéntricas, de radios que representan aproximadamente 1 y 3 metros.
 - 3) A continuación, se seleccionan parejas de tetrápodos marcados y se unen con una línea recta los centros de las circunferencias donde se encuentran los clavos Hilti.
 - 4) Luego se traza una línea recta entre dos marcas en el muro parapeto (las marcas en el parapeto que indican el metraje del rompeolas fueron utilizadas como referencia).
 - 5) Se extiende la primera línea (entre tetrápodos) hasta aquella que une las marcas en el muro parapeto, dividiéndola en dos segmentos.
 - 6) Se midió la línea completa entre marcas y uno de sus segmentos, obteniéndose la razón entre ambos.

Esta medida elimina en parte el efecto de la profundidad, la distancia focal y el ángulo del objetivo, ya que se mide sobre una línea horizontal de dimensiones conocidas en la realidad y de profundidad constante respecto de los tetrápodos. Esta medida es sólo una aproximación y no se puede considerar como una medida cuantitativa exacta, sin embargo, es de una calidad cualitativa aceptable, puesto que permite detectar desplazamientos mayores a 50 cm, según lo indican las especificaciones del Anexo C-VIII del contrato de concesión.

3. La toma de fotografías desde el año 2014 se realizaron mediante un vehículo aéreo no tripulado, el cual vuela a baja altura (30 metros sobre la losa aproximadamente) y mediante posicionamiento geográfico satelital. Esto permite controlar la toma de las fotografías, las que después de ser post-procesadas forman una única foto sin perspectiva y georreferenciada. Con el uso de esta tecnología si es posible realizar una medición

cuantitativa del desplazamiento de los tetrápodos. La comparación actual corresponde a la segunda entre ortofotos, por lo que el procedimiento descrito en el punto 2 si bien sirve para comparar movimiento relativo entre tetrápodos, no se justifica para eliminar profundidad y perspectiva, ya que dicho trabajo ya fue realizado al generar la ortofoto.

La Figura 2.3 muestra el procedimiento antes descrito para el tramo 73 – 76.

Con esta metodología se compararon los siguientes aspectos:

- La ubicación de los tetrápodos vecinos al interior de la circunferencia, para estimar desplazamientos relativos entre ellos, ver puntos magenta en la Figura 2.3.
- La ubicación de los tetrápodos que están más cercanos al muro parapeto respecto a la corona, para estimar asentamiento global del rompeolas.
- La ubicación de los tetrápodos a lo largo de la línea que une dos circunferencias, para estimar desplazamientos relativos entre ellos.
- La comparación entre las razones calculadas, como una medida de posición relativa respecto al muro parapeto.

La conclusión de este análisis es que no se aprecian desplazamientos significativos de los tetrápodos respecto a su posición de años anteriores (2005 a 2016) en los tramos evaluados.

Las diferencias que se puedan presentar se explican por variación en la localización de las marcas en el muro, así como también pueden explicarse por efectos de la solución de ortofoto encontrada en el postproceso de cada año. Cabe destacar que este análisis de fotografías no permite detectar desplazamientos pequeños, del orden de milímetros o centímetros, si no que más bien busca cambios bruscos, del orden de los decímetros o metros.

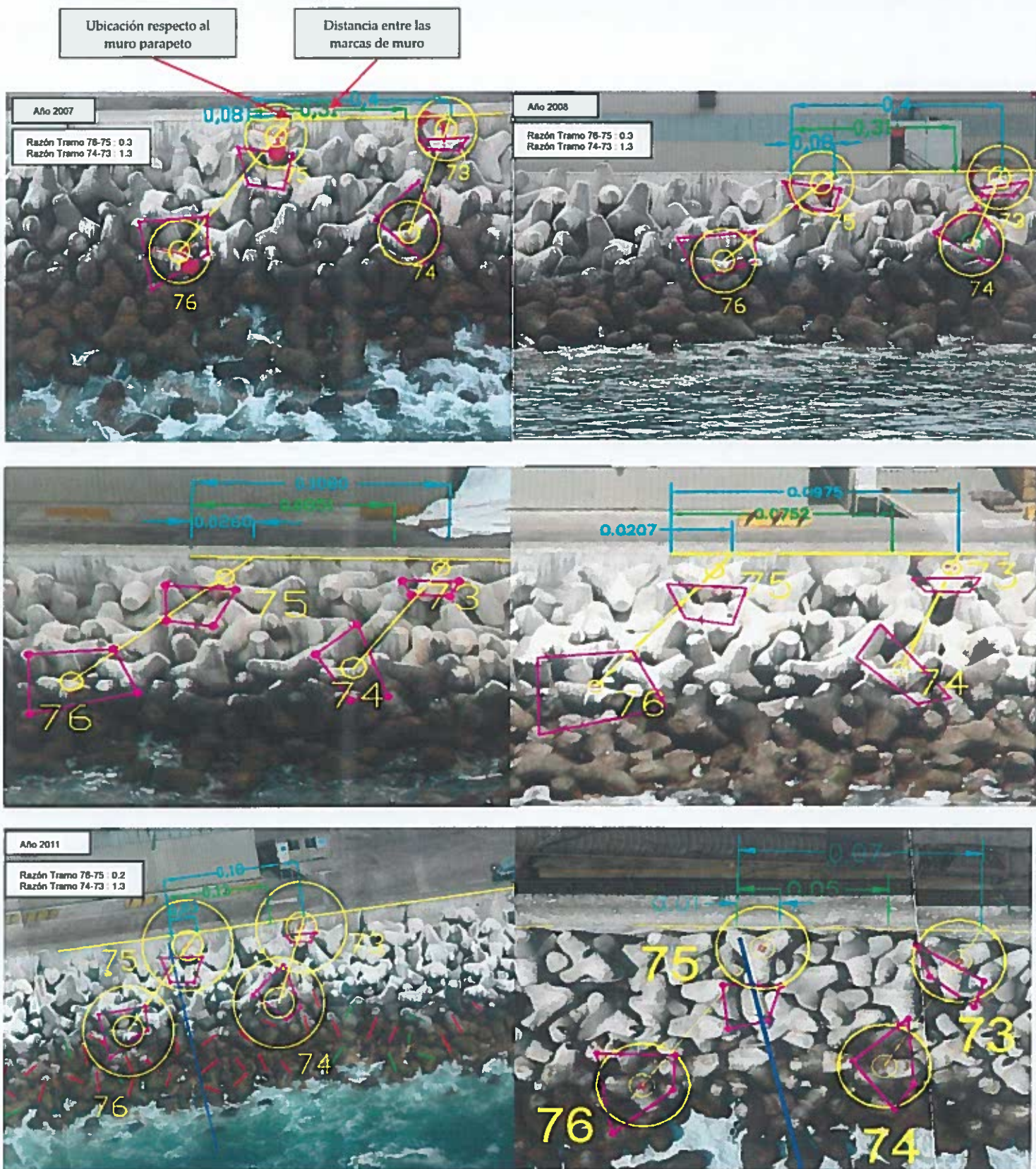


Figura 2.3: Comparación y Evaluación de Desplazamientos Relativos entre Tetrápodos

