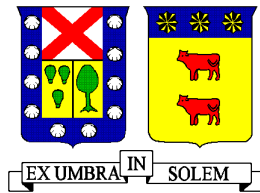


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



DISEÑO DE PLAN DE MANEJO SUSTENTABLE DE MANTENIMIENTO
DE LOS TRANQUES CORDILLERANOS LA OLA Y JUNCAL
CODELCO CHILE - DIVISION SALVADOR

Memoria de titulación presentada por
JULIÁN ANDRES MEDRANO PALOMO

Como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Profesor Guía
VICTOR CARVAJAL GONZALEZ
Profesor Co-referente
PATRICIO CATALÁN MONDACA

Julio 2017

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Beatriz y Julián, a quienes quizás nunca les he dicho cuanto los admiro y quiero.

A mis hermanos Mauricio y Carolina, las dos primeras personas que quizás ame tanto como a mis padres.

A mis abuelos Sergio y Dita, ejemplo de honestidad y respeto.

A mis hermanos de vida que esta hermosa Universidad puso en mi camino, Rodolfo, Ricardo, Lucho, Peto, Gustavo, Levi, Mario, Simone, Huaso y Fu.

En especial a mi familia, la que estoy formando con Camila y Mateo, que son mi felicidad.

RESUMEN

La mayor fuente de abastecimiento de agua industrial para el desarrollo de los procesos mineros ejecutados por la División Salvador, son los tranques La Ola y Juncal. Hoy en día estos tranques presentan problemas de operación, producidos principalmente por la acumulación de sedimento en su interior, que resta capacidad de almacenamiento y pone en riesgo la continuidad del servicio de agua industrial.

La presente memoria consiste en determinar la mejor alternativa técnica y económica, para realizar la extracción del sedimento de los tranques La Ola y Juncal, junto con desarrollar un plan de manejo y mantención, sustentable en el tiempo, que evite que se vuelvan a embancar. Para lograr lo anterior, se realizaron campañas en terreno, que permitieron definir la condición actual en la que se encuentran los tranques cordilleranos, obtener muestras del sedimento embancado, medir parámetros hidráulicos de interés, e identificar las principales fuentes de generación del sedimento. Además se recopilaron los antecedentes necesarios en los archivadores de la División Salvador, y se realizó la revisión bibliográfica correspondiente para el desarrollo de esta memoria.

La memoria consta de seis capítulos, en los que se estudiaron distintos tópicos. El primero es un capítulo de introducción, en donde se presentan los objetivos, alcances y la metodología utilizada. En el segundo capítulo se describen las condiciones de sitio, las características principales y el estado de conservación de los tranques La Ola y Juncal. En el tercer capítulo se analizan tres alternativas para la extracción de los sedimentos acumulados al interior de los tranques, y seleccionó la mejor, tomando en cuenta criterios técnicos y económicos. El cuarto capítulo nace de un requerimiento particular por parte de DSAL, que solicita estimar el tiempo medio de embancamiento de los tranques. En consecuencia se realiza un análisis conceptual del arrastre de sedimentos en el río La Ola y se determina el gasto sólido promedio. El quinto capítulo corresponde al desarrollo del plan de manejo y mantención para los tranques La Ola y Juncal, este plan y el conjunto de medidas que conlleva, permite dar solución a los problemas de acumulación de sedimento en los tranques y evitar que se vuelvan a embancar. El capítulo final de esta memoria corresponde a las conclusiones, las cuales se desarrollan en función de los objetivos planteados en el primer capítulo y según los resultados obtenidos en el desarrollo de esta memoria.

ABSTRAC

The largest source of industrial water supply for the mining processes carried out by Salvador Division of CODELCO (DSAL), are the La Ola and Juncal reservoirs. Nowadays these reservoirs present operational problems, produced mainly by the accumulation of sediments, occupying part of the water storage capacity and putting at risk the continuity of the industrial water supply.

This report consists of determining the best technical and economic alternative for the extraction of sediment from the La Ola and Juncal reservoirs, together with the development of a management and maintenance plan, sustainable over time, that will prevent them from being filled with sediments again. Field measurement campaigns were carried out to define the present condition of the Andean reservoirs, to obtain samples of the sediment, to measure hydraulic parameters of interest, and to identify the main sources of sediment. In addition, the necessary records were compiled from the archives of DSAL, and a corresponding bibliographic review was carried out to develop this report.

The report consists of six chapters where different topics were studied. The first is an introductory chapter, where the objectives, scope and methodology used are presented. The second chapter describes the site conditions, the main characteristics and the state of conservation of the La Ola and Juncal reservoirs. In the third chapter, three alternatives for the extraction of sediments accumulated in the reservoirs are analyzed, and the best alternative is selected, considering technical and economic criteria. The fourth chapter addresses a requirement of DSAL, which requests to estimate the average time required for the reservoirs to be re-filled with sediments. Therefore, a conceptual analysis of sediment trawling is carried out for La Ola river and the average solid flow rate is determined. The fifth chapter corresponds to the development of the management and maintenance plan for La Ola and Juncal reservoirs. The implementation of this plan and the set of measures that it entails, give solution to the problems of sediment accumulation in the reservoirs and help to avoid that they are re-filled with sediments over time. The final chapter of this report corresponds to the conclusions, which are developed according to the objectives set forth in the first chapter and according to the results obtained in the development of this report.

CONTENIDOS

1	INTRODUCCION.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.2	ALCANCES.....	3
1.3	METODOLOGIA.....	4
1.4	ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	5
2	ANTECEDENTES GENERALES.....	6
2.1	ANTECEDENTES GENERALES DE CODELCO – CHILE, DIVISIÓN SALVADOR.....	7
	2.1.1 Proceso productivo.....	7
	2.1.2 Servicio de agua industrial	8
	2.1.3 Oferta y demanda de agua industrial	9
2.2	CONDICIONES DE SITIO.....	11
	2.2.1 Ubicación y accesos.....	11
	2.2.2 Condiciones climáticas	13
	2.2.3 Geomorfología y características morfométricas	15
	2.2.4 Fluviometría, ríos La Ola, Juncalito y Leoncito	17
	2.2.5 Hidrología.....	19
	2.2.6 Flora, fauna y sitios protegidos por el Estado	21
	2.2.7 Calidad del agua Industrial.....	23
2.3	ANTECEDENTES TRANQUE LA OLA.....	25
	2.3.1 Características generales tranque La Ola.....	25
	2.3.2 Condición actual tranque La Ola	27
2.4	ANTECEDENTES TRANQUE JUNCAL.....	29
	2.4.1 Características generales Tranque Juncal	29
	2.4.2 Condición actual Tranque Juncal.....	30
2.5	FUENTES GENERADORAS DEL EMBANCAMIENTO Y PROBLEMAS ASOCIADOS A LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTO EN TRANQUES LA OLA Y JUNCAL.....	32
3	ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA EXTRACCIÓN DE SEDIMENTOS EN LOS TRANQUES LA OLA Y JUNCAL.....	34
3.1	DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS	36
	3.1.1 Alternativa N°1-Draga de Succión Simple.....	36
	3.1.2 Alternativa N°2-Draga de Succión con Cortador Horizontal	38
	3.1.3 Alternativa N°3-Desecación y Excavación de Sedimentos.	41
3.2	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	43
	3.2.1 Características del sedimento	43
	3.2.2 Volumen de sedimentos a extraer.....	45
	3.2.3 Capacidad de producción alternativa N°1-Draga de Succión Simple.....	45
	3.2.4 Capacidad de producción alternativa N°2- Draga de Succión con Cortador Horizontal	47
	3.2.5 Capacidad de producción alternativa N°3-Desecación y Excavación de Sedimentos.	48
3.3	ANÁLISIS DE COSTOS.....	50
	3.3.1 Costo alternativa N°1-Draga de Succión Simple	50
	3.3.2 Costo alternativa N°2- Draga de Succión con Cortador Horizontal.....	51
	3.3.3 Costo alternativa N°3-Desecación y Excavación de Sedimentos	52
3.4	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE EXTRACCIÓN DE SEDIMENTOS.....	53

4	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	59
4.1	DISTRIBUCIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	59
4.2	ECUACIONES PARA DETERMINAR EL GASTO SOLIDO DE FONDO EN CAUCES NATURALES	61
4.2.1	<i>Schocklitsch (1914, 1950).....</i>	61
4.2.2	<i>Meyer-Peter y Müller (1948).....</i>	62
4.2.3	<i>Levi (1948).....</i>	62
4.2.4	<i>Frijlink (1962).....</i>	63
4.2.5	<i>Inglis y Lacey (1968).....</i>	63
4.3	ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN TRANQUE LA OLA.....	65
4.3.1	<i>Información base utilizada</i>	65
4.3.2	<i>Eje hidráulico río La Ola.....</i>	67
4.3.3	<i>Determinación del gasto sólido de fondo del río La Ola.....</i>	69
5	DISEÑO DEL PLAN DE MANEJO Y MANTENCIÓN PARA EL TRANQUE LA OLA Y JUNCAL.....	74
5.1	CONSIDERACIONES LEGALES	74
5.1.1	<i>Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA y D.S. 30/97 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental)</i>	74
5.1.2	<i>DFL N°1.122 de 1981 del Ministerio de Justicia, Código de Aguas artículo 294.</i>	76
5.1.3	<i>Decreto Supremo N° 146. Publicado en el Diario Oficial el 17 de abril de 1998. Ministerio Secretaria General de la Presidencia. Reglamento sobre niveles máximos permisibles de ruidos molestos generados por fuentes fijas</i>	77
5.1.4	<i>Decreto Supremo N° 594 del Ministerio de Salud. Publicado en el Diario Oficial el 29 de abril de 2000. Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.....</i>	77
5.2	SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE SEDIMENTOS EN TRANQUES LA OLA Y TRANQUE JUNCAL.....	79
5.3	DEFINICIÓN DE LAS MEDIDAS PARA EL CONTROL DE SEDIMENTOS.....	81
5.3.1	<i>Control de sedimentos en las fuentes de generación.....</i>	82
5.3.2	<i>Control de sedimentos intermedios.....</i>	84
5.3.3	<i>Control de sedimentos en la descarga</i>	85
5.4	MEDIDAS CORRECTIVAS PARA LA ELIMINACIÓN DE SEDIMENTOS EN LAS FUENTES DE GENERACIÓN.....	87
5.4.1	<i>Revestimiento para taludes de pendiente fuerte</i>	87
5.5	MEDIDAS CORRECTIVAS PARA LA ELIMINACIÓN DE SEDIMENTOS INTERMEDIOS... 91	
5.5.1	<i>Diseño de sedimentador en tranque La Ola</i>	91
5.5.2	<i>Revestimiento del cauce en tramos de velocidades altas.</i>	93
5.5.3	<i>Recuperación de serpentines en tranque La Ola</i>	94
5.6	MEDIDAS CORRECTIVAS PARA LA ELIMINACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA DESCARGA EN TRANQUE LA OLA.....	95
5.6.1	<i>Control de polvo y generación de sedimento</i>	95
5.6.2	<i>Retiro de material perimetral y protección de taludes perimetrales en tranques La Ola y Juncal.....</i>	95
5.6.3	<i>Actividades de operación y mantención en tranques La Ola y Juncal</i>	97
5.6.4	<i>Procedimiento ambiental</i>	100
5.7	SISTEMA MANTENCIÓN TRANQUE LA OLA Y JUNCAL.....	101

5.7.1	<i>Sistema de mantención tranque La Ola</i>	102
5.7.2	<i>Sistema de mantención tranque Juncal</i>	103
6	CONCLUSIONES	105
7	REFERENCIAS	107
	ANEXOS	110
	ANEXO - A1: HIDROLOGÍA RÍO LA OLA Y JUNCALITO	111
	ANEXO - A2: TABLAS DE RENDIMIENTO PARA UNA EXCAVADORA	114
	ANEXO - A 3: EJE HIDRÁULICO RÍO LA OLA Y ARRASTRE POTENCIAL DE SEDIMENTO	116

FIGURAS

Figura 2-1: Esquema de suministro de agua industrial.....	9
Figura 2-2: Ubicación área de estudio	11
Figura 2-3: Caminos de acceso a tranques La Ola y Juncal	12
Figura 2-4: Distribución estacional de la temperatura media mensual sector La Ola-Juncal, año 2009.....	13
Figura 2-5: Material acumulado por el viento entre agosto y octubre 2011.....	15
Figura 2-6: Curvas hipsométrica cuencas La Ola y Juncal.	16
Figura 2-7: Distribución geográfica cuencas del río La Ola y río Juncal	17
Figura 2-8: Fotografías río La Ola	18
Figura 2-9: Fotografías río Juncalito.....	19
Figura 2-10: Fotografías río Leoncito	19
Figura 2-11: Caudales medios mensuales y desviación estándar río La Ola en Vertedero	21
Figura 2-12: Flora característica de la zona de estudio, llareta - chachacoma – pajonal	22
Figura 2-13: Sitios prioritarios de conservación de flora amenazada de la región de Atacama...	23
Figura 2-14: Vista panorámica tranque La Ola e instalaciones.....	26
Figura 2-15: Distribución de profundidades del agua tranque La Ola.	27
Figura 2-16: Vista panorámica tranque Juncal.....	29
Figura 2-17: Distribución de profundidad del agua tranque Juncal.....	30
Figura 3-1: Tipos de dragas mecánicas	34
Figura 3-2: Tipos de dragas hidráulicas.....	35
Figura 3-3: Tipos de dragas combinadas.....	35
Figura 3-4: Draga de succión simple	36
Figura 3-8: Método de operación draga de succión simple (Ref.8).....	37
Figura 3-6: Draga de succión con cortador horizontal.....	38
Figura 3-7: Método de operación draga de succión con cortador horizontal	39
Figura 3-8: Curva de producción tipo, draga de succión con cortador horizontal. IMS Model 7.012 HP Versi – Dredge.....	39
Figura 3-9: Sistema de carguío excavadora y camión tolva	41
Figura 3-10: Acopio de sedimento extraído del tranque La Ola en septiembre del 2006.....	43
Figura 3-11: Curva granulométrica sedimento de fondo tranque La Ola	44
Figura 3-12: Curva granulométrica sedimento de fondo tranque Juncal	45
Figura 3-13: Variabilidad del resultado final Alternativa N°1 según grado de satisfacción	57
Figura 3-14: Variabilidad del resultado final Alternativa N°2 según grado de satisfacción	57
Figura 3-15: Variabilidad del resultado final Alternativa N°3 según grado de satisfacción	58
Figura 4-1: Tipos de transporte de sedimento (Maza J.A. 1987)	59
Figura 4-2 : Curva granulométrica del material de fondo del río La Ola.....	65
Figura 4-3: Curva de variación estacional río La Ola en Vertedero (1986 - 2009).....	66
Figura 4-4: Curva de duración general del caudal medio mensual (1986 - 2009).....	67
Figura 4-5: Esquema representativo de la ecuación de energía entre dos secciones transversales.	68

Figura 4-6: Sección transversal tipo utilizada para modelar el eje hidráulico del río La Ola.	69
Figura 4-7: Gasto sólido de fondo promedio en secciones transversales del río La Ola, para un caudal líquido de 0,74 [m ³ /s].	70
Figura 4-8: Gasto sólido promedio del río La Ola para cada caudal líquido.	72
Figura 5-1: Obras proyectadas para realizar la extracción de sedimentos en el tranque La Ola. 79	
Figura 5-2: Esquema general de obras de desvío para realizar la extracción de sedimentos en el tranque La Ola.	80
Figura 5-3: Esquema general del plan de control de erosión y transporte de sedimentos.....	81
Figura 5-4: Mantas sobre talud.....	83
Figura 5-5: Geoceldas sobre talud y reforestación en talud con flora nativa en desierto.....	84
Figura 5-6: Configuración típica de serpentines	85
Figura 5-7: Serpentines ubicados en la descarga del río La Ola en tranque La Ola	85
Figura 5-8: Ubicación de perfiles transversales al eje del río La Ola.....	87
Figura 5-9: Perfil transversal al río La Ola pt-02, ubicado a 0,23 [km] del tranque La Ola	88
Figura 5-10: Perfil transversal al río La Ola pt-04, ubicado a 1,87 [km] del tranque La Ola	89
Figura 5-11: Perfil transversal al río La Ola pt-06, ubicado a 3,43 [km] del tranque La Ola	89
Figura 5-12: Presupuesto para el revestimiento de 20.000 [m ²] en taludes de pendiente fuerte90	
Figura 5-13: Vista en planta del sedimentador proyectado en tranque La Ola.....	92
Figura 5-14: Vista en elevación corte A y corte B del sedimentador.	92
Figura 5-15: Obra de toma y descarga de caudal hacia el tranque La Ola.....	93
Figura 5-16: Esquema típico de cercos de retención de sedimentos.	95
Figura 5-17: Registro fotográfico año 2010 que muestran el material acumulado alrededor de los tranques La Ola y Juncal.	96
Figura 5-18: Registro fotográfico año 2010 que muestran el grado de erosión de los taludes perimetrales en los tranques La Ola y Juncal.	97
Figura 5-19: Esquema de mantención del sedimentador del tranque La Ola.	102
Figura 5-20: Esquema de mantención del tranque Juncal.....	103

TABLAS

Tabla 2-1: Demanda de agua industrial actual y futura DSAL.....	10
Tabla 2-2: Caudal promedio mensual tranque La Ola y Pedernales.....	10
Tabla 2-3: Precipitación media anual de la cuenca La Ola y Juncal	14
Tabla 2-4: Evaporación media anual cuencas La Ola y Juncal	14
Tabla 2-5: Caudales medios mensuales estación río La Ola en Vertedero [l/s].....	20
Tabla 2-6: Parámetros de muestreo calidad de agua industrial bocatoma tranque La Ola	24
Tabla 2-7: Datos hidráulicos tranque La Ola.....	28
Tabla 2-8: Datos hidráulicos tranque Juncal.....	31
Tabla 3-1: Ventajas y desventajas- Draga de Succión Simple	38
Tabla 3-2: Compatibilidad de dragado según tipo de suelo	40
Tabla 3-3: Ventajas y desventajas- Draga de Succión con Cortador Horizontal.....	40
Tabla 3-4: Ventajas y desventajas- Desección y Excavación de Sedimentos	42
Tabla 3-5: Clasificación PIANC de materiales (Ref.5).....	43
Tabla 3-6: Especificaciones técnicas bomba TOYO modelo DPF-20B	46
Tabla 3-7: Rendimiento y tiempo de operación draga de succión normal.....	47
Tabla 3-8: Especificaciones técnicas para una draga modelo mudcat.	47
Tabla 3-9: Rendimiento y tiempo de operación draga de succión con cortador horizontal	48
Tabla 3-10: Especificaciones técnicas para una excavadora Caterpillar 325 BL	49
Tabla 3-11: Rendimiento y tiempo de operación obra de excavación	49
Tabla 3-12: Inversión estimada Alternativa N°1.....	50
Tabla 3-13: Inversión estimada draga de succión con cortador horizontal.....	51
Tabla 3-14: Inversión estimada desección y excavación.	52
Tabla 3-15: Criterios de selección de alternativa para la extracción de sedimentos y peso asociado.	54
Tabla 3-16: Grado de satisfacción de cada alternativa según criterios de selección.	55
Tabla 3-17: Puntuación Final de Cada Alternativa.....	56
Tabla 4-1: Tabla de frecuencia de caudales medios mensuales río La Ola en [l/s], donde P es la probabilidad de excedencia y T el periodo de retorno en años.	66
Tabla 4-2: Transporte de sólidos promedio río La Ola para cada caudal líquido.	71
Tabla 4-3: Transporte de sólidos promedio en tramos de interés.	71
Tabla 4-4: Transporte promedio de sólidos río La Ola según método de cálculo.	73
Tabla 5-1: Acciones y actividades para el control de sedimentos.	82
Tabla 5-2: Pendiente promedio del talud de perfiles transversales al eje del río La Ola (Ref.12).	88
Tabla 5-3: Taludes a proteger contra la erosión en el río La Ola	90
Tabla 5-4: Actividades de operación y mantención en tranques La Ola y Juncal.....	98
Tabla 5-5: Procedimientos ambientales	100
Tabla 5-6: Precios comerciales geotubos.....	101

1 INTRODUCCION

El agua es un insumo básico en el proceso productivo de la minería y su demanda crece conforme a la productividad y planes de desarrollo de la industria minera. Además Chile es el país con la mayor producción de cobre en el mundo y cuenta con la mayor cantidad de reservas. Estudios desarrollados por la Comisión Chilena del Cobre, determinan que la demanda total del recurso hídrico durante el año 2011 fue de 12,6 [m³/s] (71% en producción de concentrados, 14% para minerales oxidados y mixtos por lixiviación y 15% corresponde a agua mina, servicios varios y agua potable), y el consumo unitario en la etapa de concentración fue de 0,65 [m³] por tonelada de mineral tratado y de 0,12 [m³] en el procesamiento por vía hidrometalúrgica (Ref.20).

El Plan de Desarrollo Industrial de la División Salvador (DSAL) contempla un aumento gradual de la producción de Cobre hasta el año 2021, con lo cual se espera un incremento en la demanda del recurso hídrico, conforme crece la productividad. Sin embargo, la baja capacidad de almacenamiento de los tranques La Ola y Juncal por la acumulación de sedimentos en su interior; la antigüedad de las redes de conducción, que se ven constantemente expuestas a roturas y las restricciones legales para la explotación de aguas subterráneas, son hoy en día los principales problemas que contempla el sistema de producción de agua industrial de DSAL. De los tres problemas señalados, la limpieza de los tranques, además de ser una medida necesaria, es a corto plazo la más económica y eficaz, puesto que permite recuperar parte del caudal perdido por rebalse, mejorar la calidad del recurso y garantizar el suministro continuo de agua industrial para el proceso productivo.

Esta memoria está enfocada en la recuperación de los tranques cordilleranos, restableciendo el volumen útil de diseño mediante la extracción del sedimento de fondo, de forma amigable con el medioambiente y sin interrumpir el suministro continuo de agua industrial para los procesos productivos. Se estudiarán metodologías utilizadas actualmente para la limpieza de tranques, rescatando las que son aplicables a La Ola y Juncal, determinando fortalezas y debilidades de cada una y así poder seleccionar la mejor alternativa, en términos técnicos, económicos y ambientales.

Finalmente se diseñará un plan de manejo y mantención sustentable, que garantizará la operatividad de los tranques durante el resto de la vida útil de DSAL. Para desarrollar lo anterior, se diseñará un completo plan para el control de sedimentos, el cual consistirá en aplicar medidas de prevención y medidas de correctivas, cuyo principal objetivo será que el sedimento perturbado y arrastrado por los ríos afluentes no vuelva a embancar a los tranques La Ola y Juncal.

1.1 OBJETIVOS

Este estudio tiene como objetivo general desarrollar una metodología para la extracción de sedimentos de fondo y elaborar un plan de manejo y mantención para los tranques cordilleranos La Ola y Juncal, sustentable en el tiempo y que minimice el impacto medio ambiental.

De lo anterior, se definen los objetivos específicos:

- (1) *Realizar campañas de terreno que permitan definir la condición actual de los tranques cordilleranos e identificar las principales fuentes de generación del embancamiento.*
- (2) *Estudiar las distintas metodologías existentes para la extracción de los sedimentos de los tranques cordilleranos La Ola y Juncal.*
- (3) *Realizar la evaluación técnica y económica de las metodologías de extracción de sedimentos estudiadas, escoger y desarrollar la metodología más eficiente y eficaz de acuerdo a los requerimientos por parte de la DSAL, para el tranque La Ola y Juncal respectivamente.*
- (4) *Estimar el tiempo medio de embancamiento del tranque La Ola.*
- (5) *Diseñar un plan de manejo y mantención para los tranques cordilleranos, analizando la factibilidad de diseñar una obra de retención de sedimentos e implementar criterios de buenas prácticas medio ambientales y políticas de mantención y operación necesarias para evitar que se vuelvan a embancar.*

1.2 ALCANCES

Los alcances de este estudio se establecen de acuerdo a los objetivos definidos y se elaboran a partir de los entregables principales, supuestos realizados y restricciones impuestas.

- Las campañas de terreno que se realizarán corresponden a: recolección de muestras del material de fondo de los tranques y ríos afluentes a éstos; visitas a las instalaciones de la red de agua industrial y chequeo general de éstas; visitas programadas a tranques La Ola y Juncal; mediciones geométricas de ríos La Ola y Juncal. No se realizarán levantamientos topográficos, se utilizará la topografía existente.
- La metodología seleccionada para la extracción del sedimento de fondo de los tranques, no deberá interrumpir la continuidad del suministro de agua industrial hacia los procesos mineros, ni tampoco sobrepasar los niveles máximos de turbidez impuestos por DSAL. Se realizará la evaluación técnica y económica solo de aquellas metodologías seleccionadas en el análisis previo y que cumplan con los requerimientos solicitados por DSAL.
- Se revisarán normativas ambientales chilenas relacionadas con la intervención de cursos naturales de agua, con la finalidad de determinar si es necesario realizar un estudio de impacto medio ambiental. Las políticas de mantención y operación para el funcionamiento de los tranques, deberán ser ejecutadas posteriormente a la extracción del sedimento embancado, estas deben satisfacer los requerimientos ambientales establecido por el Estado chileno y ser sustentables el tiempo.
- El tiempo medio de embancamiento de los tranques será determinado por requerimientos de DSAL, los resultados obtenidos de este análisis serán utilizados solo en caso de ser requeridos.
- El horizonte de análisis será conforme al Plan de Negocios de la División Salvador, actualmente establecido hasta el año 2021 para las Operaciones (Minas - Plantas), Potrerillos (fundición –refinería) y compromisos con terceros posteriores al año 2021.
- No se realizarán planos de detalle. Los planos utilizados en el desarrollo de esta memoria serán de carácter esquemático.
- Todo estudio adicional requerido y que no se encuentre dentro de los objetivos y/o alcances de esta memoria serán claramente indicados.

1.3 METODOLOGIA

Para el desarrollo de este estudio, se definió la siguiente metodología de trabajo.

- *Recopilación de antecedentes:* A partir de memorias de título existentes realizadas en la División Salvador y Universidad Técnica Federico Santa María, publicaciones, estudios hidrogeológicos, estudios batimétricos, y levantamientos topográficos efectuados para la División Salvador (DSAL), estadísticas fluviométricas, estadísticas meteorológicas, estadísticas de operación de los tranques La Ola y Juncal, estudios de proyección de demanda de agua industrial conforme al Plan de Negocio actual de DSAL.
- *Estudio bibliográfico:* revisión sistemática de información publicada, referente a tecnologías y metodologías de extracción de sedimentos en cursos de agua embalsada.
- *Entrevistas:* a trabajadores de DSAL (ingenieros civiles, ingenieros ambientales, abogados, personal de terreno), personal de empresas subcontratistas encargados de la operación de los tranques La Ola y Juncal y mantención del sistema de agua industrial.
- *Visitas a Terreno:* visitas a zona de emplazamiento de tranques cordilleranos La Ola y Juncal, y las principales instalaciones del sistema de agua industrial, desarrollo de campañas de recolección de sedimentos en tranques, apoyo fotográfico, mediciones y recolección de material de fondo en ríos La Ola y Juncalito.
- *Análisis de Antecedentes:* selección, análisis, y verificación de la información recolectada.
- *Trabajo de Gabinete:* se analizarán metodologías para la extracción de sedimentos en tranques cordilleranos La Ola y Juncal, se realizará la evaluación técnica y económica de cada metodología eligiendo la más eficiente. Se desarrollará un plan de manejo y mantención para evitar que los tranques se vuelvan a embancar.
- *Conclusiones y comentarios del estudio.*

1.4 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Esta Memoria se encuentra dividida en 6 capítulos:

- *Capítulo1: " Introducción".* En este capítulo se describen las directrices generales que comprende el desarrollo de esta memoria, como son los objetivos generales y específicos, los alcances del estudio, la metodología utilizada para lograr los objetivos planteados y la estructura que tendrá el documento.
- *Capitulo2: " Antecedentes Generales".* Se describen los antecedentes generales de DSAL, composición del proceso productivo y del sistema de agua industrial. Se describen las características principales de la zona y del lugar de emplazamiento de tranques cordilleranos. Se describen también, las principales características de los tranques La Ola y Juncal, la condición actual en que se encuentran e identifican las fuentes principales generadoras del embancamiento y los problemas asociados a la acumulación de sedimentos en su interior.
- *Capítulo3: "Estudio y Selección de Alternativas para la Extracción de Sedimentos en los Tranques la Ola y Juncal".* Se realiza el estudio y desarrollo de las metodologías para la extracción de sedimentos, desarrollando una discusión teórica entre las soluciones existentes y las posibles de aplicar, junto con el costo asociado para la implementación de cada una. Finalmente, considerando el análisis técnico, la evaluación económica, y los requerimientos específicos de DSAL, se escogerá la mejor alternativa.
- *Capítulo4: "Transporte de Sedimentos".* Se realiza un análisis conceptual del arrastre de sedimentos y se estima el gasto sólido promedio del río La Ola.
- *Capítulo5: "Diseño del Plan de Manejo y Mantenimiento de los Tranques Cordilleranos".* Se describen las medidas de control de sedimentos afluentes a los tranques y las medidas correctivas para su eliminación. Se desarrolla el Plan de Manejo y Mantenimiento para los tranques cordilleranos y las obras necesarias para su implementación. Se describe la normativa ambiental que rige este tipo de proyecto y la forma en que se cumplirán todos los requerimientos.
- *Capítulo6: Conclusiones y Comentarios.* Se presentan las conclusiones y comentarios de esta memoria.

2 ANTECEDENTES GENERALES

La Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO) es una empresa autónoma 100% propiedad del Estado chileno, su negocio principal es la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, encargándose de su procesamiento hasta convertirlos en cobre refinado y su posterior comercialización.

Chile cuenta con el 30% de los recursos cupríferos mundiales y un tercio de estos pertenecen a CODELCO, convirtiéndose de este modo en el mayor productor de cobre del mundo. Durante 2013 la empresa realizó ventas por 14.956 millones de dólares, incluyendo cobre y subproductos, siendo Asia el mercado más importante con el 59,1% de la oferta, seguido por Europa con un 15,2%; Sudamérica con 13,4 %, Norteamérica con 11,8 %, y Oceanía con un 0,4% (Ref.21).

La compañía ejecuta sus operaciones a través de cuatro divisiones mineras: División Codelco Norte, División Salvador, División Andina y División El Teniente, más la fundición y refinería Ventanas, sin embargo, el funcionamiento, la ley del mineral extraído, los volúmenes de extracción y las características de los procesos productivos de cada una de estas divisiones, las hace muy diferentes entre sí. Globalmente CODELCO ha formado sociedades con terceros, estableciendo diversas alianzas subsidiarias en los centros económicos más importantes del mundo, tales como Alemania, Reino Unido, Francia, Estados Unidos, Brasil, Singapur y China.

Considerando las mejores perspectivas a largo plazo presentes en el mercado del cobre, el año 2010 CODELCO acordó revertir la decisión de cierre de las operaciones mineras de DSAL, programada inicialmente para diciembre del 2011. En consecuencia, DSAL se encuentra estudiando la factibilidad de desarrollar diversos proyectos, con el objetivo de asegurar su permanencia y crecimiento en el tiempo, dentro de estos proyectos en ejecución y estudio, los de carácter hidráulico y ambiental que son complementarios a los mineros y ocupan un porcentaje menor de la inversión total, sin embargo, no dejan de ser importantes para el desarrollo productivo, ya que sin agua, no se puede llevar a cabo ningún proceso minero.

2.1 ANTECEDENTES GENERALES DE CODELCO – CHILE, DIVISIÓN SALVADOR

La División Salvador se encuentra en la tercera región de Atacama, provincia de Chañaral, comuna de Diego de Almagro, a unos 1.100 [km] al norte de Santiago y a 198 [km] al suroeste de Copiapó, la capital regional. La localidad de El Salvador está a 2.600 [m.s.n.m.], entre 69° - 70° grados longitud oeste, y 26° - 27° grados latitud sur, junto a la cordillera de Los Andes y dentro del desierto de Atacama.

Los orígenes de la División Salvador datan del año 1913, con la explotación de la mina Vieja en Potrerillos. Posteriormente la firma Anaconda Company compró los derechos de la mina y creó Andes Copper Mining Company. El año 1927 después de invertir alrededor de 60 millones de dólares en infraestructura se construyeron la planta concentradora, fundición, lixiviación y metalúrgica e instalaciones anexas, donde Copper Mining Company dio inicio la explotación a nivel masivo de la mina de Potrerillos (Ref.6).

Tras cumplir un importante ciclo en la historia de la minería chilena, se comenzaron a agotar gradualmente las reservas de cobre en Potrerillos, hasta que en el año 1954, se descubrió el mineral de "Indio Muerto" a 48 [km] de Potrerillos, lo que permitió reemplazar a la ya agotada mina de Potrerillos.

El proyecto Indio Muerto, trajo consigo un desarrollo divisional y la construcción de obras de infraestructura, tales como: una planta concentradora, instalaciones anexas y una nueva ciudad – campamento llamada El Salvador, que comenzó a construirse el año 1956 y culminó el año 1959 con la puesta en marcha de la mina "El Salvador", nombrada así por haber salvado económicamente a la compañía.

El Salvador inicia sus operaciones el año 1959 como mina de cobre subterránea llamada "Inca" y más tarde se incorpora otra a rajo abierto de nombre "QM".

En 1971, posterior al proceso de nacionalización del cobre en Chile, la mina El Salvador adquirió carácter estatal. En 1976 fue creada la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) y El Salvador pasó a formar parte de esta corporación como División Salvador.

Actualmente la División Salvador tiene a su cargo la mina "Inca" de explotación subterránea, y las minas "Campamento Antiguo" y "Damiana Norte" a rajo abierto.

2.1.1 *Proceso productivo*

El Salvador es una mina a rajo abierto que explota minerales oxidados y sulfurados, a partir de los cuales produce 65.462 toneladas métricas finas de cátodos de cobre al año. Además produce 1.146 toneladas métricas de molibdeno. También se obtienen barros anódicos y ácido sulfúrico (Ref.6).

El procesamiento de los minerales se realiza a través de dos vías:

- Línea de Sulfuro: compuesta por mina, concentradora, fusión y electro - refinación
- Línea de Óxidos: compuesta por mina, lixiviación, extracción y electro – obtención.

DSAL ha establecido el cierre de las operaciones de óxidos como la de sulfuros para el año 2021, con la tecnología actualmente vigente. El cese de estas operaciones mineras marcará un hito importante para la industria, tanto por su envergadura como por ser la primera faena de CODELCO en enfrentarse a este proceso.

La División Salvador presentó el plan de cierre al Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMÍN). Sin embargo, se están realizando investigaciones sobre los recursos mineros remanentes y evaluando proyectos alternativos, además de estudios ambientales, climatológicos, de suelos e hidrogeológicos destinados a la determinación de escenarios de explotación sustentables que son de interés para la División, considerando los derechos de agua obtenidos, en trámite y por solicitar.

2.1.2 Servicio de agua industrial

CODELCO Chile División Salvador (DSAL), cuenta con un sistema de suministro de agua industrial que data del año 1926 y una renovación de esta infraestructura el año 1957, realizada para atender las necesidades de agua de la División Salvador. Actualmente la unidad de agua industrial, presta el servicio de abastecimiento y mantención a las operaciones mineras en El Salvador, fundición – refinería en Potrerillos, a la ciudad-campamento El Salvador, y a terceros.

El sistema general de agua industrial que abastece a DSAL está constituido por captaciones superficiales y subterráneas, elementos de conducción y distribución, y obras de regulación y control. Las aguas superficiales provienen de los tranques La Ola y Juncal, mientras que las aguas subterráneas de la estación de bombeo Pedernales y de un pozo ubicado en las inmediaciones del tranque La Ola denominado PB-1.

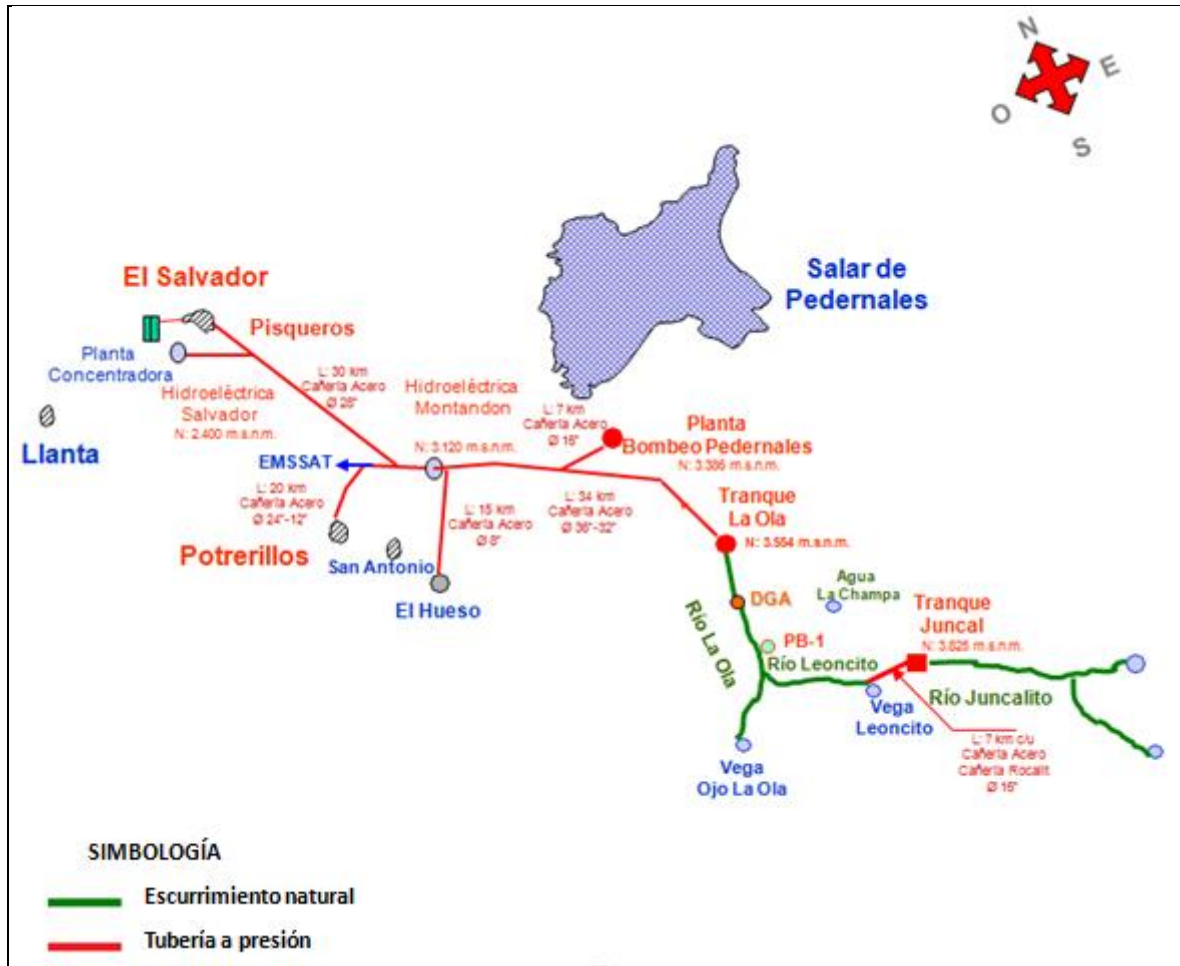
El sistema general de agua industrial comienza en el tranque Juncal, que se alimenta de las aguas provenientes del río Juncalito y las conduce mediante dos cañerías hasta la vega Leoncito. La vega Ojos de La Ola da nacimiento al río La Ola, al igual que la vega Leoncito al río Leoncito. El río Leoncito se intercepta con el río La Ola y sus aguas son conducidas al tranque La Ola. En este tramo existe una estación limnigráfica perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA), además de una captación subterránea (PB-1), cuyo aporte son descargados directamente al río La Ola.

El agua industrial procedente del tranque La Ola y de los pozos profundos llega hasta la planta hidroeléctrica Montandón por una tubería de acero de 28". A la salida de la planta hidroeléctrica se desprende una tubería de acero de diámetro variable de 28" a 12" que alimenta los consumos de Potrerillos. Aguas arriba de la Hidroeléctrica Montandón se encuentra el arranque El Hueso, que mediante la planta de bombeo Montandón suministra el recurso hídrico a la mina de oro El Hueso. El agua que abastece a El Salvador se conduce por una tubería de acero de 28", esta

tubería llega a los estanques reguladores de la planta concentradora antes que alimente a los estanques para los servicios de alcantarillado de El Salvador.

La figura 2-1 muestra la distribución general del sistema general de agua industrial, el que está conformado por alrededor de 150 [km] de conducción.

Figura 2-1: Esquema de suministro de agua industrial



Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Oferta y demanda de agua industrial

Las demandas actuales y futuras de agua industrial se dividen en 3 grupos: operaciones actuales DSAL, compromisos con terceros y proyecto CODELCO/Asociación. En la tabla 2-1, se presenta un resumen de estas demandas, considerando 4 escenarios, con diferente solicitud de caudal para cada uno de ellos.

- Escenario N°1 : Situación actual
- Escenario N°2 : Situación actual y cierre de óxidos y proyectos
- Escenario N°3 : Cierre de operaciones mineras y remanentes a 35 [ktpd]
- Escenario N°4 : Cierre de operaciones mineras y remanentes a 70 [ktpd]

Tabla 2-1: Demanda de agua industrial actual y futura DSAL

Demanda [l/s]	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Operaciones Actuales DSAL	732	707	105	105
Compromisos con Terceros	68	126	146	146
Proyectos Codelco / Asociación	-	286	822	1.308
TOTAL	800	1.119	1.073	1.559

Fuente: Elaboración propia

Para satisfacer esta demanda, la División Salvador cuenta con el aporte del tranque La Ola, tranque Juncal y la planta de bombeo Pedernales. De antecedentes obtenidos en el tranque La Ola entre los años 1986 – 2009 y en la planta de bombeo de Pedernales entre 1990 – 2009, se determina que un 77% de la demanda es cubierta por los tranques La Ola y Juncal, mientras que un 23% por la estación de bombeo Pedernales. Como muestra la tabla 2-2, el aporte de estas fuentes es diferente para cada mes del año y está directamente relacionado con el caudal de los ríos afluentes. En la actualidad la demanda es cubierta en plenitud, ya que DSAL tiene adjudicados como derechos de agua 1.280 [l/s], 800 [l/s] entre los tranques La Ola y Juncal, 480 [l/s] para la planta de bombeo Pedernales. En el futuro estas demandas no podrán ser cubiertas en su totalidad, por lo que se están tramitando 315 [l/s] adicionales.

Tabla 2-2: Caudal promedio mensual tranque La Ola y Pedernales

Mes	CAUDAL		
	T. La Ola y T. Juncal [l/s]	Pedernales [l/s]	Total [l/s]
Enero	567	212	779
Febrero	603	218	821
Marzo	652	202	854
Abril	633	184	817
Mayo	669	172	841
Junio	622	215	837
Julio	609	196	805
Agosto	612	177	789
Septiembre	649	159	808
Octubre	665	170	835
Noviembre	609	182	791
Diciembre	595	196	791
Promedio	623,8	190,3	814,0
Porcentaje	76,6%	23,4%	100%

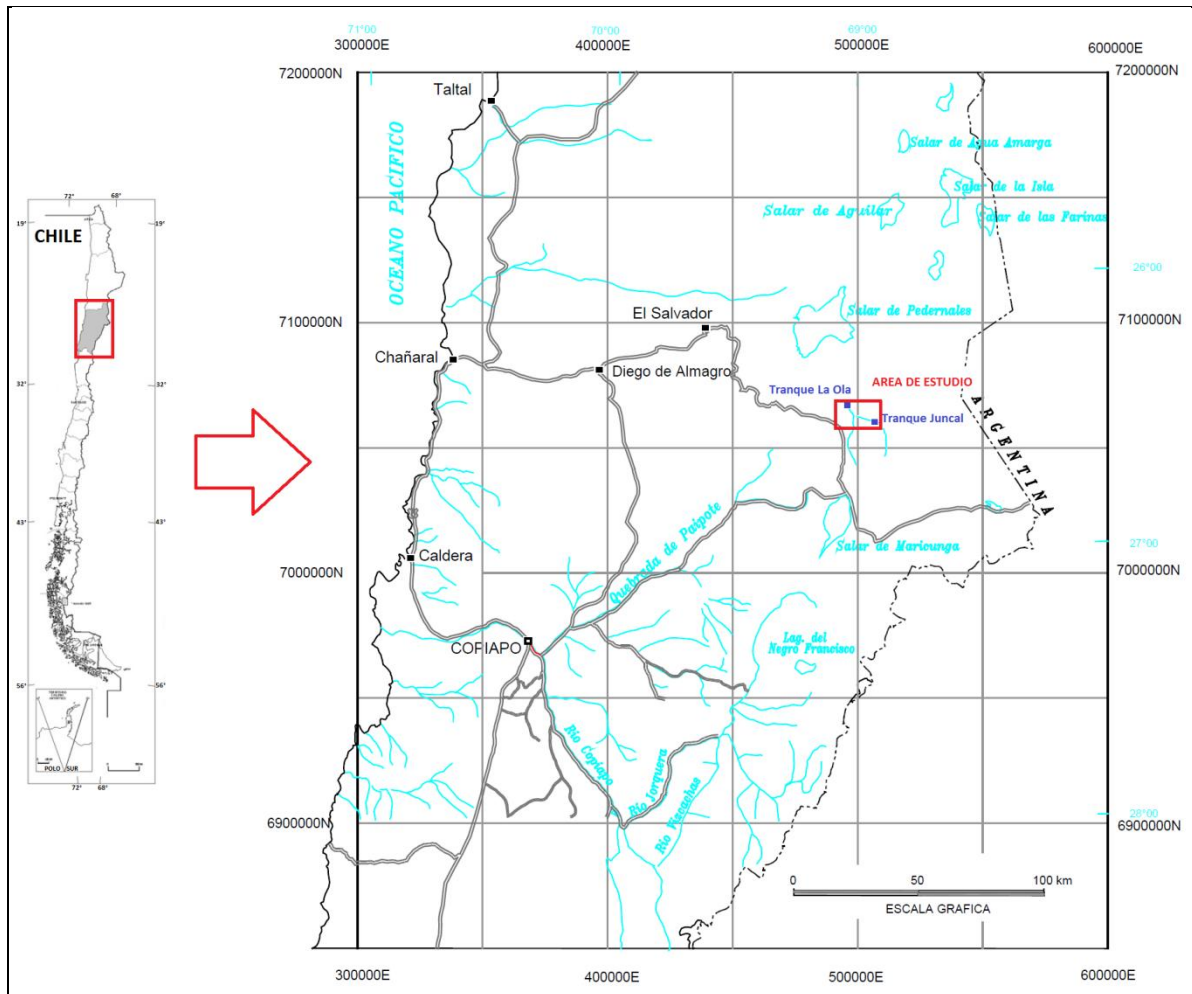
Fuente: Elaboración propia

2.2 CONDICIONES DE SITIO

2.2.1 Ubicación y accesos

Los tranques La Ola y Juncal se encuentran ubicados en la región de Atacama, provincia de Chañaral, comuna de Diego de Almagro, a 95 y 101 [km] al sureste de la ciudad campamento El Salvador y a una altura de 3.554 y 3.825 [m.s.n.m.] respectivamente. Sus coordenadas geográficas son de 26° 27' 44" latitud sur y 69° 03' 51" longitud oeste para el tranque La Ola y 26° 31' 06" latitud sur y 68° 55' 48" longitud oeste para en tranque Juncal. La figura 2-2 muestra un mapa esquemático con la ubicación geográfica de los traques.

