

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS, ECONOMÍA Y NEGOCIO

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA ADQUISICIÓN DE NUEVA CALDERA DE  
VAPOR PARA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE EMPRESA CIAL ALIMENTOS**

*MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL*

AUTOR: JORGE IGNACIO HADDAD OSORIO

PROFESORA GUÍA: MARÍA PILAR GÁRATE  
CO-REFERENTE: FRANCISCO DALL'ORSO LEON

SANTIAGO

2017



# Índice

Índice .....	2
Índice de Tablas .....	5
Índice de Figuras .....	6
Resumen Ejecutivo .....	7
Abstract .....	8
1. Introducción .....	9
2. Objetivos .....	11
2.1. Objetivo General .....	11
2.2. Objetivos Específicos.....	11
3. Marco Teórico.....	12
3.1. Industria de Cecinas en Chile.....	12
3.2. CIAL Alimentos.....	14
3.2.1. Ubicación.....	15
3.2.2. Distribución .....	15
3.2.3. Calidad.....	16
3.2.4. Clientes.....	16
3.2.5. Productos .....	16
3.2.6. Participación de mercado .....	16
3.2.7. Tecnología de Producción .....	17
3.2.8. Planta de Producción 1 .....	18
3.3. Vapor de Agua .....	19
3.3.1. Propiedades del Vapor .....	20
3.3.2. Tablas Termodinámicas .....	20
3.3.3. Fundamentos de Vapor para Plantas Procesadoras de Alimentos.....	21
3.3.4. Calentamiento con Vapor .....	22
3.4. Calderas.....	25
3.4.1. Clasificación de las Calderas de Vapor .....	25
3.4.2. Componentes Claves de una Caldera .....	31
3.4.3. Accesorios de Calderas .....	33
3.4.4. Principio de Funcionamiento de una Caldera.....	35
3.4.5. Combustión y Combustible .....	35



3.4.6.	Agua y Tratamiento.....	41
3.4.7.	Sistema de Calderas .....	49
3.4.8.	Eficiencia de Calderas .....	52
3.5.	Emisiones de NO <sub>x</sub> .....	54
3.5.1.	Fuentes Generadoras de NO <sub>x</sub> .....	55
3.5.2.	Emisiones NO <sub>x</sub> de Calderas en Chile (Normativa).....	55
3.5.3.	Cálculo de Emisiones de NO <sub>x</sub> .....	56
4.	Levantamiento de Información .....	57
4.1.	Generadores de Vapor.....	57
4.2.	Sistema de Calderas .....	58
4.2.1.	Configuración .....	58
4.2.2.	Condiciones de Operación Generales.....	60
4.2.3.	Medidores y Flujos.....	61
4.3.	Equipos Consumidores de Vapor.....	62
4.4.	Consumos, Emisiones y Costos .....	64
4.4.1.	Consumo de Agua y Generación de Vapor .....	64
4.4.2.	Consumo de Gas Natural .....	69
4.4.3.	Costo del Vapor.....	70
4.4.4.	Eficiencia Global del Sistema de Calderas.....	71
4.4.5.	Emisiones de NO <sub>x</sub> .....	72
5.	Requerimientos Mínimos para Nueva Caldera .....	74
5.1.	Capacidad de Generación de Vapor.....	74
5.2.	Requerimientos Generales .....	76
5.2.1.	Comparación Caldera Acuotubular y Piro tubular .....	76
5.2.2.	Otras Características .....	78
6.	Selección de Calderas .....	81
6.1.	Criterios de Selección .....	81
6.2.	Ofertas de Proveedores .....	82
6.3.	Evaluación Técnica.....	82
6.4.	Evaluación Económica.....	85
6.4.1.	Costo de Inversión .....	85
6.4.2.	Costo del Vapor y Ahorro.....	86
6.4.3.	Estimación de Indicadores Financieros.....	88



