



**Departamento de Biología y Ciencias Ambientales
Facultad de Ciencias**

**DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA DE UNA
“PLANTA DE REVALORIZACIÓN DE AGUAS DE SENTINA”.**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: GUSTAVO RODRIGO DUARTE SEPÚLVEDA

**PROFESOR GUÍA: OCIEL COFRÉ CARVAJAL
Universidad de Valparaíso**

VALPARAÍSO, ABRIL de 2007

A mi familia...

A mi mamá **L**aura por su incondicional apoyo y por mostrarme siempre que para lograr las cosas importantes hay que esforzarse más, a mi padre **G**ustavo por su comprensión, creer en mis decisiones y mostrarme la belleza de la ingeniería “crear y reinventar”, a mi hermana **M**acarena por mostrarme que la humildad y el emprendimiento pueden ir de la mano, a mi hermano **J**uan **P**ablo por darme una lección de entrega y disciplina, a mi hermano **D**aniel por su cariño incondicional y contagiarme de una alegría de infancia.... y a la memoria de mi abuela **G**echo que espero que esto no solo sea un proyecto de ingeniería, sino que un pequeño granito de arena para ayudar a descontaminar las aguas de tus tierras y que muchos niños puedan jugar y disfrutar a la orilla del mar como en aquellas bellas tardes de mi infancia...

Agradecimientos:

Dar gracias es recordar una entretenida historia llena de aventuras, alegrías y muy pocas penas, así fue mi vida universitaria llena de momentos felices y marcada por muchos kilómetros recorridos ya fuese en bus, auto, tren, avioneta, camión e incluso en buques de la armada... así fuimos conociendo Chile y un poco más.

Hay que recordar que mi vida universitaria no empezó en Valpo. y sin duda debo agradecer a mi tía Tere y a Juan Antonio por recibirme en su casa, a Naty, Consuelo, Clau, Marce y mi gran amigo Julio por ese año en Santiago, pero a mi llegada al puerto no estaba solo ya que fui muy bien recibido por mis buenos amigos y compañeros de los Maristas de Curicó Macana, Jaime, chico Alcaíno, Marcelo, mi gran amigo Tomas y muchos otros, además nuevos amigos Claudia y Carlos, que no sólo fueron buena compañía sino una poderosa red de apoyo y sin duda a la Ale quien me esperaba siempre con cariño a mi regreso a Curicó. Los campamentos de Gestas que los veranos me llenaban de alegría para volver nuevamente a la U con divertidas historias junto a mis amigos David, Marietta y Ale o viajes a la isla con mi amigo Pancho, como olvidar ese entretenido año en Placeres con mi buen amigo Dennis, o un gran año viviendo con mi amiga del alma Maca y la compañía de Djanira quien no solo me entregó amor sino que me dio una lección de amistad al recibirme de muy buena forma a mi llegada a la U de Valpo. y si es de buenos recuerdos el depto. 43 marcó un hito con mi buen amigo Roy y mi amigo y padrino Ricardo, así comenzó mi vida en la U de Valpo. con la buena compañía de mis amigotas Maca, Melina y por supuesto a la Kitty una amiga que marco mi vida en Viña, con ellas viajé, nos reímos y creamos muchas cosas, fueron amigas de la U pero hoy amigas para siempre... a todos mis buenos amigos y compañeros de U a la Dani, al Seba por su buena ayuda, José Pedro, Feña, Leslie, Andrea, Danary, la Jose, Cristian, Barbarita, Gloria, las Cotes, Paulina, Anlleni, Olga, Dani M., Andrés, Alex, Eduardo y los Nicos, no puedo dejar de mencionar a la Paulita quien me entregó su compañía y uno de los años más lindos de mi vida, a la Coni que me mostró realmente Valparaíso, a mi amigaza Andy y mi buena amiga Loreto, también hay un gran momento con la llegada de Pedro y Sara quienes con sus ganas de conocer, me hicieron reencontrarme con mi alma viajera y conocer mas de mi Chile y a la Polin, claramente recordar a mis buenos amigos del Valparaíso Cricket Club especialmente a Raulete quienes no se negaron a recibir al único "huaso" que quería jugar hockey o a las buenas amigas de Old Mack`s Maca, Belén, Luz, Moty y todas en general con quien compartí grandes momentos y casi me hicieron viñamarino, y una mención a Eduardo y su familia quienes en Viña me hicieron sentir como en casa.

Agradecer a la Universidad, a sus profesores especialmente a Ociel por su constante apoyo y ayuda, a la profesora Portal, al profesor Neulin y con afecto al profesor Luís López, a sus administrativos y personal en general en quienes siempre encontré una mano de apoyo.

Muchas gracias a mi familia, mis padres y mis hermanos, a mis tíos Teresa, Magdalena, Luís, Luly y Juano y sus familias, a mis primos, a mis abuelas Rebeca y Gecho y a Don Alejandro Ilica por darme la oportunidad de crear un proyecto real.

Muchas gracias a todos por ser parte de mi vida, siempre serán parte de muy buenos recuerdos, siempre serán parte de mí.

RESUMEN

Los puertos de la V Región San Antonio y Valparaíso, son los que poseen el mayor tráfico naviero mercante de Chile, junto con ofrecer los servicios tradicionales de puerto deben recibir los diversos residuos provenientes de las operaciones de las embarcaciones, los cuales deben tener una correcta disposición y tratamiento según corresponda. Entre los diversos residuos se encuentran las **“aguas de sentina”** las cuales por su alto contenido de hidrocarburos son fuente de contaminación en el mar por descarga directa o en tierra por una inadecuada disposición, pero por este alto contenido de hidrocarburos en el residuo tiene un gran potencial de revalorización.

Las aguas de sentina están compuestas principalmente por agua de mar utilizada para la limpieza de la sala de maquina, agua del sistema de enfriamiento de motores de las embarcaciones y el excedente de combustible en la etapa de inyección de los motores diesel de los barcos, esta mezcla se almacena en la sección de la embarcación llamada sentina, motivo por el cual recibe este nombre el residuo.

La propuesta de este trabajo es desarrollar el diseño de una planta de revalorización de aguas de sentina, es decir generar un tratamiento para un residuo líquido originado en la operación de los barcos, proceso que tiene como finalidad obtener un combustible alternativo con características similares al fuel oil Nº 6 y evaluarlo como Proyecto de Inversión, desde un punto de vista técnico y económico.

Con este proyecto se espera solucionar la problemática de la disposición de las aguas de sentina de la V región, evitando la contaminación con hidrocarburos de las naves por malas prácticas en su disposición, potenciar los servicios no tradicionales de los puertos de la región de Valparaíso y dotar al mercado local de un combustible de buena calidad proveniente de un proceso de revalorización de un residuo.

ÍNDICE GENERAL

Introducción.....	1
Procesos de separación para revalorización de aguas de sentina.....	10
Marco legal.....	12
Estudio de mercado, capacidad y ubicación de la planta.....	29
Selección de proceso.....	37
Balances de material y energía.....	42
Diseño y selección de equipos.....	44
Organización de la planta: distribución de equipos, programa de proceso y manejo de residuos sólidos.....	71
Evaluación económica.....	82
Discusiones y conclusiones.....	91
Bibliografía.....	94
Anexos.....	96

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Contenido de agua de sentina.....	7
Tabla 2: Resultado de análisis de agua de de sentina.	8
Tabla 3: Resultado de análisis combustible alternativo por tratamiento de revalorización térmico.	8
Tabla 4: Resultado de análisis aguas libres.	9
Tabla 5: Limites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales.....	25
Tabla 6: Limites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral.	27
Tabla 7: Límites máximos permitidos según actividad económica CIUU 35301 “refinería de petróleo”, para descargas de efluentes que se efectúen a redes de alcantarillado.	28

ÍNDICE FIGURAS Y DIAGRAMAS

Figura 1: Esquema simplificado de un sistema de retención de residuos oleosos en un yate.	1
Figura 2: Mapa de V región de Valparaíso.....	33
Figura 3: Zonas Industriales de San Antonio.....	34
Figura 4: Zona Industrial Aguas Buenas	35
Diagrama 1: Proceso de revalorización sección recuperación combustible.....	40
Diagrama 2: Proceso de revalorización sección tratamiento de aguas residuales.....	41
Diagrama 3: Balance de materia general	44
Figura 5: Calandria Clásica tubo en L y Calandria Modificada.....	46

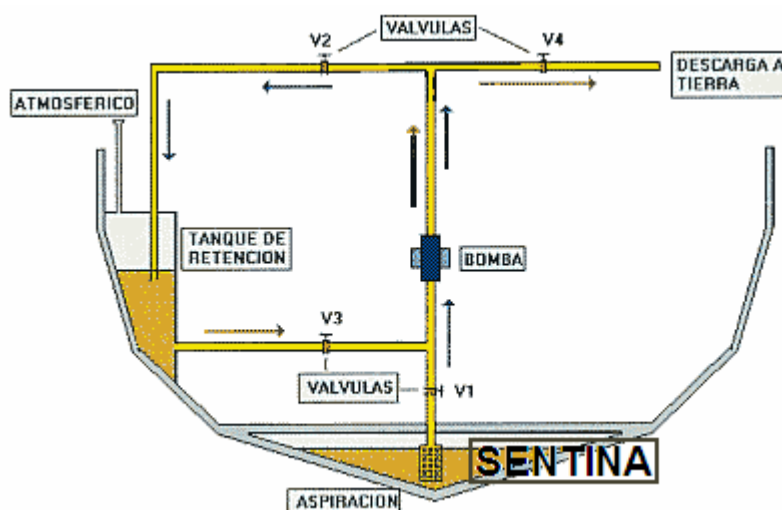
ÍNDICE PLANOS

Plano 1: Rampa de camión.	64
Plano 2: Piscina y pozos	65
Plano 3: Piscina de separación tripartita	66
Plano 4: Estanque de separación conico.	67
Plano 5: Estanques de acumulación	68
Plano 6: Calndria.....	69
Plano 7: Estanques de separción conico con bandeja.	70
Simbología de planos	73
Plano 8: Planta de revalorización	74
Plano 9: Recepción y carga.....	75
Plano 10: Planta de recuperación de combustible.	76
Plano 11: Planta de tratamiento de aguas residuales	77

INTRODUCCIÓN

Todas las embarcaciones marítimas producen desechos contaminantes, en proporción a su volumen, entre los desechos, existe uno que es común en todas las embarcaciones; las **aguas de sentina**, compuestas principalmente por agua e hidrocarburos.

El funcionamiento del sistema de combustión de los motores en embarcaciones marítimas, trabaja con combustible caliente en el sistema de pistones, cuando se hace la combustión en el motor solo se ocupa una parte del petróleo que esta en las cavidades del motor, el resto del combustible no puede ser devuelto al estanque principal, ya que se encuentra caliente y contaminado, por lo tanto debe acumularse en estanque auxiliar llamado “**sentina**” (Figura 1).



Fuente: www.pescamarina.com

Figura 1: Esquema simplificado de un sistema de retención de residuos oleosos en un yate.

Todas las embarcaciones deben retirar estos desechos líquidos, en cualquier puerto autorizado para recibir aguas de sentina, ya que esta prohibido verterlas al mar conforme a las disposiciones establecidas en el convenio Marpol 73/78, la Ley de Navegación, y los reglamentos que regulan la seguridad en el transporte y controlan la contaminación por hidrocarburos.

Los barcos mercantes pueden acumular desde 30 toneladas hasta 120 toneladas de aguas de sentina¹.

Para que un puerto autorice el retiro de aguas de sentina desde alguna embarcación, se debe poseer la infraestructura necesaria para la descarga y para el tratamiento de los líquidos, en la cual se permita separar el agua de los hidrocarburos y eliminar los residuos².

En este trabajo se diseñará una planta de revalorización de aguas de sentina, se evaluará como Proyecto de Inversión, desde un punto de vista técnico y económico, orientado a crear una empresa para el retiro y procesamiento de aguas de sentina, a través de una asociación con una persona que posee la experiencia y autorizaciones necesarias para desarrollar esta actividad.

¹ Anexo III: Entrevista Encargado medio ambiente, Gobernación Marítima, Valparaíso.

² Convenio Marpol 73/78, regla 12 anexo primero.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los barcos en sus operaciones generan diversos residuos entre los que se encuentran las aguas de sentina, estas contienen un alto porcentaje de hidrocarburos, componente que las hace altamente contaminantes, por lo cual no deben ser descargadas al mar sin un previo tratamiento.

Chile y especialmente la V Región de Valparaíso en la que se encuentran grandes puertos con un alto tráfico de barcos mercantes, no cuenta con una planta de tratamiento adecuada en capacidad y tecnologías limpias, dado el alto volumen generado por los barcos que recalán en la zona y el volumen de aguas residuales generadas producto de la revalorización de las aguas de sentina.

El desafío de este proyecto es generar el diseño de una planta de revalorización de agua de sentina, que solucione de forma integral el problema generado por este residuo, es decir separar el agua de los hidrocarburos, revalorizar el hidrocarburo en un combustible alternativo, tratar el agua y descargarla con los parámetros adecuados al medio.

OBJETIVOS:

Los principales objetivos que se lograrían con la creación de esta empresa son:

- Rentabilizar la inversión de los inversionistas.
- Crear una empresa que se dedique en forma profesional al retiro y reconversión de desechos de sentina.
- Prestar un servicio de calidad y con estándares internacionales de seguridad, en el manejo de combustibles, de acuerdo a la legislación marítima y ambiental nacional como la legislación en tratados internacionales.
- Hacer un uso eficiente de los recursos materiales y humanos, tanto en la recolección como en el tratamiento del residuo “aguas de sentina”.
- Crear fuentes de trabajo permanente en la V Región.

VENTAJAS COMPETITIVAS:

- Ser un país marítimo, dada su geografía, lo que permite tener acceso a una gran cantidad de barcos para efectos de obtener desechos de sentina.
- Contar con uno de los socios que conoce el negocio y los procesos operativos y técnicos (don Alejandro Ilica N, Empresario Ilica Slude Removel Service).
- Alta demanda por el retiro de aguas de sentina por parte de los Barcos.
- Alta demanda por la compra del petróleo N° 6, obtenido del procesamiento de las aguas de sentina.
- Costos de operación bajos, lo que permite ofrecer el combustible alternativo a un precio muy competitivo.
- Proceso productivo, que a revalorizar y tratar sus aguas residuales ayuda a descontaminar el medio ambiente.

ANTECEDENTES GENERALES

Las aguas de sentinas, son eliminadas al mar, provocando con ello una seria contaminación por hidrocarburos. En Chile la regulación y control de este tipo de vertimientos, se basa principalmente en los Convenio Marpol, el Convenio de Londres, la Ley de Navegación, y en los Reglamentos sobre contaminación acuática, y de seguridad para el almacenamiento, refinación, transporte y expendio público de combustibles líquidos derivados del petróleo. En materia internacional la polución de los océanos es fuertemente regulada. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Unidad de Apoyo al Proceso Lesgilativo, 2004)

GENERACIÓN

El sistema de enfriamiento de motores de los buques, consiste en que las cajas de agua de mar (cajas de mar), carguen agua salada para el enfriamiento de motores o calderas, la que cae finalmente a las sentinas (depósitos o estanques), mezclándose con restos de aceite y combustible.

FUENTE DE CONTAMINACIÓN

El proceso por el cual se eliminan las aguas de sentinas al mar, se denomina achique, que se realiza cada cierto lapso de tiempo durante la navegación, y la gravedad de estos achiques, consiste en el nivel de contaminantes que contienen estas aguas que son devueltas al mar.