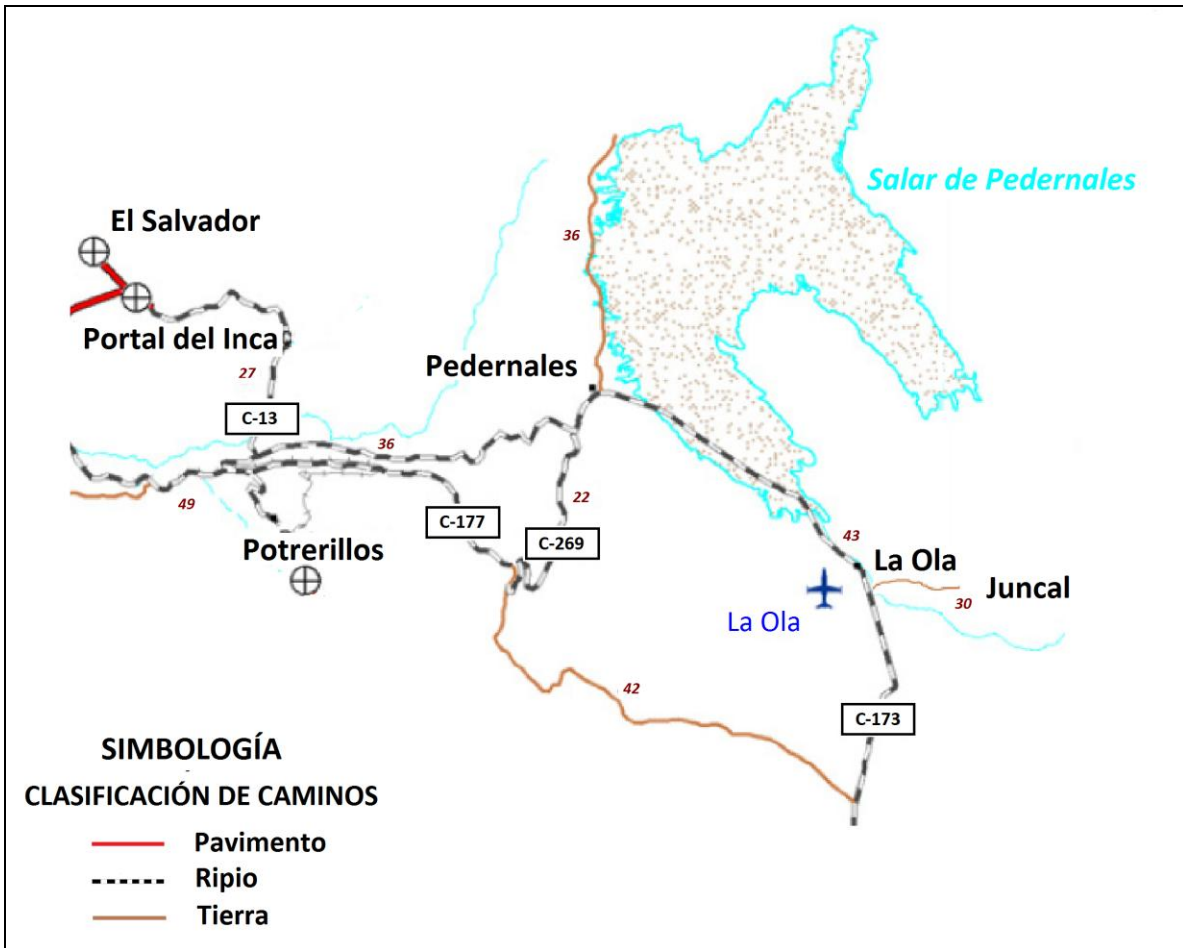
Figura 2-2: Ubicación área de estudio



Fuente: Adaptado de (Ref.2)

La figura 2-3 muestra un esquema con los caminos de acceso a los tranques La Ola y Juncal, en este esquema se indica el tipo de camino y longitud del tramo.

Figura 2-3: Caminos de acceso a tranques La Ola y Juncal



Fuente: Elaboración propia

Existen dos accesos a los tranques desde El Salvador, el primero es a través del camino denominado “Montandón”, este comienza en la ruta C-13, e intercepta la ruta C-173. Desde esta intersección siguiendo por la ruta C-173 a unos 95 [km] se encuentra el tranque La Ola y a 101 [km] el tranque Juncal. Se caracteriza por ser de pendientes fuertes, curvas cerradas y de poca anchura, solo apto para el tránsito vehículos pequeños. El otro acceso es conocido como “Quebrada El Jardín”, parte en la ruta C-13, intercepta a la ruta C-177, desciende por la quebrada El Jardín y se une a la ruta C-269 hasta su intersección con la ruta C-173. Todo este trayecto suma un equivalente de 125 [km] al tranque La Ola y 131 [km] al tranque Juncal. Se caracteriza por ser de gran anchura y con grandes extensiones de planicies, apto para el tránsito de vehículos de gran tamaño como camiones o buses. Tanto la ruta C-177 como la C-173 son caminos de ripio, que se encuentran en buen estado por las labores de mantención de realizada por DSAL, mientras que C-13 es un camino de pavimento asfáltico.

2.2.2 Condiciones climáticas

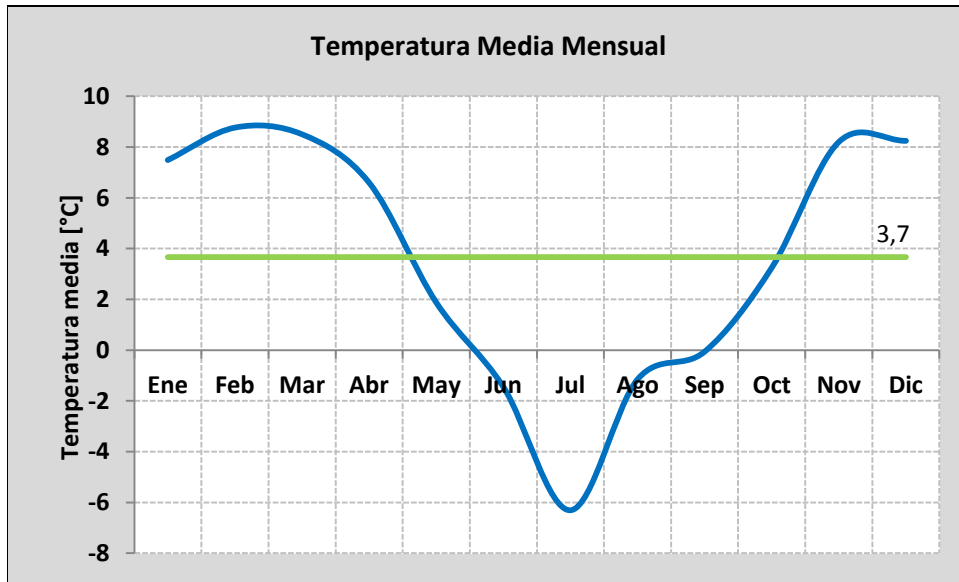
En la región de Atacama predomina el clima desértico, con escasa magnitud de precipitaciones y ocasionalidad de ocurrencia, registrándose tan sólo algún tipo de precipitaciones en época invernal. Sobre los 3.000 [m.s.n.m.] el tipo de clima preponderante es el desértico frío de montaña, un clima severo, con variaciones térmicas considerables diarias y estacionales.

DSAL dispone de una estación meteorológica ubicada en el campamento La Ola, la que tiene una base de datos de temperaturas y precipitaciones que datan del año 1976, sin embargo, estos datos se encuentran incompletos.

Las temperaturas extremas y la variación de las mismas, son una característica típica de las zonas cordilleranas y condicionantes para todo tipo de proyecto y trabajos que se deseen realizar. Por ejemplo, en el sector de La Ola se han registrado temperaturas máximas de 27 [°C] para los meses más cálidos y mínimas de -25 [°C] para los más fríos.

La figura 2-4 muestra el comportamiento de la temperatura media mensual a lo largo del año. La temperatura media anual es de 3,7 [°C]. La temperatura media en los meses de verano son cercanas a los 8 [°C] y muy bajas en los meses de invierno, bajo los -6 [°C].

Figura 2-4: Distribución estacional de la temperatura media mensual sector La Ola-Juncal, año 2009.



Fuente: Elaboración propia

La medición de precipitaciones en las cuencas de La Ola y Juncalito, que se concentran en el período de Mayo-Agosto y ocurren comúnmente en forma de nieve, es prácticamente inexistente, los escasos antecedentes de mediciones se encuentran la estación La Ola, donde existen instalaciones meteorológicas primarias cuyo control es de carácter esporádico.

Dada las condiciones de ausencia de una estadística directa que permita conocer la precipitación anual y su distribución estacional, se han tomado como referencia los estudios realizados por Agua Ingenieros Consultores Ltda. (Ref.1) y por CPH Consultores Ltda. (Ref.2). En estos estudios, se estimaron las precipitaciones mediante la utilización de un modelo de síntesis de caudales medios mensuales para cuencas nivo – pluviales. La estimación de las recargas realizadas por el modelo de síntesis, se efectuó en las diferentes bandas en que se ha subdivide la superficie de las cuencas, dentro de las cuales se postuló homogeneidad de las variables meteorológicas. El resultado de los estudios mencionados se muestra en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Precipitación media anual de la cuenca La Ola y Juncal

Precipitación media anual [mm]		
Cuenca	\overline{PPCPH}	\overline{PPAIC}
La Ola	43	41,7
Juncal	-	61,8

Fuente: Elaboración propia

Antecedentes directos de evaporación en las cuencas de La Ola y Juncal no existen, su estimación se obtuvo, al igual que los datos de precipitación, a través del modelo de síntesis de caudales medios mensuales para cuencas nivo – pluvial del “Estudio Hidrogeológico del Salar de Pedernales” realizado por CPH Consultores Ltda. El resultado de este estudio se muestra en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Evaporación media anual cuencas La Ola y Juncal

Evaporación media anual [mm]	
Cuenca	E. Media
La Ola	4,6
Juncal	5,3

Fuente: Elaboración propia

No hay estadísticas de velocidades del viento, solo existen mediciones realizadas el año 1980 durante el “Estudio de Aplicación de Energía Solar en Campamento La Ola” (Ref.3). De este estudio se desprende que las velocidades más altas se producen en las horas de mayor calor, es decir, entre las 12 y 16 horas y pueden llegar hasta los 50 [km /hr], mientras que en la noche las velocidades son más bajas, pero que generalmente no descienden los 12 [km /hr].

A partir de entrevistas realizadas al personal del campamento La Ola y Juncal, se afirma que son muy comunes los temporales de viento (2 a 3 veces por mes). Estos alcanzan altas velocidades, no cuantificadas, y arrastran una gran cantidad de partículas que son depositadas en los tranques. Cada vez que se produce este fenómeno, DSAL prohíbe el tránsito vehicular y realiza la suspensión completa de los trabajos en las inmediaciones del área. Un ejemplo de lo anterior se muestra en la figura 2-5 entre los meses de Agosto y Octubre del 2011.

Figura 2-5: Material acumulado por el viento entre agosto y octubre 2011



Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Geomorfología y características morfométricas

La Región de Atacama es una zona de transición entre el norte grande (zona de desiertos), que abarca la primera y segunda región, y el norte chico (zona de valles transversales), que abarca de Copiapó por el norte hasta el valle del río Aconcagua por el sur. Al norte del valle del río Copiapó se distinguen cinco grandes unidades geomorfológicas: la cordillera de la costa, franja intermedia, cordillera central o precordillera, altiplano y cordillera de Los Andes.

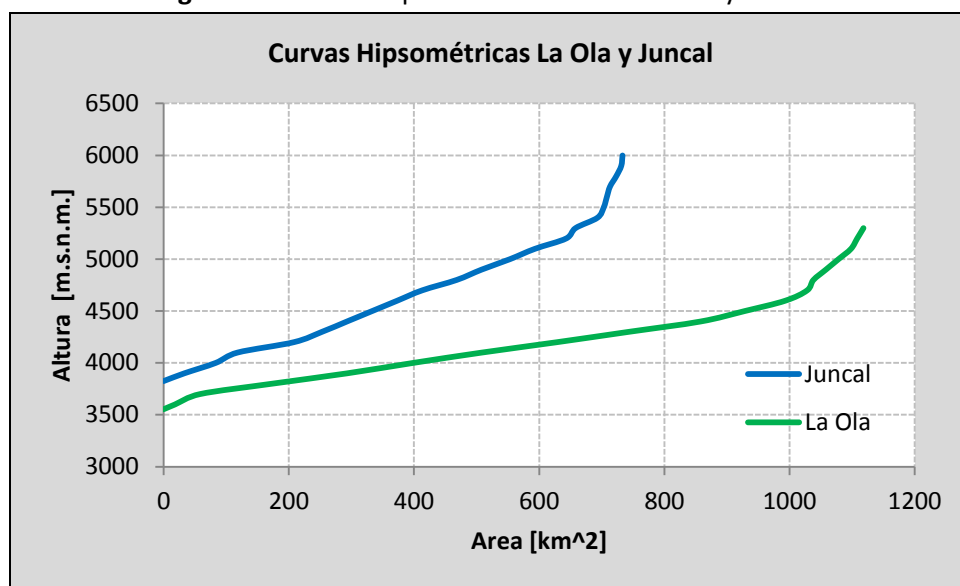
El sistema general de agua industrial de la División Salvador, nace en los pies de la Cordillera de Los Andes (Cordillera de Claudio Gay), pasa por el altiplano (Salar de Pedernales) y atraviesa la Cordillera Central o Precordillera (Cordillera de Domeyko).

La cuenca hidrográfica del río La Ola se muestra en la figura 2-7, tiene una superficie aproximada de 1.118 [km²] y su altura media es de 4.150 [m.s.n.m.]. Al oriente su límite natural lo constituye la cordillera de Claudio Gay, con cumbres que alcanzan los 5.315 [m.s.n.m.], mientras que al occidente las vertientes límites están constituidas por el Cerro Bravo y los portezuelos Bravo y Salitre.

Su distribución hipsométrica definida por la curva mostrada en la figura 2-6, es condicionada por una alta proporción (25%) de la hoya situada entre 3.900 y 4.000 [m.s.n.m.]. Semejante característica proporciona a la parte alta de la cuenca una marcada influencia de recesión que condiciona en forma notable el comportamiento de ella. Ello se traduce a que todo el sector alto, cuyos cauces principales son Pastos Largos, Tambarillos y río Negro, no drena en forma superficial, sino que recarga la zona intermedia (acuífero) y posteriormente aflora en el sector de nacimiento del río La Ola denominado vegas Ojos de La Ola.

La cuenca del río Juncalito que se muestra en la figura 2-7, tiene una superficie aproximada de 773,2 [km²], se desarrolla al este de la cordillera de Claudio Gay y confluye a La Ola por el sector norte de esta. Juncalito limita al este y al noreste con cumbres de hasta los 5.990 [m.s.n.m.], su altura media es de 4.340 [m.s.n.m.]. Su distribución hipsométrica definida por la curva mostrada en la figura 2-6, es condicionada por una alta proporción (32%) de la hoya situada entre 4.350 y 4.600[m.s.n.m.]. El principal curso de agua lo constituye el río Juncalito, que nace en las cumbres más altas producto de la confluencia de numerosas quebradas de corto recorrido y abrupta pendiente. Morfométricamente tiene características distintas a la cuenca de La Ola, con una distribución más uniforme y preponderancia del escurrimiento superficial. Sólo en la zona baja de la cuenca se desarrolla una leve planicie que remata en el llano de Pedernales y que favorece la infiltración del caudal superficial no controlado por las obras de embalsamiento, tranques La Ola y Juncal.

Figura 2-6: Curvas hipsométrica cuencas La Ola y Juncal.

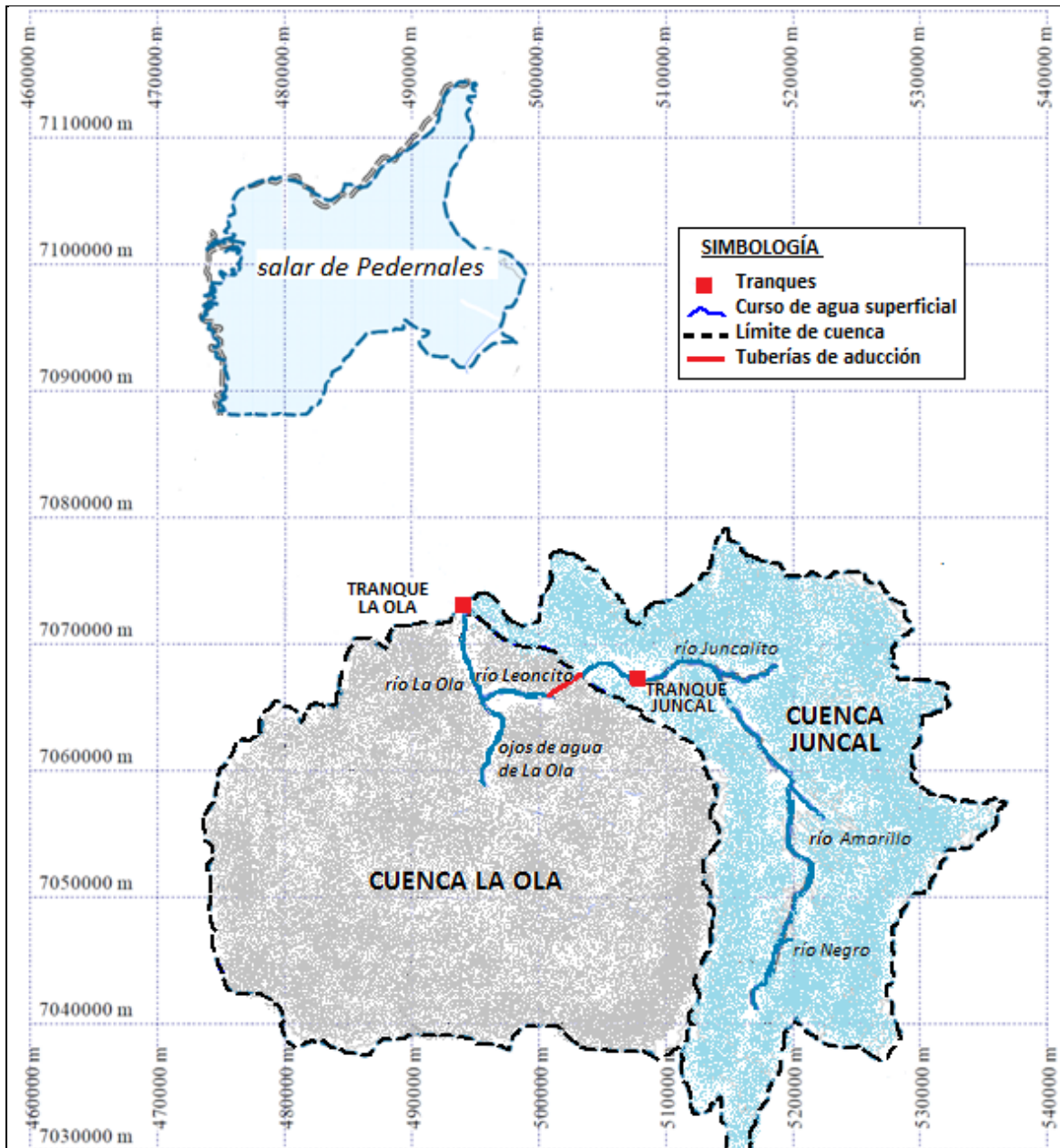


Fuente: Elaboración propia

Las características morfométricas de las cuencas son las que definen en gran parte el tipo de escurrimiento de los ríos La Ola y Juncalito. Desde el punto de vista de la sedimentación en los tranques, según lo señalado por el personal encargado de la operación y personal de CODELCO con más de 30 años de servicio en la zona, el tranque Juncal se ve constantemente afectado por aluviones que arrastran grandes masas de sedimentos y que son depositados en el tranque, mientras que este fenómeno no es muy recurrente en La Ola.

La configuración espacial de las cuencas señaladas se muestra en la figura 2-7.

Figura 2-7: Distribución geográfica cuencas del río La Ola y río Juncal



Fuente: Adaptado de (Ref.2)

2.2.4 Fluviometría, ríos La Ola, Juncalito y Leoncito

La red fluvial de está compuesta por los ríos Juncalito, Leoncito y La Ola.

El río La Ola es el afluente principal al tranque La Ola, es un río que nace de la unión entre las aguas proveniente de la vega Ojos de La Ola y el río Leoncito. Tiene una longitud aproximada de 10 [km], su sección es prácticamente rectangular (por los trabajos de canalización realizados a este cauce). La figura 2-8 es una recopilación de fotos obtenidas en las campañas de terreno realizadas el año 2010, en ellas se aprecia la magnitud y características principales del río, sus bordes

enhierbados y paredes de gran pendiente que son cubiertas por bancos de arenas, los cuales se desprenden regularmente.

El alto contenido de sólidos disueltos del río La Ola, reflejado en conductividades sobre 3.999 [uS/cm] proviene desde el río Leoncito, puesto que el llano Leoncito se caracteriza por tener un gran abanico aluvial que se encuentra topográficamente 5 a 10 metros más alto que los Ojos de La Ola. Su pH es levemente alcalino, presentándose siempre sobre 8 (Ref.22).

Existe una estación limnigráfica perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA), ubicada 8 [km] aguas arriba del tranque La Ola.

Figura 2-8: Fotografías río La Ola



Fuente: Elaboración propia

El río Juncalito es la principal afluente al tranque Juncal, corresponde a un cauce altiplánico que se desarrolla predominantemente en dirección nororiente a sur-poniente. Nace en la vertiente oriental de la cordillera de Claudio Gay recibiendo en su trayecto numerosos aportes tanto de quebradas pequeñas y de flujo intermitente, así como de cauces mayores como los ríos, Negro y Amarillo (Figura 2-7).

La figura 2-9 es una recopilación de fotos obtenidas en las campañas de terreno realizadas durante el año 2010, en ellas se aprecia la magnitud y características principales del río, el cual pese a no haber sido intervenido, tiene una sección transversal bastante regular, sus bordes enhierbados que en determinados puntos produce el estancamiento y desviación de su cauce, situación que se agrava en época de invierno cuando el recurso hídrico se congela.

Al igual que el río La Ola, las paredes del río Juncalito son bien definidas, con pendientes significativas y cubiertas por bancos de arena que regularmente se desprenden y caen a la superficie de su cauce.

Las aguas del río Juncalito poseen un alto contenido de sólidos disueltos, lo que ve reflejado en una alta conductividad eléctrica (sobre 3.999 uS/cm). Los cuales tienen su origen en la actividad geotérmica de las cabeceras del río Negro (termas). Prueba de ello, es que aguas arriba de la confluencia entre ambos ríos, el Juncalito posee conductividades moderadas a bajas de 2.110 [uS/cm]. El pH en las aguas superficiales es alcalino entre 8 y 9.2 (Ref.22).

Figura 2-9: Fotografías río Juncalito



Fuente: Elaboración propia

El río Leoncito es un río artificial construido el año 1958, nace de la unión de las aguas provenientes del tranque Juncal (tuberías de aducción que desembocan en la vega Leoncito) y del afloramiento de la vega Leoncito, para terminar su desembocadura en el río La Ola. Tiene una longitud aproximada de 7[km] y es de sección irregular.

La figura 2-10 es una recopilación de fotos obtenidas en las campañas de visitas a terreno, en ellas se aprecia en magnitud las características principales del río, que en época de invierno, donde el agua se congela, tiende a desbordarse constantemente.

Sus aguas superficiales contienen un alto contenido de sólidos disueltos, reflejado en conductividades eléctricas superiores a 3.999 [uS/cm]. El pH de la aguas es alcalino (8,7 y 9,2) (Ref.22).

Figura 2-10: Fotografías río Leoncito



Fuente: Elaboración propia

2.2.5 Hidrología

Los caudales medios mensuales del río La Ola y Juncalito, son obtenidos a partir de mediciones realizadas en la estación fluviométrica “río La Ola en Vertedero”.

Los caudales medios mensuales de la tabla 2-5, se mantienen prácticamente constantes a lo largo del año, variando entre 567 [l/s] y 669 [l/s], con un promedio anual de 624 [l/s]. El valor promedio del mes de mayo es el más elevado producto de los altos caudales registrados los años 1990-1993-1995. El valor promedio del mes de enero es el más bajo, producto de los bajos caudales

registrados los años 1995-2000-2005. Los caudales máximos medios mensuales corresponden a 1.220 [l/s] y 1540 [l/s], registrados en los meses de febrero y marzo del año 1998, lo cual coincide con el fenómeno del Niño.

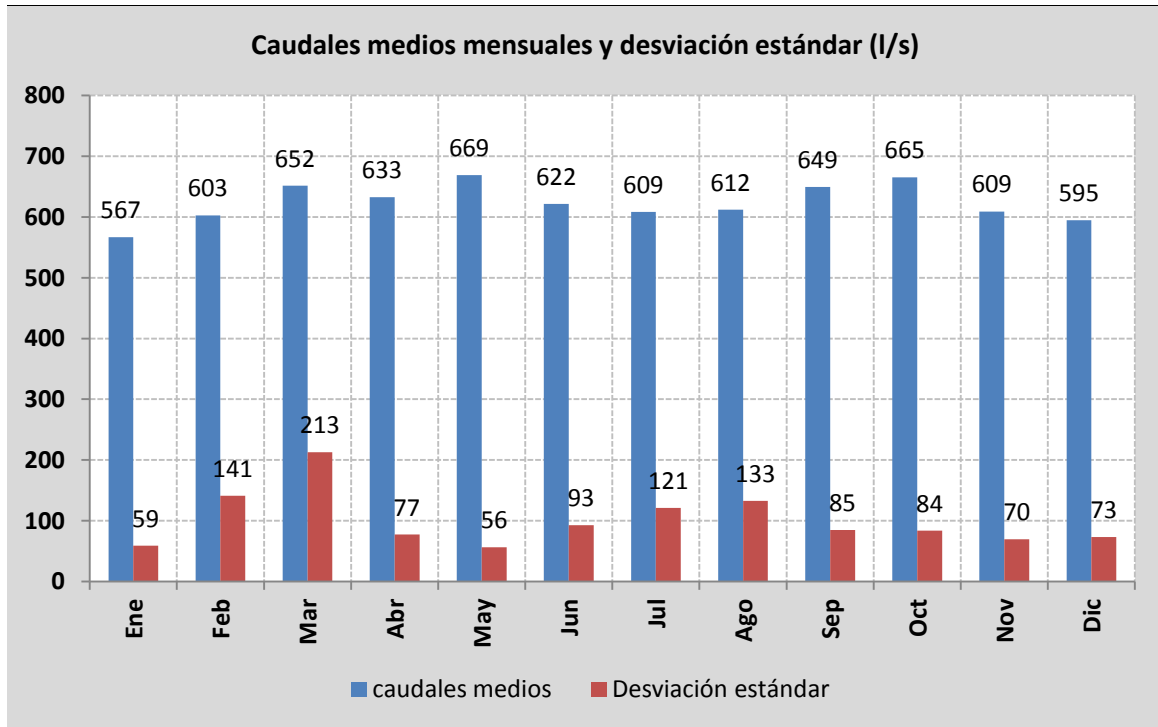
Tabla 2-5: Caudales medios mensuales estación río La Ola en Vertedero [l/s]

Caudales Medios Mensuales estación río La Ola en Vertedero [l/s]													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1986	567	603	652	633	669	645	779	824	650	702	596	605	660
1987	567	603	652	633	669	622	609	612	649	665	581	702	630
1988	574	685	981	913	696	622	609	511	542	580	581	662	663
1989	686	679	702	600	641	601	475	653	683	650	616	585	631
1990	607	592	706	609	727	631	406	184	491	646	571	712	573
1991	601	571	600	556	675	569	283	546	653	661	618	589	577
1992	581	517	532	696	698	385	379	376	626	802	596	586	564
1993	570	614	596	683	768	744	793	738	677	683	592	544	667
1994	501	585	636	659	663	633	735	685	592	567	612	548	618
1995	464	544	526	665	823	941	788	443	405	393	403	379	564
1996	520	500	510	550	550	510	620	580	630	620	520	540	554
1997	510	510	550	560	600	580	650	670	660	660	640	630	602
1998	710	1220	1540	633	669	622	609	612	649	700	700	650	776
1999	567	603	652	633	669	622	609	612	649	665	569	553	617
2000	479	491	480	500	669	622	609	612	649	665	609	500	574
2001	540	540	560	630	680	650	660	760	710	710	609	610	638
2002	540	570	590	660	700	590	610	690	830	830	750	670	669
2003	610	620	610	633	640	630	620	660	720	750	730	640	655
2004	580	570	570	560	570	580	620	700	680	630	580	530	598
2005	490	510	560	590	640	660	640	710	790	740	620	560	626
2006	590	580	580	630	640	580	650	670	680	620	570	550	612
2007	540	550	580	610	650	640	640	620	670	670	690	660	627
2008	610	630	670	700	669	622	609	612	649	690	660	660	648
2009	600	580	610	650	680	622	609	612	649	665	609	610	625
Prom	567	603	652	633	669	622	609	612	649	665	609	595	
D.E.	59	141	213	77	56	93	121	133	85	84	70	73	

Fuente: Elaboración propia

La distribución estacional de los caudales medios mensuales del río La Ola en Vertedero y desviación estándar, se muestra en la figura 2-11. El mes de marzo es el que presenta el mayor grado de dispersión con 213 [l/s], producto principalmente por los 1540 [l/s] registrados durante el año 1998 siendo 2,3 veces mayor al valor promedio mensual.

Figura 2-11: Caudales medios mensuales y desviación estándar río La Ola en Vertedero



Fuente: Elaboración propia

Según las estadísticas entregadas por la DGA, un 33% del caudal medido en la estación Río La Ola en Vertedero proviene del río La Ola, mientras que un 67% del río Juncalito.

2.2.6 Flora, fauna y sitios protegidos por el Estado

Este apartado se elabora para identificar la flora y fauna presente en el área y su estado de conservación, y se presenta como antecedente para la realización de las obras que contempla esta memoria. Se establece la configuración de las áreas protegidas por el Estado chileno y la ubicación del sector La Ola y Juncal con respecto a estas.

Tanto la riqueza como la abundancia de especies en el área de La Ola y Juncal son muy pobres, la figura 2-12 muestra las principales especies y que se encuentran protegidas por el Estado Chileno, como la Llareta o Azorella Compacta, la Chachacoma o Senecio Nutans y el Pajonal o Festuca sp (Ref.4).

Figura 2-12: Flora característica de la zona de estudio, llareta - chachacoma – pajonal



Fuente: Elaboración propia

Al igual que la vegetación de altura, la fauna se ha visto disminuida, tanto en su distribución como en su riqueza. A diferencia de la flora, la fauna es móvil, y existen especies de hábitos nocturnos, siendo difícil de establecer la totalidad de la fauna presente en un área en determinadas épocas del año. Por lo tanto, se presentará únicamente la fauna predominante según los antecedentes bibliográficos estudiados.

Los principales mamíferos que se pueden encontrar en La Ola y Juncal son: vicuñas, guanacos, zorros culpeo y chilla, vizcachas.

En el grupo de las aves se puede encontrar: flamencos, cóndores, águilas y aguiluchos, patos silvestres, gaviotas andinas, tencas, chirigües, suris, corcomanes, taguas gigantes y cornudas, zambullidores, perdiz de la puna y tórtolas cordilleranas.

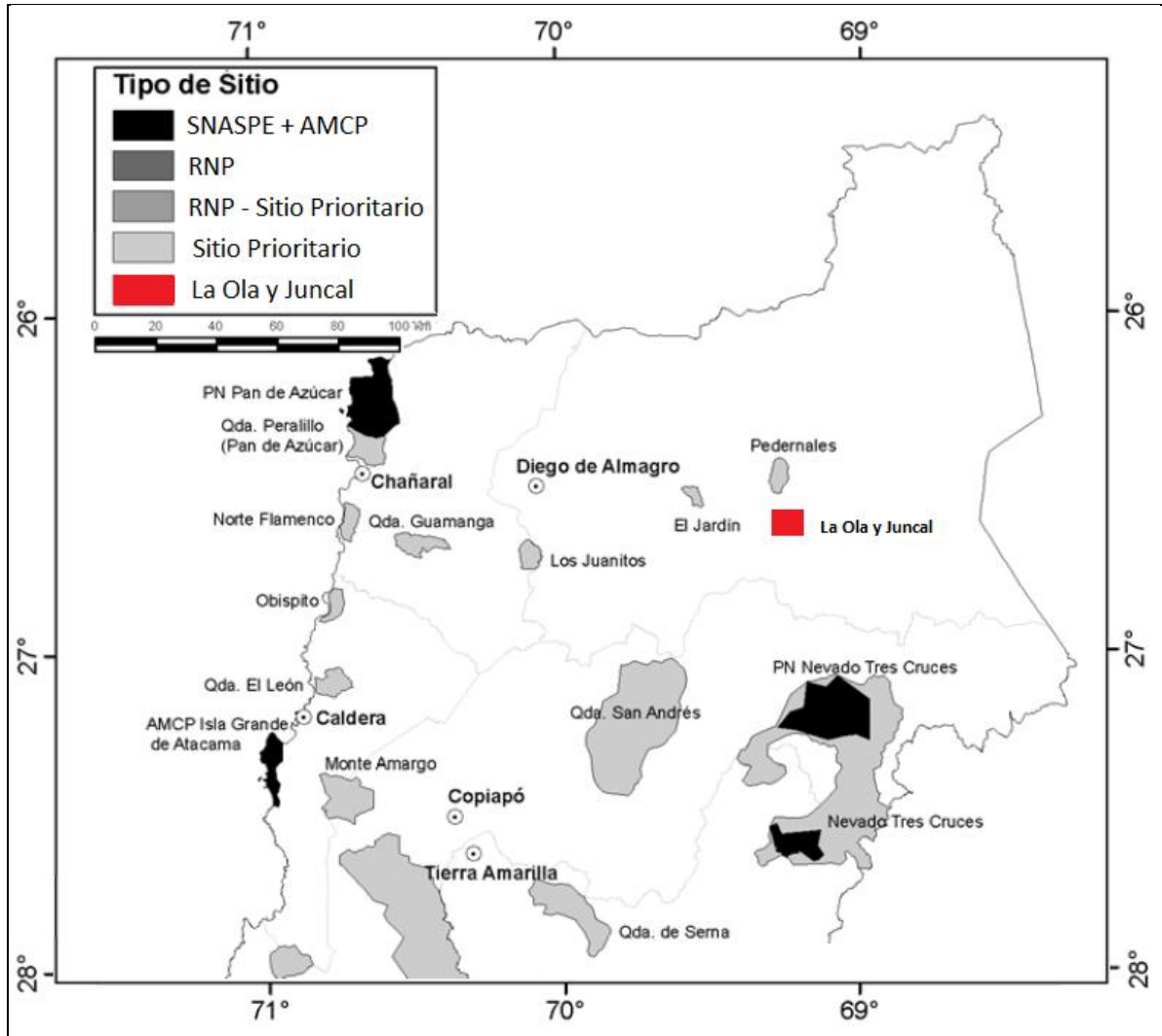
En el grupo de los peces se encuentra la trucha arcoíris. Este tipo de vertebrado representa un caso particular, no es una especie endémica, sino que ha sido introducida y crecido en los ríos del sector alto de Pedernales, precisamente en el tranque y río La Ola. Si bien, no es una especie protegida y tampoco se encuentra en peligro de extinción, por solicitud de parte de la DSAL, toda actividad que se realice en el tranque y/o río La Ola debe considerar el cuidado y conservación de esta especie.

Por otra parte, el 1,7 % de la superficie de la región de Atacama se encuentra dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), a ello se debe incluir el área Marina y Costera Protegida de Múltiples Usos (AMCP-MU) y la Reserva Natural Privada (RNP) Huascoaltinos, primera reserva regional que forma parte de la Red de Áreas privadas y Protegidas (RAPP) (Ref.4).

Con la finalidad de optimizar los territorios destinados a la conservación de especies de la flora nativa amenazada, se definieron 28 sitios prioritarios que son complementarios al SNASPE, AMCP-MU y RNP. Con esta nueva configuración se alcanzó el 13% de la superficie regional, protegiendo al 96% de las especies con problemas de conservación (Ref.4).

La Figura 2-13 muestra la configuración espacial de los sitios prioritarios, a ellos se incorporó el área correspondiente a la zona de estudio. El sector de La Ola y Juncal, se encuentra a 46 [km] del sitio prioritario El Jardín, el cual tiene 13 especies nativas (EP =0, VU=2) y a 19 [km] de Pedernales, con 35 especies nativas (EP =1, VU= 0).

Figura 2-13: Sitios prioritarios de conservación de flora amenazada de la región de Atacama.



Fuente: Adaptado de (Ref.4)

De lo anterior, se deduce que los sectores de La Ola y Juncal se encuentran fuera de las áreas silvestres protegidas por el Estado chileno.

2.2.7 Calidad del agua Industrial

DSAL ha efectuado distintos estudios para determinar la calidad del agua industrial, difiriendo en los objetivos y finalidades de cada uno. Se destaca el realizado por el laboratorio ambiental SGS Chile Ltda., ya que las muestras de agua fueron tomadas directamente de la bocatoma del tranque La Ola.

La tabla 2-4 indica los parámetros principales analizados en las muestras obtenidas del tranque La Ola, se indica la unidad de medición y el límite de detección de cada parámetro. En consecuencia, la bocatoma del tranque La Ola presenta un PH levemente alcalino, con valores sobre 8. El contenido de arsénico y boro se encuentra muy por sobre el límite de detección (LD), debido a esto se deben tomar las medidas necesarias para evitar la ingesta y el contacto directo con el

aguas durante el desarrollo de los trabajos en los tranques. Los niveles altos de sólidos (disueltos, suspendidos, volátiles y totales) son factores a tener en cuenta, ya que perturbaciones en el fondo del tranque agravaría el problema y aumentaría la turbidez del agua.

Tabla 2-6: Parámetros de muestreo calidad de agua industrial bocatoma tranque La Ola

Parámetro	Unidad	LD	n°: 802320	n°: 600527
Acidez	mg/L	0.2	<0.2	4.02
Alcalinidad Hidroxica	mg/L	0.2	<0.2	<0.2
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	0.2	130	123
Arsénico Total	mg/L	0.001	0.843	0.886
Bario Total	mg/L	0.1	<0.1	<0.1
Bicarbonato	mg/L	0.2	158	150
Boro Total	mg/L	0.01	2.39	6.10
Calcio Total	mg/L	0.01	178	132
Carbonatos	mg/L	0.2	<0.2	<0.2
Cloruros	mg/L	1	1028	1138
Cobre Total	mg/L	0.01	<0.01	<0.01
Color Verdadero	Pt/Co	5	5	<5
Conductividad Terreno	uS/cm	1	2830	
DQO 20	mg/L		<20	
Dureza Cálctica	mg/L	0.1	445	331
Dureza Magnésica	mg/L	0.1	222	172
Dureza Total	mg/L	0.1	667	503
Fluoruros	mg/L	0.5	0.60	0.55
Hierro Disuelto	mg/L	0.01	0.03	<0.01
Hierro Total	mg/L	0.01	0.05	0.09
Magnesio Total	mg/L	0.01	53.9	41.8
Manganeso Disuelto	mg/L	0.01	<0.01	<0.01
Materia Orgánica	%	0.1 %	no aplica	no aplica
Molibdeno Total	mg/L	0.001	0.008	<0.1
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0.05	<0.05	<0.05
pH en terreno	u pH		8.60	7.91
Potasio Total	mg/L	0.01	40.6	48.9
Sílice	mg/L	1	35	70
Sodio Total	mg/L	0.01	548	816
Sólidos Disueltos	mg/L	5	2453	2732
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	5	6	<5
Sólidos Totales	mg/L	5	2614	2796
Sólidos Totales Volátiles	mg/L	5	354	408
Sulfatos	mg/L	10	283	305
Turbiedad	NTU	0.05	0.71	3.92
LD (limite de detección)				

Fuente: Elaboración propia

2.3 ANTECEDENTES TRANQUE LA OLA

2.3.1 Características generales tranque La Ola

El tranque La Ola fue construido el año 1926 y es la principal fuente de abastecimiento de agua industrial de DSAL. Se ubica a 93 [km] al sureste de El Salvador y a una altura de 3.554 [m.s.n.m.]. Tiene una superficie total de 18.935 [m²] y un volumen de diseño de 50.000 [m³]. De la superficie total 11.164 [m²] corresponden a la superficie útil del tranque, mientras que 7.771 [m²] a las lagunas de sedimentación que se encuentran aguas arriba del tranque. Su fuente de abastecimiento es el río La Ola y entrega un aporte medio al sistema de agua industrial de 650 [l/s].

El tranque La Ola es una bocatoma que cuenta con un volumen de diseño que permite la regulación diaria de los caudales afluentes, acumula grandes volúmenes de agua durante el día en desmedro de la poca cantidad de agua afluente durante la noche, principalmente por el congelamiento del río. Tiene un muro de hormigón armado de 3,65 [m] de altura desde la roca de fundación y de 40 [m] de longitud, y una cortina de rebalse de 20 [m] (vertedero frontal).

La bocatoma del tranque La Ola es una cámara de hormigón armado, que consta de una compuerta circular de salida de 37" en la que se mide el caudal pasante a través un totalizador electrónico; una rejilla de entrada que retiene los sólidos de gran tamaño que puedan obstruir la conducción como (pasto, ramas, hielos, etc.) y una válvula desarenadora de 18" cuya función es retirar los sólidos que sedimentan dentro de la cámara. La compuerta circular se encuentra a 2.8 [m] de profundidad con respecto al umbral del vertedero y a 0,85 [m] del radier de la cámara. La capacidad máxima de descarga es de 775 [l/s].

El tranque La Ola es operado por una empresa contratista, la cual se encarga de realizar la operación y el mantenimiento menor, de tal forma que se asegure el normal suministro de agua industrial a la División Salvador, aprovechando eficientemente todo el recurso hídrico superficial disponible y durante el 100% del tiempo. El tranque La Ola es atendido con dotación completa de personal durante todos los días del año, quienes se encargan de informar y registrar los niveles del tranque, el caudal pasante por la compuerta, realizar el registro de temperaturas ambientales diarias, el cierre y abertura de válvulas desarenadoras, limpieza de las rejillas, lubricación de elementos y reparaciones menores.

El funcionamiento del tranque se realiza a nivel completo o de cota máxima, de producirse pérdidas de caudal por rebalse se procede a abrir parcialmente la compuerta de descarga, en caso contrario, es decir, si el nivel del tranque está bajo la cota máxima de aguas, la compuerta se cierra parcialmente y activa el pozo de bombeo (PB-1) ubicado aguas arriba del tranque, hasta que el tranque se recupere.

Se debe tener en cuenta, que la turbidez máxima permitida en la descarga es de 5 [NTU]. Este límite fue impuesto por DSAL para no dañar la planta de osmosis inversa ubicada aguas abajo del tranque. Sin embargo, este límite se ve sobrepasado frecuentemente, por lo cual DSAL procede a disminuir el aporte del tranque y utiliza las fuentes de producción subterráneas, como la planta de bombeo Pedernales y el PB-1.

Aguas arriba del tranque existen dos lagunas de sedimentación, las que son de baja profundidad y se encuentran embancadas completamente. La profundidad de las lagunas, medida desde la cota de fondo hasta el nivel máximo de aguas va desde 0,6 [m] a 1 [m]. La altura de agua sobre estas lagunas no sobrepasa los 0,3 [m] y en gran parte de la superficie no existe escurrimiento superficial. No existen antecedentes sobre el volumen de diseño de estas lagunas, y solo a partir de la batimetría realizada el año 2010 (Ref.7), se puede determinar que la superficie de la primera laguna es de 4.015 [m²] y la segunda tiene una superficie de 3.996 [m²].

El tranque La Ola cuenta con instalaciones y equipos dispuestos para el albergue del personal de operación, las que se muestran en la figura 2-14, estas tienen en su interior los siguientes implementos:

- Suministro de energía eléctrica con celdas solares para la iluminación y alimentación del banco de baterías para equipos de radiocomunicaciones.
- 2 grupos electrógenos.
- Enlace radial para una línea telefónica fija, anexo de la central Salvador.
- Instalaciones acondicionadas para alojamiento en la cordillera.
- Estanque de 200 litros para almacenamiento de agua potable.

Figura 2-14: Vista panorámica tranque La Ola e instalaciones



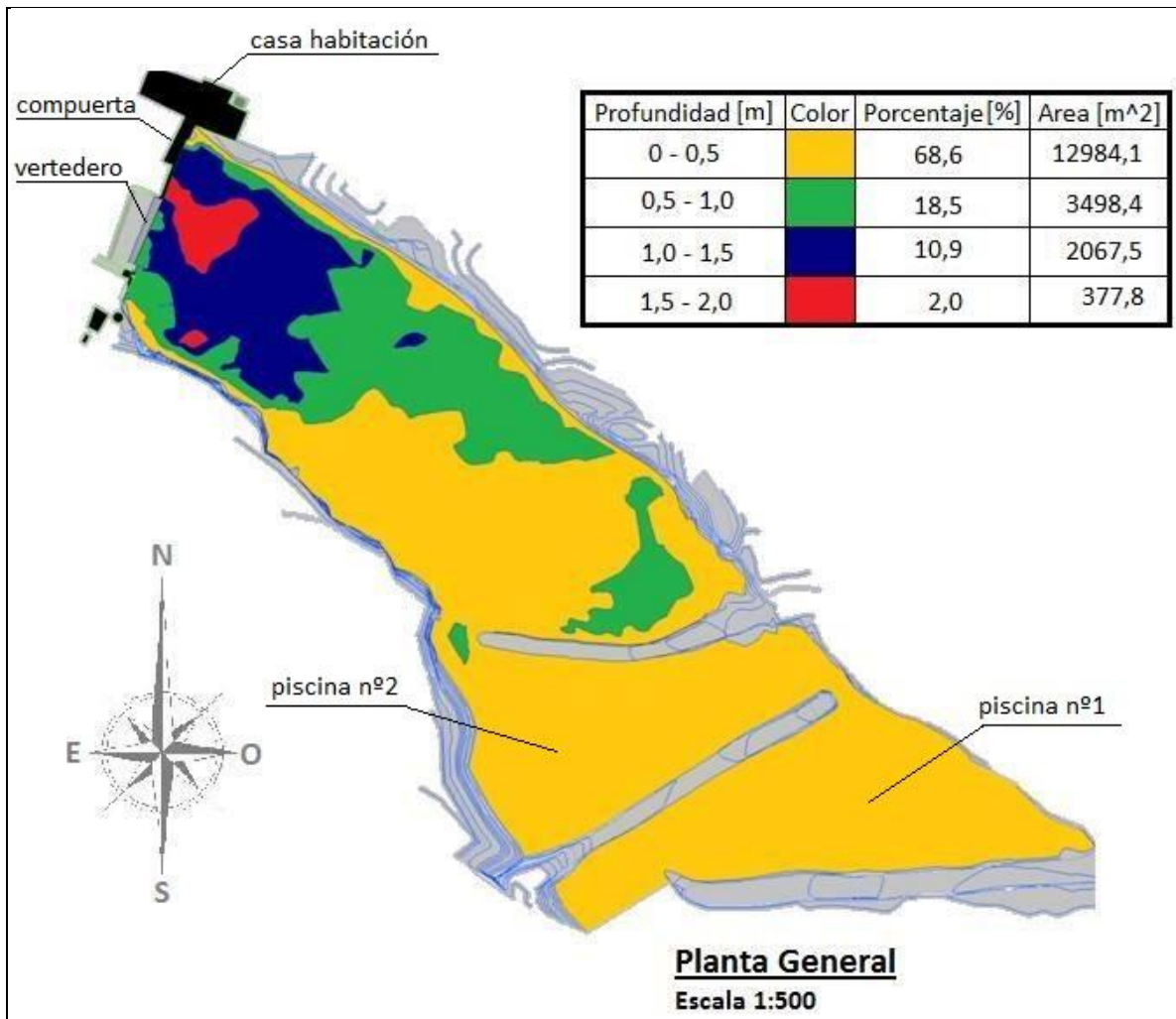
Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Condición actual tranque La Ola

El tranque La Ola presenta la acumulación de gran cantidad de sedimento en su interior, que ha mermando su capacidad de almacenamiento. Este sedimento se encuentran a una profundidad variable, la cual va desde los 0,1 [m] desde la superficie libre del agua hasta 1,7 [m] en algunos sectores, siendo de mayor extensión los de baja profundidad.

La capacidad de almacenamiento que presenta actualmente el tranque La Ola es de 7.266 [m³] y está muy por debajo de su capacidad de diseño 50.000 [m³]. Para ejemplificar lo anterior, la figura 2-15 muestra una vista en planta del tranque con la distribución de profundidades de agua en la superficie, que permite identificar el grado de acumulación de sedimento, ya que la profundidad de diseño de este tranque es de 3,65 [m].

Figura 2-15: Distribución de profundidades del agua tranque La Ola.



Fuente: Adaptado de (Ref.7)

Este esquema se obtuvo a partir del estudio batimétrico realizado en abril del año 2010. La tabla 2-7 indica los parámetros y características principales del tranque. De este estudio se desprende que la capacidad útil del tranque La Ola es tan solo un 15% de su capacidad de diseño.

Tabla 2-7: Datos hidráulicos tranque La Ola

DATOS HIDRÁULICOS		
Cota vertedero	3.570,9	[m.s.n.m.]
Cota muro	3.571,0	[m.s.n.m.]
Superficie tranque	11.164	[m ²]
Superficie piscina nº1	3.775	[m ²]
Superficie piscina nº2	3,996	[m ²]
Capacidad actual	7.266	[m ³]
Capacidad de diseño	50.000	[m ³]
Profundidad promedio	0,7	[m]

Fuente: Elaboración propia

El tranque La Ola tiene una profundidad promedio de 0,7 [m] y una máxima de 1,7 [m]. En el extremo sur se registran las profundidades más bajas y una parte importante se encuentra seca. Los primeros 5 metros contiguos al muro frontal presentan las profundidades más altas.

Actualmente el tranque La Ola funciona prácticamente solo como bocatoma, ya que el bajo volumen de almacenamiento no permite realizar regulación de caudales. Según las disposiciones expuestas por DSAL, junto con eliminar el sedimento de fondo del tranque y recuperar su capacidad de diseño, se debe disponer de un volumen que permita almacenar los caudales afluentes durante al menos 12 horas.

Además, el muro del tranque La Ola presenta una fisura horizontal de 2 [m] de longitud aproximadamente, desde cual se observan filtraciones. Por lo tanto, si se aumenta la capacidad de embalsamiento del tranque se debe evaluar paralelamente la capacidad estructural del muro, ya que un aumento de carga, aumentaría la magnitud las filtraciones y probablemente produciría el colapso de la estructura. La evaluación estructural no está dentro del alcance de esta memoria, por lo que DSAL deberá licitar estos trabajos a una empresa competente y especialista en esta área.

