



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Evaluación técnico-económica de los generadores de vapor en planta Camanchaca S.A. y su factibilidad de reemplazo.

Seminario de Título presentado en
conformidad a los requisitos para
obtener el título de Ingeniero de
Ejecución en Mecánica.

Profesor Guía:
Sr. Luis Cerda Miskulini
Ingeniero Supervisor:
Sr. Daniel Olguín Vega

Milton Iván Pavez Silva

Luis Adolfo Peña Pérez

2013

Resumen

El presente trabajo se realiza en la empresa pesquera Camanchaca S.A. (Coronel), con el objetivo de realizar una evaluación técnica del funcionamiento de calderas a vapor y factibilidad de reducir al menos un 90% las emisiones de SO_2 y el material particulado de la empresa.

Dicho estudio consta de una parte descriptiva del estado actual de las calderas, los usos del vapor, los parámetros del agua de alimentación. Además con base en datos medidos en la sala de calderas, se realiza un estudio de la eficiencia de éstas mediante el método directo e indirecto.

Finalmente se realiza un estudio de reemplazo, teniendo en cuenta la eficiencia de las calderas, años de antigüedad, emisiones contaminantes y material particulado.

Del estudio realizado se llega a la conclusión de optar por reemplazar 4 de las 5 calderas existentes debido a su baja eficiencia, por 3 calderas nuevas de la empresa Alfa Laval Aalborg, las cuales además de ofrecer una eficiencia del 90,5%, incluyen un sistema de limpieza de los gases de la combustión, lo cual significa una inversión inicial de US\$ 2.499.800. El estudio económico realizado a 10 años arrojó un VAN de US\$ 449.503,5 y un TIR de 18,55%.

Contenidos

	Pág.
• Capítulo I: Introducción	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Origen del problema	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivos generales.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
• Capítulo II: Descripción de la empresa	3
• Capítulo III: Producción de vapor	4
3.1 Distribución del vapor	4
3.2 Retorno de condensado.....	4
3.3 Demanda actual de vapor	5
• Capítulo IV: Proceso de obtención de la harina de pescado	8
4.1 Descripción del proceso.....	8
4.2 Características de equipos en el proceso de sólidos.....	9
4.3 Características de equipos en el proceso del agua de cola.....	12
4.4 Objetivos del proceso de sólidos	13
• Capítulo V: Tratamiento de agua para calderas	16
5.1 Impurezas del agua	16
5.1.1 Efectos de las impurezas del agua de alimentación de calderas	16
5.2 Procedimientos para purificar el agua de alimentación.....	17
5.2.1 Método complementario para la purificación del agua de alimentación.	18
5.3 Influencia de la calidad del agua.....	19
5.4 Resultados del estado del agua de alimentación.....	19
5.4.1 Comentarios y recomendaciones	21

• Capítulo VI: Análisis técnico de las calderas actuales	22
6.1 Estado actual de las calderas	22
6.2 Características técnicas de las calderas actuales.....	23
6.2.1 Principales partes de una caldera	24
6.3 Causas de fallas en las calderas	26
6.3.1 Antecedentes de la empresa	26
6.4 Rendimiento directo	28
6.4.1 Comentarios y recomendaciones	30
6.5 Rendimiento indirecto	31
6.6 Análisis de resultados.....	32
• Capítulo VII: Análisis de alternativas	34
7.1 Filtro de mangas y lavador de gases de proveedores.	34
7.1.1 Alternativa de Thermal Engineering	34
7.1.1.2 Filtro de mangas	35
7.1.1.3 Lavador de gases	36
7.1.2 Alternativa Alfa Laval Aalborg.....	38
7.1.2.1 Características técnicas de la caldera M3P-24.....	38
7.1.2.2 Características del lavador de gases.....	40
• Capítulo VIII: Estudio económico	41
8.1 Criterios	41
8.1.1 VAN	41
8.1.2 TIR.....	41
8.1.3 PRI.....	41
8.2 Costos considerados	41
8.2.1 Costos de calderas de la empresa	42

8.2.2 Inversión Thermal Engineering.....	42
8.2.2.1 Conclusión de la inversión.....	43
8.2.3 Inversión Alfa Laval Aalborg.....	44
8.2.3.1 Ahorro.....	44
8.2.3.2. Resultados del estudio económico	46
8.4 Conclusión de la inversión	47
• Capítulo IX: Conclusiones	48
• Referencias bibliográficas	50
• Anexo A: Certificaciones de la empresa.....	52
• Anexo B: Análisis del agua de las calderas	54
• Anexo C: Certificaciones de revisiones y pruebas de calderas	55
• Anexo D: Cálculo eficiencia de las calderas	60
• Anexo E: Costos de inversión	72
• Anexo F: Emisión de contaminantes calderas Alfa Laval Aalborg	74

Capítulo I: Introducción

1.1 Generalidades

La caldera es un equipo diseñado para generar vapor o agua caliente. Hay diversos tipos y diseños de calderas, en el caso de estudio las calderas son de tipo pirotubular, en donde se genera vapor a través de una transferencia de calor a presión constante, en donde el agua de alimentación se calienta y cambia su fase. El calor necesario proviene de la combustión de petróleo N°6.

La empresa pesquera Camanchaca S.A. utiliza las calderas principalmente para la generación de vapor saturado que requieren ciertos equipos, para poder llevar a cabo el proceso de fabricación de harina y aceite de pescado.

La harina fabricada en la planta es un importante componente en la preparación de alimentos para animales, especialmente orientados a actividades de acuicultura, en cambio el aceite obtenido es rico en grasas poli-insaturadas, parte de la familia de aceites Omega 3. Sus principales componentes son los ácidos eicosapentanoico (EPA) y docosahexanoico (DHA). El aceite de pescado es una fuente energética y nutricional esencial, utilizada en la producción de alimento para peces y crustáceos destinados tanto a la acuicultura, como a otras áreas de producción animal (avícola y porcina), siendo la harina y el aceite de pescado, comercializados a nivel nacional e internacional.

El siguiente estudio, se basa en un análisis técnico-económico en relación a las calderas que hay actualmente en la empresa pesquera Camanchaca S.A., en donde el objetivo principal es dar cumplimiento a los compromisos adquiridos por Camanchaca, en relación a la RCA 223 del 22 de agosto de 2005, que consiste en reducir al menos un 90% las emisiones de SO_2 y el material particulado asociados a las calderas. También ver la factibilidad del cambio de éstas, las cuales debido a sus años de servicio han presentado algunas desventajas en comparación con las calderas que ofrece gradualmente el mercado, las cuales tienen mejoras en rendimiento y en la reducción de emisión de contaminantes.

1.2 Origen del problema

Necesidad de reducir los costos en consumo de combustibles y de mantención de las calderas. Además, de acuerdo a los estándares internacionales vigentes, relacionados con la contaminación ambiental, debe incurrirse en un gran desembolso económico para el tratamiento de los gases de combustión, sin que esto reporte una disminución en los costos de producción.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos generales

- Evaluación técnica del funcionamiento de calderas a vapor y factibilidad de reducir al menos un 90% las emisiones de SO_2 y el material particulado de la empresa Camanchaca S.A.

1.3.2 Objetivos específicos

- Reconocer la red de distribución de vapor a los diferentes equipos y sus consumos.
- Realizar un análisis técnico-económico del actual funcionamiento de los generadores de vapor.
- Analizar y seleccionar filtro de mangas y lavador de gases de las calderas actuales.
- Realizar un estudio de factibilidad de reemplazo de las calderas.
- Estudiar costos y retorno de la inversión.

Capítulo II: Descripción de la empresa

Camanchaca S.A. es una empresa de la región del Biobío, ubicada en la ciudad de Coronel, que se dedica a la producción de conservas, harina y aceite de pescado, teniendo como materia prima el jurel y la sardina.

Camanchaca S.A. es una de las principales pesqueras líderes del país, en Coronel cuenta con dos plantas: una para conservas, con capacidad de producción de 25.000 cajas diarias, y otra para harina y aceite de pescado, con capacidad de proceso para 2.200 toneladas diarias de materia prima. Posee una capacidad instalada para producir vapor de 86144 (kgv/h). Sus procesos productivos cuentan con certificaciones ISO 9001, IFFO RS (ver anexo A).

Además de los productos que producen, de los cuales la mayoría son exportados, hay parte de ellos que se utilizan en Chile para la fabricación principalmente de alimento para perros como es el caso de la harina de pescado.

Con miras hacia el futuro, Camanchaca S.A, ha ido renovándose en términos tecnológicos, con lo cual también ha ido buscando permanentemente estar a la vanguardia a nivel de las pesqueras, y ser lo más eficaz y eficiente.



Figura 2.1 1) Harina de pescado. 2) Aceite de pescado.

Capítulo III: Producción de vapor

3.1 Distribución del vapor

La empresa posee 5 calderas de tipo pirotubular.

El vapor generado en las calderas, tiene como principal objetivo cubrir las necesidades de los equipos que se utilizan en la fabricación de harina de pescado, pero a la vez parte del vapor (un 20%), se utiliza en la planta de conserva ubicada a un costado de la planta de harina.

La distribución de vapor se realiza a través de un manifold, el cual es un equipo en donde se junta el vapor producido por las diferentes calderas, con el fin de distribuirlo a los equipos que lo utilizan, o también enviarlo a otro manifold como se puede apreciar en la figura N° 3.1. Los vapores son derivados a cada equipo mediante redes de vapor.

3.2 Retorno de condensado

Una vez que el vapor es utilizado, éste retorna mediante la línea de condensado hacia el desaireador, en donde se junta con el agua tratada que viene de los ablandadores, para posteriormente ser utilizado en las calderas.

En las líneas de retorno de condensado, la empresa estima que el condensado recuperado es de un 85%, el cual fue verificado con los datos de operación. Esto se debe a las fugas en las líneas de vapor, purgas de las calderas y vapor utilizado en la planta de conserva, ya que este se pierde en los equipos donde se esterilizan los tarros de conserva. Esto conlleva a tener que introducir agua tratada al flujo cerrado de vapor para compensar las pérdidas.

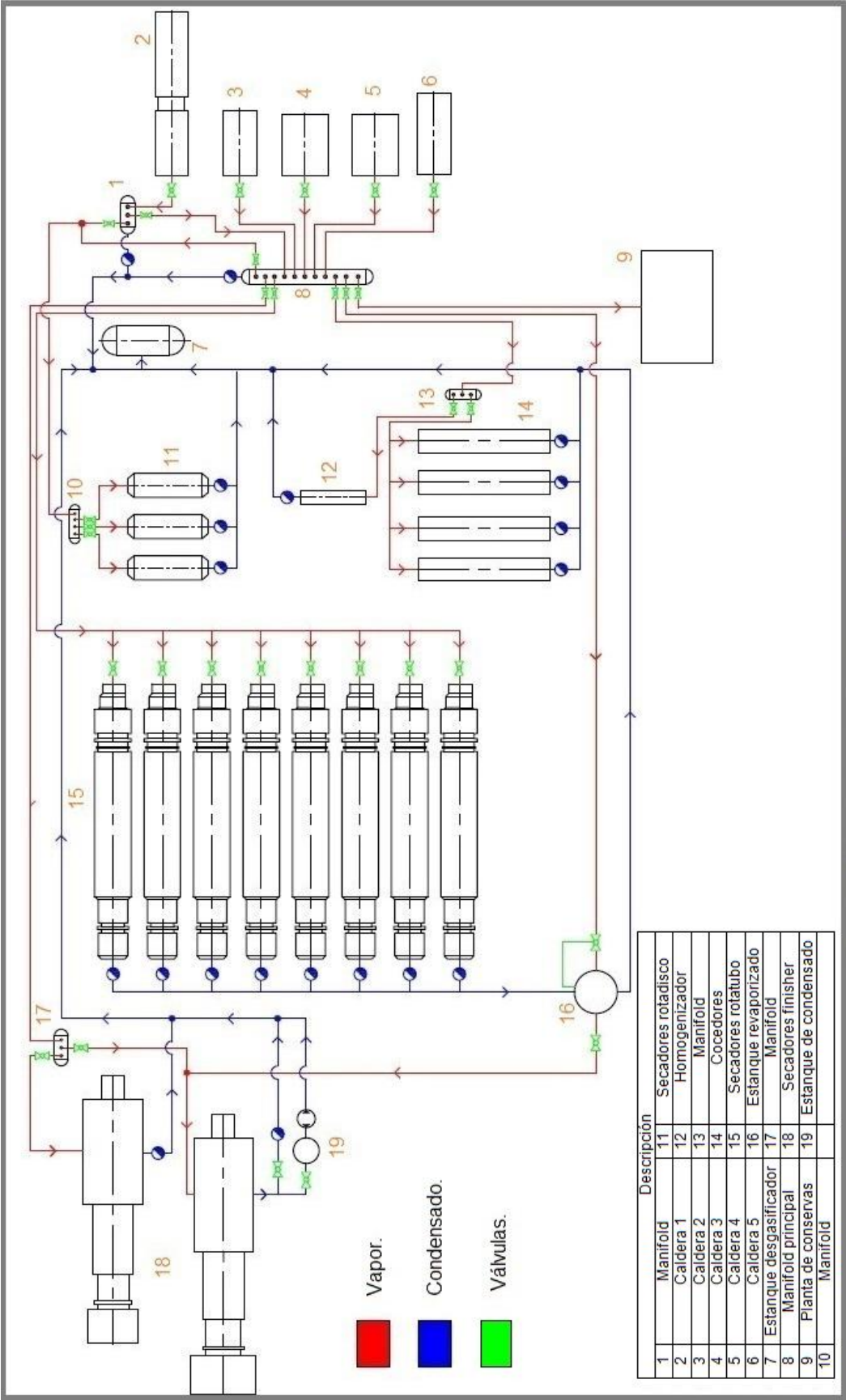


Figura 3.1 Recorrido del vapor y retorno de condensado

3.3 Demanda actual de vapor

La demanda de vapor existente en la empresa es variable, debido a que durante el año existen periodos donde hay baja pesca. Existen meses donde utiliza todas las calderas para generar vapor, y otros meses donde solo utiliza las calderas necesarias para suplir la demanda de vapor, de acuerdo a la cantidad de pescado que llega en los barcos.

La caldera N° 3, funciona sólo cuando la planta opera a máxima capacidad, es decir cuando se procesan las 2.200 toneladas diarias de materia prima, mientras que cuando no se alcanza dicha cantidad, permanece “stand by” por si otra caldera presentara algún tipo de falla, ya que consume mucho combustible para tenerla operando todos los días.

Por otra parte la planta de harina puede procesar sardinas y jurel, en la cual hay equipos como los “finisher” (equipo que seca la harina con aire caliente), que solo lo utilizan dependiendo del pescado que se está procesando, ya sea sardina o jurel.

Tabla 3.1 Demanda actual de los equipos en planta de harina.

Equipo	Marca	Modelo	Consumo Vapor (ton/h)
Cocedores			
1	Conmetal	C-50	4
2	Conmetal	C-50	4
3	Conmetal	C-50	4
4	Conmetal	C-50	4
Secadores Rotadisco			
1	Stord Verft	TST 80 ROX	3
2	Stord Verft	TST 80 ROX	3
3	Stord Verft	TST 80 ROX	3
Secadores Rotatubos			
1	Conmetal	SVT-2500	5
2	Conmetal	SVT-2000	5
3	Conmetal	SVT-2000	5
4	Conmetal	SVT-2000	5
5	Conmetal	SVT-2000	5
6	Conmetal	SVT-2500	5
7	Conmetal	SVT-2500	5
8	Conmetal	SVT-2500	5
Finisher			
1	Conmetal	SAC 3812	7
2	Camanchaca	SAC 3812	6
TOTAL			78

Capítulo IV: Proceso de obtención de la harina de pescado

4.1 Descripción del proceso

En la figura N° 4.1 se muestra un esquema del proceso de elaboración de harina de pescado, el cual se divide en dos partes, uno es el proceso del sólido y el otro es el proceso del agua de cola.

El proceso del sólido comienza con la introducción del pescado a los cocedores, con capacidad de 50 (ton/h) cada uno. El tiempo de permanencia del pescado en el interior de los cocedores es aproximadamente de 20 minutos.

La materia prima cocida pasa a las prensas, las cuales tienen una capacidad de 40 (ton/h) cada una. La torta de prensa formada en estos equipos, es llevada a los secadores (rotatubos), los cuales tienen una capacidad nominal de 15 (ton/h) cada uno. Luego del secado, la materia prima pasa a los enfriadores para posteriormente ser molida y finalmente se adiciona el antioxidante antes del ensaque.

El proceso del agua de cola se inicia en el decanter. El agua de cola que se procesa viene de los cocedores y de las prensas. Luego que al agua de cola se le ha sacado el máximo de sólidos disueltos, la parte líquida pasa a las centrífugas. En esta parte del proceso se separa el aceite del agua.

Posteriormente esta agua se procesa en la planta evaporadora, produciendo el llamado concentrado, el cual es enviado, por medio de una bomba de tornillo, a la torta de prensa.

