

2.8.2.1.6. Dique Flotante Hundido

Se ha detectado la existencia de un dique flotante hundido en las proximidades del rompeolas que puede generar interferencias con el futuro proyecto de modernización del terminal.

Figura 161: Ubicación del dique flotante hundido



Ya se han realizado trabajos para desmontar y retirar parcialmente la estructura, lo que ha mitigado en parte los riesgos asociados. Sin embargo, el desmantelamiento completo y la retirada final del dique serán responsabilidad del concesionario adjudicatario. La información correspondiente sobre el dique hundido se incluirá en el portal de datos para que los oferentes puedan considerar estos elementos en su propuesta.

2.8.2.1.7. Dragados de Mantenimiento

El rompeolas llegó hace tiempo a su máxima capacidad de retención de sedimentos, por lo que éstos ingresan al interior de la dársena, obligando a realizar dragados de mantenimiento periódicos.

Existen datos disponibles de batimetrías y volúmenes de dragado en el terminal en los últimos años (2013-2023).

Los datos históricos de profundidades en el Sitio 1 y área interna del rompeolas se muestran a continuación:

Tabla 2.108: Profundidades históricas en Sitio 1 y Área Interna Rompeolas

Fecha	Profundidades (m)	
	Sitio 1	Área Interna Rompeolas
Febrero 2013	10.0	9.0
Octubre 2013	10.0	2.0
Segundo semestre 2014	9.0	0.0
Segundo semestre 2015	0.0	0.0
Segundo semestre 2016	0.9	0.0
Segundo semestre 2017	10.0	8.0

De la tabla anterior, se ven situaciones críticas de sedimentación en 2015 y 2016, lo que debería reflejarse en los volúmenes históricos de dragado en el terminal.

Sin embargo, los datos históricos no muestran situaciones de gran acumulación de sedimentos entre los años 2013 y 2023:

Tabla 2.109: Datos históricos de volúmenes de dragado y acumulación de sedimentos

Semestre	Volúmenes por semestre (m ³)		Sedimentación acumulada ⁽⁴⁾ (m ³)
	Dragado ⁽¹⁾	Sedimentación ^{(2) (3)}	
2/2007	-	-	507.222,00
2/2008		179.660,00	686.882,00
1/2009	586.274,00	36.253,24	36.253,24
2/2009		53.301,89	89.555,13
1/2010		118.352,40	207.907,53
2/2010		49.905,58	257.813,11
1/2011		172.784,40	430.597,51
2/2011		104.141,96	534.739,47
2/2012	466.997,00	61.546,60	61.546,60
1/2013		50.103,50	111.650,10
2/2013		89.710,60	201.360,70
1/2014		38.641,70	240.002,40
2/2014		89.994,60	329.997,00
1/2015		40.284,90	370.281,90
2/2015		72.549,90	442.831,80
1/2016		44.684,00	487.515,80
2/2016		33.242,80	520.758,60
1/2017	452.657,00	4.587,10	4.587,10
2/2017		82.250,70	86.837,80
1/2018		56.856,60	143.694,40
2/2018		59.251,70	202.946,10
1/2019		66.118,80	269.064,90
2/2019		85.209,30	354.274,20
2/2019	428.358,00	18.338,10	18.338,10
1/2020		57.146,40	75.484,50
2/2020		47.022,90	122.507,40
1/2021		37.959,70	160.467,10
2/2021		51.964,50	212.431,60
1/2022		102.866,20	315.297,80
2/2022		81.204,70	396.502,50
1/2023	455.306,80	16.788,60	16.788,60
Total	2.389.592,80		
Promedio		74.608,39	

Fuente: Informe Final Supervisión Dragado Mantenimiento del Canal de Acceso, Contiguo al Rompeolas, Zonas de Maniobra y Puestos de Atrake, Puerto de Caldera, Puntarenas, Millan, 2023

(1) Volúmenes de dragado reconocidos para cada campaña

(2) Volúmenes de sedimentación respecto al modelo teórico con pendientes mínimas.

(3) En los semestres con dragado el valor corresponde al volumen post-dragado de la campaña.