En el marco del Convenio Marpol, en la actualidad las sentinas están siendo reemplazadas por estanques retenedores, que almacenan estas aguas para finalmente ser entregadas en el puerto. El daño provocado por el achique de las aguas de sentinas, tiene que ver directamente con la contaminación marítima por hidrocarburos.

En este contexto, Francisco Pizarro(2000)³ sostiene que los efectos de la contaminación incluyen “destrucción de peces comerciales, muerte de aves marinas, daño a la flora y fauna, reducción del contenido de oxígeno del agua de mar e interferencia con la navegación y la pesca”, y es el transporte el que aporta la mayor cuota de contaminación a través de las operaciones rutinarias de los buques como son el lavado de estanques, las descargas de residuos, las aguas de sentinas de las salas de bombas, y de las salas de máquinas, conexión y desconexión de flexibles, operaciones de combustibles (rancho), etc., lo que representa “aproximadamente un 97% de toda la contaminación por hidrocarburos que tiene su origen en los buques”.

Finalmente, en Chile la Dirección de Territorio Marítimo, realiza exploraciones aeromarítimas periódicas, con el objeto de controlar los achiques de los buques en la zona costera nacional.

³ Director Liga Marítima de Chile. “Prevención de la contaminación desde los buques”. Exposición preparada para la XVII Asamblea de FIDALMAR, realizada en Río de Janeiro, Brasil en mayo de 2000.

COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS DE SENTINA.

Las aguas de sentina al ser descargadas en los puertos contiene un volumen hidrocarburos de un 50%, con aguas libres en un 30%, el resto del agua contenido en emulsiones y con un porcentaje de impureza bajo el 1%, estos porcentajes son estimativos y muy variables ya que entre distintos barcos puede fluctuar en un alto porcentaje el contenido de hidrocarburos, llegando en algunos casos a contener un 90% de volumen de hidrocarburos y rara vez un porcentaje menor al 50%.

Tabla 1: Contenido de agua de sentina.

Contenido	% en volumen (Aproximado)
Hidrocarburos	50%
Aguas libres	30%
Aguas en emulsión e interfase	20%
Impurezas	<1%

Fuente: Alejandro Ilica Neira, empresario y jefe de planta de tratamiento de agua de sentina, San Antonio Chile.

Aguas libres, aguas en emulsión e interfase: Agua de mar ocupadas principalmente para la limpieza en la sala de maquinas y sistemas de enfriamiento de las embarcaciones.

Hidrocarburos: los hidrocarburos son principalmente Diesel Marino del excedente de inyección a los motores de las embarcaciones.

Tabla 2: Resultado de análisis de agua de de sentina⁴.

Norma	Descripción	Unidad	Resultados
ASTM D482	CENIZAS	% m/m	1.66
ASTM D95	AGUA	% v/v	42.4
ASTM D1796	AGUA Y SEDIMENTOS	% v/v	46.0
ASTM D-473	SEDIMENTOS POR EXTRACCIÓN	% m/m	1.08

Fuente: análisis de agua de sentina muestreado en estanque de materias primas de Ilica Slude Removal Service, San Antonio, Chile, 31 de Octubre de 2006. Código Informe: 265226/06-P, Laboratorio INSPECTORATE GRIFFITTH (CHILE), Acreditación LE 103 según NCH-ISO 7025.

Tabla 3: Resultado de análisis combustible alternativo por tratamiento de revalorización térmico⁵.

Norma	Descripción	Unidad	Resultados
pHmeter	pH a 20°C	upH	6.0
ASTM D482	CENIZAS	% m/m	4.62
ASTM D95	AGUA	% v/v	0.10
ASTM D1796	AGUA Y SEDIMENTOS	% v/v	5.3
ASTM D-473	SEDIMENTOS POR EXTRACCIÓN	% m/m	1.73
ASTM D-129	AZUFRE	% m/m	1.98
ASTM D-1298	GRAVEDAD ESPECIFICA, 60/60°		0.9509
ASTM D-1298	DENSIDAD, 15°C	Kg/m ³	950.4
ASTM D-93	PUNTO DE INFLAMACIÓN, PMCC	°C	109.5
ASTM D-3605	CADMIO	ppm	<0.01
ASTM D-3605	CROMO	ppm	0.95
ASTM D-3605	ZINC	ppm	222
ASTM D-3605	PLOMO	ppm	10.6
EAA-FIAS	ARSÉNICO	ppm	1.61
EAA-FIAS	MERCURIO	ppm	1.70
EGC-ECD	BIFENILO POLICLORADOS, PCBs	ppm	<2

Fuente: análisis combustible alternativo muestreado en estanque de producto terminado de Ilica Slude Removal Service, San Antonio, Chile, 31 de Octubre de 2006. Código Informe: 265226/06-P, Laboratorio INSPECTORATE GRIFFITTH (CHILE), Acreditación LE 103 según NCH-ISO 7025.

⁴ Anexo I copia del informe del análisis del agua de sentina.

⁵ Anexo II copia del informe del análisis del combustible alternativo.

Tabla 4: Resultado de análisis aguas libres⁶.

Parámetros	Código de Identificación de la Norma	Unidad	Resultados
Ph	NCh 2313/1 Of 1995	Unidad	7,39
Sólidos Suspendidos	NCh 2313/3 Of 1995	mg/L	83,00
Sulfatos	NCh 2313/18 Of 1997	mg/L	51,04
Sulfuros	NCh 2313/17 Of 1997	mg/L	0,051
Temperatura	NCh 2313/2 Of 1995	°C	26,50
Nitrógeno Amoniacal	NCh 2313/16 Of 1997	mg/L	25,12
DBO ₅	NCh 2313/5 Of 2005	mg/L	2626,3
Hidrocarburos Totales	NCh 2313/7 Of 1997	mg/L	11,00

Fuente: análisis aguas libres muestreado en piscina de acopio de Ilica Sludge Removal Service, San Antonio, Chile, 03 de Enero de 2007. Código Informe: N° 087/06, Laboratorio INSPECTORATE GRIFFITH (CHILE), Acreditación LE 103 según NCH-ISO 7025.

⁶ Anexo IX copia del informe aguas libres.

PROCESOS DE SEPARACIÓN PARA REVALORIZACIÓN DE AGUAS DE SENTINA

Es importante señalar que existen diferencias entre los procesos de *revalorización* y de *tratamiento* de un residuo, ya que revalorizar cuenta con dos etapas, una de recuperación de materia o energía y un posterior tratamiento a los residuos generados en el proceso, por tanto es darle un valor económico a través de un proceso a un residuo, en el caso de las aguas de sentina busca separar el agua del hidrocarburo con procesos que no comprometan la calidad del hidrocarburo para poder ser utilizado como combustible, por tanto se evita la adición de químicos y microorganismos en la primera etapa, que son parte importante de un proceso de tratamiento que busca reducir y estabilizar el residuo para que este no contamine el cuerpo receptor pos tratamiento.

Los tres métodos más utilizados para la separación para la revalorización de las aguas de sentina, en agua y combustibles son los siguientes:

- Separación por gravedad.
- Centrifugado.
- Evaporación no presurizada.

Estos tres métodos pueden ser utilizados individualmente o en combinación ya que tienen distintos niveles de efectividad, complejidad tecnológica, gastos asociados a operaciones y a inversión inicial para adquirir los equipos.

Separación por gravedad: Un estanque o piscina de separación es usado para separar líquidos que tienen diferentes densidades. El líquido menos denso flota en la superficie del líquido más denso, y el líquido más denso es extraído desde el fondo de esta. Al principio el combustible y el agua están mezclados, pero después de un tiempo el combustible flota en la superficie del agua porque el combustible es menos denso que el agua. La separación de una dispersión gruesa

de residuos de sentina ocurre entre las 12 y 24 horas de separación gravitatoria, y normalmente se pueden observar tres fases. Una fase oleosa con alto contenido de hidrocarburos (80%-100%), una fase acuosa con gotas de hidrocarburos menores de 50 μm y contenido de hidrocarburos que varía entre 100 y 1000 ppm. y en algunos casos una tercera fase de lodos oleosos⁷.

Centrifugado: Este proceso se lleva a cabo con una centrífuga, que es una maquina que separa el agua del combustible por acción de la fuerza centrífuga, al hacer girar la mezcla, descargando por abajo el agua por ser más pesada y por arriba el combustible por ser más liviano que esta. Para este proceso se ocupa una centrífuga de disco que consiste en una pila de discos delgados en forma de conos. La sedimentación toma lugar en dirección radial en el espacio entre los conos adyacentes. La centrífuga tipo disco usualmente opera en forma continua. Estas centrífugas son usadas para separación de líquidos en los cuales el sólido o componentes inmiscibles que están en bajas concentraciones.

Evaporación no presurizada: Con una calandria u horno de calentamiento de combustible, se calienta la mezcla, el agua al tener menor punto de ebullición que el combustible se evapora primero, de esta forma se elimina de la mezcla el porcentaje de agua. Existen diversas calandrias para calentar combustible siendo la más clásica la de tubería en L de bajo rendimiento y dificultoso mantenimiento, por lo que para un proceso industrializado se debe rediseñar con el objetivo de mejorar su rendimiento aumentando su área de transferencia de calor y mejorar características de mantención.

⁷ Desarrollo de reactores de biofilm para tratamiento continuo de aguas contaminadas con hidrocarburos provenientes de residuos de sentina de buques, www.medioambiente.gov.ar/archivos/web/PCCGDBM/File/A-C-31.pdf.

MARCO LEGAL

El marco legal que le da sustento al proyecto esta basado en la obligatoriedad de las embarcaciones de descargar en los puertos las aguas de sentina, que son la materia prima para el proceso de revalorización, en cuanto al desarrollo del proyecto éste debe contar con la tramitación de la Declaración de Impacto Ambiental ante la autoridad, y debe cumplir con la normativa de descarga para los residuos generados en el procesos productivo.

NORMATIVA NACIONAL SOBRE CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS EN EL MAR.

La legislación nacional regula en principio, adecuadamente la contaminación provocada por el derrame de las aguas de sentinas, siendo la Dirección de Territorio Marítimo (Directemar) la entidad encargada de hacer cumplir las normas a este respecto. En este sentido, Chile se rige principalmente a través de la ratificación de los convenios internacionales que imponen restricciones a la contaminación marina, la Ley de Navegación, y los reglamentos que regulan la seguridad en el transporte y controlan la contaminación por hidrocarburos.

1. Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por Buques, MARPOL 73/78 enmendado, con Protocolo 1978 y Protocolo de 1997.

Este Convenio entró en vigor internacional el 2 de octubre de 1983, y en Chile el 4 de mayo de 1995, promulgado por D.S. N° 1689 del Ministerio de Relaciones Exteriores. Su objetivo “es imponer restricciones a la contaminación del mar, la tierra y el aire que pueda generar un buque. Abarca todos los aspectos técnicos de la contaminación procedente de los buques, excepto el vertimiento de desechos en el mar”⁸.

⁸ Directemar.

De acuerdo a lo expresado por la Directemar, el Gobierno de Chile no acepta el Anexo Facultativo V del Convenio, de conformidad con lo dispuesto en el N° 1 del artículo 14 del mencionado Convenio, en que se declara, que los Estados podrán aceptar o no los anexos II, IV y V, denominados anexos facultativos.

A reserva de lo anterior, las Partes en el convenio quedarán obligadas por cualquiera de los Anexos en su totalidad. La Directemar, nos entrega una breve explicación sobre el convenio⁹:

El MARPOL 73/78 constituye una combinación de otros dos tratados adoptados en 1973 y 1978, respectivamente. Si bien es actualmente un solo instrumento, se describe bajo dos encabezamientos para mostrar cómo se desarrolló. Pese a las medidas ya adoptadas por la Organización Marítima Internacional para hacer frente a la contaminación por hidrocarburos, las trascendentales novedades surgidas en las prácticas industriales modernas hicieron pronto patente la necesidad de adoptar otras medidas.

En consecuencia, la Asamblea de la Organización Marítima Internacional decidió, en 1969, convocar una conferencia internacional que elaborase un acuerdo internacional para imponer restricciones a la contaminación del mar, la tierra y el aire por los buques. El Convenio fue adoptado en noviembre de 1973. Abarca todos los aspectos técnicos de la contaminación procedente de los buques, excepto el vertimiento de desechos en el mar, y se aplica a todos los tipos de buques, aunque no es aplicable a la contaminación resultante de la exploración y explotación de los recursos minerales de los fondos marinos.

El Convenio tiene dos protocolos que tratan, respectivamente, de los informes sobre sucesos relacionados con sustancias perjudiciales y del arbitraje, y cinco anexos que contienen reglas para la prevención de las diversas formas de

⁹ http://www.directemar.cl/dai/convenios_int/conv_omi/Estado_conv4.htm

contaminación, habiéndose aprobado el 26 de septiembre de 1997 el Anexo 6 que aún no entra en vigor, los Anexos tratan sobre:

- Contaminación por hidrocarburos.
- Contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel.
- Contaminación por sustancias perjudiciales transportadas en paquetes, contenedores, etc.
- Contaminación por las aguas sucias de los buques.
- Contaminación por las basuras de los buques.
- Para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques.

La Conferencia internacional sobre seguridad de los buques tanque y prevención de la contaminación, celebrada del 6 al 17 de febrero de 1978, tuvo como resultado la adopción de una serie de medidas importantes, incluidos los protocolos a los Convenios SOLAS¹⁰ y MARPOL 1973. La Conferencia decidió que el Protocolo relativo al Convenio SOLAS fuera un instrumento independiente y que entrará en vigor después de que lo hiciera el Convenio.

En cambio, en el caso del MARPOL, la Conferencia adoptó un método distinto. En aquellos momentos, los principales problemas que impedían que el Convenio MARPOL fuera ratificado pronto eran los relacionados con el Anexo II.

Los cambios previstos por la Conferencia se referían principalmente al Anexo I y, en consecuencia, se decidió adoptar los cambios acordados, al tiempo que se permitía a los Estados Contratantes diferir la implantación del Anexo II hasta tres años después de la entrada en vigor del Protocolo (es decir, hasta el 2 de octubre de 1986). Se esperaba que para entonces habrían quedado resueltos los problemas técnicos.

¹⁰ Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974

El Protocolo introduce una serie de modificaciones en el Anexo I del Convenio. Prescribe tanques de lastre separado para todos los buques tanque nuevos de peso muerto igual o superior a 20.000 toneladas (en el Convenio original, dichos tanques se prescribían únicamente para los buques tanque nuevos de peso muerto igual o superior a 70.000). El Protocolo también dispone que los tanques de lastre separado estén situados de tal manera que contribuyan a proteger los tanques de carga en caso de abordaje o varada.

Otra innovación importante es la relativa al lavado con crudos, método que había sido recientemente perfeccionado por la industria petrolera y ofrecía grandes ventajas. El procedimiento de lavado con crudos consiste en lavar los tanques no con agua, sino con crudos de hidrocarburos, es decir, con la propia carga. Dicho método es aceptado en vez de los tanques de lastre separado para los buques tanque existentes, pero constituye una prescripción adicional para los buques tanque nuevos.

Se ofrecía a los petroleros existentes para crudo una tercera opción durante un período de dos a cuatro años, a contar desde la fecha de entrada en vigor del MARPOL 73/78. Se trata de los tanques dedicados a lastre limpio, sistema por el que ciertos tanques se dedican exclusivamente al transporte de agua de lastre. Este método es más económico que un sistema completo de tanques de lastre separado porque utiliza tuberías y bombas existentes, pero cuando expire el período de gracia habrá que emplear otros sistemas. El Protocolo también modifica las instalaciones de drenaje y descarga, introduciendo reglas para mejorar los sistemas de agotamiento final de la carga.