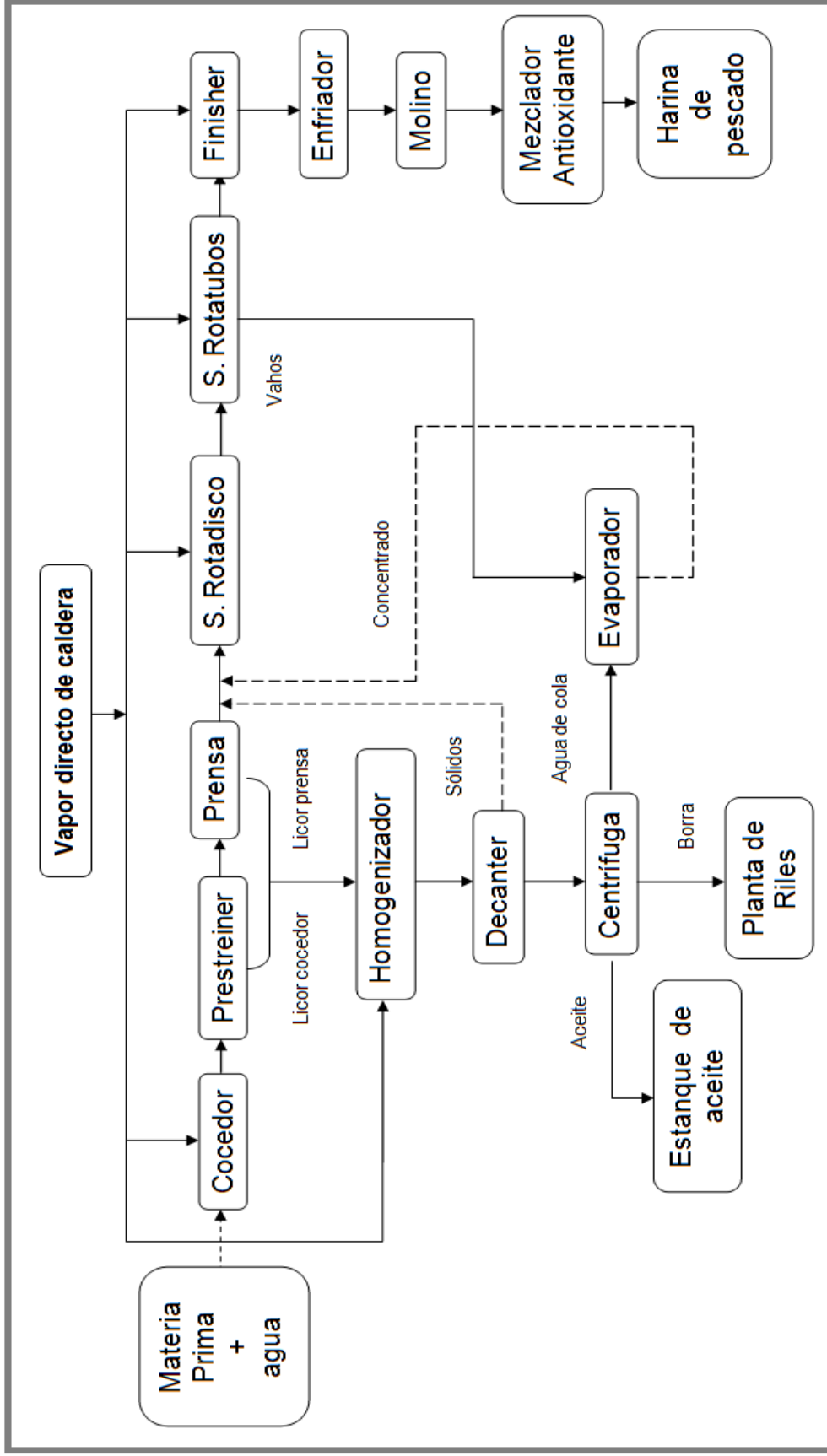


Figura 4.1 Esquema del proceso de la fabricación de harina de pescado.

4.2 Características de equipos en el proceso de sólidos

- Cocedor: Es un equipo de forma cilíndrica que posee chaqueta y camisa de vapor, y es accionado por un moto-reductor de velocidad variable.
- Prestreiner: Es un tornillo sinfín, con una malla perforada tipo cilíndrica, la cual permite el escurrimiento de líquidos, y es accionado por medio de un moto-reductor.
- Prensa: Es un equipo de forma rectangular de accionamiento hidráulico y caja reductora de engranajes, está compuesta por tornillos de paso variable y cónicos lo que da como resultado un volumen variable para la compresión del sólido y estruje del líquido.
- Secador rotadisco: Es un equipo diseñado para la primera etapa de secado, que posee en su interior discos tubulares y una chaqueta de vapor, que es accionado con un moto-reductor, y transmisión rueda-cadena.



Figura 4.2 1) Secadores rotadisco. 2) Cocedores. 3) Prestreiner. 4) Prensas.

- Secador rotatubos: Es un equipo rotatorio, que posee en su interior hileras de tubos, crucetas y una chaqueta de vapor. En su parte superior tiene un extractor de gases comunicado con un ciclón que hace decantar la harinilla contenida en los gases extraídos. Para permitir la entrada y la salida de la materia prima tiene tornillo, de entrada y de salida. Este equipo acciona con un moto-reductor, y transmisión rueda-cadena.
- Finisher: Es un equipo rotatorio, diseñado para la tercera etapa de secado. Está basado en el principio de secado por convección, es decir se transfiere el calor a la harina por medio de aire, el cual es calentado por un serpentín que funciona con el vapor flash, producido por el condensado de los secadores rotatubos.
- Enfriador: Este equipo consiste en un cilindro estático en cuyo interior se encuentra un rotor con paletas que transportan y mezclan la harina con aire. El aire de enfriamiento es forzado por un ventilador por el interior del cilindro. Este enfriador permite reducir la temperatura de la harina secada, hasta valores inferiores a los 30°C, estabilizando el producto.

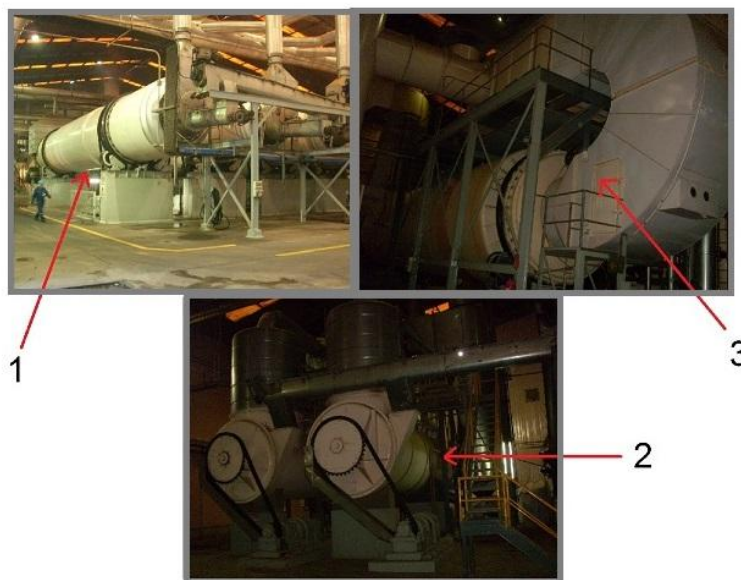


Figura 4.3 1) Secador rotatubos. 2) Enfriadores. 3) Finisher.

- Molino: Es un equipo con un rotor que gira a gran velocidad y en su periferia lleva placas metálicas las cuales golpean la harina contra una malla perforada por la cual se selecciona el tamaño del grano, estos equipos son accionados por un motor eléctrico, con correas de transmisión.

4.3 Características de equipos en el proceso del agua de cola

- Homogenizador: Es un equipo similar al cocedor, de forma cilíndrica que posee chaqueta y camisa de vapor. Su función es mantener la temperatura entre 90 y 95 °C del licor de prensa y del cocedor, para hacer una mezcla uniforme de ambos licores.
- Decantador: Es una máquina centrífuga horizontal de tornillo sinfín transportador, tambor horizontal de camisa maciza con forma cónica cilíndrica, que se emplea para separación continua de sólidos en suspensión.
- Centrífuga: El principio por el que se separa una mezcla líquida por centrifugación se basa en la sedimentación en rotación en torno a un eje. En términos generales, el campo centrífugo producido en el tambor de rotación es efectivo, debido a que la presión hidráulica aumenta al cuadrado de la distancia con respecto al eje de rotación.

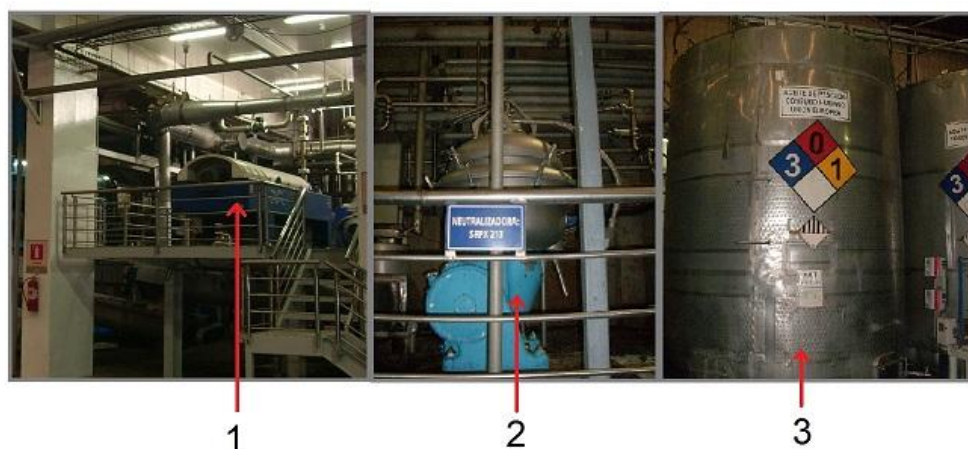


Figura 4.4 1) Decanter. 2) Centrífuga. 3) Estanques de aceite.

- Evaporador: El equipo consiste en planta evaporadora tipo película descendente para la obtención de soluble concentrado. Las principales características de estos equipos se refieren a la mantención de bajas temperaturas de ebullición uniforme, velocidad de flujo elevada y tiempos de residencia cortos: por lo tanto la unidad es excelente para la concentración de productos sensibles al calor. Este evaporador ocupa principalmente el vapor de cocción que se produce en los secadores rotatubos al ingresar la materia prima a estos equipos, denominados vahos.

4.4 Objetivos del proceso de sólidos

- Cocción [1]: Los objetivos de la cocción son tres: Esterilizar, coagular proteínas y liberar los lípidos retenidos en la materia prima.
 - 1 La esterilización tiene por objeto detener la actividad microbiológica y enzimática, tanto endógena como de origen externo, responsable de la degradación de las materias primas.
 - 2 La coagulación de proteínas consiste en la desnaturalización causada por cambios en las propiedades físicas, químicas y posteriormente en la precipitación de las proteínas desnaturalizadas y formación de coágulos conocidos.
 - 3 La liberación de los lípidos retenidos, está íntimamente relacionada con el proceso de desnaturalización, dado que la formación de los geles dificultan la liberación de lípidos, por un problema de tensión superficial de las moléculas proteicas y su solubilidad.
- Prensado: Los objetivos del prensado son:
 - 1 Separar el líquido del sólido.
 - 2 Producir un sólido bajo en humedad llamado torta prensa (42 % - 48 %).
 - 3 Producir un líquido limpio y con bajo contenido de sólidos llamado licor de prensa.
 - 4 Además un buen prensado nos asegura que la torta prensa saldrá con un bajo porcentaje de materia grasa.

- Secado: Su objetivo es reducir la humedad del sólido de 48 % de humedad a un 12%, es decir deshidrata las tortas de prensa, decanter y soluble, unidos y homogeneizando previamente.
- Enfriado: Su objetivo es originar un enfriamiento brusco de la harina de pescado para detener las reacciones químicas, bioquímicas y biológicas que tienen lugar en el proceso.
- Molienda: Su objetivo es dar la granulometría a la harina, la cual depende del estado de los martillos, las mallas y de la humedad de la harina. Si la humedad es superior al 8% se dificulta el proceso de molienda por la elasticidad que posee ésta. La harina húmeda al salir de la molienda se envía nuevamente a los cocedores, mientras que a la harina seca se le añaden antioxidantes.
- Adición de antioxidantes: Las grasas de la harina de pescado se estabilizan mediante la adición de antioxidantes, inmediatamente después de la fabricación. El objetivo de este proceso es evitar la combustión espontánea de la harina a granel, que puede ser originada por el alto porcentaje de materia grasa.

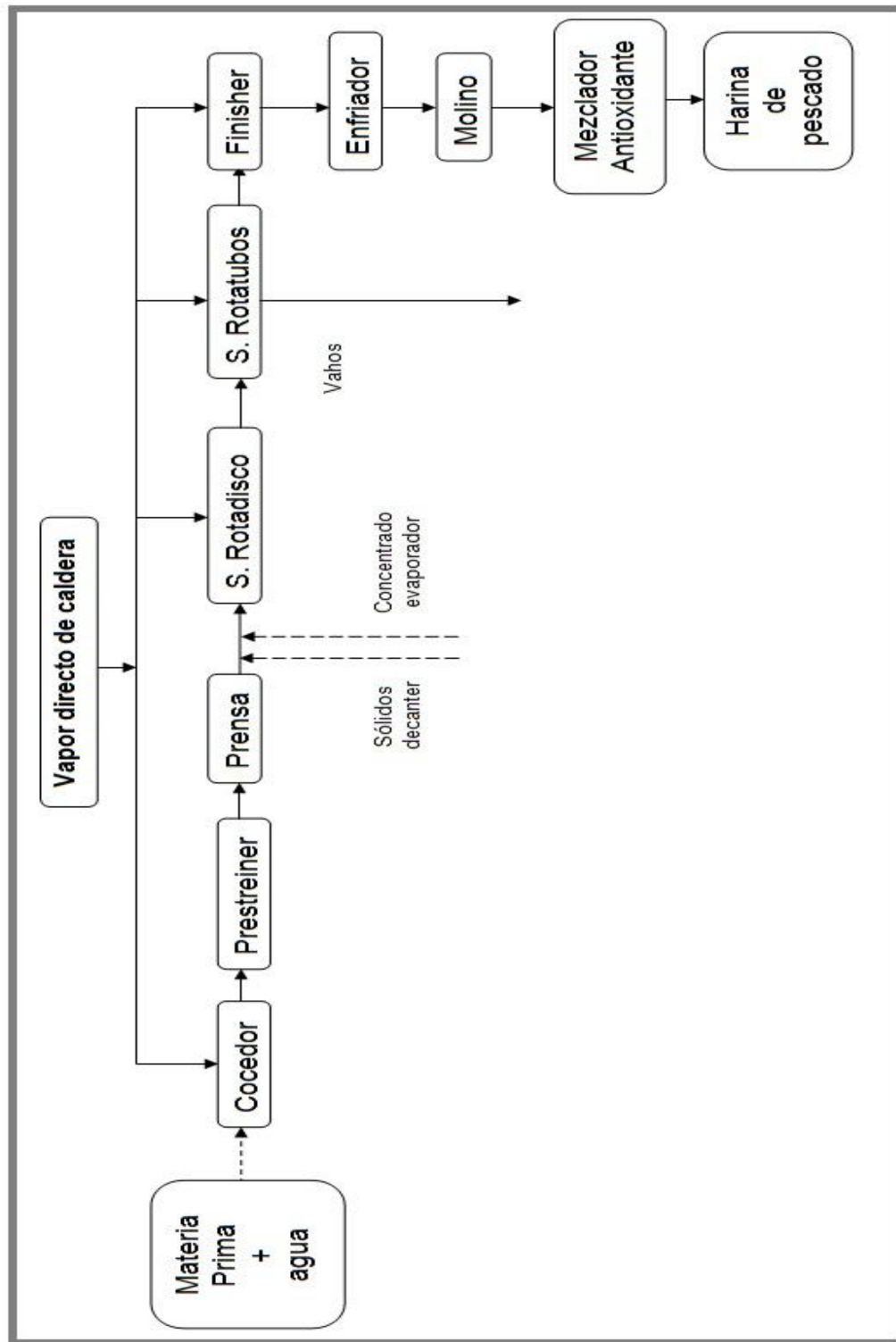


Figura 4.5 Proceso del sólido.

Capítulo V: Tratamiento de agua para calderas

5.1 Impurezas del agua

- Gases disueltos: Oxígeno, dióxido de carbono y el nitrógeno.
- Sales disueltas: Cloruro de sodio, cloruro de magnesio, sulfato de sodio, sulfato de magnesio y carbonato de magnesio.

5.1.1 Efectos de las impurezas del agua de alimentación de calderas[2]

a) **Depósitos:** Las sales disueltas se depositan en el fondo de la caldera, dificultando la libre circulación y salida del agua. Estas impurezas deben ser retiradas casi en su totalidad antes del ingreso a la caldera. En caso de ser necesario se procede a la extracción de los depósitos abriendo las llaves de las purgas de fondo.

b) **Incrustaciones:** Son depósitos de tipo "costra dura" producidas por las sales de calcio y magnesio contenidas en el agua que se adhieren a las paredes internas de la caldera produciendo los siguientes inconvenientes: 1) Reducción de la eficiencia de la caldera. 2) Sobrecalentamiento de la superficie de calefacción. 3) Explosiones.

c) **Corrosiones:** Se produce en la parte interior de la caldera en contacto con el agua, debido a los gases disueltos, en especial el oxígeno y dióxido de carbono.

d) **Espuma:** Es causada por las sales disueltas en el agua de alimentación. A veces se debe también a una alcalinidad demasiado alta. Para eliminar estas impurezas se emplean las extracciones de superficie, es decir, por diferencia de densidades.

e) **Arrastre:** A medida que el agua se evapora, se va incrementando la concentración de sólidos totales disueltos (TDS) presentes en el agua de la caldera, llegando a valores altos (≥ 3500 ppm), en donde esta agua e impurezas, son arrastradas con el vapor, produciendo así graves problemas en los sistemas de vapor y condensado, debido a la corrosión y acumulación de depósitos en la superficie de transferencia de calor.