2.4 ANTECEDENTES TRANQUE JUNCAL

2.4.1 Características generales Tranque Juncal

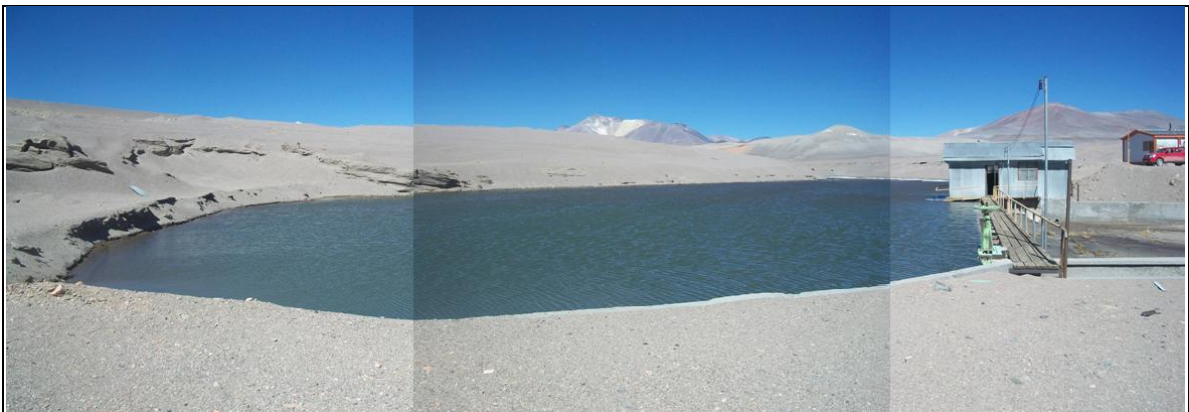
El tranque Juncal fue construido el año 1958, está ubicado a 110 [km] al sureste de El Salvador y a una altura de 3.825 [m.s.n.m.]. Es un pequeño tranque con una superficie de 10.400 [m²] y un volumen de diseño de 8.000 [m³]. Su fuente de abastecimiento es el río Juncalito y entrega un aporte medio al sistema de agua industrial de 400 [l/s]. Este tranque no tienen compuerta de descarga que regule el paso del caudal, sino que permite el paso del 100% del caudal.

El tranque Juncal está compuesto por un muro de contención de hormigón armado de 1,1 [m] de altura y 25 [m] de longitud. El agua almacenada en el tranque Juncal es captada mediante dos cámaras desarenadoras rectangulares paralelas, en las cuales previamente se detienen los componentes orgánicos mediante una rejilla. Los desarenadores finalizan en vertederos que permiten medir el caudal pasante, sin embargo, en los periodos de mayor caudal estos vertederos funcionan ahogados y los caudales se sobreestiman. De cada sedimentador, el agua pasa a sendas cámaras de carga, desde donde nacen dos aducciones (tuberías de acero y rocalit de 16" cada una), que conducen el caudal hasta la vega Leoncito. Para limpiar los desarenadores y las cámaras de carga hay válvulas desarenadoras.

El tranque Juncal es atendido en invierno con personal estable durante 4 meses, mientras que el resto del año, el personal de La Ola es el encargado de realizar el mantenimiento y tomar registros de niveles y caudales del tranque. El mantenimiento realizado al tranque es menor y está orientado al cierre y abertura de las válvulas desarenadoras y limpieza de las rejillas. El tranque Juncal cuenta con instalaciones y equipos dispuestos para el albergue del personal de operación mostrados en la figura 2-16, las instalaciones cuentan con los siguientes implementos:

- Instalaciones acondicionadas para alojamiento en la cordillera.
- Un grupo electrógeno portátil.
- Estanque de 200 litros para almacenamiento de agua potable.

Figura 2-16: Vista panorámica tranque Juncal



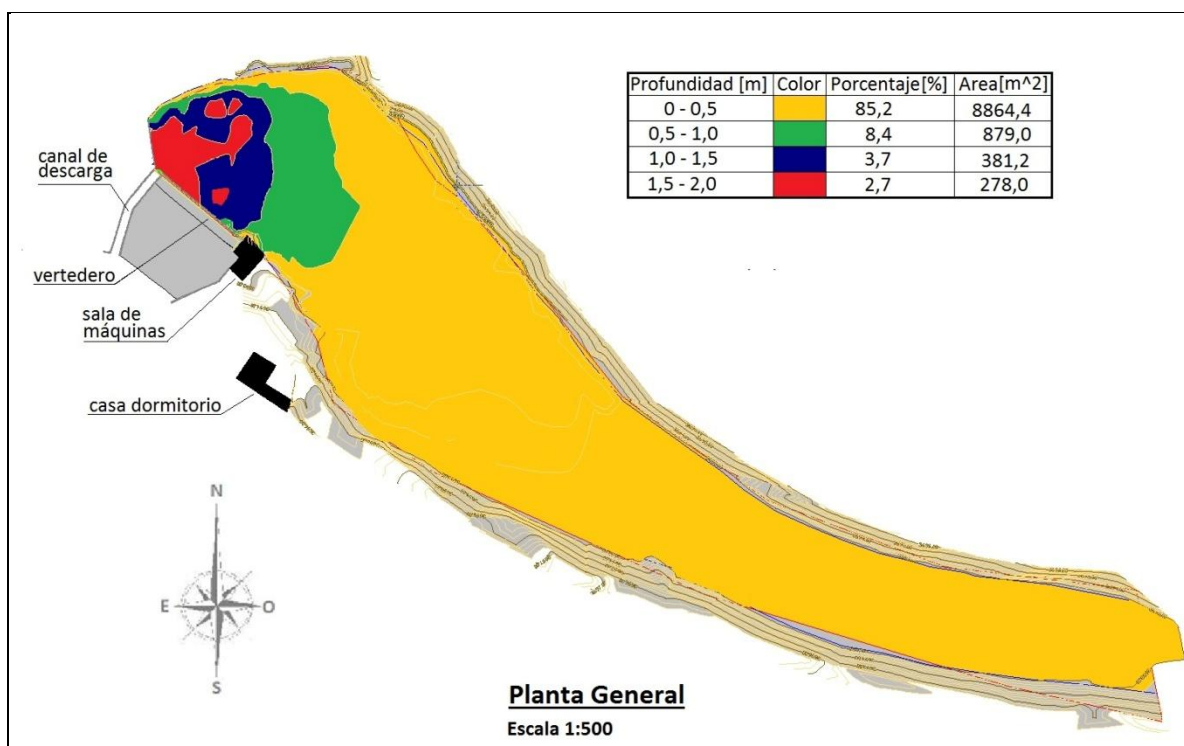
Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Condición actual Tranque Juncal

Actualmente, al igual que en el tranque La Ola, el problema que presenta es la acumulación de gran cantidad de sedimento en su interior, mermando la capacidad de almacenamiento y generando pérdidas por rebalse. Este problema se incrementa en época invernal por el congelamiento del tranque. Los sedimentos se encuentran a una profundidad variable que va desde los 0,1 [m] desde la superficie libre del agua hasta los 2,0 [m] en algunas zonas, siendo de mayor extensión los de baja profundidad.

El tranque Juncal se encuentra casi completamente embancado. La figura 2-17 que indica la distribución de profundidades de agua a lo largo de la superficie, permite ejemplificar la magnitud del embancamiento. El tranque Juncal tiene una profundidad promedio de 0,3 [m], su profundidad máxima corresponde a 2 [m] por debajo de la cota del vertedero en las inmediaciones del muro y gran parte de la superficie de este tranque se encuentra seca.

Figura 2-17: Distribución de profundidad del agua tranque Juncal.



Fuente: Adaptado de (Ref.6)

Las condiciones hidráulicas principales obtenidas del estudio batimétrico, se indican en tabla 2-8.

Tabla 2-8: Datos hidráulicos tranque Juncal

DATOS HIDRÁULICOS		
Cota vertedero	3.692	[m.s.n.m.]
Cota Muro	3.692	[m.s.n.m.]
Superficie a cota máxima	10.400	[m ²]
Capacidad actual	3.118	[m ³]
Capacidad de diseño	31.200	[m ³]
Profundidad promedio	0,3	[m]

Fuente: Elaboración propia

La capacidad actual del tranque Juncal es el 10% de su capacidad de diseño. La eliminación de sedimentos se debe realizar al menos hasta recuperar el volumen de diseño de 31.200 [m³].

2.5 FUENTES GENERADORAS DEL EMBANCAMIENTO Y PROBLEMAS ASOCIADOS A LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTO EN TRANQUES LA OLA Y JUNCAL.

Las fuentes que han generado el embancamiento en los tranque La Ola y Juncal son prácticamente las mismas, del análisis de antecedentes recopilados, de entrevistas realizadas a operadores de los tranques con más de 15 años de antigüedad y según lo observado en las campañas de terreno, se han identificado como fuentes principales de embancamiento las siguientes:

- El sedimento transportado por los ríos afluentes a los tranques.
- El sedimento transportado por el viento.
- La erosión del suelo y de laderas de los ríos La Ola y Juncalito, cuyas pendientes van desde el 1% al 20% en los casos más críticos.
- La no existencia de medidas de control sedimentos.
- La no existencia de medidas correctivas para la eliminación de sedimentos.
- La no existencia de un plan de manejo y mantención sustentable de los tranques y un control preventivo por parte de DSAL. Por ejemplo, el último intento de extraer los sedimentos embancados en el tranque La Ola y Juncal, se realizó el año 2008 y se caracterizó por las enormes deficiencias técnicas y operacionales adoptadas para la limpieza, que produjo la paralización de los trabajos al poco tiempo de ser ejecutados (Ref.28).

Por otra parte, la cantidad de sedimentos acumulados en los tranques ha generado muchos problemas, que van desde inconvenientes operacionales, altos costos en mantención y reparación de equipos, altos costos en energía por el funcionamiento de los equipos de bombeo, y además problemas ambientales.

En este apartado se procederá a identificar los problemas más comunes y representativos, que produce la acumulación de sedimentos al interior de los tranques, como por ejemplo:

- Disminuye la seguridad en la entrega del recurso durante el 100% del tiempo: con el volumen actual, el tranque La Ola ejerce una regulación de 3 horas para un caudal efluente de 650 [l/s], insuficiente y no representa lo esperado por DSAL, para periodos de baja oferta hídrica.
- Pérdidas por rebalse: durante el periodo de crecidas se producen grandes pérdidas por rebalse, sumado a esto, la acumulación de sedimentos en la bocatoma ha disminuido la capacidad actual de porteo.

- Deterioro y desgaste por abrasión en elementos mecánicos (tuberías, válvulas, compuertas): debido al exceso de arenas pasantes por la descarga, son constantes las obstrucciones de válvulas y la cantidad de arena acumulada en las cámaras de captación y cada vez más frecuente el reemplazo de estas.
- Disminución en eficiencia de sedimentación de partículas: influye directamente en la calidad del agua, aumentando los niveles de turbidez y la operación de la planta de osmosis inversa, que se encuentra aguas abajo del tranque La Ola. El alto contenido de arena presente en el agua, tapa e inhabilita las válvulas de desagüe y ante presuntas eventualidades, como roturas, aumenta el tiempo necesario para el desagüe de la línea, aumentando con ello el tiempo de paralización de suministro de agua industrial.
- Altos costos por bombeo: la disminución en el caudal aportado por los tranques, producto del alto nivel turbidez presente en el agua superficial, obliga a aumentar el aporte de las fuentes subterráneas, lo que produce un aumento en los costos de energía por bombeo.
- Costos de mantención: aumentan los costos asociados a la mantención, debido a las constantes reparaciones de elementos estructurales, por ejemplo tan solo el año 2009, la División Salvador efectuó la reparación de 28 roturas con un costo asociado a dichas intervenciones de \$ 50.000.000. Aumenta el costo asociado al cambio de membranas para la planta R.O.
- Disminución vida útil de elementos mecánicos.
- Eutrofización: la acumulación de sedimentos y materia orgánica genera un aumento en los niveles de nutrientes, la reducción de oxígeno disuelto y el aumento en la productividad biológica. La acumulación de partículas en suspensión produce la disminución en la penetración de la luz solar, con ello la descomposición de la biomasa existente genera la emisión de gases contaminantes a la atmosfera principalmente CH₄ (metano) y malos olores.

3 ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA EXTRACCIÓN DE SEDIMENTOS EN LOS TRANQUES LA OLA Y JUNCAL

Existen dos formas para desarrollar la extracción de sedimentos de los tranques cordilleranos La Ola y Juncal, la primera de ellas consiste en el dragado del sedimento de fondo, y la segunda en la desecación y posterior extracción de sedimentos mediante excavación directa.

En general, los métodos de dragado pueden ser clasificados por el principio básico que utilizan para ejecutar la excavación de los materiales en dragas mecánicas, dragas hidráulicas y dragas combinadas. Además de la diferencia conceptual, existe una gran diferencia de rendimiento, por lo general a favor de las hidráulicas. Las dragas mecánicas se caracterizan por extraer el material con un contenido de sólidos mucho mayor, pero a su vez presentan rendimientos horarios más limitados. Por este motivo, salvo en ocasiones donde el tipo de material o las restricciones propias del sitio lo impiden, las dragas hidráulicas son las preferidas.

Las dragas mecánicas utilizan el mecanismo de corte para penetrar el suelo. Estas dragas por lo general no son autopropulsadas y se requiere de una embarcación auxiliar para su transporte y posicionamiento. Existen cuatro tipos de dragas mecánicas y cuya forma general se muestra en la figura 3-1.

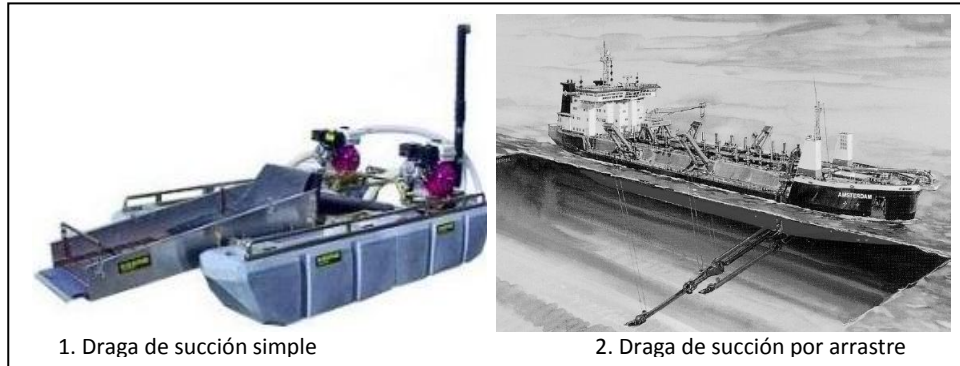
Figura 3-1: Tipos de dragas mecánicas



Fuente: Elaboración propia

Las dragas hidráulicas utilizan bombas centrífugas para producir la succión del agua que transporta el material dragado. La figura 3-2 muestra la configuración general de los dos tipos de dragas hidráulicas más utilizadas.

Figura 3-2: Tipos de dragas hidráulicas



Fuente: Elaboración propia

Las dragas combinadas son dragas que combinan acciones hidráulicas y mecánicas para realizar la excavación. Consisten en una estructura instalada sobre pontones, compuestas por una tubería de succión en cuyo extremo va acoplado un cabezal cortante, que corta y disgrega el material. La figura 3-3, muestra los tres tipos de dragas combinadas más comunes.

Figura 3-3: Tipos de dragas combinadas



Fuente: Elaboración propia

De la amplia variedad de sistemas de dragado utilizados en el mundo, sólo se abordarán aquellas que son aplicables al presente proyecto. Asimismo se expondrán los efectos ambientales al utilizar estas tecnologías y las técnicas asociadas para el manejo del material.

3.1 DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS

3.1.1 Alternativa N°1-Draga de Succión Simple

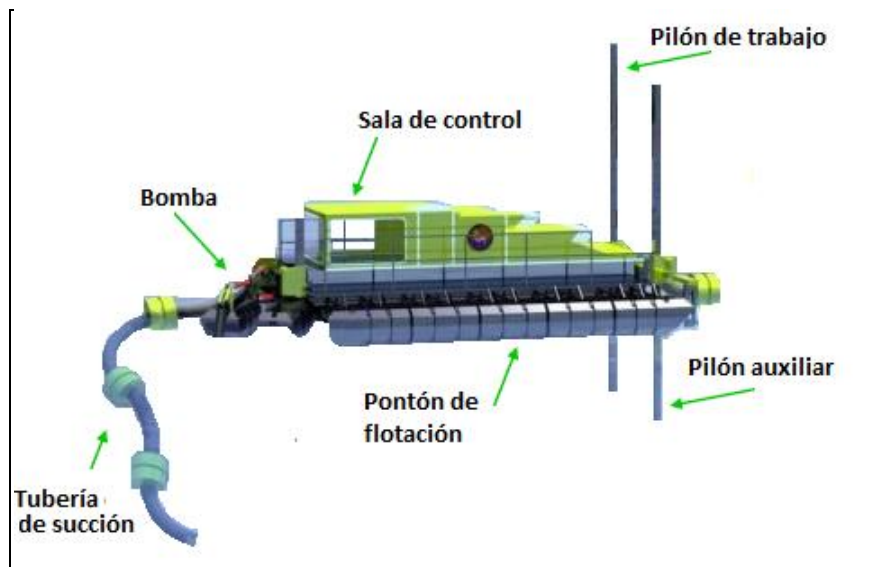
La draga de succión simple es una draga estacionaria, que consiste en un pontón anclado y una bomba que está conectada a una tubería de succión que eleva la mezcla de agua - sedimento hasta la superficie. La tubería de succión puede ser soportada por un pórtico o por un sistema rígido con movilidad mediante winches y cables. También existen sistemas de dragado más pequeños en los cuales se necesita de un buzo para el manejo de la tubería de succión.

La descarga de los materiales se realiza mediante tuberías, a barcos de carga (cántaras) o directamente al vertedero. La excavación del material puede ser por la erosión a través de un chorro de agua y/o por el flujo de succión de la bomba. La boca de succión puede estar protegida con un enrejado o canastilla para evitar que rocas de gran tamaño, desechos, etc., obstruyan el conducto. Durante el dragado se forma un agujero profundo en el fondo del área de dragado y la arena fluiría a través de los taludes a la boca de succión siendo bombeada hacia arriba.

La draga puede ser movida lentamente con las anclas. La producción en arena y otros materiales de baja compactación es sumamente alta, pero la precisión con este tipo de draga es muy pobre. Algunas dragas de succión están equipadas con una bomba sumergida o una combinación de bombas sumergidas y bomba a bordo.

La eficiencia de estas dragas depende del tipo de material y las propiedades mecánicas del suelo, potencia de las bombas, profundidad de dragado y distancia entre la zona de trabajo y zona de descarga final. La figura 3-4 muestra una draga de succión simple y sus componentes principales.

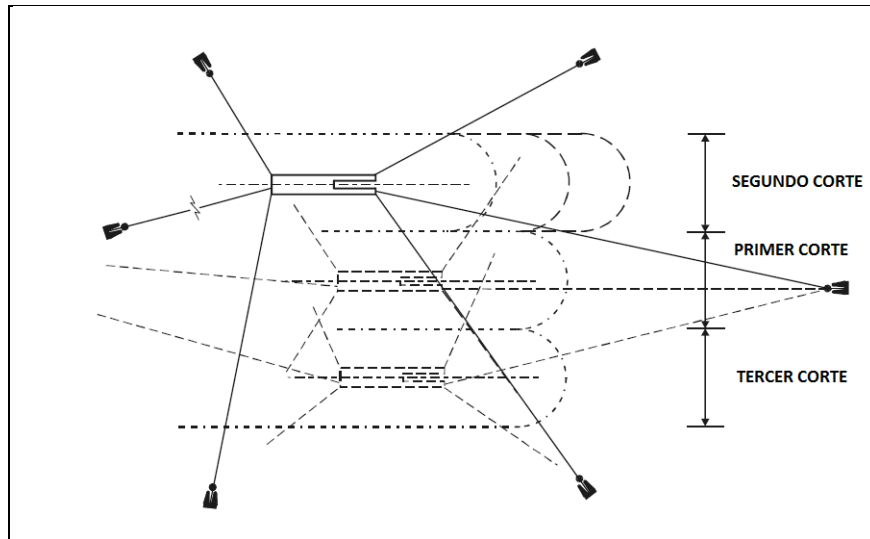
Figura 3-4: Dragas de succión simple



Fuente: Elaboración propia

El método de operación comienza cuando la draga llega al área indicada para efectuar el dragado, la draga se fondea, se baja el tubo de succión (el cabezal puede tener chorros de agua para facilitar la fluidificación del material) hasta el fondo y comienza la operación. El patrón de dragado se realiza como indica la Figura 4-8.

Figura 3-5: Método de operación draga de succión simple (Ref.8)



Fuente: Adaptación de (Ref.8)

Dentro la zona de dragado, la longitud del corte es determinada por las posiciones de las anclas. Los anclajes se suelen colocar de tal manera que puedan hacerse más cortes uno junto a otro en la misma posición.

La profundidad de succión es el parámetro que determina si es necesaria o no la utilización de una bomba sumergida para lograr la producción requerida. En las dragas de succión equipadas con una bomba sumergida, la profundidad de excavación no influye en la producción. Por ejemplo, si aumenta la profundidad de aspiración y no se ha considerado una bomba sumergida, el caudal de bombeo debe ser aumentado para obtener la misma tasa de producción, al mismo tiempo se debe reducir la concentración para no producir cavitación, generando concentraciones con demasiada cantidad de agua, ineficientes y no rentable económicamente. Esta draga es muy efectiva para dragar materiales no consolidados como arenas y gravas permeables, pero resulta no apta para suelos cohesivos y rocas.

Las ventajas que entrega este tipo de draga, y a la vez las desventajas, se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 3-1: Ventajas y desventajas- Draga de Succión Simple

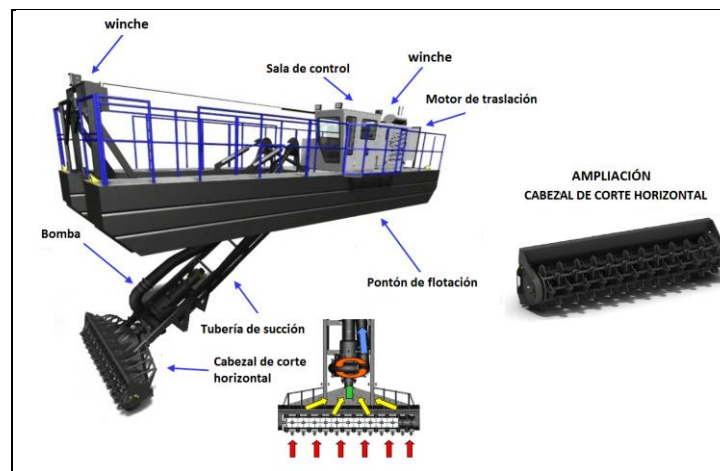
Ventajas	Desventajas
Ecológica, baja turbidez en su operación cuando no se utilizan chorros de agua.	Muy pobre control de la profundidad de dragado.
Gran capacidad para trabajar en aguas de poca profundidad.	Pobre control de taludes perimetrales.
Altos niveles y ciclo prácticamente continuo de producción.	Las dragas con chorro de agua producen alta turbidez.
La capacidad de llevar el material dragado mediante bombeo por tuberías directamente al lugar de deposición.	Altos costos de movilización.
Tamaño pequeño con relación a su capacidad de producción.	Riesgo en la operación y rendimiento si los materiales a dragar no son los previstos.
Mano de obra y equipos accesibles en el mercado local.	Apta solo para determinadas épocas del año, condicionada por el congelamiento de los tranques.

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Alternativa N°2-Draga de Succión con Cortador Horizontal

Una draga con cortador horizontal utiliza un tornillo de rotación de Arquímedes como herramienta de corte para aflojar el material y empujarlo hacia la entrada del tubo de succión, la configuración general de este tipo de dragas se muestra en la figura 3-6.

Figura 3-6: Draga de succión con cortador horizontal

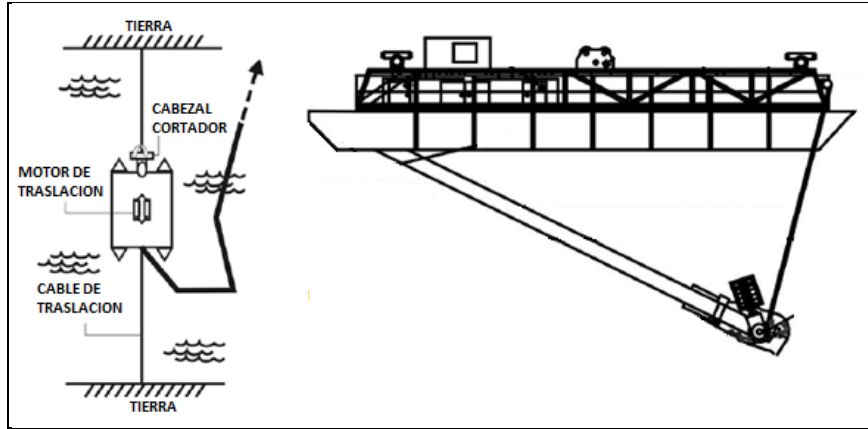


Fuente: Elaboración propia

El método de operación de este tipo de dragas se realiza mediante un cable de acero, el cual es movido por un winche. El cable puede asirse ya sea en tierra, entre balsas flotantes ancladas al efecto, o bien, de una combinación de ambas posibilidades. Según las posiciones del cable y de acuerdo a los requerimientos de la obra, se puede abarcar el área requerida. La profundidad del dragado se obtiene regulando la extensión del brazo del cabezal cortador. La operación de la draga

es posible controlarla en forma manual abordo o por control remoto desde tierra, mediante un sistema de transmisión de radio frecuencia. Los componentes principales utilizados en la operación, se muestran en la figura 3-7.

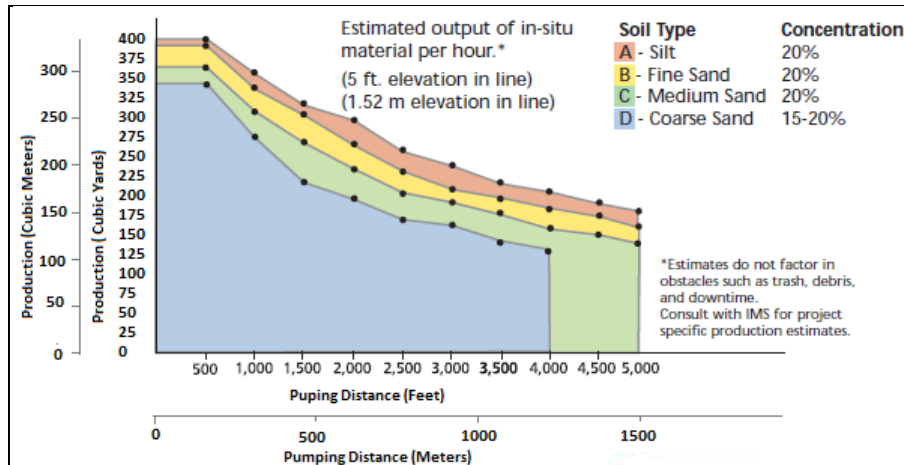
Figura 3-7: Método de operación draga de succión con cortador horizontal



Fuente: Adaptación de (Ref.8)

En cualquier proyecto de dragado es necesario determinar la producción de los equipos que se van a utilizar. El fabricante tiene un conocimiento detallado de los rendimientos de sus equipos, pero en general esta información no es difundida públicamente. Los fabricantes de dragas suelen proveer curvas con producciones esperadas en función de la distancia de bombeo y del tipo de material. Por ejemplo en la Figura 3-8 se presenta la curva de producción para una draga tipo IMS Model 7012.

Figura 3-8: Curva de producción tipo, draga de succión con cortador horizontal. IMS Model 7.012 HP Versi – Dredge.



Fuente: Adaptación de (Ref.8)

Para el diseño de una draga con cortador, se debe tener en cuenta la profundidad máxima y mínima de dragado. La profundidad máxima de dragado está dada por el alcance de la eslinga, por lo general, si se requiere una draga con mayor profundidad, se debe utilizar un pontón de mayor

tamaño y peso, mientras que la profundidad mínima de dragado está determinada por la profundidad en reposo de la eslinda y el peso de la estructura.

La compatibilidad con los distintos tipos de suelos se muestra en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Compatibilidad de dragado según tipo de suelo

Tipo de Suelo	Compatibilidad
Rocas	no apta
Gravas	draga con relativa facilidad.
Arenas	draga todo tipo de arenas
Limos	draga bien y los pueden bombear a mucha distancia.
Arcillas	draga todo tipo de arcillas.
Suelos orgánicos	draga bien

Fuente: Elaboración propia

Las ventajas que entrega este tipo de draga, y a la vez las desventajas, se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 3-3: Ventajas y desventajas- Draga de Succión con Cortador Horizontal

Ventajas	Desventajas
Ecológica, no dispersa los sedimentos contaminados ni produce turbiedad, ya que esta queda atrapada en la pantalla instalada alrededor de la barrena.	La distancia a la cual el material puede ser enviado económicamente es pequeña, ya que a medida que crece la distancia, mayor debe ser la capacidad de la bomba de succión.
Operación en aguas de baja profundidad, hasta 1[m].	Profundidad límite de dragado está dada por el tamaño de la eslinda o escalera.
Operación a control remoto en lugares contaminados.	Altos costos de movilización.
Descarga de sedimentos a gran distancia en tierra o en agua, lo que permite enviar transportar el sedimento directamente al vertedero.	Nulo control de taludes perimetrales.
Tamaño pequeño con relación a su capacidad de succión.	Mano de obra y equipos no accesibles en el mercado local.
Remueve mayor concentración de sedimentos en comparación con la de cabeza estándar.	Riesgo alto de paralización de la operación por fallas mecánicas, por la improbable disponibilidad de repuestos en el mercado local.
Tiene un gran control de la profundidad y precisión del dragado, debido a que la forma del cabezal de corte permite dejar la superficie horizontal y sin baches.	Riesgo en la operación y rendimiento si los materiales a dragar no son los previstos.

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Alternativa N°3-Desecación y Excavación de Sedimentos.

Esta alternativa contempla la desecación de los tranques y posterior extracción de sedimentos en seco, desarrollándose como una obra de excavación convencional. La excavación se realiza mediante excavadoras, las cuales ofrecen la ventaja de realizar una eficiente faena y facilitar el carguío de material directamente en los camiones tolva

Para el desarrollo de la excavación y retiro del material, se hace necesaria la construcción de un bypass que permita conectar el río La Ola y el río Juncalito con la tubería de descarga de los respectivos tranques. Esta acción permitirá suministrar el caudal natural del río durante el 100% del tiempo y evitar la paralización de la producción.

El método de operación, una vez realizado el desecado los tranques y eliminado todo el volumen de agua posible, será el siguiente: La máquina excavadora se introducirá dentro de la superficie de los tranques e irá formando acopios de material lo más cercano a la orilla, de tal forma que favorezca el carguío de este a los camiones tolva. Si las condiciones del terreno no permitieran el tránsito de la excavadora sobre la superficie de los tranques, se deberá estabilizar con material granular para evitar empantanamiento.

Formados los acopios se comenzará con el ciclo de carga y descarga del material, desde el tranque hacia el vertedero definido en las bases técnicas. El proceso se repetirá hasta extraer el volumen total de sedimentos requerido. La figura 3-9 muestra una foto en la cual se aprecia la forma de carguío de los camiones tolva.

Figura 3-9: Sistema de carguío excavadora y camión tolva



Fuente: Elaboración propia

Las ventajas que entrega la excavación, y a la vez las desventajas, se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 3-4: Ventajas y desventajas- Deseccación y Excavación de Sedimentos

Ventajas	Desventajas
Tiene un alto nivel de producción en comparación con las dragas hidráulicas.	Se necesita la construcción de obras anexas, para conectar los ríos con sus respectivas obras de descargas, y así suministrar continuamente el agua industrial.
Al excavar en seco, no se genera perturbación ni turbidez.	Se requiere la implementación de un plan de manejo y extracción de truchas para el tranque La Ola. Se recomienda que la excavación se realice entre los meses de abril y octubre, ya que estos meses se encuentran fuera del período de apareamiento de las truchas.
No se ve afectada por cantos rodados, basuras, material consolidado, etc.	Se debe realizar el secado de la zona de excavación.
Cuentan con un equipamiento y mano de obra accesible en cualquier mercado.	
Tiene gran capacidad de manejo para todo tipo de sedimentos, desde arenas finas hasta rocas y escombros.	
Capacidad para dejar el fondo y taludes perimetrales con una excelente terminación.	
No influye en la operación y rendimiento, si los materiales a dragar no son los previstos.	
Desplazamiento y soporte a través de orugas, su operación no se ve afectada por la naturaleza del material de fondo.	
Apta para cualquier época del año y el congelamiento de los tranques no es una condicionante para su operación.	

Fuente: Elaboración propia

3.2 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Previo a determinar la capacidad de producción de cada alternativa, es necesario definir las características del sedimento y el volumen total a extraer, tanto para el tranque La Ola, como para el Juncal.

3.2.1 Características del sedimento

Para obtener las características del sedimento a extraer de los tranques, se tomaron cinco muestras del material de fondo del tranque La Ola, tres directamente en el tranque y dos del acopio de material sacado del fondo del tranque mostrado en la figura 3-10, además dos muestras del material de fondo del tranque Juncal.

Figura 3-10: Acopio de sedimento extraído del tranque La Ola en septiembre del 2006.



Fuente: Elaboración propia

La clasificación del material, se realizó considerando los criterios adoptados por PIANC, según tabla 3-5.

Tabla 3-5: Clasificación PIANC de materiales (Ref.5)

Clasificación	Diámetro [mm]
Bolones grandes	Mayor a 200
Bolones pequeños	60 a 200
Grava gruesa	20 a 60
Grava media	6 a 20
Grava fina	2 a 6
Arena gruesa	0,6 a 2
Arena media	0,2 a 0,6
Arena fina	0,06 a 0,2
Limos	0,002 a 0,06
Arcillas	Menor a 0,002

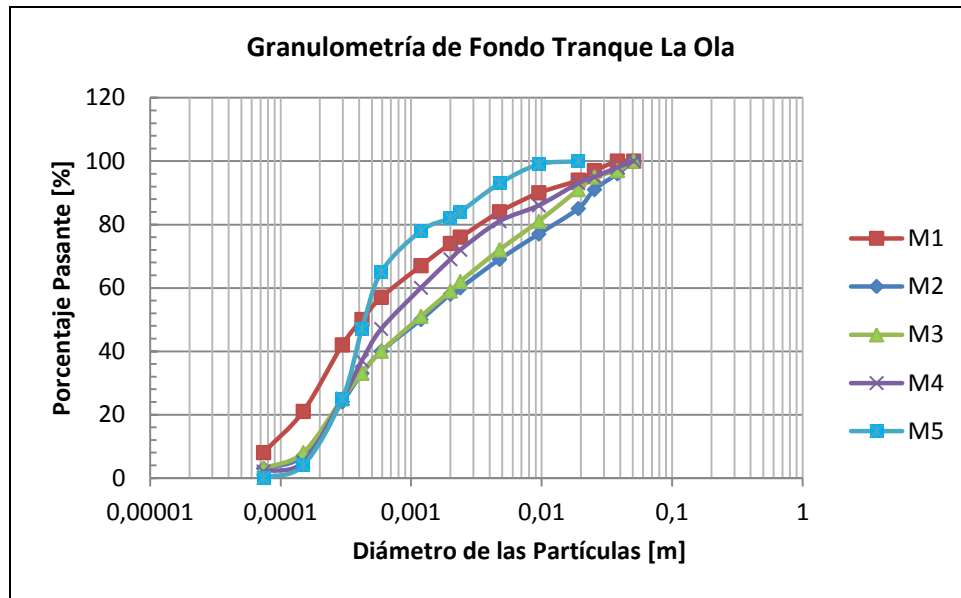
Fuente: Elaboración propia

Las muestras del tranque La Ola son representadas en la figura 3-11 mediante sus curvas granulométricas, estas corresponden a sedimentos de tipo arenas a gravas con presencia de

cantos rodados, siendo la mayor parte de ellas arenas medias a finas. El diámetro medio de las muestras de fondo varía entre 0,42 y 1,69 [mm], con una media de 0,59 [mm]. El contenido de materia orgánica varía de media a escasa.

El resultado del análisis efectuado, establece que la clasificación sedimentológica de las 5 muestras (M1, M2, M3, M4, M5) indica que el mayor porcentaje corresponde a arenas, con un valor correspondiente al 68% del peso total (25% finas, 33% medias y 10% gruesas), en menor cantidad se encuentra las gravas con un 29% del total (16% finas, 8% medias, 6% gruesas) y finalmente el 3% restante corresponden a limos y arcillas.

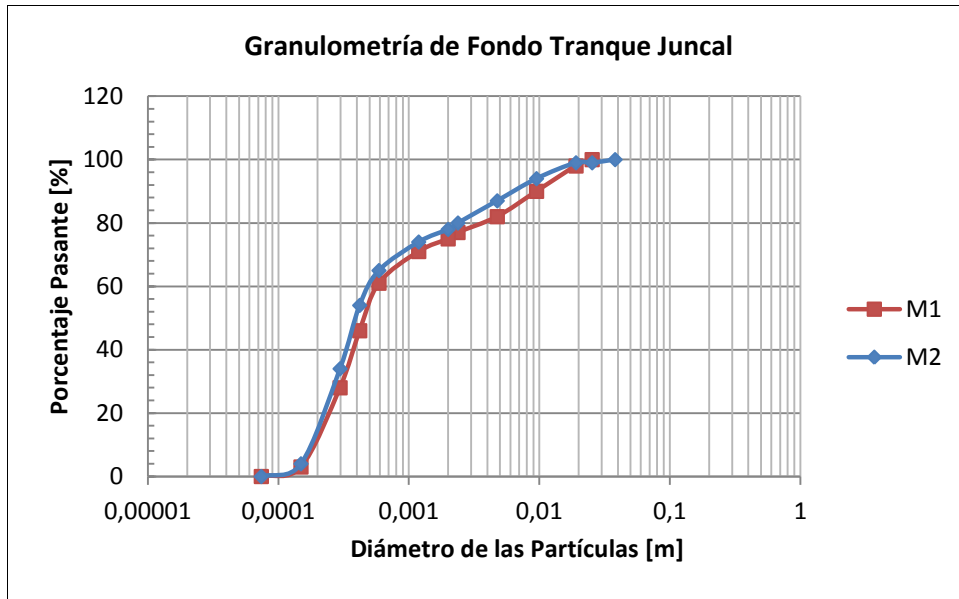
Figura 3-11: Curva granulométrica sedimento de fondo tranque La Ola



Fuente: Elaboración propia

Las muestras del tranque Juncal (M1 y M2) representadas mediante sus curvas granulométricas en la figura 3-3, corresponden a sedimentos de tipo arenas a gravas con presencia de cantos rodados. El diámetro medio varía entre 0,0297 y 0,59 [mm], con una media de 0,42 [mm]. El contenido de materia orgánica es medio. El resultado del análisis efectuado, establece que la clasificación sedimentológica de las muestras corresponde en un mayor porcentaje a arenas con un valor del 79% del peso total (31% finas, 42% medias, 6% gruesas) respectivamente) y en menor cantidad están las gravas con un 22% del peso total (14% finas; 8% medias, 1% gruesas).

Figura 3-12: Curva granulométrica sedimento de fondo tranque Juncal



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Volumen de sedimentos a extraer

Para el tranque La Ola, el volumen de sedimento queda determinado por la altura máxima de extracción, la cual está limitada por el sello de fundación del tranque, que corresponde a un material rocoso. La altura desde la cota de fundación hasta la cota de rebalse del vertedero frontal son 3,65 [m]. Por lo tanto, la profundidad proyectada para el tranque La Ola será de 3,5 [m], la cual considera 0,15 [m] de holgura para no romper el sello de fundación. El volumen de sedimentos a extraer se estima en 31.808 [m³], con ello se logra una capacidad de 39.074 [m³] (sin considerar las lagunas de sedimentación).

El fondo del tranque Juncal corresponde a la capa natural de suelo, por lo que no existe un límite de profundidad o alguna restricción. La profundidad proyectada para el tranque Juncal será de 3 [m] y el volumen a extraer de 28.082 [m³], que es equivalente al volumen necesario para restablecer su capacidad de diseño.

Los volúmenes extraer son referenciales y no se considera el esponjamiento.

3.2.3 Capacidad de producción alternativa N°1-Draga de Succión Simple

El análisis de producción está basado en la utilización de herramientas que van desde simples hojas de cálculo, hasta complejos programas computacionales. Los programas en general, utilizan datos de entrada como las características de la bomba, longitud y dimensión de tuberías, presión tipo de material, etc. Los detalles de estos modelos son en gran parte propiedad del fabricante y están más allá del alcance de este estudio. Sin embargo, teniendo como dato la capacidad de producción (Ref.9), se puede determinar la producción efectiva de trabajo mediante la siguiente ecuación:

$$Q = Q_{mezcla} \frac{C_{vd}}{1 - n} \quad (3.2.1)$$

Las variables involucradas en la ecuación son, Q que es la producción neta expresada en $[m^3/s]$, Q_{mezcla} es el caudal de bombeo expresado en $[m^3/s]$, C_{vd} es la concentración de sólidos de la mezcla de agua –sedimento y n la porosidad.

La concentración de sólidos puede variar minuto a minuto, para este tipo de dragas el valor medio se encuentra entre el 10% y el 30%. El tamaño del sedimento define el diámetro de la tubería de descarga. La velocidad en la tubería de descarga varía en función de una serie de factores tales como: la potencia de la bomba, longitud de la tubería, diferencia de presión estática entre la superficie y el punto de descarga, pérdidas por fricción, etc. Para determinar la capacidad de producción de una draga de succión simple, se utilizará una bomba TOYO modelo DPF-20B, cuyas características técnicas se indican en la tabla 3-6, obtenidas del sitio web www.jacolcolomer.cl, (Ref.32).

Tabla 3-6: Especificaciones técnicas bomba TOYO modelo DPF-20B

Ítem	Descripción
Modelo	: DL-7,5 con agitador de sólidos
Diámetro Descarga	: 3"
Altura (TDH)	: 12 m
Caudal	: 1,1 m ³ /min (66 m ³ /hr)
Tamaño máximo de sólidos	: 1,2"
Contenido de sólidos	: 20%
Peso del equipo	: 151 Kg
Velocidad	: 7,5 HP

Fuente: Elaboración propia

Considerando un tiempo de trabajo promedio de 8 [horas/día], 5,5 días a la semana, una porosidad del 35% para arenas de grano fino-medio-grueso (Phillips, 1991) y una eficiencia del 75%. La producción estimada es

$$Q = 0,75 Q_{mezcla} \frac{C_{vd}}{1 - n} = \frac{0,75 \cdot 198 \cdot 0,2}{1 - 0,35} \cdot 8 = 365 [m^3/día]$$

El tiempo de operación requerido por la Alternativa N°3, para extraer el sedimento para los tranques La Ola y Juncal, se presenta en la tabla 3-7:

Tabla 3-7: Rendimiento y tiempo de operación draga de succión normal

Tranque	Rendimiento [m ³ /día]	Volumen a Extraer [m ³]	Tiempo [semanas]
La Ola	365	31.808	16
Juncal	365	4.882	3

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Capacidad de producción alternativa N°2- Draga de Succión con Cortador Horizontal

La producción está limitada por la potencia del cortador o por la potencia de la bomba. Por ello el cortador debe estar en condiciones de dragar todo el material que puede succionar la bomba y viceversa. Además la producción de corte suele ser muy superior a la succión del material o producción de dragado, generando que no todo el material que ha sido cortado entre en la boca de aspiración, a menudo entre el 20% y 30% se queda atrás como derrames. La distancia de descarga depende de la potencia de la bomba y de las características del suelo. Si la potencia de la bomba no es suficiente, se puede optar entre elegir una draga de mayor potencia o intercalar una estación de re-bombeo.

La profundidad de succión determina si una bomba sumergible es necesaria o no para obtener la capacidad de producción solicitada. Si la bomba no es sumergible, se debe aumentar el diámetro de la tubería de succión y la concentración de la mezcla, con el fin de no ocasionar un encajonamiento.

Para realizar la estimación de la producción y el tiempo de operación, se detalla la información entregada por la empresa Dragados Sud – América S.A., para una draga con las siguientes especificaciones técnicas del equipo indicado en la tabla 3-8:

Tabla 3-8: Especificaciones técnicas para una draga modelo mudcat.

Ítem	Descripción
Modelo	: Mudcat
Profundidad mínima de operación	: 0,9 [m]
Profundidad máxima de succión	: 4,5 [m]
Tamaño máx. sólidos	: 1"
Contenido de sólidos	: 30%
Producción	: 80 [ton/hora]
Velocidad	: 1160 [rpm]

Fuente: Elaboración propia

El rendimiento se determina multiplicando la capacidad de producción teórica entregada por el fabricante por la eficiencia y las horas trabajadas al día. Considerando un tiempo de trabajo promedio de 8 [horas/día], 5,5 días a la semana, una densidad de 2.544 [kg/ m³] del material y una eficiencia del 75%.

El tiempo de operación requerido por la Alternativa N°2 para extraer el sedimento para los tranques La Ola y Juncal, se presenta en la tabla 3-9:

Tabla 3-9: Rendimiento y tiempo de operación draga de succión con cortador horizontal

Tranque	Rendimiento	Volumen a Extraer	Tiempo
	[m ³ /día]	[m ³]	[semanas]
La Ola	189	31.806	31
Juncal	189	28.082	28

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Capacidad de producción alternativa N°3-Desecación y Excavación de Sedimentos.

Para estimar la capacidad de producción de este sistema, se debe tener en cuenta que el proceso es cíclico y discontinuo, y una estimación cuantitativa de producción se hace difícil, más aún cuando están sujetos a diversas variables en las que no se tiene control, sin embargo, se puede estimar la producción mediante la siguiente ecuación.

$$P_{excavadora} = \frac{V_{cubeta}}{T_{ciclo}} \cdot Ef \cdot f_{ca} \cdot f_v \text{ (Ref.18)} \quad (3.2.2)$$

Las variables involucradas en la ecuación son $P_{excavadora}$ que es la producción de la excavadora expresada en (m³/día), V_{cubeta} es el volumen de la cubeta o de la pala en (m³), T_{ciclo} es el tiempo o duración de un ciclo de carga que se expresa en segundos, Ef es la eficiencia o tiempo efectivo de trabajo expresada en [minutos/hora], f_{ca} es el factor de ángulo y altura de corte obtenido de tablas entregada por el fabricante que dependen del equipo utilizado, y f_v es el factor de volumen.

El tiempo de duración del ciclo de una excavadora se compone de: carga-giro con carga-descarga y giro vacío. Para la determinación real de los rendimientos horarios de producción, se debe tomar en cuenta el tiempo de carga, descarga y posicionamiento de los camiones tolva. Los parámetros utilizados para la estimación de la producción y el tiempo de operación, fueron obtenidos del “Manual de Rendimiento Caterpillar”, (Ref.18).

Tabla 3-10: Especificaciones técnicas para una excavadora Caterpillar 325 BL.

Ítem	Descripción
Excavadora	: 325 BL Caterpillar
Capacidad del cucharón	: 0,9 [m ³]
Esponjamiento (arena mediana a dura)	: 0,2 (Ref.10)
Factor de llenado	: 1,05
Eficiencia	: 50 [min/hora]
Factor de volumen	: 0,83
Factor de corte y giro	: 0,69
Tiempo de ciclo	: 15 [s]

Fuente: Elaboración propia

Se considera una máquina excavadora, dos camiones tolva de 10 [m³] cada uno, un tiempo de posicionamiento de 90 [s] para cada camión, una eficiencia del 75%, y 5,5 días trabajados a la semana, el rendimiento estimado es:

$$P = 0,75 \cdot 0,9 \cdot 1,05 \cdot \left(\frac{50}{60}\right) \cdot 0,69 \cdot 0,83 \cdot \frac{3600}{(11 \cdot 15 + 90)} \cdot 10 \cdot 8 = 382 \text{ [m}^3\text{/día]}$$

El tiempo de operación requerido por la Alternativa N°3 para extraer el sedimento para los tranques La Ola y Juncal, se presenta en la tabla 3-11:

Tabla 3-11: Rendimiento y tiempo de operación obra de excavación

Tranque	Rendimiento	Volumen a Extraer	Tiempo
	[m ³ /día]	[m ³]	[semanas]
La Ola	382	31.808	15
Juncal	382	28.082	14

Fuente: Elaboración propia

El rendimiento puede ser optimizado con un mayor número de camiones y excavadoras trabajando en forma simultánea.

3.3 ANÁLISIS DE COSTOS.

Se han definido tres alternativas para la extracción de los sedimentos, la draga de succión, la draga de succión con cortador horizontal y la desecación y excavación de sedimentos en seco. Se determinó la inversión estimada para cada alternativa, considerando los principales ítems involucrados y aplicando un factor de seguridad del 35%, el que es utilizado en los proyectos de DSAL.