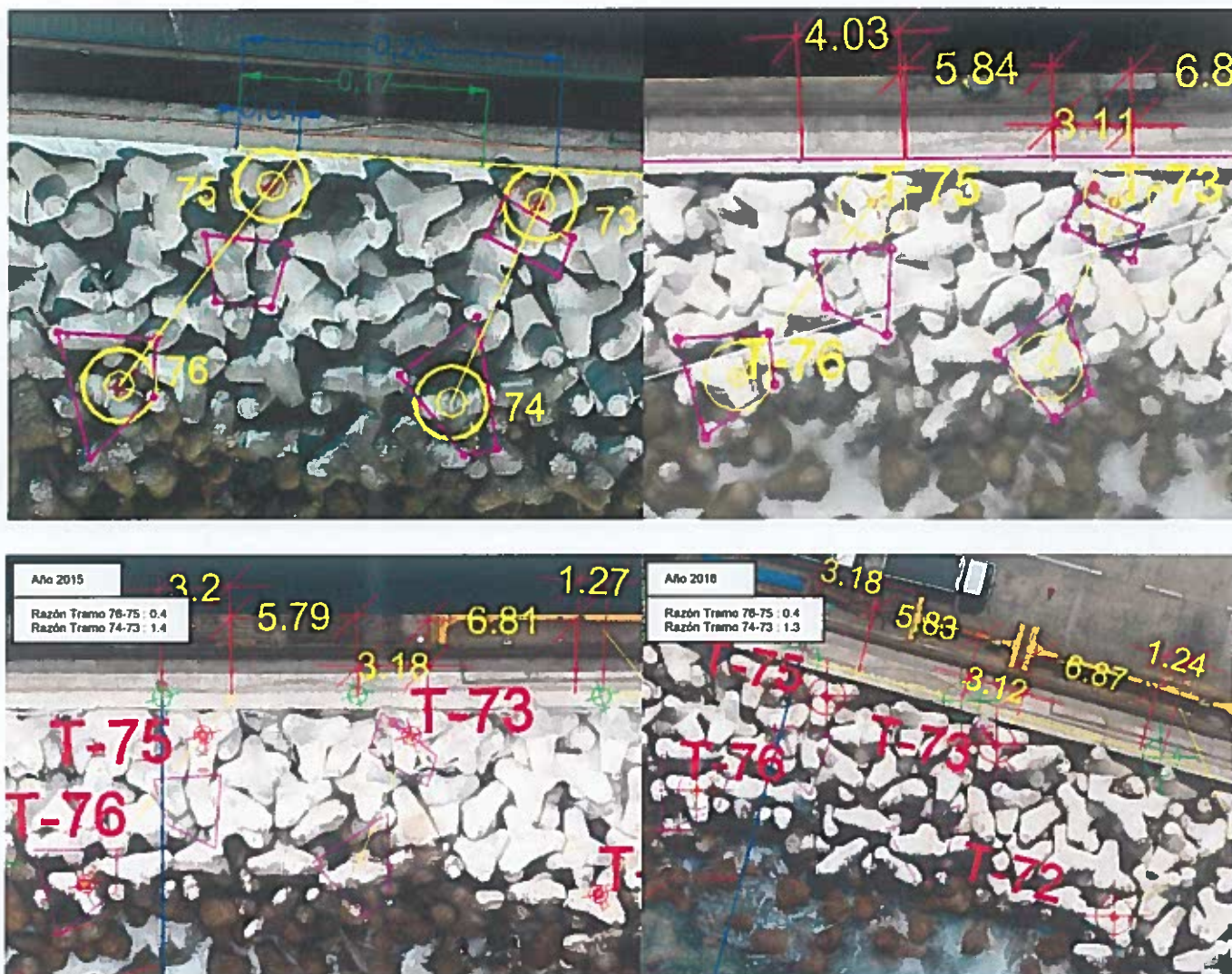


Figura 2.3 (Continuación): Comparación y Evaluación de Desplazamientos Relativos entre Tetrápodos

2.2.4.2 Evaluación de estabilidad mediante el Método de Van der Meer (1988)

Con los datos de los tetrápodos dañados observados en las fotografías aéreas se calculó el número de estabilidad de Van der Meer (1988), el cual relaciona tres elementos de diseño:

- La ola de diseño en el lugar de emplazamiento del rompeolas, a través de la relación H_s/L_o .
- El tipo de armadura y su tamaño, mediante el diámetro nominal D_n .
- El nivel de daños presente o de diseño, con el índice de daño Nod .

En la Figura 2.4 se muestra un gráfico que indica distintas condiciones estructurales o niveles de daño en un rompeolas con armadura de tetrápodos. La condición de oleaje de diseño en Arica corresponde a la línea azul. En condiciones ideales, es decir, sin daño, el número de estabilidad (relación altura de ola respecto del tamaño de la armadura) de esta estructura es de 1.1 (punto "a" en Figura 2.4). En condiciones ideales y bajo la condición de oleaje en Arica, se obtiene un comportamiento estructural sin daño hasta un número de estabilidad de 2.4 (punto "b" en Figura 2.4), suficientemente lejano como para asegurar la estabilidad global de la estructura. La condición máxima de diseño sugerida por Van der Meer es la de inicio de daño, en este caso con un número de estabilidad de 3.5 (punto "c" en Figura 2.4).

Dados los daños en la zona intermareal del molo de abrigo, el número de estabilidad real de este rompeolas se calculó entre 3.3 y 3.8 según los datos obtenidos en 2005, ver Figura 2.4. Con los datos obtenidos en 2015, este número resultó entre 3.3 y 3.8, sin considerar la sección reparada del codo. De igual manera, este año (2016) el número estructural se ubica entre 3.3 y 3.8, tal como el año anterior.

Se concluye que el daño determinado en el monitoreo de línea base del año 2005 no ha avanzado significativamente y que la condición real del rompeolas está en la zona de inicio de daño o condición máxima de diseño. Notar que el número de estabilidad de falla en la estructura corresponde a 4.5 (punto "d" en Figura 2.4).

