



**FACULTAD DE INGENIERIA**

**TRABAJO FINAL DEL PROYECTO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER  
EN ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN PORTUARIA**

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE  
EXPANSIÓN DEL  
TERMINAL MUELLE MECANIZADO CENTINELA**

**REINHARDT GUNTHER WAGNER MONTT**

**NOVIEMBRE 2018**

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE EXPANSIÓN DEL  
TERMINAL MUELLE MECANIZADO CENTINELA

Reinhardt Gunther Wagner Montt

COMISION REVISORA	NOTA	FIRMA
NOMBRE REVISOR 1 <b>Francisco Maggiolo A.</b>	_____	_____
NOMBRE REVISOR 2 _____	_____	_____
NOMBRE REVISOR 3 _____	_____	_____

## DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este trabajo final de graduación es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Grado de Magíster en Administración y Gestión Portuaria, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

---

Reinhardt G. Wagner Montt

*Mis agradecimientos a ..... .la Vida, que me ha dado tanto,  
Me dio 2 luceros, para verte siempre, Esposa y compañera Ideal.  
Gracias Miau por tu amor, desvelos, ayuda y apoyo constante  
Por eso Vida, no me debes nada ..... estamos en paz.*

## **INDICE**

<b><u>RESUMEN EJECUTIVO:</u></b> .....	<b>1</b>
<b><u>I. INTRODUCCIÓN:</u></b> .....	<b>2</b>
ANTECEDENTES GENERALES.....	2
TERMINAL MUELLE MECANIZADO CENTINELA: .....	2
<b><u>II. OBJETIVO Y METODOLOGÍA:</u></b> .....	<b>3</b>
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b><u>III. CONTEXTO ESTRATÉGICO: ACTUAL Y FUTURO</u></b> .....	<b>5</b>
<b><u>IV. TERMINAL MUELLE MECANIZADO CENTINELA:</u></b> .....	<b>7</b>
CLIMA DE OLEAJE EN EL PUERTO:.....	8
DISPONIBILIDAD DEL MUELLE:.....	10
EFICIENCIA CARGUÍO:.....	11
PROYECTO EXPANSIÓN MINERA CENTINELA:.....	11
<b><u>V. EXPANSIÓN DEL TERMINAL MUELLE MECANIZADO</u></b> <b><u>CENTINELA:</u></b> .....	<b>13</b>
BARCO ATRACADO Y DOWNTIME.....	13
CONTENEDORES VOLTEABLES O ROTAINERS .....	16
LEVANTAMIENTO DE LA GALERÍA ACTUAL DEL SISTEMA DE EMBARQUE .....	19
AUMENTAR RENDIMIENTO CARGUÍO.....	22
AMPLIACIÓN DE LA BODEGA DE ALMACENAMIENTO DE CONCENTRADO DE COBRE .....	23
DIAGRAMA DE ALTERNATIVAS DE MEJORAS .....	24
<b><u>VI. GESTIÓN DEL PROYECTO DE EXPANSIÓN Y DEL</u></b> <b><u>TERMINAL AMPLIADO:</u></b> .....	<b>28</b>
GESTIÓN DEL PROYECTO DE EXPANSIÓN.....	28
GESTIÓN DEL PROYECTO DEL TERMINAL AMPLIADO Y DESAFÍOS LOGÍSTICOS.....	30
<b><u>VII.EVALUACIÓN ECONÓMICA:</u></b> .....	<b>31</b>
ANÁLISIS DE ESCENARIOS Y PROPUESTA:.....	31

CONSIDERACIONES:.....	32
<b>VIII. ANÁLISIS DE RIESGO: .....</b>	<b>34</b>
<b>IX. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN:.....</b>	<b>36</b>
<b>X. CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>GLOSARIO / DEFINICIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>43</b>

## **ÍNDICE DE IMÁGENES**

<b>FIGURA N° 01:</b> Los 3 pilares de la estrategia de Antofagasta Minerals S.A. .	5
<b>FIGURA N° 02:</b> Ubicación del Terminal Muelle Mecanizado Centinela .....	7
<b>FIGURA N° 03:</b> Ubicación del nodo para salidas del modelo STWAVE .....	9
<b>FIGURA N° 04:</b> Curva de probabilidad de no excedencia de altura Hm0 en N1 .....	10
<b>FIGURA N° 05:</b> Disponibilidad del puerto debido a eventos de marea.....	10
<b>FIGURA N° 06:</b> Eficiencia de carguío años 2013 a 2016. ....	11
<b>FIGURA N° 07:</b> Esquema de paneles utilizados.....	14
<b>FIGURA N° 08:</b> Esquema de disposición de amarra en corrida de proa .....	15
<b>FIGURA N° 09:</b> Esquema de disposición de amarra en corrida de popa .....	15
<b>FIGURA N° 10:</b> Neblina seca que inhibe la salida de concentrado durante la carga.....	17
<b>FIGURA N° 11:</b> Contenedor volteable y reach stacker que retira su tapa y lo voltea. ....	18
<b>FIGURA N° 12:</b> Esquema de operación de los contenedores volteables .....	18
<b>FIGURA N° 13:</b> Galería una vez reposicionada la correa transportadora.....	20
<b>FIGURA N° 14:</b> Sección transversal de la galería, durante el proceso de levante. ....	21
<b>FIGURA N° 15:</b> Plano de nuevo muelle para 1.800 Ton/h.....	23
<b>FIGURA N° 16:</b> Ampliación bodega de almacenamiento.....	24
<b>FIGURA N° 17:</b> Escenarios Seleccionados Considerando Plan Minero 2021 – 2049.....	25
<b>FIGURA N° 18:</b> Escenarios Seleccionados Incluyendo su Evaluación Económica.....	31
<b>FIGURA N° 19:</b> Programa Maestro Obras Terminal Muelle Centinela Fase I. ....	37

## RESUMEN EJECUTIVO:

Minera Centinela, parte del grupo minero Antofagasta Minerals S.A., (empresa privada de cobre más importante en Chile), se ubica dentro de los diez grupos mineros más grandes del mundo. Esta se encuentra en etapa de factibilidad del proyecto de expansión de su producción de concentrados de cobre, que cuenta con 2 fases: una primera para llevar las actuales 750.000t de producción a 1.300.000t el año 2021 y terminar en la segunda fase produciendo 1.700.000t el año 2027.

Actualmente existen brechas en el Terminal Muelle Centinela, tanto en su disponibilidad como en la eficiencia de carga de los barcos, que si bien no pasan desapercibidas, con el volumen actual de producción aún permiten embarcar todos los compromisos comerciales dentro de cada mes, situación que se ve comprometida bajo las dos nuevas fases de expansión que se aproximan, por lo cual el objetivo del proyecto es analizar y evaluar alternativas de expansión al terminal que hagan factibles los embarques de ambas fases.

Se analizó el desempeño actual del puerto de acuerdo con la producción actual, determinando las holguras que existían, y se evaluó operacionalmente si es factible que el puerto, en su estado actual, se haga cargo de una o de las dos fases de expansión de producción de concentrados de cobre. Posteriormente se presentaron distintas opciones y tecnologías portuarias que se pudiesen aplicar al terminal, además de contemplar otras alternativas de embarque disponibles; como los “Rotainers”.

Las opciones de mejoras y su combinación dieron como resultado una matriz de combinaciones que fueron evaluadas económicamente, lo que derivó en dos propuestas concretas que se pueden realizar en el terminal, en donde ambas se hacen cargo de la totalidad de los embarques en ambas fases.

**Los resultados económicos revelaron que con inversiones cercanas a los setenta y ochenta millones de dólares y costos de operación anuales cercanos a los veintitrés millones de dólares, se puede cumplir con la primera fase, para luego agregar una segunda inversión cercana a los cinco millones y costos de operación anuales en torno a treinta y cinco millones de dólares para poder viabilizar la Fase II, en donde el gran costo de operación sería el uso de Rotainers a embarcar por otro puerto.**

Finalmente, resaltamos la importancia de este puerto para Minera Centinela, ya que clave para sus exportaciones, y debido a esto su continuidad operacional es vital para los intereses de la compañía. El plan de implementación del proyecto (secuencial) y su futura operación, así como los riesgos que plantean cada una de las alternativas de mejora y cómo manejarlos, son gravitantes para que el proyecto sea exitoso. Sobre todo, considerando como idea alternativa, utilizar un segundo puerto de embarque, con los desafíos y mayores costos logísticos que esto ocasiona.

## **I. INTRODUCCIÓN:**

### **ANTECEDENTES GENERALES**

Minera Centinela es una empresa que forma parte del Grupo Antofagasta Minerals S.A. Nace en el año 2014 fruto de la integración de las operaciones de Minera El Tesoro y Minera Centinela. Antofagasta Minerals es propietaria del 70%, mientras que el restante 30% es de propiedad de la empresa japonesa Marubeni Corporation.

Minera Centinela produce cátodos de cobre y concentrados de cobre, provenientes de ex Minera El Tesoro y ex Minera Centinela, respectivamente. Los cátodos poseen marca registrada, El Tesoro, en la Bolsa de Metales de Londres. Se producen anualmente del orden de 50.000 toneladas de cátodos y 800.000 toneladas húmedas (THM) de concentrados de cobre, equivalentes a 200.000 toneladas de cobre fino.

### **TERMINAL MUELLE MECANIZADO CENTINELA:**

El puerto de embarque de los concentrados de cobre producidos por Minera Centinela es el Terminal Muelle Centinela. Terminal privado de propiedad de la compañía y dedicado exclusivamente a los embarques de concentrados de cobre producidos por Minera Centinela.

El puerto cuenta con una planta de filtrado, donde se recibe y seca el concentrado producido en faena y que viaja por medio de un concentrado, para luego ser acopiado en una bodega con capacidad nominal para 60.000 TMH, y luego un muelle de atraque que por medio de correas y un brazo/pluma fijo carga el concentrado en las bodegas de los barcos a fin de exportarlo a los distintos clientes y destinos.

El puerto es la única salida que tienen los concentrados de Minera Centinela a sus destinos finales, por ende, su operación y continuidad operacional son claves para el éxito de la compañía.

## **II. OBJETIVO Y METODOLOGÍA**

### **OBJETIVO GENERAL**

El propósito de este proyecto es analizar y evaluar alternativas de expansión del Terminal Muelle Centinela de modo de generar opciones de mejoras y alternativas de embarque que consideren las dos fases de expansión de producción de concentrados de cobre que se proyectan para Minera Centinela al año 2027.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Efectuar un levantamiento de la situación actual del Terminal Muelle Centinela.
- Generar opciones de mejoras y de expansión del Terminal frente al aumento de producción de concentrados de cobre y por ende el aumento de inventario y embarques en el puerto con destino a mercados externos.
- Elaborar un catastro histórico del comportamiento de las mareas en el puerto a fin de evaluar una mejor disponibilidad del muelle.
- Evaluar y proponer nuevas maniobras de amarre de embarcaciones que mejoren las condiciones de embarque en función de altura de ola máxima permitida, para atraque y permanencia en puerto.
- Explorar otras alternativas de embarque y transporte de los concentrados.
- Realizar evaluación económica de las distintas alternativas, mejoras y expansión propuestas para el terminal, considerando diversos escenarios operacionales que permitan el transporte y/o exportación de la totalidad de los concentrados de Minera Centinela de la Fase I y delinear el camino a seguir para la Fase II.

### **METODOLOGÍA:**

Se analizará el desempeño actual del puerto de acuerdo con la producción actual de Minera Centinela, determinando las holguras que pudieran existir y se evaluará operacionalmente si es factible que el puerto en su estado se haga cargo de una o de las dos fases de expansión de producción de concentrados de cobre.

Se explorará una posible implementación de mejoras al vector de embarques atendidos por el terminal y cómo éstas afectan la disponibilidad del puerto, en cuanto a su rendimiento y funcionamiento.

Adicionalmente, se analizarán las distintas opciones y tecnologías portuarias que se pudiesen aplicar al terminal, además de contemplar otras alternativas

de embarque disponibles. Entre las opciones pueden considerarse embarcar por otros puertos, o bien estudiar si es necesario construir un nuevo puerto o embarcar parte de la carga por otro puerto o por otro medio de transporte. Esto se llevará a cabo mediante una simulación computacional con software especializado para análisis portuario.

**Lo anterior se evaluará utilizando el Valor Actualizado de Costos (VAC), para comparar las alternativas desde un punto de vista económico.**

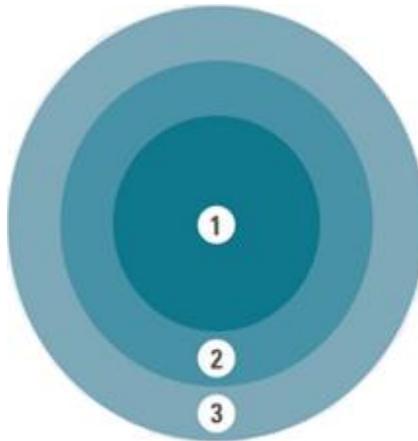
**Adicional a la evaluación económica, se cotejará la operatividad y el tiempo de puesta en marcha de cada alternativa, para conocer cómo afectan la actividad del puerto durante el periodo de mejoras; siempre considerando que, desde un punto de vista de riesgo, es necesario que el puerto, además, disponga de un plan alternativo en el caso de algún evento mayor (terremoto, tsunami, etc.) que deje inhabilitado el terminal.**

Actualmente, el terminal no posee un plan alternativo que sea capaz de enfrentar contingencias singulares.

También se analizará la posibilidad de realizar ventas en el mercado local. Esto abriría nuevas oportunidades de mercado y otorgaría una mayor holgura a la utilización del muelle.

### III. CONTEXTO ESTRATÉGICO: ACTUAL Y FUTURO

La estrategia del grupo minero Antofagasta Minerals S.A. se sustenta en tres pilares que se han mantenido sin cambios durante los último 8 años:



**FIGURA N° 01: Los 3 pilares de la estrategia de Antofagasta Minerals S.A.**

1. EL NEGOCIO PRINCIPAL ACTUAL:

- Incorporar el Modelo de Seguridad y Salud en todas las operaciones con el objetivo de erradicar los accidentes fatales.
- Implementar el Programa de Competitividad y Costos (PCC) para mejorar el desempeño y la posición competitiva del Grupo.
- Integrar a Minera Zaldívar, centrándonos en aprovechar potenciales sinergias
- Enfoque proactivo e inclusivo con las comunidades y otros grupos de interés para fortalecer el desarrollo sustentable.

2. CRECIMIENTO ORGÁNICO Y SUSTENTABLE DEL NEGOCIO PRINCIPAL:

- Avanzar en los proyectos actualmente en construcción: Óxidos Encuentro y la Planta de Molibdeno en Centinela.
- Completar los estudios de factibilidad y obtener los permisos ambientales para las dos principales iniciativas de crecimiento del Grupo: la primera fase de la Expansión Incremental de Minera Los Pelambres y el Desarrollo de Minera Centinela (segunda planta concentradora).