(4) Incluye volúmenes de control como de post-dragado reiniciándose el volumen con cada campaña de dragado.

El rompeolas cumple adecuadamente su doble función de reducir la agitación en los diferentes muelles del puerto y, simultáneamente, retener los sedimentos, pero que su capacidad de retención ha llegado al máximo no siendo capaz de retener sedimentos adicionales. Para aumentar su capacidad de retención sería necesario

ampliarlo, con lo que se resolvería el problema de retención durante un periodo de tiempo limitado, esto es hasta que se volviera a colmar, momento en el que se haría necesaria una nueva ampliación. Además, hay que tener en cuenta que aumentar progresivamente la retención de sedimentos tiene la consecuencia de aumentar, también progresivamente, la erosión de las playas situadas al norte del puerto. Este es el motivo por lo que se plantea una solución alternativa.

2.8.2.1.8. Diseño Conceptual de Medidas por sedimentación y estabilización de la costa

Para mitigar la sedimentación, en el Plan Maestro del año 2019 se analizaron diferentes alternativas que puedan ofrecer una solución a esta problemática. Se plantearon seis alternativas para minimizar la sedimentación, desde mantener la situación sin alterar ningún elemento (simplemente con dragados de mantenimiento en intervalos cortos de 1 a 4 años dependiendo de la cantidad de sedimento eliminada), hasta la alteración o extensión del rompeolas. Entre estas alternativas también se planteó la eliminación del sedimento (arena) mediante remoción mecánica con equipo de excavación (se realiza primero un dragado de mantenimiento inicial donde se extrae la mayor cantidad de arena de la playa posible y, posteriormente, se transporta a un depósito adecuado) mediante un dispositivo flotante (se instala una bomba sobre un barco o barcaza y se bombean los sedimentos).

Entre las alternativas destacadas se encuentran el dragado periódico al sur del rompeolas y la construcción de un espigón perpendicular en el lado sur del rompeolas. Las soluciones planteadas fueron analizadas y, finalmente, se recomendó el dragado periódico al sur del rompeolas. Sin embargo, en el análisis financiero del Plan Maestro, se mantuvo la opción del espigón al sur del rompeolas. Se considera adecuada esta conclusión eliminando cualquier obra adicional para el rompeolas, ya que cualquier obra que se realice solo va a retrasar el dragado de mantenimiento, pero no se va a eliminar, ya que los sedimentos se seguirán acumulando hasta llenar el nuevo volumen disponible.

Por otra parte, en el Plan Maestro del año 2019 se han planteado dos alternativas para solventar la problemática de erosión de la playa al NE del puerto por la retención de sedimentos al sur del rompeolas: 1) alimentarla con el sedimento dragado y 2) estabilizar la costa con espigones en la zona donde se generan las inundaciones en la Ruta 23.

La solución recomendada en el Plan Maestro es alimentar la playa con el material dragado en las zonas con exceso de sedimentos. Así, no será necesario la construcción de espigones que podrían afectar el sistema natural de manera significativa y podría causar erosión en otros lugares de la costa. Parte de los sedimentos se transportarían hacia la desembocadura del estero Mata de Limón y eventualmente hacia el puerto, por lo que en el Plan Maestro se recomienda construir un espigón al norte de la desembocadura.

Figura 2.215: Diseño de alimentación de playa y espigón para estabilización de la playa



Fuente: Referencia del documento "Plan Maestro Portuario del Litoral Pacífico" de ARCADIS.

Se considera que la recomendación del Plan Maestro es adecuada, ya que se aproxima mejor a la condición natural sin la presencia del puerto. Como alternativa, se podría evaluar una solución de by-pass de sedimentos, conectando directamente el área al sur del rompeolas con la playa al NE del puerto, lo cual podría también minimizar los dragados de mantenimiento, aunque el costo de capital sería mayor.