6.4.4.	Análisis de Sensibilidad para Precio del Gas Natural .....	89
7.	Conclusiones (Propuesta de selección caldera).....	91
8.	Referencias.....	94
9.	Anexos .....	95



## Índice de Tablas

Tabla. 1 Producción cecinas en Chile .....	13
Tabla. 2 Consumo per cápita de carne .....	13
Tabla. 3: Tipos de calderas .....	26
Tabla. 4 Poder calorífico combustibles.....	39
Tabla. 5: Calderas actuales de planta.....	57
Tabla. 6 Condiciones de operación sala de calderas CIAL.....	60
Tabla. 7 Equipos consumidores de vapor CIAL .....	62
Tabla. 8: Resumen consumos por tipo de equipo CIAL .....	63
Tabla. 9 Consumo de agua por hora de calderas (18 días).....	65
Tabla. 10 Consumo agua mensual calderas .....	66
Tabla. 11 Ciclos de concentración de calderas .....	67
Tabla. 12 Perfil de consumo de vapor (18 días).....	68
Tabla. 13 Producción vapor mensual.....	68
Tabla. 14 Consumo de gas natural .....	69
Tabla. 15 Costo de vapor .....	71
Tabla. 16 Rendimiento calderas.....	72
Tabla. 17 Comparación calderas pirotubulares y acuotubulares.....	77
Tabla. 18 Requerimientos mínimos nueva caldera .....	80
Tabla. 19 Proveedores de calderas contactados .....	82
Tabla. 20 Comparación técnica de calderas ofrecidas .....	83
Tabla. 21 Calculo de emisiones calderas nuevas .....	84
Tabla. 22 Costo de inversión de opciones de calderas.....	86
Tabla. 23 Datos para cálculos de caudal de combustible de nuevas calderas .....	87
Tabla. 24 Costos y ahorros de gas en generación de vapor .....	87
Tabla. 25 Indicadores económicos para cada opción de caldera .....	89
Tabla. 26 Análisis sensibilidad del VAN respecto a variación de precio de gas natural .....	90
Tabla. 27 Levantamiento y cálculos de información actual.....	91
Tabla. 28 Estimaciones y requerimientos calculados y estudiados sobre situación actual y futura de red de vapor .....	92
Tabla. 29 Ofertas de calderas post requerimientos mínimos .....	92
Tabla. 30 Resumen estudio económico.....	93



## Índice de Figuras

Figura 1. Consumo en porcentaje según tipo de producto procesado cárnico .....	14
Figura 2 CIAL Alimentos y sus marcas.....	15
Figura 3 Layout de sala de calderas .....	18
Figura 4. Tabla termodinámica ejemplo .....	21
Figura 5. Uso vapor directo. ....	23
Figura 6 Inyector de vapor directo.....	24
Figura 7. Equipos de calentamiento con intercambiador .....	24
Figura 8 Ejemplo caldera con un solo tubo de agua .....	27
Figura 9. Caldera acuotubular.....	28
Figura 10 Caldera pirotubular .....	30
Figura 11 Caldera pirotubular real .....	31
Figura 12 Componentes de una caldera clásica .....	31
Figura 13 Sistema de vapor típico.....	50
Figura 14: Sistema de calderas CIAL .....	59
Figura 15 Vías agua blanda.....	64



## Resumen Ejecutivo

Este trabajo fue realizado con el fin de satisfacer la petición de la empresa CIAL Alimentos en realizar estudio sobre la factibilidad técnica y económica de la adquisición de una nueva caldera de vapor para la operación de su planta N°1, la cual está ubicada en Américo Vespucio 2341, Pudahuel, Santiago.

La principal problemática a resolver es la confiabilidad y eficiencia de su operación con vapor, la cual es el principal suministro energético para su producción de cecinas y embutidos. Actualmente de sus dos calderas, la empresa desea reemplazar la más pequeña y antigua por una que cubra todo el consumo de vapor a corto plazo, y a un horizonte de al menos 20 años de plazo.