### 3. CRECIMIENTO MÁS ALLÁ DEL NEGOCIO PRINCIPAL:

- Trabajar para desarrollar la cartera de proyectos de crecimiento de largo plazo más allá de nuestras actuales operaciones.
- Monitorear las condiciones del mercado para evaluar potenciales compras u operaciones conjuntas que aumenten el valor.

Considerando los pilares estratégicos del grupo minero, la baja en las leyes y la producción proyectada para los próximos años, es que dentro del segundo pilar estratégico que se hace cargo del crecimiento orgánico y sustentable del negocio principal, se considera el proyecto Desarrollo de Minera Centinela (DMC).

El proyecto DMC se define como un proyecto de desarrollo distrital que incorporará la construcción de una nueva planta concentradora para una capacidad de procesamiento adicional de 150 kt/d con crecimientos en dos fases, a saber:

- Fase I, para crecimiento a 88 kt/d, que incluye 1 molino SAG de 26 Mw y dos molinos de bolas de 18,6 Mw cuya puesta en marcha está definida a mediados del 2019.
- Fase II, que incorpora un segundo SAG y otro molino de bolas de las mismas características que la fase anterior cuya puesta en marcha está definida a inicios del 2024.

El proyecto quedará configurado finalmente con una nueva planta de molienda de 2 SAG de 26 Mw y 3 molinos de bolas de 18,6 Mw, con uso de agua de mar para procesos y tecnología de depósito de relaves espesados.

El año 2015 se dio fin al estudio de prefactibilidad del proyecto y se inició su análisis de factibilidad, además se presentó el EIA para su aprobación. Actualmente se encuentra en proceso el estudio de factibilidad del proyecto para su conclusión en 2018. Se espera la aprobación de su Estudio de Impacto Ambiental para comienzo de 2019.

Dentro del estudio de factibilidad se deben considerar mejoras al puerto para poder embarcar la producción adicional que se consideran en las 2 fases que se proyectan.

El puerto es de suma relevancia para Minera Centinela, considerando que la totalidad de la producción de concentrados de cobre se exporta. Cualquier problema o posibilidad de que el puerto no sea capaz de hacerse cargo de las exportaciones generaría que la compañía no tenga ingresos por ventas.

Este último punto es clave dada la importancia en la continuidad operacional del puerto en la vida de la compañía, siendo vital como punto final en el proceso productivo y el comienzo para los ingresos por las ventas.

#### **IV. TERMINAL MUELLE MECANIZADO CENTINELA:**

Se ubica aproximadamente a 1.5km al Sur de la localidad de Michilla y a 42Km al Norte de la ciudad de Mejillones en la comuna del mismo nombre, en la región de Antofagasta, Chile, según se indica en la Figura 02.



**FIGURA N° 02: Ubicación del Terminal Muelle Centinela**

El puerto presenta las siguientes restricciones para recibir sólo barcos graneleros:

- Calado: 12,5 m
- Eslora: 150 a 220 m
- Manga: 22 a 32 m
- Desplazamiento: 60.000 toneladas métricas (TM)

Además, el puerto cuenta con límites operacionales establecidos por la Autoridad Marítima (AAMM):

- Atraque:  $H_{\text{máx}} \leq 1.5\text{m}$
- Faena de Carga:  $H_{\text{máx}} \leq 1.75\text{m}$
- Permanencia:  $H_{\text{máx}} \leq 2.0\text{m}$
- Corrida:  $H_{\text{máx}} \leq 1.5\text{m}$

Límites de ejecución de las maniobras de atraque y desatraque sólo se ven afectadas por visibilidad y no se permiten maniobras de atraque o desatraque durante la noche.

Por último, para el atraque es necesario de 2 remolcadores y para el desatraque y las corridas es sólo necesario uno.

El rendimiento de carga nominal es de 7.500 TMH/día, pero el rendimiento real depende del número de bodegas en las que se realice la carga y la secuencia de embarque que se determine, lo que puede variar según: el número de clientes, el destino de la carga y las características del barco.

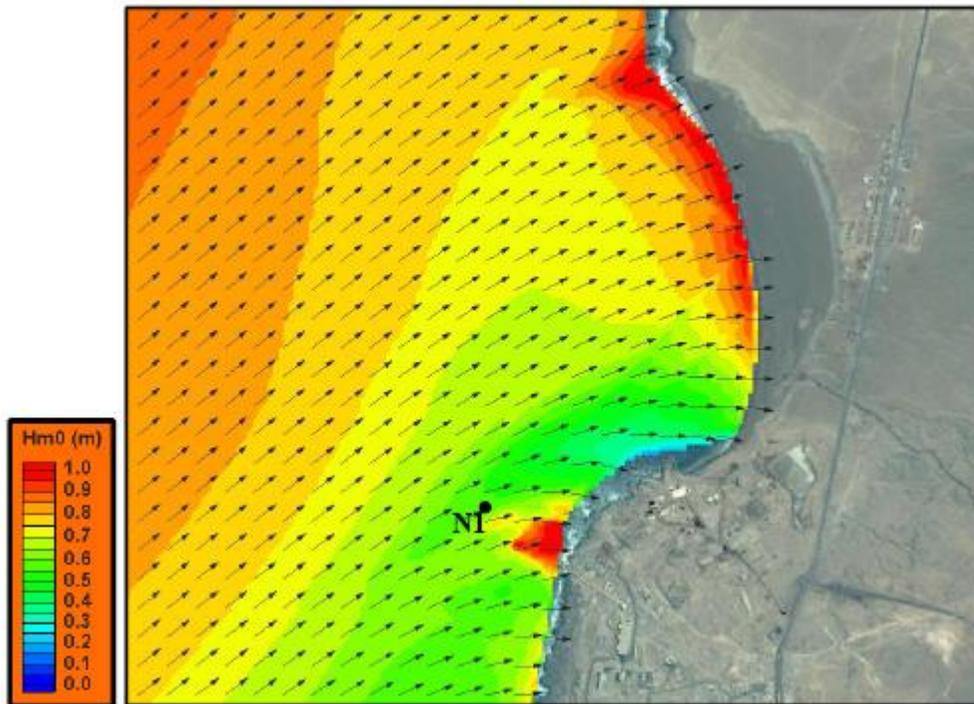
Al embarcar en una sola bodega, sin tener que mover el barco para cambiar de bodega (sin hacer una corrida), el rendimiento puede aumentar a 10.000 TMH/día. Pero al embarcar en dos o más bodegas, el ritmo de embarque baja debido a que se debe hacer una corrida para cambiar la bodega de embarque, lo que empeora la eficiencia del carguío, además que estas corridas se deben hacer con el Práctico a bordo: el Práctico es un marino que conduce los barcos en aguas peligrosas o de intenso tráfico, como puertos, canales angostos o ríos. No obstante, es sólo un asesor, en tanto legalmente el capitán continúa al mando del barco. El uso de un Práctico es obligatorio en el terminal para maniobras de atraque, carga y desatraque. Lo anterior disminuye el rendimiento de embarque debido al tiempo perdido en las faenas necesarias para hacer las corridas entre bodegas.

Adicionalmente y por su ubicación geográfica, el puerto se encuentra muy expuesto a las condiciones del mar, siendo víctima de constantes marejadas que disminuyen su utilización. Esto genera grandes problemas, puesto que, si un barco no puede atracar por marejadas, se generan pérdidas en la disponibilidad del muelle, además de ineficiencias y costos al muelle y las navieras, al tener que mantener el barco esperando a que mejoren las condiciones de marea en la bahía mientras se sigue acumulando material en tierra que no se puede facturar hasta que no se embarque y zarpe el barco, sumándose al atraso que generará a los clientes el no embarcar a tiempo y la imposibilidad de recibir ingresos por ventas lo que podría provocar problemas de caja en la compañía, con el riesgo que eso implica en una industria extensiva en uso de capital.

#### CLIMA DE OLEAJE EN EL PUERTO:

El estudio detallado del clima de olas fue realizado por la empresa Baird para AMSA. De este estudio se obtuvo el clima de oleaje en el nodo N1, representativo del clima de oleaje en aguas someras en el terminal y coincidente con la ubicación del centro de masa del barco.

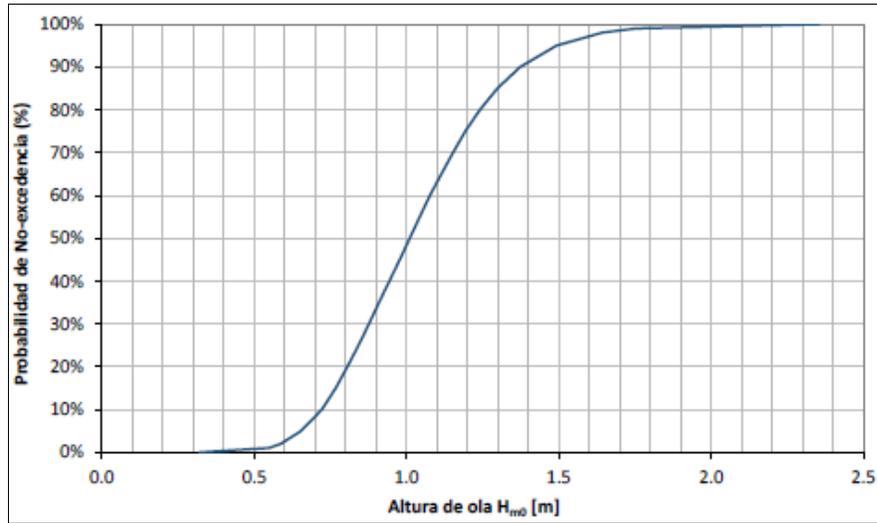
En la Figura 3 se muestra la ubicación del nodo N1 del cual se obtuvieron las salidas del modelo STWAVE



**FIGURA N° 03: Ubicación del nodo para salidas del modelo STWAVE**

Además, del mismo estudio, se obtuvo la Figura 4, que presenta la curva de no excedencia para la altura de oleaje  $H_{m0}$  calibrada. Se observa que el 90% del tiempo la altura de oleaje es menor a  $H_{m0} = 1,4\text{m}$  y el 99% del tiempo menor a  $H_{m0} = 1.8\text{m}$ .

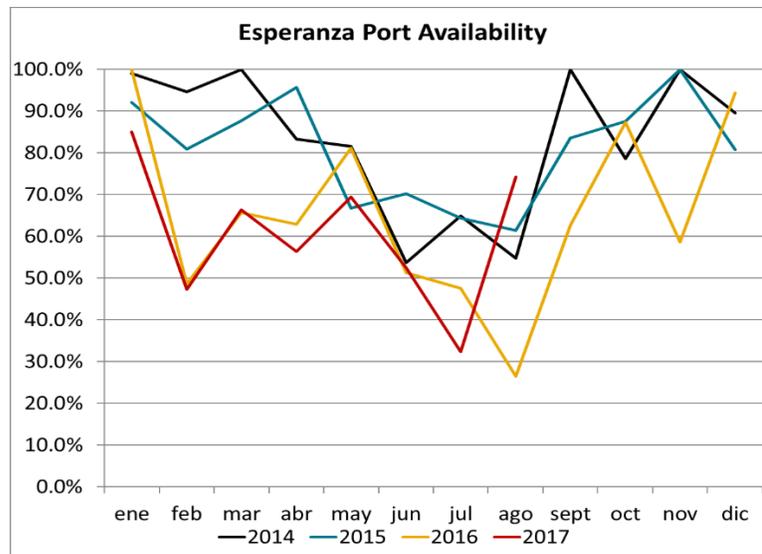
Lo anterior es relevante dadas las características de cierre del puerto, en el cual no se permiten atraques de barcos cuando  $H_{\text{máx}}$  es mayor a  $1.5\text{m}$ , entendiendo que la relación entre  $H_{\text{máx}}$  y  $H_{m0}$  está dada en general por  $H_{\text{máx}} = (1,6 \sim 2,0) \cdot H_{m0}$ , lo que se traduce en un criterio de atraque  $H_{\text{máx}} \leq 1,5\text{ m}$  que es bastante restrictivo dadas las condiciones en donde se ubica el terminal.



**FIGURA N° 04: Curva de probabilidad de no excedencia de altura  $H_{m0}$  en N1**

**DISPONIBILIDAD DEL MUELLE:**

Desde el año 2011, ha existido una tendencia creciente en los tiempos de cierres de puertos que han afectado a toda la costa oeste de Sudamérica, sobre todo en los últimos años. El terminal no ha sido ajeno a este fenómeno, ya que su ubicación geográfica lo expone a marejadas provenientes tanto del sur como del norte. Lo anterior se puede observar en la Figura 5, lo que genera un desafío adicional pensando en las 2 fases de expansión.



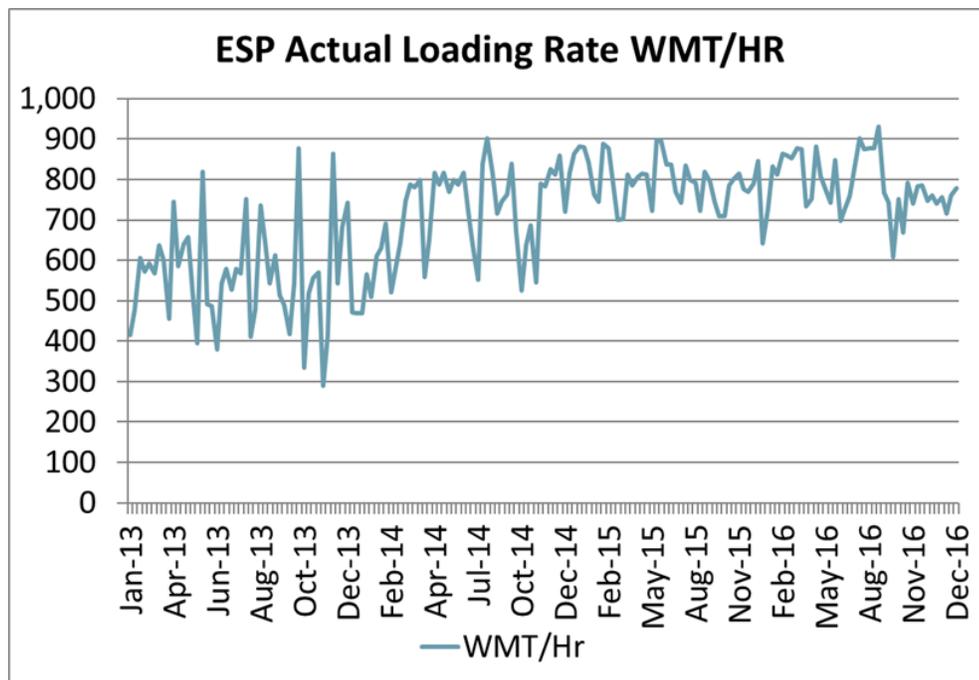
**FIGURA N° 05: Disponibilidad del puerto debido a eventos de marea.**

Se puede observar que han existido años como el 2016 en que hubo periodos, desde julio a septiembre, en donde la disponibilidad del terminal sólo por marejadas fue menor al 50%, incluso llegando al 30% en el mes específico de julio.