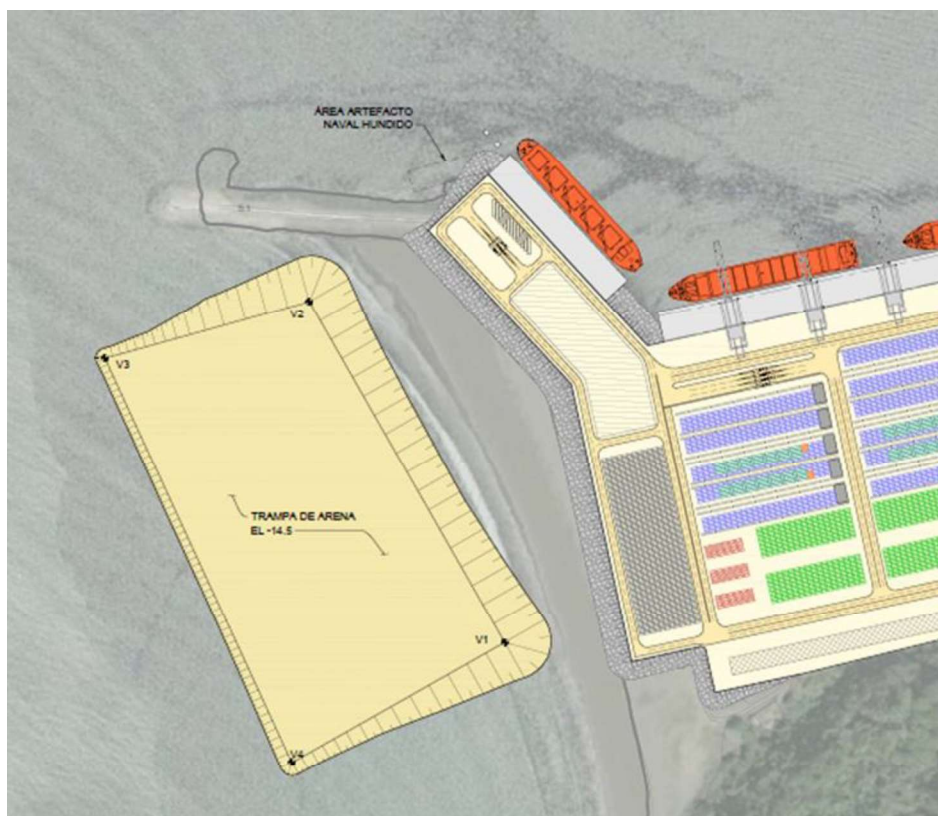
La solución recomendada permitiría simultáneamente reducir la sedimentación de la dársena y reducir la erosión de la playa al NE del puerto, considerando lo siguiente:

- Dragado de capital (trampa de arena) al sur del rompeolas, aumentando la capacidad de almacenamiento en aproximadamente 800,000 m³. Este volumen se estima a partir de los volúmenes históricos de dragado equivalentes a alrededor de 500,000 m³ en un periodo de cuatro años. Considerando que el rompeolas ha llegado a su máxima capacidad de retención, se estima una capacidad mayor para la trampa de arena amplificando el promedio histórico de dragado en un 60%.
- Dragado de mantenimiento de la trampa de arena cada 4 años o más.

Para implementar esta alternativa se debe considerar lo siguiente:

- Se recomienda verificar primero y optimizar la viabilidad del dragado en esa área específica y monitorear el depósito de sedimentos al sur del rompeolas.
- Se recomienda dragar la trampa de sedimento a una profundidad de NMBS-14.5m. Esta disposición deberá ser verificada para no afectar la estabilidad del rompeolas existente.

Figura 2.216: Diseño de alimentación de playa y espigón para estabilización de la playa



Fuente: M&N

Se recomienda que el futuro concesionario valide esta alternativa mediante un modelo actualizado y extendido de transporte de sedimentos, para verificar lo siguiente:

- Magnitud del transporte litoral.
- Ubicación y volumen de la trampa de sedimentos.
- Frecuencia del dragado de mantenimiento.