2. Convenio Internacional sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias

Conocido como el Convenio de Londres, fue aprobado en dicha ciudad el 13 de noviembre de 1972, entrando en vigor internacional el 30 de agosto de 1977, y

aprobado por Chile a través del Decreto Ley N° 1.809 de 1977 del Ministerio de Relaciones Exteriores. A través de este convenio, los Estados partes, promueven individual y colectivamente el control efectivo de todas las fuentes de contaminación del medio marino y se comprometen especialmente a adoptar todas las medidas posibles para impedir la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias que puedan constituir peligro para la salud humana.

Durante el año 1996 se aprobó un Protocolo a este Convenio, el cual, una vez que entre en vigor, reemplazará al Convenio original.

La Directemar sostiene que “este Convenio tiene carácter mundial y contribuye al control y la prevención internacionales de la contaminación del mar. Prohíbe el vertimiento¹¹ de ciertos materiales potencialmente peligrosos, exige un permiso previo especial para el vertimiento de una serie de materiales determinados y un permiso general previo para otros desechos o materias.

No obstante, quedan excluidos de la definición los desechos derivados de la exploración y explotación de los recursos minerales del fondo marino. Tampoco se aplicarán las disposiciones del Convenio cuando sea necesario garantizar la seguridad de la vida humana o de los buques en casos de fuerza mayor.

Entre otras prescripciones, las Partes Contratantes se comprometen a designar una autoridad que se encargue de expedir permisos, llevar registros y vigilar las condiciones del mar.

Otros artículos tienen por objeto promover la cooperación regional, particularmente en las esferas de la monitorización y de la investigación científica. Los criterios que rigen la expedición de esos permisos se establecen en un tercer anexo, que se

¹¹ Se ha definido el vertimiento como toda evacuación deliberada en el mar de desechos u otras materias efectuada desde buques, aeronaves, plataformas u otras construcciones, así como toda evacuación deliberada de esos propios buques o plataformas.

refiere a la naturaleza del material de desecho, las características del lugar de vertimiento y el método de evacuación”¹².

3. Ley de navegación. (DL N° 2222 de 1978)

Es la Ley de Navegación, DL N° 2222 publicada el 31 de mayo de 1978, la que establece los lineamientos generales respecto a la contaminación de las aguas marinas. De este modo, el Título IX, Párrafo 1, se refiere específicamente a la contaminación por derrame de Hidrocarburos y otras sustancias nocivas, recalcando que Chile se rige en estas materias por los Convenios internacionales antes descritos.

De este modo, el artículo 142 de la Ley, prohíbe absolutamente, entre otras, arrojar cualquier tipo de derivado del petróleo, o aguas que contengan materias nocivas o peligrosas de cualquier especie, que ocasionen daños en las aguas sometidas a jurisdicción nacional. La autoridad responsable de cautelar la ley es la Dirección de Territorio Marítimo.

4. Reglamento para el control de la contaminación Acuática (Decreto N° 1, 6 de enero de 1992)

Este Reglamento, del Ministerio de Defensa Nacional, “establece el régimen de prevención, vigilancia y combate de la contaminación en las aguas del mar, puertos, ríos y lagos sometidos a la jurisdicción nacional”, determinando entre otras cosas: las condiciones para las descargas de las aguas de sentinas no contaminadas con hidrocarburos (artículo 32); las disposiciones que deberán cumplir los que realicen achique aguas de sentinas de los espacios de máquinas (artículo 79), prohíbe la descarga de hidrocarburos o de mezclas oleosas, a toda nave o artefacto naval, en aguas interiores, puertos y canales, salvo que se trate

¹² http://www.directemar.cl/dai/convenios_int/conv_omi/Estado_conv25.htm

exclusivamente de descargas de aguas de las sentinas de los espacios de máquinas, no contaminadas con hidrocarburos (artículo 36).

5. Reglamento de seguridad para el almacenamiento, refinación, transporte y expendio público de combustibles líquidos derivados del petróleo. (Decreto N° 90, de 2 de febrero de 1996)

Este Reglamento, del Ministerio de Economía, tiene por objeto fijar los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las instalaciones de combustibles líquidos derivados del petróleo, como también los requisitos mínimos de seguridad que se deben observarse en las operaciones que se realicen con dichos combustibles, con el fin de resguardar a las personas y los bienes, y preservar el medio ambiente (Capítulo I. Generalidades). Algunos de los requisitos mínimos de seguridad exigidos son:

- Toda instalación de Combustible Líquido debe cumplir con los requisitos que establece el "Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales mínimas en los lugares de trabajo" aprobado por el Decreto Supremo N° 78, de 1983, del Ministerio de Salud.
- Al disponerse de más de un estanque en la zona estanca, deben colocarse subdivisiones entre los estanques individuales o grupos de estanques, de tal manera que no sobrepasen un volumen total de almacenamiento de 8.000 m³. Las subdivisiones deberán encerrar un volumen, a lo menos, igual al 10% del volumen del mayor estanque interior.
- No debe almacenarse ningún tipo de materiales ni envases de combustibles, llenos o vacíos, dentro de las zonas estancas de seguridad.
- El estanque de almacenamiento de agua deberá quedar ubicado en el exterior de los muros de contención de los estanques de combustibles.
- Asimismo, las tuberías y válvulas para el agua deberán quedar fuera de dichos muros.

LEGISLACIÓN COMPARADA¹³

Es importante hacer una revisión de la legislación de países mas desarrollados industrialmente, con normativas más precisas y exigentes sobre este tema, ya que se pueden utilizar como ejemplo para formar una legislación propia. Son por estas razones que estudiar los casos de España país perteneciente a la Unión Europea por lo cual debe cumplir la legislación comunitaria, es un buen ejercicio para desarrollar un marco legal el cual busque proteger nuestras costas de la contaminación por hidrocarburos.

La polución de los océanos por contaminantes como los hidrocarburos, principal fuente de desechos de los buques, es regulada profusamente por la normativa internacional, experiencia que se repite en la legislación comunitaria de la Unión Europea y en la legislación nacional de España.

1. Normativa internacional vigente sobre contaminación por hidrocarburos.

- Convenio sobre prevención de la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos, de 12 de mayo de 1954, con Enmiendas de 1962 y de 21 de octubre de 1969.
- Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques, de 2 de noviembre de 1973 (Convenio MARPOL) Protocolo de Londres de 17 de febrero de 1978 y Enmiendas posteriores.
- Convenio de Oslo para la prevención de la contaminación marina provocada por vertidos desde naves y aeronaves, de 15 de febrero de 1972 (con Protocolo de Enmiendas de 2 de marzo de 1983).
- Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias, hecho en Londres el 29 de diciembre de 1972.

¹³ <http://www.webmedioambiente.com/mambfr/ptg/ptg02.htm>

- Convenio Internacional sobre responsabilidad e indemnización de daños en relación con el transporte marítimo de sustancias nocivas y potencialmente peligrosas, 1996 (Convenio SNP).
- Convenio Internacional sobre cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos, hecho en Londres, 30 de noviembre de 1990.
- Convenio Internacional sobre responsabilidad civil por daños causados por la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos, Bruselas 29 de noviembre de 1969.
- Convenio Internacional de constitución de un Fondo Internacional de indemnización de daños causados por la contaminación de hidrocarburos, Bruselas 18 de diciembre de 1971.

2. Normativa Comunitaria

- Reglamento (CE) N° 1726/2003, del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de julio de 2003, por el que se modifica el Reglamento (CE) N° 417/2002 relativo a la introducción acelerada de normas en materia de doble casco o de diseño equivalente para petroleros de casco único. (DOCE N° 249 de 01/10/2003).
- Directiva 76/464/CEE del Consejo, de 4 de Mayo de 1976, relativa a la Contaminación causada por determinadas Sustancias Peligrosas vertidas en el Medio Acuático de la Comunidad (DOCE 129/L, de 18-05-76).
- Decisión del Consejo 86/85/CEE, de 6 de Marzo de 1986, por la que se establece un sistema comunitario de información para el control y la disminución de la contaminación causada por el vertido de hidrocarburos y de otras sustancias peligrosas en el mar o en las aguas interiores (DOCE 77/L, de 22-03-86).
- Decisión del Consejo 88/346/CEE, de 16 de Junio de 1988, por la que se modifica la Decisión 86/85/CEE por la que se establece un sistema comunitario de información para el control y la disminución de la contaminación causada

por el vertido de hidrocarburos y de otras sustancias peligrosas en el mar (DOCE 158/L, de 25-06-88).

- Reglamento (CEE) N° 2158/93 de la Comisión, de 28 de Julio de 1993, relativo a la aplicación de las enmiendas al Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar y del Convenio internacional para la prevención de la contaminación por los buques 1973, a efectos de aplicación del Reglamento (CEE) N° 613/91 del Consejo (DOCE 194/L, de 03-08-93).
- Directiva 95/21/CE del Consejo, de 19 de Junio de 1995, sobre el cumplimiento de las normas internacionales de seguridad marítima, prevención de la contaminación y condiciones de vida y trabajo a bordo, por parte de los buques que utilicen los puertos comunitarios o las instalaciones situadas en aguas bajo jurisdicción de los Estados Miembros (control del Estado del puerto) (DOCE 157/L, de 07-07-95).
- Decisión 98/392/CE del Consejo de 23 de Marzo de 1998, relativa a la celebración por la Comunidad Europea de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 10 de diciembre de 1982 y del Acuerdo de 28 de julio de 1994 relativo a la aplicación de la parte XI de dicha Convención. Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del mar y del acuerdo relativo a la aplicación de la parte XI de dicha convención (DOCE 179/L, de 23-06-98).
- Directiva 98/25/CE del Consejo, de 27 de Abril de 1998, por la que se modifica la Directiva 95/21/CE sobre el cumplimiento de las normas internacionales de seguridad marítima, prevención de la contaminación y condiciones de vida y de trabajo a bordo, por parte de los buques que utilicen los puertos comunitarios o las instalaciones situadas en aguas bajo jurisdicción de los Estados miembros (control del Estado del puerto). (Traspone el Real Decreto 768/1999, de 7 de Mayo) (DOCE 133/L, de 07-05-98).
- Directiva 99/97/CE de 13 de Diciembre de 1999 por la que se modifica la Directiva 95/21/CE del Consejo sobre el cumplimiento de las normas internacionales de seguridad marítima, prevención de la contaminación y condiciones de vida y de trabajo a bordo, por parte de los buques que utilicen

los puertos comunitarios o las instalaciones situadas en aguas bajo jurisdicción de los Estados miembros (control del Estado del puerto) (DOCE 331/L, de 23-12-99).

- Reglamento (CE) Nº 417/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de Febrero de 2002, relativo a la introducción acelerada de normas en materia de doble casco o de diseño equivalente para petroleros de casco único, y por el que se deroga el Reglamento (CE) Nº 2978/94 del Consejo (DOCE 64, de 07-03-02).
- Reglamento (CE) Nº 1406/2002, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de Junio de 2002 por el que se crea la Agencia Europea de Seguridad Marítima (AESM) DOCE 208/L, de 05-08-02).
- Directiva 2000/59/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2000, sobre instalaciones portuarias receptoras de desechos generados por buques y residuos de carga (DOCE L 332, 28-12-2000).

3. España

- Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal (BOE de 04-11-1995).
- Ley 27/1992, de 24 de Noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante (BOE 283, de 25-11-92).
- Real Decreto 1253/1997, de 24 de Junio, sobre las Condiciones Mínimas exigidas a los buques que transporten mercancías peligrosas o contaminantes con origen o destino a puertos marítimos nacionales (BOE de 19-08-97).
- Real Decreto 1621/1997, de 24 de Octubre, por el que se aprueba el Reglamento para el control del cumplimiento de la Normativa Internacional sobre Seguridad Marítima, Prevención de la Contaminación y Condiciones de Vida y Trabajo en los Buques Extranjeros que utilicen puertos o instalaciones situadas en Aguas jurisdiccionales españolas.
- Ley 62/1997, de 26 de Diciembre de 1997, que modifica la Ley 27/1992, de 24-11-1992, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.

- Real Decreto 701/1999, de 30 de Abril, sobre Condiciones Mínimas exigidas a los buques que transportan mercancías peligrosas o contaminantes con origen o destino en puertos nacionales (BOE de 14-05-99).
- Real Decreto 768/1999, de 7 de Mayo, por el que se aprueba el Reglamento para el Control del Cumplimiento de la Normativa Internacional sobre Seguridad Marítima, Prevención de la Contaminación y Condiciones de Vida y Trabajo en los Buques Extranjeros que utilicen Puertos o Instalaciones situadas en Aguas Jurisdiccionales Españolas (BOE de 21-05-99).
- Real Decreto 1828/2000, de 3 de Noviembre, por el que se modifica el Reglamento para el control del cumplimiento de la normativa internacional sobre seguridad marítima, prevención de la contaminación y condiciones de vida y trabajo en los buques extranjeros que utilicen puertos o instalaciones situados en aguas jurisdiccionales españolas, aprobado por el Real Decreto 768/1999, de 7 de mayo (BOE 265, de 04-11-00).
- ORDEN PRE/2490/2003, de 3 de septiembre, por la que a los efectos de los Reales Decretos-leyes 7/2002 y 8/2002, se amplían los términos municipales y núcleos de población correspondientes a la Comunidad Autónoma del País Vasco en donde resultan de aplicación las medidas reparadoras en relación con el accidente del buque "Prestige". (BOE de 13-09-2003).
- Real Decreto 1249/2003, de 3 de octubre, sobre formalidades de información exigibles a los buques mercantes que lleguen a los puertos españoles y salgan de éstos.

LEGISLACIÓN ASOCIADA PARA PRESENTACIÓN COMO PROYECTO AL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL:

Se enmarca en la clasificación **o) del artículo 3 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental: EIA.-** Esto es:

o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamientos de agua o de residuos de origen domiciliario, relleno sanitario, emisarios submarinos, **sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos.**

El proyecto en cuestión se refiere a la purificación de combustibles de sentina, es decir el tratamiento de un residuo líquido, originado en la operación de barcos mercantes.

NORMATIVA NACIONAL PARA DESCARGAS DE EFLUENTES LÍQUIDOS.

Posterior al tratamiento de las aguas residuales generadas en el proceso de revalorización de aguas de sentinas estas deben ser dispuestas, por lo que existen tres posibles alternativas en una zona litoral como San Antonio:

- Descarga a cuerpos de agua fluviales.
- Descarga a cuerpos de agua marinas dentro de la zona de protección litoral.
- Descargas a sistema de alcantarillado.

Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. D.S. N° 90 de 2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (DO 07.03.2001)

Tabla 5: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales¹⁴.

CONTAMINANTES	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
Aceites y Grasas	Mg/L	A y G	20
Aluminio	Mg/L	Al	5
Arsénico	Mg/L	As	0,5
Boro	Mg/L	B	0,75
Cadmio	Mg/L	Cd	0,01
Cianuro	Mg/L	CN ⁻	0,20
Cloruros	Mg/L	Cl ⁻	400
Cobre Total	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0,05
DBO ₅	mg O ₂ /L	DBO ₅	35 *
Fósforo	mg/L	P	10
Fluoruro	mg/L	F ⁻	1,5
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	10

¹⁴ Tabla I D.S. 90, www.conama.cl

Hierro Disuelto	mg/L	Fe	5
Manganeso	mg/L	Mn	0,3
Mercurio	mg/L	Hg	0,001
Molibdeno	mg/L	Mo	1
Níquel	mg/L	Ni	0,2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
Pentaclorofenol	mg/L	C ₆ OHCl ₅	0,009
PH	Unidad	pH	6,0 -8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,05
Poder Espumógeno	Mm	PE	7
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	80 *
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	1000
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	1
Temperatura	C°	T°	35
Tetracloroeteno	mg/L	C ₂ Cl ₄	0,04
Tolueno	mg/L	C ₆ H ₅ CH ₃	0,7
Triclorometano	mg/L	CHCl ₃	0,2
Xileno	mg/L	C ₆ H ₄ C ₂ H ₆	0,5
Zinc	mg/L	Zn	3

* =Para los residuos líquidos provenientes de plantas de tratamientos de aguas servidas domésticas, no se considerará el contenido de algas, conforme a la metodología descrita en el punto 6.6.