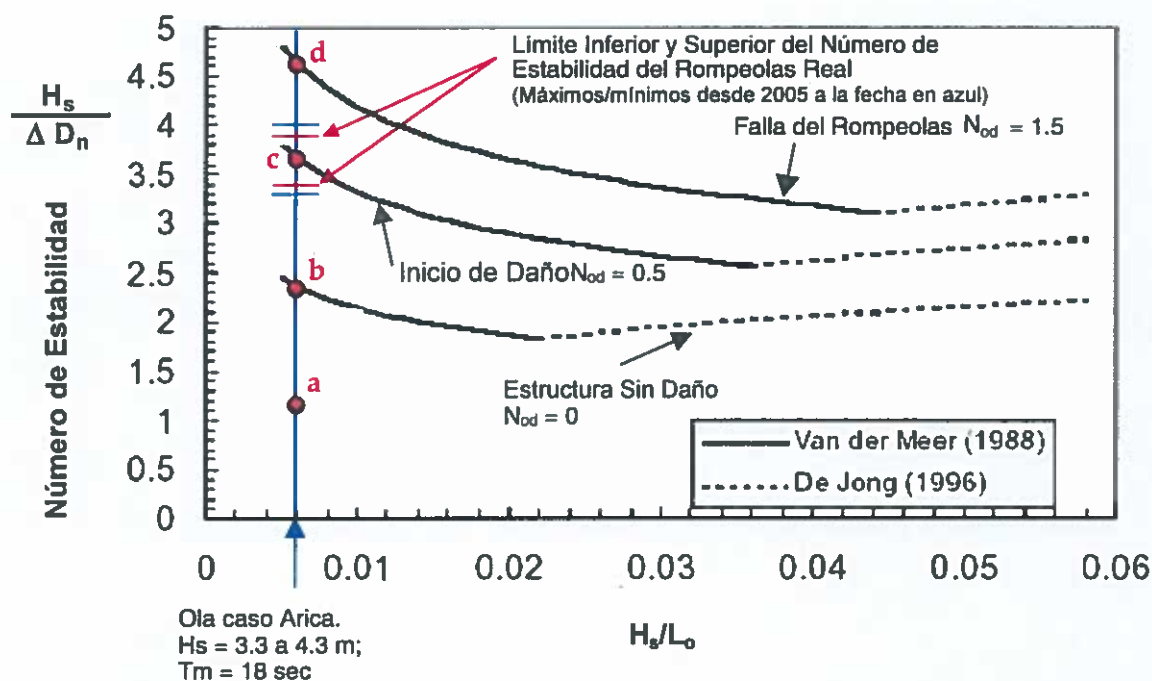


Figura 2.4: Número de Estabilidad según Van der Meer para rompeolas de Arica

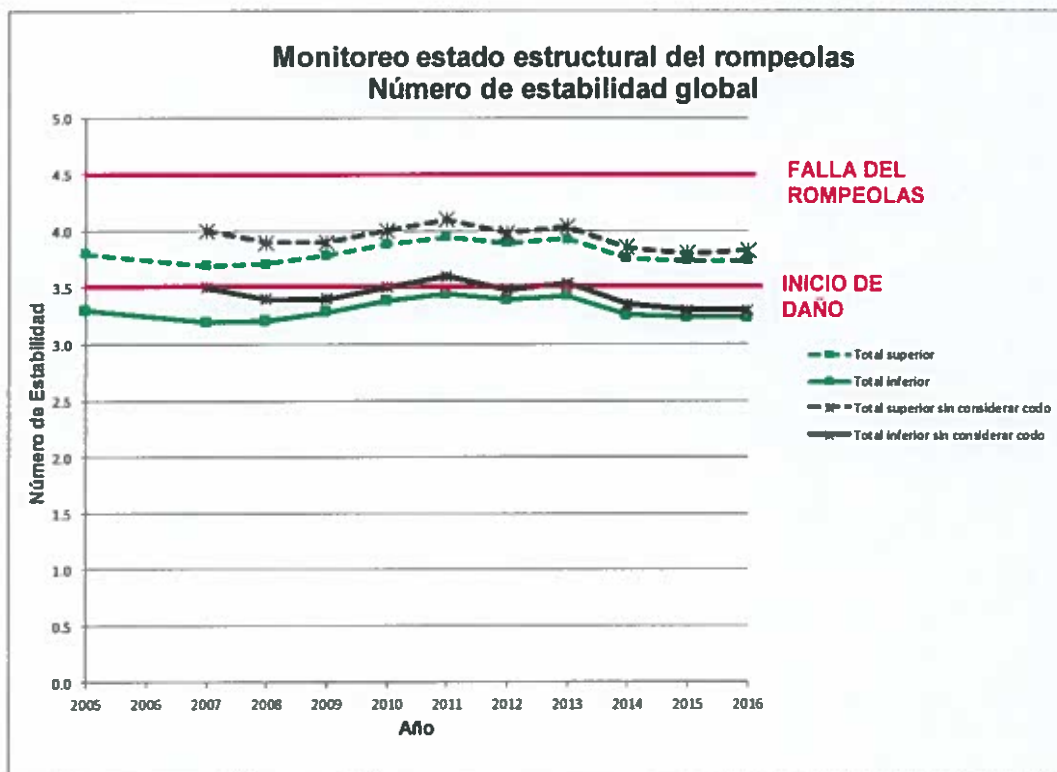


Figura 2.5: Número de estabilidad estructura global

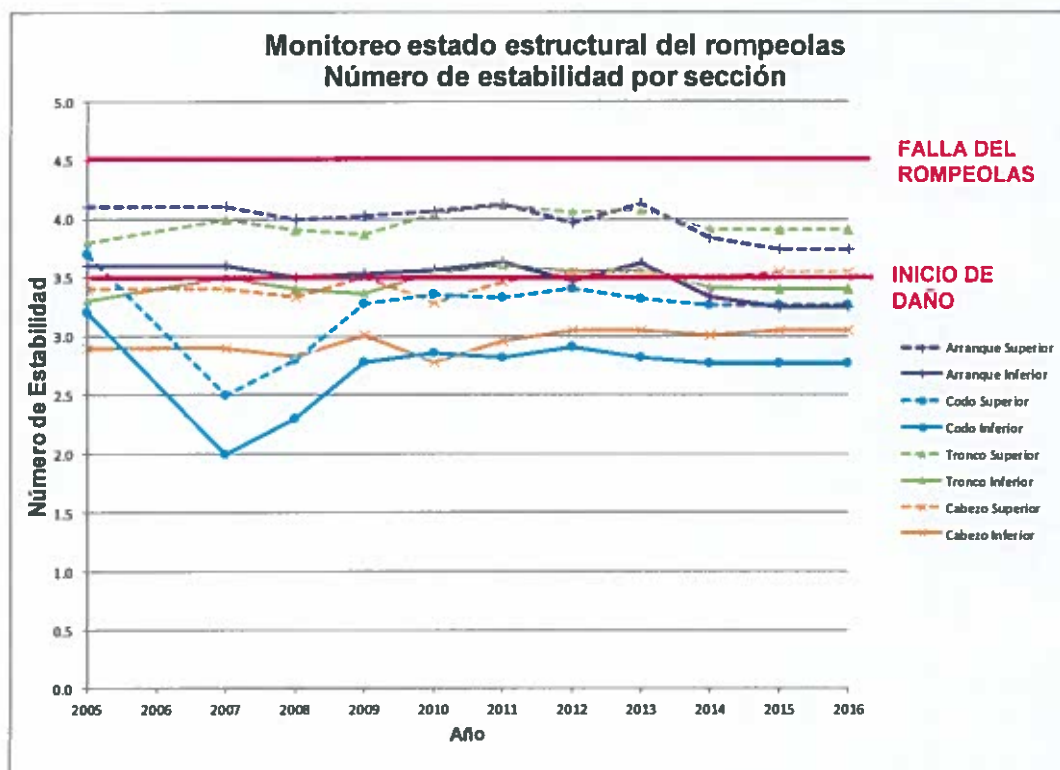


Figura 2.6: Número de estabilidad por sección

2.3 Calidad de hormigón de los tetrápodos

Se tomaron 12 muestras de hormigón de tetrápodos seleccionados en el arranque, codo, tronco y cabeza del rompeolas. Las muestras se sometieron a ensayos de laboratorio para determinar la resistencia a la compresión de dichos elementos y analizar la evolución del deterioro en el tiempo. El detalle de las pruebas de laboratorio se encuentra en el Anexo B.

En la Tabla 2.1 se encuentra un resumen de la resistencia a la compresión de las probetas analizadas durante los años 2005 al 2016. El resultado muestra que la resistencia del hormigón disminuyó en aproximadamente un 2.2% el año 2016 respecto al 2015 y aumentó 12.2% respecto del promedio total, obteniéndose un valor de 29.8 MPA. Las variaciones interanuales muestran una alta dispersión en los valores de resistencia, esto se atribuye a la variabilidad del material entre diferentes muestras y no a una disminución de la resistencia del hormigón, la cual ocurre lentamente con el tiempo.

Por último, se reitera que el hormigón según los elementos analizados tiene una calidad en torno a un hormigón H-25. Generalmente el hormigón para uso en armaduras es de calidad H-35, con una resistencia a la compresión de 35 Mpa (350 Kg/cm²), es decir, que los tetrápodos analizados en el año 2016 presentan en promedio un 85.1% de la resistencia mínima exigida a una estructura nueva.