- Ubicación del punto de vertido de los sedimentos al NE del puerto.
- Verificar la estabilidad de la playa al NE del puerto.
- Verificar que los sedimentos no retornen hacia la desembocadura del estero Mata de Limón y eventualmente hacia el puerto. En caso contrario, se debe evaluar la construcción de un espigón al norte de la desembocadura.
- Evaluar el posible beneficio de la construcción de un espigón al sur del rompeolas como se sugiere en una de las alternativas del Plan Maestro.

Cabe destacar que los sedimentos dragados de la trampa tendrán niveles de contaminación significativamente menores comparado a los que tienen los sedimentos dragados en la dársena, generando un beneficio desde el punto de vista ambiental.

Si se sigue disponiendo los sedimentos dragados en los botaderos autorizados, no se detendrá la erosión en la playa al NE del Puerto. La solución ideal es disponer los sedimentos de la trampa al frente de la playa como se mencionó anteriormente, aunque se deben gestionar los permisos respectivos para el cambio de ubicación de los botaderos.

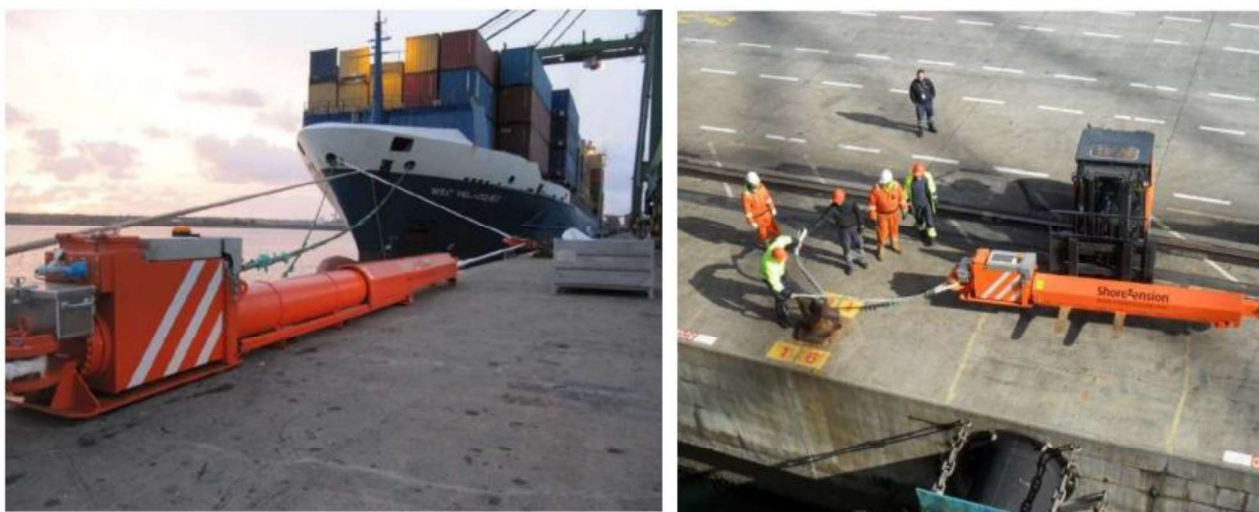
2.8.2.1.9. Medidas para Disminuir el Tiempo de Inactividad

Según lo indicado en el Plan Maestro, en la situación actual se experimenta un tiempo de inactividad del 10 % en el puesto n.º 4. Este tiempo de inactividad se debe al oleaje de fondo que se propaga hacia el muelle y que impacta por la banda al barco, induciendo movimientos importantes de los barcos amarrados. Los remolcadores se usan a veces para empujar a los graneleros hacia los muelles y reducir movimientos. Debido a los movimientos de los barcos, las operaciones de (des)carga se ven afectadas y experimentan tiempos de inactividad. Se evaluaron posibles soluciones para reducir o mitigar los tiempos de inactividad. En estas evaluaciones se han examinado dos posibles alternativas. La primera es la extensión del rompeolas o la construcción de un espigón. La segunda es implementar el módulo Shoretension. El objetivo principal de este último es mantener todas las líneas de amarre con la misma tensión cortante en caso de oleaje de fondo, viento y el paso de otros buques.

