



**PUERTOARICA**  
EMPRESA PORTUARIA ARICA

TERMINOS DE REFERENCIA

**“FACTIBILIDAD CONSTRUCCION MEDIDAS  
DE MITIGACIÓN RESONANCIA PORTUARIA, PUERTO ARICA”**

# ÍNDICE

1. PROBLEMÁTICA .....	3
1.1. Introducción .....	3
1.2. Diagnóstico .....	3
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	4
3. LOCALIZACION GEOGRÁFICA Y COBERTURA DEL ESTUDIO .....	5
4. ALCANCE DEL ESTUDIO .....	7
4.1. Actividad 1. Mediciones de movimiento de naves y ondas largas.....	7
4.2. Actividad 2. Estudio dinámico de nave atracada. ....	9
4.3. Actividad 3. Estudio de maniobrabilidad situación actual y con proyecto. ....	10
4.4. Actividad 4. Adecuación de la ingeniería conceptual de él o los espigones. ....	10
4.5. Actividad 5. Informe consolidado y presentaciones. ....	11
5. ENTREGABLES .....	11
5.1. Actividad 1. Mediciones de movimiento de naves y ondas largas.....	11
5.2. Actividad 2. Estudio dinámico de nave atracada. ....	11
5.3. Actividad 3. Estudio de maniobrabilidad situación actual y con proyecto. ....	11
5.4. Actividad 4. Adecuación de la ingeniería conceptual de él o los espigones. ....	11
5.5. Actividad 5. Informe consolidado y presentaciones. ....	12
6. IDENTIFICACIÓN DE MECANISMOS DE DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL ESTUDIO .....	12
7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## 1. PROBLEMÁTICA

### 1.1. Introducción

La Empresa Portuaria Arica, en adelante EPA, es una persona jurídica de derecho público, del tipo “Empresa Autónoma del Estado”, de propiedad estatal, creada por Ley N° 19.542, del 19/12/1997 que modernizó el Sector Portuario Estatal. Se relaciona con el Gobierno por intermedio del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y del Sistemas de Empresas Públicas (SEP).

Conforme la Ley, el objeto social de EPA es la administración, explotación, desarrollo y conservación del Puerto de Arica y sus terminales, así como de los bienes que posee a cualquier título, incluidas todas las actividades conexas inherentes al ámbito portuario indispensables para el debido cumplimiento de éste. Puede, en consecuencia, efectuar todo tipo de estudios, proyectos y ejecución de obras de construcción, ampliación, mejoramiento, conservación, reparación y dragado en los puertos y terminales. Asimismo, puede prestar servicios a terceros relacionados con su objeto.

Empresa Portuaria Arica es uno de los 10 puertos del estado de Chile, considerada estratégica tanto por su ubicación geográfica como por geopolítica, al ser bi fronteriza sirve al comercio exterior de Perú y Bolivia con Tratados Internacionales con ambos países de por medio.

Desde el punto de vista geopolítico, entre los antecedentes relevantes cabe señalar que el puerto de Arica es un puerto altamente competitivo, la presencia de Perú y Bolivia lo confirman y para el caso de Bolivia es un puerto natural para la salida e ingreso de gran parte de su comercio exterior.

Desde el año 2004 la operación del terminal se encuentra concesionado a TPA Terminal Puerto Arica SA. Al momento de la concesión el terminal movilizaba 1 millón de toneladas en transferencia de carga. Los últimos 6 años el puerto ha transferido sobre los 3 millones de toneladas, 80% del cual es tránsito boliviano. Este notable crecimiento, que ha generado una actividad económica importante para el desarrollo de la región, conlleva una serie de aspectos logísticos que se encuentra muchas veces condicionado a las condiciones de operación que puede ofrecer el terminal en cuanto al servicio a las naves.

El Puerto de Arica es uno de los principales terminales portuarios del Norte de Chile, sirviendo de tránsito de mercaderías desde y hacia Bolivia, entre otros puntos importantes de la Macro región Andina.

Del punto de vista geográfico, un aspecto relacionado con la competitividad y capacidad de atención del puerto tiene que ver con la disponibilidad del terminal dadas ciertas condiciones climáticas que obligan al cierre de uno o más sitios de atraque simultáneamente.