Tabla 2.1: Resumen de la resistencia a la compresión

SECTOR	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPA)										
	2005	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Cabezo	22.5	25.5	26.6	17	19.5	14.9	-	29.5	25.6	26.9	24.2
Tronco	23.4	26.4	27.7	21	18.6	-	-	24.6	28.9	26.1	29.9
Codo	27.7	29.8	32.2	22	22.2	24.2	33.4	30.8	30.3	29.7	32.0
Arranque	21.7	21.8	21.8	18.7	27.4	24.9	35.3	32.4	29.1	39.2	33.1
Promedio General	23.8	25.9	27.1	19.7	21.9	21.3	34.4	29.3	28.5	30.5	29.8
Desviación Estándar	2.7	3.3	4.3	2.3	4.0	5.6	1.3	3.4	2.0	6.0	4.0

SECTOR	DENSIDAD (kg/m ³)										
	2005	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Cabezo	2373	2366	2357	2107	2420	2351	-	2347	2363	2350	2357
Tronco	2356	2373	2353	2373	2390	-	-	2360	2353	2320	2350
Codo	2253	2370	2383	2400	2360	2364	2345	2343	2353	2343	2363
Arranque	2215	2356	2387	2393	2355	2347	2367	2363	2363	2317	2327
Promedio General	2299	2366	2370	2318	2381	2354	2356	2353	2358	2332	2349
Desviación Estándar	77.2	7.4	17.5	141.3	30.1	8.9	15.6	9.7	5.8	16.6	15.8

2.4 Inspección Submarina

Como parte de los trabajos de terreno se realizó una inspección submarina apoyada por video. Para ello se tomaron 10 perfiles en el sector de codo, 2 en el cabezo y 2 en el tronco del rompeolas. El material gráfico se encuentra en el Anexo C.

La exploración se realizó siguiendo los perfiles mostrados en la Figura 2.7, detectando que desde el perfil 1 al 10 (sector del codo) se presenta un fondo mayormente arenoso, con gran cantidad de sedimentos suspendidos, dificultando la inspección visual. En la mayoría de estos perfiles, en la intersección del fondo marino con la pendiente del rompeolas se aprecian rocas y tetrápodos. Algunos de dichos tetrápodos se encuentran deteriorados o quebrados al pie del rompeolas. Esta zona presenta profundidades de 13 a 15 metros.

La zona correspondiente al tronco del rompeolas presenta un fondo compuesto de arena gruesa y roca, cuya profundidad se encuentra entre los 16 y 17 metros. Se observan tetrápodos fracturados y con grietas sobre y bajo el nivel de agua.

La zona que corresponde al cabezo del molo se conforma de fondo mixto en arena gruesa (perfil 12), roca (perfil 11) y fango en menor proporción cuya profundidad se encuentra entre los 16 y 17.5 metros. Se observan tetrápodos fracturados sobre y bajo el nivel de agua.

De información de años anteriores sabemos que la zona del arranque tiene 2 metros de profundidad, donde se presentan algunos tetrápodos fracturados.

En general, los tetrápodos sumergidos se aprecian en buenas condiciones, detectándose algunos elementos con rupturas profundas y otros con daños superficiales. En algunas secciones se aprecia que el filtro ha sufrido el mismo proceso de deterioro que se aprecia en la zona sobre la línea de marea.



Figura 2.7: Ubicación de perfiles explorados

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se mostró mediante comparaciones de fotografías aéreas tomadas al rompeolas, que de acuerdo a la metodología utilizada, el deterioro que presenta la estructura no ha avanzado significativamente en estos últimos 11 años, dado que el movimiento relativo entre ellas es menor.

Con las nuevas fotografías se afinó la estimación de la estabilidad mediante el método de Van der Meer (1988), encontrándose que este valor se localiza entre dos límites; el inferior equivalente a la condición de diseño máxima y el superior menor a la condición de falla.

El análisis de laboratorio de la resistencia del hormigón muestra que existe una variación de -2.2% respecto del año anterior. Ello se debe a la alta dispersión en el muestreo del hormigón, que hace que este análisis no sea confiable.

Sobre la base de las conclusiones anteriores se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Se recomienda mantener la metodología para el monitoreo fotográfico aéreo mediante el uso de drone, manteniendo los levantamientos topográficos convencionales a lo largo del rompeolas, como medida de control de calidad de los productos fotogramétricos.

Se contempla un monitoreo anual de inspección visual y fotográfico apoyado con un drone bajo el enfoque de vuelo autónomo con puntos de control en tierra. Este enfoque permitirá mejor cobertura y mayor flexibilidad con respecto al aeroplano/helicóptero, concentrándose en zonas que lo requieran, coordinando de mejor manera condiciones ambientales (mareas y luminosidad) que optimicen la actividad. Además, el drone implica un costo menor al uso de una jornada en avioneta y permite un mayor control.

2. Se recomienda en adelante NO realizar los trabajos de extracción de muestras de hormigón, debido a los peligros y riesgos inherentes que existe en los trabajos de terreno asociados y a su escaso aporte adicional de información técnica útil.
3. Se recomienda cambiar la inspección submarina de video por una inspección mediante un sonar tipo Multi Haz, el cual es mucho más preciso y entrega mayor información.

Anexo A

Fotografías Aéreas

Este anexo es digital y contiene la siguiente información:

Anexo A-1 Fotografías aéreas.

Anexo A-2 Fotografías que contienen el conteo de tetrápodos dañados

Anexo A-3 Resultados Análisis de daño y estabilidad estructural.

Anexo A-4 Ortofotografía.

Anexo B

Informe de Laboratorio Muestras Hormigón

Anexo C

Inspección Submarina

A : Terminal Puerto Arica
AT. : Sr. Leonel Siles
DE : Baird & Associates S.A.
REF. : Monitoreo Rompeolas Molo de Abrigo Puerto Arica 2016
MAT. : Análisis de resultados de mediciones topográficas de tetrápodos y CORE-LOC™

Estimado Leonel,

Este memorando contiene el análisis de las mediciones topográficas realizadas en los Tetrápodos y CORE-LOC™ de control del Molo de Abrigo del Puerto.

Tanto las mediciones topográficas como los levantamientos fotográficos en terreno fueron realizados por la empresa GEOMAR, bajo contrato con Baird.

El contenido de este informe está compuesto por las siguientes secciones:

1. Introducción
2. Discusión de procedimientos
3. Análisis de datos, monitoreo 2016
4. Conclusiones

1. Introducción

Dentro del contrato de concesión del puerto se establecen monitoreos anuales de la estabilidad del rompeolas. Éstos han sido desarrollados de acuerdo a las especificaciones técnicas del contrato (Anexo VIII), mediante fotografías aéreas, toma de muestras de hormigón e inspección submarina.

TPA ha llevado a cabo un monitoreo adicional y en paralelo al especificado en el contrato de concesión antes mencionado. El monitoreo consiste en la medición topográfica de tetrápodos y CORE-LOC™ de control, los cuales han sido previamente monumentados con clavos Hilti. Se lleva un registro histórico de estas mediciones y se analiza la estabilidad del rompeolas de acuerdo a ello.

Este informe da cuenta de los resultados obtenidos y presenta razones técnicas para que TPA proponga cambios a EPA respecto de los monitoreos futuros, reemplazando las actividades actuales antes nombradas, por tareas equivalentes que aporten mayor información técnica y a la vez simplifiquen los procesos de coordinación, seguridad y operación.