Como este proyecto no genera ingresos, se determinara el costo asociado para cada alternativa, en base a cotizaciones realizadas a empresas especialistas en el área de dragado y a partir del estudio de precios unitarios de las principales empresas sub-contratistas de DSAL.

3.3.1 Costo alternativa N°1-Draga de Succión Simple

La alternativa N°1, considera la extracción de sedimentos mediante una draga de succión, las características, forma de operación, rendimientos, se describen en el capítulo anterior y el costo de la inversión estimada se muestra en la tabla 3-12:

Tabla 3-12: Inversión estimada Alternativa N°1

DRAGA DE SUCCIÓN							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	PRECIO UNIT. [\\$]	Traque La Ola		Tranque Juncal	
				CANT.	PRECIO TOTAL [\\$]	CANT.	PRECIO TOTAL [\\$]
1	INSTALACION DE FAENAS						
1.1	Instalación de faenas incluye mantenimiento y desinstalación	Un	9.687.769	1	9.687.769	1	9.687.769
2	DRAGADO						
2.1	Dragado de arena y transporte en lugar de vertimiento	m3	13.816	31.808	439.459.328	28.082	387.980.912
3	LEVANTAMIENTO EN TERRENO						
3.1	Batimetría final	Un	1.500.000	1	1.500.000	1	1.500.000
				TOTAL [\\$]	450.647.096		399.168.681
				F.S. (35%)	608.373.581		498.960.851

3.3.2 Costo alternativa N°2- Draga de Succión con Cortador Horizontal.

La alternativa N°2, considera la extracción de sedimentos mediante una draga de succión con cortador horizontal, las características, forma de operación, rendimientos, etc., fueron descritas en el capítulo anterior. El costo de la inversión se muestra en la tabla 3-13. Esta alternativa no considera la limpieza del tranque Juncal, ya que la profundidad actual del tranque Juncal, es menor a la profundidad mínima requerida para la operación de este tipo de dragas.

Tabla 3-13: Inversión estimada draga de succión con cortador horizontal

DRAGA DE SUCCIÓN CON CORTADOR HORIZONTAL					
				Tranque La Ola	
ITEM	DESCRIPCION	UN	PRECIO UNIT. [\\$]	CANT.	PRECIO TOTAL [\\$]
1	INSTALACION DE FAENAS				
1.1	Instalación de faenas incluye mantenimiento y desinstalación	Un	9.687.769	1	9.687.769
2	DRAGADO				
2.1	Dragado de arena y transporte en lugar de vertimiento	m3	10.176	31.808	323.678.208
3	LEVANTAMIENTO EN TERRENO				
3.1	Batimetría final	Un	1.500.000	1	1.500.000
				TOTAL [\\$]	334.865.977
				F.S. (35%)	452.069.069

3.3.3 Costo alternativa N°3-Deseccación y Excavación de Sedimentos.

La alternativa N°3, considera la deseccación y excavación de sedimentos en seco, mediante la utilización de camiones tolva y maquinas excavadoras, las características, forma de operación, rendimientos, etc., fueron descritas en el capítulo anterior. El costo de la inversión se muestra en la tabla 3-14.

Tabla 3-14: Inversión estimada deseccación y excavación.

DESECACIÓN Y EXCAVACIÓN							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	PRECIO UNIT. [\\$]	Tranque La Ola		Tranque Juncal	
				CANT.	PRECIO TOTAL [\\$]	CANT.	PRECIO TOTAL [\\$]
1	INSTALACION DE FAENAS						
1.1	Instalación de faenas incluye mantenimiento y desinstalación	Un	9.687.769	1	9.687.769	1	9.687.769
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA						
2.1	Excavación para el retiro de sedimentos de fondo	m3	8.462	31.808	269.146.573	28.082	237.629.884
2.2	Camión tolva	HM	16.967	1000	169.64.267	153	2.603.733
3	LEVANTAMIENTO EN TERRENO						
3.5	Topografía, replanteo y planos	Un	1.000.000	1	1.000.000	1	1.000.000
4	MONTAJE DE TUBERÍA						
4.1	Instalación de tubería bypass	ml	5.243	300	1.572.900	100	524.300
4.2	Traslado tuberías desde bodega CODELCO	Gl	5.717.027	1	5.717.027	1	5.717.027
4.3	Excavación	m3	8.462	1.575	13.327.020	525	4.442.340
4.4	Rellenos compactados	m3	8.627	1.575	13.586.895	525	4.528.965
TOTAL					331.002.451		266.134.019
F.S. (35%)					446.853.308		332.667.524

3.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE EXTRACCIÓN DE SEDIMENTOS

La DSAL no realizará uso del sedimento extraído, por lo tanto, se debe disponer de un vertedero autorizado, lejano al área de extracción, de tal forma que el sedimento no vuelva a ingresar a los tranques.

Las restricciones impuestas por DSAL son de tipo operacional y ambiental, destacándose las siguientes:

- No interferir el normal suministro de agua industrial.
- El nivel de turbidez generada durante la realización de los trabajos no debe sobrepasar las 5 NTU.
- No se debe romper el sello de fundación del tranque La Ola.

La mejor alternativa se determinará utilizando el método de ponderación lineal simple (scoring) para problemas de multicriterio (Ref.19). La ecuación 3.4.1, define el puntaje total para cada alternativa según los criterios utilizados para tomar la decisión

$$S_j = \sum_i w_i \cdot r_{ij} \quad (3.4.1)$$

r_{ij} =Rating de la alternativa j en función del Criterio i.

w_i =Ponderación para cada Criterio i.

S_j = Score para la alternativa j.

Los criterios utilizados en la toma de decisión son 5:

- 1) Costo: considera sólo la limpieza del volumen central de los tranques.
- 2) Producción neta: la producción neta es inversamente proporcional a la duración de los trabajos. Además mientras menor sea el tiempo de duración de las obras, menor será la probabilidad de intervenir y generar un impacto en el entorno.
- 3) Calidad y precisión en terminaciones y taludes: la calidad y precisión del trabajo está relacionada con la terminación de las obras según indiquen los planos de diseño, se refiere fundamentalmente a la pendiente definida para los taludes perimetrales y precisión para obtener la profundidad de extracción definida.
- 4) Impacto ambiental: tiene relación con el aumento en la concentración de material particulado producto del uso de maquinaria pesada y circulación de vehículos en general. Además durante el periodo de ejecución de las obras, existirá el riesgo permanente de ocasionar derrames de combustibles que impacten en la calidad del agua superficial y sumado a esto, la construcción de instalaciones auxiliares que están expuestas a la erosión, son potenciales generadoras de sedimentos. Se refiere también al potencial daño sobre la flora y fauna presente.
- 5) Turbidez generada: por normativa interna de DSAL, la turbidez del agua industrial pasante por la bocatoma de La Ola no debe ser superior a 5 NTU. Si este límite es sobrepasado, se procede

a cerrar parcial o totalmente la compuerta de descarga y se activan la planta de bombeo de Pedernales y el PB-1. El problema radica en que Pedernales y el PB-1, no tienen la capacidad para satisfacer la demanda de agua industrial requerida por los procesos mineros, y generan un costo adicional en energía eléctrica.

A cada criterio se asigna una ponderación de 1 a 5, según el grado de importancia que represente: 1= muy poco importante; 2= poco importante; 3= importancia media; 4= algo importante; 5= muy importante.

Según lo acordado con DSAL, la ponderación para cada criterio es la siguiente:

Tabla 3-15: Criterios de selección de alternativa para la extracción de sedimentos y peso asociado.

	Criterios	Ponderación (wi)
1	Costo	5
2	Producción neta	3
3	Calidad y precisión en terminaciones y taludes	2
4	Impacto Ambiental	5
5	Turbidez generada	4

Fuente: Elaboración propia

Se establece el grado de satisfacción para cada alternativa, empleando una escala de 1 a 9 puntos: 1= extra bajo; 2= muy bajo; 3= bajo; 4= poco bajo; 5= medio; 6= poco alto; 7= alto; 8= muy alto; 9= extra alto.

El costo menor lo presenta la alternativa n°3, a quien se asigna una puntuación de 8. El costo de la alternativa n°2 es tan solo un 1% mayor a la n°3, por lo tanto, la puntuación asignada es de 7. Finalmente el costo de realizar la alternativa n°1 es un 36% mayor a la n°3, y se asigna una puntuación de 4.

La producción neta de cada alternativa, fue determinada en el capítulo 3.2. La alternativa n°3 tuvo un mejor rendimiento promedio (382[m³/día]), por lo que se asigna una puntuación de 8. El rendimiento de la alternativa n°1 es un 95% menor y se asigna una puntuación de 7, el rendimiento de la alternativa n°2 es un tercio al de la alternativa n°3, en consecuencia se otorga una puntuación de 3.

La precisión de la draga de succión simple (alternativa n°1) es limitada, sobre todo en arenas o suelos de baja compactación y la capacidad de obtener una pendiente definida es prácticamente nula, por lo que se asigna una puntuación de 4. La draga de succión con cortador horizontal (alternativa n°2) tiene un gran control de la profundidad y precisión del dragado, debido a que la forma del cabezal de corte permite dejar la superficie horizontal y sin baches. Sin embargo, el control de taludes perimetrales es prácticamente nulo, por ende se asigna una puntuación de 5. Finalmente la excavación en seco utilizando excavadoras y camiones tolva (alternativa n°3), entrega una precisión más que aceptable al definir la profundidad y pendiente de los taludes. Sin

embargo, se encuentra condicionada por la habilidad y experiencia del operador, se asigna una puntuación de 7.

En términos generales, el impacto ambiental producido por las alternativas n°1 y n°2 es equivalente, ya que su método de operación no requiere el uso de maquinaria pesada y la probabilidad de que existan derrames de combustibles es baja. Sin embargo, se requiere la construcción de instalaciones auxiliares para el alojamiento del personal y de bodegas (superficies disturbadas) que son potenciales generadoras de sedimentos, y finalmente no alteran mayormente la flora y fauna existente, por lo que se asigna una puntuación de 8. La alternativa n°3 considera en su operación el uso de camiones tolva y excavadoras, por consiguiente la probabilidad de que existan derrames de combustible es alta. Se requiere también la construcción de instalaciones auxiliares y de bodegas. Otro punto importante, es que la desecación de los tranques impacta directamente al ecosistema formado (flora y fauna) y en caso de no tomar los resguardos necesarios produciría la muerte de las truchas. La puntuación asignada es de 3.

La draga de succión simple (alternativa n°1) produce baja turbidez en su operación, sin embargo, cuando se utilizan chorros de agua ésta aumenta considerablemente, por lo que se asigna una puntuación de 6. La draga de succión con cortador horizontal (alternativa n°2) no dispersa los sedimentos por lo que la turbiedad generada es bajísima, ya que esta queda atrapada en la pantalla instalada, por lo que se asigna una puntuación de 7. La alternativa n°3 al ser una excavación en seco no produce turbidez, por lo tanto, se asigna una puntuación de 9.

El resumen del grado de satisfacción de cada alternativa, según cada criterio se indica en la tabla 3-16.

Tabla 3-16: Grado de satisfacción de cada alternativa según criterios de selección.

Criterios		Alternativa n°1 ri1	Alternativa n°2 ri2	Alternativa n°3 ri3
1	Costo	4	7	8
2	Producción neta	7	3	8
3	Calidad y precisión en terminaciones y taludes	4	5	7
4	Impacto Ambiental	8	8	3
5	Turbidez generada	6	7	9

Fuente: Elaboración propia

La puntuación total (score) de cada alternativa se muestra en la tabla 3-17:

Tabla 3-17: Puntuación Final de Cada Alternativa.

Criterios		Ponderación wi	Alternativa N°1	Alternativa N°2	Alternativa N°3
1	Costo	5	20	35	40
2	Producción neta	3	21	9	24
3	Calidad y precisión en terminaciones y taludes	2	8	10	14
4	Impacto Ambiental	5	40	40	15
5	Turbidez generada	4	24	28	36
Resultado Sj			113	122	129

Fuente: Elaboración propia

La Alternativa n°3 “deseccación y excavación de sedimentos en seco” obtiene la puntuación más alta $S_j = 129$.

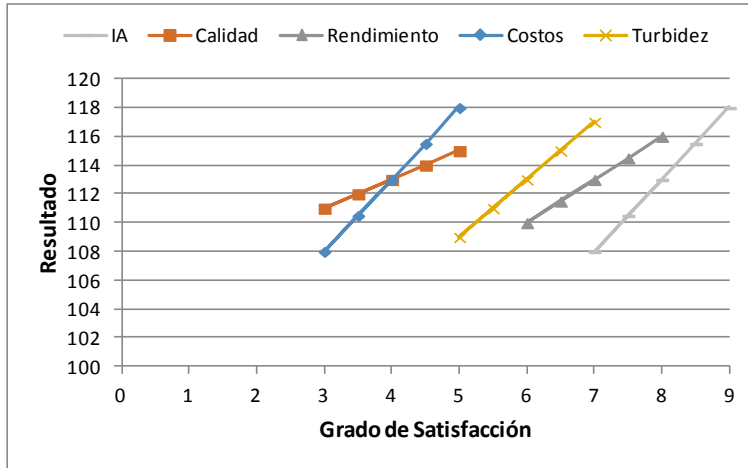
El costo neto y el impacto ambiental, son las variables con mayor peso dentro de la ecuación. La incertidumbre que presentan estas variables, influye directamente en el grado de satisfacción asignado a cada una. En consecuencia, un punto adicional o en su defecto, un punto menos asignado, sería determinante para elegir o descartar una alternativa sobre la otra.

En base a lo anterior, se realizará un análisis de sensibilidad, el cual permitirá determinar el rango de variación del resultado final, dependiendo de la variación del grado de satisfacción asignado a cada variable, mientras se mantienen las otras fijas.

Los gráficos que se presentarán a continuación, muestran la variación en el puntaje final de cada alternativa, según la variación del grado de satisfacción de cada una de las variables. Se asignó un máximo de variación de ± 1 punto.

El gráfico de la figura 3-13, muestra que es posible obtener una puntuación entre [108– 118] para la Alternativa N°1, tan sólo al modificar en 1 punto el grado de satisfacción asignado al costo o al impacto ambiental generado.

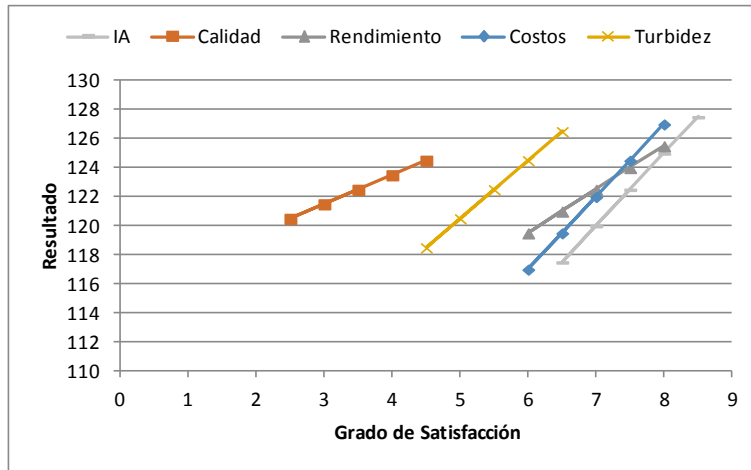
Figura 3-13: Variabilidad del resultado final Alternativa N°1 según grado de satisfacción



Fuente: Elaboración propia

El gráfico de la figura 3-14, muestra que es posible obtener una puntuación entre [117– 127] para la Alternativa N°2, tan sólo al modificar en 1 punto el grado de satisfacción asignado al costo o al impacto ambiental generado.

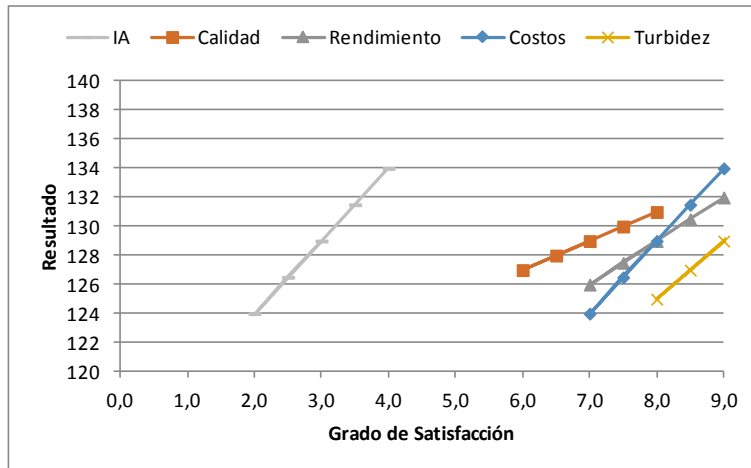
Figura 3-14: Variabilidad del resultado final Alternativa N°2 según grado de satisfacción



Fuente: Elaboración propia

El gráfico de la figura 3-15, muestra que es posible obtener una puntuación entre [124 – 134] para la Alternativa N°3, tan sólo al modificar en 1 punto el grado de satisfacción asignado al costo o al impacto ambiental generado.

Figura 3-15: Variabilidad del resultado final Alternativa N°3 según grado de satisfacción



Fuente: Elaboración propia

El resultado de este análisis indica que la alternativa N°2 es la única que teóricamente puede competir con la alternativa N°3, bajo las condiciones y variables consideradas. El mayor puntaje posible para la alternativa N°2, al aumentar en 1 punto el grado de satisfacción asignado al Costo o Impacto ambiental es de 127, mientras que el mínimo puntaje de la alternativa N°3 es de 124.

La probabilidad que el costo total de la alternativa N°2 sean menor al estimado para la alternativa N°3, se puede dar en el caso de que aumenten los costos de excavación. Diferencias significativas en el tipo de material a extraer, ya sea porque tenga un porcentaje de humedad mayor, o bien, porque corresponda a excavación en roca, en vez de material granular, implica no solo un aumento en los costos totales, sino que también la disminución en el rendimiento. La segunda posibilidad de aumento en los costos de la alternativa N°3, es producto a un aumento en los costos asociados a la tubería que hará de bypass, ya sea por concepto de costo por ml de tubería, costos por montaje o costo por traslado de tubería.

Todas las alternativas analizadas tienen la capacidad de extraer el sedimento de los tranques. Sin embargo, a pesar de que existe cierta incertidumbre en la asignación del grado de satisfacción a cada variable, que hace competitivas solamente a las alternativas N°2 y N°3, el puntaje total obtenido mediante método de ponderación lineal simple y las ventajas técnicas y operacionales definidas en el capítulo anterior, hace la alternativa N°3 sea la mejor. En consecuencia, la alternativa recomendada para extraer el sedimento del tranque La Ola y Juncal, es la Desecación y Excavación de Sedimentos en Seco”.

4 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

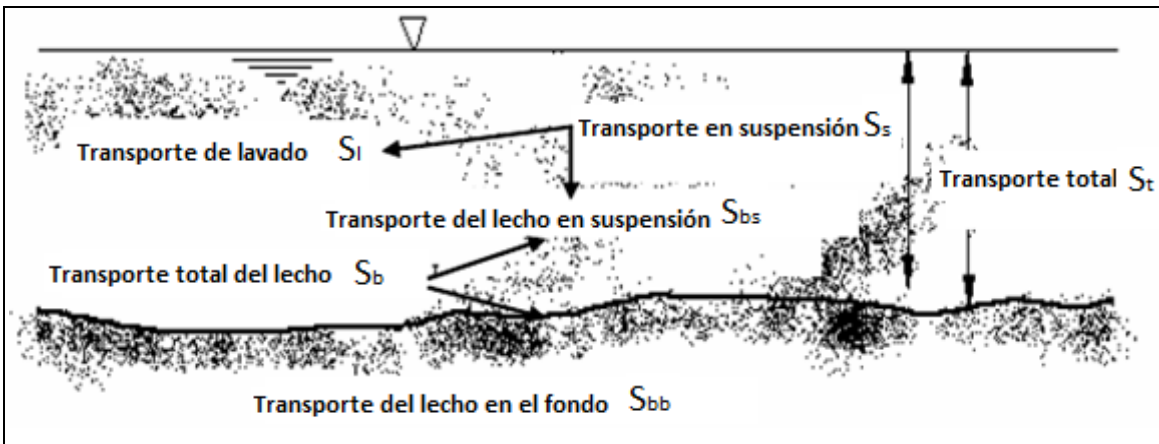
La motivación de este capítulo es utilizar los datos disponibles de granulometría, topografía y de caudales, para realizar una estimación del gasto sólido de fondo que potencialmente es capaz de entrar al tranque La Ola, y estimar el tiempo que demoraría en embancarse, lo anterior es requerido por DSAL. La determinación del arrastre de sedimento se delimitará solamente al tranque La Ola y río La Ola, debido a que no se cuenta con la topografía y ni tampoco se tienen mediciones de caudales del río Juncalito, afluente al tranque Juncal.

4.1 DISTRIBUCIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

El transporte de sedimentos de un cauce natural, como se muestra en la figura 4-1, se puede clasificar según su origen, en carga lavada y carga del lecho. El primero está constituido generalmente por el material proveniente del lavado de la cuenca, mientras que el segundo corresponde al sedimento que conforma el lecho del río. La carga lavada, que corresponde al material más fino (limos y arcillas), es transportada en suspensión la mayor parte del tiempo, excepto en zonas de aguas tranquilas como embalses, donde el material muy fino puede sedimentarse.

Los sedimentos que tienen origen en el lecho del cauce, son transportados como carga de lecho de fondo, o carga de lecho en suspensión. La carga del lecho está compuesta generalmente por gravas y arenas.

Figura 4-1: Tipos de transporte de sedimento (Maza J.A. 1987)



Fuente: Adaptación de (Ref.13)

El transporte total del lecho se determina como la suma del transporte de lecho de fondo y el transporte de lecho en suspensión.

$$S_b = S_{bb} + S_{bs} \quad (4.1.1)$$

Siendo S_b la carga total del lecho, S_{bb} la carga del lecho en el fondo y S_{bs} la carga de lecho en suspensión.

El material del lecho en el fondo es transportado por deslizamiento, rodamiento o saltación. El material del lecho en suspensión, es producto de la velocidad y turbulencia del flujo que hace que las partículas se mantengan en suspensión hasta que cesan estas condiciones hidráulicas y desciendan al fondo.

La carga de sedimentos en suspensión S_s , está formada por la combinación de carga de lecho en suspensión y carga lavada S_l .

$$S_s = S_{bs} + S_l \quad (4.1.2)$$

Los sedimentos que conforman la carga de lavada tienen origen en la cuenca hidrográfica y en las laderas del cauce. La carga lavada está formada por partículas muy finas que son fácilmente mantenidas en suspensión y no intervienen en los procesos de degradación del cauce. Solo en zonas determinadas de velocidades muy bajas, como el caso de los tranques La Ola y Juncal, las partículas pueden llegar a sedimentarse. Al ser las fuerzas que producen la sedimentación generalmente inferior a las fuerzas ascendentes debido a la turbulencia, la carga lavada depende de la erosión y condiciones geológicas e hidroclimatológicas de la cuenca y no del caudal del cauce.

La carga total de sedimentos S_t , está dada por la suma entre la carga total del lecho y la carga total en suspensión, y viene dada por las siguientes expresiones:

$$S_t = S_b + S_s \quad (4.1.3)$$

$$S_t = S_{bb} + S_{bs} + S_l \quad (4.1.4)$$

$$S_t = S_{bb} + S_s \quad (4.1.5)$$

Los métodos más complejos para determinar el gasto sólido, son aquellos en los que se obtiene el transporte total. Sin embargo, no es necesario determinarlo en todos los problemas de ingeniería (García F., M. y Maza A., J. A., 1996). Por el tamaño de los tranques y características generales, los tranques La Ola y Juncal están dentro del grupo de pequeñas presas derivadoras, en consecuencia, para determinar el arrastre de sedimento, basta con obtener el arrastre de sedimentos de fondo para tener un valor representativo.

4.2 ECUACIONES PARA DETERMINAR EL GASTO SÓLIDO DE FONDO EN CAUCES NATURALES

La medición del arrastre de sedimentos resulta sumamente compleja. En cauces pequeños se utilizan generalmente muestreadores, existiendo una gran variedad de dispositivos para este fin, pero generalmente los resultados que entregan son inciertos. Sin embargo, para efecto de esta Memoria, se utilizarán las metodologías habitualmente usadas en estudios de caracterización sedimentológica, las cuales estiman el potencial arrastre de sedimentos considerando la granulometría, geometría y condición hidráulica del cauce.

Existen numerosas fórmulas que permiten calcular el arrastre de sedimentos, sin embargo, se ha demostrado que estas fórmulas representan el potencial arrastre y no su valor real, el cual sobre todo en cauces con granulometría extendida, los que tienden a formar una coraza, el valor potencial tiende a ser mayor al valor real.

Las principales fórmulas para determinar el gasto sólido de fondo han sido presentadas por Maza (Ref.13). En la lista de fórmulas presentadas por Maza se encuentran: Duboys y Straub (1879, 1935), Shocklitsch (1914, 1950), Shields (1936), Meyer-Peter y Müller (1948), Kalinske (1947), Levi (1948), Einstein (1942), Einstein y Brown (1950), Sato Kikkawa y Hashida (1958), Rottner (1959), Garde y Albertson (1961), Frijlink (1962), Yalin (1963), Pernecker y Vollmer (1965), Inglis y Lacey (1968), Bogardi (1979).

En las ecuaciones de Duboys y Straub (1879, 1935), Kalinske (1947), Pernecker y Vollmer (1965), Sato Kikkawa y Hashida (1958), Rottner (1959), Yalin (1963) y Bogardi (1979), el gasto sólido de fondo es independiente de la rugosidad total del cauce y por ende de la velocidad, por lo tanto, Maza recomienda que se apliquen con reservas. La ecuación de Rottner (1959) subvalúa el arrastre de sedimentos y Albertson (1961) requiere de una familia de curvas para su aplicación, por lo que Maza no recomienda utilizar.

En consecuencia, de la lista de fórmulas para estimar el gasto sólido de fondo, se utilizarán las ecuaciones de: Shocklitsch (1914, 1950), Meyer-Peter y Müller (1948), Levi (1948), Frijlink (1962), Inglis y Lacey (1968).

4.2.1 *Schocklitsch (1914, 1950)*

Armin Schoklitsch propuso en 1914 una primera fórmula para evaluar el arrastre de fondo, la que modificó varias veces hasta que en 1950 fue dada a conocer en su versión final:

$$g_B = 2500 S^{1/3} (qS^{7/6} - 2,351 \times 10^{-5} \Delta^{5/3} D^{7/18}) \quad (4.2.1)$$

Cuando el tamaño de las partículas no es uniforme, Schoklitsch recomienda que se utilice como diámetro representativo de la mezcla $D=D_{40}$ que corresponde al diámetro de las partículas en que el 40% de la muestra es menor que ese tamaño expresado en [m].

No se dan límites de aplicación para la ecuación presentada, aparte de la recomendación indicada en función del diámetro de las partículas.

Las variables involucradas en la ecuación (4.2.1) son, g_B que es el transporte unitario de sedimentos expresado en peso seco [kg/s.m], D es el diámetro de las partículas en [m], S la pendiente longitudinal de fondo del cauce, q es el caudal unitario líquido por unidad de ancho expresado en [m³/s m] y Δ es la densidad relativa de las partículas sumergidas, que se obtiene de la relación entre el peso específico del agua y de las partículas $(\gamma_S - \gamma)/\gamma$.

4.2.2 Meyer-Peter y Müller (1948)

La fórmula tradicional de Meyer Peter & Müller (1948) considera el gasto sólido como una función de la diferencia entre el esfuerzo de corte crítico adimensional y un valor de referencia para el cual comienza a producirse el arrastre:

$$g_B = 8\gamma_S(g\Delta D^3)^{0,5}[(n'/n)^{1,5}\tau_* - 0,047]^{1,5} \quad (4.2.2)$$

Meyer Peter & Müller utiliza $D = D_m$ que corresponde al diámetro medio de las partículas expresado en [m].

La ecuación 4.2.2 conviene utilizarla para cauces de arena con diámetro mayor de 0,0002 [m], hasta grava gruesa con diámetro \leq de 0,030 [m] (García F., M. y Maza A., J. A. ,1996).

Las variables involucradas en la ecuación (4.2.2) son g_B que es el transporte unitario de sedimentos expresado en peso seco (kg/s m), γ_S es el peso específico de las partículas en [kg/ m³], Δ es la densidad relativa de las partículas sumergidas, que se obtiene de la relación entre el peso específico del agua y de las partículas $(\gamma_S - \gamma)/\gamma$, g es la aceleración de gravedad en [m/s²], D es el diámetro de las partículas expresado en [m], n es el coeficiente de rugosidad, n' el coeficiente de rugosidad asociado a las partículas en el fondo y τ_* es el número adimensional de Shields.

4.2.3 Levi (1948)

Levi (1948), teniendo en cuenta las velocidades media y crítica de la corriente y no los esfuerzos tangenciales, propuso la fórmula para obtener el gasto sólido del material del fondo cuya expresión es:

$$g_B = 0,002\gamma_S U^3 (U - U_c) / [g^{1,5} (dD)^{0,25}] \quad (4.2.3)$$

Se utiliza $D = D_m$ que corresponde al diámetro medio de las partículas expresado en [m] y sobreestima g_B cuando $n \leq 0,025$ (García F., M. y Maza A., J. A. ,1996).

Las variables involucradas en la ecuación (4.2.3) son g_B que es el transporte unitario de sedimentos expresado en peso seco (kg/s.m), γ_S es el peso específico de las partículas en [kg/ m³], d es la altura normal o profundidad del flujo en [m], g es la aceleración de gravedad en [m/s²], D es

el diámetro de las partículas en [m], U es la velocidades media y U_c la velocidad crítica del flujo expresadas en [m/s].

La velocidad crítica de las partículas se determina utilizando la siguiente ecuación (García F., M. y Maza A., J. A. ,1996).

$$U_c = 1,4\sqrt{gD} (D_{\max}/D)^{1/7} \left(1 + L_n \sqrt{d/7D} \right) \quad (4.2.4)$$

La variable D_{\max} representa el diámetro máximo de las partículas y se expresa en [m]

4.2.4 Frijlink (1962)

Frijlink realizo un estudio comparativo entre las diferentes formulas usadas para el cálculo del gasto sólido de fondo, específicamente de los métodos de Kalinske, Einstein y Meyer – Peter y Müller, lo que arrojó como resultado la siguiente ecuación:

$$g_B = 5\gamma_s D (\mu g R S)^{0,5} \text{Exp}[-0,27/\mu\tau_*] \quad (4.2.5)$$

Utiliza $D=D_{50}$ que corresponde al diámetro de las partículas en que el 50% de la muestra es menor que ese tamaño expresado en [m].

Las variables involucradas en la ecuación (4.2.5) son g_B que es el transporte unitario de sedimentos expresado en peso seco [kg/s.m], γ_s es el peso específico de las partículas en [kg/ m³], S la pendiente longitudinal de fondo del cauce, R es el radio hidráulico expresado en [m], g es la aceleración de gravedad en [m/s²], D es el diámetro de las partículas en [m], τ_* es el número adimensional de Shields y μ coeficiente que relaciona los coeficientes de rugosidad, también llamado factor de rizos.

4.2.5 Inglis y Lacey (1968)

Los estudios de Inglis se basaron en las experiencias de Lacey (1929) para cauces en régimen, en las que incluía el diámetro de las partículas y la velocidad de caída del material. De acuerdo con lo anterior, Inglis propuso la siguiente expresión para determinar el gasto sólido de fondo:

$$g_B = 0,562\gamma U V^{1/3}/(\omega d g^{5/3}) \quad (4.2.6)$$

Utiliza $D=D_m$ que es el diámetro medio de las partículas expresado en [m]. Se aplica para $\tau_* \leq 0,1$ para $C_a=19$ y para $\tau_* \leq 7,0$ para $C_a=8,5$ (García F., M. y Maza A., J. A. ,1996), donde τ_* es el número adimensional de Shields y C_a es el coeficiente adimensional de Chezy.

Las variables involucradas en la ecuación (4.2.6) son g_B que es el transporte unitario de sedimentos expresado en peso seco [kg/s.m], γ es el peso específico del agua expresado en

[kg/m³], d es la altura normal o profundidad del flujo en [m], U es la velocidad media del flujo en [m/s] ν es la viscosidad cinemática del agua expresada en [m²/s] y ω es la velocidad de caída del diámetro medio en [m/s], la cual se obtiene mediante la siguiente relación (García F., M. y Maza A., J. A., 1996).

$$\omega = F_1 (g\Delta D)^{0,5} \quad (4.2.7)$$

Donde Δ es la densidad relativa de las partículas sumergidas, se obtiene de la relación entre el peso específico del agua y de las partículas, g es la aceleración de gravedad expresada en [m/s²], D el diámetro de las partículas y F_1 el coeficiente de Rubey obtenido de la siguiente relación:

$$F_1 = \left(\frac{2}{3} - \frac{36\nu^2}{g\gamma D^3} \right)^{0,5} - \left(\frac{36\nu^2}{g\gamma D^3} \right)^{0,5} \quad (4.2.8)$$

Las ecuaciones presentadas en este apartado se utilizarán para estimar el gasto sólido de fondo que entra al tranque La Ola, y con ello, estimar el tiempo que demora en embancarse, ya que no existen datos históricos de mediciones de caudal sólido realizadas en La Ola.

4.3 ESTIMACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN TRANQUE LA OLA

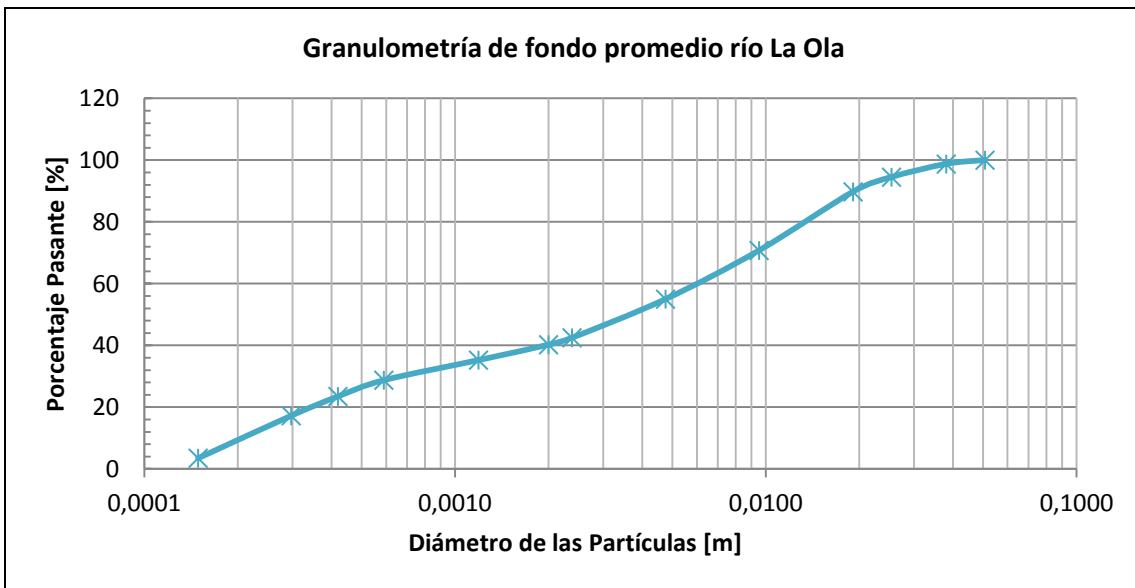
4.3.1 Información base utilizada

Se describe brevemente el origen de los datos utilizados para determinar el transporte de sedimentos y la estimación del tiempo de llenado de los tranques cordilleranos. La información utilizada es la siguiente:

- “Informe final de topografía levantamiento perfiles longitudinales y transversales río La Ola y Leoncito Codelco Chile – División el Salvador rev – a” (Ref.12).
- Campañas de muestreo de material de fondo río La Ola y Leoncito, junto con el registro de condiciones hidráulicas, realizadas en el mes de septiembre del 2010.
- Estadística fluviométrica río La Ola.
- Campañas de registro fotográfico y medición de secciones de los ríos La Ola, Leoncito y Juncalito, realizadas en septiembre del 2010 y presentadas en el Anexo A-3.

Debido a la similitud geométrica, morfológica y sedimentológica presente, se dispuso tomar seis muestras del material de fondo para el río La Ola. La granulometría considerada como representativa se obtuvo del promedio aritmético de las 6 muestras recolectadas, los sitios de muestreo se indican en el anexo A-3. La figura 4-2 muestra la curva granulométrica promedio resultante para el río La Ola.

Figura 4-2 : Curva granulométrica del material de fondo del río La Ola



Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la Figuras 4-2, el río La Ola tiene una distribución no uniforme de granulometría. El diámetro medio de la muestra es de 2,1 [mm], la clasificación sedimentológica de la muestra no indica una tendencia clara, ya que el mayor porcentaje presente corresponde a

gravas con un valor del 58% del peso total (6% grava gruesa, 24% media y 28% fina), en menor cantidad, pero con un valor significativo, se encuentran las arenas, con un 42% del total (7% arena gruesa, 18% media, 17% fina) y finalmente el 1% restante corresponde a limos y arcillas.

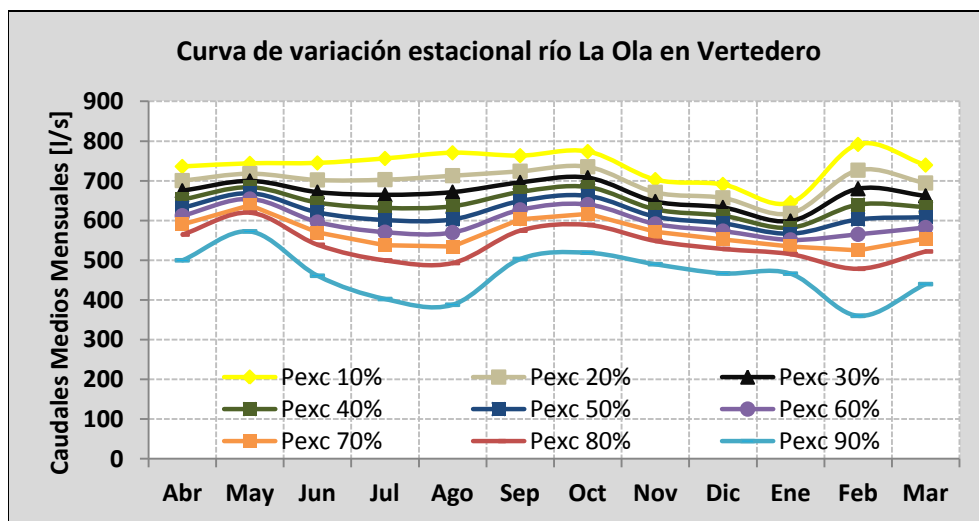
La estadística fluviométrica utilizada, es obtenida de mediciones realizadas por la Dirección General de Aguas (D.G.A) en la estación fluviométrica “Río La Ola en Vertedero”. Se utilizó una estadística de caudales medios mensuales de 24 años (1986 - 2009). El detalle de los cálculos y consideraciones realizadas se describe en el Anexo A-1. La tabla 4.-1 muestra los caudales medios mensuales del río La Ola para diferentes probabilidades de excedencia y la figura 4-3 su variación estacional.

Tabla 4-1: Tabla de frecuencia de caudales medios mensuales río La Ola en [l/s], donde P es la probabilidad de excedencia y T el periodo de retorno en años.

P	T	CAUDAL MEDIO MENSUAL [l/s]													
		%	[años]	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
10	10		736	744	745	756	771	763	774	703	691	645	792	740	742
20	5		701	718	702	703	713	724	735	671	657	618	727	694	703
30	3,3		675	700	671	665	671	696	708	648	633	599	680	662	674
40	2,5		653	684	645	632	636	672	684	628	612	582	640	634	650
50	2		633	669	621	601	603	649	662	610	593	567	603	608	627
60	1,7		612	654	596	571	570	627	640	591	573	551	565	582	604
70	1,4		590	638	570	538	534	603	617	572	553	535	525	555	579
80	1,3		565	620	539	499	493	574	589	548	528	515	478	522	551
90	1,1		529	594	496	446	435	535	551	516	495	488	414	477	511

Fuente: Elaboración propia

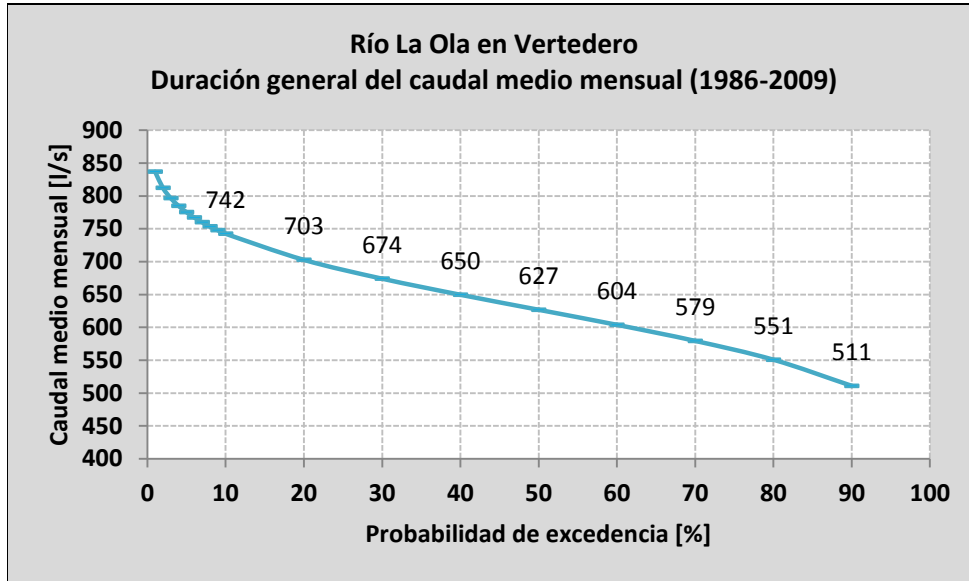
Figura 4-3: Curva de variación estacional río La Ola en Vertedero (1986 - 2009).



Fuente: Elaboración propia

La Figura 4-4, muestra la curva de duración de caudales medios, la que nos indica gráficamente, el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos. Se destacan los valores medios para cada una de las probabilidades de excedencia (P). Los caudales destacados en la figura 4-4, serán utilizados para determinar el eje hidráulico del río La Ola.

Figura 4-4: Curva de duración general del caudal medio mensual (1986 - 2009).



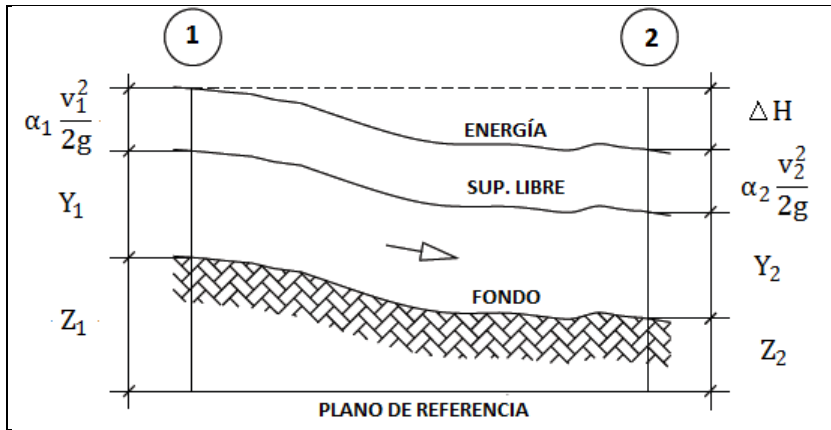
Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Eje hidráulico río La Ola

La modelación hidráulica del río La Ola se realiza con el fin de determinar su potencial arrastre de sedimento. El cálculo del eje hidráulico se realizó utilizando el software HEC-RAS 4.1.0. Este software permite modelar el escurrimiento en cauces naturales, donde la geometría, la pendiente del fondo y la rugosidad del lecho son variables. Sin embargo, con este software la modelación es esencialmente unidimensional, en el sentido del flujo promedio, sin considerar movimientos transversales.

El eje hidráulico corresponde a la línea longitudinal del flujo que representa la altura real de escurrimiento. El procedimiento de cálculo se basa en la solución de la ecuación de energía. Las cotas de los perfiles de superficie de agua son procesadas de una sección transversal a la siguiente, resolviendo la ecuación de conservación de energía en cada una. El esquema que representa la energía hidráulica en dos puntos contiguos se muestra en la figura 4-5 y la ecuación general con todos sus componentes es la 4.3.1.

Figura 4-5: Esquema representativo de la ecuación de energía entre dos secciones transversales.



Fuente: Elaboración propia

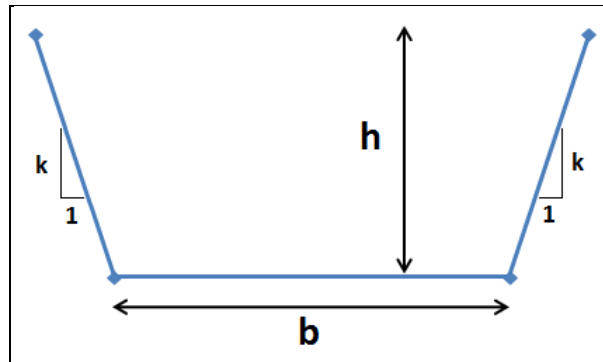
$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + \Delta H \quad (4.3.1)$$

La pérdida de energía entre dos secciones, incluye las pérdidas por fricción y pérdidas por contracción o expansión. Esta altura de pérdida de energía se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta H = L\bar{S}_f + C \left[\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right] \quad (4.3.2)$$

Los coeficientes de contracción y expansión se emplean para calcular las pérdidas singulares de energía, relacionadas con los cambios de forma de las secciones transversales en el cauce, esta pérdida se calcula multiplicando este coeficiente por la diferencia absoluta entre las alturas de velocidad entre secciones transversales. El detalle de las ecuaciones, y coeficientes de contracción y expansión se encuentran en el manual del programa HEC-RAS "Hydraulic Reference Manual".

Para el cálculo del gasto sólido en el río La Ola, se utilizó la longitud total del río, desde la desembocadura del río Leoncito (km 8,5) hasta la desembocadura del río La Ola en el tranque La Ola (km. 0). Se tiene información topográfica de 87 puntos longitudinales del eje del río y se utilizan 11 secciones transversales detalladas en anexo A-3. Las secciones utilizadas tienen la configuración mostrada en la figura 4-6. La geometría de la sección transversal está definida por tres variables, b que es el ancho de la sección transversal, h la altura y k la pendiente del talud. Respecto a los valores de b,h,k, se utilizó un valor fijo para k igual a 3 y para h de 1,8 [m], y un valor variable medido en terreno para b que va desde los 4 a los 7 [m].

Figura 4-6: Sección transversal tipo utilizada para modelar el eje hidráulico del río La Ola.

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el eje hidráulico del río La Ola, para 9 caudales representativos de la curva de duración, correspondiente al promedio aritmético de los caudales mensuales para cada probabilidad de excedencia. Se realizaron 9 ejes hidráulicos utilizando el programa HEC-RAS, obteniendo la altura de agua para los 87 puntos de interés. Como condición de aguas abajo se impuso una pendiente de fondo equivalente a la pendiente del terreno, que permita simular una condición de altura normal en condiciones naturales.

Los coeficientes de rugosidad utilizados, se determinaron mediante el método de Cowan, la metodología utilizada se describe en el Anexo A-3. Se utilizó un coeficiente de rugosidad de 0,035 para el centro del canal y 0,055 para las zonas de rebalse lateral. En la estación de medición de la DGA se usó 0,013 por ser un canal de hormigón. Los resultados y cálculos realizados son presentados en el Anexo A-3.