### 1.2. Diagnóstico

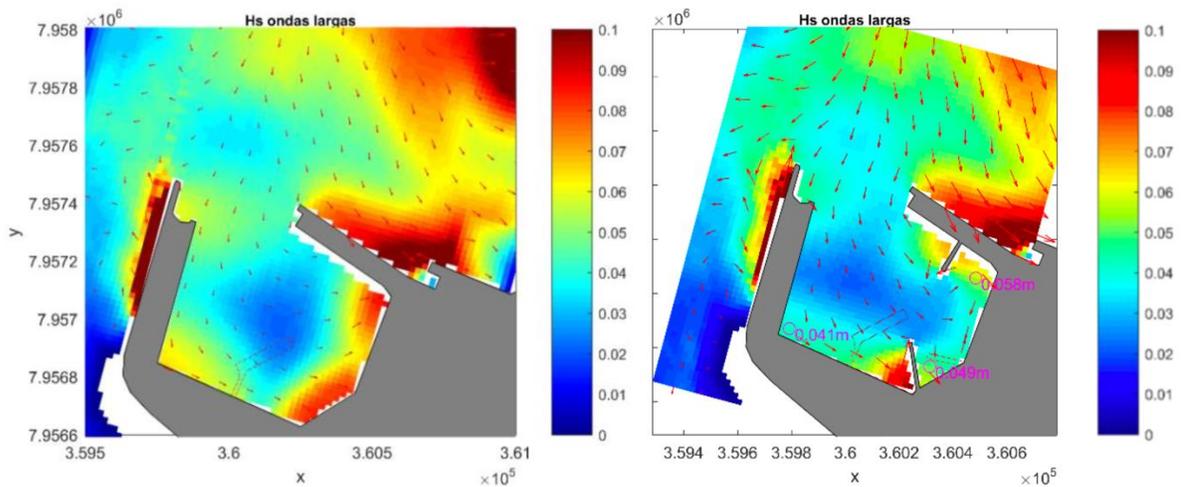
Sea por razones de cambio climático u otras las condiciones de marejadas, **los cierres de sitio son cada vez más frecuentes limitando las horas disponibles** para la operación lo que impacta logística y económicamente al sistema portuario.

Durante el año 2021, se llevó a cabo el **Estudio de Agitación e Ingeniería Conceptual de medidas de Mitigación** (FGMi-RHDHV, 2021) para analizar los efectos de la onda larga en la dársena del puerto de Arica y proponer medidas de mitigación.

El problema que enfrenta el puerto de Arica es que aun con condiciones de puerto óptimas para el ingreso de las naves desde punto de vista del practicaje de la nave, en innumerables ocasiones se da que las faenas de transferencia de carga en los sitios de atraque no es el adecuado. Las faenas no pueden realizarse por la presencia de fenómenos relacionados con el movimiento ondulatorio de ondas largas, conocido como *resonancia portuaria*, afectando la operatividad de manera distinta a cada uno de los 4 frentes de atraques del puerto de Arica.

En particular, en el estudio realizado (FGMi-RHDHV, 2021) se modeló la agitación dentro de la dársena del puerto, detectándose el efecto de resonancia como se presenta en la figura siguiente (izquierda) donde las zonas rojas indican una mayor altura del oleaje de la onda larga.

**Modelación fenómeno onda Larga (izq) y efecto de las medidas de mitigación: espigones Sur y Norte (der)**



El oleaje incidente se refleja en los muros interiores del puerto, su energía se acumula (resonancia), y se produce un efecto de oleaje giratorio en la poza. Este último, aunque de poca amplitud, pero largo período, produce movimientos de nave excesivos para la operación segura del puerto. En FGMi-RHDHV (2021) se evaluaron distintas alternativas de mitigación, siendo los espigones interiores (Figura arriba a la derecha) los más efectivos para mitigar la amplitud de la onda larga.

**2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Las características movimientos ondulatorios y corrientes que se generan al interior de la dársena (poza de abrigo) provocan movimientos excesivos de las naves atracadas, que pueden ocasionar pérdidas de vidas humanas, ineficiencias operacionales, cierres de puerto, o daños a la infraestructura producto del corte de espías o rotura de bitas.