5.2 Procedimientos para purificar el agua de alimentación

Los métodos empleados para purificar el agua son: Químicos y Térmicos[3].

a) Procedimientos químicos: Consisten en agregar al agua determinadas sustancias o desincrustantes que ayuden a tener una buena eficiencia de las calderas.

Los químicos utilizados son:

- Reductoras de dureza (en los ablandadores): Resinas de intercambio iónico.
- Inhibidores de corrosión: Alcalinizante, Amina (control de pH de Condensado), Sulfito (secuestrante de oxígeno).
- Inhibidores de fragilidad cáustica: Control de pH en rango (10.2- 11.3)
- Inhibidores de adherencia de lodos: dispersantes y antincrustantes.



Figura 5.1 Ablandadores del agua de alimentación.

b) Procedimientos térmicos: Mediante el estanque desaireador, se logra el calentamiento del agua, gracias al vapor producido en las calderas y en el proceso del “make up”, se logra extraer los gases disueltos, evitando así los típicos problemas de corrosión.

El agua que usan las calderas, es almacenada en estanques. Ésta es tratada en los ablandadores, para posteriormente ser enviada al “make up”[4], que es un

serpentín intercambiador de calor, que se utiliza para precalentar el agua tratada, utilizando las purgas de superficie. Como producto de haber calentado el agua, se produce vapor flash, que es utilizado en el desaireador.

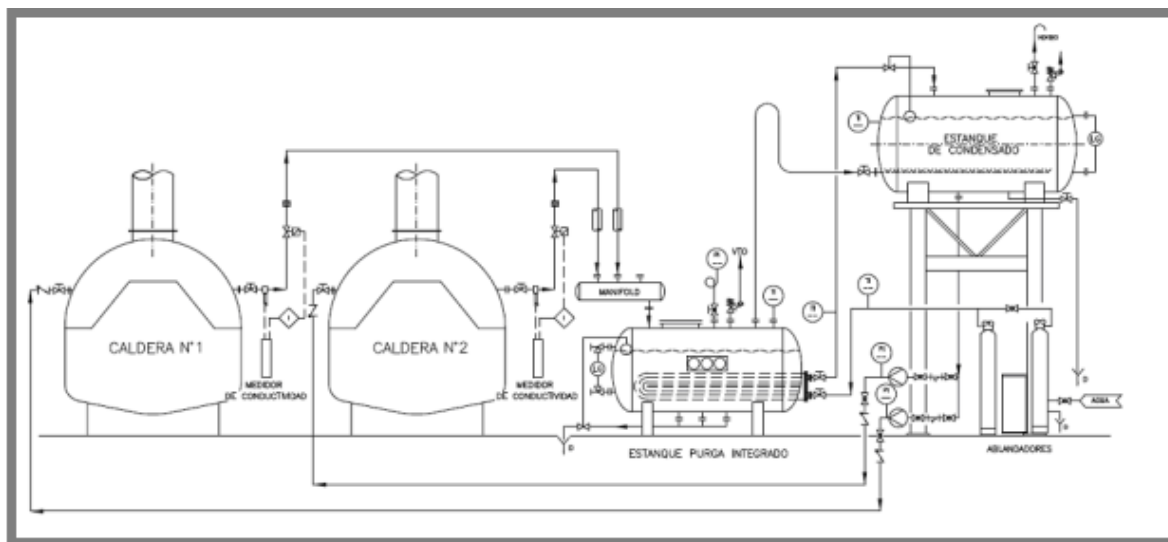


Figura 5.2 Ejemplo de sistema de recuperación de calor por purgas Make up.

5.2.1 Método complementario para la purificación del agua de alimentación

a) Purgas[5]: El objetivo es principalmente disminuir la concentración de sólidos totales. Se pueden diferenciar además dos tipos de purga:

- Purgas de superficie: Es un proceso automático, con el cual se logra mantener los TDS, dentro de los límites necesarios, para evitar así problemas de formación de espuma. Para el caso de las condiciones actuales de las calderas se tiene que considerar como parámetro: Los TDS ≤ 3500 (ppm).
- Purgas de fondo: Este proceso manual, que se realiza cada vez que están en funcionamiento las calderas, consiste en evacuar en forma brusca cierta cantidad de agua de la caldera en funcionamiento, con el fin de quitarle las impurezas y depósitos, que se encuentran en el fondo de ella.

b) Ciclos de concentración: Los ciclos de concentración es el producto entre la concentración de TDS del agua de caldera y la concentración de TDS del agua de alimentación, los ciclos se regulan con los regímenes de purga. En forma más simple se analizan los ppm de cloruros en el interior de la caldera y el del agua de alimentación.

$$N_c = \frac{\text{Cloruro caldera}}{\text{Cloruros agua de alimentacion}}$$

Estos ciclos deben ser igual o menores a 10. En caso contrario se recomienda realizar descarga de purga.

5.3 Influencia de la calidad del agua

a) En el rendimiento de la caldera. El rendimiento de una caldera relaciona el calor total entregado por el combustible al quemarse y el calor suministrado al vapor producido. Las incrustaciones producen una capa aislante que se adhiere a las superficies de calefacción de la caldera y que dificultan la transmisión del calor entregado por el combustible, por esta razón los gases no transmiten todo su calor al agua, perdiéndose combustible y disminuyendo el rendimiento.

b) En la seguridad: Las incrustaciones aíslan las superficies de calefacción del agua, provocando un calentamiento excesivo de éstas, las que pueden llegar a perder gran parte de su resistencia sufriendo deformaciones permanentes, roturas y explosiones. Por otra parte, cuando a causa del trabajo propio de la caldera, la incrustación se rompe parcial o totalmente, pone en contacto repentino el agua a presión con la plancha recalentada produciendo un aumento de la presión interna tal que provoca la explosión.

5.4 Resultados del estado del agua de alimentación

El agua de alimentación que usan las calderas, es sometida a constantes análisis para verificar si cumple o no con los requisitos exigidos. Para realizar dicho análisis, la empresa Nalco es la encargada de realizar el chequeo cada 15 días, siempre y cuando las calderas están en funcionamiento (ver anexo B).

Tabla 5.1 Resultados más relevantes del análisis.

	Unidades	agua abland.	agua alim.	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5
ph		7,8	8,8	11,2	11,1	11,2	11,1	10,9
Conductividad	umho/cm	298	287	2400	1080	1224	1251	1231
Sulfito	ppm SO3			40	25	15	25	15
Silice	ppm SiO2		32,2	83,5	76,8	113,5	107,8	126,8
Fierro	ppm Fe		0,41	0,22	0,39	0,15	0,18	0,25
Dureza Total	ppm CaCO3	0	0	0,5	3	0,1	0,1	0,1
Trasar 22310	ppm			72,2	82,1	74,9	78,1	86,5
Alcalinidad M	ppm CaCO3		60	426	160	216	236	206
Alcalinidad P	ppm CaCO3		12	340	120	174	162	164

Tabla 5.2 Rango de parámetros según empresa Nalco.

	Rango Ablandador	Rango Agua Alimt.	Rango condensado	Rango Calderas
ph	6 a 8	8,5 a 9,6	> 8,5	10,5 a 11,5
Conductividad	<300		< 10	Calderas < 3500
Sulfito				30-60
Silice				< 150 ppm
Fierro				
Dureza Total	< 1.0	<1.0	<1.0	< 10
Trasar 22310				100-200
Alcalinidad M				< 700
Alcalinidad P				

5.4.1 Comentarios y recomendaciones

Según comparaciones entre tablas 5.1 y 5.2, se llegó a las siguientes conclusiones.

- Ablandadores: La dureza de las Calderas se encuentran todas en rango de control, esto es gracias a la inspección de la dureza partiendo por el agua entregada por los ablandadores (retro lavado y regeneración de unidades), ya que ésta es la que podría entregar la mayor cantidad de dureza al sistema. Se debe mantener el control para evitar aportes de durezas al sistema, chequeando periódicamente la dureza de las aguas del ablandador.
- Agua de alimentación: Se registran todos los parámetros en rango de control.
- Caldera 1: Se registra con pH y conductividad en rango de control. Se registra residual Trasar (dispersante) bajo rango de control, se sugiere subir dosis, para dejarla dentro del rango.
- Caldera 2, 3, 4 y 5: Se registran pH y conductividad en rango de control. Se registran los residuales de sulfito bajo rango de control, se sugiere aumentar dosis de sulfito y residual Trasar,

Capítulo VI: Análisis técnico de las calderas actuales

6.1 Estado actual de las calderas

La empresa Camanchaca S.A. cuenta actualmente con 5 calderas alimentadas con petróleo N°6, de las cuales una fue adquirida en el año 2005 y comprada a la empresa Conmetal S.A.

Las otras 4 calderas que en un principio eran a carbón, fueron transformadas para trabajar con petróleo N°6, realizada en el año 1994, ya que se quería aumentar la producción de vapor y eficiencia. La sala de calderas, estaba compuesta por:

- 3 calderas pirotubulares, diseñadas para quemar carbón, entre las cuales destacaban las calderas H. BRIONES[6] modelo CFTC-40 y CFTC-30, de dos fogones. Este tipo de calderas fueron diseñadas por BABCOCK ENERGY LTD. y fabricada bajo licencia por H. BRIONES.
- Una caldera pirotubular de 3 pasos, fabricada por Vapor Industrial S.A.

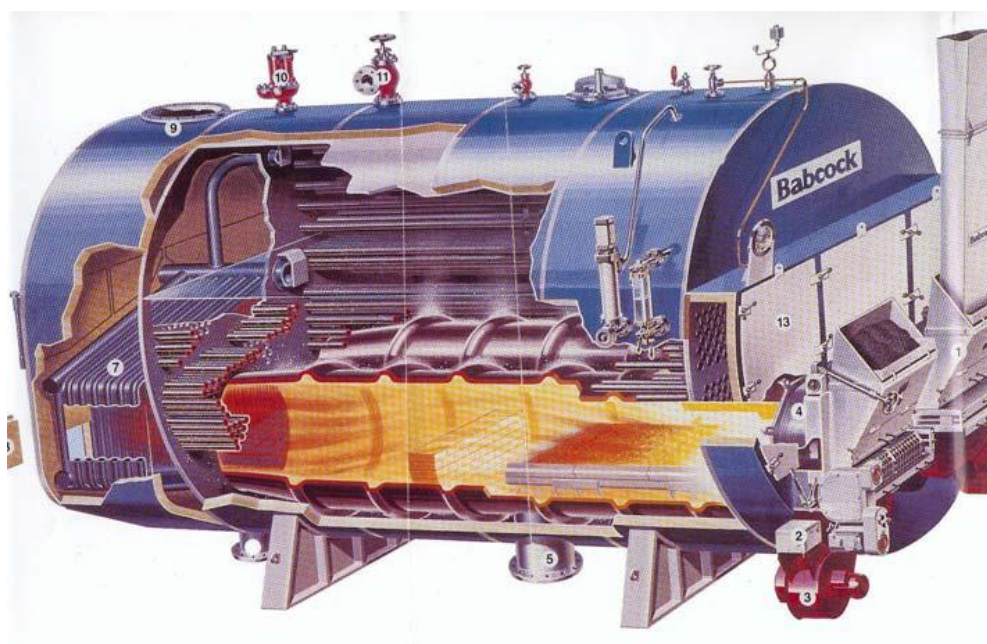


Figura 6.1 Caldera H. BRIONES modelo CFTC (diseño similar al de la caldera que se está analizando).

6.2 Características técnicas de las calderas actuales

Las calderas que posee la pesquera Camanchaca S.A., tienen las siguientes especificaciones, mostradas en la tabla 6.1, en donde los datos son obtenidos de los certificados de revisiones y pruebas de calderas y generadores de vapor (D.S. N°48/1984 del Ministerio de Salud), N°28 (ver anexo C).

Tabla 6.1 Especificaciones de las calderas.

	Calderas				
	1	2	3	4	5
$P_{M\acute{a}x}$ (Bar abs)	7	8	8	8	8
\dot{m}_v ($\frac{kgv}{h}$)	12500	12500	23000	18144	20000
\dot{m}_c ($\frac{kg}{h}$)	883,5	883,5	1401,8	1294	1413,6
Tipo	Pirotubular de 3 pasos	Pirotubular de 3 pasos	Pirotubular de 3 pasos	Pirotubular de 3 pasos	Pirotubular de 3 pasos
Sup. de calef. (m ²)	427,92	427,92	628	570,56	663,46
Coeficiente de evaporización ($\frac{kg\ vapor}{h\ m^2}$)	29,2	29,2	36,6	31,8	30,2
Fabricante	H. Briones y Cía. S.A.I.C	H. Briones y Cía. S.A.I.C	Vapor Industrial S.A.	H. Briones y Cía. S.A.I.C	Conmetal Ltda.
Año de Fabr.	1985	1988	1992	1987	2000
\dot{m}_v ($\frac{kgv}{h}$) Total	86144				

Tabla 6.2 Tipos de quemadores en calderas.

Caldera	Marca Quemador	Cantidad de quemadores
1	Cleaver & Brooks	1
2	COEN	2
3	NUWAY	2
4	COEN	2
5	COEN	1



Figura 6.2 2) Caldera 2. 3) Caldera 3. 3) Caldera 4. 5) Caldera5.

6.2.1 Principales partes de una caldera

- **Quemador:** Es uno de los componentes fundamentales de la caldera, su función principal es realizar la mezcla del aire con el combustible (petróleo N°6), para conseguir de esta manera la combustión y la liberación de calor necesario para la generación de vapor. Esto se logra con la atomización del combustible a fin de ofrecer la mayor superficie de contacto con el aire de combustión, el cual a la vez dispersa las partículas convenientemente dentro del hogar, para formar una mezcla aire/combustible de rápida ignición.

Los procedimientos más difundidos son la atomización mecánica. Para que la atomización sea la correcta, se debe reducir la viscosidad del combustible a valores convenientes, para lo que resulta necesario el calentamiento previo del mismo (en promedio el petróleo llega 105 °C al quemador).

Un factor muy importante es el exceso de aire. Si el exceso de aire es muy bajo se produce una mala combustión (alta presencia de CO y hollín); y si el exceso de aire es muy alto, se gasta parte del combustible para calentar el aire excedente, habiendo en ambos casos ineficiencia en la caldera



Figura 6.3 Quemador con su correspondiente ventilador.

- Hogar: Es el espacio donde se quema el combustible, entregando calor por radiación. Se le conoce también con el nombre de "Cámara de Combustión", en el cual los gases producto de la combustión circulan por los tubos que tienen las calderas, y en ellos tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección hacia el agua de la caldera.

Una vez realizado este intercambio, los gases (humos) son expulsados al exterior a través de la chimenea.

- Ventilador aire combustión: El aire de combustión es proporcionado por un ventilador de tiro forzado para todas las calderas, excepto caldera número 1, la cual tiene ventilador forzado e inducido.
- Domo: es toda la estructura dentro de la caldera, donde se produce intercambio el calor. Contiene al hogar y la cámara de vapor.

- **Instrumentos:** Todas las calderas, a fin de controlar su estado de funcionamiento, están provistas de manómetros de presión de vapor, termómetros para medir temperatura de gases de chimenea, combustible y agua de alimentación, medidores de flujo de combustible y flujo de agua de alimentación.

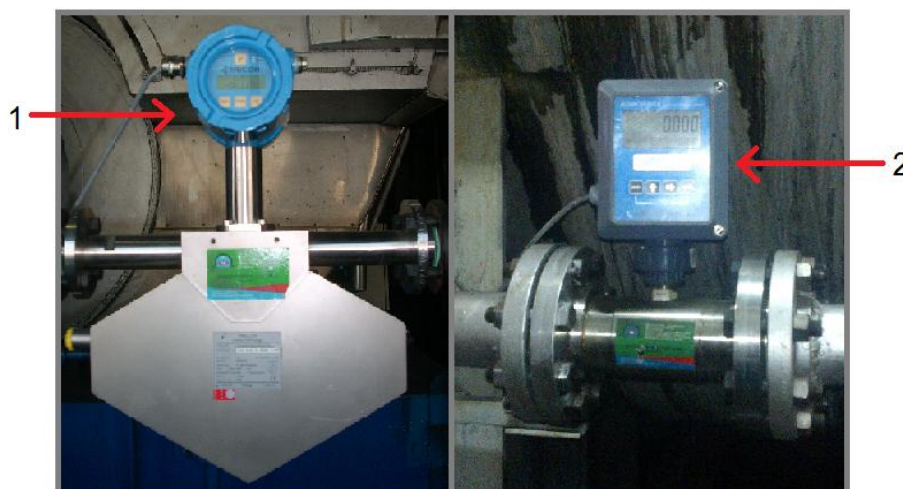


Figura 6.4 1) Medidor de consumo de petróleo N° 6. 2) Medidor de caudal de agua de alimentación.

6.3 Causas de fallas en las calderas

Las calderas y otros tipos de equipos de plantas de vapor están sujetos a una variedad de fallas que envuelven uno o más mecanismos severos. Los más importantes de estos mecanismos son la calidad del agua de alimentación, el funcionamiento inadecuado del desaireador, la ineficacia de químicos y el control del agua en el interior de la caldera.

6.3.1 Antecedentes de la empresa

Las calderas en estudio ya están cerca del término de su vida útil, alrededor de 30 años, además están presentando reiteradas fallas, conllevando un aumento en el costo de mantenimiento y disminución de su confiabilidad.