2. Discusión de procedimientos

El monitoreo de estabilidad del rompeolas se realiza desde el año 2005 de acuerdo a lo especificado en el Anexo VIII del contrato de concesión. Éstas principalmente corresponden a:

- 1. Toma y análisis de fotografías aéreas cada año.** Esta actividad posee dificultades inherentes debido a la disponibilidad de la avioneta/helicóptero y la coordinación con condiciones adecuadas de marea y luminosidad para la toma de la fotografías. El análisis de las fotografías entre años es cualitativo, por lo cual la información es técnicamente débil debido a que no aporta datos que permitan evaluar cuantitativamente la estabilidad del rompeolas. Desde el 2014, el análisis de fotografías aéreas se realizó con técnicas fotogramétricas. La toma de fotos se realizó con un drone.
- 2. Toma de muestras de hormigón cada año.** Las condiciones de trabajo durante la extracción de las muestras son peligrosas, debido a las dificultades del trabajo con herramientas pesadas entre los elementos de coraza. Por otro lado, no se justifica el registro anual del estado del hormigón, ya que éste posee una evolución lenta en el tiempo; más aún, con los registros actuales ya existe una caracterización técnica adecuada de la calidad del hormigón de los elementos de coraza.
- 3. Inspección submarina cada dos años.** Las condiciones de visibilidad no permiten una inspección adecuada para concluir técnicamente respecto del estado del rompeolas en la zona sumergida. Además, las condiciones operacionales son peligrosas y permiten realizar perfiles de inspección sólo en algunos puntos del rompeolas. Este año dicha actividad fue realizada mediante buceo en 10 secciones del rompeolas.

Al respecto se recomienda un replanteo de estas actividades con el objetivo de continuar estudiando la estabilidad del rompeolas, considerando nuevas y mejores tecnologías, que faciliten aspectos de seguridad, coordinación y operatividad de las actividades. Éstas se presentan a continuación:

- 1. Toma y análisis de fotografías controlado con navegación GPS.** Se recomienda mantener la metodología para el monitoreo fotográfico aéreo mediante el uso de drone, manteniendo los levantamientos topográficos convencionales a lo largo del rompeolas, como medida de control de calidad de los productos fotogramétricos. Este año fue la tercera vez que se utilizó esta metodología, el resultado de esto es una ortofotografía como la que se puede ver en la Figura 1.

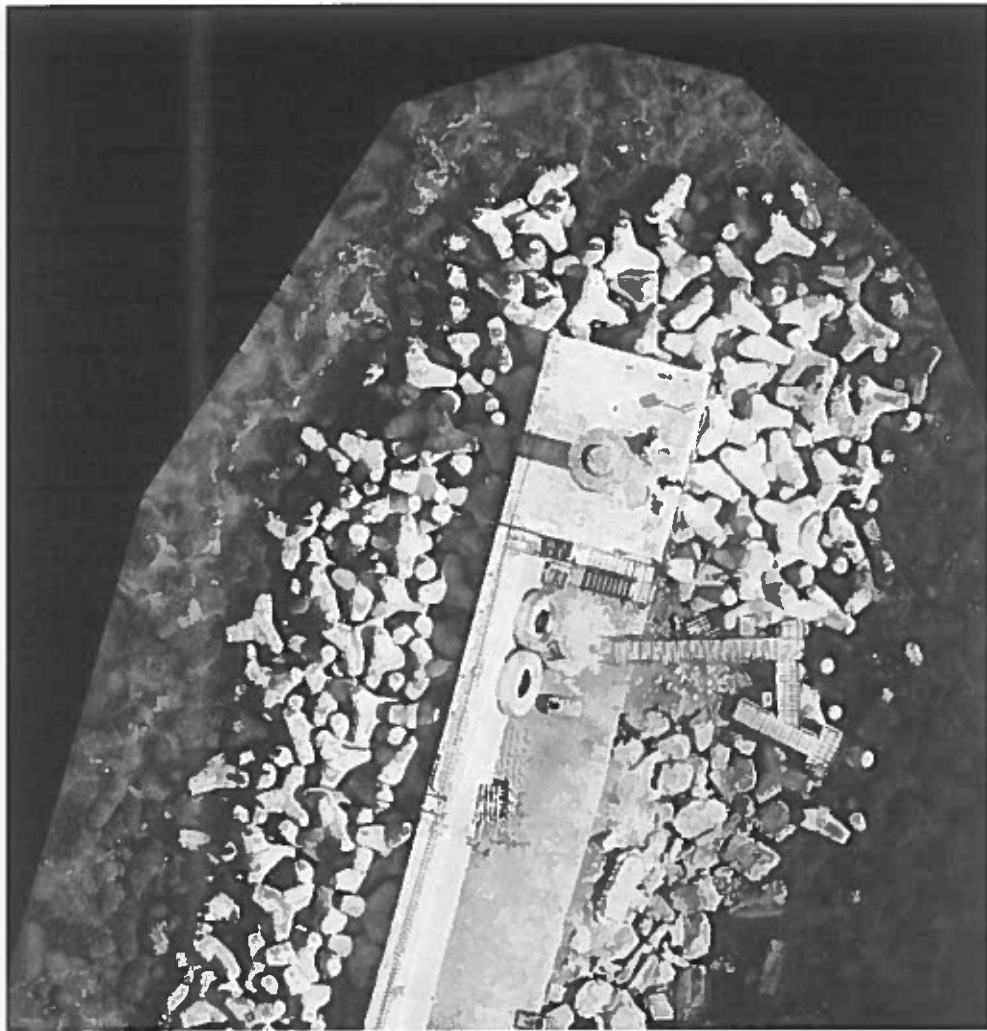


Figura 1: Ortofotografía generada por drone en Arica.

2. **Levantamiento de clavos de control.** Se recomienda mantener esta actividad, como medida de control de calidad para los levantamientos fotogramétricos. Los puntos de control corresponden a un punto clave en la obtención de un producto de calidad.

3. Análisis de datos, monitoreo 2016

3.1 General

Para el análisis, se utilizó la metodología clásica, la que consiste en el análisis de los puntos de control. Esta presenta la gran ventaja de que existe información histórica disponible para comprender los posibles escenarios que puedan surgir en cada monitoreo.

3.2 Descripción de los Datos

En el año 2005, durante el establecimiento de la línea base, se definieron 29 elementos de control en la zona de CORE-LOC™ y 105 en la zona de Tetrápodos. Durante el monitoreo del año 2016 fueron localizados y levantados 17 CORE-LOC™ y 103 tetrápodos de los originalmente marcados.

Al igual que en años anteriores, hubo dificultad para rastrear los elementos marcados debido a los desechos de las aves que habitan el rompeolas, además de la corrosión en los clavos Hilti.

3.3 Análisis de los puntos de control

Los datos obtenidos en el monitoreo del año 2016 se compararon con dos bases de datos: la del año 2015, y la realizada el año 2005, evaluando con ello los movimientos relativos al año anterior y los acumulados desde el año 2005.

El análisis se realizó comparando los movimientos horizontales y verticales de las unidades en el tiempo. El movimiento horizontal se define como aquel contenido en un plano paralelo al nivel del mar, mientras que el vertical es el perpendicular al plano definido por el nivel del mar.

3.3.1 Variaciones en puntos de referencia

Se hace notar que el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) actualizó las coordenadas del vértice AR11 previo al levantamiento topográfico correspondiente del año 2014, por lo cual los puntos de referencia cambiaron sus coordenadas. Por ello se realizó una corrección de coordenadas al levantamiento 2005.

No se considera ni evalúa una variación en los puntos de referencia desde el 2014 al 2016, principalmente debido a la inexistencia de sismos de gran magnitud.