4.3.3 Determinación del gasto sólido de fondo del río La Ola

La metodología utilizada para determinar el gasto sólido de fondo del río La Ola, se resume en los siguientes pasos:

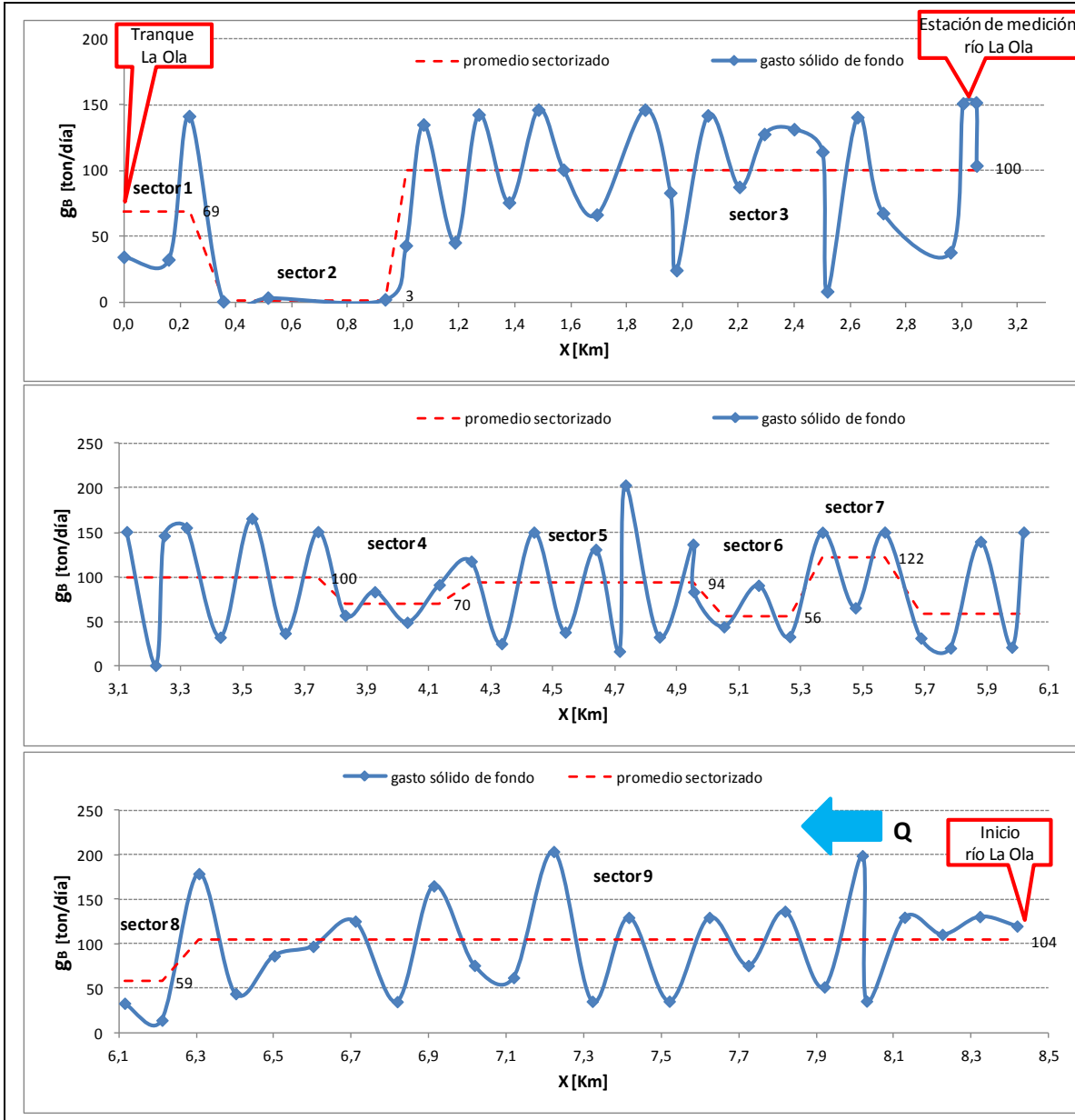
- Recopilación de antecedentes: topografía, caudales, campañas de terreno para obtener granulometría de fondo y parámetros geométricos de interés.
- Selección del tramo a analizar, considerando homogeneidad geométrica y de caudal.
- Determinación de parámetros hidráulicos requeridos para la estimación del gasto sólido de fondo, obtenidos de la modelación hidráulica.
- Cálculo del potencial arrastre de fondo utilizando las ecuaciones del apartado 4.2.
- Estimación del gasto sólido de fondo promedio.

Con el resultado de la modelación hidráulica, se obtienen los parámetros que permiten calcular el potencial gasto sólido de fondo, utilizando las fórmulas definidas en el apartado 4.

La Figura 4-7 muestra el gasto sólido de fondo promedio de las 87 secciones transversales consideradas en la modelación del eje hidráulico. En el eje de las ordenadas se muestra el gasto

sólido total, y en el eje de las abscisas la distancia acumulada, en donde el km. 0 corresponde a la desembocadura del río en el tranque La Ola y el km. 8,5 al inicio del río La Ola.

Figura 4-7: Gasto sólido de fondo promedio en secciones transversales del río La Ola, para un caudal líquido de 0,74 [m³/s].



Fuente: Elaboración propia

Las oscilaciones que presenta el gráfico, se deben principalmente a la diferencia en la pendiente longitudinal considerada para determinar el gasto sólido de fondo en cada sección transversal. Es posible identificar 9 sectores claros de tendencias en cuanto a magnitud del gasto sólido. Esto indicaría que el río La Ola no está en equilibrio y que se está produciendo un embanque en determinadas zonas, por ejemplo entre el km 0,3 y el km 0,9 (sector 2). Sin embargo, es posible explicar esta diferencia al mirar la geometría de los perfiles transversales definidos en el anexo A3.

Las secciones 28 y 29 (km 3) correspondientes a la estación río La Ola en Vertedero, existe un estrechamiento que provoca una aceleración del flujo en este sector, lo que explicaría el aumento en el valor de gasto sólido calculado para las secciones que se encuentran aguas abajo.

La diferencia del valor en el gasto sólido de fondo entre secciones transversales contiguas y con la misma geometría, tiene relación con la variación en la pendiente de fondo del río, ya que para la modelación hidráulica se consideró la pendiente real y no una pendiente uniforme para todas las secciones transversales.

La pendiente media del río La Ola es de un 0,8% aproximadamente, sin embargo en el tramo final antes de la desembocadura en el tranque La Ola, se produce una fuerte disminución con pendientes del 0,1%, lo cual produce una disminución del gasto sólido de fondo para las secciones comprendidas en esta zona y explicaría el embancamiento del sedimento que se produce.

La tabla 4-2 muestra el promedio del gasto sólido de fondo, asociado a cada método de cálculo para cada caudal modelado, según su probabilidad de excedencia. El resultado mostrado en la tabla es el gasto sólido promedio de las 87 secciones transversales analizadas.

Tabla 4-2: Transporte de sólidos promedio río La Ola para cada caudal líquido.

Caudal	Probabilidad Excedencia	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
[m ³ /s]	%	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
0	0	0	0	0	0	0
0,50	10	30	59	5	91	118
0,54	20	33	63	6	96	128
0,57	30	36	67	7	101	142
0,59	40	38	70	7	104	149
0,62	50	39	72	7	107	152
0,64	60	41	75	8	110	160
0,67	70	42	76	8	113	165
0,70	80	45	79	9	117	178
0,74	90	48	82	10	121	191

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4-3 muestra el arrastre de sedimento promedio en tramos de interés, como lo son el tranque La Ola, estación de medición río La Ola en Vertedero y en el inicio del río La Ola.

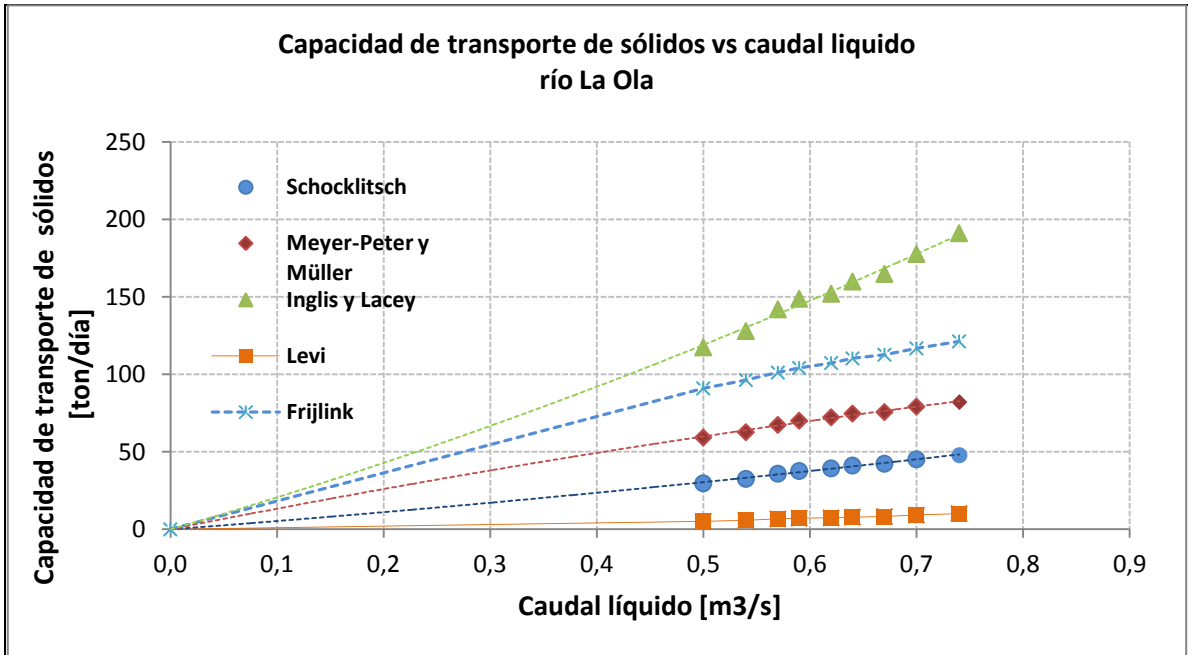
Tabla 4-3: Transporte de sólidos promedio en tramos de interés.

Ubicación	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey	Promedio
	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
Tranque La Ola	7	27	0	49	38	24
Estación de medición	4	5	29	43	447	105
Inicio río La Ola	47	96	3	135	111	78

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla 4-2 son graficados en la figura 4-8, esta figura permite visualizar el aumento del gasto sólido a medida que aumenta el caudal líquido. En el eje de las abscisas se indican los caudales, mientras en el eje de las ordenadas se muestra el gasto sólido total.

Figura 4-8: Gasto sólido promedio del río La Ola para cada caudal líquido.



Fuente: Elaboración propia

Existe una tendencia clara que sigue el gasto sólido de fondo, el cual se incrementa a medida que aumenta el caudal líquido, esta tendencia o vinculación entre el gasto sólido y el gasto líquido se conoce como función de transporte, la cual no indica la cantidad de sólidos que transporta una corriente líquida, sino la cantidad máxima que podría transportar.

Todas las ecuaciones utilizadas, se encuentran dentro de los límites de aplicación definidos por sus autores, por lo que no es posible considerar alguna como representativa. Tampoco se tienen mediciones de campo, que permitan compararlas con los resultados obtenidos. En consecuencia, el valor representativo del gasto sólido de fondo para el río La Ola, será el valor obtenido para una probabilidad de excedencia del 50%.

Para estimar la tasa de sedimento promedio afluente al tranque La Ola, se utilizó el gasto sólido de fondo para una probabilidad de excedencia del 50%.

Tabla 4-4: Transporte promedio de sólidos río La Ola según método de cálculo.

Método	[Ton/día]	[m³/día]
Schocklitsch	39	16
Meyer - Peter y Müller	72	29
Levi	7	3
Frijlink	107	43
Inglis y Lacey	152	61
Promedio	76	30

Fuente: Elaboración propia

Los resultados permiten estimar que el tiempo medio que tarda el tranque La Ola en embancarse es de aproximadamente 5 años (tasa de 30 [m³/día] para un volumen de 50.000 [m³]), considerando sólo el transporte de sedimento de fondo del río La Ola, sin realizar ningún tipo de mantención, trabajando en condiciones normales de operación y sin la ocurrencia de un evento extremo, como crecidas, aluviones o temporales de viento. Como no existen antecedentes que permitan comparar directamente el tiempo estimado que demoraría en embancarse el tranque La Ola, calculado en este apartado, con el tiempo que realmente demoró en embancarse el tranque La Ola, resulta difícil determinar que ecuación es la que entrega mejores resultados.

5 DISEÑO DEL PLAN DE MANEJO Y MANTENCIÓN PARA EL TRANQUE LA OLA Y JUNCAL

El principal problema que han presentado los tranques cordilleranos es la excesiva acumulación de sedimentos en su interior, restándoles capacidad y ocasionando problemas operacionales y ambientales. Con la elaboración del plan de manejo y mantenimiento, presentado en este capítulo, se busca dar solución a estos problemas, aumentar la vida útil de los tranques y mejorar la calidad del agua industrial entregada a los procesos mineros.

El plan de manejo y mantenimiento para los tranques La Ola y Juncal, se encuentra dividido en siete partes. La primera corresponde a las consideraciones legales que afectan a este tipo de proyectos. Se tomarán como referencia normativas ambientales chilenas de carácter general y se indicará la forma de cumplimiento de cada una. En el segundo apartado se planificarán las obras que deberá licitar DSAL, para llevar a cabo el desarrollo de las actividades de extracción de sedimentos en los tranques La Ola y Juncal. En el tercer apartado de capítulo, se definirán las medidas preventivas para el control de sedimentos, que van desde un control en la fuente de generación, hasta la descarga final. En el tercer, cuarto y quinto apartado, se detallan las obras recomendadas a DSAL y necesarias para materializar el plan de control de sedimentos. Finalmente se proyectará un sistema de mantención permanente y amigable con el medio ambiente para la eliminación de sedimentos en el tranque La Ola y tranque Juncal.

Este plan, entregará a la empresa contratista y principalmente a DSAL, mejores prácticas para el manejo y operación de los tranques, mejorará la calidad de la infraestructura y permitirá aumentar la vida útil de sus tranques.

5.1 CONSIDERACIONES LEGALES

Se tomarán como referencia normativas ambientales de carácter general, la ley 19.300 “Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA)” (Ref.23), que rige las políticas ambientales nacionales y que define los mecanismos principales para su fiscalización, el carácter y contenido de la gestión ambiental y el Decreto Supremo 95 (D.S. 95) (Ref.24), que modifica este reglamento. Además de normativas más específicas como el “Código de Aguas” (D.L. Nº1.122) (Ref.25), que define el derecho de aprovechamiento y los procedimientos administrativos del agua y la construcción de obras hidráulicas.

5.1.1 Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA y D.S. 30/97 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental)

Se citarán en forma textual extractos de la ley, considerando los aspectos más relevantes y que afecten al desarrollo de los trabajos a realizar en La Ola y Juncal.

La ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA) publicada en el Diario Oficial (D.O) el 09/03/1994, establece que “los proyectos o actividades en ella señalados y especificados, sólo

podrán ejecutarse o modificarse previa evaluación de su impacto ambiental, y que los contenidos de carácter ambiental de todos los permisos o pronunciamientos que, de acuerdo a la legislación vigente, deban o puedan emitir los organismos del Estado, serán analizados y resueltos a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)”.

El Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, publicado en el D.O. el 03/04/1997 y su modificación el D.S. Nº 95, ambos del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, establece que todo proyecto indicado en el artículo 10 de la Ley y 3 del Reglamento en su letra a, debe someterse al SEIA. El artículo 10, indica que los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al SEIA, son los siguientes:

“a) Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas, presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de aguas”.

Asimismo, el artículo 3 del D.S. Nº 95, agrega que los nuevos proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental que deberán someterse al SEIA son: *“Presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de aguas. Se entenderá que estos proyectos o actividades son significativos cuando se trate de:*

a.1. Presas cuyo muro tenga una altura igual o superior a cinco metros (5 m) o una longitud de coronamiento igual o superior a quince metros (15 m)”.

a.2. Drenaje o desecación de vegas y bofedales ubicados en las Regiones I y II, cualquiera sea su superficie de terreno a recuperar y/o afectar. Drenaje o desecación de suelos "ñadis", cuya superficie de terreno a recuperar y/o afectar sea igual o superior a doscientas hectáreas (200 há). Drenaje o desecación de cuerpos naturales de aguas tales como lagos, lagunas, pantanos, marismas, turberas, vegas, albúferas, humedales o bofedales, exceptuándose los identificados en los incisos anteriores, cuya superficie de terreno a recuperar y/o afectar sea superior a diez hectáreas (10 há), tratándose de las Regiones I a IV; o a 20 hectáreas (20 há), tratándose de las Regiones V a VII, incluida la Metropolitana; o a treinta hectáreas (30 há), tratándose de las Regiones VIII a XII.

a.3. Dragado de fango, piedras, arenas u otros materiales de cursos o cuerpos de aguas terrestres, en una cantidad igual o superior a veinte mil metros cúbicos (20.000 [m³]) de material a extraer y/o a remover, tratándose de las Regiones I a III, o a cincuenta mil metros cúbicos (50.000 [m³]) de material a extraer y/o a remover, tratándose de las regiones IV a XII.

a.4. Defensa o alteración de un cuerpo o curso de aguas terrestres, tal que se movilice una cantidad igual o superior a cincuenta mil metros cúbicos de material (50.000 m³), tratándose de las regiones I a IV, o cien mil metros cúbicos (100.000 m³), tratándose de las regiones V a XII, incluida la Región Metropolitana. Se entenderá por defensa o alteración aquellas obras de regularización o protección de las riberas de estos cuerpos o cursos, o actividades que impliquen un cambio de

trazado de su cauce, o la modificación artificial de su sección transversal, todas de modo permanente”.

Forma de cumplimiento de la normativa

Según inciso a, los tranques La Ola y Juncal deberán someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas.

En lo referente al inciso a.1, la altura del muro frontal del tranque La Ola y Juncal es inferior a 5 [m], tienen una altura de 3,65 [m] y 1,1 [m] respectivamente, por lo que se cumpliría con la normativa.

El inciso a.2 señala que deberán someterse al SEIA, el drenaje o desecación de cuerpos naturales de aguas cuya superficie de terreno a recuperar y/o afectar sea superior a diez hectáreas (10 há). Las superficies de los tranques La Ola y Juncal son menores a 10 há, 18.935 m² (1,9 há) y 10.400 m² (1,04 há) respectivamente, por lo que se cumpliría con la normativa.

La cantidad de material a dragar es menor a 20.000 [m³], por lo que se cumple con la normativa señalada en el inciso a.3. Asimismo, la cantidad de material removido y movilizado es menor a 50.000 [m³] cumpliendo con el inciso a.4 de la normativa.

En consecuencia, los trabajos a realizar para la extracción de sedimentos de los tranques La Ola y Juncal, mediante la desecación y excavación de los mismos, cumplen con los requerimientos impuestos por la Ley 19.300, y no se requiere una evaluación de impacto ambiental.

5.1.2 DFL N°1.122 de 1981 del Ministerio de Justicia, Código de Aguas artículo 294.

Indica la responsabilidad y cargo del proyecto en la construcción y financiamiento de las modificaciones en cauces artificiales o naturales con motivo de construcción de obras públicas, urbanizaciones, edificaciones u otras obras en general. Se deberán presentar los proyectos correspondientes a la Dirección General de Aguas para su aprobación previa.

El artículo 294 del Código de Aguas señala que requerirán la aprobación del Director General de Aguas, la construcción de las siguientes obras:

“a) Los embalses de capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos o cuyo muro tenga más de 5 metros de altura.

b) Los acueductos que conduzcan más de dos metros cúbicos por segundo.

c) Los acueductos que conduzcan más de medio metro cúbico por segundo, que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro y la cota de fondo sea superior a 10 metros sobre la cota de dicho límite.

d) Los sifones y canoas que crucen cauces naturales”

Forma de cumplimiento de la normativa

Se solicitará a la Dirección General de Aguas, en caso de ser requeridos, todos los permisos necesarios para la realización del proyecto.

Los tranques La Ola y Juncal tienen una capacidad de almacenamiento menor a 50.000 [m³], 7.266 [m³] el tranque La Ola y 3.118 [m³] el tranque Juncal, por lo tanto, se cumple con lo indicado en el inciso a del artículo 294. En lo referente a la altura del muro frontal, esta es inferior a 5 [m] para ambos tranques, por lo que se cumpliría con la normativa.

El caudal medio mensual del tranque La Ola es de 0,65 [m³/s] y 0,74 [m³/s] para una probabilidad de excedencia del 90%, además el máximo instantáneo registrado en los últimos 20 años es 1,5 [m³/s], todos inferiores a 2 [m³/s], por lo tanto, se cumple con lo indicado en el inciso b del artículo 294.

El proyecto no contempla la construcción de acueductos y tampoco de sifones, por lo que se cumpliría con los incisos c y d del artículo 294.

En consecuencia, los trabajos a realizar para la extracción de sedimentos de los tranques La Ola y Juncal, mediante la desecación y excavación de los mismos, cumplen con los requerimientos impuestos por el DFL N°1.122, y no se requiere una evaluación de impacto ambiental.

5.1.3 Decreto Supremo N° 146. Publicado en el Diario Oficial el 17 de abril de 1998. Ministerio Secretaria General de la Presidencia. Reglamento sobre niveles máximos permisibles de ruidos molestos generados por fuentes fijas

La presente norma establece los niveles máximos permisibles de presión sonora corregidos y los criterios técnicos para evaluar y calificar la emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas hacia la comunidad, tales como las actividades industriales, comerciales, recreacionales, artísticas u otras.

Forma de cumplimiento de la normativa

El personal usará protecciones auditivas en el caso de que realice trabajos que generen ruidos molestos, es decir, ruidos estables o fluctuantes superiores a un nivel de presión sonora continuo equivalente de 85 dB(A).

5.1.4 Decreto Supremo N° 594 del Ministerio de Salud. Publicado en el Diario Oficial el 29 de abril de 2000. Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo

Este reglamento establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas que deberá cumplir todo lugar de trabajo, sin perjuicio de la reglamentación específica que se haya dictado o se dicte

para aquellas faenas que requieren condiciones especiales. Le compete al Servicio de Salud aprobar la acumulación, tratamiento y disposición de los residuos sólidos.

Forma de cumplimiento de la normativa

Los residuos de las etapas de construcción serán trasladados a depósitos autorizados para tales afectos.

Referente al cumplimiento del marco legal que regula este tipo de proyectos y considerando el tamaño de los tranques y la magnitud de los trabajos a ejecutar, todo indica que no es necesario realizar un Estudio de Impacto Ambiental.

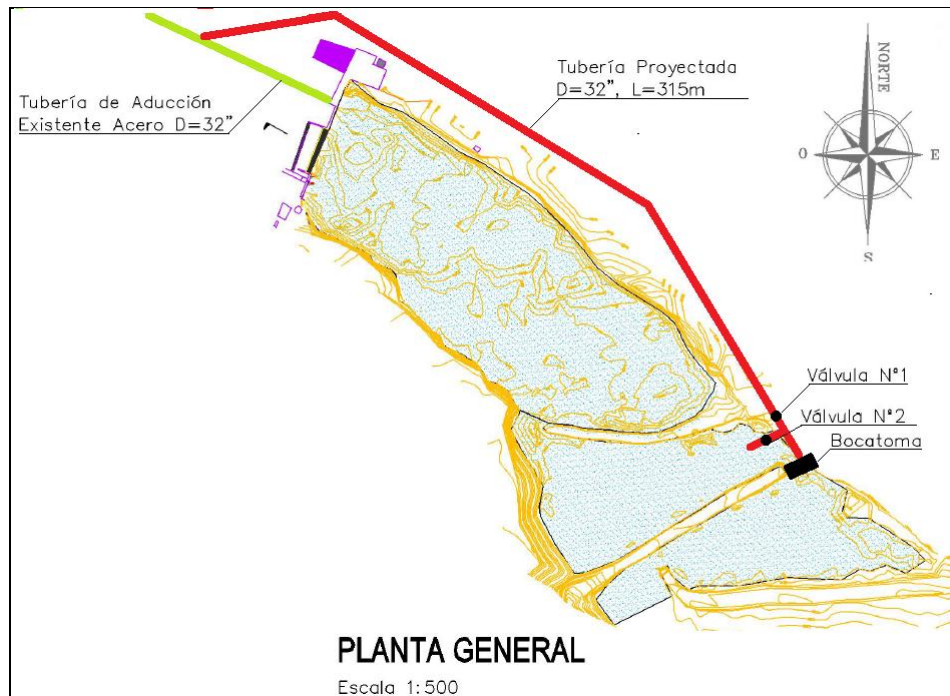
5.2 SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE SEDIMENTOS EN TRANQUES LA OLA Y TRANQUE JUNCAL

La extracción de sedimentos del tranque La Ola y Juncal se realizará mediante el uso de excavadoras y camiones tolva. Para poder llevar a cabo esta labor, se debe construir un bypass que permita desviar el río y conectarlo directamente con la tubería de aducción de los tranques, para no interrumpir el suministro continuo de agua industrial hacia los procesos mineros. La empresa contratista será la responsable de realizar la ejecución de las obras que incluye este sistema de desvío. En este capítulo sólo se presentarán en forma esquemática las obras requeridas y algunas recomendaciones para su diseño.

La figura 5-1 muestra la configuración general del sistema de desvío proyectado para el tranque La Ola. El sistema considera dos válvulas de corte, las que permitirán independizar y separar en dos tramos el sistema de conducción. La primera línea de conducción con la válvula 1 abierta y válvula 2 cerrada, permite que el caudal pase directamente a la tubería de descarga, mientras que la segunda línea de conducción, válvula 1 cerrada y válvula 2 abierta, permite que el caudal entre al tranque y posteriormente sea descargado por la tubería principal.

La obra de desvío del tranque La Ola será utilizada mientras se realicen las labores de extracción de sedimentos, sin embargo, para su diseño se debe considerar como si fuera una obra definitiva, ya que permitirá a DSAL realizar labores de mantención y extracción de los sedimentos acumulados en el tiempo.

Figura 5-1: Obras proyectadas para realizar la extracción de sedimentos en el tranque La Ola.

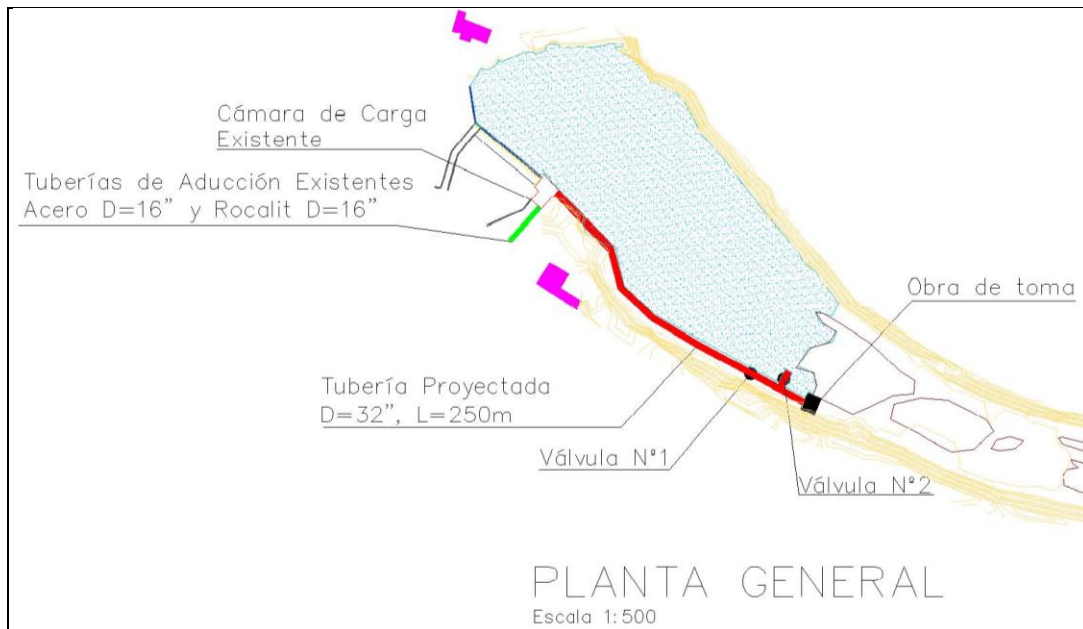


Fuente: Elaboración propia

Para efectos constructivos, se recomienda utilizar una tubería del igual diámetro que la tubería de aducción del tranque (32") y que la pendiente longitudinal no sea inferior a 1%. Teniendo en cuenta estas consideraciones y asignando un coeficiente de rugosidad de Manning del 0,012 para una tubería de acero de 32", la capacidad máxima de esta tubería proyectada sin que entre en presión es de 1,6 [m³/s], un caudal casi tres veces mayor que el caudal medio mensual (0,65 [m³/s]).

La figura 5-2 muestra la configuración general del sistema de desvío proyectado para el tranque La Juncal. El sistema considera dos válvulas de corte, las que permitirán independizar y separar en dos tramos el sistema de conducción. La primera línea de conducción con la válvula 1 abierta y válvula 2 cerrada, permite que el caudal pase directamente a la cámara de captación del tranque, mientras que la segunda línea de conducción, válvula 1 cerrada y válvula 2 abierta, permite que el caudal entre al tranque y posteriormente sea descargado por las tuberías de aducción existentes. La obra de desvío del tranque Juncal será utilizada mientras se realicen la labores extracción de sedimentos al interior del tranque, sin embargo, para su diseño se debe considerar como si fuera una obra definitiva, ya que permitirá a DSAL realizar labores de mantención y extracción de los sedimentos acumulados en el tiempo.

Figura 5-2: Esquema general de obras de desvío para realizar la extracción de sedimentos en el tranque La Ola.



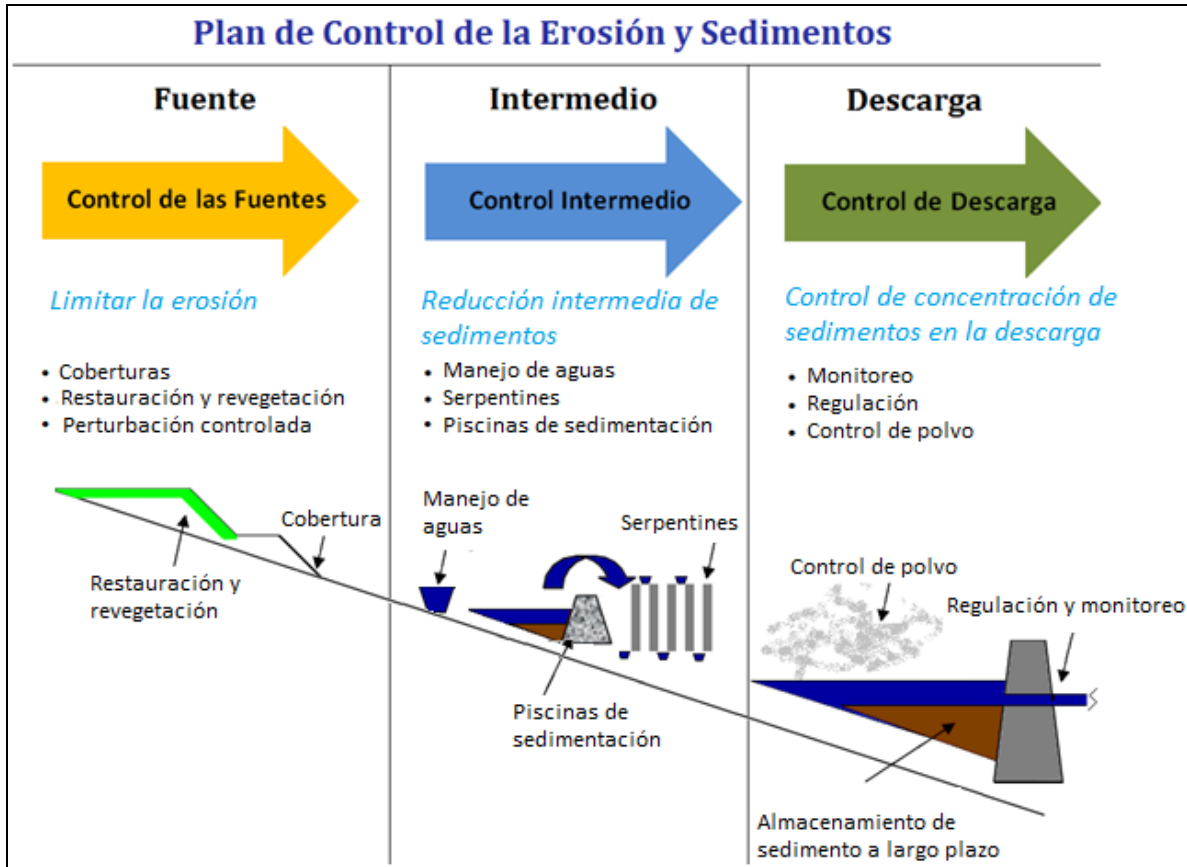
Fuente: Elaboración propia

Se recomienda utilizar una tubería de 32" y que la pendiente longitudinal no sea inferior a 1%. Teniendo en cuenta estas consideraciones y asignando un coeficiente de rugosidad de Manning del 0,012 para una tubería de acero de 32", la capacidad máxima de esta tubería proyectada sin que entre en presión es de 1,6 [m³/s], un caudal cuatro veces mayor que el caudal medio mensual (0,435 [m³/s]).

5.3 DEFINICIÓN DE LAS MEDIDAS PARA EL CONTROL DE SEDIMENTOS

En este apartado se definirán los métodos, criterios y pautas que permiten reducir la generación y el transporte de sedimentos. En la figura 5-3, se muestra un esquema con la configuración general del plan para el control de la erosión y de sedimentos, el cual considera un control desde el inicio, que se denominará fuente, hasta el final del transporte de los sedimentos, descarga en tranque La Ola.

Figura 5-3: Esquema genera del plan de control de erosión y transporte de sedimentos.



Fuente: Adaptación de (Ref.17)

Entre el inicio y el final, estas prácticas se utilizarán con el propósito de reducir la concentración y la cantidad de sedimentos afluentes al tranque La Ola. La tabla 5-1 muestra un resumen con las acciones a ejecutar, en función de su localización, además será tomadas como punto de partida para determinar el tipo de intervención que se ejecutará en los tranques La Ola y Juncal.

Tabla 5-1: Acciones y actividades para el control de sedimentos.

Localización	Características		Propósito
Fuente (en la cuenca)	Acciones biológicas	Coberturas vegetales Reforestación	Control de erosión laminar. Limitar desplazamiento de partículas. Control de escorrentía directa.
	Revestimiento de laderas	Mantas Geoceldas	Protección inmediata contra el efecto erosivo. Potenciar el crecimiento de la vegetación. Aumentar la capacidad de soporte de suelos.
Control intermedio (en el cauce)	Área de erosión	Manejo de aguas superficiales	Disminuir probabilidad de ingreso del cauce a sitios perturbados. Canalizar y encauzar.
		Revestimiento	Defensa contra erosiones laterales Aumentar la resistencia del cauce a la erosión.
	Área de sedimentación	Serpentines	Floculación y sedimentación de partículas.
		Piscinas de sedimentación	Sedimentación de partículas.
Descarga (en tranque La Ola)	Actividades de prevención	Extracción de material y limpieza en tranques	Mantenimiento de vida útil y del volumen disponible de agua.
		Mantenimiento regular elementos mecánicos	Aumento de vida útil y disminución de costos de reparación y reemplazo.
	Actividades de control	Medición de índices de turbidez	Garantizar calidad del agua industrial. Disminuir desgaste de tuberías y elementos mecánicos.
		Medición transporte de sedimento	Permite tener una base de datos confiable, para conocer en tiempo real la cantidad de sedimento que ingresa y el volumen de almacenamiento de los tranques.
	Actividades de mitigación	Pantallas de viento	Minimizar el ingreso de partículas arrastradas por el viento
		Limitar la velocidad vehicular y el tránsito de vehículos pesados en zonas de alto potencial erosivo.	Evitar segregación y levantamiento excesivo del material particulado.
		Polímeros de control de polvo	Consolida el material en los caminos y evitar segregación y levantamiento excesivo de material.

Fuente: Elaboración propia

5.3.1 Control de sedimentos en las fuentes de generación

El primer paso para reducir la cantidad de sedimento es atacar directamente a la fuente de generación. El control de erosión y generación de sedimentos en la fuente, se realizará mediante el revestimiento de laderas y la restauración y revegetación de suelos.

La emisión de partículas producidas por la erosión, pueden ser controladas como muestra la figura 5-4, mediante el uso de mantas. Las mantas de control de erosión son una red armada de fibras

naturales y/o sintéticas que se colocan sobre la superficie del suelo, con el objetivo de crear una protección inmediata contra el efecto erosivo y potenciar el crecimiento de la vegetación. Los beneficios que entregan este tipo de sistemas, van desde la protección inmediata contra la erosión hasta la vegetación segura de suelos, si se mezcla con hidrosiembra. Además son biodegradables, mitigan las oscilaciones térmicas, aportan materia orgánica al suelo progresivamente, tienen alta resistencia, flexibilidad y durabilidad, resistencia contra los rayos UV.

Figura 5-4: Mantas sobre talud



Fuente: Adaptación de (Ref.17)

Es frecuente el uso de algún tipo de barrera que impida el esparcimiento de las partículas. Las más utilizadas son las mostradas en la figura 5-5, denominadas geoceldas. Las geoceldas son un sistema de confinamiento y refuerzo de suelos, geosintético, tridimensional y de HDPE, que están diseñadas para minimizar o eliminar los efectos de las fuerzas erosivas del agua y del viento a las cuales el suelo está expuesto, y para aumentar su capacidad de soporte. Los beneficios que entregan este tipo de sistemas son el aumento en la capacidad de soporte del suelo, la resistencia a ataques químicos y biológicos, la simplicidad en obra y que tienen una vida útil superior a los 100 años.

Las ventajas del confinamiento mediante geoceldas, frente a las mantas son que el ángulo de inclinación del talud puede ser mayor, tienen mejor capacidad de soporte del material de relleno y que los taludes con geoceldas rellenas con agregados toleran flujos laminares más intensos, lo que permiten revegetar superficies impermeables. Sin embargo, el problema principal presente en estas medidas de control, es el impacto que produce en el paisajismo en caso de no reforestar, además que su precio puede llegar a ser tres veces más alto que el de las mantas, si se consideran las labores de reforestación y mantención.

La figura 5-5 muestra como las superficies expuestas a la emisión de partículas son restauradas con una capa superficial de tierra orgánica y revegetada con flora nativa. Esta práctica limita el desplazamiento de las partículas y mejora ostensiblemente el paisajismo. Actualmente no hay evidencia de superficies que hayan sido reforestadas en los sectores de La Ola y Juncal, a pesar de que existe una gran variedad de especies nativas. Como esta práctica exige el uso del recurso

hídrico, que además de ser escaso, está destinado en un 100% a las operaciones mineras y las labores de mantenimiento aumentan los costos generales, no será considerada como medida para el control de sedimento.

Figura 5-5: Geoceldas sobre talud y reforestación en talud con flora nativa en desierto



Fuente: Adaptación de (Ref.17)

Finalmente, de modo complementario, se deben establecer determinados criterios que permitan ayudar al control de la erosión, como la adecuada y oportuna planificación de las operaciones o que la programación de los trabajos de movimiento de tierras, de modo que se realicen preferentemente durante épocas de escasa precipitación pluvial y nival.

5.3.2 Control de sedimentos intermedios

El propósito del control intermedio es atrapar las partículas y reducir la cantidad de sedimentos transportados entre la fuente generadora y la descarga final. Como mecanismos de control intermedio se considera el manejo de aguas superficiales, revestimiento del cauce, los serpentines y las piscinas de sedimentación. Estos mecanismos están diseñados para atrapar la fracción más gruesa del sedimento y reducir el volumen general de sedimento que es transportado a los tranques.

Un correcto manejo y encauzamiento de las aguas en los ríos La Ola, Leoncito y Juncalito, disminuye la probabilidad de ingreso a sitios perturbados, y con ello, el potencial arrastre de partículas. El revestimiento del cauce, es otra forma de protección contra la erosión, cuyo objetivo es separar la capa natural del suelo de la corriente, para evitar el desprendimiento y la socavación del fondo. Existe una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados para la construcción del revestimiento, desde hormigones, geosintéticos, asfalto, hasta el recubrimiento vegetal. Sin embargo, el tipo de revestimiento dependerá de la disponibilidad de materiales para su construcción, requerimientos de diseño y el presupuesto destinado por DSAL.

La figura 5-6, muestra la configuración típica de un serpentín, los cuales son básicamente pozas de sedimentación alargada construidas en serie o en paralelo. Los serpentines construidos con celdas en paralelo permiten realizar el mantenimiento sin interrumpir el flujo continuo. El diseño del serpentín debe considerar mantenimiento y la capacidad de remover sedimentos de la estructura en forma segura. Dentro de los beneficios que entrega la construcción de serpentines, aparte de

retener gran porcentaje de los sedimentos, se encuentran el que pueden ser estructuras de medición de caudales y de sedimentos.

Figura 5-6: Configuración típica de serpentines



Fuente: Adaptación de [\(Ref.17\)](#)

Actualmente existen tres serpentines en el tranque La Ola, los que se encuentran embancados completamente, y por ende su eficiencia de retención de partículas es prácticamente nula. Sin embargo, el embancamiento prematuro de estos, hace suponer que fueron una medida de control que entregó resultados positivos.

Figura 5-7: Serpentines ubicados en la descarga del río La Ola en tranque La Ola



Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Control de sedimentos en la descarga

El control de sedimentos en la descarga, está relacionado con realizar simples actividades de mantención y control, como por ejemplo:

- Construcción natural o artificial de pantallas de viento, para impedir que el sedimento más fino ingrese al tranque por efecto del viento.
- Limitar trabajos alrededor de los tranque que levanten polvo.

- Para los caminos perimetrales a los tranque, se debe: disminuir el límite de velocidades máximas permitidas, aumentar el tamaño de la capa granular de los caminos, en lo posible utilizar rutas alternativas y restringir el tránsito de vehículos pesados.
- Rociar los caminos contiguos a los tranques con polímeros de control de polvo.
- Realizar mediciones programadas y en tiempo real de la calidad del agua industrial en la compuerta de descarga del tranque La Ola, fundamentalmente medir el grado de turbidez, para mejorar la calidad del agua industrial entregada a los procesos mineros.
- Realizar mantención regular la cámara de carga, válvulas y elementos mecánicos que componen el sistema de agua industrial.

5.4 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA LA ELIMINACIÓN DE SEDIMENTOS EN LAS FUENTES DE GENERACIÓN.

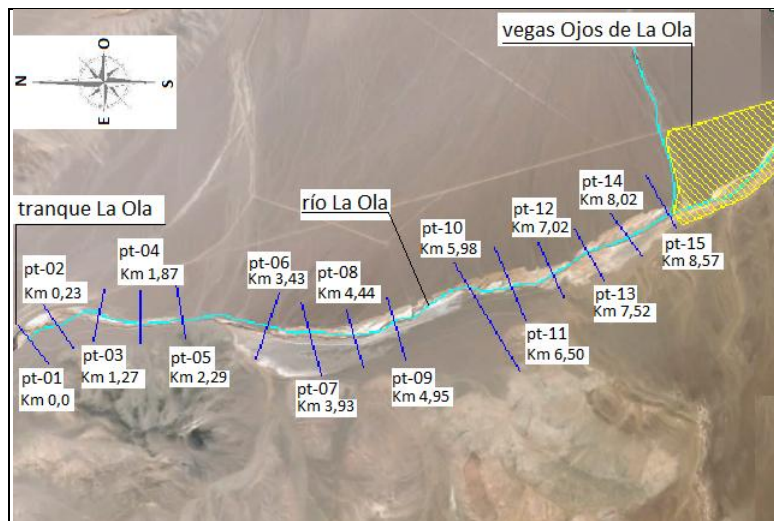
La principal fuente de generación de sedimentos que tienen el tranque La Ola como el Juncal, son las laderas empinadas por las que pasan los ríos La Ola y Juncalito, las cuales están cubiertas por material particulado que cae constantemente a los ríos, es arrastrado por estos y depositado en los tranques. Por lo anterior, se definen las medidas correctivas que se recomiendan aplicar directamente a la fuente de generación del sedimento.

5.4.1 *Revestimiento para taludes de pendiente fuerte*

Restaurar las superficies con una capa superficial de tierra orgánica y revegetarlas con flora nativa, es a nivel global, una de las formas más eficientes de control de erosión, porque reduce la erosión y permite capturar el sedimento después de que las partículas del suelo ya han sido arrastradas. Sin embargo, el recurso hídrico es escaso, el clima es severo en cuanto al crecimiento y mantención de la vegetación y reforestar resulta ser una medida de control costosa, en comparación con otras formas de protección.

Una práctica de manejo efectiva es proteger los terrenos contiguos a los ríos La Ola y Juncalito en al menos 1 [km] aguas arriba de los tranques, y sobre todo en laderas de pendiente fuerte, superiores a 10%. Se recomienda usar mantas para taludes empinados para sostener la capa superficial del suelo en los niveles no favorables. En el levantamiento topográfico realizado al río La Ola, se tomaron 15 perfiles transversales, denominados pt-01 al pt -15, de 600 [m] de ancho y cada 500 [m], con un mínimo de 6 puntos por perfil espaciados a 50 [m] (Ref.12). Con esta información, más el uso de Google Earth y de fotografías tomadas en el río La Ola, se determinan las zonas del río que tienen pendientes sobre el 10%. La figura 5-8 muestra la ubicación de los 15 perfiles transversales del río, respecto al tranque La Ola (km.0).

Figura 5-8: Ubicación de perfiles transversales al eje del río La Ola.



Fuente: Elaboración propia

La tabla 5-2, muestra las características de los 15 perfiles transversales mostrados en la figura 5-6. Se observa una gran diferencia en el valor de la pendiente del talud de cada perfil, debido a la irregularidad en la topografía, existen zonas prácticamente planas, como en el caso del pt-01 con pendientes del 0,1% y otras que presentan pendientes fuertes de hasta un 44% como el pt-04.

Tabla 5-2: Pendiente promedio del talud de perfiles transversales al eje del río La Ola (Ref.12).

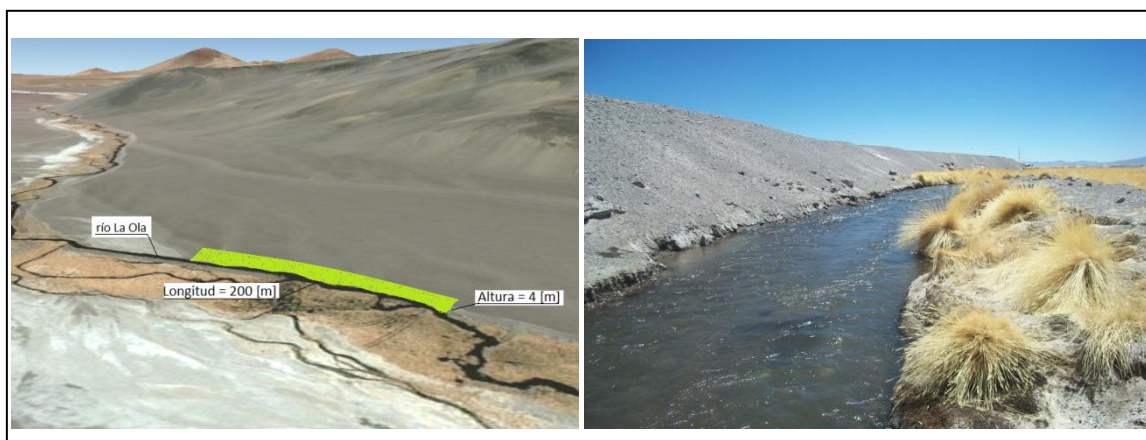
Perfil	Pendiente izquierda	Pendiente derecha	Perfil	Pendiente izquierda	Pendiente derecha
pt-01	0.1%	3.8%	pt-09	1.6%	0.4%
pt-02	17.8%	0.7%	pt-10	1.6%	3.3%
pt-03	0.8%	3.9%	pt-11	2.3%	1.7%
pt-04	44.2%	3.3%	pt-12	1.8%	1.6%
pt-05	6.6%	3.6%	pt-13	1.7%	3.5%
pt-06	1.3%	14.3%	pt-14	1.7%	1.5%
pt-07	1.3%	2.1%	pt-15	2.5%	1.1%
pt-08	1.7%	1.4%			

Fuente: Elaboración propia

Los perfiles transversales pt-02, pt-04 y pt-06, tienen pendientes que superan el 10%, por lo que se recomienda proteger sus taludes. En las figuras 5-9, 5-10 y 5-11, se determina la geometría de las zonas a proteger, se incluye una fotografía ilustrativa, para mostrar de mejor forma la magnitud de los taludes en cada perfil y poder identificar en terreno la zona en cuestión.

En la foto izquierda de la figura 5-9, se marca con una superficie en color verde, el área destinada a proteger para el perfil pt-02. La superficie tiene una longitud de 200 [m], y una altura de 4 [m]. La segunda foto (lado derecho), es una fotografía del lugar, tomada en las campañas de terreno.

Figura 5-9: Perfil transversal al río La Ola pt-02, ubicado a 0,23 [km] del tranque La Ola



Fuente: Elaboración propia

En la foto izquierda de la figura 5-10, se marca con una superficie en color verde, el área destinada a proteger para el perfil pt-04. La superficie tiene una longitud de 1.700 [m], y una altura de 9 [m].

La segunda figura (lado derecho), es una fotografía del lugar, tomada en las campañas de terreno.