Este fenómeno natural puede ser mitigado al cambiar la geometría de la dársena, como las propuestas en un estudio previo (FGMi-RHDHV, 2021). Para complementar este hallazgo y validar las soluciones propuestas es necesario realizar un estudio de movimiento de naves atracadas para poder cuantificar el efecto de las medidas de mitigación propuestas (espigones interiores) en el aumento de operatividad del puerto. A mayor redundancia, se busca correlacionar la reducción de altura de oleaje de la onda larga con la reducción del movimiento de naves atracadas y en consecuencia con el aumento de la operatividad del puerto.

**Objetivo General:**

- Cuantificar el aumento de la disponibilidad del puerto al reducir la amplitud de las ondas largas producto de la construcción de espigones interiores.
- Validar y actualizar el diseño de las obras de mitigación propuestas.

**Objetivos Específicos:**

- Realizar un estudio de movimiento de naves atracadas en modelo numérico para cuantificar la reducción del movimiento de naves atracadas, en los sitios 2B, 3 y 4-5 del puerto de Arica, producto de la implementación de espigones interiores.
- Realizar mediciones de movimientos de naves y oleaje para confirmar el diagnóstico del movimiento de naves y validar el estudio de movimiento de naves.
- Cuantificar el tiempo de inactividad del puerto debido a ondas largas, para así poder justificar la inversión de las alternativas de mitigación.
- Actualizar la ingeniería conceptual los espigones interiores según los puntos anteriores.
- Preparar los Términos de Referencia para la fase de ingeniería siguiente.

**3. LOCALIZACION GEOGRÁFICA Y COBERTURA DEL ESTUDIO**

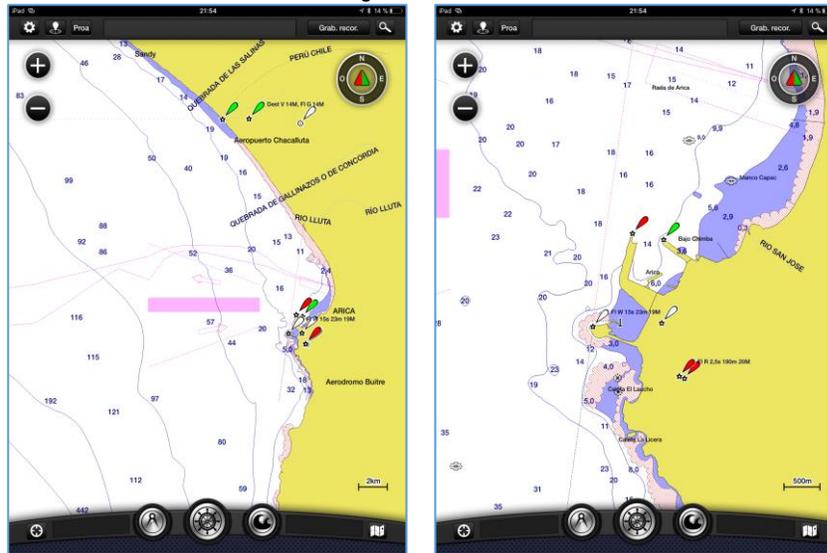
El Puerto de Arica ubicado geográficamente en la rada de Arica, se sitúa en el límite de una unidad fisiográfica. El Puerto se encuentra al pie de un elemento geográfico característico, el morro de Arica; un elemento rígido que sirve de límite entre la costa eminentemente rocosa del sur y la bahía con depósitos sedimentarios que se abre al norte. Ver Imagen 1.

**Imagen 1**



La batimetría de la costa frente al Puerto y la bahía muestra un incremento paulatino y suave de la profundidad. (Figura 1).

Figura 1



El Puerto de Arica cuenta con obras de abrigo, un rompeolas que lo protege del oleaje predominante del SW y un segundo contraemolado situado al norte. Cuenta además con muelles que albergan siete (7) sitios de atraque, 4 de ellos habilitados actualmente para uso comercial.