Entre las fallas más recurrentes y que provocan tiempos fuera de servicio prolongados, están:

- La ruptura de tubos.
 - Taponeo de tubos.
 - Desprendimiento de refractario.
- Ruptura de tubos: Las calderas al no estar operando, se les deja con agua para evitar problemas de corrosión, pero a la vez al ser reutilizadas aumentan su temperatura del agua, lo cual provoca que los tubos y la mayoría de sus partes sufran cambios físicos importantes, debido a que los tubos de acero se expanden y contraen frecuentemente. La situación anterior es la principal causa de la ruptura de tubos por fatiga de material.
- Taponeo de tubos: Muchas veces cuando se rompe un tubo y su ubicación dentro de la caldera hace imposible su reparación, la mejor alternativa a implementar, de manera que el tiempo fuera de servicio de la caldera sea lo más breve posible, es el taponeo, es decir, cortar y tapar ese tubo en ambos extremos, de esta manera el tubo queda fuera de servicio.

Cuando se realiza este tipo de reparación se está disminuyendo la capacidad de generación de vapor de la caldera, debido a la menor superficie de calefacción.

- Desprendimiento de refractario: Las paredes de las calderas en la parte interna están recubiertas por cemento refractario, el cemento en algunas partes de las paredes se desprende con el tiempo, y deja al descubierto el metal de la pared, cuando esto ocurre esa sección sin refractario se calienta en demasía, condición que se repite cada vez que se pone en servicio la caldera, lo que provoca en el tiempo la ruptura de la pared en la zona sin aislación refractaria. Además incide en una mayor pérdida de calor hacia el exterior, disminuyendo el rendimiento de la caldera.

6.4 Rendimiento directo

Para determinar la eficiencia térmica de las calderas mediante este método, es necesario conocer tanto el consumo de agua como de combustible por hora.

$$\eta = \left(\frac{Q_{vapor}}{Q_{comb.}} \times 100 \right)$$

En donde:

$$\triangleright Q_{vapor} = \dot{m}_{vapor} \times (h_2 - h_1)$$

$$\dot{m}_{vapor} = \text{masa de vapor por segundo} \left(\frac{kg}{s} \right).$$

$$h_1 = \text{entalpía del agua de alimentación} \left(\frac{kJ}{kg} \right).$$

$$h_2 = \text{entalpía vapor} \left(\frac{kJ}{kg} \right).$$

$$\triangleright Q_{comb.} = \dot{m}_{comb.} \times PCI$$

$$\dot{m}_{comb.} = \text{masa de combustible utilizado por segundo} \left(\frac{kg}{s} \right).$$

$$PCI = \text{Poder calorífico inferior del combustible} \left(\frac{kJ}{kg} \right).$$

Para comprender en qué consiste el rendimiento directo de una caldera se realizará el cálculo de éste, utilizando valores obtenidos en días de producción de la planta, específicamente del día 23 de Abril al 15 de Mayo del 2013 (ver anexo D.1). También teniendo en consideración que: A) turno 1, desde 7 a 19 hrs. B) turno 2, desde 19 a 7 hrs.

A continuación se muestra los rendimientos obtenidos durante el período de seguimiento.

Tabla 6.3 Resultados del rendimiento directo, en porcentaje.

Fecha / turno	1	2	4	5
23-04-2013/1	78,05	94,7	103,6	92,7
23-04-2013/2	83,84	87	107,7	87,6
24-04-2013/1	77,55	96,6	99	94,4
24-04-2013/2	95,48	94,7	96,4	92,2
25-04-2013/1	83,2	94,4	95,5	92,2
25-04-2013/2	-	-	-	96,7
26-04-2013/1	80,7	-	96,3	93,6
26-04-2013/2	80,7	-	-	94
28-04-2013/1	-	92,6	87,7	92,3
29-04-2013/1	85,4	97,5	99,3	113,3
02-05-2013/1	-	51,6	-	65,2
03-05-2013/1	-	-	-	86,1
03-05-2013/2	-	-	113,5	41,6
04-05-2013/1	-	-	-	26,7
04-05-2013/2	-	-	-	27,6
05-05-2013/1	-	104,7	116,5	30,5
05-05-2013/2	-	122,2	-	31,9
06-05-2013/1	109	121,8	111	33,3
06-05-2013/2	122	-	109	32,2
07-05-2013/1	127	118,4	111,7	33,2
07-05-2013/2	-	-	-	-
08-05-2013/1	119,3	122,8	124,4	54,1
08-05-2013/2	-	-	-	-
10-05-2013/1	112,5	124	133,3	31,5
10-05-2013/2	-	-	-	28,9
11-05-2013/1	123,3	127,2	161,5	31,8
11-05-2013/2	-	-	-	31,7
12-05-2013/1	109	125	117,4	32,5
13-05-2013/1	-	-	-	29,8
13-05-2013/2	107,6	132,6	142,4	30
14-05-2013/1	103,6	121,4	124,7	27,3
15-05-2013/1	101	126,1	-	26

6.4.1 Comentarios y recomendaciones

Como resultado de la determinación de la eficiencia de las calderas, mediante el método directo, se puede concluir que:

- Los rendimientos y las mediciones realizadas son totalmente desconfiables, debido a que, por ejemplo en la caldera N° 2, ciertos días se puede apreciar que la cantidad de vapor producida por hora es mucho mayor que la cantidad de vapor que puede entregar dicha caldera, concluyendo así, que es necesario calibrar los equipos, o bien adquirir nuevos equipos de medición.
- Se obtienen rendimientos muy altos y algunos superan el 100%, lo cual es imposible, y por ende, las mediciones no son confiables.
- No es posible poder saber con exactitud el flujo real de vapor producido por hora, con lo cual tampoco es posible determinar el costo por generar un kilo de vapor (\$/kg vapor), ya que no se tiene valores razonables del rendimiento de las calderas y su producción de vapor.
- Las calderas tienen como beneficio en la actualidad el contar con válvulas proporcionales del agua de alimentación, las cuales permiten ir manteniendo un nivel del agua constante, sin tener que parar los quemadores y esperar a que las calderas lleguen a determinado nivel de operación, lo que permite subir más rápido el calor sensible del agua introducida y así, se necesita menos energía para cambiar de fase (calor latente), lo cual lleva a un menor gasto de combustible para producir vapor.
- Finalmente teniendo en cuenta estas consideraciones, se determinó calcular el rendimiento mediante el método indirecto, ya que se posee un análisis de gases secos de la empresa SAGAL, la cual cuenta con analizadores de gases, instrumentos que no posee la empresa.

6.5 Rendimiento indirecto

El rendimiento indirecto se obtiene mediante el análisis de gases secos de combustión (ver anexo D.2), en donde el cálculo se realiza con las siguientes fórmulas:

➤ **Exceso de aire.**

$$\% \text{ Exceso de aire} = \frac{O_2 \text{ libre producido} - \frac{CO}{2} \text{ productos}}{0,266N_2 - (O_2 \text{ libre producido} - \frac{CO}{2} \text{ productos})} \times 100$$

➤ **Masa de gases seco por kilo de combustible.**

$$m_g = \frac{11CO_2 + 8O_2 + 7(N_2 + CO)}{3(CO_2 + CO)} \times C_b \quad \frac{kg \text{ gases seco}}{kg \text{ combustible}}$$

$$C_b = \frac{kg \text{ de carbono en el combustible}}{kg \text{ de combustible}}$$

➤ **Calor perdido por gases calientes de la combustión.**

$$Q_g = m_g \times C_p \times (t_g - t_a) \quad \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

t_g = temperatura de los gases de combustion, °C.

t_a = temperatura del aire atmosferico, °C.

c_p = calor específico a presión constante de los gases. $C_p \cong 0,26 \frac{kcal}{kg^\circ C}$

➤ **Calor perdido por radiación.**

$$Q_r = 0,04 \times PCS \quad \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

Pérdidas por radiación aprox. 4%.

➤ Calor perdido por combustión incompleta

$$Q_{ci} = \frac{5645 \times CO \times C_b}{CO_2 + CO} \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

➤ Calor disponible o útil.

$$Q_{disponible} = PCI - Q_g - Q_r - Q_{ci} \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

➤ Eficiencia de la combustión

$$\eta = \frac{Q_{disponible}}{PCI} \times 100$$

Tabla 6.4 Resultados obtenidos en porcentaje.

Caldera	Exceso de Aire	Rendimiento
1	81	72
2	26	82
3	43	82
4	32	83
5	34	86

6.6 Análisis de resultados.

El exceso de aire aceptado para el petróleo N° 6 debería ser alrededor del 20% a 30%, y no el que actualmente poseen las calderas, que fluctúan entre 26% y 81%.

Por otra parte, los años de servicio de las calderas han sido el principal motivo de este estudio, ya que como se puede apreciar de la tabla 6.4, las calderas han presentado una eficiencia térmica baja en relación a lo que espera la empresa actualmente (sobre el 85 %), con lo que se concluye, que si siguen utilizando las calderas actuales (calderas 1, 2, 3, 4), el deterioro que pueden presentar tanto por

un mal tratamiento de agua, una mala regulación de la combustión puede ir creciendo año a año, asimismo los costos en mantención respectivos. La caldera N° 5, por ser más nueva se concluye que trabaja en las condiciones más adecuadas.

Para finalizar se puede señalar que las calderas deberían ser reemplazadas por unas nuevas, que posean una alta eficiencia térmica, y que tenga pocos gastos en lo que es combustible, repuestos, etc., que es lo que busca toda empresa hoy en día.

Capítulo VII: Análisis de alternativas

La empresa Camanchaca S.A. durante este último tiempo, ha ido tomando conocimiento de los problemas de las calderas, su contaminación con lo que respecta al medio ambiente y su baja eficiencia.

El material particulado que emiten las calderas que utilizan petróleo N°6, son MP2,5, las cuales tienen como característica ser de un tamaño menor a 2,5 micrones, con lo cual son altamente peligrosas para la salud de las personas, es decir pueden penetrar por las vías respiratorias hasta los pulmones y alvéolos. Además del material particulado hay otros contaminantes un poco menos peligrosos como el NO_x , CO , SO_2 . Producto de lo anterior la empresa quiere, adquirir 1 lavador de gases de la combustión y 1 filtro de mangas, para ayudar a la descontaminación del aire en Coronel y la región del Biobío.

Los años de servicio de las calderas, y los factores mencionados anteriormente han llevado a la empresa, a evaluar la factibilidad técnico económica de reemplazo de las calderas 1-2-3-4, las cuales son las más antiguas. Dado lo anterior, se busca evaluar nuevas calderas que posean una mejor eficiencia y a la vez algún tipo de lavador de gases y filtro de mangas, ya que, de esta manera se podrá estar al más alto nivel en lo que es tecnología para ayudar a la descontaminación del medio ambiente.

7.1 Filtro de mangas y lavador de gases de proveedores.

7.1.1 Alternativa de Thermal Engineering[7]

Thermal Engineering Ltda. Fue fundada en el año 1997, con la idea de desarrollar proyectos de ingeniería y prestar servicios de consultoría en el área de la energía y los procesos térmicos.

Ofrece reducir el material particulado a $30 \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3}$ de un total de $400 \frac{\text{mg}}{\text{Nm}^3}$, con un filtro de mangas, y en un 90% la emisión de SO_2 con un lavador de gases.

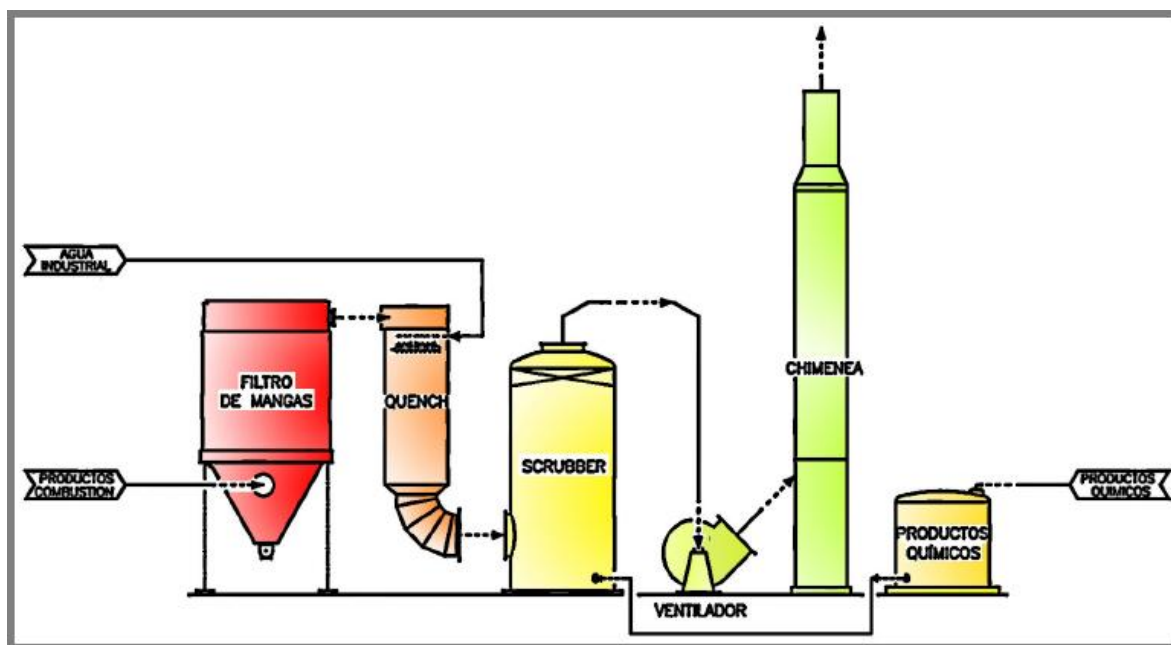


Figura 7.1 Diagrama de flujo sistema control de emisiones.

7.1.1.2 Filtro de mangas

Alcance de suministro:

Se contempla el suministro de 1 filtro de mangas para reducir el MP de las calderas N° 4 y 5.

- 1 filtro de mangas de dos módulos con sistema de limpieza, mangas de 20 pies de largo.
- 1 sistema de inyección de cal.
- 1 ventilador de tiro inducido.
- 1 ducto de interconexión.
- Ingeniería montaje, fabricación de componentes, puesta en marcha y capacitación.

Tabla 7.1 Condiciones de diseño.

	Cantidad	Unidad
Caudal de gases	70000	$\frac{m^3}{h}$
Temperatura de gases	220	°C
Concentración de MP entrada	400	$\frac{mg}{Nm^3}$
Concentración de MP salida	30	$\frac{mg}{Nm^3}$

Tabla 7.2 Descripción de Filtro de mangas.

	Cantidad	Unidad
Flujo de aire	42.000	$\frac{Nm^3}{h}$
Temperatura de operación	180	°C
Concentración de material particulado	500	$\frac{mg}{Nm^3}$
Presión diseño	±150	c.a
Temperatura diseño	260	°C
Velocidad de viento	100	$\frac{km}{h}$
Zona sísmica	UBC zona 4	

7.1.1.3 Lavador de gases

Alcance del suministro:

A continuación se describen los servicios de ingeniería, fabricación y equipos considerados en el suministro del lavador de gases.

- Ingeniería.
 - Diagrama de flujo.
 - planos “lay-out” equipos y ductos.
 - Planos de diseño.

- Cálculo de consumo de agua, NaOH, energía eléctrica y generación de riles.
- Fabricación de Filtro de gases.
- Ventilador inducido. 55kW – 1500 rpm
- Bomba de recirculación. 18.5 kW y 1450 rpm
- Sistema control PH. Sensor de PH, controlador, bomba dosificadora, conjunto de válvulas de corte y retención.
- Válvulas. Líneas de recirculación de agua, agua de reposición e inyección de productos químicos.
- Boquillas. 12 boquillas para el “quench” y 5 para el lavador de gases.
- “Packing”. Se contempla suministro de empaque del “scrubber”, consistente en esferas plásticas de 90mm de diámetro.
- Separador de gotas. Para evitar el arrastre de agua con los gases descargados por el lavador de gases.
- Puesta en marcha.

Tabla 7.3 Condiciones de diseño.

	Cantidad	Unidad
Caudal de gases	70.000	$\frac{m^3}{h}$
Temperatura de gases	220	°C
Concentración de SO_2 entrada	2.600	$\frac{mg}{Nm^3}$
Concentración de SO_2 salida	260	$\frac{mg}{Nm^3}$
Reducción de SO_2	90	%

7.1.2 Alternativa Alfa Laval Aalborg

Esta empresa ofrece un kit de venta que consiste en una caldera y un lavador de gases con retención de partículas, más accesorios.

Esta empresa fabrica modernas calderas pirotubulares, las cuales cuentan con tecnología avanzada para garantizar al usuario la calidad, eficiencia térmica (90,5%), incluso cuando la caldera trabaja con poca carga, además garantiza larga vida, bajos costos en mantenimiento y confiabilidad de los equipos. Al conocer este tipo de calderas, se tomó la decisión en conjunto con la empresa, de evaluarlas. Por este motivo la empresa está considerando adquirir 3 de estos equipos y retirar las calderas 1, 2, 3 y 4, las cuales son las que poseen más tiempo de uso y fallas frecuentes.

7.1.2.1 Características técnicas de la caldera M3P-24

Esta caldera pirotubular de 3 pasos, cuenta con un quemador fabricado por la misma empresa, la caldera además posee un fondo húmedo, con lo cual se aprovecha más el calor de la combustión, esto a fin de aumentar su eficiencia térmica[8].