3.3.2 Comparación con datos del año 2016

3.3.2.1 Zona CORE-LOC™

La comparación demuestra que los CORE-LOC™ de control tienen desplazamientos horizontales en promedio a los 8 cm, pero en su mayoría menores a 4 cm y verticales menores a 2 cm.

El elemento 528 presentó un ligero asentamiento (sin desplazamiento) entre los años 2014 y 2015, aunque si manifestó desplazamientos horizontales de 11 cm entre los años 2015 y 2016 según las mediciones en terreno. Sin embargo, al comparar las imágenes de este elemento, se constató que no existe desplazamiento real de las unidades del CORE-LOC™ y más bien la diferencia se debe a errores de medición, o de clavo Hilti seleccionado. Esto mismo ocurre para el elemento 509, en donde tampoco existe desplazamiento real. El mayor desplazamiento horizontal encontrado fue de 1.7 cm para los elementos 521 y 525.

La Figura 2 muestra las ortofotografías de la zona mencionada, para los años 2014, 2015 y 2016.

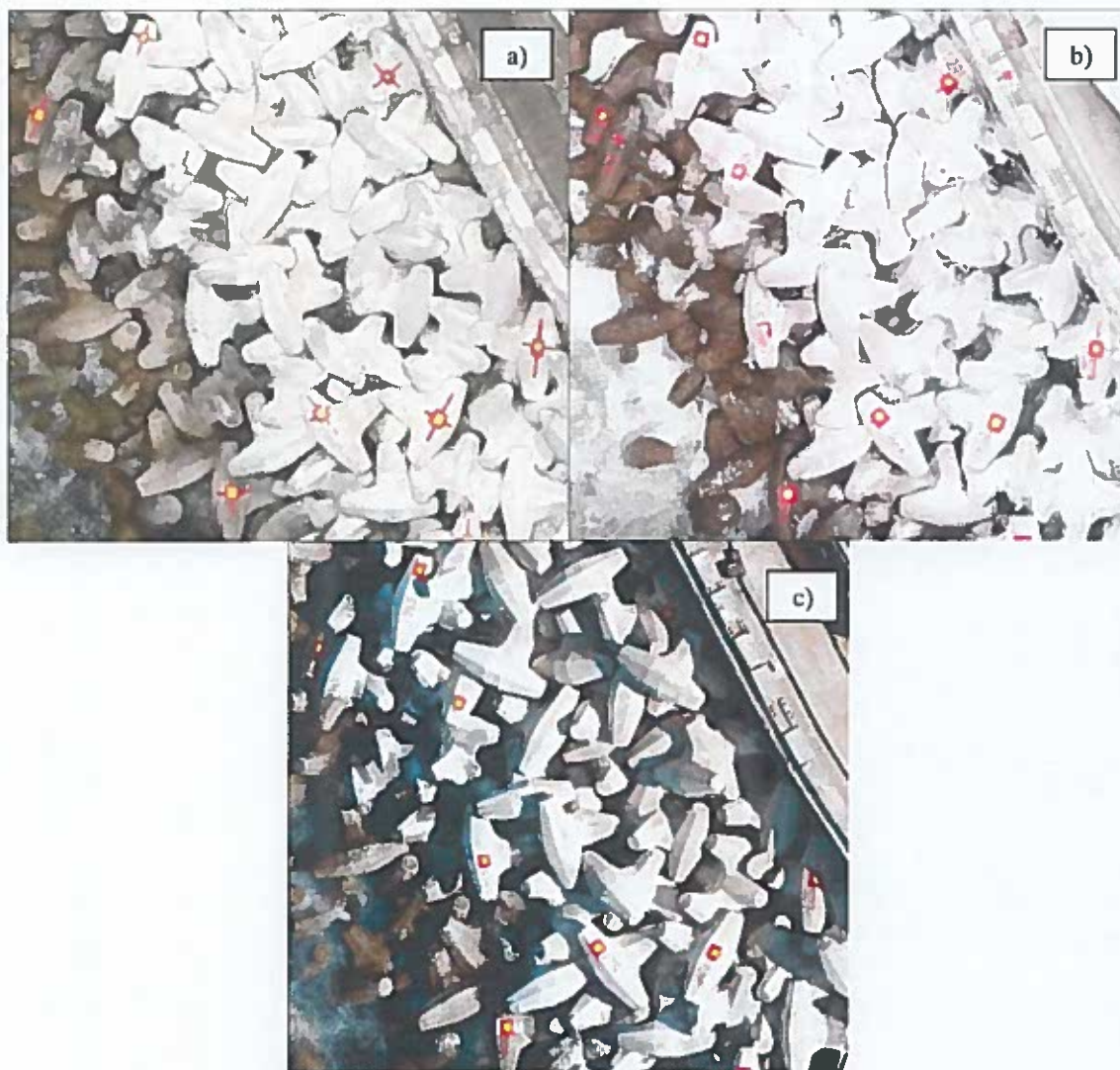


Figura 2. Ortofotografía zona de CORE-LOC™. a) 2014, b) 2015 y c) 2016.

La Figura 3 muestra los gráficos de desplazamientos para la zona CORE-LOC™.

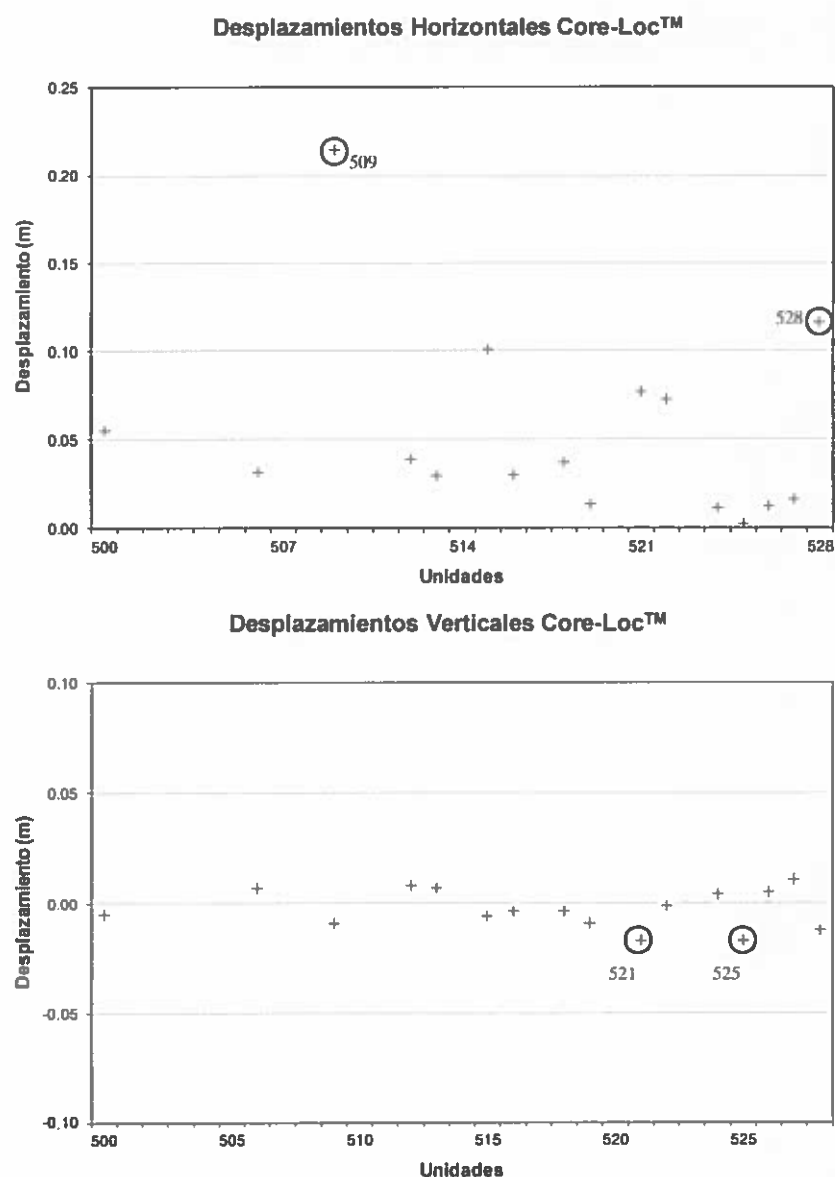


Figura 3. Comparación de desplazamientos verticales y horizontales con respecto al 2015 - Zona CORE-LOC™.