#### EFICIENCIA CARGUÍO:

Las condiciones actuales de operación indican una tasa nominal de embarque de 800 toneladas por hora (tph), siendo que en la realidad durante los años 2013 a 2014 la tasa real de embarque apenas alcanzaba las 600 tph y recién los últimos 3 años esta se ha estabilizada en torno a las 800 tph nominales que tiene por diseño el terminal.

En la Figura 6 se puede observar cómo ha evolucionado la eficiencia de embarque.



**FIGURA N° 06: Eficiencia de carguío años 2013 a 2016.**

#### PROYECTO EXPANSIÓN MINERA CENTINELA:

Actualmente Minera Centinela se encuentra en etapa de factibilidad del proyecto de expansión de su producción de concentrado de cobre, que cuenta con 2 fases:

Escenario	Año	Producción	Tasa Nominal de Embarque
		MT	tph
Hoy	2018	750.000	800
Fase I	2021	1.300.000	≤ 1.200
Fase II	2027	1.700.000	≤ 1.800

El proyecto de incremento en la producción de concentrados de cobre impone nuevas demandas de operación al Terminal Muelle Centinela.

A su vez, surge la necesidad de analizar si el terminal actual se encuentra en condiciones para recibir el tonelaje adicional de concentrado, fruto del proyecto de expansión de producción.

Si como resultado de este análisis el puerto no es capaz de embarcar toda la producción de Minera Centinela, hay que considerar opciones de mejoramiento en la operatividad del puerto, es decir, incrementar su capacidad.

Todo lo anterior exige evaluar impactos en la bodega de almacenamiento y en el sistema de embarque. Adicionalmente, habría que contemplar otras alternativas de embarque que pudieran implementarse.

## **V. EXPANSIÓN DEL TERMINAL MUELLE MECANIZADO CENTINELA:**

Se espera dar respuesta a la totalidad de los embarques que genere la expansión productiva de los concentrados de cobre de Minera Centinela, generados en la primera fase, y proponer posibles mejoras y/o alternativas de embarque considerando los desafíos productivos de la segunda fase de expansión.

Adema, se espera configurar distintas alternativas de maniobras de amarre de barcos vía simulación computacional, a fin de mejorar las actuales resoluciones impuestas por la Autoridad Marítima, y operar el puerto con una altitud de ola máxima mayor a la actual.

Algunas de las mejoras al terminal, como, por ejemplo, el mejor rendimiento de embarque, puede lograrse adaptando el cargador fijo actual, además de la instalación de un cargador adicional móvil, mejorar galerías y correas transportadoras, y revisar la capacidad de bodega. Otra de las posibilidades es realizar obras mayores, como, por ejemplo, construir otro puerto o proteger la bahía y así aumentar la disponibilidad del espacio ante marejadas. Proponer alternativas de embarque en otro terminal, empleo de Rotainers y ventas locales.

Posteriormente se debe cuantificar económicamente los beneficios y/o costos asociados a las diferentes alternativas propuestas, de acuerdo con distintos escenarios y bajo distintas opciones de mejoras.

### **BARCO ATRACADO Y DOWNTIME**

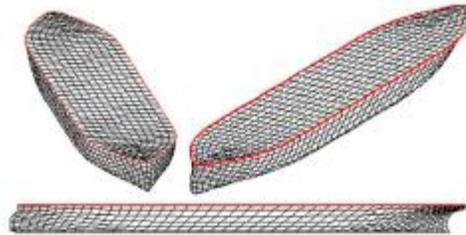
Como parte del estudio para aumentar la disponibilidad del muelle se realizaron simulaciones de respuesta de barco atracado y la metodología empleada en la estimación del downtime, sobre la base de criterios de movimiento límite de un barco atracado.

El análisis de respuesta de barco atracado considera sólo los efectos de las sollicitaciones por oleaje sobre el barco amarrado en el terminal, dejando fuera del análisis elementos tales como: detención de equipos de carga, rendimiento de trabajadores, presencia o no presencia de la nave en el terminal, etc.

Para realizar las simulaciones se crearon modelos hidrodinámicos específicos para un tamaño de barco indicado por el cliente, para ser estudiado en las condiciones del puerto proyectado considerando la profundidad en el sitio de atraque.

El modelo hidrodinámico Wavescat permitió simular mediante el uso de paneles (Figura 7) la forma del casco de los barcos, a las profundidades específicas del puerto, considerando las posiciones de proa y popa al momento de cargar el concentrado de cobre. Las características de los barcos se muestran en la siguiente tabla (en metros):

<b>Característica</b>	<b>40K DWT</b>	<b>50k DWT</b>
Eslora	180	190
Manga	30	32.26
Calado	10.6	12.6



**FIGURA N° 07: Esquema de paneles utilizados**

Con el objetivo de disminuir el downtime del terminal se probaron diferentes configuraciones de amarras, tanto para la corrida de proa como para la de popa. En todas las configuraciones se consideraron 12 espías de amarre.

Dentro de las configuraciones de amarras probadas se consideraron dos tipos. Estos son:

Configuraciones rígidas - Configuraciones 1 a 3. En éstas el amarre se realiza con bitas ubicadas en postes de amarre, duques de alba y el cabezo del terminal.

Configuraciones mixtas – Configuraciones 4 a 6. En éstas, además de las bitas ubicadas en postes de amarre, duques de alba y el cabezo del terminal, el amarre se realiza en ganchos de escape ubicados sobre boyas.

Estas configuraciones se muestran en las Figuras 08 y 09, a continuación:

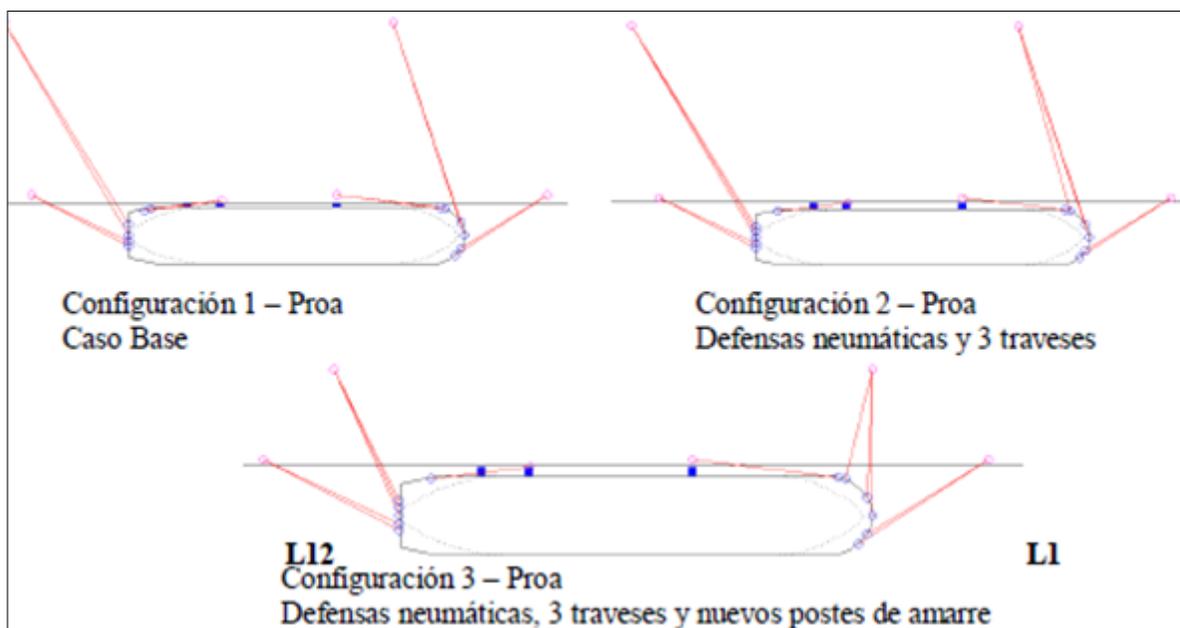


FIGURA N° 08: Esquema de disposición de amarra en corrida de proa

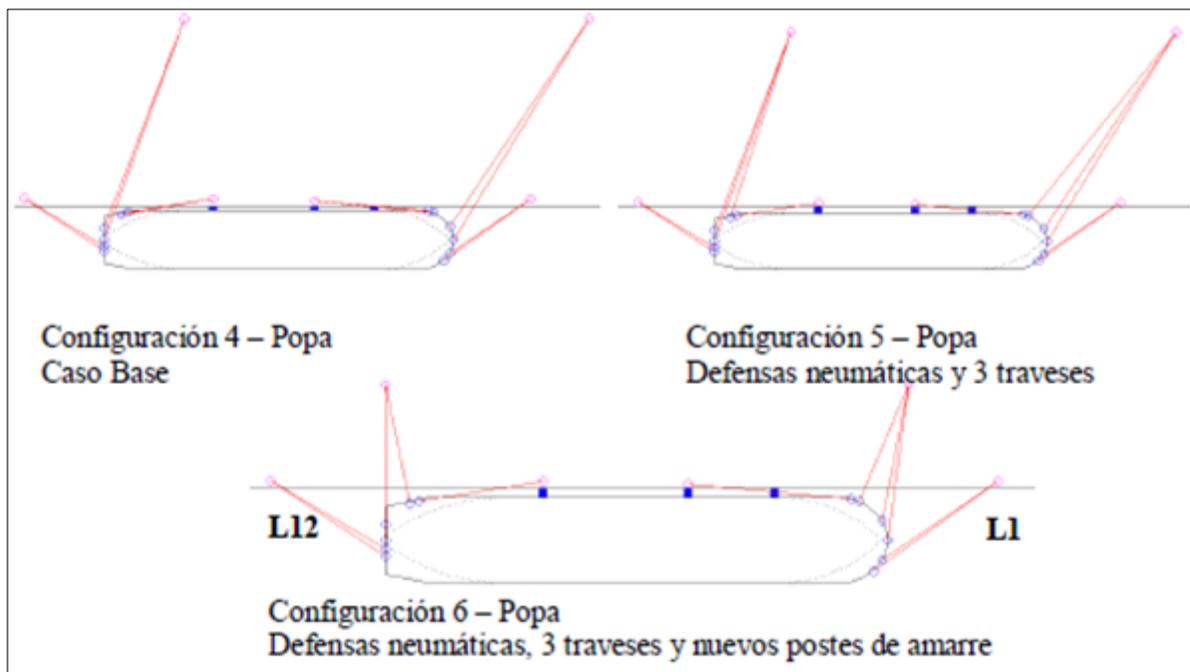


FIGURA N° 09: Esquema de disposición de amarra en corrida de popa

De los resultados obtenidos se desprende que en general las configuraciones propuestas (2 y 3) presentarían mejoras respecto de la situación actual (Caso base 1).

En todos los casos propuestos, los resultados obtenidos con los modelos numéricos indican una reducción en el porcentaje del tiempo en que se observarían roturas de líneas de amarra, como se puede observar en la siguiente tabla:

Configuración	40K DWT		50k DWT		Promedio
	Proa	Popa	Proa	Popa	
1	50%	37%	35%	33%	<b>38,75%</b>
2	17%	30%	20%	34%	<b>25,25%</b>
3	14%	22%	17%	33%	<b>21,50%</b>

El downtime por oleaje del terminal proyectado puede disminuirse con el uso de defensas neumáticas y el uso de 3 traveses y 1 spring. La disminución puede ser aún mayor con el uso de postes de amarre adicionales o modificando la posición de las boyas existentes e incorporando las modificaciones necesarias para que reciban 3 líneas (traveses) en forma simultánea.

Se puede observar que el downtime promedio de la configuración 2 es un 65% del downtime de la configuración base (25,25/38,75 aprox. 65%).

Todo esto indica que existe espacio de mejora en la operación de amarre a los barcos por el bien de la disponibilidad y la seguridad del terminal.

## CONTENEDORES VOLTEABLES O ROTAINERS

Una opción externa al terminal para mejorar la eficiencia de carga y disponibilidad del muelle es embarcar parte de la producción por otro puerto.

Cuando los niveles de la bodega del Terminal Muelle Centinela se acerquen a su capacidad máxima y se anticipe que no podrán ser embarcados los barcos debido a downtime por el oleaje, se analizó y simuló la opción de trasladar concentrados por medio de camiones y embarcar en Puerto Angamos, cercano a solo 60Km de distancia del Terminal Muelle Centinela. Angamos tiene una disponibilidad anual de aproximadamente 95% por viento o marea. Esto aplicaría tanto para la Fase 1 como para la Fase 2.

Para lo anterior se consideró la carga de contenedores volteables sellados a camiones en el Terminal Muelle Centinela, el traslado a Puerto Angamos, la posterior recepción en puerto y el respectivo almacenaje a la espera de

completar un lote que será un múltiplo de las unidades por lote de 11.000 TMH y el embarque respectivo de dicho(s) lote(s).

Para esto se debe considerar que:

- Cada contenedor volteable vale entre 8.000 a 8.500 USD, dependiendo del flete de importación.
- Se debe considerar una flota de al menos 450 a 480 contenedores para tener un lote de 11.000 TMH
- Se debe tener una logística de camiones acorde al volumen de contenedores a mover, la distancia y el recorrido entre los 2 puertos.
- El costo portuario por tonelada se estima en aproximadamente 19 USD/TMH

El sistema considera, además, la supresión de polvo por neblina seca en las bodegas de los barcos.



**FIGURA N° 10: Neblina seca que inhibe la salida de concentrado durante la carga.**

Se operan como contenedores tradicionales, con los mismos sistemas de transportes, grúas o reach stackers.



**FIGURA N° 11: Contenedor volteable y reach stacker que retira su tapa y lo voltea.**

En la Figura 12 esquema se puede entender mejor la operación de los contenedores volteables:



**FIGURA N° 12: Esquema de operación de los contenedores volteables**

Para finalizar, los contenedores se almacenan en el puerto de forma segura y amigable con el medio ambiente, ya que al ser sellados el riesgo de contaminación es muy bajo en comparación al sistema antiguo de tolva con carpa.

## LEVANTAMIENTO DE LA GALERÍA ACTUAL DEL SISTEMA DE EMBARQUE

Adicionalmente a las dos fases de expansión, se realizó en paralelo un análisis de los daños que se producen en la galería producto de la acción de las marejadas, que impactan la estructura de la galería afectando tanto los recubrimientos de la misma, las planchas de piso, y las estructuras de soporte de la correa transportadora (polines y mesas).

Considerando el riesgo que esta estructura presenta y los costos asociados a su reparación y sobre todo a la interrupción de las operaciones de embarque, se hace necesario dar una solución a este problema.