**Puerto Arica- Sitios de Atraque**

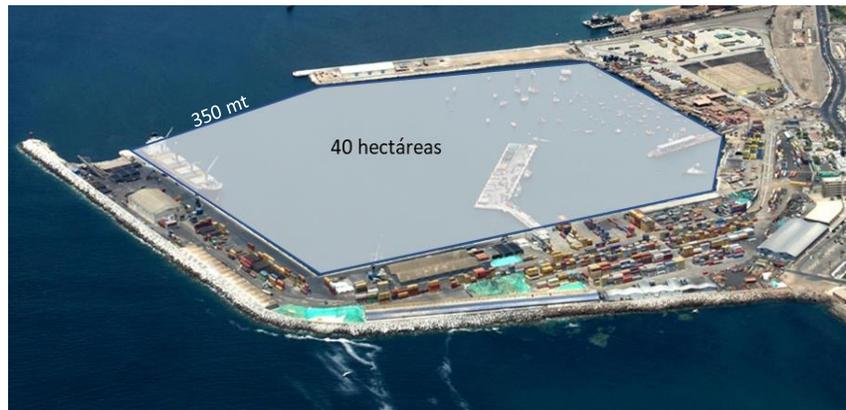


**Características principales de los sitios de atraque comerciales**

	SITIO 2B	SITIO 3	SITIOS 4 Y 5
Longitud (m)	220	270	500
Calado max (m)	12.5	6.7 – 9.7	10
Eslora max (m)	240	190	295

Las principales áreas en el terminal que lo componen son:

- Frente de Atraque N°1. Con sitios 4 y 5.
- Muelle de penetración y sitios 2A y 2B.
- Sitio al Servicios del Perú.
- Área sector Norte.
- Poza de Abrigo – Dársena (40 hectáreas)



#### 4. ALCANCE DEL ESTUDIO

La metodología del estudio, a proponer por el Consultor, deberá abordar el siguiente alcance:

##### 4.1. Actividad 1. Mediciones de movimiento de naves y ondas largas.

Con el objeto de complementar el diagnóstico de ingeniería portuaria de movimiento de naves, y validar el estudio en modelo numérico de nave atracada (Actividad 2), se requiere medir movimientos de naves y oleaje en forma simultánea.

##### Campaña de mediciones punto ZEP

Se requiere medir oleaje direccional en el punto ZEP (Zona Embarque Práctico) donde también EPA cuenta con un servicio de pronóstico de oleaje a 16 días. El objeto de estas mediciones es permitir correlacionar estas mediciones de oleaje fuera del puerto con mediciones de oleaje dentro de dársena y mediciones de naves atracadas sujeto a lo siguiente:

- Debido a la presencia y efecto de las ondas largas dentro de la dársena del puerto de Arica, se requiere medir oleaje de viento y mar de fondo, y además ondas largas, para así poder descartar o incluir el arribo de ondas largas dentro del análisis de movimiento de naves.
- Esta campaña debe durar 30 días, no requiere de aprobación SHOA, pero sí debe contar con todas las medidas necesarias para asegurar la calidad de las mediciones (certificados calibración de equipos, redundancia en posicionamiento y orientación del equipo, etc.).

- El punto de fondeo corresponde al punto ZEP que se ubica aprox. en el veril -24 m NRS y tiene coordenadas aproximadas E: 357804 N: 7957692. La ubicación final será acordada con EPA.
- El instrumento que utilizar puede ser un ADCP sobre el fondo marino (recomendable por tráfico marítimo), o uno flotante (boya). Debe registrar oleaje direccional a 2 Hz idealmente con bursts cercanos a 60 minutos y cada 3h o menos. La recomendación final provendrá del consultor sujeto a las restricciones de los equipos considerados y se incluirá en su metodología.

#### Registro movimiento de naves

Se debe considerar campañas de medición y análisis de movimiento de naves incluyendo una muestra de nueve naves atracadas, idealmente 3 naves por cada sitio: 2B, 3 y 4-5 sujeto a lo siguiente.

- La programación de las mediciones será propuesta por el Consultor y será de su responsabilidad cumplir con el objetivo planteado.
- EPA pondrá a disposición del consultor la programación de arribos y zarpes de naves, y el pronóstico de oleaje en el punto de espera de prácticos.
- La duración de las mediciones será propuesta por el Consultor, sobre la base de su experiencia y objetivos del estudio.
- Los equipos de medición a utilizar serán propuestos por el Consultor, pudiendo ser GPS, estaciones totales, LiDar u otro.
- Se deberá hacer un análisis espectral de las series de tiempo registradas, para ser utilizados para validar el estudio de modelación numérica de naves atracadas (Actividad 2).
- El Consultor estará sujeto a todas las medidas de seguridad y prevención de riesgos vigentes dentro del puerto.