3.3.2.2 Zona Tetrápodos

La comparación de los datos para los tetrápodos presenta variados resultados. Los desplazamientos horizontales se observan en promedio de 6 cm, existiendo casos aislados en donde se observa mayor desplazamiento. Estos desplazamientos aislados no representan un desplazamiento real de las unidades medidas, como se explicará a continuación.

La Figura 4 grafica los desplazamientos horizontales y verticales para la zona de Tetrápodos.

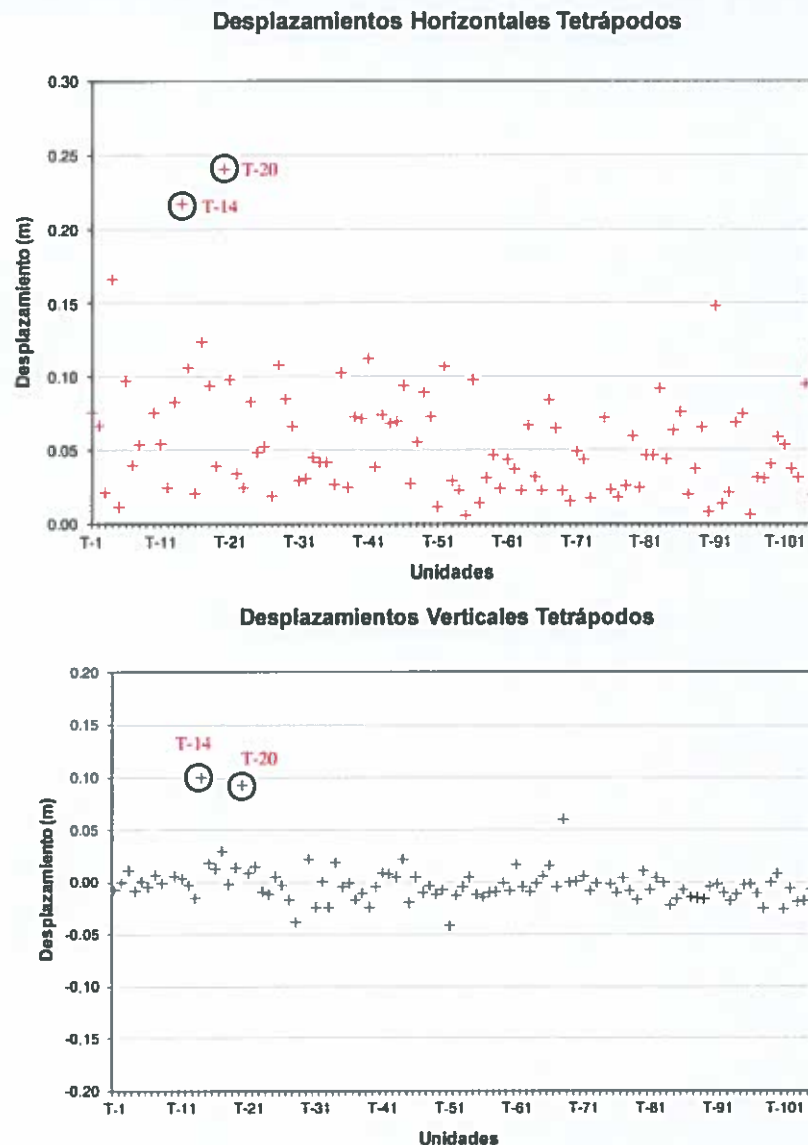


Figura 4. Comparación de desplazamientos verticales y horizontales con respecto al 2015 - Zona Tetrápodos.

En la Figura 4 se observan dos (2) unidades (T-14 y T-20) cuyos desplazamientos horizontales superan las tendencias del grupo. Se revisó y comparó las mediciones de 2014 y 2016 y se concluyó que hubo desplazamientos del orden de 20 cm en dos años. Este desplazamiento se asocia a la elección del clavo Hilti en las tres últimas mediciones. Otra hipótesis es que los elementos no se encuentren con una trabazón óptima y fluctúen entre dos posiciones, pero ésta resulta menos probable.

Respecto al movimiento vertical, las mismas dos (2) unidades (T-14 y T-20) se exceden respecto a la tendencia global. Comparando los ortomosaicos (fotogrametría) de ambos años, es posible notar que no existió un movimiento notorio de un año a otro. La variación puede deberse a un error de medición.

Por otro lado, no se observa evolución notoria en la tendencia al descenso del cabeza reportada en memorándum anteriores.

3.3.3 Movimiento Acumulado – Comparación con Datos del año 2005

3.3.3.1 Zona CORE-LOC™

La Figura 5 muestra los gráficos de desplazamientos acumulados verticales y horizontales para la zona de los CORE-LOC™. Los desplazamientos medidos son aceptables para este sector de la estructura, con valores que en general no superan los 10 cm horizontales y 10 cm verticales. Se observa una tendencia al descenso en torno a 5 cm. Los elementos de observación 500, 506, 512 y 528 presentan movimiento atípico tanto en la vertical como en la horizontal. Sin embargo, al observar los gráficos de comparación 2015 v/s 2016, se observa que el movimiento corresponde a años anteriores, pudiendo deberse a cambio de clavo Hilti. El elemento 528 fue analizado en la sección anterior.