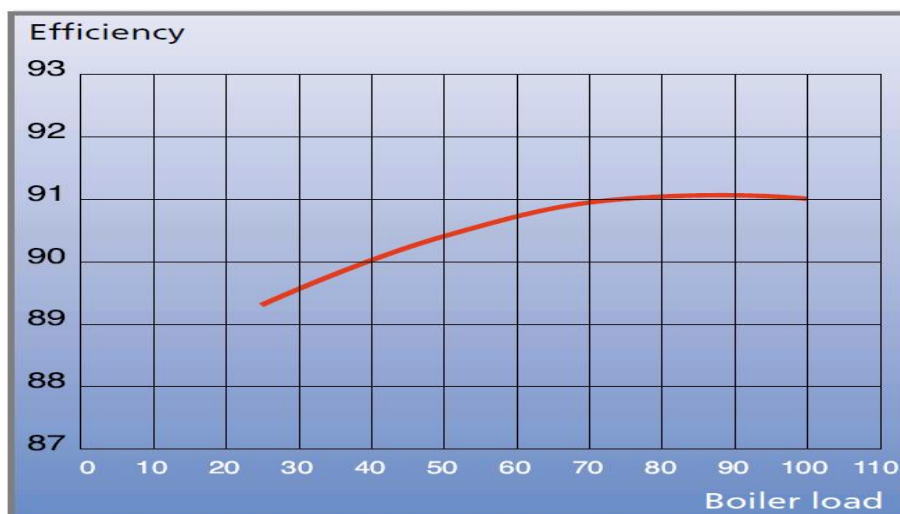


Figura 7.2 Rendimiento de caldera versus carga (Fuente: Alfa Laval Aalborg).

Tabla 7.4 Especificaciones técnicas de la caldera M3P-24.

	Cantidad	Unidad
Producción de vapor (con agua alim. 20°C)	24.000	kg/h
Presión máxima de operación	153 psi (10.5)	Bar
Temperatura de salida de los gases	219	°C
Rendimiento térmico	90,5	%
Consumo de combustible	1801	kg/h
Contenido de CO ₂	13	%
Potencia eléctrica instalada	185	kW
Volumen de agua caldera completa	53,5	m ³
Tasa de evaporización	51	kg/ h m ²

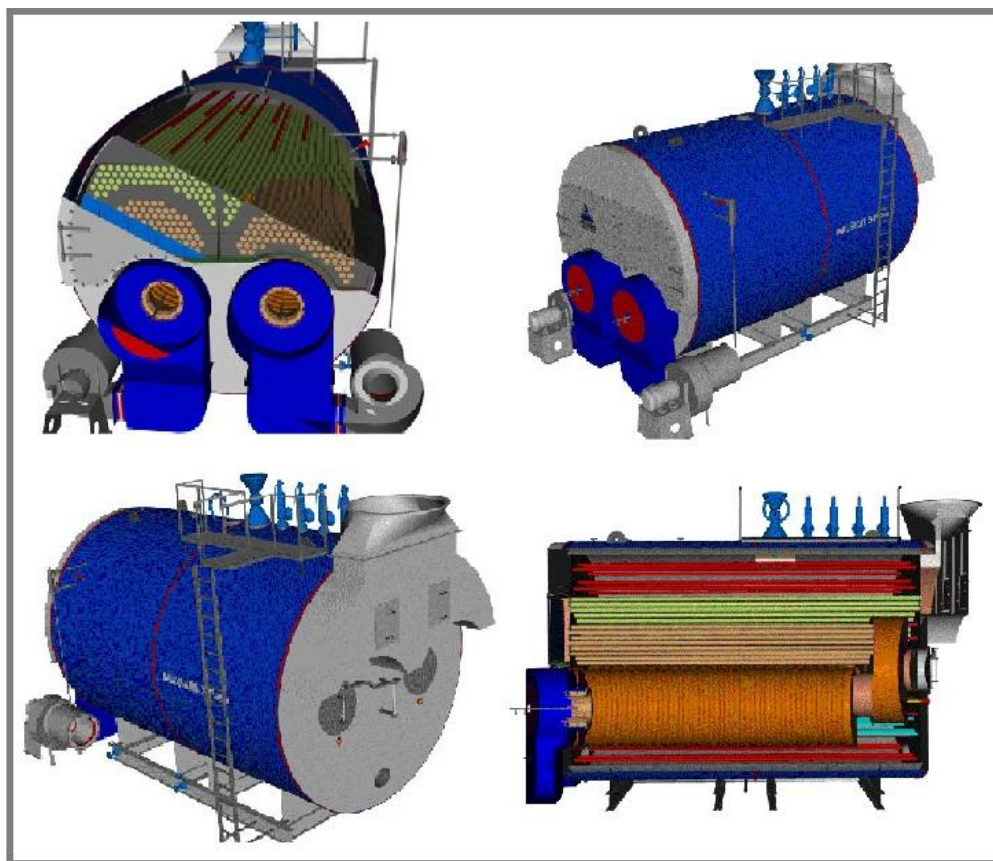


Figura 7.3 Calderas Alfa Laval Aalborg[9].

7.1.2.2 Características del lavador de gases

El lavador de gases tiene una eficiencia del 93% para la retención de partículas y 95% a 98% de SO₂.

Tabla 7.5 Características lavador de gases.

	Cantidad	Unidad
Modelo	KTM 2x1200/1100	
Caudal nominal de los gases	32.000	$\frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$
Temperatura máxima entrada	350	°C
Temperatura promedio salida	50±5	°C
Presión de pulverización de agua	18,0	MMCA
Perdida de carga	26±2	MMCA
Velocidad de gases de combustión	7±2,1	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Diámetro exterior	2x1.100	mm
Espesor del cuerpo	5±0,5	mm
Potencia total instalada	27	Hp
Peso total del equipo	1.660	kg



Figura 7.4 Lavador de gases serie KTM.

Capítulo VIII: Estudio económico

8.1 Criterios

Para el cálculo de los siguientes valores monetarios de inversiones es necesario conocer el concepto de flujo neto de caja. Este comprende la suma de todos los ingresos menos los costos efectuados durante la vida útil de las calderas.

8.1.1 VAN

EL valor actual neto de una inversión (VAN), se entiende la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial. Si un proyecto de inversión tiene VAN positivo, el proyecto es viable.

8.1.2 TIR

Se denomina tasa interna de retorno (TIR), a la tasa de descuento que hace que el valor actual neto de una inversión sea igual a cero. Este método considera que una inversión es aconsejable si el TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor.

Una gran inversión con un TIR bajo puede tener un VAN superior a un proyecto en una inversión pequeña con un TIR elevado.

8.1.3 PRI

El periodo de recuperación de inversión (PRI), que permite seleccionar aquellos proyectos cuyos beneficios permiten recuperar más rápidamente la inversión debido a que se calcula el número de años que la empresa tarde en recobrar su dinero. Es decir, es el periodo de tiempo que necesita una inversión para que el valor actualizado de los flujos de caja netos iguale al capital invertido.

8.2 Costos considerados

Cotización efectuada a Thermal Engineering y cotización efectuada a la empresa Alfa Laval Aalborg.

8.2.1 Costos de calderas de la empresa

Los costos de la planta de harina, principalmente en la sala de calderas, contempla los gastos en: combustible, mantenimiento, electricidad, y agua.

La empresa cuenta con un registro anual del consumo de combustible, y mantención de las calderas, mientras que los gastos por el consumo de agua y electricidad no tienen un registro diario, ya que se tiene el consumo total de ambos gastos anualmente de toda la planta de harina.

Tabla 8.1 Costos asociados a las calderas el año 2012 (considerando un valor del dólar igual a \$486,5).

Costo	US\$
Mantención	45.346
Petróleo	3.137.287

8.2.2 Inversión Thermal Engineering

La inversión presupuestada con esta empresa consiste en un lavador de gases y un filtro de mangas, adecuándose a las normas, sin tener repercusión en el rendimiento de las calderas.

Tabla 8.2 Costo inversión filtro de mangas.

Descripción	US\$
Filtro de mangas	590.000
Flete hasta planta	36.000
Ingeniería Thermal Engineering	50.000
Equipos y elementos locales	60.000
Puesta en marcha	10.000
Capacitación	5.000
Total	751.000

Tabla 8.3 Inversión en el lavador de gases.

Descripción	US\$
“Quench”	40.000
“Scrubber”	150.500
Ventilador	50.100
Bomba recirculación + válvulas	30.200
Sistema control pH	4.200
Instrumentación	7.900
Conjunto de válvulas	2.500
Boquillas “quench” y “scrubber”	4.500
“Packing scrubber”	20.700
Separador de gotas	1.750
Ingeniería	26.000
Puesta en marcha	6.500
Total	344.850

Tabla 8.4 Total inversión. (Dólar fecha 10-08-2013, precio \$507,6)

	US\$	\$
Lavador de gases	344.850	175.045.860
Filtro de Mangas	751.000	381.207.600
Total	1.095.850	556.253.460

8.2.2.1 Conclusión de la inversión.

Esta inversión se adecua a lo pedido por la empresa respecto al material particulado reduciendo a un $30 \frac{mg}{Nm^3}$ la emanación a la salida del filtro de mangas.

La emanación de SO_2 es reducida en un 90%.

Por lo contrario, no se le puede evaluar con el TIR y el VAN, ya que, no existe inversión de retorno, por lo que esta inversión es solo para adecuarse a los compromisos adquiridos por la empresa.

8.2.3 Inversión Alfa Laval Aalborg

Para poder calcular la inversión inicial, se tomó en cuenta los accesorios que la empresa considera que son necesarios incluir junto con los lavadores de gases.

Tabla 8.5 Costos de inversión, accesorios, y costos adicionales de las calderas Alfa Laval Aalborg de 24 ton/h, según cotización.

Caldera unitaria on/off	US\$	Cantidad	Total US\$
24 ton/h	355.400	3	1.066.200
Accesorios			
Sistema control continuo agua & carga	14.500	3	43.500
Lavador de gases + filtro	202.500	3	607.500
Control caudal O_2	34.200	3	102.600
Costo Adicional			
Flete + seguros	80.000	4	320.000
Instalación caldera unitaria	120.000	3	360.000
Costo Total			2.499.800

8.2.3.1 Ahorro

El ahorro de combustible depende de los rendimientos.

$$\%_{actual} = \frac{\dot{Q}_{agua}}{\dot{m}_{comb actual} \times PCI} \quad \quad \quad \%_{con inversion} = \frac{\dot{Q}_{agua}}{\dot{m}_{comb con inversion} \times PCI}$$

Considerando que el \dot{Q}_{agua} es el mismo y dividiendo las fórmulas se tiene la relación:

$$\frac{\%_{actual}}{\%_{con inversion}} = \frac{\dot{m}_{comb con inversion}}{\dot{m}_{comb actual}}$$

Tabla 8.6 Ahorro de combustible y electricidad, datos del año 2012.

Datos 2012	Unidad	Valor
Producción vapor	Ton/año	104.000
Total harina año	Ton/año	19.937
Total combustible año	Ton/año	4.823,7
Índice de combustible	kg comb/ton harina	241,9
Costo combustible	US\$/ton	650
Rendimiento actual	% (promedio 5 calderas)	81,8
Rendimiento futuro	% (promedio 4 calderas)	89,4
Combustible		
Consumo	Ton/año	4.413,6
Ahorro estimado	Ton/año	410,1
Índice	kg comb/ton harina	221,4
Ahorro estimado	kg comb/ton harina	20,6
Ahorro estimado	US\$	266.544,5
Ahorro estimado	\$	135.297.986,5
Electricidad		
Ahorro estimado	US\$/ton vapor	0,25
Ahorro	US\$	26.000
Ahorro	\$	13.197.600
Mantención estimada	US\$/año	8.000
Total		
Total	US\$	284.544
Total	\$	144.434.534,4

Tabla 8.7 Valor residual estimado calderas.

	US\$
Valor residual de las 3 calderas	150.000

8.2.3.2. Resultados del estudio económico

Tabla 8.8 Flujo de caja.

	US\$	Cant.	US\$	
Costo Caldera	355.400	3	1.066.200	Inversión
Sistema control continuo agua & carga	14.500	3	43.500	Inversión
Lavador de gases + filtro	202.500	3	607.500	Inversión
Control caudal O_2	34.200	3	102.600	Inversión
Flete + seguros	80.000	4	320.000	Inversión
Instalación caldera unitaria	120.000	3	360.000	Inversión
Valor residual calderas	150.000	1	150.000	Ahorro
Ahorro alternativa Thermal Engineering	1.095.850	1	1.095.850	Ahorro
Costo Total			1.253.950	Inversión inicial
Combustible			266.544,5	Ahorro anual
Electricidad			26.000	Ahorro anual
Mantenimiento estimada			8.000	Costo anual

Tabla 8.9 Resultados del estudio económico.

Año	US\$	TIR	VAN
0	- 1.253.950		
1	284.544	----	-904.793,80
2	284.544	----	-691.011,31
3	284.544	-17,01	-496.663,59
4	284.544	-3,77	-319.983,85
5	284.544	4,36	-159.365,9
6	284.544	9,60	-13.249,58
7	284.544	13,11	119.392,53
8	284.544	15,55	240.067,17
9	284.544	17,29	349.771,39
10	284.544	18,55	449.503,50

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

$$TIR = (VAN = 0)$$

8.4 Conclusión de la inversión

Esta inversión permite reducir los niveles de material particulado a un 93% y las emanaciones de SO_2 en un 95% a 98%, cumpliendo con los acuerdos pactados por la empresa. Además, es importante el cambio de calderas, esto da a la empresa una garantía hacia el futuro, asegurando un buen desempeño y rendimiento de éstas.

De estos valores se concluye que el proyecto posee un PRI de 7 años, que es cuando el TIR es mayor a la tasa de descuento, después de este periodo, la inversión que fue destinada al proyecto es recuperada, la empresa estipuló el proyecto con un PRI de 10 años, reduciendo así, el tiempo de espera.

Capítulo IX: Conclusiones

Tratamiento de Agua

La dureza que poseen las calderas, están todas en rango de control aceptable, esto gracias al tratamiento del agua con ablandadores. Se debe mantener el control, chequeando periódicamente la dureza de las aguas del ablandador. La caldera N° 1 se registra residual Trasar (dispersante) bajo rango de control, se sugiere subir dosis, para dejarla dentro del rango. Mientras que en las calderas 2, 3, 4 y 5 se registran los residuales de sulfito bajo rango de control, se sugiere aumentar dosis de sulfito y residual Trasar.

Rendimiento Directo

Los rendimientos y las mediciones realizadas son totalmente desconfiables. En la caldera N° 2, se puede apreciar que la cantidad de vapor producida por hora es mucho mayor que la cantidad de vapor que puede entregar dicha caldera según la especificación del vendedor. En vista de no saber con exactitud el flujo real de vapor producido por hora debido a una mala calibración de los medidores de caudal, tampoco es posible determinar el costo por generar un kilogramo de vapor (\$/kg vapor).

Teniendo en cuenta las mediciones desconfiables arrojadas por el rendimiento mediante el método directo de las calderas, se recurrió al cálculo del mediante el método indirecto, ya que se contó con un análisis de los gases de la combustión que realizó la empresa Sagal Ltda.

Rendimiento indirecto

Los resultados arrojados por este método, fueron confiables y considerados por la empresa como veraces, aunque el exceso de aire aceptado para el petróleo N° 6, debería ser alrededor del 20% a 30%, y no el que poseen éstas, que fluctúan entre 26% y 81%.

Con los años de servicio las calderas, han presentado una eficiencia térmica baja en relación a lo que espera la empresa actualmente (sobre el 85 %), se puede

concluir que las calderas deberían ser reemplazadas por unas nuevas, que posean una alta eficiencia térmica, y que tenga pocos gastos en lo que es combustible, repuestos y mantención.

Análisis económico

La empresa Alfa Laval Aalborg, resultó ser la alternativa más viable, ya que con los acuerdos pactados por la empresa, que son reducir los niveles de material particulado y las emisiones de SO_2 en un 90%, gracias a su sistema de tratamiento de contaminantes. Además se optó por cambiar 4 de las 5 calderas por 3 nuevas, las cuales como principal característica es que poseen un rendimiento del 90,5%, aumentando la eficiencia de las calderas, y disminuyendo el consumo de combustible, electricidad y mantención.

El estudio económico realizado a 10 años, arrojó que la inversión inicial US\$ 2.499.800 tiene un PRI de 7 años, además posee un VAN de US\$ 449.503,5 y un TIR de 18,55%. Dado lo anterior, se convierte en un estudio viable para ser aplicado y aceptado por la empresa.