Mediante un exhaustivo y limitado levantamiento de información y datos de consumos, debido a falta de tecnología y herramientas en los equipos, además de cálculos estimativos y análisis varios, se logró estimar el consumo de vapor actual de la planta de forma mensual y en forma de perfil de consumo por hora. Para esto se tomó la información del agua de entrada al sistema de calderas y se calculó la purga promedio, obteniéndose un 16%. En cuanto al máximo y mínimo de consumo de vapor por hora se estimaron 13.5 y 1.7 [ton/hr], respectivamente, y un consumo promedio mensual de 4,385 [ton/mes] de vapor con una eficiencia global del sistema promedio del 79%. Sobre estos cálculos obtenidos como base, se aplicó una tasa de crecimiento estimada de consumo de vapor de un 2% anual, lo cual se traduce en la necesidad de una caldera con capacidad de 19.5 a 20 [ton/hr] para cubrir la demanda actual y futura de la planta.

La evaluación técnica, permitió levantar los requerimientos y características mínimas para que los proveedores pudiesen enviar sus ofertas de calderas. El estudio conllevó a que debido a las características de la sala de calderas, el tipo de combustible habilitado, emisiones de NOX máximas y condiciones de trabajo, la caldera deber ser de tipo piro-tubular, trabajar a presión media de 7 [bar], tener una eficiencia de al menos 90%, tener opción de uso de gas natural y petróleo como segunda opción, y además tener ciertos extras para mejor operación de los caldereros y control de la eficiencia tales como; economizador, medidores de flujos de vapor, de agua, de purga, de combustible y purgas automáticas.

La evaluación económica, se basó en el cálculo del costo de la tonelada de vapor de agua actual, el cual es de \$23,567, de lo que \$21,321 corresponde solo al gas natural (+90%). Por el gran impacto, el gas natural se tomó como base de comparación para los beneficios del cambio de caldera y los flujos para la evaluación. Después de estimar el costo de la tonelada de vapor de las opciones disponibles, estimar el ahorro respecto a situación actual y generar los flujos futuros dado el consumo de vapor actual y a largo plazo, se concluyó que la caldera que cumple con todos los requisitos técnicos y económicos de sobre manera, es la caldera Bosch UL-S 18000. Esta opción de proyecto posee el mayor VAN de \$1,307,227,703, una TIR de 42% (tasa de descuento de 7%) y el payback más bajo siendo este de 34 meses. Además, es la opción con mayor flexibilidad a la fluctuación del precio del gas natural, la cual podría elevarse hasta \$33 más por metro cúbico (12% de variación), y aún sigue siendo rentable.



## Abstract

This work was carried out in order to satisfy the request of CIAL Alimentos company, to perform a study on technical and economic feasibility of acquiring a new water steam boiler for the operation of its production plant, which is located in Americo Vespucio 2341, Pudahuel, Santiago.

The main problem to solve, is the reliability and efficiency of its operation with water steam, which is the main energy supply for its production of sausages. Currently, the company wants to replace the smallest and oldest steam boiler with one that would cover all steam consumption within short term and for at least a 20-years-term.

Despite going through a limited data gathering due to the lack of technology and tools in the equipment, which involved several estimates and various analyzes, it was possible to estimate the current steam consumption of the plant on a monthly basis and hourly basis as a consumption profile. In order to do that, it was necessary to take data from the incoming water to the boiler system and calculate an estimated blowdown percentage, which was 16%. The maximum and minimum steam consumption per hour was estimated at 13.5 and 1.7 [ton / hr], respectively, and an average monthly consumption of 4,385 [ton / month] of steam, with an overall system efficiency of 79%. Based on these calculations, an estimated annual steam consumption growth rate of 2% was applied, which translates into the need for a boiler with a capacity from 19.5 up to 20 [ton / hr] to cover current and future demand of the plant.

