



Utilización de dragas tipo cortador – succión en faenas portuarias y su factibilidad en el Puerto de San Antonio

Sebastián Contreras Ríos



INDICE

1. Introducción
2. Motivación para realizar este trabajo
3. Objetivos
4. Breve marco teórico
5. Alternativas
6. Resultados del estudio
7. Conclusiones y recomendaciones



1. INTRODUCCIÓN

- El 90 por ciento de la economía chilena se basa en el transporte marítimo.
- Los puertos chilenos se han visto forzados a introducir mejoras y ampliaciones sustanciales a sus instalaciones con el fin de mantener niveles de operación competitivos y acordes a los estándares internacionales.
- Las obras de dragado han cobrado suma importancia en los procesos de expansión y acondicionamiento en los puertos que operan actualmente en nuestro país.



1. INTRODUCCIÓN

- En ese contexto, el Puerto de San Antonio (EPSA), a pesar de ser el principal terminal marítimo de nuestro país, en términos de toneladas/año de carga transferida, ha decidido ampliarse para las demandas futuras del mercado. Es por ello, que necesita dragar cerca de 1 millón 500 mil metros cúbicos de material, distribuidos entre el sector costanera y el sector sitio 1.





2. MOTIVACIÓN DE ESTE TRABAJO



3. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la factibilidad técnica y económica de dragar los sectores Costanera y Sitio 1 del puerto de San Antonio con una draga tipo cortador – succión.



3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar distintos tipos de desecho de material removido en función de su practicidad y conveniencia económica.
- Definir e identificar factores de interferencia críticos entre la obra de dragado y la operación del puerto.
- Evaluación económica de las alternativas de desecho del material removido, estimación de gastos capitales y costos operacionales (CAPEX y OPEX), a nivel de ingeniería de perfil.



4. MARCO TEÓRICO

- Tipos de dragas
 - ✓ Dragas mecánicas
 - ✓ Dragas hidráulicas
 - ✓ Dragas combinadas
- Hidráulica clásica
 - ✓ Transporte por tuberías en presión
- Transporte hidráulico de sólidos
 - ✓ Modelos de fricción
 - ✓ Modelos de velocidad límite
- Mecánica de suelos



5. ALTERNATIVAS

- **EL PROBLEMA:**
 - ✓ Remover 1 millón 500 mil m³ de sedimento.
- **LAS ALTERNATIVAS:**
 - ✓ Desecho del material removido mediante el uso de barcazas de apoyo.
 - ✓ Descarga en emisario.



6. RESULTADOS

Datos Zona Sitio 1

| Datos Generales de Proceso - Zona Sitio 1 | | |
|--|--------------|------------------------|
| Volumen total | 438,347 | m ³ |
| Porcentaje a remover | 100 | % |
| Volumen a remover | 438,347 | m ³ |
| Concentración en peso material in-situ | 85 | % |
| Gravedad específica del sólido (valor típico de la sílice) | 2.4 | t/m ³ |
| Tonelaje total a remover | 739,031 | t |
| Caudal medio dragado | 360 | l/s |
| Caudal medio dragado | 1,296 | m³/h |
| Concentración en peso promedio draga | 30 | % |
| Concentración en volumen promedio draga | 15.2 | % |
| Densidad promedio draga | 1.21 | t/m ³ |
| Tonelaje nominal | 471.3 | tph |
| Factor de utilización | 32 | % |
| Horas de operación diaria | 16 | h |
| Tonelaje diario | 2,412.90 | t |
| Plazo requerido | 306.3 | d |
| Plazo requerido | 10.21 | m |

Datos Zona Costanera

| Datos Generales de Proceso - Zona Sector Costanera | | |
|--|--------------|------------------------|
| Volumen total | 752,947 | m ³ |
| Porcentaje a remover | 100 | % |
| Volumen a remover | 752,947 | m ³ |
| Concentración en peso material in-situ | 85 | % |
| Gravedad específica del sólido (valor típico de la sílice) | 2.4 | t/m ³ |
| Tonelaje total a remover | 1,269,431 | t |
| Caudal medio dragado | 360 | l/s |
| Caudal medio dragado | 1,296 | m³/h |
| Concentración en peso promedio draga | 30 | % |
| Concentración en volumen promedio draga | 15.2 | % |
| Densidad promedio draga | 1.21 | t/m ³ |
| Tonelaje nominal | 471.3 | tph |
| Factor de utilización | 32 | % |
| Horas de operación diaria | 16 | h |
| Tonelaje diario | 2,412.90 | t |
| Plazo requerido | 526.1 | d |
| Plazo requerido | 17.54 | m |