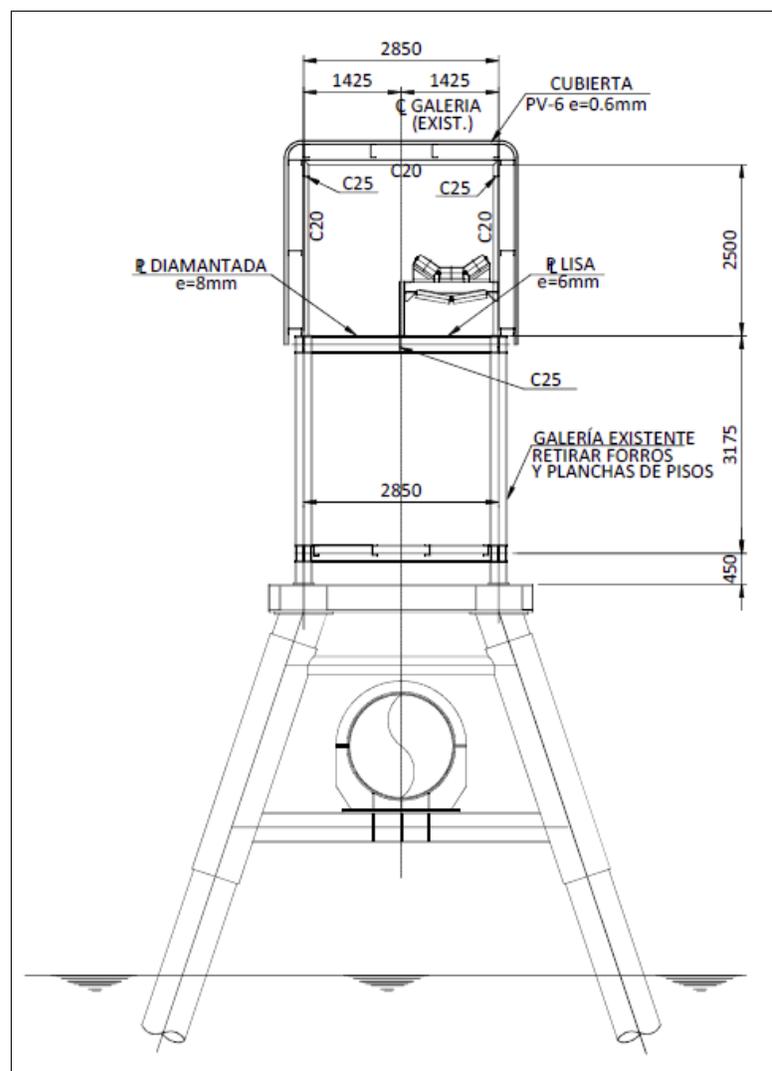
Para lo cual se revisaron 2 alternativas:

### 1. EMPLAZAR LA CORREA TRANSPORTADORA SOBRE LA GALERÍA:

Esta solución consiste en cambiar de elevación la correa transportadora, instalándola sobre el techo de la galería existente. La correa transportadora reubicada deberá ser cubierta por una estructura secundaria que permita mantener su condición de hermeticidad.

Para lograr la transición entre la zona “correa adentro” y “correa afuera”, se deberán hacer ajustes en la estructura de la galería existente en las zonas de transición, que preliminarmente serían entre los ejes 21-19, con una longitud de 75m y entre los ejes A-C con una longitud de 66m.

La estructura secundaria paralela a la galería existente tendrá una longitud de 231m. La secuencia constructiva estimada para materializar esta solución se detalla en el documento Alternativas Solución Daños por Oleaje en Galería (DMC-VPP012-PRD-P-1600-H-RP-003). En la que se muestra la sección transversal de la cinta transportadora reposicionada.

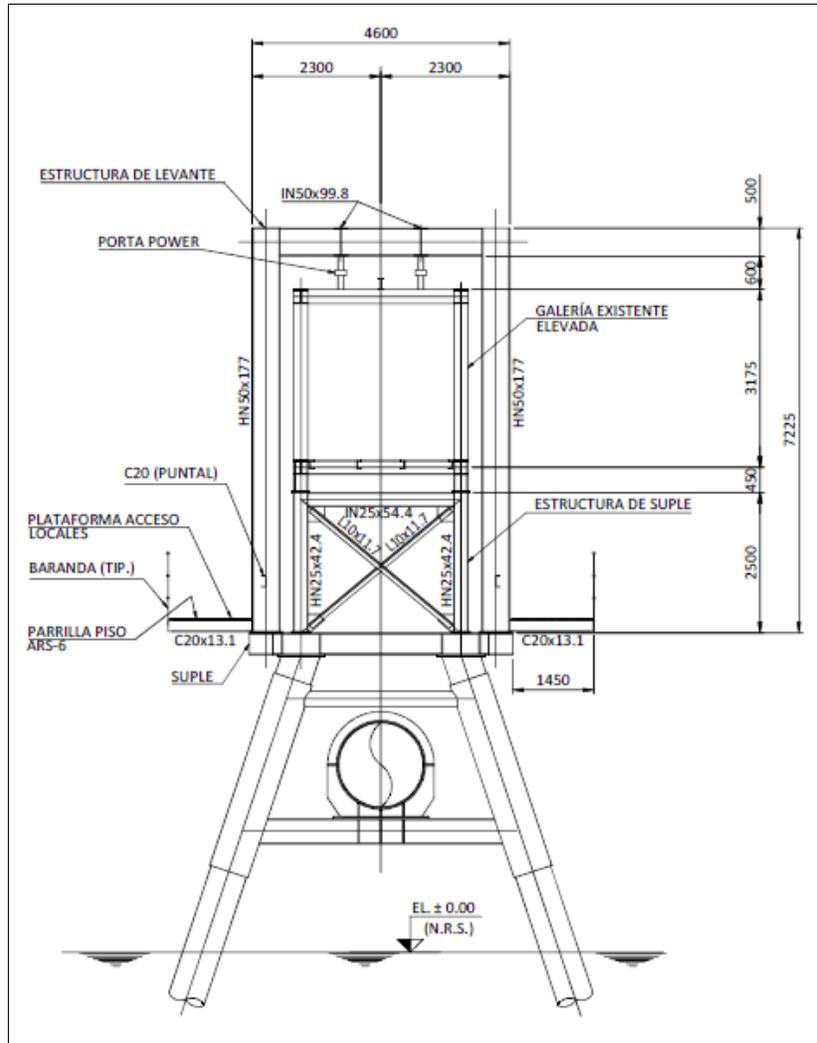


**FIGURA N° 13: Galería una vez reposicionada la correa transportadora.**

## 2. ELEVAR LA GALERÍA:

Esta solución consiste en el levante integral de la galería en un tramo de 667m de longitud. Básicamente, consiste en levantar la galería completa, incluyendo todo el sistema de manejo de materiales, cableado eléctrico y ductos de servicios.

Esto contempla la instalación de marcos de levante exteriores en todos los puntos de conexión entre las galerías y las vigas, y la instalación de estructuras de supe, que se colocan después de izar la estructura.



**FIGURA N° 14: Sección transversal de la galería, durante el proceso de levante.**

Cualesquiera de estas dos alternativas recomendadas deben ser analizadas en la posterior etapa de ingeniería, con el objetivo de minimizar el riesgo asociado a las faenas de construcción y los tiempos de ejecución de las obras versus la disponibilidad operativa del terminal.

## AUMENTAR RENDIMIENTO CARGUÍO:

A partir de los datos de los barcos atracados el año 2015 se calcularon las tasas efectivas de embarque en tph como el cociente entre las toneladas totales embarcadas y el tiempo efectivo de embarque (sin considerar corridas, fallas ni otros tiempos muertos). El promedio obtenido es de 801 tph, que casi coincide con el valor nominal de del puerto de 800 tph. Cerca del 100% de las observaciones se encuentra en el rango de 700 a 900 tph.

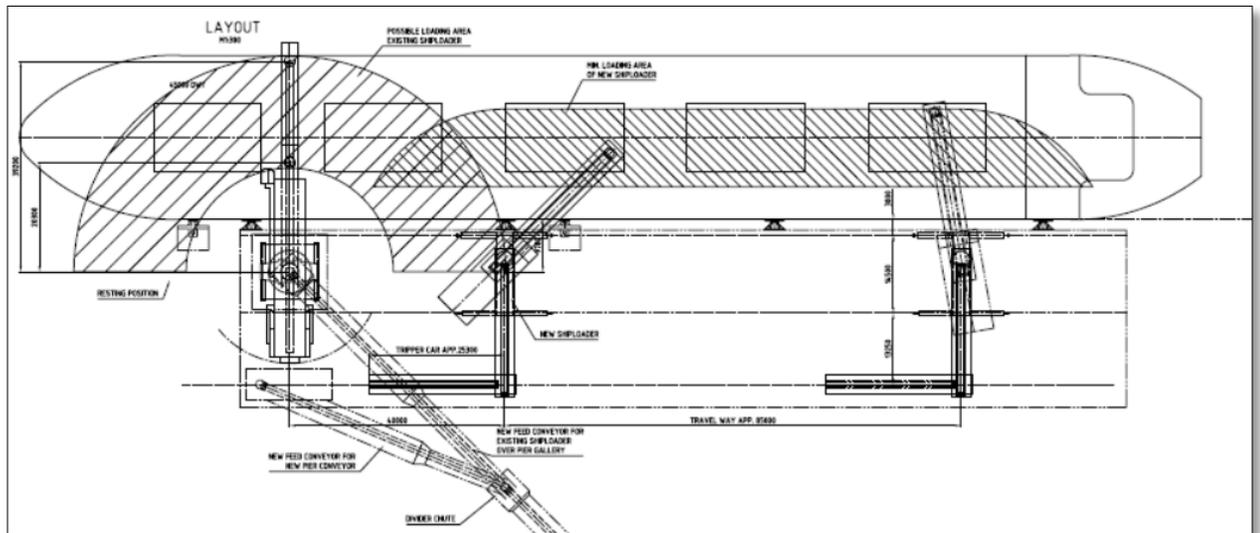
Para poder hacerse cargo de la producción adicional que traen las 2 fases de expansión y dadas las características geográficas del terminal, el cual está muy expuesto a marejadas y por ende ve limitada su disponibilidad, es que la eficiencia en el carguío es algo fundamental.

En general, en la industria portuaria, hay 2 variables críticas que son la disponibilidad y la eficiencia en la carga (o descarga). El Terminal Muelle Centinela ya tiene limitada su disponibilidad por las marejadas a las que está expuesto, y su eficiencia en el carguío está acorde al diseño de un terminal hecho para exportar las actuales 750.000t, pero que no será capaz de embarcar dentro de cada mes los nuevos tonelajes que traen las 2 fases.

Existe la alternativa de aumentar el rendimiento de la carga por medio de cambiar las correas transportadoras por unas más anchas de forma de poder llegar a un rendimiento de entre 1.000 a 1.200 tph, lo que se podría hacer cargo del tonelaje adicional de la Fase I. La galería actual tiene el espacio adicional para poder hacer esto, además que los pilotes tienen una holgura de peso adicional operativo que haría factible esta alternativa.

Pero para la Fase II, los cambios deben ser mayores si se pretende que el puerto sea capaz de poder embarcar los 1,75 millones de toneladas. Para eso se deben hacer modificaciones mayores, que van desde cambiar radicalmente el cargador fijo por uno movable, de forma que el barco no tenga que hacer corridas entre bodegas (lo que por sí solo ahorraría bastante tiempo muerto de operación aumentando el rendimiento diario), hasta la construcción de un segundo sitio en terminal con capacidad de embarque aproximado a 1.800 tph, sin necesidad de hacer corridas y con sistemas de amarre dinámicos sería otra alternativa que también podría ser evaluada para la Fase II. **El CAPEX preliminar de esta opción estimado por AMSA es de USD 168 millones.**

En la Figura 15, a continuación, se observa el plano de lo que podría ser este segundo sitio de embarque:



**FIGURA N° 15: Plano de nuevo muelle para 1.800 Ton/h**

#### AMPLIACIÓN DE LA BODEGA DE ALMACENAMIENTO DE CONCENTRADO DE COBRE:

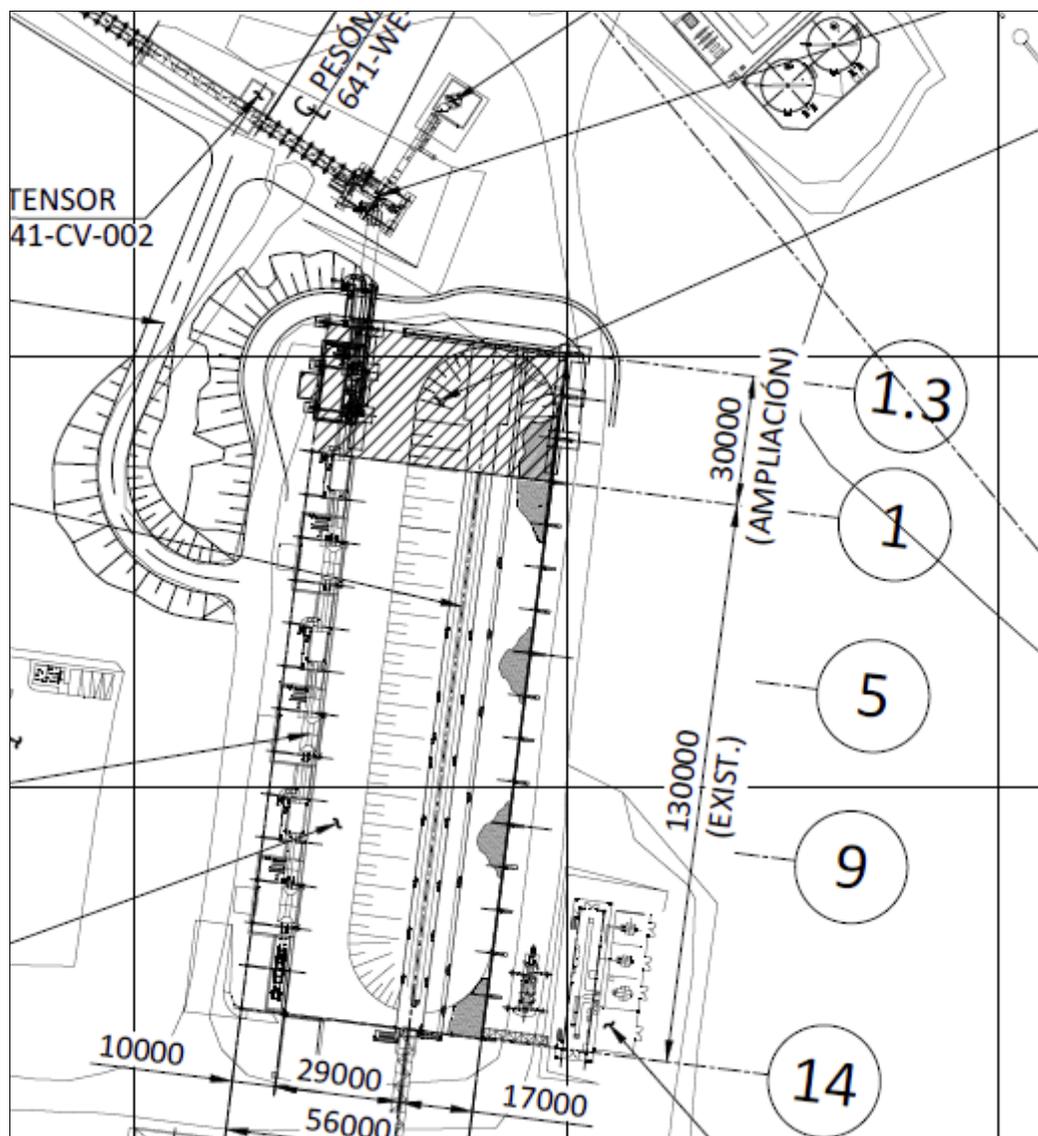
La estructura existente del edificio de almacenamiento está conformada sobre la base de marcos transversales, los cuales soportan a la estructura longitudinal de soporte de la correa Tripper que distribuye el concentrado dentro de la bodega. Los marcos están espaciados típicamente cada 10m, teniendo un ancho de 56m y una altura a la cumbre de 28.3m. El largo total de la estructura existente es de 130m, permitiendo una capacidad total de acopio de 72,000t aproximadamente.