The technical evaluation allowed to raise the minimum requirements and characteristics so that the suppliers could send their offers of boilers. The study led to the fact that due to the characteristics of the boiler room, the type of fuel enabled, maximum NO<sub>x</sub> emissions and working conditions, the boiler must be fire-tube type, works at an average pressure of 7 [bar], have an efficiency of at least 90%, have the option of using natural gas and oil as spare, and also have certain extras for better operation of employees and efficiency control. The extras must be economizer, inlet and outlet water flowmeter, steam flowmeter, fuel flowmeter and automatic blowdown.

The economic evaluation is based on the estimated cost of the current ton of steam, which is \$ 23,567, where \$ 21,321 corresponds to natural gas (more than 90%). Given the great impact, natural gas was taken as the basis of comparison for the benefits of the boiler change and the flows for the evaluation. After estimating the cost of the ton of steam of the available options, estimating the savings with respect to the current situation, and generating the future flows given the current and long-term vapor consumption, it is concluded that the boiler that meets all the technical and economic requirements of over, is the Bosch UL-S 18000 boiler. This project option has the largest NPV which is \$ 1,307,227,703, a 42% IRR (7% as discount rate) and the lowest payback being this 34 months. In addition, it is the option with greater flexibility to the fluctuation of the price of natural gas, which could rise up to \$ 33 more per cubic meter (12% variation), and still remains profitable.



## 1. Introducción

La industria alimentaria en Chile, en especial la de productos cárnicos o derivados procesados de estos como cecinas y embutidos ha crecido de forma exponencial, actualmente se producen más de 280,000 toneladas al año, un 55% más que hace 10 años atrás según estudios del Instituto nacional de estadísticas. Dentro de esta industria de cecinas y su producción se destaca un equipo en particular y vital para la operación, el cual se denomina caldera de vapor, corazón de la red de vapor de las plantas. La gran importancia de este generador dentro de este tipo de industrias y otras más, es que suministra el principal elemento para la cocción de los productos, etapa vital dentro de la producción de productos derivado de las carnes como vienasas, jamones, pates entre muchos, siendo el equipo madre que alimenta los demás como hornos, descongeladoras y todo aquel involucrado en la operación de este tipo de planta procesadora de alimentos.

La historia de las calderas ha progresado rápidamente durante la era industrial. Sin embargo, el fundamento de lo que hace a una caldera ser exitosa, todavía se mantiene fiel a unos pocos componentes básicos. Si bien los beneficios de la industria de la caldera están en una innovación constante, la estructura y las funciones básicas de la caldera histórica, no es tan diferente de los equipos que utilizamos actualmente. Hoy en día el uso de las calderas ha crecido conforme la evolución de la industria y la demanda de los diferentes mercados. La implementación de las calderas como núcleo y motor de industrias dependen directamente de los tipos de procesos, siempre buscando la eficiencia, rápida respuesta y seguridad que la operación demande. El uso de éstas puede ser a nivel residencial, comercial e industrial ya sea en rubros alimenticios, químicos, automotrices, producción de energía eléctrica y textil entre muchos más.

En CIAL Alimentos, empresa chilena productora dedicada al rubro alimenticio, la cual lidera el mercado nacional de elaboración, comercialización y distribución de productos cárnicos procesados, tales como embuditos, jamones, vienasas, chorizos y pates entre otros, se ve cada día en la necesidad de proyectar y estudiar sus capacidades productivas en orden de poder suplir la demanda creciente debido al gran crecimiento de mercado. Todo esto debido a sus distintos procesos de descongelado, cocción y lavado de productos y materiales en diferentes líneas de producción, se ve en la necesidad de poseer una red de vapor, la cual es altamente exigida por los equipos que son utilizados para la operación, la cual aumenta requerimientos al paso del tiempo.