6.1. RESULTADOS BARCAZAS

■ Dimensiones de la nave de apoyo:

| | | | |
|--------------------------|---|-------|-------------------|
| ✓ Eslora | : | 61,80 | [m] |
| ✓ Manga | : | 13,80 | [m] |
| ✓ Calado | : | 4,80 | [m] |
| ✓ Volumen útil (cántara) | : | 950 | [m ³] |
| ✓ Veloc de navegación | : | 9 | [knts] |



6.1. RESULTADOS BARCAZAS (cont.)

Ciclo de dragado con barcaza de apoyo

| | | |
|-------------------------|-------|-------------------|
| Volumen barcaza | 950 | m ³ |
| Caudal llenado | 1.296 | m ³ /h |
| Tiempo llenado | 44 | min |
| Distancia a vertimiento | 3 | millas |
| Distancia a vertimiento | 5600 | m |
| Velocidad barcaza | 9 | nudos |
| Velocidad barcaza | 4.5 | m/s |
| Tiempo viaje ida | 20,74 | min |
| Tiempo viaje vuelta | 20,74 | min |
| Tiempo vaciado | 15 | min |
| Tiempo mínimo ciclo | 100 | min |
| Tiempo ciclo | 2 | h |

- Si se tiene el ciclo de dragado definido, utilizando una barcaza el tiempo total del proceso de dragado – desecho es de:
 - **27,75** meses para una barcaza.
 - **16,75** meses para 2 barcazas.



6.1.1 RESULTADOS EVALUACIÓN ECONÓMICA BARCAZAS DE APOYO

Costos asociados a una nave de apoyo

| Item | Cantidad | Costo unitario | Costo total | |
|------------------------------|----------|----------------|-------------|-----|
| Movilización/Desmovilización | 2 | 1.500.000 | 3.000.000 | USD |
| Arriendo | 833 | 9.150 | 7.617.375 | USD |
| Tripulación | 18 | 1.600 | 799.200 | USD |
| Combustible | 9.990 | 563.025 | 11.249.244 | USD |
| TOTAL | gl | -- | 22.665.819 | USD |

Costos asociados a 2 naves de apoyo

| Item | Cantidad | Costo unitario | Costo total | |
|------------------------------|----------|----------------|-------------|-----|
| Movilización/Desmovilización | 4 | 1.500.000 | 6.000.000 | USD |
| Arriendo | 503 | 18.300 | 9.195.750 | USD |
| Tripulación | 36 | 1.600 | 964.800 | USD |
| Combustible | 9.990 | 1.126.050 | 22.498.487 | USD |
| TOTAL | gl | -- | 38.659.037 | USD |



6. 2. RESULTADOS EMISARIO

- Para el caso de la descarga del material mediante un emisario, los datos para el cálculo de éste son los siguientes (el balance de materiales es el mismo):

| | | |
|-------------------------------|---|---------------------------------------|
| ▪ Diámetro de tubería | : | 400 [mm] |
| ▪ Material | : | HDPE PE100 PN16 |
| ▪ Flanges | : | 400 [mm] |
| ▪ Clase ANSI | : | #150 |
| ▪ Densidad del líquido | : | 1,025 [t/m ³] |
| ▪ Densidad de los sólidos | : | 2,4 [t/m ³] |
| ▪ Concentración en peso | : | 30% con variación +/- 5% |
| ▪ Diámetro característico d50 | : | 0,04 [mm] |
| ▪ Viscosidad | : | 0,010 [Pa.s] |
| ▪ Tensión de fluencia | : | 5,0 [Pa] |
| ▪ Tonelaje nominal | : | 471,3 [TMPH] con variación +/- 15% |



6.2. RESULTADOS EMISARIO (cont.)

Datos operacionales

| Escenario | Tonelaje | Concentración | Caudal |
|-----------|----------|---------------|---------------------|
| [] | [tmph] | [%] | [m ³ /s] |
| Mínimo | 406.2 | 30 | 0.21 |
| Medio | 477.9 | 30 | 0.36 |
| Máximo | 549.6 | 30 | 0.41 |