4.2.1 Las fuentes emisoras podrán aprovechar la capacidad de dilución del cuerpo receptor, incrementando las concentraciones límites establecidas en la Tabla N° 1, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Ci = T_{1i} * (1 + d)$$

En que:

S.A.=Límite máximo permitido para el contaminante i.

T_{1i}=Límite máximo permitido establecido en la Tabla N° 1 para el contaminante i.

d=Tasa de dilución del efluente vertido.

Tabla 6: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral¹⁵.

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	1
Arsénico	mg/L	As	0,2
Cadmio	mg/L	Cd	0,02
Cianuro	mg/L	CN ⁻	0,5
Cobre	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000-70*
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0,2
Cromo Total	mg/L	Cr Total	2,5
DBO ₅	mg O ₂ /L	DBO ₅	60
Estaño	mg/L	Sn	0,5
Fluoruro	mg/L	F ⁻	1,5
Fósforo	mg/L	P	5
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	10
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HCV	1
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	10
Manganeso	mg/L	Mn	2
Mercurio	mg/L	Hg	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,1
Níquel	mg/L	Ni	2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
PH	Unidad	pH	6,0 - 9,0
Plomo	mg/L	Pb	0,2
SAAM	mg/L	SAAM	10
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Sedimentables	m1/1/h	S SED	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	100
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	1
Zinc	mg/L	Zn	5
Temperatura	°C	T°	30

* =En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml.

¹⁵ Tabla IV D.S. 90, www.conama.cl

Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado, decreto supremo n°609/1998, del ministerio de obras públicas.

Tabla 7: Límites máximos permitidos según actividad económica CIUU 35301 “refinería de petróleo”, para descargas de efluentes que se efectúen a redes de alcantarillado¹⁶.

PARÁMETROS	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
Hidrocarburos totales	mg/L	HC	20
Ph	Unidad	pH	5,5 - 9,0
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	1.000 ⁽¹⁾
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Temperatura	°C	T°	35
DBO ₅	mg/L	DBO ₅	⁽²⁾
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NH ₄ ⁺	80
Sólidos suspendidos totales	mg/L	S.S.	300 ⁽³⁾

⁽¹⁾ Se aceptarán concentraciones entre 1.000 y 1.500 mg/L, si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) pH = 8 -9;
- b) temperatura del residuo industrial líquido (°C) ≤ temperatura de las aguas receptoras.

⁽²⁾ Los requisitos de este parámetro se establecen en el punto 4.3 de esta norma

⁽³⁾ Los establecimientos industriales podrán solicitar al prestador de servicios sanitarios, autorización para descargar efluentes con una concentración mayor a 300 mg/l, siempre que ello no provoque obstrucción a la red colectora, conforme a lo dispuesto en el Art. 21 inciso 2° del Decreto con Fuerza de Ley N°70 del año 1988, del Ministerio de Obras Públicas sobre Fijación de Tarifas de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado

¹⁶ Tabla 3 D.S. n°609/1998, www.conama.cl

ESTUDIO DE MERCADO, CAPACIDAD Y UBICACIÓN DE LA PLANTA

ESTUDIO DE MERCADO

El negocio de las aguas de sentina se divide en dos, servicio de extracción de aguas de sentina a los barcos y la revalorización para la venta de combustible alternativo, ambas actividades son complementarias debido a que para obtener el permiso de extracción se debe contar con una planta de tratamiento del residuo o certificar contratación de este servicio a un tercero y para la revalorización es necesaria la materia prima, que la provee el residuo con combustible extraído de los barcos.

Productos y servicios:

- Combustible alternativo, similar en características al fuel oil N° 6.
- Servicio de extracción a las embarcaciones del residuo “aguas de sentina”.

Clientes:

Combustible: Industrias y hospitales que utilicen en sus procesos de calefacción calderas o quemadores a base de combustión de fuel oil N° 6.

Servicio de extracción: Los buques que recalen en los puertos de la V región, principalmente en los puertos de San Antonio y Valparaíso.

Análisis de competencia:

Tratamiento: Para el tratamiento de mezclas oleosas existe desde el año 2002 CROWAN Ltda. en San Antonio, una Planta de tratamiento con capacidad máxima de 1.000 toneladas al mes, donde más del 75% corresponde a tratamiento de aceites y menos del 25% a tratamiento de aguas de sentina,

tratando un 5% de las aguas de sentina generadas por barcos que recalán en los puertos de San Antonio y Valparaíso.

Servicio de extracción: Existen 8 empresas¹⁷ con autorización para retirar mezclas oleosas de los barcos que recalán en la V región, de las cuales ILICA SLUDE REMOVAL SERVICE, CROWAN Ltda., BRAVO ENERGY CHILE S.A., cuentan con algún sistema de tratamiento de los residuos retirados, las otras 5 empresas deben negociar con estas tres empresa el precio del residuo como materia prima para ser revalorizado.

Combustible: El principal abastecedor de Petróleo N° 6 es ENAP quien tiene un precio¹⁸ de venta de \$168,20 siendo un 40% mas caro que el combustible alternativo, Este menor precio con respecto a ENAP, permite tener una demanda importante acotada por el consumo de este combustible.

En conclusión la competencia en la venta del combustible no la representa ENAP, sino que está compuesta por otras sociedades y personas naturales que se dedican a esta actividad.

Análisis de demanda por retiro de sentinas:

Dada la ubicación geográfica de nuestro país, normalmente somos el último destino de los barcos mercantes y de los cruceros, con lo cual nos convertimos naturalmente en el destinatario final de las aguas de sentina, ya que no todos los puertos y Países del Pacífico Sur, cuentan con las instalaciones o servicios externos para procesar estos residuos.

Antes de la llegada del barco al puerto se coordina con anticipación el retiro de Sentina, esto se hace a través de e-mail, teléfono o vía FAX, en este sentido don Alejandro Ilica N., cuenta con una cartera de clientes que atiende hace varios años.

¹⁷ ANEXO V: Servicios de retiro mezclas oleosas autorizadas al año 2006.

¹⁸ Valor de mercado fuel oil n°6 \$168,20 ENAP, Diciembre 2006.

El promedio de barcos que llegan a los puertos chilenos de San Antonio y Valparaíso es de 153 naves al mes.¹⁹

Considerando que cada barco tiene un promedio de 35 toneladas de aguas de sentina²⁰, podemos considerar que el mercado potencial mensual es de:

Mercado Potencial: 153 barcos por mes X 35 ton cada uno = 5.355 ton/mes
--

Dado el tamaño estimado inicial de la Planta y la optimización de los recursos técnicos y financieros, se estima cubrir un 7,5% de la demanda de retiro de aguas de sentina de los barcos que llegan a San Antonio y Valparaíso, es decir, de 400 toneladas al mes.

Demanda combustible:

Existe una alta demanda en el parque industrial por el combustible fuel oil N° 6 que es utilizado como fuente energética para calderas que alimentan de vapor a los evaporadores y distintos sistemas de transferencia de calor, por lo tanto al existir un combustible alternativo de similares características con un precio mas bajo en un 40%, es una atractiva alternativa para bajar los costos de una industria.

¹⁹ ANEXO IV, Número de Recaladas de Naves Nacionales y Extranjeras por Puertos. Año 2004, www.directemar.cl.

²⁰ ANEXO III, Entrevista a Sr. Esteban Cabrera, Encargado medio ambiente, Gobernación Marítima Valparaíso.

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

De acuerdo a esta participación, se procesarán los siguientes volúmenes de “aguas de sentinas”:

Procesamiento de Aguas de Sentina	: 400 ton/mes
Obtención de Combustible alternativo	: 200 ton/mes (50% de rendimiento) ²¹
Uso interno de combustible	: 10 toneladas ²²

Venta de Combustible alternativa : 190 ton/mes

La planta se ha diseñado para generar 190 toneladas de combustible alternativo al mes en dos turnos, pero esta puede expandir su producción a 3 turnos, sin inconvenientes técnicos, si la demanda del combustible y la provisión de materia prima “aguas de sentina” lo permiten.

UBICACIÓN

El proyecto será emplazado en la V región de Valparaíso (Figura 2), en la zona industrial de la ciudad de San Antonio (Figura 3), en la Zona Industrial Aguas Buenas (Figura 4), por tener ventajas comparativas con Valparaíso entre las que se destaca un tráfico mas constate en el año de embarcaciones a diferencia del puerto de Valparaíso donde tiene una marcada alza en la época estival.

²¹ ANEXO I, Copia informe análisis aguas de sentina.

²² EL combustible estimado por carga de 30 toneladas para la calefacción de las calandrias es de aproximadamente 1,5 toneladas, considerando 7 cargas mensuales se requieren aproximadamente 10 toneladas para uso interno.

Mapa político V Región



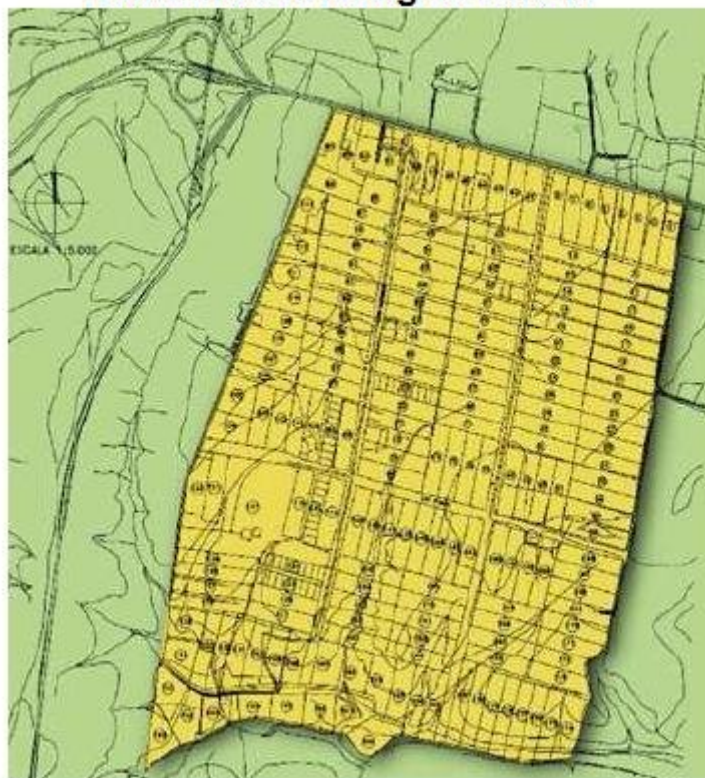
Figura 2: Mapa de V región de Valparaíso.



Fuente: www.zonaindustrial.cl

Figura 3: Zonas Industriales de San Antonio.

Zona Industrial Agua Buena



Fuente: www.zonaindustrial.cl

Figura 4: Zona Industrial Aguas Buenas

Ubicación: Aguas Buenas se encuentra al nororiente de la ciudad de San Antonio, junto a la Ruta 78, Autopista del Sol, por el costado sur, desde el sector de Malvilla hasta el cruce de ésta con la Ruta Nuevo Acceso al Puerto.

Ventajas: Esta zona cuenta con una excelente accesibilidad para los camiones que transportaran desde los puertos las aguas de sentina, el sector cuenta con tendido eléctrico trifásico necesario para el funcionamiento de los motores eléctricos de la planta.

Servicios

Agua: El abastecimiento de agua para el área se realiza a través de norias de particulares y un camión aljibe, sin embargo, la autoridad local está desarrollando

estudios orientados a evaluar la factibilidad de abastecimiento de agua potable para el sector en el mediano plazo.

Electricidad: el servicio eléctrico en el área es proporcionado por la empresa Chilquinta Energía.

Uso de suelo:

Se permitirá en la zona ZEUP 2 el emplazamiento de establecimientos: industriales o de bodegaje (tipo: peligrosos, molestos e inofensivos).

Construcciones de apoyo al proceso: industrial, agroindustrial y agropecuario y al recurso humano que labora en la industria tales como comedores, casino de personal, talleres de mantención, garitas, porterías, casetas de guardia, torres de observación, los cuales no se descontarán del 20% destinado a equipamiento.

Equipamientos de escalas mayor y media de los siguientes tipos: esparcimiento, servicios, comercio y educación de nivel prebásica.

Residencial: edificaciones y locales destinados a hospedaje, excluyendo vivienda.

Infraestructura: Planta de tratamiento de riles, depósito, disposición y manejo de residuos sólidos; plantas de tratamiento de aguas servidas, estaciones o subestaciones.

SELECCIÓN DE PROCESOS:

Dada la composición de las aguas de sentina de aproximadamente, 50% de combustible, 30% de aguas libres, 20% de aguas en interfase o en emulsiones y menos de un 1% de impurezas y alta DBO₅ e hidrocarburos totales en aguas libres²³ (2626.3mg/l y 11,0 mg/l respectivamente, ambas concentraciones exceden a las permitidas en la normativas nacionales de vertimiento), el proceso de Revalorización para obtener un combustible con humedad menor al 2%, bajo en impurezas y aguas con calidad de vertimiento, se puede dividir en dos etapas generales, *Recuperación del combustible y tratamiento de aguas residuales*.

Para la recuperación del combustible se realizara en un proceso por lote, que debe contar con una etapa primaria de separación gravitatoria para eliminar las aguas libres, filtración para eliminar impurezas de la mezcla, una etapa secundaria térmica para la eliminación de agua que se presenta en emulsiones por medio de evaporación y un posterior filtrado para evitar las impurezas en el combustible a comercializar.

Para disminuir el DBO₅ y eliminar los hidrocarburos de las aguas residuales se deben captar las aguas residuales del proceso de recuperación de hidrocarburos, acumularlas en un pozo para ser bombeadas de forma continua al tratamiento, separar en fases, filtrar sección sin trazas de combustible y agregar sorbente²⁴ a la sección con trazas, posteriormente filtrar para eliminar el sorbente que ya contiene las trazas de combustible.

Recuperación del combustible (Diagrama N° 1):

- Recepción aguas de sentina.
- Separación gravitatoria en estanques cónicos

²³ Aguas libres: Fase acuosa obtenida de la separación gravitatoria de las aguas de sentina.

²⁴ Existen diversos sorbentes comerciales, entre los que se encuentra Petroclean el cual esta autorizado para su huso en derrames, Ver Anexo VII.

- Obtención de combustible por superficie y separación gravitatoria en la piscina tripartita.
- Bombeo por superficie de combustible.
- Acumulación en estanques.
- Filtración del combustible.
- Tratamiento térmico en calandrias para evaporación de agua de la mezcla hasta un 2% de volumen en esta.
- Filtración pos tratamiento térmico.
- Carga de camión para distribución de combustible alternativo similar al fuel oil N° 6 o almacenamiento para posterior distribución.