La solución estructural para aumentar la capacidad actual de almacenamiento del edificio consiste en aumentar la longitud de éste (130m) en 30m hacia el norte. Para materializar esto, la idea es replicar los marcos del edificio actual (3 espacios a 10m). Se aumentará el largo de apoyo para la correa tripper superior, modificando la posición de la plataforma tripper, y se incrementará el largo de los muros de contención laterales. Estas modificaciones permitirán un acopio total de concentrado de cobre de 92,000t.

Junto con la ampliación del edificio de almacenamiento, se considera aumentar la extensión de la correa transportadora en los mismos 30m que se amplía el edificio.

Se verifica la capacidad de almacenamiento del edificio ampliado, tomando las mismas consideraciones que en el cálculo de la capacidad actual del edificio de almacenamiento. Los resultados muestran un aumento de capacidad de almacenamiento de un 27% aproximadamente.

En la siguiente Figura (16) se puede ver la ampliación del edificio de almacenamiento hacia el norte.



**FIGURA N° 16: Ampliación bodega de almacenamiento.**

DIAGRAMA DE ALTERNATIVAS DE MEJORAS:

Considerando las distintas alternativas de mejoras propuestas y la posibilidad de realizar varias de ellas en paralelo se genera el siguiente diagrama:

Escenario (a)	Producción Anual	Tasa Nominal Embarque	Shifting	Vector Embarques (b)	Aumento Capac. Nominal Stockpile (c)
	tmh/a	tph		barcos/año	ton
F0-0800S-H	692,660	800	Sí	H/34	-
F1-1000S-H	1,300,000	1,000	Sí	H/65	50,000
F1-1200S-B	1,300,000	1,200	Sí	B/54	45,000
F1-1200S-E	1,300,000	1,200	Sí	E/46	45,000
F2-1200S-H	1,700,000	1,200	Sí	H/85	95,000
F2-1200S-B	1,700,000	1,200	Sí	B/70	90,000
F2-1200S-E	1,700,000	1,200	Sí	E/59	95,000
F2-1200S-E (g)	1,700,000	1,200	Sí	E/46	45,000
F2-1200N-E	1,700,000	1,200	No	E/59	90,000
F2-1800N-B	1,700,000	1,800	No	B/70	80,000
F2-1800N-E	1,700,000	1,800	No	E/59	85,000

**FIGURA N° 17: Escenarios Seleccionados Considerando Plan Minero 2021 – 2049.**

En donde se debe considerar que:

Producción:

F0 = Operación Actual (2013-2016).

F1 = DMC Fase I.

F2 = DMC Fase II.

Formato de Embarque

S = con corrida de barco.

N = sin corrida de barco.

Vector Embarques: se refiere a la cantidad de barcos que atenderá el terminal al año. Este valor puede variar según qué tipo de barco se contrate, lo que es un reflejo de las ventas y destinos de la carga. Es una variable que depende de la comercialización, más que del terminal mismo.

H = Histórico.

B = Caso Base.

E = Caso Estresado.

Tiempo de Estadía Mejillones-Centinela: indica el número días en promedio que debe esperar un barco entre que este llega a Mejillones y sale de Centinela embarcado.

Considerando el caso actual (F0) se presentan las siguientes combinaciones de alternativas:

1. F0-0800S-H: caso base con embarques por 692.660t al año, a un ritmo de embarque de 800tph, haciendo corrida de la nave para embarcar entre bodegas y utilizando el vector de embarque histórico de 34 naves por año.
2. F1-1000S-H: considera sólo la Fase I con 1.300.000t al año, a un ritmo de embarque de 1.000tph, haciendo corrida de la nave para embarcar entre bodegas y utilizando el vector de embarque histórico de 65 naves por año (considerando que se duplica la producción).
3. F1-1200S-B: considera sólo la Fase I con 1.300.000t al año, a un ritmo de embarque de 1.200tph, haciendo corrida de la nave para embarcar entre bodegas y utilizando el vector de embarque del caso base considerando 54 naves por año.
4. **F1-1200S-E: considera sólo la Fase I con 1.300.000t al año, a un ritmo de embarque de 1.200tph, haciendo corrida de la nave para embarcar entre bodegas y utilizando el vector de embarque estresado considerando tan sólo 46 naves por año (embarcando mayor cantidad de carga por nave).**
5. F2-1200S-H: considera ambas Fases hasta llegar a 1.700.000t al año, a un ritmo de embarque de 1.200tph, haciendo corrida de la nave para embarcar entre bodegas y utilizando el vector de embarque histórico de 85 naves por año.
6. F2-1200S-B: considera ambas Fases hasta llegar a 1.700.000t al año, a un ritmo de embarque de 1.200tph, haciendo corrida de la nave para embarcar entre bodegas y utilizando el vector de embarque del caso base considerando 70 naves por año.
7. F2-1200S-E: considera ambas Fases hasta llegar a 1.700.000t al año, a un ritmo de embarque de 1.200tph, haciendo corrida de la nave para embarcar entre bodegas y utilizando el vector de embarque del caso estresado considerando tan sólo 59 naves por año.

8. **F2-1200S-E (g): considera ambas Fases hasta llegar a 1.700.000t al año, a un ritmo de embarque de 1.200tph, haciendo corrida de la nave para embarcar entre bodegas, utilizando el vector de embarque del caso estresado considerando tan sólo 46 naves por año y derivando saldo por camión a Mejillones (13 barcos/año, aprox. 400.000t por año).**

9. F2-1200N-E: considera ambas Fases hasta llegar a 1.700.000t al año, a un ritmo de embarque de 1.200tph, sin hacer corrida de la nave para embarcar entre bodegas (utilizando cargador viajero) y utilizando el vector de embarque del caso estresado considerando tan sólo 59 naves por año.

10. F2-1800N-B: considera ambas Fases hasta llegar a 1.700.000t al año, a un ritmo de embarque de 1.800tph (considera un nuevo terminal), sin hacer corrida de la nave para embarcar entre bodegas y utilizando el vector de embarque del caso base considerando 70 naves por año.

11. F2-1800N-E: considera ambas Fases hasta llegar a 1.700.000t al año, a un ritmo de embarque de 1.800tph (considera un nuevo terminal), sin hacer corrida de la nave para embarcar entre bodegas y utilizando el vector de embarque del caso estresado considerando tan sólo 59 naves por año.

Existen más combinaciones entres las alternativas de mejora, pero se consideran aquellas que son posibles de realizar en paralelo, considerando una inversión acorde al proyecto, la realidad de embarques y lo que indica el mercado sobre tamaño de la bodega.

## **VI. GESTIÓN DEL PROYECTO DE EXPANSIÓN Y DEL TERMINAL AMPLIADO:**

El proyecto de expansión del Terminal Muelle Centinela nace como obra complementaria al desarrollo del proyecto de la nueva planta concentradora que se instalará en Minera Centinela, para así aumentar la capacidad de producción en las 2 fases ya explicadas.

Lo anterior presenta desafíos en la gestión del proyecto mismo de expansión del terminal, debido a que éste debe seguir operando y embarcando mientras se realicen las mejoras, o en el peor de los casos detener su operación el menor tiempo posible. Todo esto considerando que en las condiciones actuales el puerto podría embarcar la carga actual y adicional de la Fase I, pero queda expuesta su disponibilidad a las marejadas que lo afectan, complicando el embarcar tonelaje adicional en su estado actual sin mejoras. Además, es un hecho que el puerto en sus condiciones actuales no se puede hacer cargo de la carga adicional de las 2 fases, considerando que es un tonelaje adicional que supera el 100% de la carga actual, para un puerto que en la actualidad tiene serios problemas de disponibilidad en los meses de invierno.

### **GESTIÓN DEL PROYECTO DE EXPANSIÓN:**

Una vez que el Estudio de Factibilidad sea aprobado, los permisos ambientales sean otorgados y el financiamiento completado, se pondrá en marcha el proyecto completo de expansión DMC. Comenzando con trabajos en faena preparando el terreno, maquinarias y personal necesario para poder desarrollar la nueva planta concentradora y lo que eso conlleva.

Por el lado del puerto, existen ciertos trabajos que son necesarios de llevar a cabo, se hiciera o no el proyecto de expansión, y que se tornan indispensables para otorgar al puerto una mayor disponibilidad y rendimiento en el carguío, esto debido a las constantes marejadas que azotan la costa en invierno, mezclado con un mercado al alza en los fletes navieros, que pone presión a un barco que deba esperar para poder embarcar en el terminal, lo que provoca costos por demurrage (sobre estadía del barco en el puerto).

La modificación en la operación de amarre a los barcos es un trabajo que se puede realizar una vez instalados los nuevos postes de amarre y para operar se necesita entrenar al Práctico y la Autoridad Marítima previamente, de forma de poder presentar el nuevo esquema para que éste sea revisado y aprobado por la autoridad naval. Esto corresponde más a un tema burocrático que a obras civiles, considerando la instalación de los nuevos postes de amarra que es una obra menor dentro del terminal. Todo lo anterior no genera interrupciones a la operación actual del puerto y es una de las alternativas de más fácil

aplicación y que podría traer una buena mejora a la disponibilidad, al aumentar la altura máxima de la ola de operación.

De la misma forma el levantamiento de la galería, sobre todo la opción 1 (emplazar la correa por sobre la galería actual), presenta la posibilidad de realizar los trabajos de cambio y mantener la operación actual de embarque sin interrumpir el trabajo del puerto. La opción 2 presenta dificultades a considerar, como son el levantamiento completo de la galería, por lo cual en costo y forma de operación el trabajo mismo es probable que implique detener los embarques a medida que se levanta toda la correa de aproximadamente 700m de longitud.

De igual forma, expandir la bodega de almacenamiento no generará mayores problemas para la operación actual, ya que se trabaja un solo costado de la misma, dejándola en condiciones operativas mientras se realiza la expansión de 30m de longitud. Se deben coordinar bien los plazos en que se realicen los trabajos, ya que estos deben estar completos cuando el aumento de tonelaje de la 1era fase esté operativo.

Por último, las 2 alternativas que generan mayores problemas desde un punto de vista de gestión son: aumentar el ritmo de carguío y los contenedores volteables, pero en distintas formas y complejidades.

Aumentar el rendimiento de la carga de las actuales 800 a 1.000 o 1.200 tph presenta el desafío que debe ser coordinada con el levantamiento de la galería, puesto que es la misma correa que se debe cambiar por una más ancha y un motor más rápido, y al levantarla ver en donde se ubicaría dependiendo cuál de las 2 opciones se elija. Pero esto sólo se consideraría para la Fase I, para la Fase II se consideraría sumar un cargador adicional que se mueva en paralelo al actual, trabajo que no debiera generar problemas, pero que de todas formas podría generar interrupciones, puesto que se trabajaría en el mismo cargador, pero a un costado de éste.

Hacer un terminal paralelo ya genera un proyecto en sí mismo, puesto que se debe considerar toda una estructura nueva: muelle, loza, brazo, correas, cargador, etc, lo cual es una obra mayor tal como lo indica su propio costo.

En el caso de los contenedores volteables, se deben considerar distintas aristas para su correcta operación.

La cantidad de contenedores que se debe disponer, considerando que por lote de 11.000 TMH se necesitan aprox 480 contenedores, se necesitarían 3 juegos que serían casi 1.500 contenedores, para así poder tener 2 lotes en puerto y uno en camino entre carguío en el terminal y el puerto de embarque.

Además, se debe considerar el periodo de fabricación de los contenedores y el respectivo transporte al terminal. Posterior a eso se deben tomar en cuenta los contratos de transportes con los camiones que harán el viaje entre el terminal y Puerto Angamos. La logística de operación de esta opción debe ser muy eficiente, puesto que se debe coordinar de forma casi exacta: la carga, el

traslado a puerto y el acopio de los contenedores con la llegada del barco, todo esto considerando que en paralelo se seguirá embarcado por el Terminal Muelle Centinela, por lo cual desde el punto de vista logístico esta es una de las opciones más desafiantes, ya que no sólo incluye la operación de embarques por 2 puertos si no que de toda la logística para mover las cargas entre ambos y la preparación previa a cada embarque.

#### GESTIÓN DEL PROYECTO DEL TERMINAL AMPLIADO Y DESAFÍOS LOGÍSTICOS:

Una vez que las 2 fases de expansión estén listas y el terminal haya sido ampliado, considerando además el uso de los contenedores volteables a embarcar por otro terminal, para así poder embarcar la totalidad del material o considerando realizar un segundo muelle de embarque, se tendrá como resultado seguro el embarque por al menos 2 muelles o puertos, lo que en sí ya es un desafío.

Tras esto, la operación y logística de embarque se hace más compleja y no será extraño, debido al mayor volumen, el tener embarques en paralelo en ambos sitios o puertos, por lo cual todo debe funcionar de la manera correcta: logística de tener la carga lista, los barcos coordinados, el ciclo de transporte de los contenedores volteables coordinados y los desafíos de calidad y comerciales resueltos.

Lo anterior debe funcionar de forma muy eficiente, puesto que cualquiera de estas variables que falle, generará que un embarque no se pueda realizar o demoras y sus respectivos costos asociados.

Por lo que desde el punto de vista logístico y de puerto, una vez culminados los trabajos de expansión de las 2 fases, el trabajo portuario y logístico se duplicará al tener que manejar 2 puntos de embarque, lo que va de la mano con el millón de toneladas adicionales que se exportará.