Si bien las recomendaciones apuntan a la utilización de dispositivos Shoretension u otras medidas para optimizar la configuración de amarre de los buques es importante recalcar que el downtime por oleaje en el puesto n.º 4 también tiene su origen en la mala orientación del sitio respecto a la dirección de incidencia del oleaje. Además, gran parte del downtime del sitio de graneles se debe a las precipitaciones que no permiten desarrollar las labores de descarga y que, a su vez, no puede ser reducido con dispositivos dinámicos de amarre.

En etapas posteriores se recomienda actualizar el análisis considerando los estudios básicos actualizados, desarrollando un estudio de agitación, oleaje infragravitacional (ondas largas), respuesta dinámica de buque atracado, downtime y simulación dinámica de la operación de graneles que considere el downtime por oleaje y precipitación para evaluar diferentes opciones de longitud de rompeolas versus la optimización de la configuración de amarras y/o el uso de Shoretension, incluyendo además la extensión del puesto de atraque 4, que estará aún más expuesto al oleaje de fondo, pero puede ser orientado de tal forma de reducir el downtime por oleaje. Con este análisis es posible verificar el beneficio en las mejoras en los niveles de servicio (tiempos de espera y demurrage, rendimientos, etc) versus el costo de cada una de las soluciones. Eventualmente se podría evaluar un nuevo puesto de atraque orientado a la dirección de incidencia del oleaje, reduciendo significativamente su tiempo de inactividad.

Figura 2.217: Aplicación de Sistema Shoretension



Fuente: Referencia del documento “Plan Maestro Portuario del Litoral Pacífico” de ARCADIS.

2.8.2.1.10. Rutas de Acceso

Según el Plan Maestro, el puerto de Caldera posee dos sistemas de transporte que alimentan al puerto, el vial y el ferroviario. Este último no tiene actividad que cubra los requerimientos para uso del puerto, pero debe considerarse la infraestructura existente ya que podría ofrecer una opción competitiva. El transporte vial es el más solicitado, pero su capacidad está muy limitada para el desarrollo del futuro, a menos que se amplíe en varios sectores donde el número de carriles deberá incrementarse.

Para el acceso al puerto, existen dos rutas principales: La Ruta 27 y la Ruta 23.

- Ruta 27: La autopista cuenta con tres secciones principales, el primer tramo es entre San José y ciudad Colón, el segundo tramo es de Ciudad Colón a Orotina y el último tramo es de Orotina a Caldera.

El segundo tramo tiene problemas de inestabilidad de taludes durante los meses lluviosos del año, lo que ha provocado derrumbes y cierres temporales. Esto debe considerarse en los análisis de riesgos y de adaptación al cambio climático.

- Ruta 23: Une Caldera con Barranca. Va desde la entrada a Puerto Caldera hasta la unión con la Ruta 1 en Barranca.

Esta carretera presenta una problemática importante, ya que durante las mareas y oleajes extraordinarios un tramo de la carretera se inunda y se vuelve intransitable, lo cual afecta la comunicación entre la Ruta 27 y la Interamericana Norte RN1. Esto también debe considerarse en los análisis de riesgos y de adaptación al cambio climático.

Adicionalmente, el anteproyecto desarrollado en este estudio para el terminal considera el espacio necesario para la futura construcción de los accesos de las vías de ferrocarril.

2.8.2.1.11. Recomendaciones

Tras la revisión de la información existente, se han identificado potenciales riesgos en elementos técnicos y operacionales relacionados con las condiciones ambientales, la configuración de espacios, parámetros operacionales, tipos de operación propuestos, la evaluación de alternativas, los costes y el desarrollo en fases. Se recomienda actualizar los pronósticos de carga y la planificación optimizando la productividad y el uso de los diferentes espacios.

Se ha evaluado la conveniencia de ampliar el rompeolas, balanceando las mejoras que se consiguen y su costo de construcción, concluyéndose que es preferible no extender el rompeolas existente, ya que su ampliación generaría una reducción únicamente temporal de la sedimentación en la dársena con una ligera reducción en la agitación, lo que no justificaría su costo. Además, el aumento de la retención de sedimentos al sur del rompeolas aumentaría la erosión de la playa al NE del puerto.