Tratamiento de aguas residuales (Diagrama N° 2):

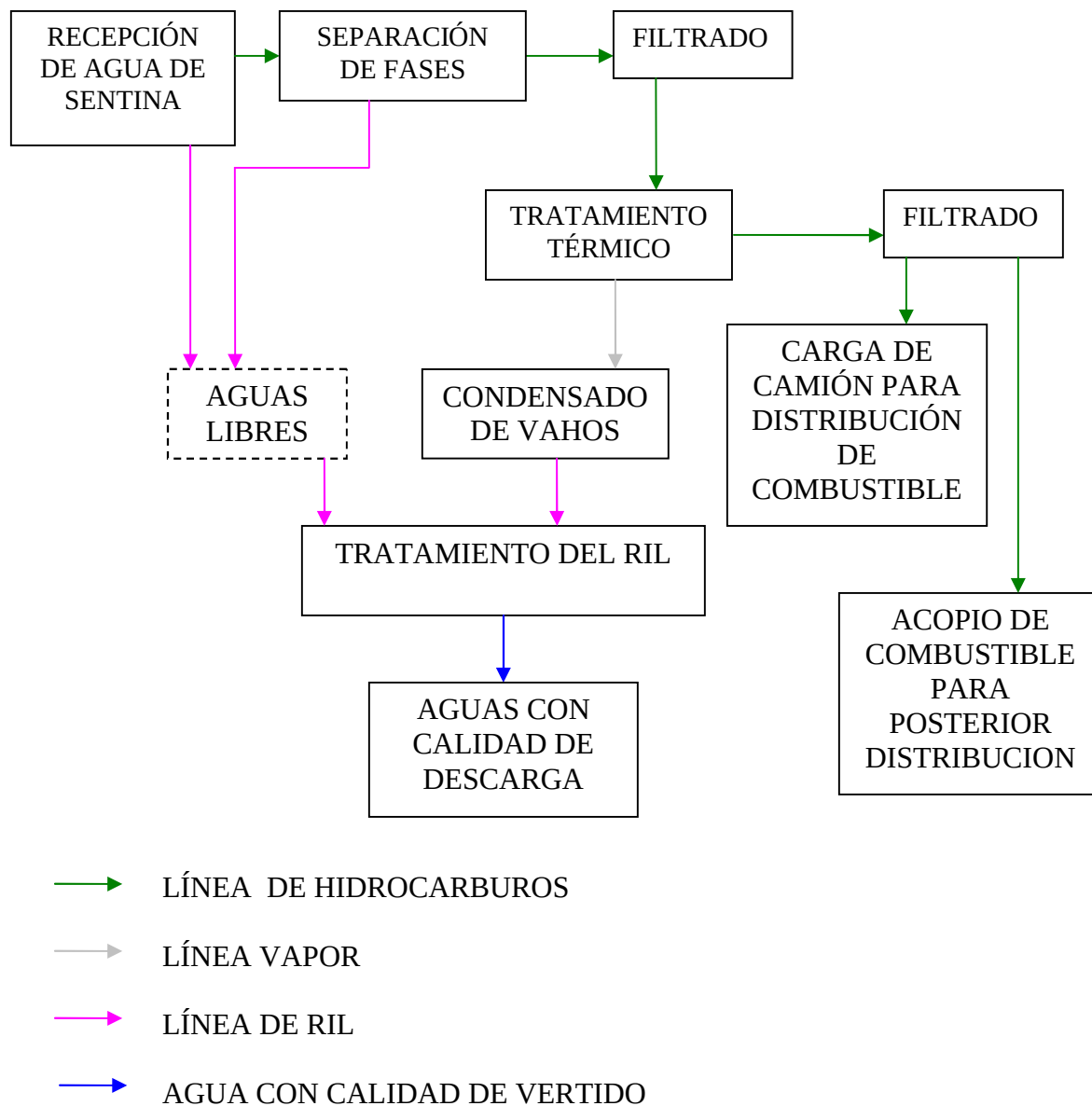
- Captación de aguas libres en recepción.
- Captación de fase acuosa en separación gravitatoria primaria.
- Captación de fase acuosa en separación de fases en piscina tripartita.
- Captación de vahos del proceso de evaporación en calandrias
- Acumulación aguas en pozo pulmón.
- Bombeo a primer estanque cónico de separación.
- Separación en primer estanque cónico por diferencia de densidad.
- Separación en dos líneas de agua. *Línea descargada por fondo de estanque* con bajo contenido de trazas de hidrocarburos y *Línea de aguas superficiales* con mayor contenido de trazas de hidrocarburos.

Línea descargada por fondo de estanque:

- Filtrado primario para partículas mayores en aguas.
- Filtrado secundario para eliminación de residuo de hidrocarburos en el agua.
- Acumulación en pozo receptor de aguas tratadas para posterior vertimiento.

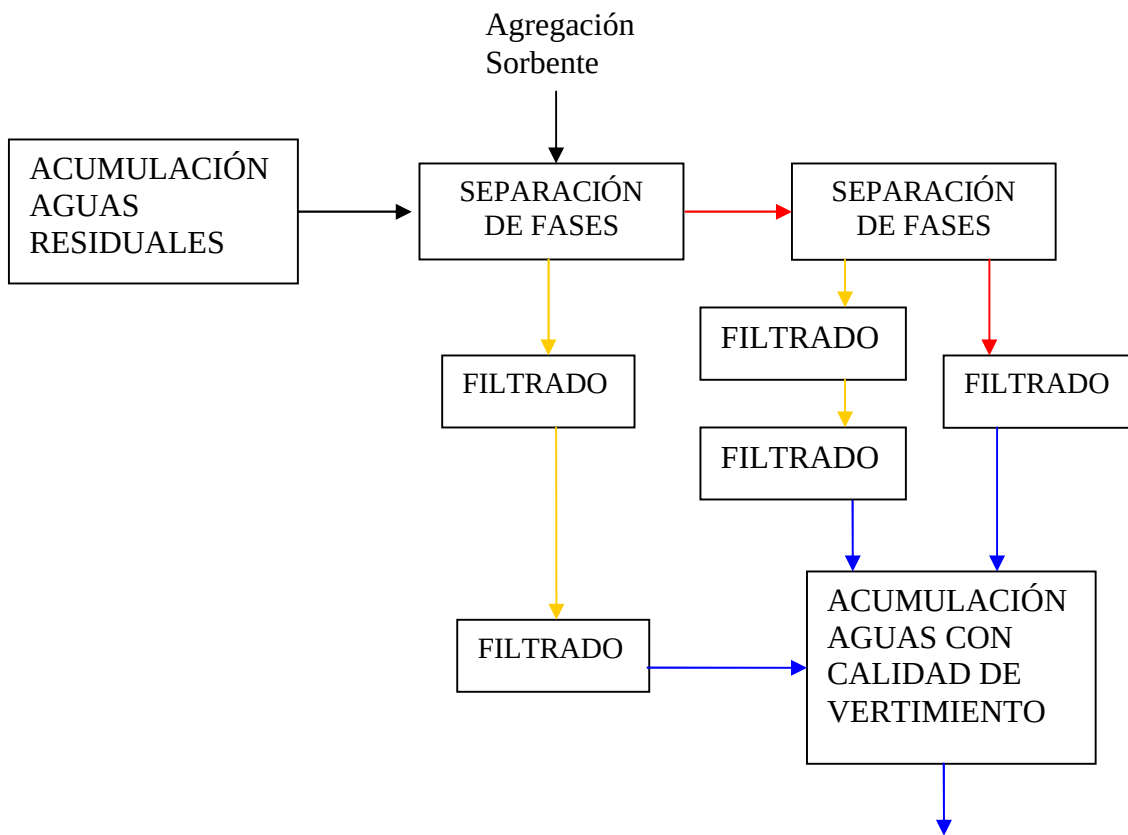
Línea de aguas superficiales

- Adición de sorbente.
- Separación en segundo estanque cónico por diferencia de densidad.
- Filtrado para eliminar partículas mayores en aguas de fondo de estanque del segundo estanque cónico.
- Filtrado para eliminación de residuo de hidrocarburos en el agua de fondo de estanque del segundo estanque cónico.
- Filtrado para la extracción de sorbente que contienen hidrocarburos.
- Acumulación en pozo receptor de aguas tratadas para posterior vertimiento.

Diagrama 1: Proceso de revalorización sección recuperación combustible.

Fuente: Proceso diseñado por Gustavo Duarte Sepúlveda.

Diagrama 2: Proceso de revalorización sección tratamiento de aguas residuales.



→ AGUAS SUPERFICIALES CON MAYOR CONTENIDO DE HIDROCARBUROS

→ AGUAS FONDO, CON UN MENOR CONTENIDO DE HIDROCARBUROS

→ AGUA CON CALIDAD DE VERTIDO

Fuente: Proceso diseñado por Gustavo Duarte Sepúlveda.

BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

BALANCES DE MATERIA

Se basan en la ley de la conservación de la materia, que indica que la masa de un sistema cerrado permanece constante, sin importar los procesos que ocurran dentro del sistema.

El flujo de materiales que entra y sale de un sistema delimitado, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es:

$$[\text{Entradas}] = [\text{Salidas}] + [\text{Acumulación}] + [\text{Generación y/o Consumo (en el sistema)}]$$

Para el desarrollo del balance de masas, se toma como referencia los análisis realizados a las aguas de sentina y aguas libres (Anexos: I y IX, respectivamente) y los requerimientos para el combustible fuel oil N° 6 según La Norma Chilena NCh610f99²⁵.

Se realizan los siguientes supuestos: Para el análisis numérico se tomara un volumen de aguas de sentina de 100 L y se aproximara a 100kg, la recuperación de combustible será de un 95% (con calidad similar a la ficha técnica del fuel oil N° 6), el vapor generado en el proceso de recuperación será condensado y se integrado al proceso de tratamiento de las aguas.

*Aguas de sentina*²⁶:

Componente	Resultado Análisis
Agua y sedimentos	46,4% v/ v
Combustible	53,6% v/v
Sedimentos por extracción	1,08% m/m

²⁵ Anexo X: ficha técnica del Petróleo Combustible N° 5 y N° 6.

²⁶ Extracto análisis de aguas de sentina Anexo I.

*Aguas libres*²⁷:

Componente	Resultado Análisis
Agua	1 L
Hidrocarburo	11,0 mg/L
Sólidos Suspendidos	83,00 mg/L

*Combustible fuel oil N° 6*²⁸:

Componente	Límite Máximo
Hidrocarburo	1 L
Agua y Sedimentos	2,0 g/l

*Aguas con calidad de vertimiento*²⁹:

Componente	Límite Máximo
Agua	1 L
Hidrocarburo Totales	10 mg/L
Sólidos Suspendidos	80 mg/L

$$[\text{Entradas}] = [\text{Salidas}] + [\text{Acumulación}] + [\text{Generación y/o Consumo (en el sistema)}]$$

Entradas: Aguas de sentina y Sorbente

Salidas: Combustible, Lodo 1, Lodo 2 y Aguas tratadas

Acumulación: 0

Generación o Consumo: 0

$$[\text{Aguas de Sentina}] + [\text{Sorbente}] = [\text{Combustible}] + [\text{Lodo 1}] + [\text{Lodo 2}] + [\text{Aguas Tratadas}]$$

$$[100 \text{ Kg}] + [0,05 \text{ Kg}] = [51 \text{ Kg}] + [4,896] + [1,051] + [43,1]$$

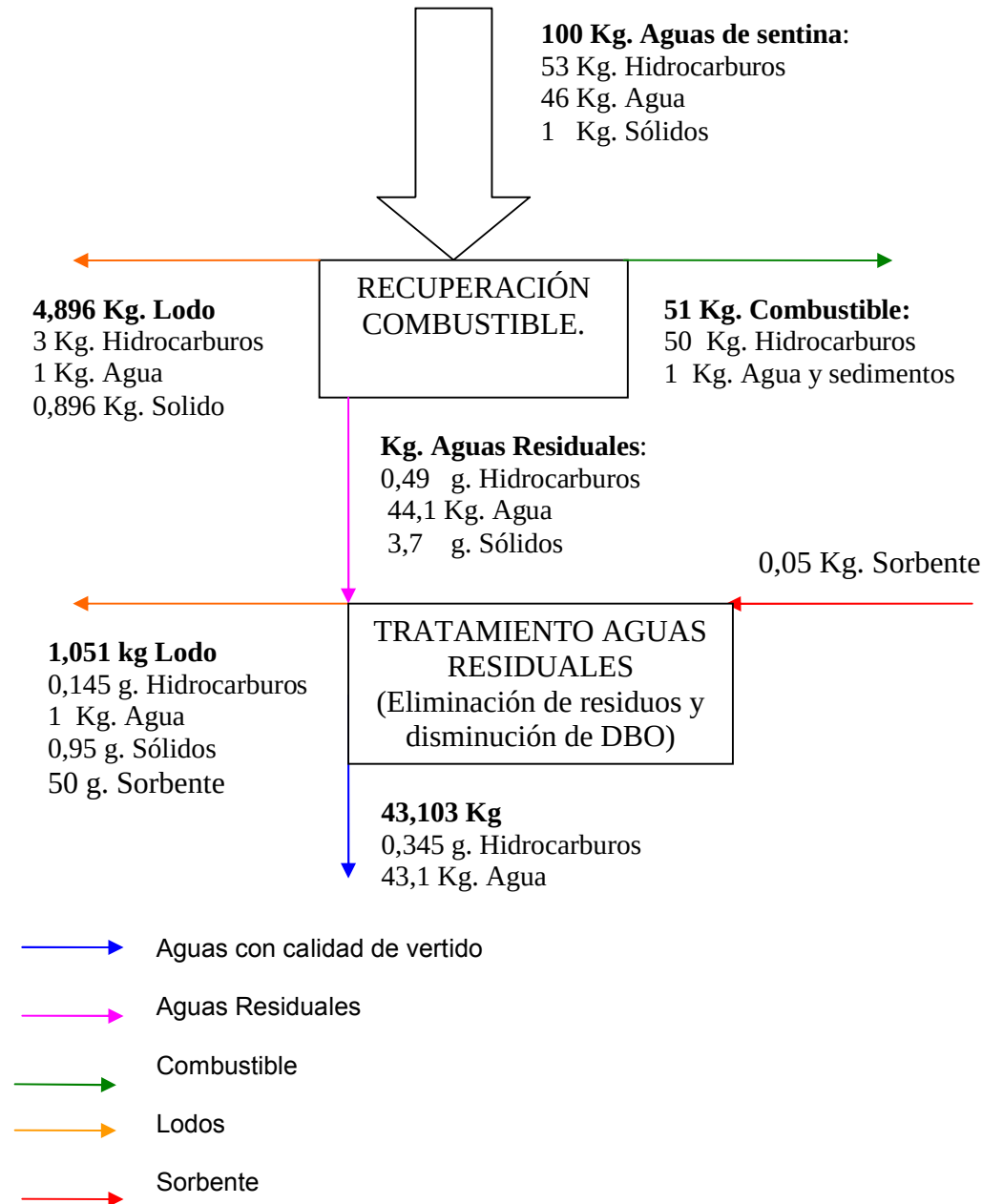
$$[100,05 \text{ Kg}] = [100,05 \text{ Kg}]$$

$$\text{Salidas} = \text{Entradas}$$

²⁷ Extracto análisis aguas libres Anexo IX.

²⁸ Extracto ficha técnica del Petróleo Combustible N° 5 y N° 6 Anexo X.

²⁹ Valores máximos mas exigente para vertimiento de aguas a: mar, cuerpos fluviales o alcantarillado.

Diagrama 3: Balance de materia general

Es importante señalar que el balance de masas realizado tiene características mas descriptivos que de condición regular del proceso ya que existe una amplia heterogeneidad entre las distintas las aguas de sentinas de embarcaciones que es la materia prima en el proceso, por esta razón es importante estar monitoreado en la entrada del sistema para ir regulando el sistema.