Esto generará además de mayor gestión comercial y mejor coordinación entre las áreas, lo que hace de este un proyecto complejo y desafiante, considerando la realidad actual del Terminal Muelle Centinela y de Minera Centinela tanto a nivel de equipos técnicos como humanos.

## VII. EVALUACIÓN ECONÓMICA:

Como se indicó en el Capítulo V y en base a las 2 fases de producción y a las distintas alternativas de mejora al terminal, se configuró la siguiente tabla que acopia distintos casos en donde a partir del escenario base actual se crearon nuevas opciones, de forma de poder comparar las distintas mejoras y sus costos de inversión y operación:

Escenario (a)	Producción Anual	Tasa Nominal Embarque	Shifting	Vector Embarques (b)	Aumento Capac. Nominal Stockpile (c)	Tiempo Estadía Mejillones-Centinelá (d)	Demurrage Anual (e)	CAPEX Nom. Adicional c/r a Caso Base	CAPEX Nom. Adicional c/r a Fase 1	OPEX Anual (promedio) (f)
	tmh/a	tph		barcos/año	ton	días	MUSD	MUSD	MUSD	MUSD
F0-0800S-H	692,660	800	Sí	H/34	-	21	2.9			
F1-1000S-H	1,300,000	1,000	Sí	H/65	50,000	26	7.1	78.0		25.5
F1-1200S-B	1,300,000	1,200	Sí	B/54	45,000	22	4.9	77.5		23.3
F1-1200S-E	1,300,000	1,200	Sí	E/46	45,000	22	4.0	77.5		22.4
F2-1200S-H	1,700,000	1,200	Sí	H/85	95,000	32	10.4		46.0	34.8
F2-1200S-B	1,700,000	1,200	Sí	B/70	90,000	29	8.1		42.2	32.5
F2-1200S-E	1,700,000	1,200	Sí	E/59	95,000	28	6.7		46.0	31.1
F2-1200S-E (g)	1,700,000	1,200	Sí	E/46	45,000	22	4.0		5.2	34.9
F2-1200N-E	1,700,000	1,200	No	E/59	90,000	24	5.9		80.2	30.3
F2-1800N-B	1,700,000	1,800	No	B/70	80,000	20	5.8		78.9	30.2
F2-1800N-E	1,700,000	1,800	No	E/59	85,000	21	4.9		82.7	29.3

**FIGURA N° 18: Escenarios Seleccionados Incluyendo su Evaluación Económica.**

Se debe considerar que:

Demurrage: es la suma anual que se debe pagar a las navieras en base a la espera de los barcos previo a su descarga, utilizando el número indicado en el punto anterior.

Hay 2 columnas de CAPEX, debido que entre el paso de la Fase I a la II se deben hacer mejoras adicionales según el escenario escogido. Por lo cual la primera columna indica las inversiones a realizar en la Fase I y la segunda columna de CAPEX indica las inversiones que se deben hacer (por sobre lo ya hecho) para la Fase II.

La última columna indica el promedio del costo de operación (OPEX) anual del puerto en base al escenario indicado.

El detalle del análisis económico se puede ver en el Anexo.

### Análisis de Escenarios y Propuesta:

En base a los escenarios analizados y la viabilidad de las alternativas sugeridas tanto del punto de vista económico, como operativo y ambiental, se plantean las siguientes 2 propuestas a realizar **en base a la combinación de menor costo de CAPEX y OPEX – valores actualizados de Costos, considerando la vida del proyecto 2021 a 2049** - sumado al menor tiempo

de estadía posible de los barcos en puerto, a fin de minimizar el costo de demurrage por sobre estadía.

#### Propuesta 1:

F1: Obras de mejoramiento en el muelle para adaptarlo a nuevos requerimientos. Nueva bodega por 45.000t, levantamiento de galería por sobre la actual (alternativa 2), 1.200 tph de velocidad de carguío, considerar frecuencia de barcos en base al caso estresado (46 naves por año) apuntando tamaños de embarque cercanos a los 30.000t por barco.

F2: Considerando la Fase I y las 400.000t adicionales de producción anual que se transporten en camión (Rotainer) para embarque por Puerto Angamos u otro puerto a determinar. Caso para lo cual se considera la compra de 850 Rotainers, el transporte entre ambos puertos, el costo portuario y los equipos de apoyo, al igual que los días de trabajo y horario de puerto. Ver Anexo para mayor detalle en los costos de cada parte.

#### Propuesta 2:

Adelantar el transporte en camiones a Fase I para así mitigar efectos de las obras y levantamiento de la galería (que dejaría sin poder embarcar por un par de meses), además de analizar la posibilidad de ventas nacionales. Esto último se debería revisar con Comercialización AMSA.

#### CONSIDERACIONES:

- Barco Atracado y Downtime: la inversión para mejorar la altura de ola no es muy importante en comparación a las otras alternativas y considera un nuevo sistema de amarre para solicitar a la Autoridad Marítima una modificación en el límite de oleaje (de  $H_{max} \leq 2.0$  m a 2.2m), considerando una inversión de **1,3 millones de USD**. Considerando la baja inversión y los beneficios que traería, es algo que se debe hacer, puesto que los dividendos de tener mayor disponibilidad del muelle sobrepasan el valor de la inversión, considerando que la sobre estadía en puerto genera costos por app **3 millones de USD al año**. Por lo mismo todos los escenarios analizados incluyen esta mejora.
- Contenedores Volteables o Rotainers: aplicaría para la Fase II, en que se considera mantener la infraestructura de la Fase I y trasladar la diferencia de producción vía camiones para embarcar en puerto de Mejillones con una inversión adicional de **5,2MM USD** correspondiente al carguío de los camiones, más **14,5MM USD** por concepto de compra de Rotainers y un costo de operación portuaria de aprox. 19 USD/t considerando la mantención de los Rotainers.

- Levantamiento de la Galería actual del Sistema de Embarque: considera una inversión de **14,7MM USD**, en el cual se estima elevar completamente la galería, creando un nivel superior sobre el actual, esto a pesar que su costo es mayor a solo elevar la correa, ya que se busca asegurar la operabilidad de esta correa considerando los 30 años de funcionamiento del proyecto.

Al igual que en el caso del barco atracado y la altura de ola, esta mejora es considerada en todos los escenarios analizados.

- Aumentar Rendimiento Carguío: es la alternativa de mejora que a su vez presenta la mayor cantidad de opciones. Se considera para la Fase I aumentar la capacidad de carguío a 1.200 tph por medio de una optimización al sistema actual, considerando un costo de inversión de 2 millones de USD, pero existe una opción previa para pasar a 1.000 tph realizando modificación del cargador actual con una inversión de aproximada de un millón de USD. Por lo cual llevar el rendimiento de las actuales 800 tph a 1.200 implicaría un costo de aprox. 3 millones de USD.

Para aumentar por sobre eso, la capacidad instalada ya no da abasto, por lo cual las inversiones se elevan por sobre los 40 millones de USD, considerando un nuevo cargador para 1.800 tph y los arreglos respectivos al muelle o un 2do cargador con el cual no sea necesario hacer corridas al barco durante la carga.

Por último, la opción de hacer un nuevo muelle de atraque con nuevas correas, cargador sin corridas y correas preparadas para mover 1.800 tph tendría una inversión estimada por sobre los **168 MM USD**.

- Ampliación de la Bodega de Almacenamiento de Concentrado de Cobre: Por las características que debe tener una bodega de almacenamiento para este tipo de producto, la cual debe tener presión negativa, correa de desplazamiento en la parte superior de forma de poder distribuir la carga, además de espacio para que los cargadores frontales puedan ubicar el concentrado en la correa de carguío, etc., genera que sea una inversión grande, en general se considera que por cada 1.000t de ampliación la inversión es de aprox. un millón de USD.

Considerando los estudios realizados y las propuestas efectuadas, en donde la carga de la segunda fase saldría por otro puerto, se considera una ampliación de 45.000t que tiene un costo de 51 MM USD, que se haría cargo de la producción adicional de la primera fase más un delta de seguridad debido a la disponibilidad del puerto por marejada. En general, y como referencia, las bodegas de concentrados de cobre deben ser capaces de al menos poder contener el material producido en un mes sin embarque. La bodega ampliada del terminal tendría una capacidad de 110.000t nominales, lo que está en línea con esa máxima, considerando el millón trescientas mil toneladas anuales producidas en la primera fase.

## **VIII. ANÁLISIS DE RIESGO:**

Para un proyecto de esta envergadura que forma parte del gran proyecto Desarrollo de Minera Centinela (DMC) cuyo CAPEX total para primera fase fluctúa en torno de 2.700 a 3.000MM USD y para la fase 2 entorno a los 1.500MM USD más, los riesgos son muchos y muy variados, y van desde permisos ambientales, licencias sociales, retrasos, problemas de ingeniería, servidumbres, relaves, y una larga lista de etcéteras que van a afectar el proyecto tanto en el total de la inversión como del tiempo de ejecución y puesta en marcha de la operación expandida.

Una parte de este mega proyecto DMC pasa por lo que se ha analizado en este trabajo que corresponde a la parte portuaria y como el puerto debe prepararse para las 2 fases. En vista a las mejoras analizadas y las alternativas propuestas, se indican los principales riesgos que se consideran para éstas.

- Barco Atracado y Downtime: siendo una de las mejoras que se propone hacer bajo cualquier escenario, el gran riesgo es que luego de hecha la inversión y las mejoras en las maniobras de amarre de los barcos, la autoridad marítima igual no apruebe la mejora en la altura de ola máxima a 2,2m o su aprobación se retrase en el tiempo, lo que mantendría las condiciones vigentes en el terminal. Lo anterior produciría que la disponibilidad de puerto sería la actual para tener que embarcar la producción más el adicional que trae la fase I, lo que deja el terminal bastante complicado para poder cumplir sus embarques mes a mes.
- Contenedores Volteables o Rotainers: desde hace alrededor de 4 años que la División Ministro Hales de Codelco viene utilizando el embarque de Rotainers para el 100% de su producción embarcando desde Puerto Angamos. Por lo cual esta alternativa está probada, y si bien la coordinación terrestre por el lado de los camiones, como marítima, para así tener el barco y carga en el momento correcto son vitales, también lo son los permisos ambientales para mover el material al puerto y contar con el proveedor de transporte de camiones que tenga la capacidad de mover este material de forma constante al puerto.
- Si bien el costo mismo de los Rotainers puede variar, en sí no genera una gran diferencia en el costo total y el riesgo de esta alternativa, como si puede ser no tener contrato con el puerto respectivo de embarque. Al usar un puerto de un tercero se pierde control sobre las mantenciones, estado del mismo y personal a cargo de las faenas. De igual forma, al haber tantos proyectos de producción de concentrados de cobre para la década que viene, puede que no exista capacidad portuaria instalada para hacerse cargo de la recepción, manejo y exportación de estos concentrados, por lo cual anticiparse y cerrar un acuerdo pronto con Puerto Angamos o algún otro puerto de la

región será clave para poder asegurar el espacio y confirmar la operabilidad de las 2 fases de expansión, sobre todo la segunda.

- Levantamiento de la Galería actual del Sistema de Embarque: Es una de las rutas críticas de las mejoras y un punto clave de esta debido a que el sistema actual es azotado año a año por las marejadas que afectan al puerto, por lo cual al hacer los trabajos durante el invierno existe una posibilidad de que el clima retrase las obras, lo que también atrasaría los trabajos en el cargador de embarque, trabajo que se haría al mismo tiempo considerando que el terminal quedaría inoperativo este tiempo.
- Aumentar Rendimiento Carguío: en base a la alternativa propuesta de llevar la capacidad de embarque de las 800 tph actuales a 1.200, los trabajos si bien son de consideración dado el metraje de correa que se debe cambiar, que se aproxima a casi un kilómetro de correa de embarque, el trabajo es más bien estándar dentro de la industria minera y la actual galería presenta las holguras necesarias para poder realizar el trabajo. Los desafíos se presentan desde el punto de vista logístico de los trabajos y con que no se molesten con otros trabajos en el mismo sector como son levantar galería y mejorar la pluma de embarque, ya que todos estos trabajos deben ser coordinados al mismo tiempo y lugar, por lo cual una falla o demora en uno de ellos puede generar ineficiencias que se reflejarán en retrasos y costos adicionales.
- Ampliación de la Bodega de Almacenamiento de Concentrado de Cobre: es otra ruta crítica, ya que de estos trabajos corresponden el que se pueda acopiar el mineral adicional que produzcan ambas fases. Si bien el terreno presenta las condiciones y el espacio necesario para la expansión de la bodega actual, es muy importante que esta sea realizada en tiempo y acorde a las características ambientales necesarias para la operación de una bodega de este tipo. Por otro lado, el alto costo de hacer una bodega - aprox. 1MM de USD cada 1.000t de acopio – hacen desde el punto de vista económico que la bodega sea uno de los puntos clave a controlar durante la ejecución del proyecto.

Como conclusión general y sobre los extra costos, siempre existe en proyectos de esta magnitud la posibilidad que se generen demoras o retraso en los trabajos, en el caso del puerto es más posible que esto suceda debido a que en invierno se debe trabajar cuando las condiciones climáticas y de mar lo permitan, especialmente en aquellas partes que están en el mar.

Lo anterior no solo afectará los tiempos, sino que también los costos del proyecto, pero dentro del detalle de costos de cada ítem se han considerado contingencias (ver Anexo) asociada a cada una de ellas, que de todas formas se deben ir revisando según los cambios se vayan produciendo en el programa original.

## **IX. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN:**

El programa del proyecto completo muestra una duración en la etapa de construcción de 5,5 meses incluyendo obras previas e instalación de faenas (de aproximadamente medio mes), con un inicio proyectado de las obras en julio de 2019, ya que el proyecto DMC completo considera un programa de trabajo resumido para el año 2019, con un plazo total para el desarrollo del mismo de 12 meses.

Se destacan como actividades principales la ampliación de la planta de filtros, la nueva concentradora y la mejora del sistema de alimentación tolvas (que no son parte de este estudio). Luego, a fines de julio de 2019, los trabajos para la ampliación del edificio de almacenamiento y también en el mismo mes se proyecta el inicio de los trabajos para el emplazamiento de la correa transportadora sobre la galería existente del muelle.

El estudio de navegación se comenzó a realizar a mediados del año 2017 y se espera que esté concluido a mediados de abril del 2018 a fin de presentarlo a la autoridad marítima dentro del primer semestre del 2018 y se espera una respuesta positiva a fines del mismo año.

La fecha de término de las obras para el emplazamiento de la correa sobre la galería y su entrega al terminal se proyecta para mediados de noviembre 2019. Para las obras secundarias de desmontaje de los forros de la galería existente se proyecta su término a comienzos de diciembre del 2019. La ruta crítica del proyecto está compuesta por los trabajos de ampliación del edificio de almacenamiento.