Para la ejecución de los dragados se considera la utilización de una draga de succión. Con la estimación actual de un ciclo de mantenimiento de aproximadamente 800.000 m³ cada cuatro años ejecutados al interior de la dársena, se espera tener interrupciones a la normal operación del terminal durante la ejecución de estos trabajos de mantenimiento, por lo que esto podría ser parcialmente subsanado con una trampa de arena.

Algunos de los beneficios de la ejecución de una trampa de arena corresponden a:

- Evitar el desembolso adicional de Capex debido a la extensión del rompeolas existente.
- Dependiendo de las propiedades geotécnicas del material del área al sur del rompeolas la idea sería ejecutar un proyecto inicial de dragado de 1.6 millones de m³. Este dragado permitiría un horizonte de 8 años de acumulación de sedimentos (con una tasa de 200,000 m³/año) requiriendo un mantenimiento de 1.6 millones de m³ cada 8 años versus 0.8 millones de m³ cada 4 años. Esta medida reduciría el costo total del programa de dragado, manteniendo el volumen de dragado promedio por año, pero incurriendo en la mitad de los gastos de movilización de la draga.
- La ejecución de la trampa de arena permitiría, teóricamente, la utilización de este material para la ejecución de los rellenos o para su utilización en la regeneración de las playas al norte del terminal.
- Esta metodología de operación (trampa de arena) permitiría reducir considerablemente el *downtime* debido a los trabajos en el terminal

Este método es frecuentemente utilizado con buenos resultados para el manejo de los sedimentos en las dársenas para mantener las condiciones de navegación requeridas para la operación de los sitios de atraque mientras se producen potenciales retornos del material en los puntos donde no está llegando.

Para reducir la agitación en un nuevo puesto de carga general contiguo al rompeolas y especialmente de la extensión del muelle de graneles, se recomienda evaluar la optimización de la configuración de amarras y/o el uso de dispositivos como *Shoretension* como alternativa a la extensión del rompeolas. También se recomienda evaluar, ante un escenario de necesidad de ampliar el terminal marítimo de graneles, un nuevo muelle perpendicular al actual puesto de atraque 4, quedando el nuevo puesto orientado a la dirección de incidencia del oleaje, reduciendo significativamente su tiempo de inactividad por oleaje. Para la evaluación de alternativas, se recomienda que los futuros potenciales concesionarios desarrollen un estudio de agitación, oleaje *infragravitacional*, respuesta dinámica de buque atracado, *downtime* y simulación dinámica de la operación de graneles que considere el *downtime* por oleaje y precipitación para evaluar diferentes opciones de longitud de rompeolas versus la optimización de la configuración de amarras, el uso de *Shoretension* o la orientación del nuevo muelle. Con este análisis será posible verificar el beneficio de las mejoras en los niveles de servicio (tiempos de espera y demurrage, rendimientos, etc) versus el costo de cada una de las soluciones. Este análisis se puede extender a todos los puestos de atraque, para tener una visión global de los niveles de servicio para las distintas alternativas.

Tanto para el análisis de agitación y *downtime*, el análisis de sedimentos y el diseño de las nuevas obras, es importante contar con estudios básicos confiables. Considerando las limitaciones de algunos de ellos o la larga data de su ejecución, se recomienda revisar en detalle y actualizar los estudios básicos como oleaje, vientos, corrientes, niveles del mar y transporte de sedimentos, considerando además el análisis de oleaje *infragravitacional* (olas largas), que podrían eventualmente ser una de las principales causas del *downtime* por oleaje en puerto Caldera (ver Es importante recordar que al tratarse de una concesión mediante el modelo de Concesión de Obra Pública con Servicio Público será el concesionario quien retenga el riesgo de diseño, construcción, financiamiento, operación y mantenimiento y el que durante el desarrollo del proyecto constructivo deberá realizar todos los estudios necesarios para justificar la operatividad de su propuesta final, y entre ellos, debiendo considerar que la información proporcionada por INCOP tiene carácter únicamente informativo.

Tabla 2.135).