Referencias bibliográficas

1. Neira Muñoz, Angel Mariano. Análisis de líneas de vapor y condensado en Pesquera Camanchaca S.A. Universidad del Bío Bío. 1999.
2. Oelker Behn, Arnulfo. Thermal Engineering Ltda. Tratamiento de agua en calderas, [en línea], disponible en <http://www.thermal.cl/prontus_thermal/site/artic/20110602/asocfile/20110602102250/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf> [consulta: 14 Abril 2013].
3. Thermal Engineering Ltda. Desaireación térmica v/s química, [en línea], disponible en <http://www.thermal.cl/prontus_thermal/site/artic/20110602/asocfile/20110602102250/articulo___desaireacion_termica_vs_quimica_modif.pdf> [consulta: 14 Abril 2013].
4. Oelker Behn, Arnulfo. Thermal Engineering Ltda. Alternativas de ahorro en plantas térmicas, [en línea], disponible en <http://www.thermal.cl/prontus_thermal/site/artic/20110602/asocfile/20110602102250/articulo___alternativas_de_ahorro_en_plantas_termicas.pdf> [consulta: 14 Abril 2013].
5. Spirax Sarco. Purgas de caldera, [en línea], disponible en <<http://www.spiraxsarco.com/cl/pdfs/SB/p403-56.pdf>> [consulta: 14 Abril 2013].
6. Oelker Behn, Arnulfo. Thermal Engineering Ltda. Aumento capacidad caldera, [en línea], disponible en <http://www.thermal.cl/prontus_thermal/site/artic/20110602/asocfile/20110602102250/articulo___aumento_capacidad_caldera.pdf> [consulta: 14 Abril 2013].
7. Oelker Behn, Arnulfo. Thermal Engineering Ltda. Sistema control emisiones MP y SO₂ para caldera, [en línea], disponible en <http://www.thermal.cl/prontus_thermal/site/artic/20110602/asocfile/20110602102250/articulo___ejemplo_sistema_control_emisiones.pdf> [consulta: 14 Abril 2013].

8. Alfa Laval Aalborg. MissionTM 3-Pass, [en línea], disponible en <http://aalborg-industries.com/press_room/MISSION3PassbrochUKJAN01.pdf> [consulta: 20 Julio 2013].
9. Alfa Laval Aalborg. Presentación MissionTM 3-Pass 3D, [en línea], disponible en <<http://www.aalborg-industries.com.br/general.php?ix=134>> [consulta: 20 Julio 2013].
- Dirección de transferencia tecnológica y servicios departamento de capacitación. Curso: “Operación de calderas de alta presión”. Universidad del Bío Bío. 2005.
- Apuntes de Termodinámica aplicada, Profesor Luis Cerda Miskulini.

Anexo A: Certificaciones de la empresa

A continuación se muestran las certificaciones que posee la empresa, con lo que se destaca por sobre las otras empresas del rubro pesquero.

A.1 Certificación ISO 9001



Certificado CL10/2010099

El sistema de gestión de

CAMANCHACA PESCA SUR S.A.

Avda. General Carlos Prats N° 80,
Coronel, Chile

ha sido evaluado y certificado en cuanto al cumplimiento de los requisitos de

ISO 9001:2008

Exclusiones: 7.3

Para las siguientes actividades

Elaboración de Aceite y Conservas de Pescado para Consumo Humano y Harina de Pescado.

Cualquier aclaración adicional relativa tanto al alcance de este certificado como a la aplicabilidad de los requisitos de la norma ISO 9001:2008 puede obtenerse consultando a la organización

Este certificado es válido desde
01 de Septiembre de 2011 hasta 11 de Octubre de 2013
y permanece válido sujeto a las auditorías de seguimiento satisfactorias.
Auditoría de Recertificación antes del 27 de Agosto de 2013
Edición 2. Certificado desde 12 de Octubre de 2010

Autorizado por

Víctor Rodríguez Jorje
Certification Manager

SGS Chile Ltda, Systems & Services Certification
Ignacio Valdivieso 2409, P.O.7041409 San Joaquín, Santiago, Chile
t 56 (0)2 8989500 f 56(0)2 8989633 www.sgs.com

Página 1 de 1

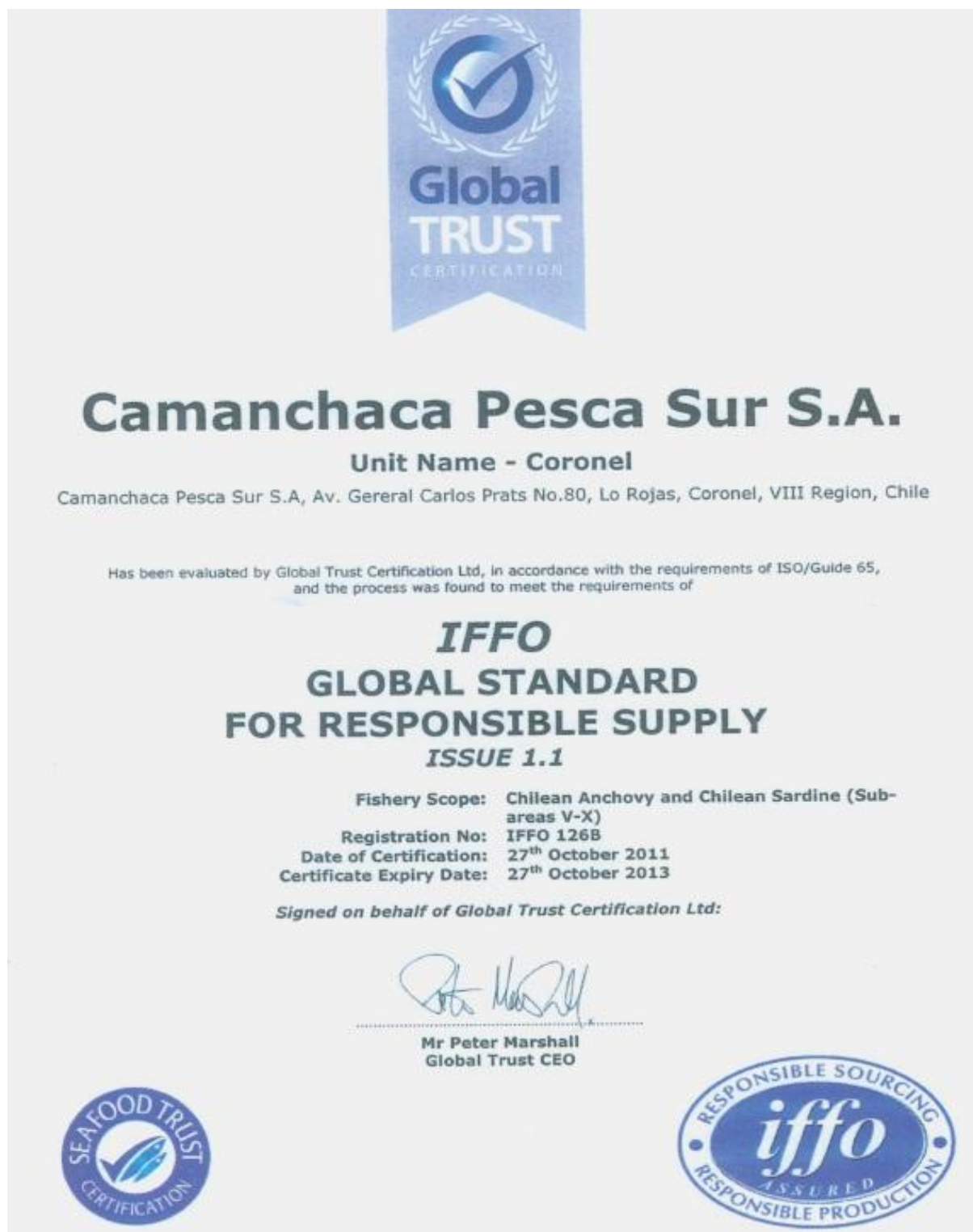


SISTEMA NACIONAL
DE ACREDITACION
INN - CHILE

Reg. No SC 002
Registro Nacional Nro. 5813



A.2 Certificación IFFO



Anexo B: Análisis del agua de las calderas



Compañía: **Camanchaca pesca sur**
 Planta: **Coronel**
 Ciudad: **Coronel**
 Sistema: **Generador de Vapor**
 Atención: **Ramon Macias, Alejandra Gonzalez**
 Copia: **Sres. Operadores, Mauricio Rojas**



Fecha: **06 de Junio 2012**
 Hecho por: **Roberto Quijon M**
 NALCO Copia: **Rolando Manriquez**

h	Unidades	agua abland.	agua alim.	Cald 1	Cald 2	Cald 3	Cald 4	Cald 5	Rango Ablandador	Rango Agua Alimt.	Rango condensado	Rango Calderas
ph		7,8	8,8	11,2	11,1	11,2	11,1	10,9	6 a 8	8,5 a 9,6	> 8,5	10,5 a 11,5
Conductividad	umho/cm	298	287	2400	1080	1224	1251	1231	<300		< 10	Cald 5 < 2500/Calderas < 3500
Sulfito	ppm SO3			40	25	15	25	15				30-60
Silice	ppm SiO2		32,2	83,5	76,8	113,5	107,8	126,8				< 150 ppm
Fierro	ppm Fe		0,41	0,22	0,39	0,15	0,18	0,25				
Dureza Total	ppm CaCO3	0	0	0,5	3	0,1	0,1	0,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 10
Trasar 22310	ppm			72,2	82,1	74,9	78,1	86,5				100-200
Alcalinidad m	ppm CaCO3		60	426	160	216	236	206				< 700
Alcalinidad p	ppm CaCO3		12	340	120	174	162	164				

Anexo C: Certificaciones de revisiones y pruebas de calderas**IngeTerm®**

INGENIERIA EN TERMOFLUIDOS LTDA

SSCON-14

N°28, Fecha: 23 de Abril de 2012

**CERTIFICADO DE REVISIONES Y PRUEBAS DE CALDERAS
Y GENERADORES DE VAPOR (D.S. N°48 /1984 del Ministerio de Salud)****1. - INDIVIDUALIZACIÓN DEL PROPIETARIO:**

Empresa:	Cía. Pesquera Camanchaca S.A.	RUT:	93.711.000-6
Propietario o Representante Legal:	Sr. Cristian Pinochet Herrera.	Fono:	2712523
Ubicación del Equipo:	Av. General Carlos Prats González N°80, Lo Rojas.	Comuna:	Coronel.
Equipo: Tipo:	Caldera Igneotubular de 3 Pasos.	N° Registro:	SSCON-14 (Caldera N°1)
Fabricante:	H. Briones y Cia. S.A.I.C.	N° Fábrica:	051
		Año:	1985
Superficie Calefacción	427,92 m²	Presión Máxima Trabajo	8,8 Kg/cm² (1)
		Prod. Vapor	12.500 Kv/hr
Características Construcción Equipo: (dimensiones y espesores de plancha envolventes, frontales, tubos, hogar, calidad de planchas, número y dimensiones de tubos):			
Envolvente: Diámetro: 4.075 m/m., Espesor: 20 m/m. (Calidad: A 515 Gr.70)			
Frontales: Espesor: 25 m/m. (Calidad: A 515 Gr.70)			
Fogón: Diámetro: 1.451 m/m., Espesor: 18 m/m, Largo: 4.604 m/m. (Calidad: A 515 Gr.70)			
Tubos: Diámetro: 63,5 m/m, Espesor: 3,2 m/m., Largo del 2º Paso 4.600 mm, Total 426.			
Válvula de Seguridad (Nº, tipo, capacidad individual y capacidad total de evacuación):			
Tres Válvulas de Seguridad, Tipo Resorte, Diámetro 2 ½", Capacidad Total de Evacuación: 15.580 Kv/h			
Grad. Válv. Seguridad: 1) 106 Psig. 2) 106 Psig. 3) 106 Psig. 4) 106 Psig.			
Manómetro: Graduación (Rango)	0 - 230 Psig	Instalación:	Reglamentaria
Indicadores de nivel: Tubos	2 (dos)	Llaves de Prueba	5
Combustible utilizado:	Petróleo	Consumo:	883,5 lKg/hr.
Tratamiento del Agua: (Tipo, Capacidad, etc.)	Ablandador y Químico		

2. - REVISIONES Y PRUEBAS EJECUTADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS:

El Ingeniero que suscribe certifica que se han efectuado las siguientes revisiones y pruebas reglamentarias:

REVISIÓN O PRUEBAS	FECHA	RESULTADOS
Revisión Interna y Externa	13/03/2012	Aceptable
Prueba Hidráulica (150 Psig)	13/03/2012	Aceptable
Prueba de Vapor	23/04/2012	Aceptable
Prueba de Acumulación	23/04/2012	Aceptable
Pruebas de Funcionamiento	23/04/2012	Aceptable

3. - OBSERVACIONES: (1) La Presión Máxima de Trabajo autorizada se redujo de 8,8 a 7,03 Kg/cm² (100 Psig), por requerimientos de seguridad y sobredimensionamiento del Equipo. (2) Se reparó un Tubo acuotubular de Cámara Húmeda. (3) Siempre marcar el nivel Mínimo de Operación de los Tubos de Nivel. También, marcar con línea roja la Presión Max. Trabajo del Manómetro. (4) En acuerdo con la Jefatura Técnica y de las condiciones estructurales y de operación de esta Caldera, por norma de seguridad, se deberá efectuar **Mantenimiento anual (Abril de 2013) y/o Pruebas de Funcionamiento a todos los Accesorios de Control, de Observación y de Seguridad, principalmente a las Válvulas de Seguridad.** (5) Este certificado deja nulo el anterior con número correlativo 33, de fecha 8 de Diciembre de 2011, cuya vigencia era hasta el 22 de Diciembre de 2012.

"Es responsabilidad del propietario o usuario velar porque las inspecciones y pruebas se efectúen en los plazos que corresponda" (Art. 30º del D.S. N° 48 /1984).

El presente certificado es válido hasta el **13 de Marzo de 2014**, quedando nulo inmediatamente al momento de efectuar reparaciones y/o modificaciones de importancia, debido a situaciones accidentales que comprometan estructural y operacionalmente al Equipo, traslado, enajenación o venta, cambio de combustible, mantención y/o reparación de válvulas de seguridad, terremotos y maremotos, etc.



Nº6, Fecha: 13 de Marzo de 2012

**CERTIFICADO DE REVISIONES Y PRUEBAS DE CALDERAS
Y GENERADORES DE VAPOR (D.S. Nº48/1984 del Ministerio de Salud)**
1. - INDIVIDUALIZACIÓN DEL PROPIETARIO:

Empresa:	Cía. Pesquera Camanchaca S.A.	RUT:	93.711.000-6
Propietario o Representante Legal:	Sr. Cristian Pinochet Herrera.	Fono:	2712523
Ubicación del Equipo:	Av. General Carlos Prats González N°80, Lo Rojas.	Comuna:	Coronel.
Equipo: Tipo:	Caldera Igneotubular de 3 Pasos.	Nº Registro:	SSCON-16 (Caldera Nº2)
Fabricante:	H. Briones y Cía. S.A.I.C.	Nº Fábrica:	100
		Año:	1988
Superficie Calefacción	427,92 m²	Presión Máxima Trabajo	8,8 Kg/cm² (1)
		Prod. Vapor	12.500 Kv/hr
Características Construcción Equipo: (dimensiones y espesores de plancha envolventes, frontales, tubos, hogar, calidad de planchas, número y dimensiones de tubos):			
Envolvente: Diámetro: 4.075 m/m., Espesor: 20 m/m. (Calidad: A 515 Gr.70)			
Frontales: Espesor: 25 m/m. (Calidad: A 515 Gr.70)			
Fogón: Diámetro: 1.451 m/m., Espesor: 18 m/m., Largo: 4.604 m/m. (Calidad: A 515 Gr.70)			
Tubos: Diámetro: 63,5 m/m, Espesor: 3,2 m/m., Largo del 2º Paso 4.600 mm, Total 426.			
Válvula de Seguridad(Nº, tipo, capacidad individual y capacidad total de evacuación):			
Tres Válvulas de Seguridad, Tipo Resorte, Diámetro 2 ½", Capacidad Total de Evacuación: 15.580 Kv/h			
Grad. Válv. Seguridad: 1) 116 Psig. 2) 117 Psig. 3) 118 Psig. 4) 120 Psig.			
Manómetro: Graduación (Rango)	0-250 Psig	Instalación:	Reglamentaria
Indicadores de nivel: Tubos	2 (dos)	Llaves de Prueba	6
Combustible utilizado:	Petróleo	Consumo:	883,5 lKg/hr.
Tratamiento del Agua: (Tipo, Capacidad, etc.)	Ablandador y Químico		

2. - REVISIONES Y PRUEBAS EJECUTADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS:

El Ingeniero que suscribe certifica que se han efectuado las siguientes revisiones y pruebas reglamentarias:

REVISIÓN O PRUEBAS	FECHA	RESULTADOS
Revisión Interna y Externa	26/09/2011	Aceptable
Prueba Hidráulica (170 Psig)	07/11/2011	Aceptable
Prueba de Vapor	06/03/2012	Aceptable
Prueba de Acumulación	06/03/2012	Aceptable
Pruebas de Funcionamiento	06/03/2012	Aceptable
Seguimiento	13/03/2012	Aceptable

3. - OBSERVACIONES: (1) La Presión Máxima de Trabajo autorizada se redujo de 8,8 a 8,0 Kg/cm² (113,7 Psig), por requerimientos de seguridad y sobredimensionamiento del Equipo. (2) Se cambió pared de Tubos acuotubular posterior de la Cámara Húmeda. (3) En acuerdo con la Jefatura Técnica de Cía. Pesquera Camanchaca S.A. y de las condiciones estructurales y de operación de esta Caldera, por norma de seguridad, se deberá efectuar Mantenimiento anual (Marzo de 2013) y/o Pruebas de Funcionamiento a todos los Accesorios de Control, de Observación y de Seguridad, principalmente a las Válvulas de Seguridad. (4) Este certificado deja nulo el anterior con correlativo Nº7, de fecha 31 de Marzo de 2010, cuya vigencia era hasta el 15 de Marzo de 2012.

"Es responsabilidad del propietario o usuario velar porque las inspecciones y pruebas se efectúen en los plazos que corresponda" (Art. 30º del D.S. Nº 48 /1984).