#### Mediciones de ondas largas (y oleaje)

Simultáneamente a estas mediciones de movimiento de naves, se requiere medir el oleaje al interior de la dársena sujeto a lo siguiente:

- Utilización de dos “Equipos de Medición de Oleajes” provistos por el Consultor del tipo sensor de presión, ADCPs u otro método alternativo pero confiable, para registrar alturas y periodos de oleaje dentro de la dársena con precisión tal que sea capaz de registrar ondas largas (períodos entre 40s-200s y alturas de ola de pocos centímetros) con frecuencia de muestreo de 1Hz como mínimo.
- Por el alcance de la investigación, no es requisito cumplir con la publicación SHOA 3201 “Especificaciones Técnicas y Administrativas para Mediciones y Análisis Oceanográficos”.
- Medición simultánea y por al menos de la misma duración a las mediciones de movimiento de naves.

- El consultor propondrá la ubicación de los “Equipos de Medición de Oleajes”, con el objeto de vincular sus registros con los movimientos de naves registrados.
- El Consultor estará sujeto a todas las medidas de seguridad y prevención de riesgos vigentes dentro del puerto.

Ambos registros serán analizados para entregar espectros de movimientos de naves y de oleaje, correlaciones entre estos registros, y aportar con evidencia empírica al diagnóstico de la presencia de ondas largas y su efecto en el movimiento de naves.

Esta información además debe ser suficiente para la validación del estudio en modelo numérico de la Actividad 2.

#### **4.2. Actividad 2. Estudio dinámico de nave atracada.**

Para efectos de calcular el tiempo de inactividad del puerto (*downtime* por oleaje) es necesaria la simulación dinámica de nave atracada para traducir el efecto de los espigones (disminuir la altura de la onda larga) a reducción del movimiento de naves (reducción del tiempo de inactividad) considerando lo siguiente:

- Revisión y análisis de antecedentes.
- Inclusión de posibles cambios en la disposición general de los espigones producto del análisis de maniobrabilidad (Actividad 3).
- Modelado de agitación con y sin proyecto, para así poder determinar la efectividad de las medidas de mitigación.
- Modelar una nave típica, a proponer por el Consultor, para cada sitio: 2B, 3 y 4-5.
- Análisis de sensibilidad de la extensión de los espigones y condiciones de oleaje fuera del puerto.

EPA pondrá a disposición del Consultor la siguiente información:

- Pronósticos de oleaje en zona de espera de prácticos.
- Mediciones de correntómetros al interior de la dársena (sitios 2B y 4-5).
- Medición de oleaje en Punto práctico.

Para el estudio de gabinete será necesario modelar la agitación dentro de la dársena con un modelo numérico del tipo Boussinesq acoplado con un modelo numérico de nave atracada en el dominio del tiempo, permitiendo la transferencia de resultados de oleaje con un análisis de nave amarrada.

El modelo numérico debe incluir todos los fenómenos relevantes que influyen en el comportamiento del barco amarrado, tales como:

- La influencia de la difracción y las reflexiones del puerto sobre la dirección de las olas.
- La influencia del oleaje (en especial las ondas largas).

El análisis de amarre dinámico permitirá la determinación condiciones críticas para operaciones seguras. El modelo numérico por proponer por el Consultor deberá ser capaz de simular, en el dominio del tiempo y en seis grados de libertad, el comportamiento dinámico del barco amarrado.

Como resultado se espera que se incluya:

- Series temporales de los movimientos del barco.
- Fuerzas en las líneas de amarra y fuerzas y cargas de compresión en las defensas.
- Determinar condiciones críticas para operaciones seguras.
- Considerar el efecto de las unidades ShoreTension® actualmente en operación, y determinar el efecto de dichos sistemas.

Para evaluar el tiempo de inactividad es necesario relacionar las fuerzas resultantes de las líneas y los movimientos del barco del análisis de amarre dinámico con los lineamientos PIANC para operaciones seguras en un puerto. Al combinar esto con los datos históricos se puede hacer una estimación del tiempo de inactividad en un sitio de atraque.

Los resultados esperados del estudio corresponden a evaluar la disponibilidad de sitios de atraque por agitación con y sin proyecto, y confirmación de la configuración de los espigones respecto de ubicación, extensión y disposición en planta según las restricciones del estudio de maniobras (Actividad 3).