BALANCE ENERGÉTICO**CALCULO DE POTENCIA REQUERIDA:**

Para determinar la potencia de la planta se debe realizar la sumatoria de la potencia necesaria para el funcionamiento de los equipos, luminarias y motores utilizados en la planta de recuperación de combustible y la planta de tratamiento de aguas residuales.

Equipos eléctricos a utilizar:

Equipo	Cantidad	Potencia fabricante	Potencia [W]	Total Potencia [HP]
Bomba 1 30m ³ /h	1	15 HP	11032,48	15
Bomba 2 20m ³ /h	1	10 HP	7354,98	10
Bomba 3 10m ³ /h	1	7,5 HP	5516,24	7,5
Luminaria	5	1000 W	1000,0	6,8
Quemador Calandria	2	2 HP	1470,99	4
Tornillo sinfín	1	1 HP	735,5	1

Potencia Total=Potencia(bombas)+Potencia(luminarias)+Potencia(Quemadores)+Potencia(tornillo sinfín)

Potencia Total requerida = 15 HP + 10 HP + 7,5 HP + 6,8 HP + 4 HP + 1 HP

Potencia Total requerida = 44,3 HP

CÁLCULO ENERGÉTICO MENSUAL.

Energía Total = Potencia * Horas mensuales de trabajo

Potencia Total = 44,3 HP = 32,58 kW

Horas mensuales de trabajo = 200 Horas

Energía Total = 6516 kWh

DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

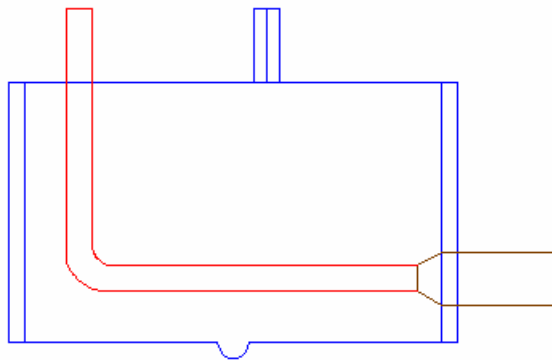
En este capítulo se mostrara el trabajo de diseño de los equipos y obras civiles del proyecto, contara con una descripción, detalles relevantes de construcción.

ANÁLISIS MEJORAS EN EL DISEÑO DEL EQUIPO TÉRMICO “CALANDRIA”:

La calandria es el equipo fundamental para llevar a cabo el proceso de recuperación del combustible de las aguas de sentina, es por esto que se le ha puesto mayor énfasis en su estudio y diseño.

El estudio esta basado en la “Calandria Clásica tubo en L” (Figura 5), este es un equipo de calor no presurizado, funciona en lote y a través de fuego directo evapora el contenido de agua de una mezcla de agua con combustible.

Calandria Clásica tubo en L



Calandria Modificada doble serpentín

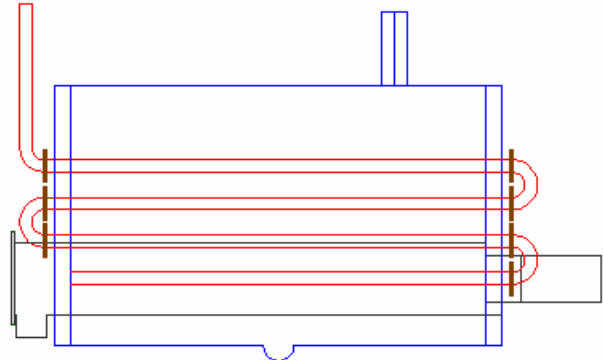


Figura 5: Calandria Clásica tubo en L, Capacidad 30 m³, Área transferencia calor 5,1 m². Calandria Modificada doble serpentín diseño G. Duarte 2007, Capacidad 30 m³, Área transferencia calor 12,12 m².

Ventajas de Calandria Clásica en L:

Diseño simple.

Fácil construcción.

Operación simple.

Eficaz.

Desventajas de Calandria Clásica en L:

Difícil mantenimiento.

Rápido desgaste de tubos de humo.

Alta acumulación de hollín.

No cuenta con sistema de eliminación de cenizas.

Bajo rendimiento.

Después del análisis realizado se ha decidido rediseñar la calandria con el objetivo fundamental de mejorar las condiciones de mantenimiento y operación pero manteniendo la simplicidad del diseño:

Descripción de mejoras (Plano 6): Se mantendrá la capacidad de 30 m³ y quemador bronco, se aumentará la cámara de inversión de humos inspeccionable con el objetivo de aumentar el volumen de exposición de la llama, de esta forma se mejorará las condiciones de oxigenación de la cámara y se disminuirá el desgaste del material por efecto de llama directa, se agregará una compuerta en el fondo para facilitar el mantenimiento, de material refractario para aumentar su vida útil, se agregará un cenicero para mejorar las condiciones de limpieza, del hogar saldrán 2 tubos los cuales tendrán 2 vueltas de humo para aumentar el área de intercambio de calor y estos tubos tendrán codos externos con flanges desmontables para facilitar la limpieza evitando la acumulación de hollín en las paredes internas.

DESARROLLO TEÓRICO TÉRMICO:

Para determinar la diferencia de eficiencia entre la calandria diseñada con doble haz de serpentín y hogar versus la calandria clásica con tubería en L (Figura 5), se utilizará un volumen de agua similar al de agua de sentina como sustancia a evaporar para simplificar este análisis.

Ecuaciones para determinar el tiempo de evaporación del agua:

Desarrollo de la ecuación: $dQ = dQ' = MC_p dt = UA \Delta t$

$$\Delta t = (T_1 - t)$$

$$\frac{dt}{d\theta} = \frac{UA}{MC_p} \Delta t$$

$$\int \frac{dt}{T_1 - t} = \frac{UA}{MC_p} \int d\theta$$

Ecuación a utilizar para obtener el tiempo que se demora en llegar a la temperatura requerida (100 °C):

$$\text{Ecuación N° 1:} \quad \ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} \right) = \frac{UA\theta}{MC_p} \quad (30)$$

T_1 = Temperatura promedio del medio calefactor.

t_1 = Temperatura inicial del líquido a calentar (agua).

t_2 = Temperatura final del líquido a calentar (agua).

U = Coeficiente integral de transmisión de calor.

A = Área de transmisión de calor.

θ = Tiempo que se demora en llegar a la temperatura requerida.

M = Masa del líquido a calentar.

C_p = Calor específico del líquido a calentar.

³⁰ Capítulo 18, Procesos por lotes y de estado inestable, Procesos de Transferencia de Calor, Donal Q. Kern, Trigésima sexta reimpresión, 2005.

$$\text{Ecuación N}^\circ 2: \quad L_v = \frac{t_2}{t_1} c(100 - T) \quad (31)$$

L_v = Calor de evaporación del agua = $2253 \cdot 10^3$ J/Kg, a presión atmosférica (1 atm.) y una temperatura de 100 °C.

t_1 = Tiempo que se demora el agua en subir de 25 a 100 °C.

t_2 = Tiempo que se demora el agua en evaporar su volumen total.

C = Constante de transformación de Kcal. a J

T = Temperatura inicial del agua.

$$\text{Ecuación N}^\circ 3: \quad P t_1 = m c(100 - T) \quad (32)$$

P = Potencia entregada para aumentar la temperatura del agua.

t_1 = Tiempo que se demora el agua en subir de 25 a 100 °C.

M = masa de agua = 30.000 Kg = 30 m³

C = Constante de transformación de unidades (Kcal. a J)

T = Temperatura inicial del agua.

31

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/latente/Medida%20del%20calor%20de%20vaporización>

32

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/latente/Medida%20del%20calor%20de%20vaporización>

a) **Para la calandria modificada:**

Ecuación N° 1:
$$\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2}\right) = \frac{UA\theta}{MCp}$$

$$\ln\left(\frac{315 - 25}{315 - 100}\right) = \frac{127,029 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right) * 19,12 (\text{m}^2) * \theta}{30000 (\text{Kg}) * 1 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}\right)}$$

$T_1 = 315^\circ\text{C}$, Temperatura media de los gases de combustión de una caldera alimentada con fuel oil n° 6 medida empíricamente.

$$0,29924 = 0,08095 \theta$$

$$\theta = 3,696(h) = 13,305 * 10^3 (s)$$

θ Va a representa el tiempo que se demora el agua en llegar a $100^\circ\text{C} \rightarrow \theta = t_1$

El tiempo final se obtiene reemplazando la ecuación N° 1 en la ecuación N° 2:

Ecuación N° 2:
$$Lv = \frac{t_2}{t_1} c(100 - T)$$

$$2253 * 10^3 \left(\frac{\text{J}}{\text{Kg}}\right) = \frac{t_2}{t_1} * 4180 \left(\frac{\text{J}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}\right) * (100 - 25) (^\circ\text{C})$$

$$\frac{t_2}{t_1} = 7,1866$$

$$t_2 = 7,1866 t_1$$

$$t_2 = 7,1866 * 3,696 (h) = 26,56 (h)$$

La potencia o energía entregada por tiempo se obtiene reemplazando t_1 en la ecuación N° 3:

$$P * t_1 = m * c (100 - T)$$

$$P = \frac{30000(Kg) * 4180 \left(\frac{J}{Kg \text{ } ^\circ C} \right) (100 - 25)(^\circ C)}{13,305 * 10^3(s)}$$

$$P = 706845,23 (W) = Q_a$$

Para obtener la energía necesaria para evaporar un volumen de agua se utiliza la siguiente ecuación:

$$T = \text{Tiempo total} = t_1 + t_2 = 3,696 + 26,56 = 30,256(h) = 108,921 * 10^3(s)$$

$$P * T = E$$

$$E = 706845,23 (W) * 108,921 * 10^3(s) = 7,69 * 10^{10} (J)$$

b) Para la calandria tubo en L:

Ecuación N° 1:
$$\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2}\right) = \frac{UA\theta}{MCp}$$

$$\ln\left(\frac{315 - 25}{315 - 100}\right) = \frac{127,029 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right) * 5,1 (\text{m}^2) * \theta}{30000 (\text{Kg}) * 1 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}\right)}$$

$T_1 = 315^\circ\text{C}$, Temperatura media de los gases de combustión de una caldera medida empíricamente.

$$0,29924 = 0,02159 \theta$$

$$\theta = 13,857 (h) = 49,885 * 10^3 (s)$$

θ va a representa el tiempo que se demora el agua en llegar a $100^\circ\text{C} \rightarrow \theta = t_1$

El tiempo final se obtiene reemplazando la ecuación N° 1 en la ecuación N° 2:

Ecuación N° 2:
$$Lv = \frac{t_2}{t_1} c(100 - T)$$

$$2253 * 10^3 \left(\frac{\text{J}}{\text{Kg}}\right) = \frac{t_2}{t_1} * 4180 \left(\frac{\text{J}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}\right) * (100 - 25) (^\circ\text{C})$$

$$\frac{t_2}{t_1} = 7,1866$$

$$t_2 = 7,1866 t_1$$

$$t_2 = 7,1866 * 13,857 (h) = 99,58(h)$$

La potencia o energía entregada por tiempo se obtiene reemplazando t_1 en la ecuación N° 3:

$$P * t_1 = m * c (100 - T)$$

$$P = \frac{30000 (Kg) * 4180 \left(\frac{J}{Kg \text{ } ^\circ C} \right) (100 - 25) (^\circ C)}{49,885 * 10^3 (s)}$$

$$P = 188531,64 (W) = Q_b$$

Para obtener la energía necesaria para evaporar un volumen de agua se utiliza la siguiente ecuación:

$$T = \text{Tiempo total} = t_1 + t_2 = 13,857 + 99,58 = 113,437(h) = 40,837 * 10^4 (s)$$

$$P * T = E$$

$$E = 188531,64 (W) * 40,837 * 10^4 (s) = 7,69 * 10^{10} (J)$$

Para obtener la diferencia entre el redimiendo de la calandria modificada en comparación con la calandria tradicional en L se realiza con la siguiente ecuación:

$$\eta = 1 - \frac{Q_b}{Q_a}$$

$$\eta = 1 - \frac{2188531,64 (W)}{706845,23 (W)} = 0,734$$

Q_a es un 73.4% más eficiente que Q_b

Conclusión de la comparación de eficiencia:

A través del desarrollo teórico se puede concluir que la calandria modificada con doble serpentín, es un 73,4% más eficiente que la calandria clásica en L debido al considerable aumento de área de transferencia térmica, por lo que al entregar mayor transferencia de calor efectiva agiliza el proceso, mejorando las características de industrialización, a esta mayor eficiencia térmica se le puede agregar una mayor facilidad para la mantención del equipo al incluir modificaciones de tipo de cenicero y codos externos con flanges adecuados para el desmonte y limpieza de los tubos.

Si bien es necesario calcular el flujo de la transferencia de calor radiante para diseñar el horno, muchos otros factores influyen a menudo la disposición de los hornos, tales como el flujo permisible bajo varias condiciones y cantidad y naturaleza de las cenizas en la eficiencia de la superficie (Donald Q. Kern, 1965).

De hecho, el arte del diseño de los hornos, a menudo excede en importancia a los cálculos (Donald Q. Kern, 1965).

OBRAS CIVILES

Esta constituido de una rampa para la descarga de los camiones, un petral de contención donde se emplazara la planta de revalorización, piscinas y pozos.

Rampa para descarga de camiones (Plano 1)

En la descarga se contara con una rampa, la cual facilitara la descarga, tiene como objetivo inclinar el camino para facilitar la separación de fases en el camión para eliminar en el origen aguas libres evitando que entren al sistema.

Especificaciones de construcción:

Previo a la construcción de la rampa, se debe compactar la subbase al 90% del proctor modificado

La losa de fundación se materializa con un hormigón H-20 95%, en un espesor de 15 cm.

Sobre la fundación, se construye la rampa con un hormigón H-30 95% según las dimensiones descritas en los planos.

Petril

La planta de recuperación de combustible estar situada en un petril de contención, para evitar el derrame en caso de accidente o ruptura de algún equipo o tanque de acumulación, este tendrá una capacidad a lo menos 10% mayor al estanque con mayor capacidad de la planta.

Especificaciones de construcción:

Previo a la construcción del área de contención se compacta la subbase al 85% de la densidad relativa.

En este caso, se construye una fundación corrida, en forma de zanja de 20x20 cm. de sección transversal. El hormigón a utilizar será un H-20 90%.

El radier tendrá un espesor de 25 cm. y se confeccionara con un hormigón H-25 95%.

El antepecho de contención tendrá una altura de 25 cm.

Piscina receptora de aguas libres (Plano 2)

Esta piscina de 3 m³ de capacidad recibe las aguas libres que vienen en la fase acuosa de la mezcla de agua de sentina que se reciben en la planta, la finalidad de esta es recibir las aguas libres para ser dirigidas a tratamiento de aguas residuales.

Especificaciones de construcción:

Se debe compactar la subbase al 80% de la densidad relativa y debe tener una fundación de 15 cm de espesor construida con hormigón H-20 90%. Este pozo tiene un área de 1 x 3 m. y una profundidad de 1,0 m. Se construirá con hormigón H-30 95%.

Piscina de separación (Plano 3)

Esta piscina de 45 m³ esta dividida en tres secciones y tiene como función separar en fases y entregar por rebalse a la siguiente sección una mezcla con mayor contenido de hidrocarburos, el agua será extraída desde el fondo de la piscina.

Especificaciones de construcción:

La piscina se encuentra dentro del área de contención, y debe llevar bajo el radier una fundación individual. Esta se construirá con un hormigón H-25 90%, tendrá un espesor de 15 cm.