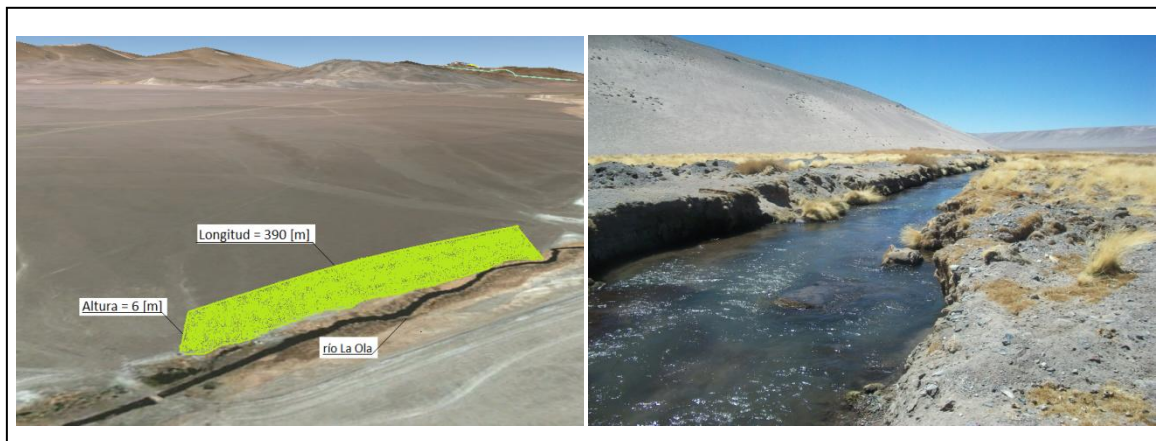
Figura 5-10: Perfil transversal al río La Ola pt-04, ubicado a 1,87 [km] del tranque La Ola



Fuente: Elaboración propia

En la foto izquierda de la figura 5-11, se marca con una superficie en color verde, el área destinada a proteger para el perfil pt-06. La superficie tiene una longitud de 390 [m], y una altura de 6 [m]. La segunda figura (lado derecho), es una fotografía del lugar, tomada en las campañas de terreno.

Figura 5-11: Perfil transversal al río La Ola pt-06, ubicado a 3,43 [km] del tranque La Ola



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5-3 se presenta un resumen de las superficie que deben ser protegida contra la erosión.

Tabla 5-3: Taludes a proteger contra la erosión en el río La Ola

Perfil	Longitud de protección [m]	Altura de talud [m]	Área [m ²]
pt-02	200	4	800
pt-04	1.700	9	15.300
pt-06	390	6	2.340
Total	2.290	19	18.440

Fuente: Elaboración propia

Para este efecto, se solicito una cotización para el revestimiento de 20.000 [m²] de superficie a la empresa EMIN Sistemas Geotécnicos S.A. Mediante el presupuesto y especificaciones técnicas entregadas por la empresa, se rescata lo siguiente:

El sistema de protección más adecuado para los requerimientos de DSAL y según características de la zona y taludes a revestir, es una manta control de erosión permanente VMax3 P550. Se debe tensar anclada mediante ganchos galvanizados en centrífuga con norma ASTM A153 y se sugiere como mínimo 5 unidades por cada [m²]. El costo total para el revestimiento de los 20.000 [m²] se presenta en la figura 5-12 y es equivalente a \$129.061.920 millones de pesos más IVA.

Figura 5-12: Presupuesto para el revestimiento de 20.000 [m²] en taludes de pendiente fuerte

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
				\$	\$
1	Manta Control de Erosión Permanente VMax3 P550	m ²	20.009,6	4.550	91.043.680
2	Suministro Ganchos de Anclaje con Galvanizado	c/u	100.048	380	38.018.240
	Total Neto				129.061.920
					Más IVA.

Fuente: Elaboración propia

5.5 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA LA ELIMINACIÓN DE SEDIMENTOS INTERMEDIOS.

Como la cantidad de sedimentos que desemboca en el tranque La Ola es capaz de embancarlo en un promedio de 5 años, resulta necesario proyectar las obras y definir las labores de mantención que minimicen su embancamiento en el tiempo. Por otra parte, debido a un requerimiento de DSAL, se solicita diseñar un sistema de sedimentación de bajo costo, que tenga un sistema de mantención que permita eliminar los sedimentos en forma regular y evite que el tranque La Ola se vuelva a embancar.

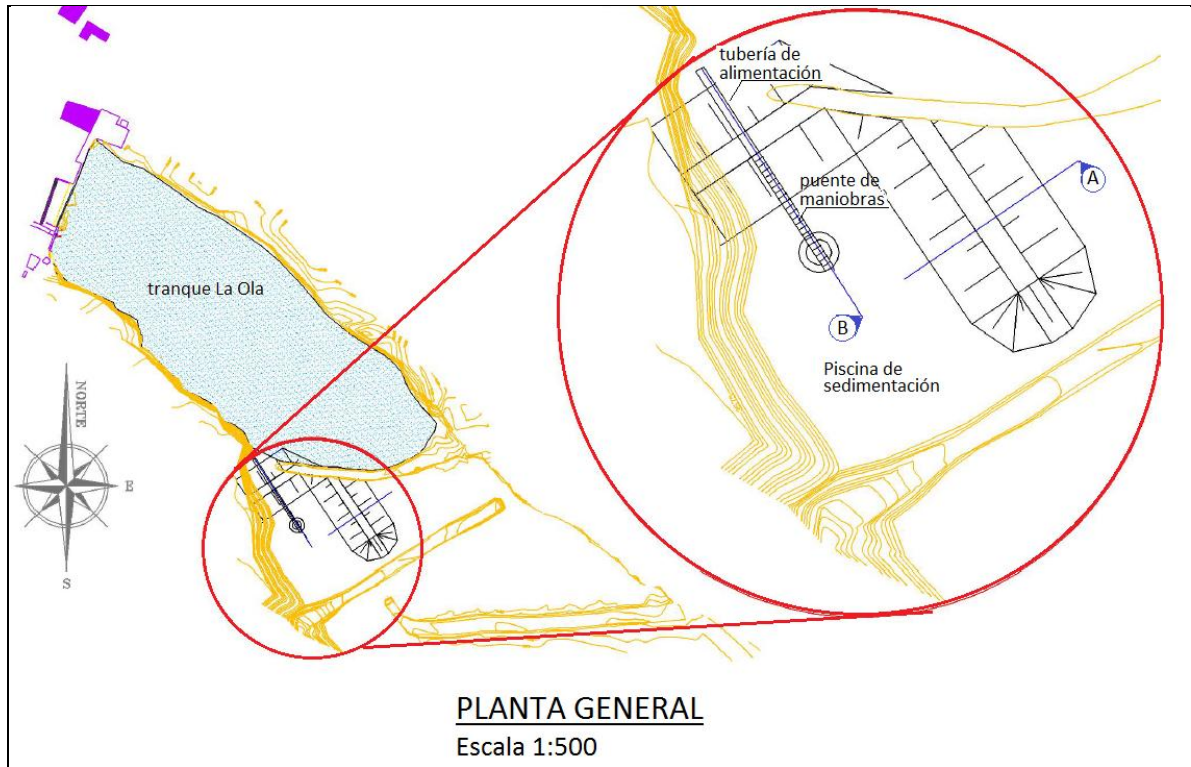
5.5.1 *Diseño de sedimentador en tranque La Ola*

La obra de sedimentación consiste en una piscina de decantación de geometría trapezoidal, compuesta por un muro de hormigón armado de eje circular, el cual actúa como obra de toma y de descarga. El sedimentador permite la decantación de los sólidos transportados por el río La Ola y amortiguar el material arrastrado por las crecidas, además realizando actividades periódicas de extracción de sedimentos evitará el embancamiento del tranque.

El funcionamiento de este sistema consiste en que el caudal que entra a la piscina de decantación, la comienza a llenar hasta que rebalsa por sobre el vertedero circular, cayendo a través del espacio anular y se descarga hacia el tranque por la tubería de alimentación. De este modo se empieza a llenar el tranque, hasta que alcanza su cota de aguas máximas.

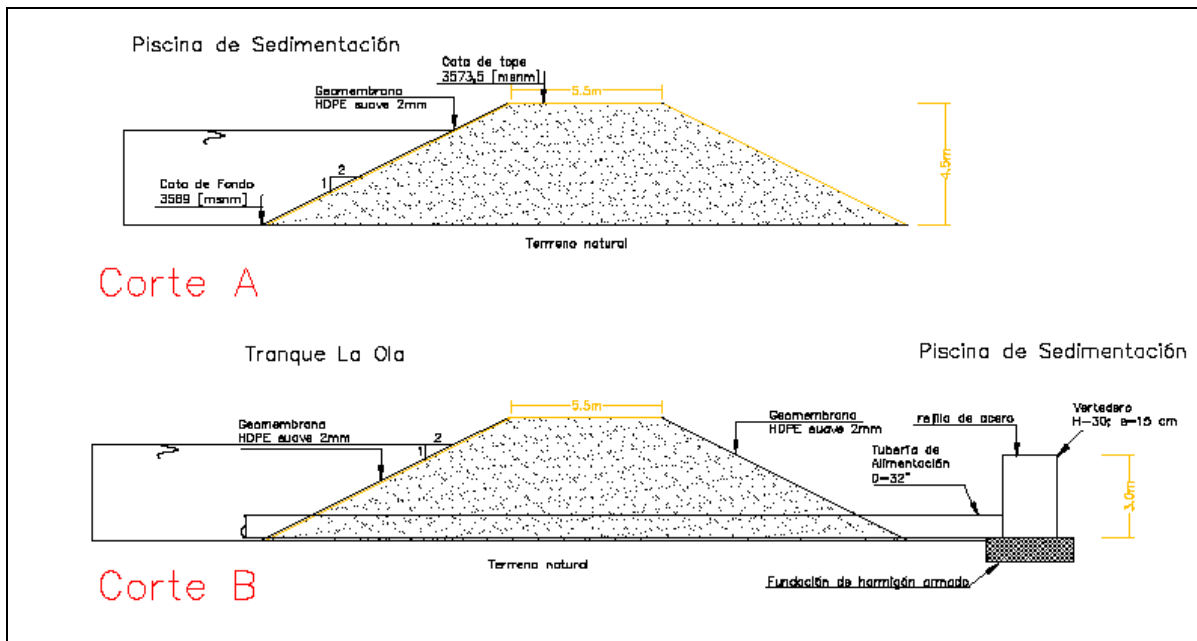
El sedimentador proyectado se muestra en las figuras 5-13. La geometría del sedimentador será diseñada para que el sistema sea capaz de sedimentar el 100% de las partículas de diámetro superior a 1 [mm]. El sedimentador proyectado tiene una superficie de 2.355 [m²] y un volumen útil de 8.243 [m³]. La altura del sedimentador es de 4 [m] desde su cota de fondo, la revancha considerada es de 1 [m] y los taludes del terraplén son 1V:2H. La figura 5-14 muestra la geometría y componentes principales del sedimentador.

Figura 5-13: Vista en planta del sedimentador proyectado en tranque La Ola.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-14: Vista en elevación corte A y corte B del sedimentador.

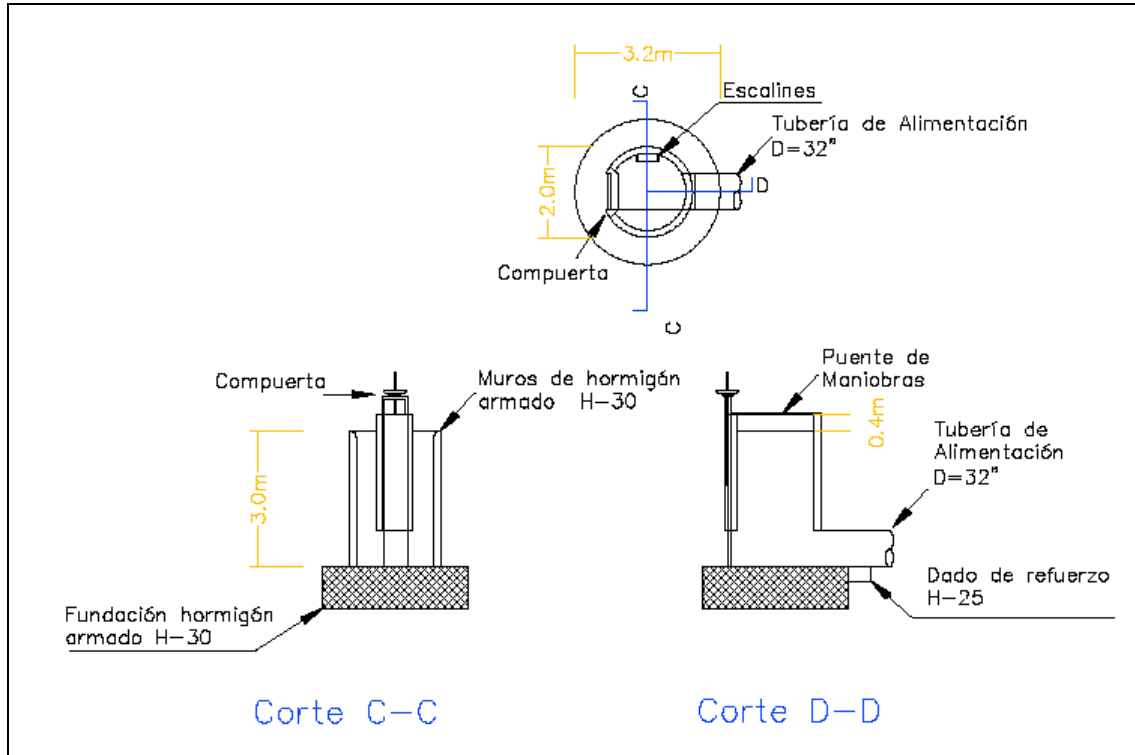


Fuente: Elaboración propia

Para la impermeabilización de los muros se recomienda utilizar una geomembrana de HDPE de 2 [mm], cuya resistencia al punzonamiento y carga de fluencia son 630 [N] y 30 [kN/m]

respectivamente(Ref.29) , además tienen un buen comportamiento a la agresión química, a la acción de bacterias y a los rayos UV, y permiten un mejor control de calidad de las uniones por soldadura.

Figura 5-15: Obra de toma y descarga de caudal hacia el tranque La Ola.



Fuente: Adaptación de (Ref.14)

Para extraer los sedimentos existen dos formas, la primera consiste en vaciar el sedimentador y realizar la extracción de sedimentos en forma manual (a pala), ya que el utilizar maquinarias rompería la geomembrana, sin embargo, esta forma está condicionada por el tamaño del sedimentador y la altura a la cual es necesario enviar el material extraído con la pala. La segunda y más eficiente, es usando una bomba de sólidos. El uso de la bomba de sólidos, no solo permite realizar la mantención del sedimentador, sino que también permite extraer el material más fino pasantes al tranque La Ola y que no es decantado en el procesos anteriores.

5.5.2 *Revestimiento del cauce en tramos de velocidades altas.*

En tramos del río La Ola en donde las velocidades sean mayores a 1,3 [m/s] o de curvatura pronunciada (mayor a 90 grados), se recomienda reducir la velocidad para disminuir la socavación, siempre y cuando la evaluación de impacto medio ambiental lo permita.

Una opción es utilizar el rip-rap, que es una cobertura permanente y resistente contra la erosión del terreno hecha de piedras grandes, sueltas y angulares. El rip-rap disminuye la velocidad de la escorrentía concentrada y estabiliza taludes con problemas de filtración y/o suelos no cohesivos. Se utiliza cuando las condiciones del suelo, turbulencia del agua, velocidad del agua y la cubierta

vegetativa son tales que el suelo puede erosionarse bajo las condiciones normales del flujo. Para su diseño, se deben definir las dimensiones del canal, características de la piedra (dureza, forma, tipo, diámetro y espesor), geotextil bajo la piedra, taludes de corte o relleno.

Las coberturas se deben inspeccionar regularmente y después de cada evento extremo, mantener y reparar según sea necesario para asegurar el desempeño de su función. La tabla 5-4 indica los perfiles transversales del eje hidráulico del río La Ola, en donde la velocidad media es superior a 1,3 [m/s], para un caudal medio de 0,64 [m³/s], (ver Anexo A-3)

Tabla 5-4: Perfil del eje hidráulico con velocidad media superior a 1,3[m/s]

Perfil	Distancia desde tranque La Ola[m]	Velocidad [m/s]
3	234	1,3
8	1.073	1,33
10	1.271	1,35
12	1.485	1,33
15	1.867	1,34
18	2.092	1,34
28	3.052	1,59
29	3.054	1,48

Fuente: Elaboración propia

El emplazamiento, diseño y construcción de este tipo de protección, en caso de ser utilizado, será definido por la empresa contratista y aprobado por DSAL

5.5.3 Recuperación de serpentines en tranque La Ola

La efectividad de los serpentines está establecida en gran parte por la superficie disponible para el asentamiento y almacenamiento del sedimento. El uso de serpentines ha sido utilizado con anterioridad por DSAL, como medida de sedimentación y retención de sedimentos en el tranque La Ola, pero se actualmente se encuentran embancados completamente.

Se recomienda recuperar y optimizar los serpentines existentes, para tener un sistema de control eficiente y simple. Se debe restablecer la pendiente de diseño de los taludes perimetrales e incorporar un sistema de protección contra la erosión y socavación de estos.

La superficie útil que aportan estas obras de sedimentación es de 8.000 [m²]. La limpieza de estas piscinas permitirá recuperar un volumen aproximado de 12.000 [m³], considerando una profundidad de 1,5 [m] desde su cota de fondo.

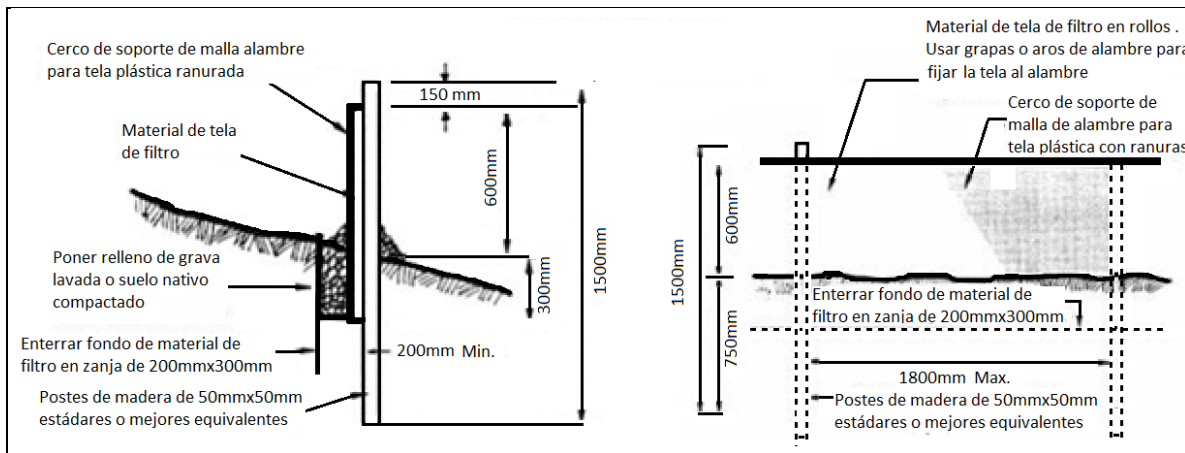
5.6 MEDIDAS CORRECTIVAS PARA LA ELIMINACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA DESCARGA EN TRANQUE LA OLA.

5.6.1 Control de polvo y generación de sedimento

Para minimizar la entrada de partículas arrastradas por el viento y la escorrentía superficial hacia los tranques La Ola y Juncal, se recomienda construir cercos de retención de sedimentos alrededor del perímetro de los tranques La Ola y Juncal. Este sistema consistente en una tela de filtro extendida entre postes de soporte, fijada a los postes y anclada al suelo, su configuración y elementos que constituyen este sistema se muestran en la figura 5-16. El cerco de sedimento se construye con estacas y tela de filtro sintética, con un respaldo rígido de cerco de alambre donde sea necesario. Los cercos de sedimento interceptan y detienen pequeñas cantidades de sedimento en condiciones de flujo laminar, proveniente de áreas perturbadas.

El lugar en donde sea factible implementar esta medida debe ser definido por DSAL.

Figura 5-16: Esquema típico de cercos de retención de sedimentos.



Fuente: Adaptación de (Ref.16)

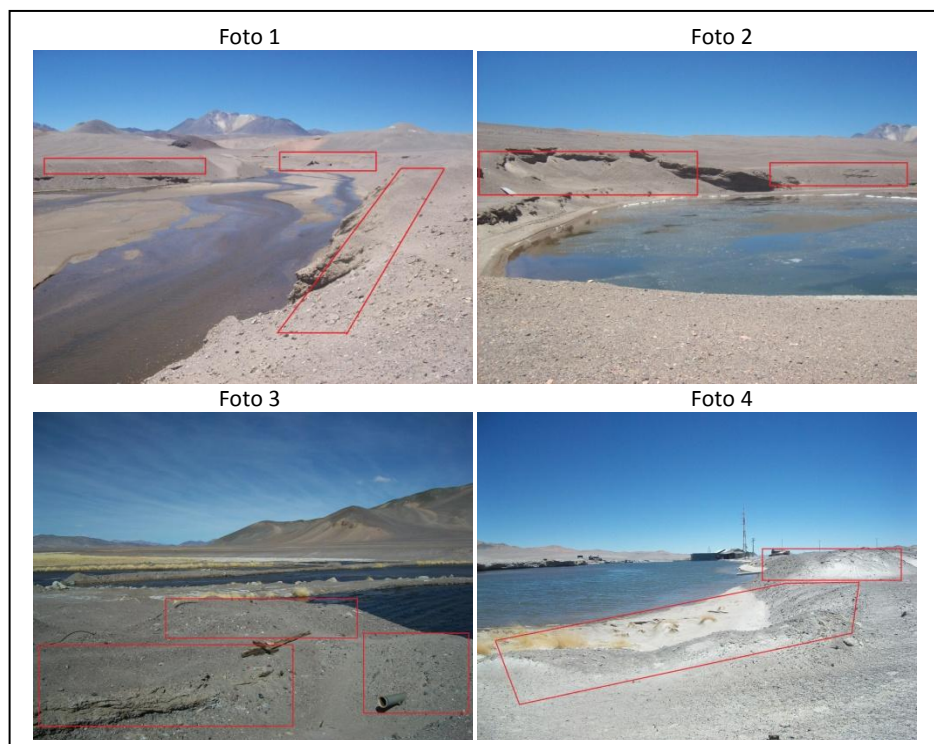
Se debe gestionar la posibilidad de disminuir la velocidad vehicular máxima permitida en tramos cercanos a los tranques La Ola y Juncal y se deben rociar permanentemente los caminos contiguos a los tranques con polímeros de control de polvo o en su defecto con agua salada, al menos 1 vez por semana.

5.6.2 Retiro de material perimetral y protección de taludes perimetrales en tranques La Ola y Juncal

Se deben retirar las acumulaciones de material que se encuentre alrededor de los tranques La Ola y Juncal, para evitar que este ingrese durante alguna precipitación o por la acción del viento. La fotos de la figura 5-17 muestra en un cuadro de color rojo, el material granular acumulado alrededor de los tranques. Se puede ver la proximidad del material a los tranques y el potencial generador de sedimento que representan.

Las superficies en color rojo destacadas en las fotografías de la figura 5-17, corresponden al material perimetral acumulado en los tranque La Ola y Juncal. Las fotografías 1 y 2, corresponden al tranque Juncal, mientras que la fotografías 3 y 4 al tranque La Ola.

Figura 5-17: Registro fotográfico año 2010 que muestran el material acumulado alrededor de los tranques La Ola y Juncal.

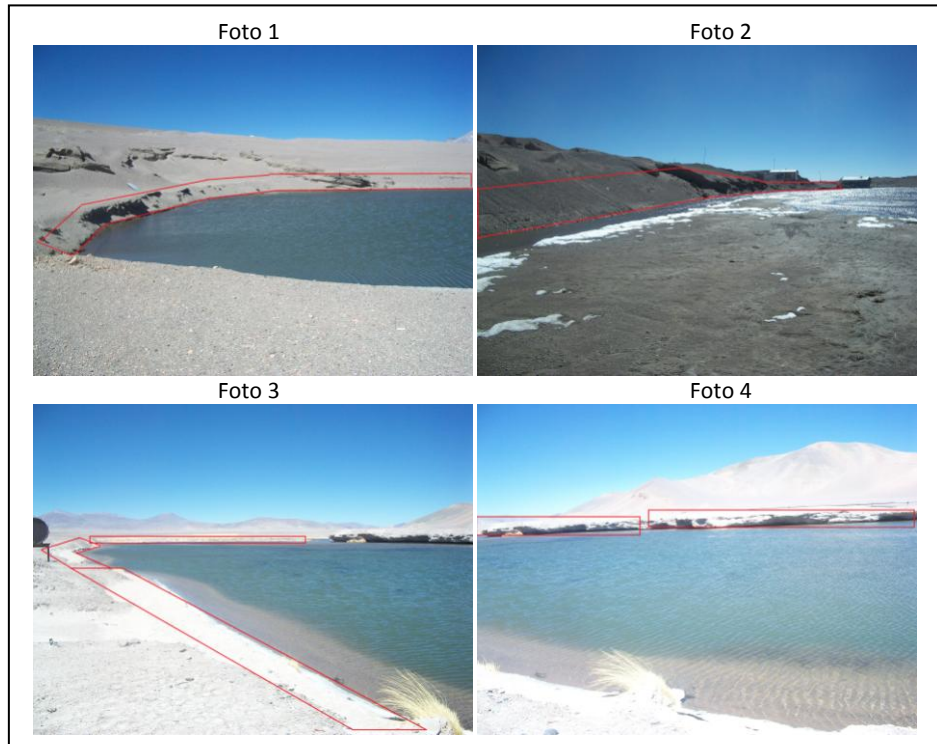


Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda diseñar un sistema de protección contra la erosión y el derrumbe de los taludes perimetrales de los tranques La Ola y Juncal una vez realizada su limpieza, como el uso de mantas para el control de la erosión u otra tecnología, ya que los constantes desprendimientos de material ingresan directamente a los tranques. Además, en el caso del tranque La Ola, toda la extensión de la zona oeste presenta un grado de socavación importante.

La figura 5-18, muestran 2 fotografías del tranque La Ola y 2 fotografías del tranque Juncal, en las que se indican con un cuadro rojo los sectores críticos de erosión y socavación en el talud perimetral. Las fotografías 1 y 2, corresponden al tranque Juncal, mientras que la fotografías 3 y 4 al tranque La Ola.

Figura 5-18: Registro fotográfico año 2010 que muestran el grado de erosión de los taludes perimetrales en los tranques La Ola y Juncal.



Fuente: Elaboración propia.

5.6.3 Actividades de operación y mantención en tranques La Ola y Juncal

En la tabla 5-4 se presentan las principales actividades de mantención y operación que se deben realizar en los tranques La Ola y Juncal:

Tabla 5-4: Actividades de operación y mantención en tranques La Ola y Juncal

Ítem	Actividad	Descripción
1	Monitoreo y control horario de niveles	Se debe monitorear y controlar los niveles del tranque La Ola para evitar pérdidas por rebalse. Cuando el nivel freático es alto, por sobre la cota 3969,8 [m.s.n.m.] del tranque, se debe bajar inmediatamente el nivel, cerrando paulatinamente la compuerta de descarga. Cuando el nivel freático es bajo, bajo la cota 3969,5 [m.s.n.m.] se debe activar el pozo de bombeo PB-1, para recuperar el nivel. Se deben anotar e informar a DSAL los niveles de los tranques La Ola y Juncal cada una hora. Se deben anotar e informar a DSAL los niveles de los tranques La Ola y Juncal cada una hora.
2	Control de concentración de sedimentos	La forma para controlar la cantidad de sedimento que se acumula en los traques, es mediante la medición directa. Se recomienda realizar una batimetría de control periódica, al menos una vez al año, tanto a los tranques La Ola y Juncal, como en la piscina de sedimentación y serpentines. Se deben realizar periódicamente mediciones de la concentración de sedimento in situ, en la entrada y salida del tranque La Ola y tranque Juncal, también en la entrada y salida del sedimentador, para poder evaluar la eficiencia de retención de estos, y poder determinar si es necesario limpiarlos.
3	Monitoreo y control del flujo de descarga	Realizar monitoreo y control horario del flujo de salida del tranque La Ola, con la finalidad de satisfacer las demandas del sistema de agua industrial. Si el caudal entregado por La Ola, no cumple con la demanda de agua industrial requerida por el sistema, se debe activar la planta de bombeo Pedernales y el pozo PB-1, según previa autorización de DSAL. Se deben anotar e informar los flujos de los tranques cada una hora.
4	Control del nivel de turbidez	Monitoreo y control horario del nivel de turbidez del flujo de salida del tranque La Ola. Se debe anotar e informar nivel registrado. La turbidez máxima permitida en la bocatoma de La Ola es de 5 NTU, si este límite es sobrepasado, se debe proceder a activar la planta de bombeo Pedernales, el PB-1 y cerrar parcial o totalmente la compuerta de descarga, según previa autorización de DSAL.
5	Operación de válvulas y compuertas desarenadoras	La operación de las válvulas desarenadoras y compuertas de emergencia de los tranques La Ola y Juncal, depende de la cantidad de sedimentos acumulados en su interior. Se debe realizar la abertura de estas al menos una vez por semana, según previa autorización DSAL.

Ítem	Actividad	Descripción
6	Mantenión y operación de bombas	El contratista será el encargado de operar la estación de bombeo Pedernales en forma local o remota, operar y mantener el pozo de bombeo PB-1, la bomba y motor diesel y mantenerlas siempre lubricadas y operativas. DSAL será quien suministre el combustible y el aceite de lubricación.
7	Mantenimiento del sedimentador.	Se debe realizar una batimetría de control simple al sedimentador al menos 1 vez al mes y cada vez que suceda un evento extremo. Se deben anotar e informar niveles batimétricos registrados. Cuando la cantidad de sedimento al interior de la piscina de sedimentación sea mayor o igual al 25% del volumen útil, se debe proceder con su limpieza. La medición, será determinada mediante el promedio aritmético de al menos 10 puntos medidos en el interior de la piscina de sedimentación.
8	Mantenimiento de elementos mecánicos	La mantención y buen funcionamiento de los componentes mecánicos de la red de distribución de agua industrial es de vital importancia, ya que una rotura, obstrucción o cualquier otro tipo de falla que implique detener los procesos de producción, significan pérdidas económicas considerables. Se deben engrasar y limpiar al menos una vez por semana y cada vez que se requiera.
9	Limpieza de rejillas	Limpiar las rejillas que componen la obra de toma, al menos 2 veces al día, o cuando sea necesario, se debe procurar el paso continuo del agua durante el 100% del tiempo. Se debe mantener siempre descongelada la compuerta del tranque La Ola y los vertederos de salida del tranque Juncal.
10	Mantenimiento de redes de agua industrial	La empresa contratista será la encargada del mantenimiento preventivo y correctivo de emergencia de las redes de agua industrial de los tranques La Ola y Juncal, la reparación de cañerías, soldaduras, unión de cañerías y coplas, mantención de válvulas de drenaje y de aire. El contratista deberá aportar y suministrar todos los equipos, elementos, herramientas y mano obra que se requieran. Se requiere personal idóneo para la realización del servicio encomendado y se exige condiciones físicas óptimas para trabajos en altura y con examen de altura al día.

Fuente: Elaboración propia

5.6.4 Procedimiento ambiental

En virtud del compromiso de CODELCO y de la División Salvador, en relación con la conservación y protección del medio ambiente y la necesidad de garantizar la aplicación de mejores prácticas ambientales por parte de las empresas colaboradoras, el contratista deberá presentar previo al inicio de cada obra, un procedimiento y los controles que se implementarán para una adecuada protección del medio ambiente. En la tabla 5-5 se presentan los principales procedimientos ambientales que se deben realizar antes, durante y una vez finalizado cualquier trabajo en los tranques La Ola y Juncal:

Tabla 5-5: Procedimientos ambientales

Ítem	Actividad	Descripción
1	Restauración inmediata	Las zonas en donde se realicen trabajos de movimiento de tierras, se deben rehabilitar a medida que avance la obra. Se necesitarán barreras, coberturas, etc. hasta que la vegetación alterada, se restablezca.
2	Información mínima del procedimiento	Todo trabajo realizado debe incluir un procedimiento ambiental, la información mínima que deberá incluir el procedimiento ambiental es: manejo de desechos industriales, manejo de basuras domésticas, manejo de aceites y grasas usadas, manejo y purificación de agua potable, manejo y disposición de aguas servidas, procedimiento de protección de la flora y fauna, procedimientos ante emergencias.
3	Temporada de construcción	Cuando sea posible, las actividades de construcción que signifiquen perturbación del terreno alrededor de los tranques, deben limitarse al período del 1 de abril al 15 de octubre, temporada donde los vientos son de menor intensidad.
4	Programación de los trabajos	Se deben programar y planificar a tiempo los trabajos realizados en los tranque y ríos afluentes a ellos, para evitar que exista terreno perturbado sin protección. El control de la erosión requiere que todo el personal que trabaja en el proyecto sepa que las actividades de perturbación del terreno deben limitarse al emplazamiento del proyecto. Deben prohibirse los senderos de acceso no autorizados y el movimiento de equipos sobre terrenos sin perturbar.
5	Actividades Prohibidas	No se debe realizar un trabajo sin un plan medio ambiental aprobado por DSAL. No se debe realizar un trabajo, antes de que se hayan establecido los criterios de buenas prácticas de manejo de sedimentos. No se debe dejar material particulado expuesto al viento.

Fuente: Elaboración propia

5.7 SISTEMA MANTENCIÓN TRANQUE LA OLA Y JUNCAL

El objetivo principal es diseñar un sistema de mantención permanente y que sea amigable con el medio ambiente. La mantención del sedimentador proyectado para el tranque La Ola y del tranque Juncal, consiste en la extracción de los sedimentos a través de una bomba para sólidos, el material succionado por la bomba, mezcla de agua sedimento, será impulsado a un conjunto de contenedores sintéticos destinados especialmente para su almacenamiento y deshidratación. Los contenedores sintéticos conocidos como geotubos son una tecnología no tradicional para el control, confinamiento y deshidratación de sedimentos, están compuestos por un tejido permeable y resistente, que se encarga de filtrar la mezcla, deshidratarla, atrapar los sólidos en su interior y devolver las aguas claras al sistema. Finalmente, los sólidos pueden manejarse como material seco y ser depositados en un botadero autorizado.

El sedimento bombeado hacia los geotubos, puede o no requerir la adición de polímeros que faciliten su aglomeración y separación del agua, esto se determina mediante pruebas de campo, las que además son capaces de predecir la calidad del agua filtrante y el tiempo de secado de los sólidos. Estas pruebas son realizadas sin ningún costo, por el distribuidor, así como el asesoramiento en las instalaciones cuando sea necesario (Ref.33).

Para los geotubos existen medidas comerciales y su precio está definidos según el tamaño a utilizar, sin embargo, entre más grande es el geotubo más económica es la relación de precio - volumen (Ref.33). En la tabla 5-6, se indican los precios comerciales entregados por Novatech, uno de los mayores distribuidores de geotubos en Chile.

Tabla 5-6: Precios comerciales geotubos.

Tipo	Circunferencia	Longitud	Altura Llenado	Ancho Lleno	Volumen deshidratado estimado	Precio Stock
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m ³]	US\$
Munitube	13,7	17,4	2,1	5,8	156	2.700
	13,7	30,5	2,1	5,8	280,6	4.800
	13,7	61	2,1	5,8	569,6	9.600
MDS	6,9	6,7	1,7	2,3	19,1	1.440
MT	9,1	15,2	2	3,7	75,7	2.160
	9,1	30,5	2	3,7	154,4	4.320
Otras medidas	18,3	30,5	2,3	7,9	422,8	5.880
	18,3	61	2,3	7,9	863,2	11.760
	36,6	30,5	2,3	17,5	1116,3	12.240

Fuente: Elaboración propia

5.7.1 Sistema de mantención tranque La Ola

Se definió previamente que la extracción de sólidos en el sedimentador del tranque La Ola se realizará cuando alcance un 25% de su volumen útil total, lo cual es equivalente a 2.060 [m³]. Suponiendo un 80% de eficiencia, el sedimento almacenado por los geotubos será 1650 [m³], por lo tanto, lo más económico es utilizar 2 geotubos de 863,2 [m³] de volumen de deshidratado, cuyo costo es de US\$11.760 cada uno. La figura 5-19 muestra la configuración del sistema de mantención para el tranque La Ola, se detallan sus componentes principales y las obras necesarias para materializarlo.

Figura 5-19: Esquema de mantención del sedimentador del tranque La Ola.



Fuente: Elaboración propia

La frecuencia para la extracción de sedimentos será en promedio cada tres meses. Esta queda determinada por la cantidad de sedimento arrastrado por el río La Ola, considerando un arrastre de fondo promedio de 28 [m³/día], determinado en el capítulo 4. Teóricamente con la construcción del sedimentador no será necesario realizar mantenimiento al interior del tranque La Ola, sin embargo, se recomienda realizar batimetrías de control al menos una vez al año.

La longitud de la tubería de impulsión es variable, depende de la distancia desde el punto de succión al punto de descarga, por lo que se debe diseñar la línea de impulsión con un sistema de acople. La altura de bombeo considerada es la diferencia entre la cota de altura máxima del geotubo (3577,3 [msnm]) y la cota de fondo del sedimentador (3.569 [msnm]), más 1 [m] de altura considerada por pérdidas de carga. La bomba recomendada para realizar la mantención del sedimentador es una Toyo modelo DPF-20B (Q=3,3 [m³/min], H =10 [m]), cuyas características técnicas principales se indicaron en la tabla 4-3. La bomba sumergible puede ser operada desde

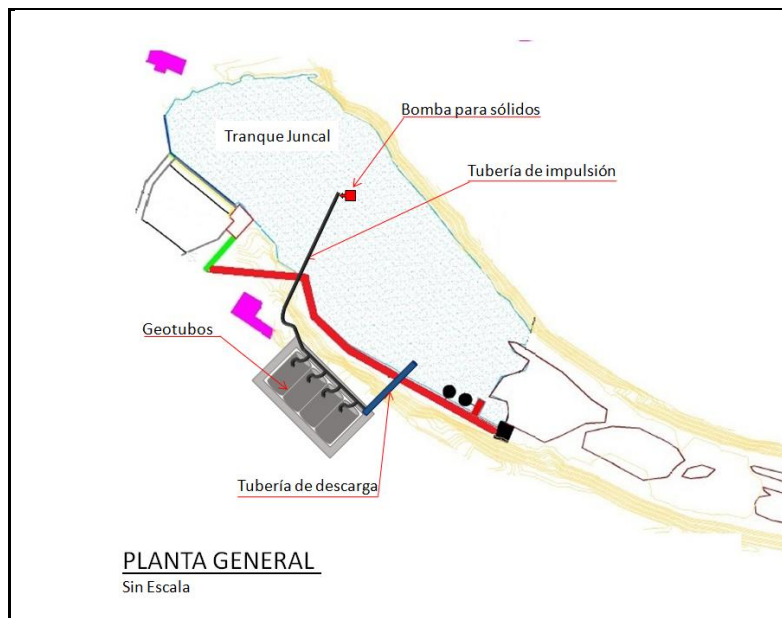
una balsa y moverse libremente por sobre la superficie, o desde la orilla por un sistema de cables y grúa.

5.7.2 Sistema de mantención tranque Juncal

La extracción de sólidos en el tranque Juncal se realizará cuando alcancé un 25% de su volumen útil total, lo cual es equivalente a 2.000 [m³]. Suponiendo un 80% de eficiencia, el sedimento almacenado por los geotubos será 1.600 [m³], por lo tanto, lo más económico es utilizar 2 geotubos de 863,2 [m³] de volumen deshidratado, cuyo costo es de US\$11.760 cada uno.

La figura 5-20 muestra la configuración del sistema de mantención para el tranque Juncal, se detallan sus componentes principales y las obras necesarias para materializarlo.

Figura 5-20: Esquema de mantención del tranque Juncal.



Fuente: Elaboración propia

La frecuencia para la extracción de sedimentos queda determinada por la cantidad de sedimento arrastrado por el río Juncalito, la cual por no tener los antecedentes necesarios para determinarla empíricamente, ni mediciones de campo, es desconocida. Sin embargo, para los efectos de este estudio, se considera que el arrastre de fondo promedio es proporcional a la relación de caudales medios mensuales entre los ríos La Ola y Juncalito, por consiguiente el arrastre de fondo promedio para el río Juncalito es de 18 [m³/día] y la frecuencia para la extracción de sedimentos será en promedio cada cuatro meses.

La longitud de la tubería de impulsión es variable, y depende de la distancia desde el punto de succión al punto de descarga, por lo que se debe diseñar la línea de impulsión con un sistema de acople. La altura de bombeo considerada es la diferencia entre la cota de altura máxima del geotubo 3699,3 [msnm] y la cota de fondo del sedimentador 3690,5 [msnm], más 1 [m] de altura por pérdidas de carga. La bomba recomendada para realizar la mantención del tranque Juncal es

una Toyo modelo DPF-20B ($Q=3,3$ [m³/min], $H =10$ [m]), cuyas características técnicas principales se indicaron en la tabla 4-3. La bomba sumergible puede ser operada desde una balsa y moverse libremente por sobre la superficie, o desde la orilla por un sistema de cables y grúa.

6 CONCLUSIONES

A partir de los antecedentes recopilados, campañas de terreno realizadas y mediciones batimétricas, se demostró que los tranques presentan una gran acumulación de sedimento en su interior. La capacidad actual del tranque La Ola es tan solo un 15% de su capacidad de diseño, mientras que la del tranque Juncal un 10%, estos datos entregan una evidencia cuantitativa sobre el estado crítico en que se encuentran los tranques y que la necesidad de realizar su limpieza es urgente.

Se logró identificar las fuentes que han generado el embancamiento, destacándose dos de ellas, el sedimento proveniente del material arrastrado por los ríos afluentes a los tranques y el material arrastrado por el viento. Sin embargo, por la naturaleza del sedimento depositado, que va desde arena a grava media en mayor porcentaje con un diámetro medio de 0,59 [mm], permite identificar que el material arrastrado por los cauces es la principal fuente de generación del embancamiento en los tranques La Ola y Juncal.

Se estudiaron dos metodologías para extraer los sedimentos acumulados en el fondo de los tranques, la primera el dragado y la segunda excavación en seco. Dentro de estas metodologías existen múltiples alternativas. Sin embargo, en el desarrollo de esta memoria solo fueron evaluadas las tres que eran viables técnicamente y que cumplían con los requerimientos entregados por DSAL. La alternativa n°1 “Extracción de sedimentos mediante una draga de succión con bomba para sólidos”, la alternativa n°2 “Draga con cortador horizontal”, y finalmente la alternativa n°3 “Deseccación de los tranques y excavación de sedimentos en seco”.

De las metodologías estudiadas y analizadas para realizar la limpieza de los tranques cordilleranos, se determinó que la desecación y extracción de sedimentos en seco, era la que cumplía de mejor forma las necesidades del proyecto. Además realizando un manejo adecuado de los sedimentos durante la etapa de operación era posible cumplir con la mayor parte de los requerimientos impuestos por DSAL. Dentro de las características principales para seleccionar esta alternativa, se encuentran que el costo total equivalente a 780 millones de pesos es menor en comparación con las otras alternativas. Por otra parte tiene una alta tasa de producción con un rendimiento promedio de 382 [m³/día], lo cual implica terminar de extraer todo el sedimento de los tranques La Ola y Juncal en aproximadamente 18 semanas de trabajo, utilizando solo una excavadora y dos camiones tolva. Además garantiza calidad y una excelente precisión al definir la profundidad y pendiente de los taludes perimetrales proyectados y que al ser una excavación en seco no produce turbidez.

Con la determinación del arrastre de sedimento del río La Ola, cuyo valor medio es de 28 [m³/día], se logró estimar que el tiempo medio de colmatación del tranque La Ola sería de 5 años, sin considerar ningún tipo de mantención que minimice el ingreso de sedimentos al tranque, trabajando en condiciones normales de operación y sin la ocurrencia de un evento extremo que genere el desprendimiento y arrastre de gran cantidad de sedimento. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los resultados utilizados corresponden a valores medios y que son obtenidos a

partir de un modelo preliminar y sin calibración, por lo que el tiempo medio de colmatación puede ser menor al determinado.

Se definió un sistema de extracción de sedimentos para los tranques La Ola y Juncal en base a la desecación de los tranques y posterior excavación mediante el uso de una excavadora y camiones tolva, para la materializar lo anterior, se requiere la construcción de un by pass para conectar los ríos afluentes con la tubería de descarga de cada tranque, que consiste en una tubería de acero de 32" de 315 [m] de longitud para el tranque La Ola y 250 [m] para el tranque Juncal, permitiendo disponer del 100% del recurso hídrico durante el tiempo de ejecución de las obras.

Se identificaron y definieron múltiples medidas para el control de sedimentos, estas fueron clasificadas según la zona en donde serán aplicadas, en medidas para el control sedimentos en la fuente de generación, para el control intermedio y para el control en la descarga. Como primera medida correctiva para el control de sedimentos en la fuente de generación, se definió proteger los taludes del río La Ola cuya pendiente transversal sea mayor al 10%, el resultado de la aplicación de este criterio significa revestir 20.000 [m²] utilizando mantas para el control de la erosión tipo Vmax3 P 550 a un costo total de 130 millones de pesos más IVA. Como segunda medida correctiva se encuentran las obras necesarias para controlar la erosión intermedia, para ello se diseñó un sedimentador de geometría trapezoidal ubicado aguas arriba del tranque La Ola de 8200 [m³] y 4 [m] de altura, el cual permite sedimentar el 100% de las partículas mayores a 1 [mm]. Otra medida requerida para el control intermedio de sedimento es la recuperación de un volumen de 12.000 [m³] en los serpentines existentes, los cuales actuaban como floculadores y piscinas decantadoras, además se debe analizar la factibilidad de proteger con rip-rap en 8 tramos del río La Ola, en los cuales la velocidad media supera los 1,3 [m/s] y que genera un arrastre medio superior a 100 [ton/día] (40 [m³/s]). Finalmente se deben aplicar las medidas correctivas definidas para controlar el sedimento en la descarga final (tranque La Ola), las cuales son la construcción de cercos perimetrales que permitan retener el sedimento arrastrado por el viento, la aplicación de polímeros o su defecto agua salada para controlar la generación de polvo en los caminos aledaños, retirar el material particulado que se encuentra acumulado alrededor de los tranques y diseñar un sistema de protección contra la erosión y el derrumbe de los taludes perimetrales una vez realizada su limpieza, el que puede ser en base a mantas para el control de la erosión.

El sistema de mantención elaborado consiste en la extracción periódica de los sedimentos acumulados en el sedimentador proyectado y en el tranque Juncal después de haber sido realizada su limpieza, esta se realizará utilizando una bomba para sólidos que depositará la mezcla de agua-sedimento en un conjunto de geotubos, los cuales realizarán el filtrado de esta mezcla almacenando el sedimento deshidratado y devolviendo las aguas claras al sistema. Este sistema de mantención supone una inversión aproximada de 9 millones de pesos cada vez que se realice.

7 REFERENCIAS

Ref.1 EVALUACIÓN de Recursos Subterráneos del Salar de Pedernales por Krainz R. Fernando [et al]. AGUAS Ingenieros Consultores Ltda. Santiago, 2008

Ref.2 ESTUDIO de Modelación Matemática Hidrogeológica Cuenca Pedernales Pedernales por Arratia Gonzalo [et al]. CPH Consultores Ltda. Santiago, 2008.

Ref.3 ESTUDIO de Aplicación de Energía Solar en Campamento La Ola por CODELCO División Salvador. El Salvador, 1981.

Ref.4 UNIVERSIDAD de La Serena. Flora Amenazada de la Región de Atacama y Estrategias para su Conservación. 1ª ed. La Serena. Universidad de La Serena, 2008.

Ref. 5 INGENIERÍA de Dragado. Características Físicas de los Suelos. [en línea] Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería <<http://www.graduadosportuaria.com.ar/>> [consulta: 18 mayo 2012].

Ref.6 LEVANTAMIENTO Batimétrico tranque Juncal por Servicios Integrales de Topografía. Diego de Almagro, 2010.

Ref.7 SERVICIOS Integrales de Topografía. Levantamiento Batimétrico tranque La Ola. Diego de Almagro, Abril de 2010.

Ref.8 MICHAEL R. Palermo, Paul R. Schroeder, Trudy J. Estes, y Norman R. Francingues. Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments. US Army Corps of Engineers. Septiembre 2008.pp. 66-128.

Ref.9 VLASBLOM W.J. Designing Dredging Equipment. Chapter 4 Plain Suction Dredgers. [en línea]. < <http://www.dredging.org/>> [consulta: 20 junio 2012].pp. 2-35.

Ref.10 RAÚL S. Escalante. Características Físicas de los Suelos. Ingeniería de Dragado, Universidad de Buenos Aires. Tema 4, 2007.

Ref.11 LUDWIG Stowhas. Hidráulica Aplicada. Universidad Técnica Federico Santa María. 2008.

Ref.12 INFORME Final de Topografía Levantamiento Perfiles Longitudinales y Transversales Río La Ola y Leoncito por Quarzo Ingeniería Tecnología y Servicios. El Salvador. Agosto 2007.

Ref.13 GARCIA F., M y Maza A., J.A. Transporte de Sedimentos. Instituto de Ingeniería UNAM, México D.F, 1996.

Ref.14 MANUAL de Obras Menores de Riego por Comisión Nacional de Riego. 1996.