Características de la operación hidráulica

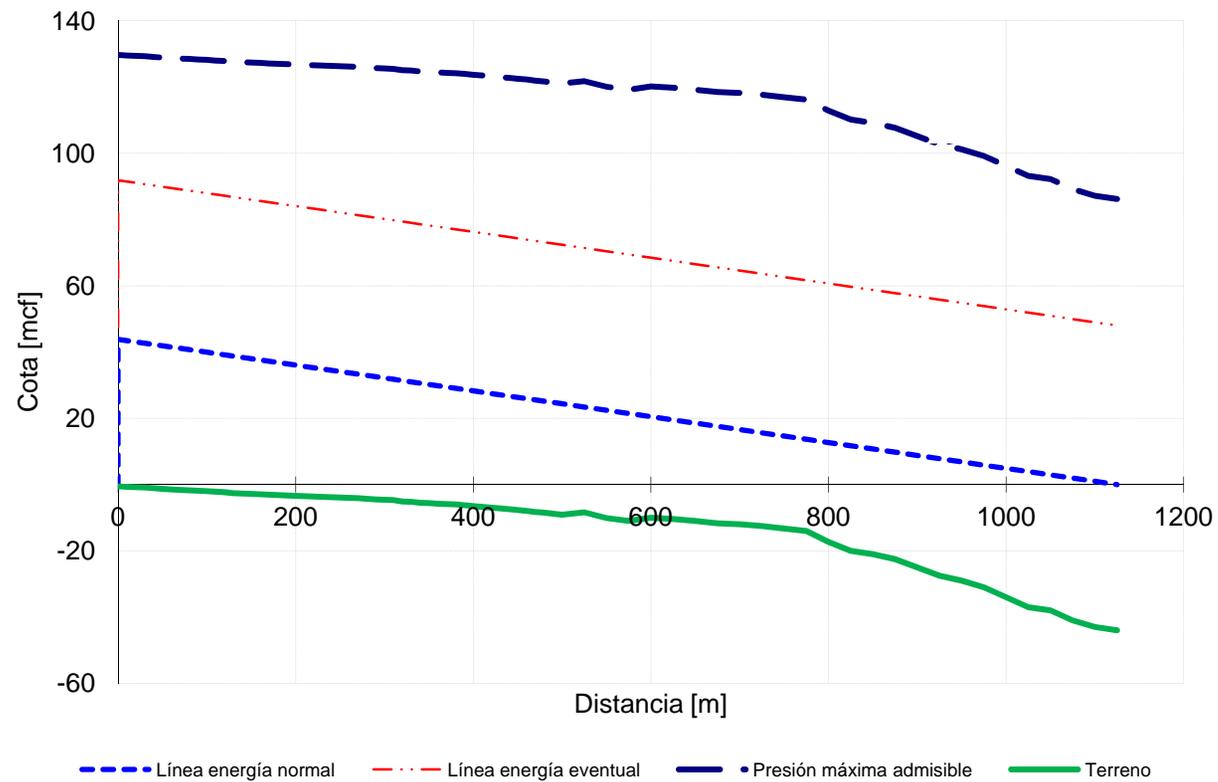
| Escenario | Caudal | Velocidad Escorrimento | Velocidad Límite Durand - Rayo | Diferencia Cota | TDH requerido |
|-----------|---------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|
| [] | [m ³ /s] | [m/s] | [m/s] | [m] | [m.c.p.] |
| Mínimo | 0.21 | 3.82 | 3.33 | -44 | 31 |
| Medio | 0.36 | 3.71 | 3.36 | -44 | 41 |
| Máximo | 0.41 | 3.60 | 3.40 | -44 | 53 |

- Para descargar el caudal requerido se necesitan 827 HP instalados, lo que resulta en una bomba centrífuga de 850 HP para cubrir todos los rangos de operación del emisario.
- Realizando el mismo balance total para ambos sitios, con las condiciones operacionales definidas en los párrafos anteriores, se tiene que el tiempo total de dragado con esta opción es de **10,45 meses**.