La piscina en si, se construye con un hormigón H-30 95% según las dimensiones descritas en los planos.

Pozo de acumulación (Plano 2)

Este pozo de 10 m³ tiene como función acumular las aguas residuales provenientes desde la planta, para a través de una bomba entregar un caudal continuo a la planta de tratamiento.

Especificaciones de construcción:

Se debe compactar la subbase al 80% de la densidad relativa y debe tener una fundación de 15 cm de espesor construida con hormigón H-20 90%. Este pozo tiene un área de 2 x 3 m. y una profundidad de 1,7 m. Se construirá con hormigón H-30 95%.

Pozo de agua tratada (Plano 2)

Este pozo de 25 m³ tiene como finalidad acumular las aguas tratadas previo vertimiento o utilización.

Especificaciones de construcción:

Se debe compactar la subbase al 80% de la densidad relativa y debe tener una fundación de 15 cm de espesor construida con hormigón H-20 90%. Este pozo tiene un área de 4 x 3 m. y una profundidad de 2,1 m. Se construirá con hormigón H-30 95%.

PLANTA DE RECUPERACIÓN DE COMBUSTIBLE:

Estanques de Separación (Plano 4)

Estos tres estanques de 30 m³, de fondo cónico, tienen como finalidad la separar en dos fases las aguas de sentina, poseen un volumen igual al de los estanques de los camiones con la finalidad de llenarlos con una carga en estos, de esta forma estimando la cantidad de agua que trae el camión se le asignara un mayor o menor tiempo de reposo para producir la separación gravitatoria.

Especificaciones de construcción:

El cono inferior construido con acero en plancha A 37 ES, de 6 mm de espesor, el cuerpo cilíndrico de acero en plancha A 24 ES, de 5 mm, con 6 patas de acero.

Bomba 1

Tiene como función movilizar el agua de sentina, entre las distintas secciones de tratamiento desde la recepción hasta el tratamiento térmico en las calandrias, debe ser una bomba de desplazamiento positivo debido al producto desplazado.

Especificaciones técnicas

Motobomba Tuthill de engranajes.

Modelo: GG200.

Caudal: 30 m³/h; presión: 5 bar.

Producto: petróleo nº 5.

Temperatura: 40° C.

Conexiones de succión y descarga 4" flange ANSI 125 F.F.

Construcción estándar, carcasa de hierro fundido, rotor y piñón loco de hierro dúctil, eje de acero SAE 1045 montado en rodamiento de bolas y buje en bronce, buje del piñón loco en carbón grafito y sello mecánico con elastómeros de viton.

Válvula de alivio interna.

Motor: eléctrico trifásico de 380 v, 50hz, 15 HP, 750 rpm., ipp55 acoplamiento entre bomba y motor.

Base de acero laminado, con protección incluida.

Estanques de acumulación (Plano 5)

Tres estanques de acumulación de 99 m³, dos de los cuales tienen como función acumular el agua de sentina previo el tratamiento térmico y un tercero que tiene como finalidad acumular el combustible tratados.

Especificaciones de construcción:

Su sección cilíndrica esta fabricada de planchas de acero A 37 ES, de 6mm con fondo reforzado del mismo material y tapa de planchas de acero A 24 ES, de 5mm, cuenta con un respiradero en la tapa, un medidor de capacidad con flotador y una puerta hombre en la parte superior.

Filtros de canasto

Estos filtros tienen como finalidad eliminar la contaminación del combustible y eliminar todo remanente de residuos por empastamiento de los serpentines en el proceso de evaporación.

Especificaciones de construcción:

Su sección cilíndrica de diámetro 60 cm y alto 55 cm esta fabricada de planchas de acero A 24 ES, cuenta con un canasto interior el cual contiene la malla de acero filtrante de 30 micras.

Manifol

El manifol esta diseñado para operar alternadamente en distintos servicios con la misma bomba.

Especificaciones de construcción

Esta fabricado de planchas de acero A 24 ES, cuenta con tres entradas y tres salidas para tubería de 2" y 3".

Calandria (Plano 6)

La Calandria es un calentador de de combustible, no presurizado, esta rediseñado para al aumentar su área de transferencia de calor mejorar su eficiencia, con tubos de humo, con 2 vueltas de humo y cámara de inversión de humos inspeccionadle y cenicero trasero de limpieza, los tubos son enflanchados permitiendo esto fácil limpieza e inspección del hogar.

Tiene como finalidad evaporar el contenido de agua aun presente en las aguas de sentina y llevarlas a menos del 2% de humedad para su comercialización como fuel oil N° 6.

Especificaciones de construcción:

La hoya principal estará hecha de planchas de acero A 37 ES, de 6mm, recubierta con una capa de adobe de 16 cm como aislante y recubierta con latón reforzado en los flanges del serpentín, el hogar es de una tubería de diámetro de 750 cm, de espesor 11 mm, con Tubos de humo 4 pulgadas (ASTM-A106 Sch 40), utiliza un quemador del tipo Romco Oil Burneo, tipo de petróleo fuel oil N° 6.

Bomba 2

Tiene como función movilizar el combustible tratado, para cargar camiones o guardar en estanque de acopio, debe ser una bomba de desplazamiento positivo debido al producto desplazado.

Especificaciones técnicas

Motobomba Tuthill de engranajes.

Modelo: GG130.

Caudal: 20 m³/h; presión: 5 bar.

Producto: petróleo nº 5.

Temperatura: 40° C.

Conexiones de succión y descarga 3" flange ANSI 125 F.F.

Construcción estándar, carcasa de hierro fundido, rotor y piñón loco de hierro dúctil, eje de acero SAE 1045 montado en rodamiento de bolas y buje en bronce, buje del piñón loco en carbón grafito y sello mecánico con elastómeros de viton.

Válvula de alivio interna.

Motor: eléctrico trifásico de 380 v, 50hz, 10 HP, 750 rpm, ipp55 acoplamiento entre bomba y motor.

Base de acero laminado, con protección incluida, Pintura y alineación.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Bomba 3

Tiene como función generar un caudal continuo a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Especificaciones técnicas

Motobomba Tuthill de engranajes.

Modelo: GG080.

Caudal: 10 m³/h; presión: 5 bar.

Producto: petróleo nº 5

Temperatura: 40° C.

Conexiones de succión y descarga 2.1/2" flange ANSI 125 F.F.

Construcción estándar, carcasa de hierro fundido, rotor y piñón loco de hierro dúctil, eje de acero SAE 1045 montado en rodamiento de bolas y buje en bronce, buje del piñón loco en carbón grafito y sello mecánico con elastómeros de viton.

Válvula de alivio interna.

Motor: eléctrico trifásico de 380 v, 50hz, 7.5hp, 950 rpm, ipp55 acoplamiento entre bomba y motor.

Base de acero laminado, con protección incluida, pintura y alineación.

Estanques de separación de fases (Plano 7)

Tiene como finalidad separar en dos fases y el sobre nadante con mayor contenido de hidrocarburos conducirlo por su bandeja para un tratamiento con sorbente y las aguas de fondo con menor presencia de hidrocarburos despicharlas para filtrarlas.

Especificaciones de construcción:

El cono inferior construido con acero en plancha A 37 ES, de 6 mm de espesor, el cuerpo cilíndrico de acero en plancha A 24 ES, de 5 mm, la bandeja de recepción de con acero en plancha A 24 ES, de 5 mm 6 patas de acero.

Tornillo sin fin

La tarea de este es alimentar con sorbente de forma continua a una razón de 1 kg. Hora.

Especificaciones de construcción:

Construido en acero, con motor eléctrico de 1 HP.

Filtro de canasto

Estos filtros tienen como finalidad retener las impurezas de mayor diámetro y excedente de sorbente.

Especificaciones de construcción:

Su sección cilíndrica de diámetro 60 cm y alto 55 cm esta fabricada de planchas de acero A 24 ES, cuenta con un canasto interior el cual contiene la malla de acero filtrante de 30 micras.

Filtro de paño

Estos filtros tienen como finalidad retener las trazas de hidrocarburo.

Especificaciones técnicas:

Filtros de geotextil, con matrices de acero (fabricación de paño a pedido).

Filtro de manga

Estos filtran el agua con sorbente, atrapando el sorbente que contienen al hidrocarburo y darle un mayor tiempo de residencia hasta su saturación de hidrocarburo.

Especificaciones técnicas:

Filtros de geotextil especial maraca Beko, duración entre 4-5 m³ de acumulación de sorbente.

ORGANIZACIÓN DE LA PLANTA: DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS, PROGRAMA DE PROCESO Y MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS.

DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA Y EQUIPOS

La planta de revalorización (Plano 8) cuenta con tres secciones:

- Recepción de materias primas y carga de combustible (Plano 9).
- Planta de Recuperación de combustible (Plano 10)
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (Plano 11).

Recepción de materias primas y carga de combustible esta constituida por:

Rampa de camiones.

Piscina de recepción de aguas libres (Capacidad 3 m³).

Sistema de empalme para manguera del camión.

Sistema de carga de camión con combustible procesado.

Planta de Recuperación de combustible:

3 Estanques de separación cónicos (Capacidad 30 m³).

Piscina tripartita de separación (Capacidad 45 m³).

Bomba 1 (30 m³/h)

2 Manífol

2 Filtros canastos

3 Estanques de acumulación (Capacidad m³)

2 Calandrias

Bomba 2 (20 m³/h)

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales:

Pozo de acumulación aguas residuales (Capacidad 10 m³)

Bomba 3 (10 m³/h)

Tornillo sin fin

2 Estanques cónicos de separación con bandeja

3 filtros de de canasto

2 Filtros de paño

3 filtros de manga

Pozo de acumulación de aguas tratadas (Capacidad 25 m³)

PROGRAMA DE PROCESO

RECUPERACIÓN DE COMBUSTIBLE:

La recuperación de combustible se realiza en un proceso por lote, que cuenta con dos etapas generales, separación por acción gravitatoria y una etapa térmica para evaporar el excedente de agua posterior a esta etapa, se divide en los siguientes procesos:

Recepción: La recepción se realiza en una rampa inclinada donde se deja el camión por un periodo de 12 horas, luego se despicha las aguas libres en la piscina de recepción estas son conducidas al tratamiento de aguas residuales, una vez descargada la fase acuosa se conecta la manguera del camión al empalme de recepción y es accionada la bomba 1 para impulsar las aguas de sentina a uno de los tres estanques cónicos de separación.

Separación por acción gravitatoria: En tres estanques de 30 m³ volumen similar de los camiones se deja por un periodo de 24 horas para producir separación de fases, luego se despicha las aguas libres que son conducidas al tratamiento de aguas residuales, a través de la bomba 1 se impulsa el agua de sentina al fondo de la piscina tripartita de separación de fases.

Separación de fases en piscina tripartita: En la piscina de 45 m³ separadas en tres niveles, las aguas de sentina pasan por rebalse a la siguiente sección, acumulándose en el fondo las aguas libres y pasando el combustible mas concentrado, las aguas libres son bombeadas desde el fondo de las tres secciones y conducidas al tratamiento de aguas residuales.

Bombeo por superficie: En el tercer compartimiento de la piscina de separación el hidrocarburo es succionado a través de la bomba 1 con un sistema de esquimer flotante al estanque de acumulación.

Filtración: Desde el tanque de acumulación con la bomba 1 es impulsada la mezcla pasando por un filtro de canasto que eliminan impurezas sólidas que estén contenidas en el hidrocarburo, hasta las calandrias.

Tratamiento térmico en calandrias: Con dos calandrias calentadas por fuego directo, la mezcla se lleva a 120° C por un periodo de 6 horas, de esta forma se asegura de obtener un producto con menos de un 2% de agua, optimo para ser utilizado como combustible, con propiedades similares al fuel oil N° 6.

Filtración pos tratamiento térmico: Con un filtro de canasto se eliminan impurezas sólidas que estén contenidas en el hidrocarburo.

Carga de camión o almacenamiento para posterior distribución: Si existe un despacho inmediato se procederá a cargar el combustible caliente (60°C) al camión, de lo contrario se acumulara en los dos estanques de almacenamiento de 99 m³.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:

El tratamiento de aguas se realiza en proceso continuo, basado en la separación por acción gravitatoria, filtrado y aplicación de sorbente para la fase con mayor contenido de hidrocarburo para su extracción se divide en las siguientes etapas:

Captación de las aguas residuales en: piscina de recepción, estanques cónicos de separación, piscina tripartita y vahos del proceso de evaporación en calandrias.

Acumulación aguas en pozo pulmón y Bombeo: en el pozo de 10 m³ se acumulan las aguas residuales para ser transportadas por la bomba 3 de forma continua al estanque cónico de separación.

Separación en primer estanque cónico por diferencia de densidad: se separa de forma continua y las aguas sobre nadantes con mayor contenido de hidrocarburos caen a la bandeja externa del estanque donde es agregado el sorbente, esta fracción de las aguas es conducida al segundo estanque cónico, al mismo tiempo por la parte inferior salen las aguas con menor presencia de hidrocarburos las cuales son pasadas por un filtro de canasto para eliminar partículas mayores y posteriormente por un filtro de paño para eliminar trazas de hidrocarburos, estas aguas tratadas son acumuladas en el pozo de 25 m³.

Separación en segundo estanque cónico: se separa de forma continua y las aguas sobre nadantes con la sorbente son pasadas por filtros de paño donde es retenida el sorbente que contiene las trazas de hidrocarburos, al mismo tiempo por la parte inferior salen las aguas con menor presencia de hidrocarburos las cuales son pasadas por un filtro de canasto para eliminar partículas mayores y sorbente que haya sido arrastrado, posteriormente por un filtro de paño para eliminar trazas de hidrocarburos, estas aguas tratadas son acumuladas en el pozo de 25 m³.

MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Existe una baja generación de residuos sólidos proveniente de la limpieza de las mallas metálicas de los filtros canastos en forma de lodos e hidrocarburos con sorbente, estos se pueden estabilizar con una razón de 1 kg de Cal por m³ de lodo y ser dispuesto como residuo domiciliario en un vertedero autorizado (al no clasificar como residuo industrial peligroso) o ingresarlo a las cámaras de combustión de las calandrias para ser quemados.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

INTRODUCCIÓN A LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para valorar una empresa o en general una inversión, lo que se debe hacer es una proyección de los flujos futuros de caja esperados de la empresa, es decir una proyección de los flujos de ingresos (entradas) y de egresos (salidas) de caja esperados por la empresa en el futuro.

Estos flujos de caja relevantes en la determinación del valor de esta empresa serán los siguientes:

- Flujos de Ingresos de Caja: todos los que la empresa puede generar en el futuro, con los activos que ella cuenta.
- Flujos de Egreso de Caja: todos los flujos de egresos de caja que la empresa deba destinar para lograr obtener aquellos ingresos de caja que sus activos son potencialmente capaces de generar.

A continuación se detalla la determinación de la Inversión y de los Flujos de Caja relevantes para este proyecto.

INGRESOS

Los ingresos del proyecto están dados por 2 fuentes de entrada:

A) Ingresos por el retiro de las aguas de sentina desde los barcos

El retiro de aguas de sentina se paga a un precio promedio por estanque de 30 toneladas es de US\$ 600. En total se estima atender a 15 barcos con un promedio de 30 toneladas cada uno.