- Ref.15** DISEÑO de Sistema de Dragado con Bomba por CONSORCIO PRO LGP Ltda. Junio 2009.
- Ref.16** BEST Management Practices Guide for Stormwater por Dayton & Knight Ltda. Appendix H, Octubre 1999.
- Ref.17** LELIS Abanto. Manual para el Control de Sedimentos en Minera Yanacocha. S.R.L Rev. 02, Marzo 2005.
- Ref.18** MANUAL de Rendimiento Caterpillar por CATERPILLAR Inc. Edición 32, Illinois 2001. pp 61-65.
- Ref.19** ANDERSON D. R., Sweeney D. J. y Williams T. A. Métodos Cuantitativos para los Negocios, 7^{ma} Edición 1998 [en línea], < <http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf> [consulta: 20 septiembre 2014].
- Ref.20** CONSUMO de Agua en la Minería del Cobre por Comisión Chilena del Cobre. Ministerio de Minería [en línea] < <http://www.cochilco.cl/descargas/estudios/informes/agua/CONSUMO-DE-AGUA-EN-LA-MINERIA-DEL-COBRE-2011.pdf/>> [consulta: 10 agosto 2014].
- Ref.21** CODELCO. Presencia Mundial [en línea] <http://www.codelco.com/presencia-mundial/prontus_codelco/2011-02-5/155417.htm> [consulta: 15 diciembre 2014].
- Ref.22** MINUTA de Terreno Reconocimiento Llano Leoncito y Sector Alto Pedernales por CPH Consultores Ltda. Febrero 2007.
- Ref.23** Ley N° 19.300. Bases Generales del Medio Ambiente, Enero 2010 [en línea] < <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=30667&idVersion=2010-01-26>> [consulta: 10 julio 2014].
- Ref.24** Decreto N° 95. Modifica Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, Noviembre 2008 [en línea] <: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=205385&idVersion=2008-11-29>> [consulta: 10 julio 2014].
- Ref.25** Decreto N° 1122 Código de Aguas, Agosto 1981 [en línea] <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=5605&r=1> [consulta: 20 julio 2014].
- Ref.26** MOISÉS B. V. y Amado Abel J. C. Método Simplificado para Calcular el Proceso de Acorazamiento en Cauces. Instituto de Ingeniería UNAM. [en línea] < http://eias.usalca.cl/isi/publicaciones/unam/metodo_simplificado.pdf > [consulta: 2 Agosto 2014].
- Ref.27** ARTURO Rocha Felices. Introducción a la Hidráulica Fluvial. 1^{era} Edición. Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil. Lima Perú. Noviembre de 1998.
- Ref.28** SERVICIO de Limpieza tranques La Ola y Juncal por GARY González Alarcón Ltda. Octubre 2008.
- Ref.29** GODOY Barbieri Claudio Andrés. Estudio Experimental de Punzonamiento en Geomembranas en Interfaces de Depósitos de Minerales. Tesis (Facultad de Ciencias Físicas y

Matemáticas). Santiago. Universidad de Chile Departamento de Ingeniería, 2011. [en línea] <http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-godoy_cb/pdfAmont/cf-godoy_cb.pdf> [consulta: 1 Septiembre 2014].

Ref.30 AGUILAR Yáñez César Cristian. Análisis Comparativo entre Sistemas de Drenajes con Geosintéticos Versus Sistemas de Drenajes Naturales para Muros de contención. Tesis (Facultad de Ingeniería). Valdivia. Universidad Austral de Chile, 2008.

Ref.31 DISEÑO de Sistema de Dragado con bomba Tranque La Ola por Consorcio PO-LGP. Junio 2009.

Ref.32 TOYO Pumps. Dp Heavy Duty Submersible Pumps Specification Sheet. [en línea] Bombas Toyo en internet <http://www.toyopumps.com/toyo_html/dp-submersible-specification.html> [consulta: 15 Septiembre 2014].

ANEXOS

ANEXO - A1: HIDROLOGÍA RÍO LA OLA Y JUNCALITO

El análisis probabilístico tiene como propósito determinar los caudales medios y su frecuencia de ocurrencia para el río La Ola y río Juncalito. Para tal caracterización se utilizaron los siguientes antecedentes.

- Estadística de caudales medios mensuales en estación limnimétrica Río La Ola en Vertedero, controlada por la Dirección General de Aguas D.G.A.
- Registro de caudales medios mensuales del año 1986 hasta 2009.

Tabla A-1: Estadística de caudales medios mensuales [l/s] medidos en la estación limnimétrica Río La Ola en Vertedero, entre los años 1986 – 2009.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.	D.Est.
1986	567	603	652	633	669	645	779	824	650	702	596	605	660	76
1987	567	603	652	633	669	622	609	612	649	665	581	702	630	39
1988	574	685	981	913	696	622	609	511	542	580	581	662	663	144
1989	686	679	702	600	641	601	475	653	683	650	616	585	631	62
1990	607	592	706	609	727	631	406	184	491	646	571	712	573	153
1991	601	571	600	556	675	569	283	546	653	661	618	589	577	101
1992	581	517	532	696	698	385	379	376	626	802	596	586	564	136
1993	570	614	596	683	768	744	793	738	677	683	592	544	667	83
1994	501	585	636	659	663	633	735	685	592	567	612	548	618	64
1995	464	544	526	665	823	941	788	443	405	393	403	379	564	193
1996	520	500	510	550	550	510	620	580	630	620	520	540	554	47
1997	510	510	550	560	600	580	650	670	660	660	640	630	602	59
1998	710	1220	1540	633	669	622	609	612	649	700	700	650	776	292
1999	567	603	652	633	669	622	609	612	649	665	569	553	617	39
2000	479	491	480	500	669	622	609	612	649	665	609	500	574	77
2001	540	540	560	630	680	650	660	760	710	710	609	610	638	70
2002	540	570	590	660	700	590	610	690	830	830	750	670	669	96
2003	610	620	610	633	640	630	620	660	720	750	730	640	655	50
2004	580	570	570	560	570	580	620	700	680	630	580	530	598	50
2005	490	510	560	590	640	660	640	710	790	740	620	560	626	91
2006	590	580	580	630	640	580	650	670	680	620	570	550	612	42
2007	540	550	580	610	650	640	640	620	670	670	690	660	627	48
2008	610	630	670	700	669	622	609	612	649	690	660	660	648	32
2009	600	580	610	650	680	622	609	612	649	665	609	610	625	30
Prom.	567	603	652	633	669	622	609	612	649	665	609	595	624	
D.Est.	59	141	213	77	56	93	121	133	85	84	70	73		

Fuente: Elaboración propia

Para determinar los caudales medios mensuales asociados a ciertas probabilidades de excedencia, se ajustó la serie a la función de distribución que mejor la representaba. Se entiende por probabilidad de excedencia P, aquella probabilidad de que un valor “X” sea igualado o excedido.

Las funciones de distribución de frecuencia utilizadas, corresponden a distribuciones estadísticas conocidas y con mayor uso en hidrología:

- Normal
- Log – Normal
- Valores extremos tipo III, Weibull
- Gamma de 2 parámetros

Los mejores resultados se obtuvieron para la distribución Normal, con un riesgo de rechazar la hipótesis de que los datos cuando esta es verdadera de 2.89 %. Los resultados obtenidos para para el río La Ola y Juncalito , asociados a su probabilidad de excedencia se presentan en las tablas A-2 y A-3. Se considera, según lo informado por la DGA, que el aporte del caudal proveniente del río Juncalito es el 67% del caudal del río La Ola.

Tabla A-2: Tabla de frecuencia de caudales medios mensuales río La Ola

P	T	CAUDAL MEDIO MENSUAL[l/s]												Prom
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
5	20	667	845	777	765	765	780	800	818	796	805	729	719	772
10	10	645	792	740	736	744	745	756	771	763	774	703	691	738
15	6,7	630	755	714	716	730	721	727	738	741	752	685	672	715
20	5	618	727	694	701	718	702	703	713	724	735	671	657	697
25	4	608	702	677	687	708	686	683	691	709	721	659	644	681
30	3,3	599	680	662	675	700	671	665	671	696	708	648	633	667
35	2,9	590	659	648	664	691	658	648	653	684	696	638	622	654
40	2,5	582	640	634	653	684	645	632	636	672	684	628	612	642
45	2,2	574	621	621	643	676	633	616	619	660	673	619	602	630
50	2	567	603	608	633	669	621	601	603	649	662	610	593	618
55	1,8	559	584	595	622	662	608	586	586	638	651	601	583	606
60	1,7	551	565	582	612	654	596	571	570	627	640	591	573	594
65	1,5	543	546	569	601	646	583	555	553	615	629	582	563	582
70	1,4	535	525	555	590	638	570	538	534	603	617	572	553	569
75	1,3	525	503	539	578	629	555	520	515	589	603	561	541	555
80	1,3	515	478	522	565	620	539	499	493	574	589	548	528	539
85	1,2	503	450	502	549	608	520	476	467	557	572	534	513	521
90	1,1	488	414	477	529	594	496	446	435	535	551	516	495	498
95	1,1	466	360	440	500	573	461	402	388	503	519	490	467	464

Fuente: Elaboración propia

Tabla A-3: Tabla de frecuencia de caudales medios mensuales río Juncalito

P	T	CAUDAL MEDIO MENSUAL[l/s]												Prom	
		%	[años]	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct		Nov
5	20		447	566	520	513	513	523	536	548	533	540	489	482	517
10	10		432	530	496	493	498	499	507	516	511	518	471	463	495
15	6,7		422	506	479	480	489	483	487	495	497	504	459	450	479
20	5		414	487	465	469	481	471	471	478	485	493	450	440	467
25	4		407	470	454	460	475	460	457	463	475	483	441	432	456
30	3,3		401	456	444	452	469	450	445	450	466	474	434	424	447
35	2,9		395	442	434	445	463	441	434	438	458	466	427	417	438
40	2,5		390	429	425	438	458	432	423	426	450	458	421	410	430
45	2,2		385	416	416	431	453	424	413	415	443	451	415	404	422
50	2		380	404	408	424	448	416	403	404	435	444	409	397	414
55	1,8		375	391	399	417	443	408	393	393	428	436	402	391	406
60	1,7		369	379	390	410	438	399	382	382	420	429	396	384	398
65	1,5		364	366	381	403	433	391	372	370	412	421	390	377	390
70	1,4		358	352	372	395	428	382	360	358	404	413	383	370	381
75	1,3		352	337	361	387	422	372	348	345	395	404	376	363	372
80	1,3		345	321	350	378	415	361	335	330	385	395	367	354	361
85	1,2		337	301	336	368	407	348	319	313	373	383	358	344	349
90	1,1		327	277	320	354	398	332	299	292	359	369	346	331	334
95	1,1		312	241	295	335	384	309	270	260	337	348	328	313	311

Fuente: Elaboración propia

ANEXO - A2: TABLAS DE RENDIMIENTO PARA UNA EXCAVADORA

Las tablas de rendimiento de una excavadora Caterpillar según el Manual de Rendimiento Caterpillar, Edición 32 (2001) utilizadas son las siguientes:

Tabla A-4: Factores de llenado para Excavadoras en %

Material	Pala Frontal	Azadón	Neumáticos	Orugas
Arcilla en banco de; tierra; arena y grava	100-110	95-110	80-100	80-100
Mezcla de tierra y roca	105-115	---	100-120	100-120
Roca pobremente fragmentada	85-100	40-50	60-75	60-75
Roca medianamente fragmentada	---	---	75-90	75-90
Roca bien fragmentada	100-110	60-75	80-95	80-95
Conchuela; arenisca en banco arcilla dura, materiales cementantes	85-100	80-90	85-95	85-100
Limo húmedo; arcilla arenosa	---	100-110	100-110	100-120
Agregado húmedo; mezclado y suelto	---	---	95-100	95-100
Agregado uniforme, suelto hasta 1/8"	---	---	95-100	95-100
Agregado uniforme, suelto hasta 1/8" y 3/8"	---	---	90-95	90-110
Agregado uniforme, suelto hasta 1/2" y 3/4"	---	---	85-90	90-110
Agregado uniforme, suelto de 1" o mayor	---	---	85-90	90-110

Fuente: Manual de Rendimiento Caterpillar. Edición 32 (2001)

Tabla A-5: Tiempos de ciclo de excavadores tipo azadón sobre orugas, para condiciones promedio

Volumen cucharón (m ³)	Tiempo de las fases de trabajo, en segundos				
	Carga	Giro con carga	Descarga	Giro vacío	Total
0,76	5	4	2	3	14
0,76 - 1,15	6	4	2	3	15
1,5 - 1,9	6	4	3	4	17
2,3	7	5	4	4	20
2,7	7	6	4	5	22
3	7	6	4	5	22
3,8	8	7	4	6	24

Fuente: Peurifoy y Schexnayder. Construction Planning, Equipment and Methods. 2002

Tabla A-5: Factores de altura de corte y ángulos de giro

% profundidad óptima (m ³)	Ángulo de giro					
	45°	60°	75°	120°	150°	180°
40	0,93	0,89	0,85	0,72	0,65	0,59
60	1,1	1,03	0,96	0,81	0,73	0,66
80	1,22	1,12	1,04	0,86	0,77	0,69
100	1,26	1,16	1,07	0,88	0,79	0,71
120	1,2	1,11	1,03	0,86	0,77	0,7
140	1,12	1,04	0,97	0,81	0,73	0,66
160	1,03	0,96	0,9	0,75	0,67	0,62

Fuente: Peurifoy y Schexnayder. Construction Planning, Equipment and Methods. 2002

ANEXO - A 3: EJE HIDRÁULICO RÍO LA OLA Y ARRASTRE POTENCIAL DE SEDIMENTO

Sitios de Muestreo

El eje hidráulico calculado corresponde al río La Ola, fuente de abastecimiento del tranque La Ola y del sistema de agua industrial. El tramo analizado tiene una longitud de 9 [km], comienza con la desembocadura del río Leoncito y finaliza en la desembocadura del río La Ola en tranque La Ola.

La figura A-13, indica la ubicación de los sitios en donde se obtuvieron las muestras de sedimento de fondo del río La Ola, consideradas para obtener una granulometría representativa.

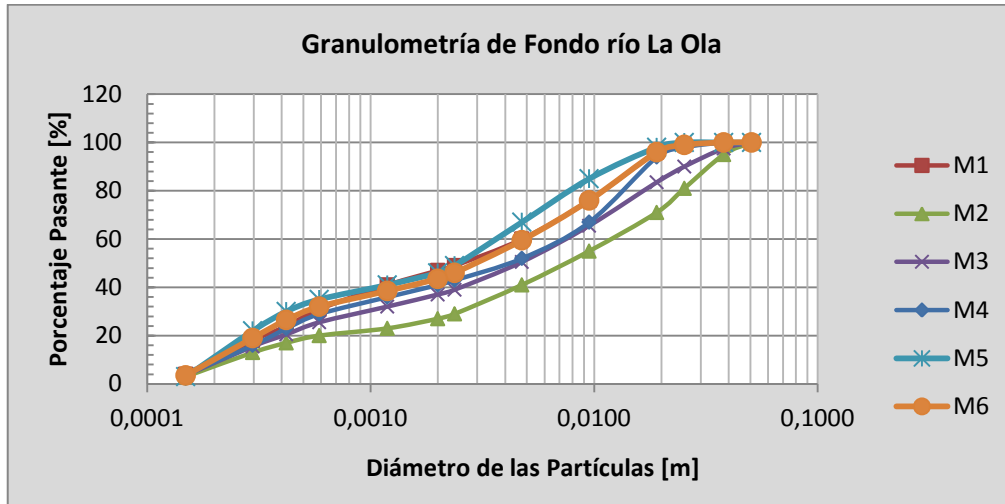
Figura A-1: Ubicación de sitios de muestreo del sedimento de fondo del río La Ola



Fuente: Elaboración propia

La granulometría considerada, corresponde al promedio de las 6 muestras superficiales tomadas en los sitios de muestreo. La curva granulométrica para cada muestra recolectada (M1, M2, M3, M4, M5, M6), se grafica en la figura A-2.

Figura A-2: Curva granulométrica muestras de sedimento de fondo en el río La Ola

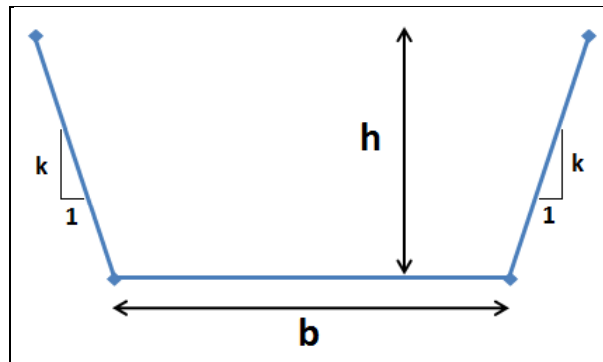


Fuente: Elaboración propia

Secciones Transversales

Las secciones transversales utilizadas tienen la configuración mostrada en la figura A-3, respecto a los valores de b, h, k , se utilizó un valor fijo para k igual a 3 y para h de 1,8 [m], y un valor variable medido en terreno para b que va desde los 4 a los 7 [m].

Figura A-3: Sección transversal tipo utilizada para modelar el eje hidráulico del río La Ola.



Fuente: Elaboración propia

Tabla A-6: Secciones transversales consideradas en la modelación del eje hidráulico del río La Ola

Tipo	b [m]	h [m]	k
Sección 1	5	1,8	3
Sección 2	4	1,8	3
Sección 3	4,3	1,8	3
Sección 4	6,1	1,8	3
Sección 5	5,1	1,8	3
Sección 6	6,1	1,8	3
Sección 7	1,5	1,8	0
Sección 8	1,5	1,8	0
Sección 9	1,5	1,8	0
Sección 10	6,1	1,8	3
Sección 11	6,1	1,8	3

Fuente: Elaboración propia

Las secciones 7 y 8 corresponden a la estación limnimétrica Río La Ola en Vertedero, mientras que la sección 9 al puente peatonal que cruza el río La Ola.

Coefficiente de Rugosidad de Manning

Para la determinación del coeficiente de rugosidad de manning, se utilizó el método de Cowan y la granulometría promedio del río La Ola. Según Cowan para realizar la estimación del coeficiente de rugosidad en cauces naturales se debe tener consideración lo siguiente:

- Aspereza del lecho y de las paredes.
- Presencia de vegetación y cambios estacionales de ésta.
- Irregularidad del cauce, principalmente en el perímetro mojado o variaciones de sección, forma, tamaño, etc. a lo largo del canal.
- Alineamiento del canal (curvas).
- Tendencia al embancamiento o a la socavación.
- Obstrucciones.
- Tamaño y forma del canal.
- Cambios de niveles y caudales que hacen participar riberas de inundación generalmente más rugosas que el canal principal.
- Presencia de material sólido en suspensión o arrastrado por el fondo.

Para tomar en cuenta el efecto provocado por los factores, Cowan propuso la siguiente ecuación:

$$n = m (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

Dónde:

n_0 : Valor de n para un canal recto, uniforme, prismático y con rugosidad homogénea.

n_1 : Corrección por irregularidades del perímetro mojado a lo largo del tramo estudiado.

n_2 : Corrección por variación de forma y de dimensiones de las secciones.

n_3 : Corrección por obstrucciones: troncos, rocas, etc.

n_4 : Corrección por presencia de vegetación.

m : Factor que mide la frecuencia de meandros o curvas.

Los valores de n_1 , n_2 , n_3 , n_4 y m son los mostrados en la tabla.

Tabla A-7: Factores de Corrección de Cowan

Corrección por efecto de	Corrección	Leve o despreciable	Moderado	Marcado	Muy marcado
1. Grado de Irregularidad	n_1	0	0.004	0.01	0.02
2. Cambios en las secciones	n_2	0	0.005	0.011	0.0145
3. Obstrucciones	n_3	0,005 - 0,001	0,01-0,015	0,020-0,030	0,040-0,060
4. Vegetación	n_4	1.000 - 1,000	0,01-0,025	0,025-0,050	0,050-0,100
5. Meandros	m	1	1	1.15	1.3

Fuente: Elaboración propia

Cuando el sedimento del lecho es granular, n_0 puede ser estimado por la fórmula de Strickler.

$$n_0 = 0.038D^{1/6} = D^{1/6}/26$$

Dónde:

n_0 : coeficiente de rugosidad.

D : diámetro característico en metros, los diámetros más usados son D_{84} y D_{90} , aunque la fórmula de Strickler se basa en este último.

Tabla A-8: Factores de Corrección de Cowan para el lecho del río

	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4	m	n
Sitio 1	0,019	0	0,005	0	0,01	1	0,034
Sitio 2	0,022	0	0,005	0	0,01	1	0,037
Sitio 3	0,021	0	0,005	0	0,01	1	0,036
Sitio 4	0,02	0	0,005	0	0,01	1	0,035
Sitio 5	0,019	0	0,005	0	0,01	1	0,034
Sitio 6	0,019	0	0,005	0	0,01	1	0,034
promedio							0,035

Fuente: Elaboración propia

Tabla A-9: Factores de Corrección de Cowan riveras con vegetación (zona de inundación)

	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4	m	n
Sitio 1	0,019	0	0,005	0	0,03	1	0,054
Sitio 2	0,022	0	0,005	0	0,03	1	0,057
Sitio 3	0,021	0	0,005	0	0,03	1	0,056
Sitio 4	0,02	0	0,005	0	0,03	1	0,055
Sitio 5	0,019	0	0,005	0	0,03	1	0,054
Sitio 6	0,019	0	0,005	0	0,03	1	0,054
promedio							0,055

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, para la modelación del eje hidráulico se utilizará un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,035 para el lecho del río y de 0,055 para la zona m^2 de inundación.

Resultados eje hidráulico y arrastre de sedimento en río La Ola

Tabla A-10: Eje hidráulico y potencial arrastre de sedimento río la ola

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
1	0,74	8418	3617,7	0,003964	1,04	0,53	0,61	10	34	1	75	50
2	0,74	8322	3616,7	0,004022	1,05	0,53	0,62	10	35	1	61	52
3	0,74	8225	3615,8	0,011493	1,35	0,4	1	61	155	22	160	307
4	0,74	8128	3614,8	0,000191	0,39	0,83	0,16	0	0	0	0	0
5	0,74	8030	3613,8	0,000857	0,62	0,61	0,31	1	3	0	6	4
6	0,74	8019	3613,7	0,000654	0,57	0,64	0,28	1	1	0	3	3
7	0,74	7921	3612,9	0,004762	1	0,4	0,67	18	40	2	79	75
8	0,74	7819	3612,1	0,010966	1,35	0,34	0,99	54	107	24	143	345
9	0,74	7725	3611,0	0,004963	1,01	0,4	0,69	19	43	2	82	79
10	0,74	7624	3610,1	0,011396	1,37	0,34	1,01	57	112	26	147	369
11	0,74	7521	3609,2	0,007205	1,16	0,37	0,82	31	66	9	110	160
12	0,74	7416	3608,5	0,011494	1,38	0,34	1,01	58	114	27	148	383
13	0,74	7322	3607,6	0,008957	1,21	0,44	0,89	45	130	11	142	173
14	0,74	7222	3606,9	0,006386	1,06	0,47	0,76	29	92	3	115	91
15	0,74	7119	3605,9	0,011878	1,36	0,42	1,02	63	176	22	165	302
16	0,74	7018	3605,3	0,007675	1,14	0,45	0,83	37	110	7	130	131
17	0,74	6913	3604,3	0,002892	0,8	0,53	0,53	10	33	0	54	22
18	0,74	6819	3603,7	0,011581	1,35	0,42	1,01	61	170	21	163	292
19	0,74	6710	3603,0	0,007948	1,16	0,45	0,84	38	115	8	133	141
20	0,74	6602	3602,0	0,010514	1,23	0,36	0,96	64	137	16	164	257
21	0,74	6501	3601,2	0,010812	1,24	0,36	0,97	66	142	17	166	265
22	0,74	6402	3600,6	0,009675	1,19	0,37	0,92	57	127	13	157	216
23	0,74	6307	3599,9	0,001477	0,65	0,5	0,39	4	8	0	17	9
24	0,74	6212	3599,3	0,011427	1,26	0,36	1	71	154	18	172	285
25	0,74	6115	3599,1	0,006595	1,02	0,28	0,77	35	46	6	106	144
26	0,74	6019	3598,5	0,004383	0,88	0,31	0,64	20	29	0	72	66
27	0,74	5981	3598,1	0,011442	1,25	0,25	1	74	89	24	159	408
28	0,74	5880	3597,6	0,003861	1,69	0,29	1	6	7	45	53	646
29	0,74	5783	3596,5	0,003168	1,58	0,31	0,9	4	5	31	45	432
30	0,74	5688	3596,2	0,011339	1,25	0,25	0,99	73	88	24	159	410
31	0,74	5571	3595,5	0,000594	0,45	0,48	0,25	1	0	0	1	2
32	0,74	5476	3594,4	0,01122	1,24	0,25	0,99	72	86	23	157	394
33	0,74	5370	3593,5	0,011621	1,26	0,25	1	75	91	25	162	425
34	0,74	5265	3592,7	0,00394	0,85	0,32	0,61	17	25	0	64	55
35	0,74	5164	3592,2	0,012247	1,28	0,25	1,03	81	98	27	167	456
36	0,74	5052	3591,5	0,004307	0,88	0,31	0,63	20	28	0	71	66
37	0,74	4955	3590,9	0,011419	1,25	0,25	1	73	88	24	159	409
38	0,74	4953	3590,9	0,005838	0,98	0,29	0,73	30	41	4	96	116
39	0,74	4844	3590,2	0,00763	1,08	0,28	0,83	43	58	9	121	187
40	0,74	4735	3589,5	0,00528	0,95	0,29	0,7	25	34	3	85	99
41	0,74	4715	3589,0	0,00818	1,04	0,28	0,84	55	76	8	139	179
42	0,74	4639	3588,7	0,009752	1,11	0,27	0,91	70	93	13	160	252
43	0,74	4540	3588,0	0,003252	0,76	0,34	0,55	15	23	0	54	34
44	0,74	4439	3587,4	0,011656	1,18	0,27	0,99	90	123	19	184	336

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
45	0,74	4335	3586,5	0,004325	0,84	0,32	0,63	23	34	0	76	58
46	0,74	4237	3586,0	0,010526	1,14	0,27	0,95	78	105	15	171	286
47	0,74	4134	3585,1	0,002515	0,69	0,36	0,49	11	16	0	36	20
48	0,74	4031	3584,4	0,014415	1,27	0,26	1,09	121	159	30	212	494
49	0,74	3926	3583,8	0,003872	0,81	0,33	0,6	19	29	0	67	47
50	0,74	3831	3583,1	0,010988	1,15	0,27	0,97	83	112	16	175	298
51	0,74	3743	3582,4	0,007574	1,02	0,29	0,81	49	71	6	133	158
52	0,74	3637	3581,6	0,004859	0,87	0,31	0,66	26	39	0	86	70
53	0,74	3530	3580,9	0,008124	1,04	0,28	0,84	54	75	8	139	179
54	0,74	3427	3580,1	0,003912	0,81	0,33	0,6	20	30	0	68	47
55	0,74	3318	3579,5	0,011637	1,18	0,27	0,99	89	122	19	184	336
56	0,74	3247	3579,0	0,006354	0,96	0,3	0,75	38	57	3	114	115
57	0,74	3219	3578,6	0,011655	1,18	0,27	0,99	90	123	19	184	336
58	0,74	3126	3578,2	0,003808	0,8	0,33	0,59	19	29	0	65	45
59	0,74	3054	3577,2	0,002852	0,72	0,35	0,52	13	19	0	44	26
60	0,74	3052	3577,1	0,011027	1,16	0,27	0,97	83	113	17	177	310
61	0,74	3006	3576,9	0,002905	0,73	0,35	0,52	13	20	0	46	27
62	0,74	2961	3576,4	0,011655	1,18	0,27	0,99	90	123	19	184	336
63	0,74	2719	3575,1	0,003999	0,81	0,33	0,61	20	31	0	69	47
64	0,74	2628	3574,2	0,002338	0,67	0,36	0,47	10	14	0	32	18
65	0,74	2519	3573,3	0,013259	1,23	0,26	1,05	107	140	25	199	424
66	0,74	2502	3573,2	0,004871	0,87	0,31	0,66	27	39	0	86	70
67	0,74	2401	3572,2	0,007804	1,02	0,33	0,82	52	94	5	143	141
68	0,74	2294	3571,0	0,008414	1,05	0,33	0,85	58	106	7	154	162
69	0,74	2205	3570,1	0,01027	1,11	0,32	0,93	78	139	11	180	220
70	0,74	2092	3569,1	0,003998	0,84	0,37	0,61	19	36	0	74	48
71	0,74	1979	3568,0	0,012651	1,18	0,31	1,02	107	184	18	210	308
72	0,74	1957	3567,9	0,007054	0,99	0,34	0,79	45	83	3	132	118
73	0,74	1867	3567,1	0,006021	0,95	0,35	0,73	35	67	2	115	93
74	0,74	1694	3565,5	0,014631	1,24	0,31	1,09	133	232	24	235	395
75	0,74	1575	3564,6	0,004044	0,84	0,37	0,61	19	37	0	74	48
76	0,74	1485	3563,7	0,010466	1,12	0,32	0,94	80	143	12	184	231
77	0,74	1380	3562,5	0,004061	0,84	0,37	0,61	20	37	0	75	48
78	0,74	1271	3561,5	0,010466	1,12	0,32	0,94	80	143	12	184	231
79	0,74	1186	3560,6	0,007032	0,99	0,34	0,79	44	83	3	131	118
80	0,74	1073	3559,8	0,010971	1,13	0,32	0,96	86	155	13	190	241
81	0,74	1010	3559,3	0,005337	0,91	0,35	0,69	29	55	1	100	75
82	0,74	936	3559,0	0,014578	1,23	0,31	1,09	132	230	23	233	379
83	0,74	516	3558,7	0,004081	0,84	0,37	0,62	20	38	0	75	48
84	0,74	356	3558,4	0,010484	1,12	0,32	0,94	81	144	12	184	231
85	0,74	234	3557,6	0,009265	1,08	0,33	0,89	67	124	9	168	187
86	0,74	160	3557,0	0,010575	1,12	0,32	0,94	82	146	12	185	231
87	0,74	0	3556,4	0,00991	1,1	0,32	0,92	74	131	10	175	211
1	0,7	8418	3617,7	0,003963	1,03	0,52	0,61	9	33	1	58	47
2	0,7	8322	3616,7	0,003988	1,03	0,52	0,61	9	33	1	58	47
3	0,7	8225	3615,8	0,01215	1,34	0,39	1,02	62	163	22	162	303
4	0,7	8128	3614,8	0,000182	0,38	0,82	0,15	0	0	0	0	0

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
5	0,7	8030	3613,8	0,000861	0,6	0,6	0,31	1	3	0	6	4
6	0,7	8019	3613,7	0,000652	0,56	0,63	0,27	1	1	0	3	3
7	0,7	7921	3612,9	0,005066	1	0,39	0,69	18	42	2	80	75
8	0,7	7819	3612,1	0,011567	1,36	0,33	1,01	54	108	25	143	359
9	0,7	7725	3611,0	0,004838	0,99	0,4	0,67	17	41	2	78	70
10	0,7	7624	3610,1	0,011365	1,35	0,33	1,01	53	105	24	141	347
11	0,7	7521	3609,2	0,007318	1,15	0,36	0,82	29	64	8	107	154
12	0,7	7416	3608,5	0,011669	1,36	0,33	1,02	54	109	25	143	358
13	0,7	7322	3607,6	0,008884	1,19	0,43	0,88	41	121	9	135	159
14	0,7	7222	3606,9	0,006532	1,06	0,46	0,76	28	89	3	112	90
15	0,7	7119	3605,9	0,012064	1,35	0,41	1,02	59	168	21	159	288
16	0,7	7018	3605,3	0,00766	1,13	0,44	0,82	34	103	6	124	124
17	0,7	6913	3604,3	0,002895	0,78	0,52	0,52	9	32	0	51	20
18	0,7	6819	3603,7	0,011846	1,34	0,41	1,01	58	163	20	157	278
19	0,7	6710	3603,0	0,007843	1,14	0,44	0,83	35	106	7	126	129
20	0,7	6602	3602,0	0,010603	1,21	0,36	0,96	59	135	14	158	230
21	0,7	6501	3601,2	0,010801	1,23	0,35	0,97	60	132	16	159	254
22	0,7	6402	3600,6	0,00961	1,17	0,36	0,92	52	118	11	149	199
23	0,7	6307	3599,9	0,001463	0,63	0,49	0,39	4	8	0	15	8
24	0,7	6212	3599,3	0,011756	1,26	0,35	1,01	68	149	18	167	284
25	0,7	6115	3599,1	0,006597	1,01	0,28	0,77	33	46	5	103	135
26	0,7	6019	3598,5	0,00436	0,87	0,31	0,63	19	28	0	69	61
27	0,7	5981	3598,1	0,01149	1,23	0,25	1	69	88	21	154	370
28	0,7	5880	3597,6	0,003788	1,65	0,28	0,99	5	6	41	50	594
29	0,7	5783	3596,5	0,003115	1,54	0,3	0,9	4	5	28	42	392
30	0,7	5688	3596,2	0,010801	1,21	0,25	0,97	63	80	20	149	345
31	0,7	5571	3595,5	0,000591	0,44	0,47	0,25	1	0	0	1	2
32	0,7	5476	3594,4	0,012205	1,26	0,24	1,02	75	90	25	160	433
33	0,7	5370	3593,5	0,011551	1,24	0,25	1	69	88	22	156	386
34	0,7	5265	3592,7	0,003845	0,83	0,31	0,6	16	23	0	59	49
35	0,7	5164	3592,2	0,011554	1,24	0,25	1	69	88	22	156	386
36	0,7	5052	3591,5	0,004451	0,88	0,3	0,64	19	27	1	70	67
37	0,7	4955	3590,9	0,011654	1,24	0,24	1	70	84	23	155	402
38	0,7	4953	3590,9	0,00569	0,96	0,29	0,72	27	38	3	90	103
39	0,7	4844	3590,2	0,00785	1,07	0,27	0,83	41	56	8	118	181
40	0,7	4735	3589,5	0,005019	0,92	0,29	0,68	22	31	2	78	83
41	0,7	4715	3589,0	0,00843	1,04	0,28	0,85	53	78	7	140	176
42	0,7	4639	3588,7	0,00976	1,09	0,27	0,91	65	92	11	156	228
43	0,7	4540	3588,0	0,003284	0,75	0,33	0,55	14	22	0	51	32
44	0,7	4439	3587,4	0,011802	1,16	0,26	0,99	85	117	17	178	317
45	0,7	4335	3586,5	0,004219	0,82	0,32	0,62	20	32	0	71	51
46	0,7	4237	3586,0	0,010886	1,13	0,26	0,96	76	103	15	167	280
47	0,7	4134	3585,1	0,002446	0,68	0,35	0,48	10	14	0	33	19
48	0,7	4031	3584,4	0,011802	1,16	0,26	0,99	85	117	17	178	317
49	0,7	3926	3583,8	0,004306	0,82	0,31	0,62	21	31	0	71	52
50	0,7	3831	3583,1	0,010133	1,1	0,27	0,93	69	98	12	160	237
51	0,7	3743	3582,4	0,008007	1,02	0,28	0,83	50	72	6	133	161

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
52	0,7	3637	3581,6	0,004658	0,84	0,31	0,65	23	36	0	78	58
53	0,7	3530	3580,9	0,008517	1,04	0,27	0,85	54	75	8	138	183
54	0,7	3427	3580,1	0,003789	0,79	0,32	0,59	18	27	0	62	43
55	0,7	3318	3579,5	0,011782	1,16	0,26	0,99	85	116	17	178	317
56	0,7	3247	3579,0	0,006386	0,94	0,29	0,75	36	53	3	108	106
57	0,7	3219	3578,6	0,011801	1,16	0,26	0,99	85	116	17	178	317
58	0,7	3126	3578,2	0,003775	0,78	0,32	0,59	17	26	0	61	40
59	0,7	3054	3577,2	0,002844	0,71	0,34	0,51	12	18	0	41	24
60	0,7	3052	3577,1	0,011939	1,17	0,26	1	87	118	18	180	330
61	0,7	3006	3576,9	0,00281	0,71	0,34	0,51	12	17	0	41	24
62	0,7	2961	3576,4	0,011801	1,16	0,26	0,99	85	116	17	178	317
63	0,7	2719	3575,1	0,004044	0,8	0,32	0,61	19	30	0	67	45
64	0,7	2628	3574,2	0,002309	0,66	0,35	0,47	9	13	0	29	17
65	0,7	2519	3573,3	0,011716	1,16	0,26	0,99	84	115	17	177	316
66	0,7	2502	3573,2	0,005244	0,88	0,3	0,68	28	41	1	89	75
67	0,7	2401	3572,2	0,006983	0,97	0,33	0,78	42	78	3	126	109
68	0,7	2294	3571,0	0,009319	1,06	0,32	0,89	64	119	8	163	175
69	0,7	2205	3570,1	0,009253	1,05	0,32	0,88	63	117	7	161	167
70	0,7	2092	3569,1	0,004149	0,83	0,36	0,62	19	37	0	73	46
71	0,7	1979	3568,0	0,012097	1,14	0,31	1	94	171	14	199	259
72	0,7	1957	3567,9	0,007383	0,98	0,33	0,8	45	85	3	132	115
73	0,7	1867	3567,1	0,005853	0,92	0,34	0,72	32	61	1	106	81
74	0,7	1694	3565,5	0,014824	1,21	0,3	1,09	128	225	21	229	360
75	0,7	1575	3564,6	0,003978	0,82	0,36	0,6	18	34	0	70	44
76	0,7	1485	3563,7	0,011941	1,14	0,31	0,99	93	168	14	197	259
77	0,7	1380	3562,5	0,00387	0,81	0,36	0,6	17	33	0	67	41
78	0,7	1271	3561,5	0,011941	1,14	0,31	0,99	93	168	14	197	259
79	0,7	1186	3560,6	0,00637	0,94	0,34	0,75	36	70	2	116	91
80	0,7	1073	3559,8	0,01477	1,21	0,3	1,09	127	223	21	229	360
81	0,7	1010	3559,3	0,004442	0,84	0,36	0,64	21	42	0	79	49
82	0,7	936	3559,0	0,013764	1,19	0,3	1,06	114	200	19	218	332
83	0,7	516	3558,7	0,004239	0,83	0,36	0,62	20	38	0	75	46
84	0,7	356	3558,4	0,010495	1,09	0,31	0,94	76	137	10	177	208
85	0,7	234	3557,6	0,009301	1,05	0,32	0,89	64	118	7	161	167
86	0,7	160	3557,0	0,010439	1,09	0,32	0,93	76	143	10	178	201
87	0,7	0	3556,4	0,009972	1,08	0,32	0,91	71	132	9	172	192
1	0,67	8418	3617,7	0,003964	1,02	0,51	0,61	9	31	1	56	46
2	0,67	8322	3616,7	0,004012	1,02	0,51	0,61	9	32	1	56	46
3	0,67	8225	3615,8	0,012066	1,31	0,38	1,02	59	154	19	157	277
4	0,67	8128	3614,8	0,000176	0,37	0,81	0,15	0	0	0	0	0
5	0,67	8030	3613,8	0,000868	0,59	0,59	0,31	1	3	0	5	4
6	0,67	8019	3613,7	0,000651	0,55	0,62	0,27	1	1	0	3	2
7	0,67	7921	3612,9	0,005276	1,01	0,38	0,7	18	42	2	80	79
8	0,67	7819	3612,1	0,010321	1,29	0,33	0,96	44	90	18	129	277
9	0,67	7725	3611,0	0,005168	1	0,38	0,69	17	41	2	78	76
10	0,67	7624	3610,1	0,012114	1,37	0,32	1,03	54	108	26	142	376
11	0,67	7521	3609,2	0,007008	1,12	0,36	0,8	26	59	7	101	134

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
12	0,67	7416	3608,5	0,011375	1,34	0,33	1	50	103	22	138	329
13	0,67	7322	3607,6	0,008995	1,19	0,43	0,89	39	120	9	132	155
14	0,67	7222	3606,9	0,006341	1,03	0,45	0,75	25	81	2	104	79
15	0,67	7119	3605,9	0,012202	1,35	0,4	1,03	56	160	21	154	287
16	0,67	7018	3605,3	0,007593	1,11	0,44	0,82	31	99	5	119	111
17	0,67	6913	3604,3	0,002916	0,77	0,51	0,52	9	31	0	49	19
18	0,67	6819	3603,7	0,011538	1,32	0,41	1	52	154	18	150	253
19	0,67	6710	3603,0	0,007996	1,13	0,43	0,84	33	103	6	122	123
20	0,67	6602	3602,0	0,010465	1,2	0,35	0,95	55	124	13	151	223
21	0,67	6501	3601,2	0,010861	1,22	0,35	0,97	57	130	15	155	239
22	0,67	6402	3600,6	0,009519	1,15	0,36	0,91	48	114	10	143	179
23	0,67	6307	3599,9	0,001449	0,62	0,48	0,38	3	7	0	14	7
24	0,67	6212	3599,3	0,011669	1,25	0,34	1	63	138	17	161	276
25	0,67	6115	3599,1	0,006583	1	0,27	0,77	31	42	5	99	131
26	0,67	6019	3598,5	0,004375	0,86	0,3	0,63	18	26	0	66	59
27	0,67	5981	3598,1	0,011532	1,22	0,24	0,99	66	82	21	150	366
28	0,67	5880	3597,6	0,003879	1,64	0,27	1	5	6	40	50	597
29	0,67	5783	3596,5	0,003137	1,53	0,29	0,9	4	5	27	42	393
30	0,67	5688	3596,2	0,009392	1,13	0,25	0,9	50	64	13	130	247
31	0,67	5571	3595,5	0,000601	0,44	0,46	0,25	1	0	0	1	2
32	0,67	5476	3594,4	0,011614	1,22	0,24	1	66	83	21	150	366
33	0,67	5370	3593,5	0,011658	1,22	0,24	1	66	83	21	150	365
34	0,67	5265	3592,7	0,003832	0,82	0,31	0,6	15	22	0	57	46
35	0,67	5164	3592,2	0,011534	1,22	0,24	0,99	65	81	21	149	365
36	0,67	5052	3591,5	0,004506	0,87	0,3	0,64	18	27	0	68	62
37	0,67	4955	3590,9	0,00941	1,13	0,25	0,9	50	64	13	130	247
38	0,67	4953	3590,9	0,006615	1	0,27	0,77	31	42	5	99	131
39	0,67	4844	3590,2	0,006984	1,02	0,27	0,79	33	46	6	104	143
40	0,67	4735	3589,5	0,005564	0,94	0,28	0,71	24	34	2	83	93
41	0,67	4715	3589,0	0,007635	0,99	0,28	0,81	44	66	5	124	138
42	0,67	4639	3588,7	0,010879	1,11	0,26	0,95	72	102	13	163	254
43	0,67	4540	3588,0	0,003134	0,73	0,33	0,54	13	20	0	46	28
44	0,67	4439	3587,4	0,01197	1,15	0,26	1	83	118	16	176	300
45	0,67	4335	3586,5	0,0042	0,8	0,31	0,61	19	30	0	67	46
46	0,67	4237	3586,0	0,01088	1,11	0,26	0,95	72	102	13	163	254
47	0,67	4134	3585,1	0,002451	0,67	0,34	0,48	9	13	0	31	18
48	0,67	4031	3584,4	0,011893	1,15	0,26	0,99	82	117	16	175	301
49	0,67	3926	3583,8	0,00431	0,81	0,31	0,62	20	31	0	69	49
50	0,67	3831	3583,1	0,010301	1,09	0,26	0,93	67	94	11	156	233
51	0,67	3743	3582,4	0,007995	1	0,27	0,83	47	67	6	127	150
52	0,67	3637	3581,6	0,00467	0,83	0,3	0,65	22	33	0	75	56
53	0,67	3530	3580,9	0,008417	1,02	0,27	0,85	50	73	7	133	164
54	0,67	3427	3580,1	0,003781	0,77	0,32	0,59	17	26	0	59	37
55	0,67	3318	3579,5	0,010396	1,1	0,26	0,93	68	95	12	158	244
56	0,67	3247	3579,0	0,007012	0,96	0,28	0,78	39	58	4	115	120
57	0,67	3219	3578,6	0,011969	1,15	0,25	1	83	111	17	174	312
58	0,67	3126	3578,2	0,003714	0,77	0,32	0,58	16	25	0	58	37

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
59	0,67	3054	3577,2	0,00286	0,7	0,33	0,51	11	17	0	39	23
60	0,67	3052	3577,1	0,012037	1,15	0,25	1	83	112	17	174	312
61	0,67	3006	3576,9	0,002787	0,7	0,34	0,51	11	17	0	39	23
62	0,67	2961	3576,4	0,011969	1,15	0,25	1	83	111	17	174	312
63	0,67	2719	3575,1	0,003945	0,79	0,31	0,6	18	27	0	62	43
64	0,67	2628	3574,2	0,002321	0,65	0,35	0,47	8	13	0	28	15
65	0,67	2519	3573,3	0,011196	1,15	0,25	1	82	110	17	174	312
66	0,67	2502	3573,2	0,005246	0,87	0,3	0,68	26	41	0	87	70
67	0,67	2401	3572,2	0,006952	0,95	0,33	0,77	40	77	2	122	98
68	0,67	2294	3571,0	0,009549	1,04	0,31	0,89	63	117	7	160	164
69	0,67	2205	3570,1	0,009023	1,03	0,32	0,87	58	113	6	155	152
70	0,67	2092	3569,1	0,004314	0,82	0,35	0,62	19	38	0	73	45
71	0,67	1979	3568,0	0,011165	1,09	0,31	0,96	80	151	10	182	207
72	0,67	1957	3567,9	0,007867	0,99	0,32	0,82	48	90	4	137	125
73	0,67	1867	3567,1	0,005559	0,89	0,34	0,7	28	56	0	98	69
74	0,67	1694	3565,5	0,014509	1,19	0,3	1,08	117	215	19	221	328
75	0,67	1575	3564,6	0,00404	0,81	0,36	0,61	18	35	0	69	41
76	0,67	1485	3563,7	0,011614	1,11	0,31	0,98	85	161	11	190	227
77	0,67	1380	3562,5	0,003927	0,8	0,36	0,6	17	34	0	66	38
78	0,67	1271	3561,5	0,011614	1,11	0,31	0,98	85	161	11	190	227
79	0,67	1186	3560,6	0,006489	0,93	0,33	0,75	36	69	1	114	89
80	0,67	1073	3559,8	0,012909	1,14	0,3	1,02	99	180	14	203	268
81	0,67	1010	3559,3	0,004822	0,85	0,35	0,66	23	46	0	84	53
82	0,67	936	3559,0	0,015324	1,22	0,29	1,11	123	215	22	222	372
83	0,67	516	3558,7	0,004035	0,81	0,36	0,61	18	35	0	69	41
84	0,67	356	3558,4	0,011636	1,11	0,31	0,98	85	161	11	190	227
85	0,67	234	3557,6	0,008639	1,01	0,32	0,85	55	105	5	148	137
86	0,67	160	3557,0	0,011397	1,1	0,31	0,97	83	156	11	186	217
87	0,67	0	3556,4	0,009265	1,04	0,32	0,88	61	118	6	159	159
1	0,64	8418	3617,7	0,003968	1	0,5	0,61	8	30	1	53	41
2	0,64	8322	3616,7	0,003993	1,01	0,5	0,61	8	30	1	54	43
3	0,64	8225	3615,8	0,012324	1,3	0,38	1,02	58	159	18	157	266
4	0,64	8128	3614,8	0,00017	0,36	0,8	0,15	0	0	0	0	0
5	0,64	8030	3613,8	0,000873	0,59	0,58	0,31	1	2	0	5	4
6	0,64	8019	3613,7	0,00065	0,54	0,61	0,27	1	1	0	2	2
7	0,64	7921	3612,9	0,005512	1,01	0,37	0,71	18	42	2	79	79
8	0,64	7819	3612,1	0,011568	1,33	0,32	1,01	48	99	21	134	321
9	0,64	7725	3611,0	0,004806	0,96	0,38	0,67	15	36	1	71	62
10	0,64	7624	3610,1	0,012111	1,35	0,31	1,03	51	101	24	137	354
11	0,64	7521	3609,2	0,007025	1,11	0,35	0,8	25	56	6	97	130
12	0,64	7416	3608,5	0,011674	1,33	0,32	1,01	48	101	21	135	321
13	0,64	7322	3607,6	0,008862	1,17	0,42	0,88	35	111	8	125	142
14	0,64	7222	3606,9	0,006504	1,03	0,44	0,76	24	79	2	102	78
15	0,64	7119	3605,9	0,012262	1,34	0,4	1,03	53	157	19	150	270
16	0,64	7018	3605,3	0,007413	1,09	0,43	0,81	28	90	4	112	102
17	0,64	6913	3604,3	0,002933	0,76	0,51	0,52	9	31	0	48	18
18	0,64	6819	3603,7	0,012176	1,34	0,4	1,02	52	155	19	149	269