Actualmente CIAL Alimentos posee una red de vapor con características suficientes para poder operar, pero que debido a las proyecciones de ventas esperadas sumado a cambios internos como nuevas disposiciones y distribuciones de sus líneas de producción, y a su vez temas de confiabilidad debido a los años y diversos problemas a lo largo del tiempo en sus calderas, se ve en la necesidad de estudiar el cambio de sus generadores de vapor de sus plantas, las cuales deben considerar diversos requerimientos como capacidades, emisiones, ahorros y confiabilidad entre otros requerimientos, los cuales serán expuestos más adelante dentro del desarrollo del trabajo de selección de calderas.



Es importante que una empresa como CIAL Alimentos, la cual debe cubrir grandes demandas de sus productos de corta duración y a lo largo de todo Chile, los cuales son producidos solo en Santiago, deba funcionar permanentemente sin límites de capacidades debajo de su demanda y a bajas probabilidades de falla. La empresa funciona sin detenciones a excepción de los días domingos y programadas. Es por esto que el estado de sus calderas, las cuales proporcionan vapor a los equipos más importantes de las líneas de producción, debe estar en óptimas condiciones y tener la capacidad suficiente para cubrir los peaks de producción en periodos de alta demanda, ya que, si estas sufren un desperfecto, se detiene toda la producción de la planta.

Es por esto que para poder suplir con holgura la demanda futura de largo plazo y para actualmente no depender de calderas con altas probabilidades de generar detenciones de la planta, además de querer crear valor y eficiencia en sus procesos que depende de la red de vapor, CIAL Alimentos solicitó el proyecto de evaluación y estudio con el cual se espera generar los requerimientos necesarios para poder cotizar, evaluar, seleccionar e implementar la mejor opción que de seguridad y eficiencia a largo plazo de su red de vapor, por tanto, al continuo y enérgico funcionamiento de su planta productiva. Es importante que este proyecto económicamente sea viable y genere ahorros energéticos, especialmente en su insumo más costoso, el combustible. Por lo tanto, el estudio debe estar enfocado no solo en la parte técnica, sino económica de la inversión, para así, justificar el cambio por un periodo sostenido en el tiempo.

Es importante destacar que este estudio cuenta con una fase de levantamiento de información sobre el panorama actual de su red de vapor, consumos y suministros, ya que no existe registro ni estimaciones de éstos. Esto debido a la antigüedad y poca visibilidad que existe sobre las variables que afectan a todo este sistema, se deberá estimar y calcular buscando el mejor método dentro de la literatura sobre termodinámica y generación de vapor. Esta información es muy importante en proyectos de este tipo, sin esta base de comparación, se hace casi imposible poder proyectar y estimar los flujos futuros de los nuevos equipos, los cuales son los encargados de generar ganancias y pagar la gran inversión que este proyecto conlleva.



## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo General

- Realizar estudio técnico-económico para la adquisición de una nueva caldera de vapor capaz de satisfacer las demanda presente y futura de la empresa CIAL Alimentos.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Levantar información sobre consumos y suministros de equipos de planta nominales.
- Recolectar, analizar y calcular datos sobre consumos reales de agua, gas y electricidad de la caldera, para así crear perfil de consumo.
- Obtener y analizar costos de generación de vapor y su eficiencia actual.
- Analizar información para detectar perdidas y validar información de consumos estimados.
- Diseñar plan de requerimientos basado en necesidades actuales y a futuro, para presentar a proveedores de calderas generadoras de vapor.
- Comparar y evaluar técnico-económicamente propuestas de proveedores para analizar mejor opción de caldera para la planta.
- Seleccionar nuevo sistema de calderas en base a trabajo de comparativas y evaluaciones realizadas.



### 3. Marco Teórico

Este capítulo inicial pretende dar una perspectiva y conocimiento base para poder tener un mejor entendimiento del presente trabajo, en el cual se contextualiza sobre la empresa donde se aplica el estudio, se presentan datos de la industria y como se relaciona con la generación de vapor. A su vez, se presenta material clave para respaldar cada paso del estudio y disponer de conocimiento general sobre los temas que se abordan, como vapor de agua, calderas, combustión y combustible, y teoría que ayuda a la obtención de mejores estimaciones durante el desarrollo y análisis posteriores.