6.2. RESULTADOS EMISARIO (cont.)

Perfil Hidráulico de Descarga en Emisario





6.2.1 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL EMISARIO

Costos asociados a la tubería de descarga desde draga a cajón

| Descripción | Unidad | Cantidad | Suministros | Total |
|------------------------------------|--------|----------|-------------|-------|
| | | | \$/un | |
| Cañerías HDPE 400 mm PN16/PE100 | gl | 50 | 85 | 4,248 |
| Flange 400 mm #ANSI 150 | gl | 50 | 115 | 5,760 |
| Stub End | gl | 50 | 38 | 1,920 |
| Flotadores | gl | 50 | 70 | 3,500 |

Costos asociados a la tubería de emisario

| Descripción | Unidad | Cantidad | Suministros | Total |
|------------------------------------|--------|----------|-------------|---------|
| | | | \$/un | |
| Cañerías HDPE 400 mm PN16/PE100 | gl | 200 | 85 | 16,992 |
| Flange 400 mm #ANSI 150 | gl | 200 | 115 | 23,040 |
| Stub End | gl | 200 | 38 | 7,680 |
| Lastres | gl | 350 | 70 | 24,500 |
| Generador 2.5 KVA | gl | 1 | 1,000 | 1,000 |
| Diesel Draga | lt | 41,866 | 1 | 492,647 |



6.3. EN RESUMEN

- Las características batimétricas de ambos sectores permiten establecer un rango de operación y movimiento de la draga, que aseguran que el cortador alcance todos los puntos que deben ser dragados.
- La mecánica de suelos de ambos sectores permite definir rangos de procesos que aseguran continuidad operacional.
- Lo anterior en conjunto con la acción del cabezal cortador de la draga son fundamentales a la hora de definir la concentración en peso. En este caso se definió en 30% con una variación de $\pm 5\%$.
- Los factores medioambientales como oleaje, viento, mareas y corrientes no juegan un rol significativo en la continuidad operacional de la draga.



6.3. RESUMEN (cont.)

- Los datos de concentración en peso, concentración volumétrica y densidad de la mezcla fueron definidos de manera conservadora.
- El operador de la draga debe asegurar la mayor cantidad de tiempo concentraciones en peso superiores a 30 %, valores menores aumentan considerablemente los tiempos de dragado.
- La definición de los métodos de avance debe estar estrechamente ligada al plan de recaladas y operación del puerto.
- Para evitar el riesgo de remoción en masa es necesario mantener un talud de dragado conservador, en este caso 2H:1V.
- Se debe mantener cuidado con los riesgos de socavación por efectos de las hélices de las naves.



6.3. RESUMEN (cont.)

- Para la evaluación de modelos matemáticos es fundamental contar con una granulometría real y actualizada.
- Los modelos de velocidad límite arrojaron resultados coherentes y todos dentro del mismo rango, no hay desviaciones de órdenes de magnitud entre ellos.
- El uso de un emisario es técnicamente factible y económicamente mucho más conveniente que el uso de barcazas de apoyo.



7. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

- Debido a la cantidad de material sedimentario que es necesario sacar de la dársena, el equipo de corte – succión es mejor opción que una draga mecánica por la eficiencia y eficacia que estas presentan.
- Los modelos clásicos de mecánica de suelos sirven de manera adecuada para realizar evaluaciones técnicas en este tipo de suelo.
- Debido a que Chile no cuenta con una normativa de dragado, es necesario que las evaluaciones para las obras de dragado se realicen acorde a alguna norma afín.
- Los modelos de transporte hidráulico de sólidos han probado ser bastantes útiles y tener buenos ajustes para la evaluación de obras de repulpeo del material sedimentario presente en el puerto.



7. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

- Se recomienda, para el diseño de sistemas hidráulicos que transporten material grueso ocupar modelos que arrojen valores conservadores. Mientras que para material fino y cohesivo, se debe generar un alto grado de fluidización del material del fondo con cortador de la draga.
- Los sistemas hidráulicos siempre deberán apuntar a trabajar en presión para evitar riesgos de embanque y rotura.
- Es necesario realizar modelaciones físicas o matemáticas para determinar la distribución de la pluma de sedimentos.



7. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

- La determinación del costo del metro cúbico de material dragado debe ser estimado luego de tener experiencia en remoción de distintos tipos de materiales.
- Finalmente, es posible decir que las dragas de corte – succión son instrumentos útiles para remover grandes volúmenes de material por su alta efectividad.



Utilización de dragas tipo cortador – succión en faenas portuarias y su factibilidad en el Puerto de San Antonio