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
19	0,64	6710	3603,0	0,007623	1,1	0,43	0,82	29	94	5	114	106
20	0,64	6602	3602,0	0,011004	1,21	0,34	0,97	54	124	14	150	232
21	0,64	6501	3601,2	0,010435	1,19	0,34	0,95	51	115	13	145	215
22	0,64	6402	3600,6	0,009851	1,16	0,35	0,92	47	112	10	141	187
23	0,64	6307	3599,9	0,001438	0,61	0,48	0,38	3	7	0	14	7
24	0,64	6212	3599,3	0,012055	1,25	0,34	1,01	61	141	17	159	268
25	0,64	6115	3599,1	0,006395	0,97	0,27	0,75	28	40	4	92	112
26	0,64	6019	3598,5	0,004459	0,85	0,29	0,64	17	25	0	64	57
27	0,64	5981	3598,1	0,011614	1,21	0,24	0,99	62	81	19	147	346
28	0,64	5880	3597,6	0,003682	1,59	0,27	0,98	5	6	34	47	512
29	0,64	5783	3596,5	0,003013	1,48	0,29	0,88	3	4	23	39	333
30	0,64	5688	3596,2	0,011574	1,2	0,24	0,99	62	81	19	146	333
31	0,64	5571	3595,5	0,000573	0,42	0,45	0,25	1	0	0	0	1
32	0,64	5476	3594,4	0,011766	1,21	0,23	1	64	78	20	146	362
33	0,64	5370	3593,5	0,01155	1,2	0,24	0,99	62	81	19	145	333
34	0,64	5265	3592,7	0,00386	0,81	0,3	0,6	14	21	0	54	44
35	0,64	5164	3592,2	0,011552	1,2	0,24	0,99	62	81	19	145	333
36	0,64	5052	3591,5	0,004434	0,85	0,29	0,64	17	25	0	63	57
37	0,64	4955	3590,9	0,009846	1,14	0,24	0,92	50	64	14	130	264
38	0,64	4953	3590,9	0,006489	0,98	0,27	0,76	28	41	4	94	117
39	0,64	4844	3590,2	0,006892	1	0,26	0,78	31	42	5	98	133
40	0,64	4735	3589,5	0,005537	0,93	0,27	0,7	22	31	2	79	90
41	0,64	4715	3589,0	0,007735	0,98	0,27	0,81	42	63	5	121	135
42	0,64	4639	3588,7	0,010376	1,08	0,26	0,93	64	94	11	154	221
43	0,64	4540	3588,0	0,003153	0,72	0,32	0,54	12	19	0	44	27
44	0,64	4439	3587,4	0,012964	1,17	0,25	1,03	87	124	18	181	335
45	0,64	4335	3586,5	0,00411	0,79	0,31	0,61	18	28	0	63	43
46	0,64	4237	3586,0	0,011281	1,11	0,25	0,97	72	100	13	162	261
47	0,64	4134	3585,1	0,00243	0,66	0,34	0,48	8	13	0	29	17
48	0,64	4031	3584,4	0,012964	1,17	0,25	1,03	87	124	18	181	335
49	0,64	3926	3583,8	0,004155	0,79	0,3	0,61	18	27	0	63	44
50	0,64	3831	3583,1	0,011754	1,13	0,25	0,98	76	107	15	168	284
51	0,64	3743	3582,4	0,007467	0,97	0,27	0,8	40	60	4	117	128
52	0,64	3637	3581,6	0,005081	0,85	0,29	0,67	24	36	0	80	64
53	0,64	3530	3580,9	0,007818	0,98	0,27	0,82	43	64	5	121	134
54	0,64	3427	3580,1	0,004056	0,78	0,31	0,6	17	28	0	62	40
55	0,64	3318	3579,5	0,012024	1,14	0,25	1	79	110	16	171	296
56	0,64	3247	3579,0	0,006362	0,91	0,28	0,74	32	49	2	100	91
57	0,64	3219	3578,6	0,012963	1,17	0,25	1,03	87	124	18	181	335
58	0,64	3126	3578,2	0,003573	0,75	0,31	0,57	14	22	0	52	34
59	0,64	3054	3577,2	0,002898	0,7	0,33	0,52	11	17	0	39	23
60	0,64	3052	3577,1	0,012782	1,16	0,25	1,02	86	121	17	178	321
61	0,64	3006	3576,9	0,002732	0,68	0,33	0,5	10	15	0	35	20
62	0,64	2961	3576,4	0,012963	1,17	0,25	1,03	87	124	18	181	335
63	0,64	2719	3575,1	0,003779	0,76	0,31	0,58	16	24	0	56	36
64	0,64	2628	3574,2	0,002338	0,65	0,34	0,47	8	12	0	27	16
65	0,64	2519	3573,3	0,012955	1,17	0,25	1,03	87	124	18	181	335

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
66	0,64	2502	3573,2	0,004992	0,84	0,29	0,66	23	35	0	78	61
67	0,64	2401	3572,2	0,007337	0,95	0,32	0,79	41	80	2	125	101
68	0,64	2294	3571,0	0,008965	1,01	0,31	0,86	55	106	5	149	142
69	0,64	2205	3570,1	0,009568	1,03	0,31	0,89	61	117	6	158	156
70	0,64	2092	3569,1	0,004142	0,8	0,35	0,61	17	35	0	68	39
71	0,64	1979	3568,0	0,011867	1,09	0,3	0,98	84	157	10	186	214
72	0,64	1957	3567,9	0,007526	0,95	0,32	0,8	42	83	2	127	101
73	0,64	1867	3567,1	0,005738	0,88	0,33	0,71	28	56	0	97	67
74	0,64	1694	3565,5	0,012865	1,12	0,3	1,02	94	179	13	198	244
75	0,64	1575	3564,6	0,004243	0,8	0,35	0,62	18	37	0	69	39
76	0,64	1485	3563,7	0,013472	1,14	0,3	1,04	100	190	14	204	264
77	0,64	1380	3562,5	0,003662	0,77	0,36	0,58	14	30	0	58	32
78	0,64	1271	3561,5	0,013472	1,14	0,3	1,04	100	190	14	204	264
79	0,64	1186	3560,6	0,005846	0,89	0,33	0,71	29	58	0	100	71
80	0,64	1073	3559,8	0,011073	1,07	0,31	0,95	76	149	9	178	189
81	0,64	1010	3559,3	0,005326	0,86	0,34	0,68	25	52	0	91	58
82	0,64	936	3559,0	0,013056	1,14	0,3	1,03	94	179	14	199	261
83	0,64	516	3558,7	0,004311	0,81	0,35	0,62	18	38	0	72	42
84	0,64	356	3558,4	0,012865	1,12	0,3	1,02	94	179	13	198	244
85	0,64	234	3557,6	0,007937	0,97	0,32	0,82	46	91	3	134	112
86	0,64	160	3557,0	0,012318	1,11	0,3	1	89	167	12	193	234
87	0,64	0	3556,4	0,008696	1	0,31	0,85	53	100	5	145	135
1	0,62	8418	3617,7	0,003961	1	0,49	0,61	8	28	1	52	42
2	0,62	8322	3616,7	0,003999	1	0,49	0,61	8	29	1	52	42
3	0,62	8225	3615,8	0,0126	1,29	0,37	1,03	58	158	18	156	262
4	0,62	8128	3614,8	0,000165	0,35	0,79	0,15	0	0	0	0	0
5	0,62	8030	3613,8	0,000874	0,58	0,57	0,31	1	2	0	5	3
6	0,62	8019	3613,7	0,000648	0,53	0,6	0,27	1	1	0	2	2
7	0,62	7921	3612,9	0,005667	1,01	0,36	0,72	18	42	3	79	80
8	0,62	7819	3612,1	0,012016	1,34	0,31	1,02	48	99	22	134	338
9	0,62	7725	3611,0	0,004651	0,94	0,38	0,66	14	34	1	67	55
10	0,62	7624	3610,1	0,011471	1,31	0,31	1	45	92	20	130	304
11	0,62	7521	3609,2	0,007255	1,11	0,35	0,81	25	58	6	97	127
12	0,62	7416	3608,5	0,011524	1,32	0,31	1	46	93	21	131	316
13	0,62	7322	3607,6	0,008874	1,17	0,42	0,88	34	109	8	123	140
14	0,62	7222	3606,9	0,006475	1,03	0,44	0,76	23	77	2	100	77
15	0,62	7119	3605,9	0,012425	1,34	0,39	1,03	51	151	19	146	271
16	0,62	7018	3605,3	0,007417	1,08	0,43	0,81	27	89	4	109	96
17	0,62	6913	3604,3	0,002957	0,75	0,5	0,52	8	30	0	46	17
18	0,62	6819	3603,7	0,012072	1,32	0,39	1,02	49	145	18	143	252
19	0,62	6710	3603,0	0,007784	1,11	0,42	0,83	29	91	5	113	111
20	0,62	6602	3602,0	0,009617	1,14	0,35	0,91	44	107	9	136	170
21	0,62	6501	3601,2	0,011796	1,24	0,33	1	56	128	16	152	260
22	0,62	6402	3600,6	0,008988	1,11	0,35	0,88	40	97	7	130	151
23	0,62	6307	3599,9	0,001437	0,6	0,47	0,38	3	7	0	13	6
24	0,62	6212	3599,3	0,011873	1,24	0,33	1	57	130	16	153	262
25	0,62	6115	3599,1	0,006396	0,96	0,26	0,75	27	37	3	89	109

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
26	0,62	6019	3598,5	0,004458	0,85	0,29	0,64	16	25	0	63	56
27	0,62	5981	3598,1	0,011922	1,21	0,23	1	62	78	20	145	357
28	0,62	5880	3597,6	0,003706	1,57	0,26	0,98	5	5	33	46	499
29	0,62	5783	3596,5	0,003009	1,47	0,28	0,88	3	4	22	38	333
30	0,62	5688	3596,2	0,013023	1,24	0,23	1,05	70	90	23	154	400
31	0,62	5571	3595,5	0,000558	0,41	0,45	0,24	1	0	0	0	1
32	0,62	5476	3594,4	0,009472	1,11	0,24	0,9	45	59	12	123	230
33	0,62	5370	3593,5	0,011721	1,2	0,23	1	61	76	19	143	343
34	0,62	5265	3592,7	0,00392	0,81	0,3	0,6	14	21	0	54	43
35	0,62	5164	3592,2	0,009562	1,12	0,24	0,91	46	60	12	124	240
36	0,62	5052	3591,5	0,005064	0,89	0,28	0,67	19	29	1	72	72
37	0,62	4955	3590,9	0,009543	1,11	0,24	0,91	46	60	12	123	230
38	0,62	4953	3590,9	0,006621	0,98	0,26	0,76	28	39	4	93	120
39	0,62	4844	3590,2	0,006832	0,99	0,26	0,77	29	41	5	95	126
40	0,62	4735	3589,5	0,005704	0,93	0,26	0,71	22	30	2	78	92
41	0,62	4715	3589,0	0,007612	0,96	0,27	0,8	40	61	4	116	121
42	0,62	4639	3588,7	0,010866	1,09	0,25	0,95	66	94	12	155	238
43	0,62	4540	3588,0	0,003117	0,71	0,32	0,53	11	18	0	42	25
44	0,62	4439	3587,4	0,012332	1,13	0,25	1	79	114	15	170	281
45	0,62	4335	3586,5	0,004184	0,78	0,3	0,61	17	27	0	61	41
46	0,62	4237	3586,0	0,011083	1,09	0,25	0,96	68	97	12	157	237
47	0,62	4134	3585,1	0,002438	0,65	0,33	0,48	8	12	0	28	16
48	0,62	4031	3584,4	0,0125	1,14	0,25	1,01	80	116	15	173	293
49	0,62	3926	3583,8	0,004144	0,78	0,3	0,61	17	27	0	61	41
50	0,62	3831	3583,1	0,011632	1,11	0,25	0,98	72	104	13	163	258
51	0,62	3743	3582,4	0,007433	0,95	0,27	0,8	39	59	3	113	115
52	0,62	3637	3581,6	0,00503	0,84	0,29	0,66	22	35	0	77	60
53	0,62	3530	3580,9	0,007787	0,97	0,27	0,81	41	63	4	119	127
54	0,62	3427	3580,1	0,004086	0,78	0,3	0,6	17	26	0	60	41
55	0,62	3318	3579,5	0,012477	1,14	0,25	1,01	80	116	15	172	293
56	0,62	3247	3579,0	0,006141	0,89	0,28	0,73	30	46	1	94	81
57	0,62	3219	3578,6	0,012331	1,13	0,25	1	79	114	15	170	281
58	0,62	3126	3578,2	0,003627	0,75	0,31	0,57	14	22	0	52	33
59	0,62	3054	3577,2	0,002875	0,69	0,32	0,51	10	16	0	37	22
60	0,62	3052	3577,1	0,012492	1,14	0,24	1,01	80	109	16	170	305
61	0,62	3006	3576,9	0,002811	0,68	0,33	0,51	10	16	0	36	20
62	0,62	2961	3576,4	0,012331	1,13	0,25	1	79	114	15	170	281
63	0,62	2719	3575,1	0,003978	0,77	0,3	0,6	16	25	0	58	39
64	0,62	2628	3574,2	0,002293	0,64	0,34	0,46	8	11	0	26	14
65	0,62	2519	3573,3	0,012577	1,14	0,24	1,01	81	110	16	171	305
66	0,62	2502	3573,2	0,005131	0,84	0,29	0,67	23	36	0	79	60
67	0,62	2401	3572,2	0,007372	0,94	0,32	0,79	40	81	2	124	96
68	0,62	2294	3571,0	0,008981	0,99	0,31	0,86	53	106	4	146	128
69	0,62	2205	3570,1	0,009525	1,01	0,31	0,88	58	117	5	154	142
70	0,62	2092	3569,1	0,00407	0,78	0,35	0,6	16	34	0	64	35
71	0,62	1979	3568,0	0,012122	1,09	0,3	0,99	84	163	10	188	213
72	0,62	1957	3567,9	0,00736	0,94	0,32	0,79	40	80	2	123	96

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
73	0,62	1867	3567,1	0,005812	0,87	0,33	0,71	28	57	0	97	63
74	0,62	1694	3565,5	0,014509	1,17	0,29	1,08	103	194	17	205	297
75	0,62	1575	3564,6	0,003982	0,78	0,35	0,6	16	33	0	63	35
76	0,62	1485	3563,7	0,013313	1,13	0,3	1,03	94	184	13	198	249
77	0,62	1380	3562,5	0,003592	0,76	0,35	0,57	14	27	0	55	31
78	0,62	1271	3561,5	0,013313	1,13	0,29	1,03	94	174	13	196	257
79	0,62	1186	3560,6	0,005886	0,88	0,33	0,71	28	58	0	99	67
80	0,62	1073	3559,8	0,012674	1,11	0,3	1,01	88	171	12	191	229
81	0,62	1010	3559,3	0,004877	0,83	0,34	0,65	21	44	0	81	49
82	0,62	936	3559,0	0,012607	1,11	0,3	1,01	86	168	11	189	227
83	0,62	516	3558,7	0,00439	0,8	0,34	0,62	18	37	0	70	41
84	0,62	356	3558,4	0,013309	1,13	0,29	1,03	93	174	13	196	257
85	0,62	234	3557,6	0,007713	0,95	0,32	0,8	43	87	2	129	101
86	0,62	160	3557,0	0,012885	1,12	0,3	1,02	90	176	12	195	240
87	0,62	0	3556,4	0,008338	0,97	0,31	0,83	48	94	3	136	116
1	0,59	8418	3617,7	0,003959	0,98	0,48	0,6	7	27	0	49	38
2	0,59	8322	3616,7	0,003998	0,99	0,48	0,61	7	27	1	51	40
3	0,59	8225	3615,8	0,012426	1,27	0,37	1,02	53	152	16	150	239
4	0,59	8128	3614,8	0,000159	0,34	0,78	0,14	0	0	0	0	0
5	0,59	8030	3613,8	0,000884	0,57	0,56	0,31	1	2	0	5	3
6	0,59	8019	3613,7	0,000648	0,52	0,59	0,27	1	1	0	2	2
7	0,59	7921	3612,9	0,005939	1,02	0,35	0,73	18	42	3	79	85
8	0,59	7819	3612,1	0,012303	1,33	0,31	1,03	46	100	21	132	319
9	0,59	7725	3611,0	0,004678	0,93	0,37	0,66	13	32	1	64	53
10	0,59	7624	3610,1	0,011403	1,29	0,31	1	42	90	18	126	278
11	0,59	7521	3609,2	0,007275	1,1	0,34	0,81	23	54	6	94	123
12	0,59	7416	3608,5	0,011403	1,29	0,31	1	42	90	18	126	278
13	0,59	7322	3607,6	0,009086	1,17	0,41	0,89	32	105	8	120	139
14	0,59	7222	3606,9	0,006398	1,01	0,43	0,75	21	71	2	94	70
15	0,59	7119	3605,9	0,011998	1,31	0,39	1,01	45	140	16	139	238
16	0,59	7018	3605,3	0,007675	1,09	0,42	0,82	26	87	4	108	100
17	0,59	6913	3604,3	0,002941	0,74	0,49	0,52	8	28	0	43	16
18	0,59	6819	3603,7	0,011953	1,31	0,39	1,01	45	139	16	138	237
19	0,59	6710	3603,0	0,007737	1,09	0,42	0,82	26	88	4	108	99
20	0,59	6602	3602,0	0,010806	1,18	0,33	0,96	47	111	12	139	203
21	0,59	6501	3601,2	0,010579	1,17	0,33	0,95	46	107	11	136	194
22	0,59	6402	3600,6	0,009887	1,14	0,34	0,92	42	103	9	132	169
23	0,59	6307	3599,9	0,00142	0,58	0,46	0,38	3	6	0	11	5
24	0,59	6212	3599,3	0,012205	1,24	0,33	1,01	55	131	16	151	254
25	0,59	6115	3599,1	0,006335	0,95	0,26	0,75	25	36	3	86	102
26	0,59	6019	3598,5	0,004405	0,83	0,28	0,63	15	22	0	58	51
27	0,59	5981	3598,1	0,013623	1,25	0,22	1,07	70	88	24	153	425
28	0,59	5880	3597,6	0,003496	1,52	0,26	0,95	4	5	28	42	424
29	0,59	5783	3596,5	0,002866	1,42	0,28	0,86	3	4	19	35	280
30	0,59	5688	3596,2	0,013502	1,24	0,22	1,06	69	87	23	152	409
31	0,59	5571	3595,5	0,000548	0,4	0,44	0,24	1	0	0	0	1
32	0,59	5476	3594,4	0,012499	1,21	0,22	1,02	62	77	20	144	366

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
33	0,59	5370	3593,5	0,012109	1,2	0,22	1,01	59	73	19	141	352
34	0,59	5265	3592,7	0,003846	0,79	0,29	0,59	13	19	0	50	39
35	0,59	5164	3592,2	0,013226	1,24	0,22	1,05	67	84	23	150	409
36	0,59	5052	3591,5	0,004124	0,81	0,29	0,61	14	21	0	54	44
37	0,59	4955	3590,9	0,01353	1,24	0,22	1,06	69	87	23	152	409
38	0,59	4953	3590,9	0,005204	0,88	0,27	0,68	19	28	1	70	69
39	0,59	4844	3590,2	0,00844	1,05	0,24	0,85	36	49	8	108	174
40	0,59	4735	3589,5	0,004838	0,87	0,27	0,66	17	24	1	64	64
41	0,59	4715	3589,0	0,009047	1	0,26	0,87	48	75	6	130	150
42	0,59	4639	3588,7	0,009163	1,01	0,26	0,87	49	76	6	132	157
43	0,59	4540	3588,0	0,003346	0,71	0,31	0,55	12	19	0	43	25
44	0,59	4439	3587,4	0,012122	1,11	0,24	0,99	72	103	13	163	266
45	0,59	4335	3586,5	0,004182	0,77	0,3	0,61	16	27	0	59	38
46	0,59	4237	3586,0	0,011243	1,08	0,25	0,96	65	98	11	155	224
47	0,59	4134	3585,1	0,002351	0,63	0,33	0,47	7	11	0	24	14
48	0,59	4031	3584,4	0,012206	1,11	0,24	1	73	104	13	163	265
49	0,59	3926	3583,8	0,004273	0,78	0,29	0,61	17	26	0	60	42
50	0,59	3831	3583,1	0,01104	1,07	0,25	0,95	63	95	10	152	214
51	0,59	3743	3582,4	0,007276	0,93	0,27	0,78	35	56	3	108	102
52	0,59	3637	3581,6	0,005023	0,82	0,28	0,66	21	32	0	72	55
53	0,59	3530	3580,9	0,007968	0,96	0,26	0,82	40	61	4	116	123
54	0,59	3427	3580,1	0,004038	0,76	0,3	0,6	15	25	0	56	36
55	0,59	3318	3579,5	0,012354	1,12	0,24	1	74	106	14	165	277
56	0,59	3247	3579,0	0,0062	0,88	0,27	0,73	28	43	1	91	79
57	0,59	3219	3578,6	0,012122	1,11	0,24	0,99	72	103	13	163	266
58	0,59	3126	3578,2	0,003706	0,74	0,3	0,57	14	22	0	50	32
59	0,59	3054	3577,2	0,002808	0,67	0,32	0,51	9	15	0	33	19
60	0,59	3052	3577,1	0,012457	1,12	0,24	1	75	107	14	166	277
61	0,59	3006	3576,9	0,002756	0,67	0,32	0,5	9	14	0	33	19
62	0,59	2961	3576,4	0,012122	1,11	0,24	0,99	72	103	13	163	266
63	0,59	2719	3575,1	0,004033	0,76	0,3	0,6	15	25	0	56	36
64	0,59	2628	3574,2	0,0022	0,62	0,33	0,45	7	10	0	22	13
65	0,59	2519	3573,3	0,012116	1,11	0,24	0,99	72	103	13	162	265
66	0,59	2502	3573,2	0,005156	0,83	0,28	0,67	22	34	0	75	58
67	0,59	2401	3572,2	0,007058	0,91	0,32	0,77	35	75	1	115	82
68	0,59	2294	3571,0	0,009163	0,98	0,31	0,87	52	109	4	146	122
69	0,59	2205	3570,1	0,009444	0,99	0,31	0,88	55	115	4	150	128
70	0,59	2092	3569,1	0,00417	0,77	0,34	0,61	16	34	0	63	33
71	0,59	1979	3568,0	0,011492	1,06	0,3	0,96	72	147	8	175	183
72	0,59	1957	3567,9	0,007673	0,93	0,31	0,8	40	82	2	123	94
73	0,59	1867	3567,1	0,00569	0,85	0,33	0,7	26	55	0	92	56
74	0,59	1694	3565,5	0,014492	1,17	0,28	1,07	95	178	17	197	299
75	0,59	1575	3564,6	0,004101	0,77	0,34	0,6	16	33	0	62	34
76	0,59	1485	3563,7	0,013923	1,15	0,29	1,05	91	179	15	195	268
77	0,59	1380	3562,5	0,003602	0,74	0,35	0,57	13	27	0	53	27
78	0,59	1271	3561,5	0,013923	1,15	0,29	1,05	91	179	15	195	268
79	0,59	1186	3560,6	0,005764	0,85	0,33	0,7	26	56	0	93	56

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
80	0,59	1073	3559,8	0,013775	1,14	0,29	1,05	89	175	14	191	256
81	0,59	1010	3559,3	0,004526	0,79	0,34	0,63	18	39	0	70	38
82	0,59	936	3559,0	0,01168	1,07	0,3	0,97	73	148	9	174	188
83	0,59	516	3558,7	0,004539	0,79	0,34	0,63	18	39	0	71	38
84	0,59	356	3558,4	0,013063	1,12	0,29	1,02	84	164	12	188	240
85	0,59	234	3557,6	0,007826	0,94	0,31	0,81	41	84	2	126	99
86	0,59	160	3557,0	0,012573	1,1	0,29	1	80	156	11	183	221
87	0,59	0	3556,4	0,008484	0,96	0,31	0,84	47	96	3	136	110
1	0,57	8418	3617,7	0,003963	0,97	0,47	0,6	7	26	0	48	37
2	0,57	8322	3616,7	0,003978	0,97	0,47	0,6	7	26	0	48	37
3	0,57	8225	3615,8	0,01224	1,25	0,36	1,01	49	139	14	143	222
4	0,57	8128	3614,8	0,000155	0,33	0,78	0,14	0	0	0	0	0
5	0,57	8030	3613,8	0,000891	0,56	0,55	0,31	1	2	0	4	3
6	0,57	8019	3613,7	0,000647	0,51	0,58	0,27	1	1	0	2	2
7	0,57	7921	3612,9	0,006125	1,02	0,35	0,74	17	43	3	79	83
8	0,57	7819	3612,1	0,011428	1,28	0,31	1	40	89	17	123	264
9	0,57	7725	3611,0	0,004939	0,94	0,36	0,67	13	33	1	65	56
10	0,57	7624	3610,1	0,012525	1,33	0,3	1,04	46	97	21	130	326
11	0,57	7521	3609,2	0,006938	1,07	0,34	0,79	21	50	5	88	107
12	0,57	7416	3608,5	0,011761	1,3	0,3	1,01	42	88	19	125	293
13	0,57	7322	3607,6	0,008693	1,14	0,4	0,87	29	94	6	112	124
14	0,57	7222	3606,9	0,006628	1,02	0,42	0,76	21	70	2	94	73
15	0,57	7119	3605,9	0,012367	1,31	0,38	1,02	44	137	16	136	237
16	0,57	7018	3605,3	0,007522	1,07	0,41	0,81	24	80	4	102	92
17	0,57	6913	3604,3	0,002953	0,74	0,49	0,52	7	28	0	43	15
18	0,57	6819	3603,7	0,01205	1,3	0,38	1,01	43	132	16	134	229
19	0,57	6710	3603,0	0,007773	1,09	0,41	0,82	25	84	4	105	100
20	0,57	6602	3602,0	0,010905	1,18	0,33	0,96	45	110	11	137	199
21	0,57	6501	3601,2	0,010414	1,16	0,33	0,94	42	103	10	132	184
22	0,57	6402	3600,6	0,010017	1,14	0,33	0,92	41	98	9	129	171
23	0,57	6307	3599,9	0,001415	0,58	0,46	0,37	3	6	0	11	5
24	0,57	6212	3599,3	0,011967	1,22	0,32	1	51	120	14	144	238
25	0,57	6115	3599,1	0,006446	0,94	0,25	0,75	24	34	3	83	99
26	0,57	6019	3598,5	0,004368	0,82	0,28	0,63	14	22	0	56	47
27	0,57	5981	3598,1	0,012269	1,19	0,22	1,01	58	74	18	139	334
28	0,57	5880	3597,6	0,003536	1,51	0,25	0,96	4	4	28	42	427
29	0,57	5783	3596,5	0,002882	1,41	0,27	0,86	3	3	18	35	281
30	0,57	5688	3596,2	0,013223	1,22	0,22	1,05	64	83	21	147	375
31	0,57	5571	3595,5	0,000549	0,4	0,44	0,24	1	0	0	0	1
32	0,57	5476	3594,4	0,011199	1,15	0,22	0,97	51	65	15	130	286
33	0,57	5370	3593,5	0,011983	1,18	0,22	1	56	72	17	137	321
34	0,57	5265	3592,7	0,003808	0,78	0,29	0,59	12	18	0	48	36
35	0,57	5164	3592,2	0,013263	1,22	0,22	1,05	64	83	21	147	374
36	0,57	5052	3591,5	0,004067	0,8	0,28	0,61	13	19	0	51	42
37	0,57	4955	3590,9	0,012042	1,18	0,22	1	56	72	17	137	321
38	0,57	4953	3590,9	0,005569	0,9	0,26	0,7	20	29	2	73	78
39	0,57	4844	3590,2	0,008006	1,02	0,24	0,83	32	45	6	101	151

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
40	0,57	4735	3589,5	0,005103	0,88	0,26	0,67	17	24	1	66	70
41	0,57	4715	3589,0	0,008608	0,98	0,26	0,85	43	69	5	123	135
42	0,57	4639	3588,7	0,009554	1,01	0,25	0,89	50	76	6	132	162
43	0,57	4540	3588,0	0,003283	0,7	0,31	0,54	11	18	0	41	23
44	0,57	4439	3587,4	0,012448	1,11	0,24	1	72	106	13	163	263
45	0,57	4335	3586,5	0,004138	0,76	0,29	0,6	15	25	0	56	37
46	0,57	4237	3586,0	0,011159	1,07	0,24	0,95	62	90	10	150	221
47	0,57	4134	3585,1	0,002329	0,62	0,33	0,46	7	11	0	23	12
48	0,57	4031	3584,4	0,012364	1,11	0,24	1	71	105	13	162	263
49	0,57	3926	3583,8	0,004184	0,76	0,29	0,61	16	25	0	57	37
50	0,57	3831	3583,1	0,011134	1,07	0,24	0,96	63	92	10	151	221
51	0,57	3743	3582,4	0,007308	0,92	0,26	0,78	34	53	2	104	100
52	0,57	3637	3581,6	0,00504	0,81	0,28	0,66	20	32	0	71	51
53	0,57	3530	3580,9	0,007818	0,95	0,26	0,81	37	59	3	112	116
54	0,57	3427	3580,1	0,003972	0,75	0,29	0,59	15	23	0	53	34
55	0,57	3318	3579,5	0,012341	1,1	0,24	1	71	105	12	161	252
56	0,57	3247	3579,0	0,006208	0,87	0,27	0,73	27	43	1	89	74
57	0,57	3219	3578,6	0,012448	1,11	0,24	1	72	106	13	163	263
58	0,57	3126	3578,2	0,003642	0,73	0,3	0,57	13	21	0	48	29
59	0,57	3054	3577,2	0,002831	0,67	0,31	0,51	9	14	0	33	19
60	0,57	3052	3577,1	0,012359	1,11	0,24	1	71	105	13	162	263
61	0,57	3006	3576,9	0,002711	0,66	0,32	0,5	9	14	0	31	17
62	0,57	2961	3576,4	0,012448	1,11	0,24	1	72	106	13	163	263
63	0,57	2719	3575,1	0,003904	0,75	0,3	0,59	14	24	0	53	33
64	0,57	2628	3574,2	0,002279	0,62	0,33	0,46	7	10	0	23	12
65	0,57	2519	3573,3	0,012443	1,11	0,24	1	72	106	13	163	263
66	0,57	2502	3573,2	0,00509	0,82	0,28	0,66	21	33	0	73	54
67	0,57	2401	3572,2	0,007331	0,9	0,31	0,78	36	76	1	115	80
68	0,57	2294	3571,0	0,008884	0,96	0,3	0,85	48	98	3	138	113
69	0,57	2205	3570,1	0,009829	0,99	0,3	0,89	56	116	4	152	132
70	0,57	2092	3569,1	0,00406	0,76	0,34	0,6	15	32	0	60	31
71	0,57	1979	3568,0	0,011426	1,05	0,29	0,96	68	135	8	167	177
72	0,57	1957	3567,9	0,007701	0,92	0,31	0,8	39	82	2	122	89
73	0,57	1867	3567,1	0,005675	0,84	0,32	0,7	25	52	0	89	55
74	0,57	1694	3565,5	0,014412	1,16	0,28	1,07	89	172	15	191	280
75	0,57	1575	3564,6	0,00409	0,76	0,34	0,6	15	32	0	61	31
76	0,57	1485	3563,7	0,013767	1,13	0,29	1,05	85	172	13	187	241
77	0,57	1380	3562,5	0,003604	0,73	0,34	0,57	13	26	0	51	26
78	0,57	1271	3561,5	0,013767	1,13	0,28	1,05	85	163	13	185	250
79	0,57	1186	3560,6	0,005674	0,84	0,32	0,7	25	52	0	89	55
80	0,57	1073	3559,8	0,013613	1,13	0,28	1,04	83	159	13	183	249
81	0,57	1010	3559,3	0,004609	0,79	0,33	0,63	18	38	0	70	39
82	0,57	936	3559,0	0,012729	1,1	0,29	1,01	76	153	10	176	212
83	0,57	516	3558,7	0,004508	0,78	0,33	0,63	18	37	0	68	37
84	0,57	356	3558,4	0,014496	1,16	0,28	1,07	90	174	15	191	279
85	0,57	234	3557,6	0,007252	0,9	0,31	0,78	36	74	1	114	80
86	0,57	160	3557,0	0,013713	1,13	0,28	1,04	84	162	13	185	250

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
87	0,57	0	3556,4	0,007918	0,93	0,31	0,81	41	86	2	126	94
1	0,54	8418	3617,7	0,003966	0,96	0,46	0,6	6	24	0	46	35
2	0,54	8322	3616,7	0,003957	0,96	0,46	0,6	6	24	0	46	35
3	0,54	8225	3615,8	0,011976	1,24	0,36	1	43	130	13	136	206
4	0,54	8128	3614,8	0,000148	0,32	0,77	0,14	0	0	0	0	0
5	0,54	8030	3613,8	0,000903	0,55	0,54	0,31	1	2	0	4	3
6	0,54	8019	3613,7	0,000645	0,5	0,57	0,27	1	1	0	1	2
7	0,54	7921	3612,9	0,006439	1,02	0,34	0,76	17	44	3	79	83
8	0,54	7819	3612,1	0,011462	1,27	0,3	0,99	38	83	16	119	257
9	0,54	7725	3611,0	0,004927	0,93	0,35	0,67	12	30	1	62	54
10	0,54	7624	3610,1	0,009968	1,2	0,31	0,93	31	72	11	109	192
11	0,54	7521	3609,2	0,008198	1,12	0,32	0,85	24	57	7	95	136
12	0,54	7416	3608,5	0,010015	1,2	0,31	0,93	31	72	11	109	192
13	0,54	7322	3607,6	0,010312	1,21	0,38	0,94	33	105	10	118	163
14	0,54	7222	3606,9	0,005853	0,96	0,43	0,72	16	60	1	82	53
15	0,54	7119	3605,9	0,012374	1,3	0,37	1,02	41	128	15	130	227
16	0,54	7018	3605,3	0,007389	1,05	0,41	0,8	22	76	3	96	81
17	0,54	6913	3604,3	0,002962	0,73	0,48	0,52	7	26	0	40	14
18	0,54	6819	3603,7	0,011943	1,29	0,37	1	39	121	15	127	220
19	0,54	6710	3603,0	0,007829	1,08	0,4	0,82	23	79	4	100	95
20	0,54	6602	3602,0	0,010858	1,16	0,32	0,96	41	102	10	130	184
21	0,54	6501	3601,2	0,010458	1,15	0,32	0,94	39	96	10	127	177
22	0,54	6402	3600,6	0,010111	1,13	0,33	0,92	38	97	8	125	159
23	0,54	6307	3599,9	0,001404	0,56	0,45	0,37	3	6	0	10	5
24	0,54	6212	3599,3	0,012163	1,21	0,32	1,01	48	119	13	139	221
25	0,54	6115	3599,1	0,006418	0,93	0,25	0,75	22	33	3	80	93
26	0,54	6019	3598,5	0,004416	0,81	0,27	0,63	13	20	0	54	45
27	0,54	5981	3598,1	0,012342	1,17	0,21	1,01	54	68	17	133	316
28	0,54	5880	3597,6	0,00351	1,48	0,24	0,95	4	4	25	40	402
29	0,54	5783	3596,5	0,00285	1,38	0,26	0,86	3	3	17	33	262
30	0,54	5688	3596,2	0,012768	1,19	0,21	1,03	57	72	18	138	344
31	0,54	5571	3595,5	0,000549	0,39	0,43	0,24	1	0	0	0	1
32	0,54	5476	3594,4	0,013582	1,21	0,21	1,06	62	79	20	143	370
33	0,54	5370	3593,5	0,010882	1,12	0,22	0,95	46	61	12	123	247
34	0,54	5265	3592,7	0,004116	0,79	0,27	0,61	12	18	0	49	40
35	0,54	5164	3592,2	0,012048	1,16	0,22	1	53	71	15	132	290
36	0,54	5052	3591,5	0,004302	0,81	0,27	0,62	13	19	0	53	46
37	0,54	4955	3590,9	0,012259	1,17	0,22	1,01	54	73	16	135	302
38	0,54	4953	3590,9	0,005525	0,88	0,26	0,7	18	28	1	69	69
39	0,54	4844	3590,2	0,007925	1	0,24	0,82	30	43	5	97	135
40	0,54	4735	3589,5	0,005043	0,86	0,26	0,67	16	23	1	62	61
41	0,54	4715	3589,0	0,008519	0,96	0,25	0,84	40	62	4	116	126
42	0,54	4639	3588,7	0,009354	0,99	0,25	0,87	45	72	5	127	145
43	0,54	4540	3588,0	0,003331	0,69	0,3	0,54	11	18	0	39	22
44	0,54	4439	3587,4	0,012297	1,09	0,24	0,99	66	103	12	157	237
45	0,54	4335	3586,5	0,004185	0,75	0,29	0,6	15	25	0	55	34
46	0,54	4237	3586,0	0,011402	1,06	0,24	0,96	60	92	10	148	208

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
47	0,54	4134	3585,1	0,002295	0,61	0,32	0,46	6	10	0	21	12
48	0,54	4031	3584,4	0,012297	1,09	0,23	0,99	66	96	12	155	247
49	0,54	3926	3583,8	0,004255	0,76	0,28	0,61	15	24	0	56	37
50	0,54	3831	3583,1	0,011265	1,05	0,24	0,95	59	90	9	146	199
51	0,54	3743	3582,4	0,007248	0,91	0,26	0,78	32	51	2	101	94
52	0,54	3637	3581,6	0,005069	0,8	0,27	0,66	19	30	0	68	49
53	0,54	3530	3580,9	0,007819	0,93	0,25	0,81	35	54	3	107	108
54	0,54	3427	3580,1	0,003967	0,74	0,29	0,59	14	23	0	51	32
55	0,54	3318	3579,5	0,012358	1,09	0,23	0,99	67	97	12	155	247
56	0,54	3247	3579,0	0,006207	0,86	0,27	0,72	25	43	1	87	69
57	0,54	3219	3578,6	0,012296	1,09	0,23	0,99	66	96	12	155	247
58	0,54	3126	3578,2	0,003669	0,72	0,29	0,57	12	20	0	46	28
59	0,54	3054	3577,2	0,002789	0,65	0,31	0,5	8	13	0	30	16
60	0,54	3052	3577,1	0,012291	1,09	0,23	0,99	66	96	12	155	247
61	0,54	3006	3576,9	0,002721	0,65	0,31	0,49	8	13	0	29	16
62	0,54	2961	3576,4	0,012296	1,09	0,23	0,99	66	96	12	155	247
63	0,54	2719	3575,1	0,003962	0,74	0,29	0,59	14	22	0	51	32
64	0,54	2628	3574,2	0,002277	0,61	0,32	0,46	6	9	0	21	12
65	0,54	2519	3573,3	0,012291	1,09	0,23	0,99	66	96	12	155	247
66	0,54	2502	3573,2	0,005152	0,81	0,27	0,66	20	31	0	70	52
67	0,54	2401	3572,2	0,007185	0,88	0,31	0,77	33	73	0	110	71
68	0,54	2294	3571,0	0,009269	0,96	0,3	0,86	48	104	3	139	111
69	0,54	2205	3570,1	0,009106	0,94	0,3	0,86	47	102	2	137	102
70	0,54	2092	3569,1	0,004257	0,75	0,33	0,61	15	33	0	60	30
71	0,54	1979	3568,0	0,011508	1,04	0,29	0,96	63	132	7	161	163
72	0,54	1957	3567,9	0,007558	0,89	0,31	0,79	36	80	1	115	75
73	0,54	1867	3567,1	0,005761	0,82	0,32	0,7	24	53	0	87	48
74	0,54	1694	3565,5	0,012423	1,08	0,28	0,99	69	138	9	168	199
75	0,54	1575	3564,6	0,004345	0,76	0,33	0,61	16	34	0	63	32
76	0,54	1485	3563,7	0,012499	1,08	0,28	1	69	139	9	168	198
77	0,54	1380	3562,5	0,003803	0,73	0,34	0,58	13	28	0	53	26
78	0,54	1271	3561,5	0,012499	1,08	0,28	1	69	139	9	168	198
79	0,54	1186	3560,6	0,006049	0,84	0,32	0,71	26	58	0	93	55
80	0,54	1073	3559,8	0,012717	1,09	0,28	1	70	141	10	168	205
81	0,54	1010	3559,3	0,004704	0,77	0,33	0,64	18	39	0	68	34
82	0,54	936	3559,0	0,010911	1,03	0,29	0,93	58	121	6	154	155
83	0,54	516	3558,7	0,004688	0,77	0,33	0,63	18	39	0	68	34
84	0,54	356	3558,4	0,012495	1,08	0,28	1	69	139	9	168	198
85	0,54	234	3557,6	0,008018	0,91	0,3	0,81	39	83	1	122	87
86	0,54	160	3557,0	0,012237	1,07	0,28	0,99	68	135	9	166	191
87	0,54	0	3556,4	0,008599	0,93	0,3	0,83	44	93	2	130	97
1	0,5	8418	3617,7	0,003966	0,94	0,45	0,6	6	23	0	43	31
2	0,5	8322	3616,7	0,004087	0,95	0,45	0,61	6	24	0	45	33
3	0,5	8225	3615,8	0,012201	1,24	0,35	1,01	38	118	12	125	196
4	0,5	8128	3614,8	0,000139	0,3	0,75	0,13	0	0	0	0	0
5	0,5	8030	3613,8	0,000918	0,54	0,52	0,31	1	2	0	4	3
6	0,5	8019	3613,7	0,000647	0,48	0,56	0,26	1	1	0	1	1

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
7	0,5	7921	3612,9	0,006925	1,03	0,32	0,78	17	43	3	79	90
8	0,5	7819	3612,1	0,010581	1,2	0,29	0,95	30	69	11	106	198
9	0,5	7725	3611,0	0,00508	0,92	0,34	0,68	11	30	1	60	51
10	0,5	7624	3610,1	0,011817	1,25	0,29	1	35	80	15	114	238
11	0,5	7521	3609,2	0,007158	1,04	0,32	0,79	18	45	4	81	94
12	0,5	7416	3608,5	0,012184	1,27	0,28	1,02	37	80	16	116	266
13	0,5	7322	3607,6	0,008691	1,11	0,39	0,86	24	84	5	101	104
14	0,5	7222	3606,9	0,006537	0,99	0,41	0,75	17	62	1	83	60
15	0,5	7119	3605,9	0,012647	1,3	0,36	1,03	37	121	15	124	222
16	0,5	7018	3605,3	0,007297	1,03	0,4	0,79	19	69	2	89	73
17	0,5	6913	3604,3	0,002952	0,72	0,47	0,52	6	24	0	37	13
18	0,5	6819	3603,7	0,012564	1,3	0,36	1,02	37	119	15	123	221
19	0,5	6710	3603,0	0,007613	1,05	0,4	0,81	20	73	3	92	79
20	0,5	6602	3602,0	0,011041	1,15	0,31	0,96	38	95	9	123	174
21	0,5	6501	3601,2	0,010352	1,12	0,32	0,93	35	91	8	118	149
22	0,5	6402	3600,6	0,010011	1,11	0,32	0,92	33	88	7	117	145
23	0,5	6307	3599,9	0,001401	0,54	0,44	0,37	2	5	0	8	4
24	0,5	6212	3599,3	0,011888	1,19	0,31	0,99	41	105	12	130	203
25	0,5	6115	3599,1	0,006495	0,91	0,24	0,75	21	31	2	76	85
26	0,5	6019	3598,5	0,004386	0,79	0,26	0,62	12	18	0	49	41
27	0,5	5981	3598,1	0,012354	1,15	0,21	1,01	49	67	15	128	284
28	0,5	5880	3597,6	0,003445	1,43	0,23	0,94	3	3	22	37	353
29	0,5	5783	3596,5	0,002779	1,33	0,25	0,85	2	3	14	30	226
30	0,5	5688	3596,2	0,012017	1,14	0,21	0,99	48	64	14	126	273
31	0,5	5571	3595,5	0,00055	0,38	0,42	0,24	1	0	0	0	1
32	0,5	5476	3594,4	0,0124	1,15	0,21	1,01	50	67	15	129	285
33	0,5	5370	3593,5	0,012671	1,16	0,21	1,02	51	69	15	130	295
34	0,5	5265	3592,7	0,003755	0,75	0,27	0,58	10	15	0	41	31
35	0,5	5164	3592,2	0,011899	1,13	0,21	0,99	47	63	13	124	262
36	0,5	5052	3591,5	0,004311	0,79	0,26	0,62	12	18	0	48	41
37	0,5	4955	3590,9	0,012829	1,16	0,21	1,02	52	71	15	131	295
38	0,5	4953	3590,9	0,005304	0,85	0,25	0,68	16	24	1	62	59
39	0,5	4844	3590,2	0,008419	1	0,22	0,84	29	40	6	95	143
40	0,5	4735	3589,5	0,004794	0,83	0,25	0,65	13	19	0	54	52
41	0,5	4715	3589,0	0,009386	0,96	0,24	0,87	41	67	4	119	127
42	0,5	4639	3588,7	0,008527	0,93	0,24	0,83	36	57	3	108	110
43	0,5	4540	3588,0	0,003573	0,69	0,29	0,56	11	18	0	40	22
44	0,5	4439	3587,4	0,012401	1,06	0,23	0,99	61	95	10	148	210
45	0,5	4335	3586,5	0,004176	0,73	0,28	0,6	13	23	0	50	30
46	0,5	4237	3586,0	0,011147	1,03	0,23	0,94	52	81	8	137	185
47	0,5	4134	3585,1	0,002296	0,6	0,31	0,45	6	9	0	19	11
48	0,5	4031	3584,4	0,012491	1,07	0,23	0,99	61	96	10	150	220
49	0,5	3926	3583,8	0,00415	0,73	0,28	0,6	13	22	0	50	30
50	0,5	3831	3583,1	0,011566	1,04	0,23	0,96	55	86	9	141	193
51	0,5	3743	3582,4	0,007208	0,88	0,25	0,77	29	47	1	93	81
52	0,5	3637	3581,6	0,005188	0,79	0,27	0,66	18	31	0	66	45
53	0,5	3530	3580,9	0,007646	0,9	0,25	0,79	31	52	2	99	90

Sección	EJE HIDRÁULICO							ARRASTRE POTENCIA DE SEDIMENTO				
	Caudal	Distancia	Cota de fondo	Pérdida de carga	Velocidad media	Altura normal	Froude	Schocklitsch	M-P y M	Levi	Frijlink	Inglis y Lacey
	[l/s]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m]	[m/m]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]	[Ton/día]
54	0,5	3427	3580,1	0,004016	0,72	0,28	0,59	13	21	0	47	28
55	0,5	3318	3579,5	0,01274	1,07	0,23	1	63	99	10	151	220
56	0,5	3247	3579,0	0,006059	0,83	0,26	0,71	22	38	0	78	59
57	0,5	3219	3578,6	0,012401	1,06	0,23	0,99	61	95	10	148	210
58	0,5	3126	3578,2	0,003602	0,7	0,29	0,56	11	19	0	42	24
59	0,5	3054	3577,2	0,002813	0,64	0,3	0,5	8	12	0	28	15
60	0,5	3052	3577,1	0,012486	1,07	0,23	0,99	61	96	10	150	220
61	0,5	3006	3576,9	0,002685	0,63	0,3	0,49	7	11	0	25	14
62	0,5	2961	3576,4	0,012401	1,06	0,23	0,99	61	95	10	148	210
63	0,5	2719	3575,1	0,003943	0,72	0,28	0,58	12	21	0	47	28
64	0,5	2628	3574,2	0,002287	0,59	0,31	0,45	6	9	0	18	10
65	0,5	2519	3573,3	0,012397	1,06	0,23	0,99	61	95	10	148	210
66	0,5	2502	3573,2	0,005153	0,79	0,27	0,66	18	31	0	66	45
67	0,5	2401	3572,2	0,007459	0,86	0,3	0,78	33	73	0	108	65
68	0,5	2294	3571,0	0,008611	0,92	0,29	0,83	39	85	2	122	91
69	0,5	2205	3570,1	0,009996	0,97	0,29	0,89	47	104	3	137	114
70	0,5	2092	3569,1	0,00402	0,72	0,33	0,59	13	30	0	53	25
71	0,5	1979	3568,0	0,012797	1,08	0,27	1	63	128	9	158	194
72	0,5	1957	3567,9	0,006994	0,85	0,3	0,75	30	66	0	102	62
73	0,5	1867	3567,1	0,006082	0,81	0,31	0,71	24	55	0	87	47
74	0,5	1694	3565,5	0,012591	1,07	0,28	1	61	133	8	158	179
75	0,5	1575	3564,6	0,004478	0,74	0,32	0,62	15	34	0	60	29
76	0,5	1485	3563,7	0,012523	1,07	0,28	0,99	61	132	8	158	180
77	0,5	1380	3562,5	0,00372	0,7	0,33	0,57	11	26	0	47	21
78	0,5	1271	3561,5	0,012523	1,07	0,28	0,99	61	132	8	158	180
79	0,5	1186	3560,6	0,006126	0,81	0,31	0,71	24	56	0	88	47
80	0,5	1073	3559,8	0,012576	1,08	0,28	1	61	132	9	158	186
81	0,5	1010	3559,3	0,004771	0,75	0,32	0,63	17	38	0	65	31
82	0,5	936	3559,0	0,012627	1,08	0,27	1	61	124	9	156	192
83	0,5	516	3558,7	0,004294	0,73	0,32	0,61	14	32	0	57	27
84	0,5	356	3558,4	0,012664	1,08	0,27	1	62	126	9	158	194
85	0,5	234	3557,6	0,007899	0,88	0,3	0,8	35	81	1	115	73
86	0,5	160	3557,0	0,012622	1,07	0,28	1	62	134	8	158	179
87	0,5	0	3556,4	0,00831	0,9	0,3	0,82	37	85	1	118	79