Todo tópico, concepto y método mencionado en los próximos capítulos, está explicitado en esta sección, por lo tanto, es importante tomar en cuenta este capítulo para entender los fundamentos del estudio posterior.

#### 3.1. Industria de Cecinas en Chile

La industria de cecinas y embutidos en Chile es una de las más grandes, la producción y consumo en los últimos años se ha disparado sobre lo estimado previamente.

Según estudio realizado por el INE (Instituto Nacional de Estadísticas, 2014), se puede observar que la producción de la industria de cecinas en los últimos años ha crecido fuertemente, teniendo entre el 2003 y 2015 producciones de 189,357 toneladas y 279,986 toneladas respectivamente, en producción de cecinas por año. Esto muestra una variación de más de 90,000 toneladas de producción anual, lo que se traduce en un crecimiento de un 48% en la industria entre esos años. Se puede observar la producción anual en la Tabla. 1.

El último crecimiento considerable se registró durante el año 2012, el sector alcanzó a las 269,876 toneladas de cecinas, versus las 254,109 del 2011, dejando atrás la caída experimentada en 2009, producto de la crisis económica de Estados Unidos.

También se muestra en el estudio que la categoría que lidera la elaboración, y por ende el consumo, son las salchichas (vienesas y gordas), cuya producción alcanzó las 86,750 toneladas, tomando el 32% de participación dentro del segmento de las cecinas. Sigue la mortadela y el salchichón, con 41.628 toneladas (15,4%) y en tercer lugar las longanizas, chorizos y choricillos, con 30,273 toneladas (11,2%).

Los fiambres de jamón y las hamburguesas llegaron a poco más de 23 mil toneladas cada uno, alcanzando el 8,6% y 8,7% de participación, respectivamente.

Por el contrario, la categoría que menos demanda presentó fue el pernil, con apenas 520,6 toneladas.



En la Región Metropolitana se concentra el 60.8% de la producción de cecinas, seguida de O'Higgins y Maule, con 27.4%, en conjunto. (Instituto Nacional de Estadísticas, 2014)

**Tabla. 1 Producción cecinas en Chile**

Año	Producción [Kg]	Variación
2003	189,357,267	
2004	197,687,431	4.4%
2005	208,197,763	5.3%
2006	222,428,255	6.8%
2007	234,112,289	5.3%
2008	244,323,766	4.4%
2009	227,998,802	-6.7%
2010	238,217,137	4.5%
2011	254,109,539	6.7%
2012	269,876,851	6.2%
2013	275,218,146	2.0%
2014	278,108,338	1.1%
2015	279,986,320	0.7%

Fuente: INE, 2014

Es importante destacar que, a pesar de los altos y bajos en las variaciones de la producción, en promedio durante estos años el mercado creció más de un 3% anual, lo que podría seguir proyectando un crecimiento seguro para los próximos años en este rubro.

#### Consumo per cápita

**Tabla. 2 Consumo per cápita de carne**

Año	kg/persona anual	Variación anual %
2008	81.2	0.2
2009	79.0	-2.7
2010	81.9	3.7
2011	85.2	4.0
2012	87.1	2.2
2013	89.1	2.3

Fuente: INE, 2014

Todo lo anteriormente expuesto, se puede ver que viene en relación directa con el consumo de carne per cápita en Chile, y su crecimiento en la última década.



Según datos del INE, los registros que se tienen entre el año 2008 y 2013 son los que se muestran en la Tabla. 2;

De este estudio también se reveló que cantidad de este consumo de alimentos cárnicos corresponde a cecinas propiamente tal, cuya elaboración nacional registró en el año 2013 un récord de 275 mil toneladas, con un consumo per cápita de unos 15,6 kilogramos.