Dado la proporcionalidad y regularidad de barcos que arriban a estos dos puertos, se ha estimado el retiro en un 60% de San Antonio (9 barcos) y en un 40% de Valparaíso (6 barcos), por lo tanto los ingresos por Retiro de sentinas, es:

Ingreso San Antonio : $US\$600 * 9 = US\$ 5.400/\text{mes}$

Ingreso Valparaíso : $US\$600 * 6 = US\$ 3.600/\text{mes}$

Total Ingreso mensual por retiro se Sentina = US\$ 9.000

Total Ingreso anual por retiro de Sentina = US\$ 108.000

US\$ 1 = \$538,22 ³³	= \$58.127.760
---------------------------------	-----------------------

Se estima una tasa anual de crecimiento³⁴ del 2,6% para los Ingresos por concepto de Retiro de Sentina.

³³ Valor dólar observado 05 de enero de 2007.

³⁴ Por ser un servicio no convencional se ha estimado un crecimiento anual igual al IPC del 2006, Boletín IPC informativo del Instituto nacional de estadística, 4 de enero de 2007.

B) Venta del Combustible alternativo, producto del tratamiento de las aguas de sentina.

El Precio del Combustible alternativo es de \$120.000/ton (precio elegido según valor de mercado del combustible N° 6 similar en características al combustible alternativo y costo de operación de revalorización). El volumen de producción estimado para la venta es de 190 toneladas / mes:

Total Ingreso mensual por Venta de Combustible:

$\$ 120.000 \times 190 \text{ Ton} = \$22.800.000$
--

Total Ingreso anual por Venta de Combustible:

$\$273.600.000$

Se estima una tasa anual de crecimiento³⁵ del 6,3% para los Ingresos por concepto de Venta de Combustible alternativo.

³⁵ 6,3 valor de aumento del IPC para los combustibles año 2006.

INVERSIÓN INICIAL**A) Retiro de Sentina:**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	CAPACIDAD	PRECIO UNIDAD \$	PRECIO TOTAL \$
Rampas con estanques	2	30 toneladas	\$ 12.000.000	\$ 24.000.000
Mangueras	1	240 m	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
Total				\$ 29.000.000

Total Inversión Retiro	: \$ 29.000.000
-------------------------------	------------------------

B) Planta Procesadora:**PLANTA DE RECUPERACIÓN DE COMBUSTIBLE.**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	CAPACIDAD	PRECIO UNIDAD \$	PRECIO TOTAL \$
Bomba 1	1	30m ³ /h	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000
Bomba 2	1	20m ³ /h	\$ 2.200.000	\$ 2.200.000
Motobomba (asistencia)	1	10m ³ /h	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Calandrias	2	30m ³	\$ 14.000.000	\$ 28.000.000
Estanque de acumulación	3	99m ³	\$ 12.000.000	\$ 36.000.000
Estanque de separación	3	30m ³	\$ 8.000.000	\$ 24.000.000
Filtros de canastos	2	0,4m ³	\$ 350.000	\$ 700.000
Manífol	2	3 juego de llaves	\$ 900.000	\$ 1.800.000
Piscina de separación	1	60m ³	\$ 8.000.000	\$ 8.000.000
Piping (tuberías, flanges, codos y válvulas)	1	Total	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000
Radier	1	750m ²	\$ 16.000.000	\$ 16.000.000
Montaje eléctrico	1	Instalación de potencia y control	\$ 690.000	\$ 690.000
Montaje mecánicos	1	Montaje, soldaduras y alineación	\$ 2.700.000	\$ 2.700.000
Obras civiles anexas	1	Ductos, veredas y oficina	\$ 24.000.000	\$ 24.000.000
Total				\$ 156.190.000

CARGA Y DESCARGA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	CAPACIDAD	PRECIO UNIDAD \$	PRECIO TOTAL \$
Cisterna de recepción	1	3m ³	\$ 1.600.000	\$ 1.600.000
Filtros de canastos	2	0,4m ³	\$ 350.000	\$ 700.000
Mangueras	2	20m de 3''	\$ 200.000	\$ 400.000
Rampa descarga camión	1	1 camión	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000
Total				\$ 6.700.000

PLANTA DE TRATAMIENTO RIL

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	CAPACIDAD	PRECIO UNIDAD \$	PRECIO TOTAL \$
Bomba 3	1	10m ³ /h	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Cisterna de agua tratada	1	25m ³	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000
Estanques de separación sobre nadante	2	20m ³	\$ 10.000.000	\$ 20.000.000
Filtro de paño	2	10 secciones	\$ 650.000	\$ 1.300.000
Filtros de canasto	3	0,4m ³	\$ 350.000	\$ 1.050.000
Filtros de manga	3	0,35m ³	\$ 280.000	\$ 840.000
Pozo de acumulación	1	20m ³	\$ 3.800.000	\$ 3.800.000
Tornillo sin fin	1		\$ 12.000.000	\$ 12.000.000
Montaje eléctrico	1	Instalación de potencia y control	\$ 460.000	\$ 460.000
Montaje mecánicos	1	Montaje, soldaduras y alineación	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Obras civiles anexas	1	Ductos, veredas y oficina	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000
Total				\$ 53.050.000

GASTOS PUESTA EN MARCHA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIDAD \$	PRECIO TOTAL \$
Fletes medios	4	Santiago-San Antonio	\$ 300.000	\$ 1.200.000
Fletes mayores	3	Santiago-San Antonio	\$ 500.000	\$ 1.500.000
Permisos	1		\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Total				\$ 4.200.000

Total Inversión Planta**\$220.140.000**

COSTOS

Tanto para el retiro de sentina de los barcos como para el procesamiento y venta del combustible existen costos de la operación asociados, a estos valores se les a asociado una tasa anual de crecimiento igual a la declarada por el Instituto de Nacional de Estadísticas en sus boletines informativos edición N° 98: “Boletín Índice Precio Consumidor” y “Boletín Índice de Remuneraciones”, ambos publicados el 4 de enero de 2007, para gastos no clasificados se ha asumido una tasa igual al IPC total del año 2006 de 2,6%:

1) Arriendo de Terreno:

Dentro de la inversión no se consideró la compra de algún terreno industrial, dado el monto que esto puede significar al inicio del proyecto, por lo tanto, se estimó realizar un contrato de arriendo, el costo de arriendo mensual es \$400.000.

El costo anual por concepto de arriendo de terreno es de \$4.800.000 y se estima una tasa anual de crecimiento del 0,9% para este gasto.

2) Traslado:

Para poder trasladar el material hasta la planta de procesamiento, se requiere de camiones, para lo cual se estima conveniente arrendarlos por un valor de \$55.000 por viaje desde san Antonio (9 viajes) y de \$160.000 desde Valparaíso (6 viajes).

El costo anual por concepto de traslado es de \$17.460.000 y se estima una tasa anual de crecimiento del 5,6% para este gasto.

3) Accesos y Permisos:

Para lograr retirar y luego procesar 400 toneladas, se debe pagar al puerto por acceso y permisos, a la aduana por costos de internación, \$25.000 y \$30.000 aprox. Respectivamente para cada una de las operaciones.

El costo anual por concepto de accesos y permisos es de \$9.900.000 y se estima una tasa anual de crecimiento del 2,6% para este gasto.

4) Insumo planta tratamiento RIL \$750.000 mensual, \$9.000.000 anual, se estima una tasa anual de crecimiento del 7,7% para este gasto.

5) Mantención \$350.000 mensual, \$4.200.000 anual, se estima una tasa anual de crecimiento del 7,3% para este gasto.

6) Repuestos para filtros de manga y filtros canasto \$350.000 mensual, \$4.200.000 anual, se estima una tasa anual de crecimiento del 7,7% para este gasto.

7) Energía Eléctrica \$700.000 mensual, \$8.400.000 anual, se estima una tasa anual de crecimiento del 1,5% para este gasto.

8) Patentes, Permisos y Seguros \$350.000 mensual, \$4.200.000 anual, se estima una tasa anual de crecimiento del 2,6% para este gasto.

9) Análisis de Aguas Residuales \$300.000 mensual, \$3.600.000 anual, se estima una tasa anual de crecimiento del 2,6% para este gasto.

10) Contabilidad \$500.000 mensual, \$6.000.000 anual, se estima una tasa anual de crecimiento del 3,7% para esta remuneración.

11) Mano de Obra:

- Administrador

Se contemplará un administrador a cargo de la planta en cuanto a sus operaciones técnicas como administrativas, con un sueldo de \$1.200.000 mensuales.

El costo anual por concepto del Administrador es de \$14.400.000 y se estima una tasa anual de crecimiento del 9,3% para esta remuneración.

- Asesor Ambiental, \$900.000 mensual, \$10.800.000 anual, se estima una tasa anual de crecimiento del 6,1% para esta remuneración.

- Prevencionista de Riesgos \$350.000 mensual, \$4.200.000 anual, se estima una tasa anual de crecimiento del 3,4% para esta remuneración.

- Operadores

Los montos de inversión señalados anteriormente fueron estimados considerando una planta que permita procesar 1 toneladas combustible por hora, es decir se requerirá de 200 horas de procesamiento al mes para procesar las 400 toneladas de aguas de sentina para obtener 200 toneladas de combustible estimadas en el proyecto.

Dado la cantidad de horas que requiere funcionar la planta, se necesitara cubrir 3 turnos de operación directa de la planta, cada turno debe contar con 2 operadores al siguiente costo de mano de obra:

$2 \text{ operadores /turno} \times 3 \text{ turnos} \times \$300.000 \text{ /turno} = \$ 1.800.000/\text{mes}$

El costo anual por concepto de operadores es de \$21.600.000 y se estima una tasa anual de crecimiento del 7% para esta remuneración.

- Peoneta

Para las operaciones de retiro se debe considerar la contratación de un peoneta, con un costo mensual de \$ 150.000 (sobre la base de \$ 10.000 por cada 30 toneladas).

El costo anual por concepto de traslado es de \$1.800.000 y se estima una tasa anual de crecimiento del 4,8% para esta remuneración.

- Guardia

Se contempla tener un guardia para la noche y fin de semana, con un sueldo de \$250.000 mensuales.

El costo anual por concepto del Guardia es de \$3.000.000 y se estima una tasa anual de crecimiento del 4,8% para esta remuneración.

12) Gastos Generales (teléfonos, papeles, Internet, etc.) \$ 300.000 mensual, \$3.600.000 anual, se estima una tasa anual de crecimiento del 4,2% para este gasto.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN:

- Período de evaluación : 5 años
- Tasa de descuento : 10 % anual
- Depreciación : Lineal, sin valor residual
- Valor de rescate : 10% de la Inversión al quinto año.
- Fuentes de financiación : Propias.
- Criterios : VAN, TIR, período de recuperación.

CONCLUSIONES EVALUACIÓN ECONÓMICA:

En base al estudio realizado y a los datos expuestos en este informe, se pueden concluir los siguientes conceptos:

1. Inversiones:

- a. Respecto al monto de la inversión se puede indicar que esta asciende a \$220.640.000 los cuales son recuperados en un plazo de un año tres meses, según los valores obtenidos en el flujo de caja.
- b. Se debe indicar que alguno de los montos fueron tomados en forma conservadora, es decir, es posible que alguno de los bienes a comprar se puedan adquirir aun valor inferior al señalado.

2. Económico:

- a. Analizando los flujos de caja se puede señalar que para una tasa de descuento de 10% anual, se tiene un VAN³⁶ de \$562.642.224
- b. El flujo arroja una tasa de retorno (TIR)³⁷ de 79% durante los 5 años de evaluación del proyecto. objetivo.

Conclusión Final Evaluación Económica.

Considerando los puntos anteriormente señalados, se recomienda realizar la inversión.

³⁶ ANEXO VIII: Determinación del Van.

³⁷ ANEXO VIII: Determinación del TIR.

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Discusiones generales:

- Dado el alto tráfico naviero de la V región, existe un peligro latente de contaminación por hidrocarburos.
- Al mejorar las condiciones de recepción y control se evitara la practica de achique, de esta forma se disminuirá la contaminación por hidrocarburos en la costa.
- Existe un amplio marco legal de control para evitar la contaminación en la costa por aguas de sentina, pero existe poca claridad sobre los procesos de tratamiento y disposición que deben tener esta una vez extraídas de los barco.
- La inexistencia de una planta de tratamiento con tecnologías limpias impide la real eficiencia del control de la contaminación por hidrocarburos, ya que con las prácticas actuales solo se traslada la contaminación espacialmente.

Conclusiones implementación:

- Para desarrollar una planta de recuperación de combustible es necesaria complementarla con una planta de tratamiento de las aguas, debido al grado de contaminación de las aguas resultantes del proceso.
- El mejoramiento de la calandria clásica es fundamental para agilizar el proceso de revalorización de aguas de sentina.

Conclusiones económicas:

- Existe una alta demanda por el servicio de extracción de aguas de sentina dado el tráfico naviero en la zona.
- El combustible alternativo por ser similar al fuel oil N° 6, que es uno de los combustibles que tiene mayor uso en las industrias, tiene amplias expectativas de tener una alta demanda al presentar menor precio que este.
- Con la creación de esta empresa se creará una fuente de trabajo estable en la zona.
- Dada la evaluación económica es recomendable hacer la inversión, ya que esta se rentabiliza.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Desarrollo de reactores de biofilm para tratamiento continuo de aguas contaminadas con hidrocarburos provenientes de residuos de sentina de buques, <http://www.medioambiente.gov.ar/archivos/web/PCCGDBM/File/A-C-31.pdf>.
- MARPOL 73/78. Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por Buques
- <http://www.directemar.cl>, Directemar.
- Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974
- <http://www.webmedioambiente.com>, Web Medio ambiente.
- Tabla I D.S. 90, <http://www.conama.cl>
- Tabla IV D.S. 90, <http://www.conama.cl>
- Tabla 3 D.S. n°609/1998, <http://www.conama.cl>
- <http://www.zonaindustrial.cl>, Web Zona Industrial San Antonio.
- Transferencia de Calor, Donal Q. Kern, Capitulo 18, Procesos por lotes y de estado inestable, Procesos de Trigésima sexta reimpresión, 2005.
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/latente/Medida%20del%20calor%20de%20vaporización>, Medida del calor de vaporización.
- Instituto de Nacional de Estadísticas en sus boletines informativos edición N° 98: “Boletín Índice Precio Consumidor” y “Boletín Índice de Remuneraciones”, ambos publicados el 4 de enero de 2007,

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- SISTEMA DE EVOLUCIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL, DIA SOPESA S.A., <http://www.e-seia.cl> (visita julio de 2006).
- SÚPER INTENDENCIA DE SANITARIAS, Ficha para caracterización de RILes, <http://www.siss.cl> (visita agosto de 2006).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, Anuario de transporte y comunicación 2005, <http://www.ine.cl> (visita septiembre de 2006).
- MIGUEL RIGOLA LAPEÑA, "Tratamiento de aguas Industriales", 1999.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. APHA, 19°Ed. 1995.
- COPEC, <http://www.copec.cl> (visita octubre de 2006).

ANEXOS

Anexo I: Copia Informe análisis agua de sentina	1
Anexo II: Copia Informe analisis combustible alternativo	2
Anexo III: Entrevista Encargado medio ambiente, Gobernación Marítima, Valparaíso	3
Anexo IV: Numero de Recaladas de Naves Nacionales y Extrajeras por Puerto año 2004	6
Anexo V: Copia DIRINMAR N° 12600/1793, Documentos a presentar por empresa para solicitar autorización retiro mezcla oleosas de nave	8
Anexo VI: Servicios de retiro mezclas oleosas autorizadas al año 2006.....	9
Anexo VII: Copia autorización uso de sorbente “petroclean” para derrames de petróleo	10
Anexo VIII: Flujo del Proyecto	11
Anexo IX: Copia informe análisis aguas libres	12
Anexo VII: Ficha combustible N° 6	14