#### **4.3. Actividad 3. Estudio de maniobrabilidad situación actual y con proyecto.**

Las medidas de mitigación en evaluación incluyen dos espigones al interior de la dársena del puerto. Con esto, en mayor o menor medida se afecta la navegación de remolcadores hacia el sitio 2A, de la patrullera de la Armada hacia el muelle de la Capitanía de Puerto, y de embarcaciones pesqueras hacia un muelle existente (Corpesca).

Por lo anterior es necesario levantar las características de las naves de diseño (de menos de 40 m de eslora) y realizar un análisis de los requerimientos de maniobrabilidad de este tipo de embarcaciones sobre la base de publicaciones especializadas, recomendaciones internacionales, y entrevistas con partes interesadas para detectar posibles interferencias en su normal operación, y de ser el caso proponer modificaciones a la disposición general de los espigones interiores propuestos previo al modelado “con proyecto” en la Actividad 2.

#### **4.4. Actividad 4. Adecuación de la ingeniería conceptual de él o los espigones.**

En esta etapa de ingeniería se realizarán los ajustes necesarios a la ingeniería conceptual previa para así cumplir con los requisitos de funcionamiento de los espigones respecto de mitigación de ondas largas y de maniobrabilidad de embarcaciones hacia el interior de la dársena del puerto.

No se contempla realizar mediciones ni prospecciones en terreno, lo que define el alcance de la ingeniería, pero sí acompañar a EPA en la relación con partes interesadas a través de reuniones virtuales o presenciales.

#### **4.5. Actividad 5. Informe consolidado y presentaciones.**

Elaboración de un informe consolidado con todas las actividades del estudio y presentaciones a EPA y partes interesadas.

### **5. ENTREGABLES**

Se consideran los siguientes entregables, los que están asociados a los hitos del cronograma.

#### **5.1. Actividad 1. Mediciones de movimiento de naves y ondas largas.**

Informe detallado con las actividades realizadas y conclusiones o recomendaciones, incluyendo:

- Mediciones punto ZEP:
  - Datos crudos (ASCII) de espectros direccionales
  - Series de tiempo de parámetros resumen separados por oleaje de viento, mar de fondo, y ondas largas.
- Movimiento de naves (por medición):
  - Registros de series de tiempo de movimientos
  - Espectros de movimiento de naves.
- Medición de oleaje dentro de la dársena:
  - Registros de series de tiempo y espectros de oleaje (H v/s f).

#### **5.2. Actividad 2. Estudio dinámico de nave atracada.**

Informe detallado con todas las actividades realizadas y recomendaciones del Consultor.

#### **5.3. Actividad 3. Estudio de maniobrabilidad situación actual y con proyecto.**

Informe con estudio de maniobrabilidad para la situación actual existente y con proyecto, incluyendo recomendaciones.

#### **5.4. Actividad 4. Adecuación de la ingeniería conceptual de él o los espigones.**

Documentos y planos a nivel de ingeniería conceptual, incluyendo modificaciones producto del estudio de maniobras y de posibles usos secundarios de las obras a definir y consensuar con EPA durante el transcurso del estudio. Se esperan a lo menos los siguientes entregables:

- Informe final consolidado.
- Planos, especificaciones técnicas, presupuesto, y programa de construcción.
- Términos de referencia para investigaciones de terreno y etapa de diseño detallado.

**5.5. Actividad 5. Informe consolidado y presentaciones.**

Elaboración de un informe final detallado con todas las actividades del estudio, conclusiones y recomendaciones. Se deben considerar presentaciones ante EPA y con terceros.

**6. IDENTIFICACIÓN DE MECANISMOS DE DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL ESTUDIO**

El proyecto e Informe Final deberá exponerse en una presentación realizada por los profesionales de la Consultora a la administración de la Empresa Portuaria Arica y ante las instancias especializadas que la Empresa determine (Autoridad Portuaria, organismos públicos MTT, DOP, MDS, etc.) Esta presentación será mediante una plataforma digital o presencial según sean las condiciones que estén disponibles al finalizar el proyecto.

Todos los entregables deberán ser entregados en copia dura con su correspondiente respaldo digital en un pendrive.



**JAVIER RIVERA V.  
ANALISTA DE PROYECTOS  
EMPRESA PORTUARIA ARICA**



**ANDRÉS GÓMEZ ERRÁZURIZ  
GERENTE CONCESIONES Y DESARROLLO  
EMPRESA PORTUARIA ARICA**