De esta cifra, el principal producto lo representan las salchichas con una participación de 32,3%. Le siguen en importancia, mortadelas con 14,5%, longanizas, chorizos y choricillos con 11,2% y los fiambres de jamón con 9,5%. Las hamburguesas ocupan el quinto lugar en importancia con un 8,5% de participación en el año 2013. Todo este estudio se refleja en la siguiente Figura 1.

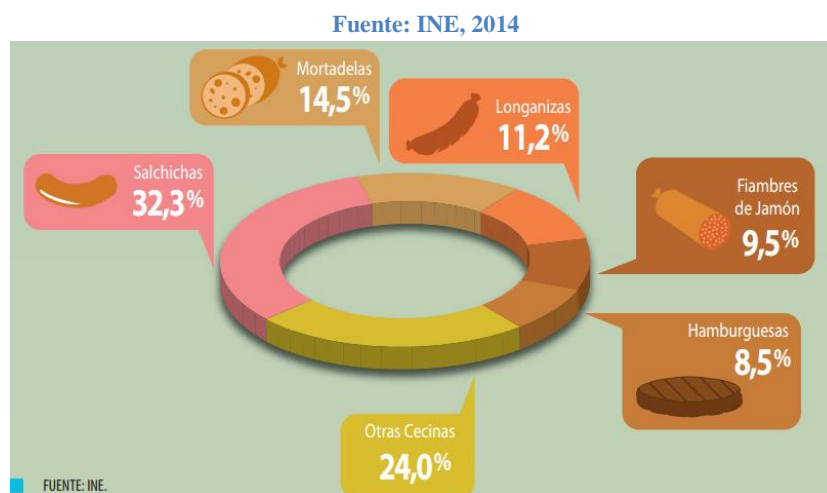


Figura 1. Consumo en porcentaje según tipo de producto procesado cárnico

### 3.2. CIAL Alimentos

CIAL alimentos es una empresa líder en el rubro alimentario, dedicada la producción y comercialización de alimentos cárnicos procesados. Dentro de su portafolio de marcas que maneja, sus tres exponentes principales son Winter, San Jorge y su gama alta artesanal La Preferida (Figura 2). Estas reconocidas marcas están presentes en todo Chile desde Arica a Punta Arenas, comercializándose desde pequeños almacenes a grandes cadenas de supermercados dentro del país.



Fuente: Elaboración propia



Figura 2 CIAL Alimentos y sus marcas

Actualmente la empresa cuenta con dos modernas plantas de producción y un centro de distribución en Santiago, el cual es el más tecnológico de Latino América, contando con más de 25.000 m<sup>2</sup>. También posee oficinas y centros regionales para poder abarcar todo el país y estar presente para una mejor gestión y entrega a su clientela.

Esta compañía posee más de 50 años de trayectoria, la cual es atribuida a su único dueño Don Alberto Kassis Sabag, quien ha logrado un gran posicionamiento y liderazgo en la industria chilena de cecinas y embutidos. (CIAL Alimentos, 2016)

### 3.2.1. Ubicación

Las oficinas principales, junto a su planta principal de producción en masa y su centro de distribución se encuentran en Américo Vespucio 2341, Pudahuel, Santiago.

En cuanto a la planta de gama artesanal La Preferida, se encuentra en Américo Vespucio 1830, Quilicura, Santiago.

### 3.2.2. Distribución

Es muy importante llegar a todas las mesas de los hogares chilenos, para lo cual cuenta con una amplia red de 17 oficinas en todo el país, desde Arica hasta Punta Arenas, lo que permite atender a más de 30.000 clientes y poner los productos disposición de millones de consumidores.

Alcanzar todo Chile es un gran desafío, un reto al que se enfrenta con la excelencia a través de una moderna flota de camiones refrigerados que puede llegar a los productos frescos de manera oportuna.



### 3.2.3. Calidad

CIAL alimentos está comprometida a satisfacer las necesidades actuales y futuras de clientes y consumidores, garantizando la calidad, seguridad y excelencia de sus productos. Por eso está trabajando en la implementación de un Sistema de Garantía de Calidad e Inocuidad de Alimentos aplicable a toda la empresa y bajo la norma HACCP e ISO 22.000, para plantas industrial en Santiago.