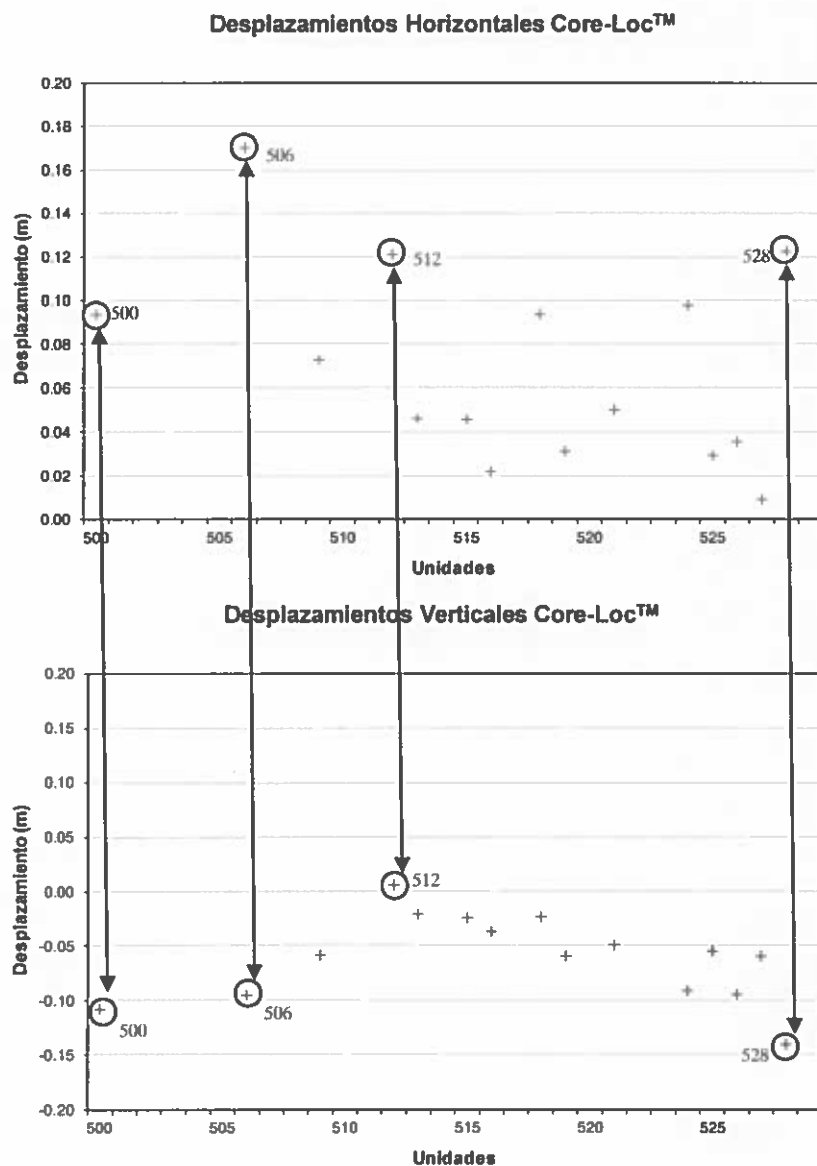


Figura 5. Desplazamientos acumulados desde el 2005 al 2016 para la zona CORE-LOC™.

3.3.3.2 Zona Tetrápodos

La Figura 6 grafica los desplazamientos acumulados en las zonas de tetrápodos.

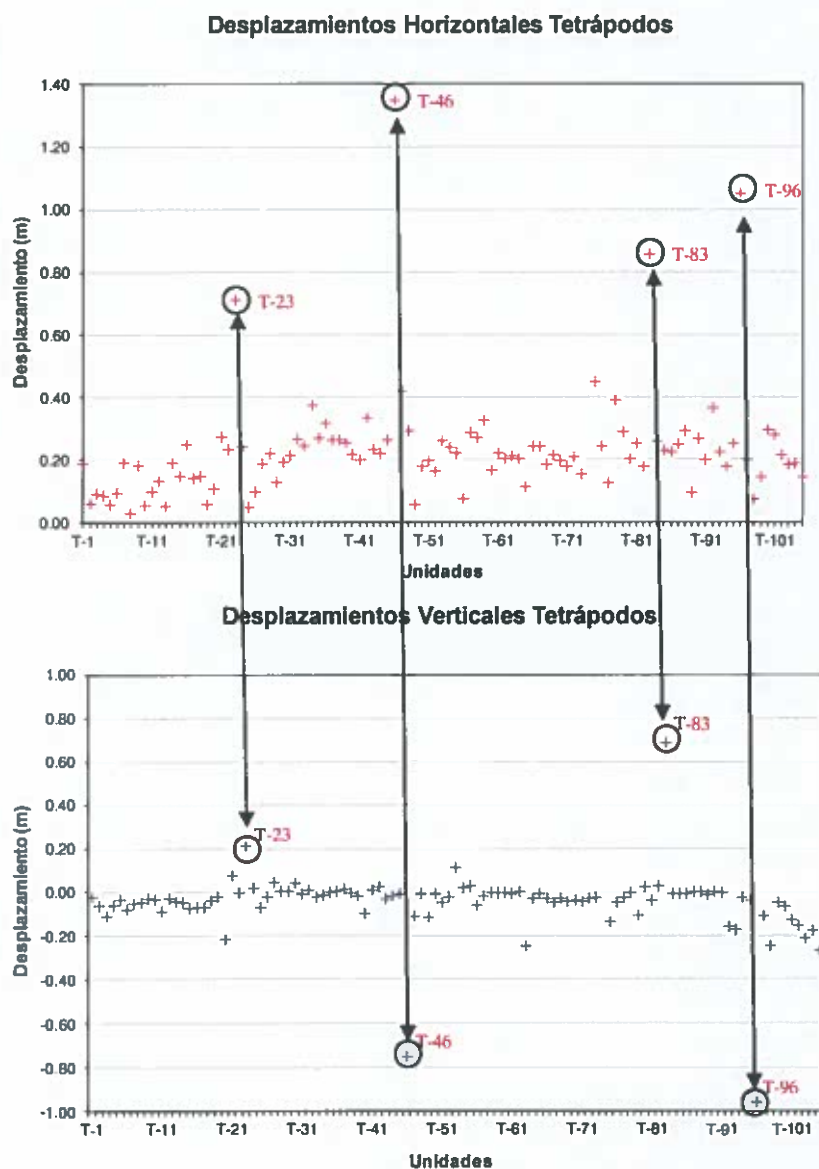


Figura 6. Desplazamientos acumulados desde el 2005 al 2016 para la zona de Tetrápodos.

El análisis de los datos muestra que 4 unidades de un total de 103 analizadas presentan desplazamientos horizontales acumulados superiores a 50 cm. Ninguno de estos elementos presenta variaciones importantes de un año a otro (Figura 3).

Tres (3) de los anteriores elementos presentan variación vertical atípica mayor a 60 cm (T-46, T-83 y T-96). Dicha variación se evaluó en el análisis 2015 v/s 2016 y se presupone existe un error de medición, ya que los desplazamientos verticales de estos elementos no superan 1 cm. El resto de unidades presentan desplazamientos verticales menores a 27 cm y en su mayoría, no superan los 20 cm. Se observa además el descenso desde el elemento T-95 en adelante analizado en memorándum que compara las mediciones 2013-2014.

4. Conclusiones

El análisis de los datos obtenidos en el monitoreo 2016 indican que la zona reparada el año 2005, conformada por los CORE-LOC™, se encuentra estable y no ha sufrido asentamientos ni desplazamientos importantes. En cuanto a los tetrápodos, éstos han experimentado desde el año 2005 desplazamientos que son aceptables para la condición de estabilidad en que se encuentra el rompeolas (cercana a su condición de diseño máxima).

En general se concluye que el rompeolas está estructuralmente estable, y los desplazamientos acumulados de las piezas de armadura no han alcanzado niveles que hagan necesaria una reparación de la estructura en alguna de sus secciones.

De la comparación entre las mediciones en terreno y ortofotos, se observa que no existen zonas de asentamiento considerable de desplazamiento general de elementos.

5. Recomendaciones

Se recomienda mantener la metodología de levantamientos fotogramétricos. Esta técnica permitirá registrar de mejor forma el estado de los elementos a lo largo del tiempo, para comprender de mejor manera el funcionamiento y evolución de la estructura.

Se recomienda mantener los monitoreos anuales topográficos. Se ha recolectado una base de datos con una extensión temporal que permite concluir que la velocidad de avance del deterioro es suficientemente lenta para no proyectar reparaciones en el mediano plazo. Ello no considera la ocurrencia de un evento extremo de más baja probabilidad, como por ejemplo: un terremoto mayor aún al de abril de 2014 o un tsunami inducido por uno de ellos.

Atentamente,

Baird & Associates S.A

Roberto Salinas Naranjo.
Jefe de Proyecto