El presente certificado es válido hasta el **26 de Septiembre de 2013**, quedando nulo inmediatamente al momento de efectuar reparaciones y/o modificaciones de importancia, debido a situaciones accidentales que comprometan estructural y operacionalmente al Equipo, traslado, enajenación o venta, cambio de combustible, mantención y/o reparación de válvulas de seguridad, Terremoto, etc.

 RECEPCIÓN
 11 11 11

N°27, Fecha: 23 de Abril de 2012

**CERTIFICADO DE REVISIONES Y PRUEBAS DE CALDERAS
Y GENERADORES DE VAPOR (D.S. N°48/1984 del Ministerio de Salud)**
1. - INDIVIDUALIZACIÓN DEL PROPIETARIO:

Empresa:	Cia. Pesquera Camanchaca S.A.	RUT	93.711.000-6
Propietario o Representante Legal:	Sr. Cristian Pinochet Herrera.	Fono:	2712523
Ubicación del Equipo:	Av. General Carlos Prats González N°80, Lo Rojas.	Comuna	Coronel
Equipo: Tipo:	Caldera Igneotubular de 3 pasos.	N° Registro:	SSCON-53 (Caldera N°3)
Fabricante:	Vapor Industrial S.A.	N° Fábrica:	92100 Año: 1992.
Superficie Calefacción	628 m²	Presión Máxima de Trabajo	8 Kg/cm²
Características Construcción Equipo:	(dimensiones y espesores de plancha envolventes, frontales, tubos, hogar, calidad de planchas, número y dimensiones de tubos):		
Envolvente:	Diámetro Interior: 4.900 m/m., Espesor: 20 m/m, Largo: 6.030 m/m (Calidad: A 515 Gr.70)		
Frontales:	Espesor: 18 m/m. (Calidad: A 515 Gr.70)		
Fogones:	Diámetros: 1.780 m/m., Espesor: 18 m/m. Largo: 5.040. (Calidad: A 515 Gr.70)		
Tubos:	Diámetro: 76,2 m/m, Espesor: 2,78 m/m., Largos: 6.030 /5.040.		
Válvula de Seguridad(N°, tipo, capacidad individual y capacidad total de evacuación):	2 Válvulas de Seguridad, Tipo Resorte, 4" x 6" de diámetro, Capac.Total Evacuación: 28.000 Kv/h		
Grad.Válv.Seguridad:1) 115 Psig 2) 116 Psig.			
Manómetro de Graduación (Rango)	0-14 Kg/cm²	Instalación:	Reglamentaria
Indicadores de Nivel: Tubos	2 (Dos)	Llaves de Prueba	6 (Seis)
Combustible utilizado:	Petróleo N°6	Consumo Nominal:	1.625 m³N/hora
Tratamiento del Agua: (Tipo, Capacidad, etc.)	Ablandador y Químico		

2. - REVISIONES Y PRUEBAS EJECUTADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS:

El Ingeniero que suscribe certifica que ha efectuado las siguientes revisiones y pruebas reglamentarias:

REVISIÓN O PRUEBAS	FECHA	RESULTADOS
Revisión Interna y Externa	04/04/2012	Aceptable
Prueba Hidráulica	04/04/2012	Aceptable
Prueba con Vapor	23/04/2012	Aceptable
Prueba de Acumulación	23/04/2012	Aceptable
Pruebas de Funcionamiento	23/04/2012	Aceptable

3. - OBSERVACIONES: (1) En acuerdo con la Jefatura Técnica y sobre las bases de las condiciones estructurales y de operación de esta Caldera, **por norma de seguridad, se deberá efectuar anualmente (Abril de 2013) Mantenimiento y/o Pruebas de Funcionamiento a todos los Sistemas y Accesorios de Control, de Observación y de Seguridad, principalmente a las Válvulas de Seguridad** (3) Este certificado deja nulo el anterior con correlativo N°4, de fecha 13 de Marzo de 2012, cuya vigencia es hasta el 3 de Febrero de 2013.

"Es responsabilidad del propietario o usuario velar porque las inspecciones y pruebas se efectúen en los plazos que corresponda" (Art. 30° del D.S. N° 48 /1984).

El presente certificado es válido hasta el **4 de Abril de 2014**, quedando nulo inmediatamente al momento de efectuar reparaciones y/o modificaciones de importancia, debido a situaciones accidentales que comprometan estructural y operacionalmente al Equipo, traslado, enajenación o venta, cambio de combustible, mantención y/o reparación de válvulas de seguridad, terremotos y maremotos, etc.



Handwritten signature or initials.

Nº30, Fecha: 28 de Octubre de 2011

**CERTIFICADO DE REVISIONES Y PRUEBAS DE CALDERAS
Y GENERADORES DE VAPOR (D.S. Nº48 /1984 del Ministerio de Salud)**

1. - INDIVIDUALIZACIÓN DEL PROPIETARIO:

Empresa:	Cía. Pesquera Camanchaca S.A.	RUT	93.711.000-6
Propietario o Representante Legal:	Sr. Cristian Pinochet Herrera.	Fono:	2712523
Ubicación del Equipo:	Av. General Carlos Prats González Nº80, Lo Rojas.	Comuna	Coronel.
Equipo: Tipo:	Caldera Igneotubular de 3 Pasos.	Nº Registro:	SSCON-54 (Caldera Nº4)
Fabricante:	H. Briones y Cía. S.A.I.C.	Nº Fábrica:	107 Año: 1987
Superficie Calefacción	570,56 m²	Presión Máxima Trabajo	100 Psig
Prod. Vapor	18.144 Kv/hr		
Características Construcción Equipo: (dimensiones y espesores de plancha envolventes, frontales, tubos, hogar, calidad de planchas, número y dimensiones de tubos):			
Envolvente: Diámetro: 4.833 m/m., Espesor: 22 m/m (Calidad: A 515 Gr.70)			
Frontales: Espesor: 25 m/m. (Calidad: A 515 Gr.70)			
Fogón: Diámetro: 1.753 m/m., Espesor: 18 m/m, Largo: 5.101 m/m. (Calidad: A 515 Gr.70)			
Tubos: Diámetro: 63,5 m/m, Espesor: 3,2 m/m., Largo del 2º Paso 4.858 mm, Total 560.			
Válvula de Seguridad(Nº, tipo, capacidad individual y capacidad total de evacuación):			
Cuatro Válvulas de Seguridad, Tipo Resorte, (3) Diámetro 2 ½" x 4", y (1) 4" x 6", Capacidad Total de Evacuación: 36.000 Kv/h			
Grad.Válv. Seguridad: 1) 105 Psig. 2) 105 Psig. 3) 106 Psig. 4) 106 Psig.			
Manómetro: Graduación (Rango)	0-200 Psig	Instalación:	Reglamentaria
Indicadores de Nivel: Tubos	2 (dos)	Llaves de Prueba	6
Combustible utilizado:	Gas Natural/Petróleo	Consumo:	1.500m³/1.294 Kg/hr.
Tratamiento del Agua: (Tipo, Capacidad, etc.)		Ablandador y Químico	

2. - REVISIONES Y PRUEBAS EJECUTADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS:

El Ingeniero que suscribe certifica que se han efectuado las siguientes revisiones y pruebas reglamentarias:

REVISIÓN O PRUEBAS	FECHA	RESULTADOS
Revisión Interna y Externa	11/08/2011	Aceptable
Prueba Hidráulica (150 Psig)	29/09/2011	Aceptable
Prueba de Tintas Penetrantes	13 y 15/08/2011	Aceptable
Prueba de Vapor	21/10/2011	Aceptable
Prueba de Acumulación	21/10/2011	Aceptable
Seguimiento	24/10/2011	Aceptable

3. - OBSERVACIONES: (1) Se cambió Cámara Húmeda Posterior y se le instalaron 2 Líneas de Purgas de Fondo. (2) Se efectuó mantención de las Válvulas de Seguridad. (3) En acuerdo con la Jefatura Técnica de Cía. Pesquera Camanchaca S.A. y de las condiciones estructurales y de operación de esta Caldera, por norma de seguridad, se deberá efectuar Mantención anual (Octubre de 2012) y/o Pruebas de Funcionamiento a todos los Accesorios de Control, de Observación y de Seguridad, principalmente a las Válvulas de Seguridad. (3) Este certificado deja nulo el anterior con número correlativo 65, de fecha 19 de Noviembre de 2010, cuya vigencia era hasta el 6 de Noviembre de 2012.

"Es responsabilidad del propietario o usuario velar porque las inspecciones y pruebas se efectúen en los plazos que corresponda" (Art. 30º del D.S. Nº 48 /1984).

El presente certificado es válido hasta el **11 de Agosto de 2013**, quedando nulo inmediatamente al momento de efectuar reparaciones y/o modificaciones de importancia, debido a situaciones accidentales que comprometan estructural y operacionalmente al Equipo, traslado, enajenación o venta, cambio de combustible, mantención y/o reparación de válvulas de seguridad, Terremotos, etc.

MINISTERIO DE SALUD

Nº26, Fecha: 23 de Abril de 2012

**CERTIFICADO DE REVISIONES Y PRUEBAS DE CALDERAS
Y GENERADORES DE VAPOR (D.S. Nº48 /1984 del Ministerio de Salud)**

1. - INDIVIDUALIZACIÓN DEL PROPIETARIO:

Empresa:	Cía. Pesquera Camanchaca S.A.	RUT	93.711.000-6
Propietario o Representante Legal:	Sr. Cristian Pinochet Herrera.	Fono:	2712523
Ubicación del Equipo:	Av. General Carlos Prats González N°80, Lo Rojas.	Comuna	Coronel.
Equipo: Tipo:	Caldera Igneotubular de 3 Pasos.	N° Registro:	SSCON-55 (Caldera Nº5)
Fabricante:	Conmetal Ltda.	N° Fábrica:	CPT 700 Año: 2000
Superficie Calefacción	663,46 m²	Presión Máxima Trabajo	100 Psig
Prod. Vapor			20.000 Kv/hr
Características Construcción Equipo: (dimensiones y espesores de plancha envolventes, frontales, tubos, hogar, calidad de planchas, número y dimensiones de tubos):			
Envolvente: Diámetro: 3.700 m/m., Espesor: 16 m/m, Largo: 8.000 mm (Calidad: A 516 Gr.70)			
Frontales: Espesor: 25,4 m/m. (Calidad: A 516 Gr.70)			
Fogón: Diámetro: 1.580 m/m., Espesor: 16 m/m, Largo: 7.000 m/m. (Calidad: A 516 Gr.70)			
Tubos: Diámetro: 76,2 m/m, Espesor: 3,09 m/m., Largos 7.000/8.000 mm, Total 368.			
Válvula de Seguridad(N°, tipo, capacidad individual y capacidad total de evacuación):			
Dos Válvulas de Seguridad, Tipo Resorte, Diámetros 4" x 6", Capacidad Total de Evacuación: 24.500 Kv/h			
Grad. Válv. Seguridad: 1) 106 Psig. 2) 106 Psig.			
Manómetro: Graduación (Rango)	0-200 Psig	Instalación:	Reglamentaria
Indicadores de Nivel: Tubos	2 (dos)	Llaves de Prueba	6
Combustible utilizado:	Gas Natural/Petróleo	Consumo:	S/l m³/1.413,6 Kg/hr.
Tratamiento del Agua: (Tipo, Capacidad, etc.)		Ablandador y Químico	

2. - REVISIONES Y PRUEBAS EJECUTADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS:

El Ingeniero que suscribe certifica que se han efectuado las siguientes revisiones y pruebas reglamentarias:

REVISIÓN O PRUEBAS	FECHA	RESULTADOS
Revisión Interna y Externa	03/04/2012	Aceptable
Prueba Hidráulica (150 Psig)	04/04/2012	Aceptable
Prueba de Vapor	23/04/2012	Aceptable
Prueba de Acumulación	23/04/2012	Aceptable
Pruebas de Funcionamiento	23/04/2012	Aceptable

3. - OBSERVACIONES: (1) Se taponaron 3 Tubos y se reparo la soldadura de otro Tubo del 2º Paso. (2) En acuerdo con la Jefatura Técnica y sobre las bases de las condiciones estructurales y de operación de esta Caldera, por norma de seguridad, se deberá efectuar anualmente (Abril de 2013) **Mantenimiento y/o Pruebas de Funcionamiento a todos los Sistemas y Accesorios de Control, de Observación y de Seguridad, principalmente a las Válvulas de Seguridad** (3) Este certificado deja nulo el anterior con correlativo Nº5, de fecha 13 de Marzo 2012, cuya vigencia era hasta el 6 de Abril de 2012.

"Es responsabilidad del propietario o usuario velar porque las inspecciones y pruebas se efectúen en los plazos que corresponda" (Art. 30º del D.S. Nº 48 /1984).

El presente certificado es válido hasta el **3 de Abril de 2014**, quedando nulo inmediatamente al momento de efectuar reparaciones y/o modificaciones de importancia, debido a situaciones accidentales que comprometan estructural y operacionalmente al Equipo, traslado, enajenación o venta, cambio de combustible, mantención y/o reparación de válvulas de seguridad, terremotos y maremotos, etc.



Handwritten signature.

Anexo D: Cálculo eficiencia de las calderas

D.1 Método directo

Ejemplo:

Caldera N°2, fecha: 28-04-2013 turno 1. Los datos que se muestran a continuación fueron obtenidos del seguimiento diario a las calderas y para poder calcular este rendimiento se tomaron las siguientes consideraciones:

- Título del vapor equivalente al 95%(dato estimativo aportado por la empresa).
- Perdida por purgas del 10%.

El cálculo del rendimiento, se determino mediante el software E.E.S., el cual nos arrojó más exactamente los valores correspondientes a las entalpías h_1 y h_2 , datos muy importantes que sirven para calcular el rendimiento.

- $Presión\ caldera = 8\ (Bar\ abs).$
- $Temperatura_{agua\ alim.} = 102(^{\circ}C).$
- $\dot{m}_{vapor} = 10353\left(\frac{kg}{h}\right).$
- $\dot{m}_{comb.} = 695\left(\frac{kg}{h}\right).$
- $PCI = 9630\left(\frac{kcal}{kg}\right) \times 4,187\left(\frac{kJ}{kcal}\right) = 40000\left(\frac{kJ}{kg}\right) (aprox).$
- $h_1 = 428\left(\frac{kJ}{kg}\right).$
- $h_2 = 2666\left(\frac{kJ}{kg}\right).$

Procedimiento:

$$Q_{vapor} = 10353 \times (2666 - 428).$$

$$Q_{vapor} = 23.170.014.$$

$$Q_{comb.} = 695 \times 40000.$$

$$Q_{comb.} = 27.800.000.$$

$$\eta = \left(\frac{23.170.014}{27.800.000} \times 100 \right)$$

$$\eta = 83,3\%$$

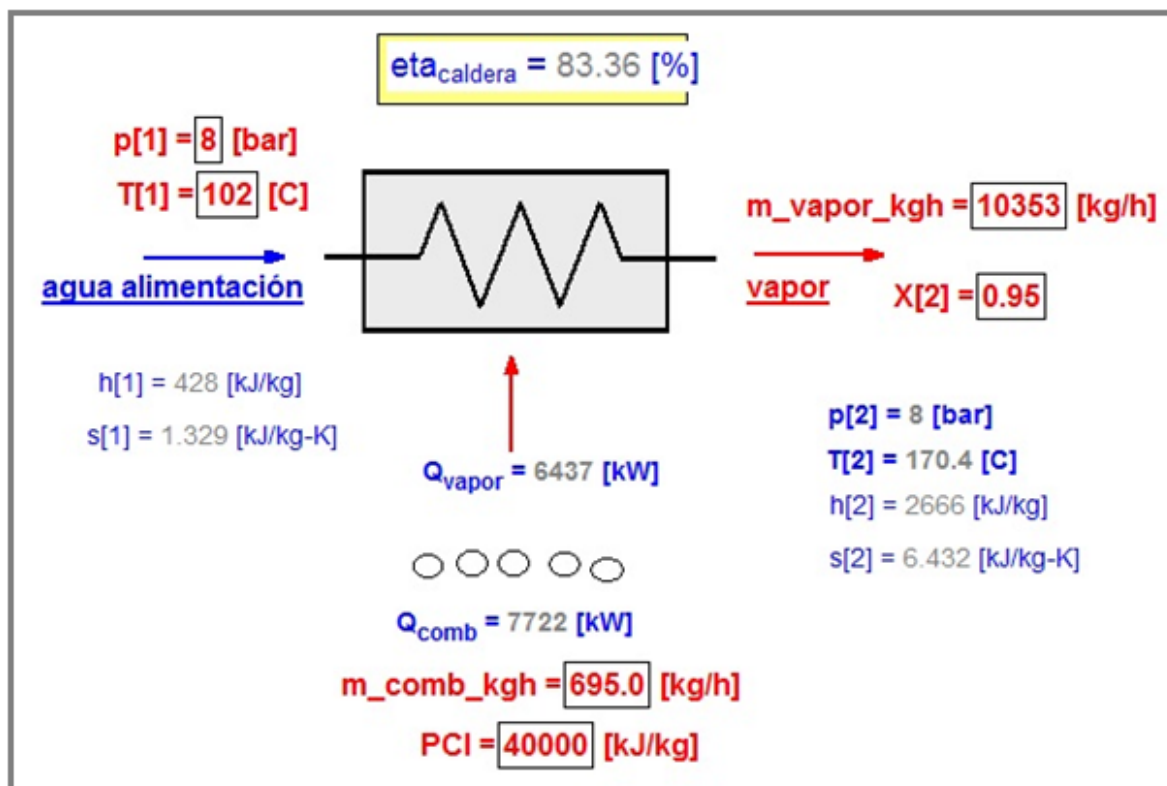


Figura D.1 Representación gráfica del software E.E.S

Tabla D.1 caldera 1.