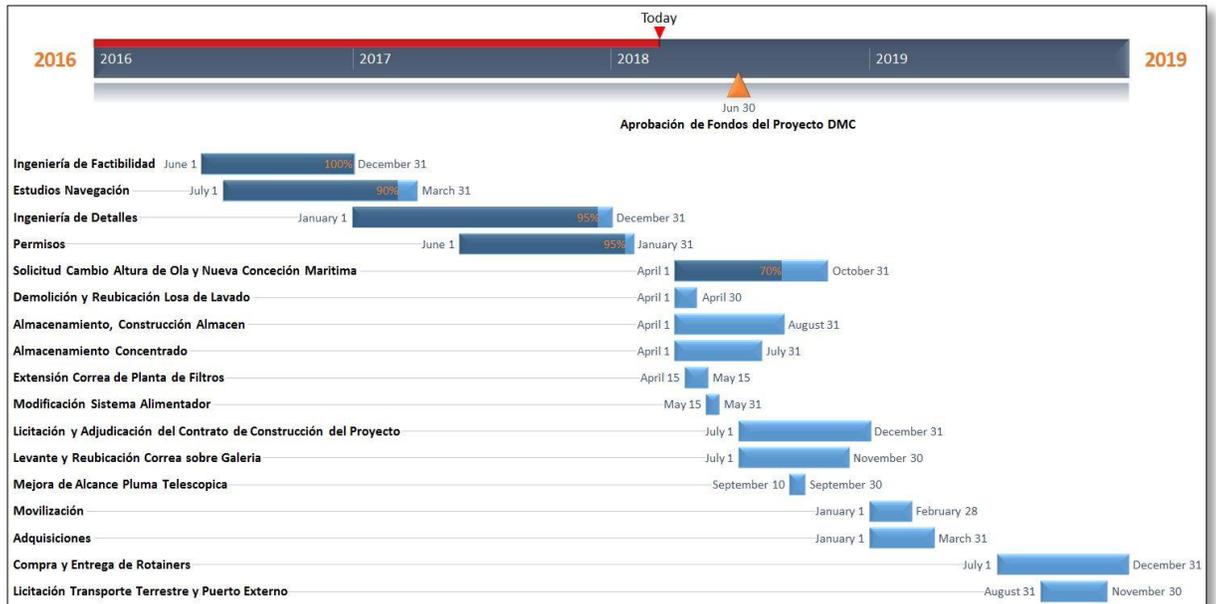
Una segunda línea crítica corresponde a las actividades de habilitación del tramo modificado de galería en el muelle mecanizado correspondiente al emplazamiento de la correa transportadora modificada para 1.200 tph sobre la galería.

En paralelo al trabajo en la galería y debido a que durante dicho trabajo el puerto no estará operativo para embarques, se consideran mejoras a la pluma de carguío y al sistema alimentador.

Además, considerando la propuesta de utilizar Rotainers para una parte de la carga de la primera fase, se considera durante el segundo semestre del año 2019 la compra de los Rotainers, además de hacer la licitación para el transporte entre puertos y la operación portuaria.

A continuación, en la Figura 18, se muestra el programa maestro para las obras del Terminal Marítimo Centinela para la Fase I de expansión. Si bien se considera dentro del plan original que esté listo a fines del año 2019, se tienen en cuenta holguras que harán posible que la construcción final sea a mediados del año 2020, pudiendo hacer una marcha blanca del sistema dentro del segundo semestre del mismo año, especialmente considerando la utilización de un segundo terminal y el uso de Rotainers.

El programa completo considerando la Fase II queda pendiente a futuro, puesto que gran parte de este dependerá de la evolución y puesta en marcha de la Fase I.



**FIGURA N° 19: Programa Maestro Obras Terminal Muelle Centinela Fase I.**

## **X. CONCLUSIONES**

El proyecto de expansión en sus dos fases plantea un desafío mayor para el Terminal Muelle Centinela, su actual estructura y disponibilidad.

Considerando el Objetivo General planteado al comenzar este proyecto sobre analizar y evaluar alternativas de mejoras que consideren las dos fases de expansión de producción de concentrados de cobre, luego de examinar la situación actual del puerto y buscar en el mercado las alternativas que mejor se puedan aplicar a él, se puede observar que el objetivo planteado al comienzo de este proyecto se cumple a cabalidad, dado que se presentan cinco alternativas viables de mejoras, para luego evaluar la mejor combinación de estas que haga más rentable el proyecto de expansión DMC y asegurar la continuidad operacional y económica de Minera Centinela hasta el año 2040.

Para lo anterior fue necesario entender la realidad actual del terminal y de su entorno, para así comprender sus restricciones operacionales tanto de equipos mecánicos como sus variables climáticas. Teniendo en consideración la disponibilidad del muelle debido a las restricciones de marejada, se plantean mejoras al sistema de amarre que permitan al terminal incrementar sus actuales restricciones de operación de altura de ola, aumentando así la disponibilidad del muelle.

Tener mayor disponibilidad y utilización del muelle no solo traerá beneficios para Minera Centinela, sino que también para otras compañías del grupo en donde se puede replicar lo realizado en este puerto, como en Minera Los Pelambres y su puerto Punta Chungo. Además, contar con un puerto más sólido y eficiente podrá dejar preparado a Minera Centinela para otras posibles expansiones, de la misma manera que el trabajar con Rotainer y otro puerto dan una diversificación de riesgo al puerto ante un posible terremoto o maremoto, huelgas y/u otro tipo de eventos externos, sin considerar que desde el punto de vista ambiental la solución es robusta y ya ha sido probada en la misma industria y región.

Luego de presentar las opciones de mejoras por separado y analizar cuáles de éstas se pueden implementar al terminal, dio como resultado una matriz de combinaciones de mejoras que fueron evaluadas económicamente, lo que derivó en dos propuestas concretas que se pueden realizar, en donde fue considerado el uso de otras alternativas de embarque y transporte de los concentrados como son los Rotainers y el desafío logístico que estos traen, que podría ser usado para ambas fases del proyecto.

**Los resultados económicos muestran que con inversiones entorno a los 78 MM USD y costos de operación anuales cercanos a los 23 MM USD se puede cumplir con la primera fase, para luego agregar una nueva inversión cercana a 5 MM USD y costos de operación anuales en torno a**

**35 MM USD para poder viabilizar la Fase II, en donde el gran costo de operación sería el uso de Rotainers por otro puerto.**

Se debe considerar que se plantean desafíos de gestión importantes por el lado del proyecto y posterior operación, debido a que en su conjunto las dos fases sumarán un millón de toneladas adicionales de concentrado para embarcar. Es importante tener en cuenta para futuros estudios, el cómo poder controlar de mejor manera la gestión del proyecto y la operación futura del puerto, considerando también las nuevas alternativas de embarque en Rotainers.

En el análisis de riesgo de las alternativas de mejora que se plantean, al ser muchas de ellas complementarias o depender de avances anteriores, generan un gran desafío al plan de implementación, debido a que atrasos o cambios de éste pueden generar problemas en los plazos del proyecto y la operación actual del muelle. Esto, ya que varias de las alternativas planteadas son mejoras a los actuales equipos de carguío, por lo cual evitar detener la operación del terminal es en sí uno de los grandes desafíos en la implementación, que si bien presenta holguras en su estructura, demoras significativas en alguno de los tiempos generaría retrasos en los procesos siguientes, y perjuicios en la evaluación económica del proyecto completo.

Por último, enfatizar que el Terminal Muelle Centinela es la salida exclusiva que tienen los concentrados de Minera Centinela, por ende, su operación y continuidad operacional son clave para la compañía, ya que esta puede producir mucho mineral, pero si este no es exportado no hay ingresos por ventas. Por esto el muelle es clave en la continuidad operacional de la compañía, tanto en su actualidad como a futuro.

## **GLOSARIO / DEFINICIONES**

**AAMM:** Autoridad Marítima.

**Calado:** es la altura de la parte sumergida del casco o medida vertical tomada desde la quilla hasta la línea de flotación.

**Corridas de un barco:** movimiento a lo largo de este para cambiar el embarque entre distintas bodegas.

**Demurrage:** costo pagable al dueño de un barco arrendado debido a la falla en cargar o descargar el barco en el tiempo acordado.

**Desplazamiento:** Es la masa total del barco. Es también igual al peso del agua desplazada por él, por lo tanto, el desplazamiento es también el peso del barco.

**DMC:** Desarrollo Minera Centinela.

**Eslora:** Es la dimensión de un barco tomada a su largo, desde la proa hasta la popa.

**Hm0:** Altura significativa espectral. Es el parámetro estándar para describir altura de ola. Un parámetro equivalente es H1/3, que corresponde al promedio del tercio superior de un registro de 3 horas de olas.

**Hmax:** Altura máxima de un registro de 3 horas de olas. En general  $H_{max} = (1.6 \sim 2.0) * H_{m0}$

**Km:** Kilómetros.

**kt/d:** Kilo toneladas por día.

**m:** metros

**Manga:** es la anchura del barco.

**Molino SAG:** El molino semiautógeno o molino SAG es un equipo usado en plantas mineras para moler rocas de mineral para reducir su tamaño y hacerlo apto para las etapas siguientes de procesamiento de dicho mineral.

**Mw:** Megawatt.

**Ocupación efectiva:** Porcentaje del tiempo en que el terminal está reservado por un barco.

**Ocupación total:** Suma de la ocupación efectiva más los tiempos en que el puerto está cerrado y sin barcos.

**Springs:** líneas de amarre que actúan en forma paralela al eje del barco.

**Tasa bruta de embarque:** tamaño del embarque dividido por el tiempo en que un barco estuvo atracada en Centinela, incluyendo todos los tiempos muertos (fallas, corridas, otras detenciones, actividades previas al embarque).

**Tasa efectiva de embarque:** cociente entre toneladas totales embarcadas y el tiempo efectivo de embarque, es decir, el tiempo de embarque sin incluir los

tiempos muertos (fallas, corridas, otras detenciones, actividades previas al embarque).

**Tiempo de espera general:** Se producen por otros motivos no especificados.

**Tiempo de espera por disponibilidad de carga:** Se produce porque no hay concentrados suficientes en la bodega para hacer el embarque.

**Tiempo de espera por disponibilidad de sitio:** Se produce debido a que hay otro barco atracada en Centinela (congestión).

**Tiempo de espera por luz de día:** Se produce porque actualmente las maniobras de atraque en Centinela solo se pueden hacer de día.

**Tiempo de espera por oleaje:** Se produce porque la Autoridad Marítima cierra el terminal de Centinela producto de que las condiciones de oleaje superan los límites establecidos.

**Tiempo total en Mejillones/Centinela:** diferencia entre la hora de zarpe y la hora de llegada de un barco a Mejillones. Esto incluye todas las esperas y actividades que realiza el barco en Mejillones y Centinela, incluyendo la navegación entre ambos puntos.

**TM:** Toneladas métricas.

**TMH:** Toneladas métricas húmedas.

**Traveses:** líneas de amarre que actúan en forma perpendicular al eje del barco.

## **BIBLIOGRAFIA**

Simulación de Eventos Discretos del terminal marítimo con el software Simio®, desarrollo realizado en conjunto con Baird & Associates.

Informe Final - Estudio Estratégico Nacional de Accesibilidad y Logística Portuaria: Impacto en la Competitividad, el Uso de Suelo y en la Calidad de Vida Urbana, realizado por CITRA - CONSULTORES EN INGENIERIA DE TRANSPORTE LIMITADA

Extractive Metallurgy of Copper, Mark E. Schlesinger, 5ta Edición, Ed. Elsevier  
Tech Mining, Alan L. Porter, 2da Edición, Ed. Wiley.

Laytime and Demurrage, John Schofield, 6ta Edición, Ed. Informa Law.

Contreras Villablanca, E. y Diez Fuentes, C. (2015). Diseño y evaluación de proyectos. Un enfoque integrado.

## ANEXOS

### ESTIMACION EN DETALLE CAPEX OBRAS ASOCIADAS AL MUELLE:

Descripción Item	Costo	Costo	Contingencia	Total
	USD			
Nuevo Stockpile para 35,000 tons	21,000,000	12,600,000	10,080,000	43,680,000
Nuevo Stockpile para 45,000 tons	24,500,000	14,700,000	11,760,000	50,960,000
Nuevo Stockpile para 50,000 tons	26,300,000	15,780,000	12,624,000	54,704,000
Levantamiento Galería Existente	7,080,000	4,248,000	3,398,400	14,726,400
Extension Stockpile en 50000 t (capacidad final 95000 t)	22,100,000	13,260,000	10,608,000	45,968,000
Extension Stockpile en 45000 t (capacidad final 90000 t)	20,300,000	12,180,000	9,744,000	42,224,000
Extension Stockpile en 40000 t (capacidad final 85000 t)	18,500,000	11,100,000	8,880,000	38,480,000
Extension Stockpile en 35000 t (capacidad final 80000 t)	16,700,000	10,020,000	8,016,000	34,736,000
Extension Stockpile en 10000 t (capacidad final 55000 t)	8,000,000	4,800,000	3,840,000	16,640,000
Modificación Shiploader Existente de 1000 a 1200 tph	550,000	330,000	264,000	1,144,000
Upgrade sistema correas para 1200 tph	1,000,000	600,000	480,000	2,080,000
Nueva correa desde nuevo stockpile sistema existente (L=350m)	3,500,000	2,100,000	1,680,000	7,280,000
Modificación Sistema de amarres existentes (Hmax≤ 2.2 m)	1,000,000		300,000	1,300,000
2° Cargador de Barco Fase II (1200 tph sin shifting)	18,252,000	10,951,200	8,760,960	37,964,160
Upgrade Muelle Existente para 1800 tph	8,333,500	5,000,100	4,000,080	17,333,680
Upgrade Sistema Correas para 1800 tph	3,000,000	1,800,000	1,440,000	6,240,000
Sistema Carguio de Camiones	2,500,000	1,500,000	1,200,000	5,200,000
Nuevo Muelle 2 Centinela	50,000,000	30,000,000	24,000,000	104,000,000
Nuevo Cargador para 1800 tph	9,918,500	5,951,100	4,760,880	20,630,480
Incremento instalaciones Auxiliares y Servicios en el Nuevo Muelle	2,000,000	1,200,000	960,000	4,160,000