Fecha/ turno	M comb (kg)	M agua (kg)	Temp.Agua (C°)	Rend. (%)
23-04-2013/1	387	5413	102	78,05
23-04-2013/2	394	5920	102	83,84
24-04-2013/1	405	5639	103	77,55
24-04-2013/2	381	6470	98	95,48
25-04-2013/1	407	6068	102	83,2
25-04-2013/2	-	-	-	-
26-04-2013/1	478	6917	102	80,7
26-04-2013/2	350	5025	98	80,7
28-04-2013/1	-	-	-	-
29-04-2013/1	415	6350	102	85,4
02-05-2013/1	-	-	-	-
03-05-2013/1	-	-	-	-
03-05-2013/2	-	-	-	-
04-05-2013/1	-	-	-	-
04-05-2013/2	-	-	-	-
05-05-2013/1	-	-	-	-
05-05-2013/2	-	-	-	-
06-05-2013/1	422	8269	100	109
06-05-2013/2	423	9257	100	122
07-05-2013/1	406	9265	102	127
07-05-2013/2	-	-	-	-
08-05-2013/1	439	9421	104	119,3
08-05-2013/2	-	-	-	-
10-05-2013/1	448	9034	102	112,5
10-05-2013/2	-	-	-	-
11-05-2013/1	400	8836	102	123,3
11-05-2013/2	-	-	-	-
12-05-2013/1	457	8963	104	109
13-05-2013/1	-	-	-	-
13-05-2013/2	504	9738	103	107,6
14-05-2013/1	484	8903	97	103,6
15-05-2013/1	447	8107	103	101

Tabla D.2 caldera 2.

Fecha/ turno	M comb (kg)	M agua (kg)	Temp.Agua (C°)	Rend. (%)
23-04-2013/1	666	11313	104	94,7
23-04-2013/2	637	9926	103	87
24-04-2013/1	773	13366	103	96,6
24-04-2013/2	658	11051	98	94,7
25-04-2013/1	769	12998	103	94,4
25-04-2013/2	-	-	-	-
26-04-2013/1	-	-	-	-
26-04-2013/2	-	-	-	-
28-04-2013/1	695	11504	102	92,6
29-04-2013/1	789	13743	102	97,5
02-05-2013/1	807	7386	98	51,6
03-05-2013/1	-	-	-	-
03-05-2013/2	-	-	-	-
04-05-2013/1	-	-	-	-
04-05-2013/2	-	-	-	-
05-05-2013/1	805	15007	100	104,7
05-05-2013/2	711	15501	101	122,2
06-05-2013/1	711	15385	99	121,8
06-05-2013/2	-	-	-	-
07-05-2013/1	613	12970	102	118,4
07-05-2013/2	-	-	-	-
08-05-2013/1	748	16473	104	122,8
08-05-2013/2	-	-	-	-
10-05-2013/1	693	15370	102	124
10-05-2013/2	-	-	-	-
11-05-2013/1	663	15074	102	127,2
11-05-2013/2	-	-	-	-
12-05-2013/1	740	16576	104	125
13-05-2013/1	-	-	-	-
13-05-2013/2	716	16960	102	132,6
14-05-2013/1	717	15442	98	121,4
15-05-2013/1	724	16347	103	126,1

Tabla D.3 caldera 4.

Fecha /turno	M comb (kg)	M agua (kg)	Temp.Agua (C°)	Rend. (%)
23-04-2013/1	744	13768	102	103,6
23-04-2013/2	710	13686	103	107,7
24-04-2013/1	796	14119	103	99
24-04-2013/2	678	11553	96	96,4
25-04-2013/1	780	13321	102	95,5
25-04-2013/2	-	-	-	-
26-04-2013/1	672	11571	102	96,3
26-04-2013/2	-	-	-	-
28-04-2013/1	562	8805	102	87,7
29-04-2013/1	802	14238	102	99,3
02-05-2013/1	-	-	-	-
03-05-2013/1	-	-	-	-
03-05-2013/2	868	17605	102	113,5
04-05-2013/1	-	-	-	-
04-05-2013/2	-	-	-	-
05-05-2013/1	818	16996	101	116,5
05-05-2013/2	-	-	-	-
06-05-2013/1	776	15284	98	111
06-05-2013/2	782	15158	99	109
07-05-2013/1	780	15575	102	111,7
07-05-2013/2	-	-	-	-
08-05-2013/1	722	16086	103	124,4
08-05-2013/2	-	-	-	-
10-05-2013/1	646	15415	103	133,3
10-05-2013/2	-	-	-	-
11-05-2013/1	578	16678	102	161,5
11-05-2013/2	-	-	-	-
12-05-2013/1	740	15579	104	117,4
13-05-2013/1	-	-	-	-
13-05-2013/2	620	15714	100	142,4
14-05-2013/1	622	13762	98	124,7
15-05-2013/1	-	-	-	-

Tabla D.4 caldera 5.

Fecha /turno	M comb (kg)	M agua (kg)	Temp.Agua (C°)	Rend. (%)
23-04-2013/1	559	9263	102	92,7
23-04-2013/2	450	7059	103	87,6
24-04-2013/1	764	12909	103	94,4
24-04-2013/2	490	8016	98	92,2
25-04-2013/1	526	8631	100	92,2
25-04-2013/2	436	7476	97	96,7
26-04-2013/1	527	8801	101	93,6
26-04-2013/2	621	10434	102	94
28-04-2013/1	622	10260	102	92,3
29-04-2013/1	313	6316	100	113,3
02-05-2013/1	647	7470	97	65,2
03-05-2013/1	185	2832	99	86,1
03-05-2013/2	732	5330	90	41,6
04-05-2013/1	530	2523	100	26,7
04-05-2013/2	609	2926	88	27,6
05-05-2013/1	647	3518	100	30,5
05-05-2013/2	771	4353	97	31,9
06-05-2013/1	559	3302	98	33,3
06-05-2013/2	501	2829	91	32,2
07-05-2013/1	433	2569	102	33,2
07-05-2013/2	-	-	-	-
08-05-2013/1	343	3325	103	54,1
08-05-2013/2	-	-	-	-
10-05-2013/1	689	3837	96	31,5
10-05-2013/2	478	2450	98	28,9
11-05-2013/1	690	3885	97	31,8
11-05-2013/2	357	2020	100	31,7
12-05-2013/1	631	3688	104	32,5
13-05-2013/1	438	2330	100	29,8
13-05-2013/2	501	2669	99	30
14-05-2013/1	468	2269	98	27,3
15-05-2013/1	787	3671	103	26

D.2 Método indirecto

Para entender en qué consiste este método, se demostrará a continuación la manera en que se calcula el rendimiento correspondiente a la caldera número 2. En donde se utilizara un PCI de 9630 (Kcal/kg.seco), y un PCS de 10150 (Kcal/kg.seco),

Tabla D.5 datos de caldera número 2 obtenida del análisis de gases (Marzo del 2013).

Parámetros	Unidad	valor
O ₂	%	4,5
CO	ppm	20
Temperatura de chimenea	°C	230,1
CO ₂	%	9,51
NO ₂	ppm	396

Tabla D.7 Composición combustible seco gravimétrico del petróleo N° 6.

Tabla D.6 Pesos moleculares.

Carbono	12	kg/kg mol
Hidrogeno	2	kg/kg mol
Oxigeno	32	kg/kg mol
Nitrógeno	28,2	kg/kg mol
Azufre	32	kg/kg mol
Agua	18	kg/kg mol
CO ₂	44	kg/kg mol
CO	28	kg/kg mol
NO ₂	46	kg/kg mol
SO ₂	64	kg/kg mol

C	88,89	%
H ₂	11,11	%
O ₂	0	%
N ₂	0	%
S	0	%
Cenizas	0	%
Total	100	%
Humedad	0	Base Hum.

Tabla D.8 Análisis de gases secos volumétrico.

	%	ppm
CO ₂	9,51	
CO	0,002	20
O ₂	4,5	
SO ₂	0	0
NO ₂	0,0396	396
N ₂	85,9484	
Total	100	

Procedimiento:

$$N_2 = 100 - CO_2 - O_2 - CO - NO_2$$

$$N_2 = 100 - 9,51 - 4,5 - 0,002 - 0,0396$$

$$N_2 = 85,9484$$

$$\% \text{ Exceso de aire} = \frac{4,5 - 0,002 \times 0,5}{0,266 \times (85,9448 + 0,5 \times 0,0396) - (4,5 - 0,5 \times 0,002)} \times 100$$

$$\% \text{ Exceso de aire} = 24,5\%$$

$$m_g = \frac{(44 \times 9,52 + 32 \times 4,5 + 28 \times 0,002 + 28,2 \times 85,9484 + 46 \times 0,0396)}{12 \times (9,51 + 0,002)} \times \frac{88,89}{100}$$

$$m_g = 23,3 \frac{\text{kg producido seco}}{\text{kg combustible}}$$

$$Q_g = 23,3 \times 0,26 \times (230,1 - 20) \frac{\text{kcal}}{\text{kg combustible}}$$

$$Q_g = 1271,1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg combustible}}$$

$$Q_{agua} = \left(0 + 9 \times \frac{11,11}{100}\right) \times (597,2 + 0,55 \times 228 - 4,187 \times 20) \frac{\text{kcal}}{\text{kg combustible}}$$

$$Q_{agua} = 616 \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

$$Q_r = 0,04 \times 10150 \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

$$Q_r = 406 \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

$$Q_{ci} = \frac{5645 \times 0,002 \times \frac{88,89}{100}}{9,51 + 0,002} \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

$$Q_{ci} = 1,05 \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

$$Q_{disponible-PCI} = 9630 - 1271,1 - 406 - 1,05 \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

$$Q_{disponible-PCI} = 7951,8 \frac{kcal}{kg \text{ combustible}}$$

$$\eta = \frac{79647951,85}{9630} \times 100$$

$$\eta = 82,57\%$$

Tabla D.8 Resultado de análisis de gases caldera 1.

Parámetros	Unidad	
O ₂	%	9,7
CO	ppm	20
Temperatura de Chimenea	° C	297
NO	ppm	263
NO _x	ppm	276
CO ₂	%	8,56
Rendimiento (PCI)	%	76
Exceso de Aire	%	80,6

Tabla D.9 Resultado de análisis de gases caldera 2.

Parámetros	Unidad	
O ₂	%	4,5
CO	ppm	20
Temperatura de Chimenea	° C	230,1
NO	ppm	193
NO _x	ppm	203
CO ₂	%	9,51
Rendimiento (PCI)	%	82,5
Exceso de Aire	%	24,5

Tabla D.9 Resultado de análisis de gases caldera 4.

Parámetros	Unidad	
O ₂	%	6,6
CO	ppm	0
Temperatura de Chimenea	° C	229
NO	ppm	265
NO _x	ppm	278
CO ₂	%	9,3
Rendimiento (PCI)	%	82,3
Exceso de Aire	%	42

Tabla D.10 Resultado de análisis de gases caldera 4.

Parámetros	Unidad	
O ₂	%	5,3
CO	ppm	0
Temperatura de Chimenea	° C	229,3
NO	ppm	302
NO _x	ppm	317
CO ₂	%	10,1
Rendimiento (PCI)	%	83,3
Exceso de Aire	%	31

Tabla D.11 Resultado de análisis de gases caldera 5.

Parámetros	Unidad	
O ₂	%	5,6
CO	ppm	0
Temperatura de Chimenea	° C	201,8
NO	ppm	302
NO _x	ppm	317
CO ₂	%	11,66
Rendimiento (PCI)	%	86
Exceso de Aire	%	34

Anexo E: Costos de inversión

E.1 Costos de inversión en empresa Thermal Engineering

3. Valorización de la Propuesta

Las tabla presentada a continuación muestra la valorización de cada uno de los servicios y equipos considerados en el suministro.

Item	Descripción	Precio Total
1	Quench	US\$ 40,000.00
2	Scrubber	US\$ 150,500.00
3	Ventilador	US\$ 50,100.00
4	Bomba recirculación + válvulas	US\$ 30,200.00
5	Sistema control pH (dosificación NaOH)	US\$ 4,200.00
6	Instrumentación	US\$ 7,900.00
7	Conjunto de válvulas	US\$ 2,500.00
8	Boquillas quench y scrubber	US\$ 4,500.00
9	Packing scrubber	US\$ 20,700.00
10	Separador de gotas	US\$ 1,750.00
11	Ingeniería	US\$ 26,000.00
12	Puesta en marcha	US\$ 6,500.00
Total		US\$ 344,850.00 + IVA

Figura E.1 Costos de inversión de lavador de gases.

4. Valorización del Suministro

A continuación se entrega la valorización del suministro descrito en la presente propuesta.

Item	Descripción	Precio
1	Filtro de mangas (suministro Dustex) – CIF	US\$ 590,000.00
2	Flete hasta planta Maltexco Temuco	US\$ 36,000.00
3	Ingeniería Thermal Engineering	US\$ 50,000.00
4	Equipos y elementos locales (estimado)	US\$ 60,000.00
5	Puesta en marcha	US\$ 10,000.00
6	Capacitación	US\$ 5,000.00
Total		US\$ 751,000.00 + IVA

E.2 Costos de inversión de filtro de mangas.

E.2 Costos de inversión en empresa Alfa Laval Aalborg

ALFA LAVAL CALDERAS AALBORG		
		USD
Capacidad Caldera Unitaria On/Off	24 ton/hr @ 20 °C	355400
Capacidad Caldera Unitaria On/Off	30 ton/hr @ 20°C	400000
Capacidad Caldera Unitaria On/Off	34 ton/hr @ 20°C	450000
Opcionales		
Sistema Control Continuo Agua&Carga	24 ton/hr @ 20 °C	14500
Sistema Control Continuo Agua&Carga	30 ton/hr @ 20°C	24800
Sistema Control Continuo Agua&Carga	34 ton/hr @ 20°C	24800
Kit Purga Automatica	24 ton/hr @ 20 °C	4000
Kit Purga Automatica	30 ton/hr @ 20°C	4000
Kit Purga Automatica	34 ton/hr @ 20°C	4000
Chimenea 1160 x 6000	24 ton/hr @ 20 °C	6300
Chimenea 1160 x 6001	30 ton/hr @ 20°C	8800
Chimenea 1160 x 6002	34 ton/hr @ 20°C	8800
Lavador Gases + Filtro	24 ton/hr @ 20 °C	202500
Lavador Gases + Filtro	30 ton/hr @ 20°C	251500
Lavador Gases + Filtro	34 ton/hr @ 20°C	251500
Control Caudal @ O2	COMUN	34200
Control AI WEB	COMUN	5000
Flete + Seguros	24 ton/hr	80000
Flete + Seguros	30 ton/hr	90000
Flete + Seguros	34 ton/hr	110000
Instalacion Caldera Unitaria	24 ton/hr	120000
Instalacion Caldera Unitaria	30 ton/hr	130000
Instalacion Caldera Unitaria	34 ton/hr	140000

E.1 Costos de inversión de caldera, equipos y accesorios

						CALDEIRAS AALBORG					Nº:
						EMIÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS					FL: 1 REV.: 0
						CALDEIRAS A ÓLEO E GÁS					DATA 08/09/09 FEITO AHB VISTO - APROV. SAC
CALDEIRA	COMBUSTÍVEL	CONCENTRAÇÕES ^{1) 2)} (mg/Nm³)				LIMITE RESOLUÇÃO CONAMA Nº 382 DE 26/12/2006 ²⁾ (mg/Nm³)					
		MP	CO	NOx ³⁾	SOX ⁴⁾	POTÊNCIA (P) (MW) ⁶⁾	MP	CO ⁵⁾	NOx	SOx	
ATA-0 ~ 14 M3P-2.0 ~ 6,5	ÓLEO 1A	500	63	500	1.875	P ≤ 10	300	80	1.600	2.700	
						10 < P ≤ 70	250	-	1.000		
	ÓLEO DIESEL	100	63	500	1.310	P ≤ 10	300	80	1.600		
						10 < P ≤ 70	250	-	1.000		
	GÁS NATURAL	-	63	150	-	P ≤ 70	-	-	320	-	
	GLP	-	63	150	-	não é mencionado					
	M3P-8.0 ~ 34	ÓLEO 1A	350	63	500	1.875	P ≤ 10	300	80	1.600	2.700
10 < P ≤ 70							250	-	1.000		
ÓLEO DIESEL		80	63	500	1.310	P ≤ 10	300	80	1.600		
						10 < P ≤ 70	250	-	1.000		
GÁS NATURAL		-	63	150	-	P ≤ 70	-	-	320	-	
GLP		-	63	150	-	não é mencionado					

OBSERVAÇÕES:

- 1- Valores máximos esperados;
- 2- Concentrações em base seca, @ 1,0 atm, 0 °C e 3,0% de O₂;
- 3- Concentração de NOx considerando óleo 1A / Diesel com teor de nitrogênio de 0,50% (massa) em sua composição e atomização a vapor;
- 4- Concentrações de SOx considerando óleo 1A e Diesel com teores de enxofre respectivamente de 1,0% e 0,70% (massa) em suas composições. Para outros teores de enxofre nesses combustíveis, multiplicar as concentrações por x/1,0 ou x/0,7 respectivamente, sendo x (% massa) o teor de enxofre no combustível;
- 5- Para equipamentos com potência igual ou inferior a 10 MW, poderá ser monitorada apenas a concentração de monóxido de carbono;
- 6- 1 MW = 1.200 kg/h de vapor (água @ 20 °C).