### ESTIMACION ESCENARIOS FASE 1:

Fase 1	Descripción Item	Costo	Costo	Contingencia	Total
		Directo	Indirecto		
		USD			
Fase 1	Nuevo Stockpile para 45,000 tons	24,500,000	14,700,000	11,760,000	50,960,000
Fase 1	Modificación Shiploader Existente de 1000 a 1200 tph	550,000	330,000	264,000	1,144,000
Fase 1	Levantamiento Galería Existente	7,080,000	4,248,000	3,398,400	14,726,400
Fase 1	Upgrade sistema correas para 1200 tph	1,000,000	600,000	480,000	2,080,000
Fase 1	Nueva correa desde nuevo stockpile sistema existente (L=350m)	3,500,000	2,100,000	1,680,000	7,280,000
Fase 1	Modificación Sistema de amarres existentes (Hmax≤ 2.2 m)	1,000,000	0	300,000	1,300,000
	<b>TOTAL CAPEX FASE 1</b>	<b>37,630,000</b>	<b>21,978,000</b>	<b>17,882,400</b>	<b>77,490,400</b>
Fase 1	Descripción Item	Costo	Costo	Contingencia	Total
		USD			
Fase 1	Nuevo Stockpile para 50,000 tons	26,300,000	15,780,000	12,624,000	54,704,000
Fase 1	Levantamiento Galería Existente	7,080,000	4,248,000	3,398,400	14,726,400
Fase 1	Nueva correa desde nuevo stockpile sistema existente (L=350m)	3,500,000	2,100,000	1,680,000	7,280,000
Fase 1	Modificación Sistema de amarres existentes (Hmax≤ 2.2 m)	1,000,000	0	300,000	1,300,000
	<b>TOTAL CAPEX FASE 1</b>	<b>37,880,000</b>	<b>22,128,000</b>	<b>18,002,400</b>	<b>78,010,400</b>

## ESTIMACION ESCENARIOS FASE 2:

### RESUMEN CAPEX FASE 1 Y 2:

CAPEX	F1-1000S-H	F1-1200S-B	F1-1200S-E						
<b>Fase 1</b>									
Capex Fase 1	MUS\$	78,010	77,490	77,490					
CAPEX	F2-1200S-H	F2-1200S-B	F2-1200N-B	F2-1200S-E	F2-1200S-E*	F2-1200N-E	F2-1800N-B	F2-1800N-E	
<b>Fase 2</b>									
Capex Fase 2	MUS\$	45,968	42,224	76,444	45,968	5,200	80,188	78,940	82,684

### EVALUACIÓN CAPEX FASE 1:

EVALUACION CAPEX						Fase 1		Distribución Capex Tiempo				
	Unidad	2018	2019	2020	2021			2018	2019	2020	2021	
<b>F1-1000S-H</b>												
Capex	MUS\$	0,0	15,6	31,2	31,2	78,0		0,00	0,20	0,40	0,40	
Factor Actualización (i = 8%, Año 0 = 2017)	/1	0,93	0,86	0,79	0,74							
Capex Total (Año 2017)	MUS\$	0,0	13,4	24,8	22,9							
Capex Total Actualizado Año 2017	MUS\$	61,1										
<b>F1-1200S-B</b>												
Capex	MUS\$	0,0	15,5	31,0	31,0	77,5						
Factor Actualización (i = 8%, Año 0 = 2017)	/1	0,93	0,86	0,79	0,74							
Capex Total (Año 2017)	MUS\$	0,0	13,3	24,6	22,8							
Capex Total Actualizado Año 2017	MUS\$	60,7										
<b>F1-1200S-E</b>												
Capex	MUS\$	0,0	15,5	31,0	31,0	77,49						
Factor Actualización (i = 8%, Año 0 = 2017)	/1	0,93	0,86	0,79	0,74							
Capex Total (Año 2017)	MUS\$	0,0	13,3	24,6	22,8							
Capex Total Actualizado Año 2017	MUS\$	60,7										

# EVALUACIÓN CAPEX FASE 2:

## OPEX FASE 1:

OPEX		Unidad	Total	Prom	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Factor Actualización (i = 8%, Año 0 = 2017)		%			0,857	0,794	0,735	0,681	0,630	0,583	0,540
Producción Concentrado Cobre		kton					651	967	1.193	1.202	948
Concentrado Cobre (8,5% humedad)		ktmh					712	1.056	1.304	1.314	1.036
<b>Escenario F1-1000S-H</b>											
Demurrage anual		MUS\$	22,5		0,0	0,0	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
Costo Puerto		MUS\$	57,6		0,0	0,0	12,1	18,0	22,2	22,3	17,6
Costos Actualizados		MUS\$	<b>80,2</b>	<b>25,5</b>	0,0	0,0	19,2	25,1	29,3	29,4	24,7
<b>Escenario F1-1200S-B</b>											
Demurrage anual		MUS\$	15,4		0,0	0,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Costo Puerto		MUS\$	57,6		0,0	0,0	12,1	18,0	22,2	22,3	17,6
Costos Actualizados		MUS\$	<b>73,0</b>	<b>23,3</b>	0,0	0,0	16,9	22,8	27,0	27,2	22,5
<b>Escenario F1-1200S-E</b>											
Demurrage anual		MUS\$	12,6		0,0	0,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Costo Puerto		MUS\$	57,6		0,0	0,0	12,1	18,0	22,2	22,3	17,6
Costos Actualizados		MUS\$	<b>70,24</b>	<b>22,41</b>	0,0	0,0	16,1	21,9	26,2	26,3	21,6

## OPEX FASE 2:

OPEX		Unidad	Total	Prom.	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040		
Factor Actualización (i = 8%, Año 0 = 2017)		%			0,857	0,794	0,735	0,681	0,630	0,583	0,540	0,500	0,463	0,429	0,397	0,369	0,340	0,315	0,292	0,270	0,250	0,232	0,215	0,199	0,184	0,170		
Producción Concentrado Cobre		kton								1543	1395	1577	1611	1568	1615	1573	1597	1546	1376	1287	1394	1330	1391	1391	1391	1369		
Concentrado Cobre (8,5% humedad)		ktmh								1687	1593	1723	1761	1714	1785	1720	1746	1688	1504	1406	1524	1440	1502	1502	1502	1469		
<b>Escenario F2-1200S-H</b>																												
Demurrage anual		MUS\$	53,3		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Costo Puerto		MUS\$	143,8		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,7	25,7	29,3	29,9	29,1	30,0	29,2	29,7	28,7	25,6	23,9	25,9	24,5	22,1	22,3		
Costos Actualizados		MUS\$	<b>295,1</b>	<b>34,8</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,1	36,2	39,7	40,4	39,6	40,4	39,7	40,1	39,1	36,0	34,3	36,3	34,9	32,8	32,7		
<b>Escenario F2-1200S-B</b>																												
Demurrage anual		MUS\$	46,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	
Costo Puerto		MUS\$	143,8		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,7	25,7	29,3	29,9	29,1	30,0	29,2	29,7	28,7	25,6	23,9	25,9	24,5	22,1	22,3		
Costos Actualizados		MUS\$	<b>195,8</b>	<b>32,5</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,8	33,9	37,4	38,0	37,2	38,1	37,3	37,8	36,8	33,7	32,0	34,6	32,6	30,2	30,3		
<b>Escenario F2-1200S-E</b>																												
Demurrage anual		MUS\$	40,7		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1		
Costo Puerto		MUS\$	143,8		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,7	25,7	29,3	29,9	29,1	30,0	29,2	29,7	28,7	25,6	23,9	25,9	24,5	22,1	22,3		
Costos Actualizados		MUS\$	<b>188,5</b>	<b>31,6</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,8	32,9	36,4	37,1	36,3	37,1	36,4	36,8	35,8	32,7	31,1	33,0	31,6	29,3	29,4		
<b>Escenario F2-1200S-E</b>																												
Demurrage anual		MUS\$	38,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7		
Costo Puerto		MUS\$	143,8		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,7	25,7	29,3	29,9	29,1	30,0	29,2	29,7	28,7	25,6	23,9	25,9	24,5	22,1	22,3		
Costos Actualizados		MUS\$	<b>187,8</b>	<b>31,1</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,4	32,4	36,0	36,6	35,8	36,7	35,9	36,4	35,4	32,3	30,6	32,6	31,2	28,8	28,9		
<b>Escenario F2-1200N-E</b>																												
Demurrage anual		MUS\$	33,3		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9		
Costo Puerto		MUS\$	143,8		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,7	25,7	29,3	29,9	29,1	30,0	29,2	29,7	28,7	25,6	23,9	25,9	24,5	22,1	22,3		
Costos Actualizados		MUS\$	<b>183,2</b>	<b>30,3</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,5	31,6	35,2	35,8	35,0	35,9	35,1	35,5	34,6	31,4	29,8	31,8	30,3	28,0	28,1		
<b>Escenario F2-1800N-B</b>																												
Demurrage anual		MUS\$	33,1		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9		
Costo Puerto		MUS\$	143,8		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,7	25,7	29,3	29,9	29,1	30,0	29,2	29,7	28,7	25,6	23,9	25,9	24,5	22,1	22,3		
Costos Actualizados		MUS\$	<b>182,9</b>	<b>30,2</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,5	31,5	35,1	35,7	35,0	35,8	35,1	35,5	34,5	31,4	29,7	31,7	30,3	28,0	28,1		
<b>Escenario F2-1800N-E</b>																												
Demurrage anual		MUS\$	27,7		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9		
Costo Puerto		MUS\$	143,8		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,7	25,7	29,3	29,9	29,1	30,0	29,2	29,7	28,7	25,6	23,9	25,9	24,5	22,1	22,3		
Costos Actualizados		MUS\$	<b>177,5</b>	<b>28,3</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,5	30,5	34,2	34,8	34,0	34,8	34,1	34,5	33,6	30,4	28,8	30,8	29,4	27,0	27,1		

RESUMEN VAC:

VAC ACTUALIZADO EMBARQUE CONCENTRADO FASE 1				
ITEMS	Unidad	F1-1000S-H	F1-1200S-B	F1-1200S-E
Aumento Capacidad Stockpile	ton	50.000	45.000	45.000
Tiempo Estadía Mejillones-Centinel	dias	25,8	21,9	21,6
CAPEX Fase 1	MUS\$	61,1	60,7	60,7
OPEX				
Demurrage	MUS\$	22,54	15,37	12,61
Costo Puerto	MUS\$	57,63	57,63	57,63
OPEX Fase 1	MUS\$	80,17	73,00	70,24
<b>VAC TOTAL Fase 1</b>	<b>MUS\$</b>	<b>141,3</b>	<b>133,7</b>	<b>130,9</b>

Costo Embarque Puerto		
Puerto Centinela	17,00	US\$/th
Puerto Angamos	19,00	US\$/th

VAC ACTUALIZADO EMBARQUE CONCENTRADO FASE 2									
ITEMS	Unidad	F2-1200S-H	F2-1200S-B	F2-1200N-B	F2-1200S-E	F2-1200S-E'	F2-1200N-E	F2-1800N-B	F2-1800N-E
Aumento Capacidad Stockpile	ton	95.000	90.000	85.000	95.000	45.000	90.000	80.000	85.000
Tiempo Estadía Mejillones-Centinel	dias	31,7	29,1	25,0	28,4	21,6	24,3	20,1	20,6
CAPEX Fase 2	MUS\$	25,5	23,5	42,5	25,5	8,2	44,5	43,8	45,9
OPEX Fase 2									
Demurrage	MUS\$	59,3	46,0	40,7	38,0	22,6	33,3	33,1	27,7
Transporte	MUS\$					16,0			
Costo Puerto	MUS\$	149,82	149,82	149,82	149,82	171,2	149,82	149,82	149,82
OPEX Total Fase 2	MUS\$	209,1	195,8	190,5	187,8	209,9	183,2	182,9	177,5
<b>VAC TOTAL (antes Impuesto)</b>	<b>MUS\$</b>	<b>234,7</b>	<b>219,3</b>	<b>232,9</b>	<b>213,4</b>	<b>218,1</b>	<b>227,7</b>	<b>226,8</b>	<b>223,4</b>

VAC ACTUALIZADO EMBARQUE CONCENTRADO FASE I (F1-1200S-E) + FASE II									
ITEMS	Unidad	F2-1200S-H	F2-1200S-B	F2-1200N-B	F2-1200S-E	F2-1200S-E'	F2-1200N-E	F2-1800N-B	F2-1800N-E
Aumento Capacidad Stockpile	ton	95.000	90.000	85.000	95.000	45.000	90.000	80.000	85.000
Tiempo Estadía Mejillones-Centinel	dias	31,7	29,1	25,0	28,4	21,6	24,3	20,1	20,6
CAPEX Fase I + Fase II	MUS\$	86,2	84,1	103,1	86,2	68,9	105,2	104,5	106,6
OPEX Fase I + Fase II	MUS\$	279,4	266,1	260,7	258,1	280,2	253,4	253,2	247,8
<b>VAC TOTAL Fase I + Fase II</b>	<b>MUS\$</b>	<b>365,6</b>	<b>350,2</b>	<b>363,9</b>	<b>344,3</b>	<b>349,0</b>	<b>358,6</b>	<b>357,7</b>	<b>354,4</b>

Opciones		Tiempo Estadia Mejillones-Centinela		CAPEX Total	OPEX Total	VAC	Delta VAC
		días		(act. 2017)	(act. 2017)	(act. 2017)	
Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2	MUSD	MUSD	MUSD	MUSD
F1-1200S-E	F2-1200S-H	22	32	86,2	279,4	365,6	16,6
	F2-1200S-B	22	29	84,1	266,1	350,2	1,2
	F2-1200N-B	22	25	103,1	260,7	363,9	14,8
	F2-1200S-E	22	28	86,2	258,1	344,3	4,7
	F2-1200S-E (g)	22	22	68,9	280,2	349,0	-
	F2-1200N-E	22	24	105,2	253,4	358,6	9,6
	F2-1800N-E	22	21	106,6	247,8	354,4	5,3

La opción de menor costo es:

Fase 1: Llevar capacidad de embarque a 1200 tph, aplicar vector de embarque Base o Estresado y aumentar capacidad stockpile en 45 kton.

Fase 2: Mantener capacidad de embarque en 1200 tph y stockpile de Fase 1, e implementar sistema de carguío de camiones para transportar en contenedores saldo de concentrados a Mejillones.

## CAPEX Y OPEX TRANSPORTE CON CAMIONES (ROTAINERS) FUERA CEN

El puerto recibe carga desde las 8:00 hrs hasta las 22:00 hrs de lunes a viernes y de 8:00 hrs a 12:00 hrs los sábados. / Domingo no reciben carga.

ITEM	VALOR	UN
Valor Camión/Mes =	20,000	US\$
Hrs /Día cosideradas =	12	HH/dia
Carga por Camión =	27	Ton
Vueltas consideradas de un camión/día=	3	Vueltas-Dia/camion
Cantidad de contenedores considerados según Angamos para asegurar embarque de 20kton	850	Un
P. Unitario Contenedor=	8,400	US\$
Costo P. Angamos=	19	US\$/ton
Equipos de apoyo carguío=	85,000	US\$
Días Habiles por año	280	Dias/Año

CAPEX Diferido Año 26	CAPEX Diferido Año 36
<b>TotalUS\$</b>	<b>TotalUS\$</b>
7,225,000	7,225,000
Valores incluido en Ev. Ev Capex Fase 2	