### 3.2.4. Clientes

Hoy venden y distribuyen a través de todos los canales de distribución habituales de consumo masivo, lo cual incluye estar presentes en todas las cadenas de supermercados más importantes del país, almacenes tradicionales, mayoristas, minimarkets, petroleras e incluso en casinos de empresas a través de clientes institucionales. Con esto se cuenta a más de 30.000 clientes repartidos a lo largo de todo el país.

Atienden a sus clientes de todos los canales de distribución y especialmente al canal tradicional logrando una alta coordinación entre la rotación y el stock de producto, entregando un servicio de pre-venta, por parte de su fuerza de ventas y entrega óptima, a través de su flota de reparto y distribución, en línea con las necesidades de sus clientes y la demanda de sus consumidores en los distintos canales de distribución, entregando por tanto siempre productos frescos y en excelentes condiciones de calidad.

### 3.2.5. Productos

Dentro de sus marcas, CIAL alimentos posee una gran variedad de productos los cuales a su vez poseen distintas gamas, sabores, tamaños y formatos. Dentro de los productos de CIAL alimentos se tiene;

Arrollado, churrasco, carne molida, fiambre, hamburguesa, jamón G1, jamón G2, mortadela, prieta, chorizo, longaniza, choricillo, pate, salame, tocino y vienesa.

Dentro de sus sabores en jamones existen ahumados, acaramelados, cocidos y asados. A su vez, en sus productos la mayoría posee como base cerdo, vacuno, pollo o pavo.

También de destacan los formatos, que pueden variar en cantidad de productos, tamaños industriales y paquetes laminados para el hogar. Existe para instituciones o para tamaños especiales para ciertos grandes clientes, por ejemplo, bencineras y sus grandes vienesas.

### 3.2.6. Participación de mercado

Por políticas de la empresa no es posible conseguir y exponer cierta información, como ventas e ingresos, participación de mercado u otro tipo de información que no esté expuesta en medios de comunicación y redes, las cuales pueden o no ser certeras. Es innato saber que la participación de CIAL alimentos y sus



marcas, tienen una gran parte del mercado de cecinas y se puede corroborar con una entrevista realizada por el diario la tercera, que publico sobre la adquisición de la marca Winter, y donde don Alberto Kassis hace referencia a la participación de mercado de ese entonces, y además de lo que estimada que estaba por venir. Esta entrevista tomó lugar el año 2011 y se destaca lo siguiente;

“...tres años después, cada uno tomó su propio rumbo y Alberto Kassis se quedó con la compañía que se transformó en el buque insignia de CIAL Alimentos, el holding alimenticio que reúne las marcas JK, La Preferida y San Jorge. A ese portafolio unió Winter, cuyo 85% adquirió esta semana. Con ello, el grupo alcanzó cerca del 40% de participación de mercado. Gracias a esta operación, la compañía sumó mil trabajadores, llegando a un total de 2.600 personas y planea cerrar este año con ventas por US\$ 400 millones e invertir US\$ 15 millones en nuevas maquinarias y equipos.

El empresario, además, espera que 2011 sea positivo en términos de la disposición al consumo de las personas. "El año pasado fue bueno y vemos que este también lo será. Esperamos crecer entre un 7% y 10%", señala." (La Tercera, 2011)

Con esto se puede estimar, que dado el éxito y crecimiento que ha tenido la marca San Jorge, especialmente en la categoría de vienasas, la participación de mercado de CIAL Alimentos actualmente debe estar sobre el 40% del mercado.

### **3.2.7. Tecnología de Producción**

CIAL alimentos cuenta con una planta productiva con la más alta tecnología, la cual se encuentra en la comuna de Pudahuel, Santiago de Chile. Esta cuenta con más de 73 mil m<sup>2</sup> de terreno y 25 mil m<sup>2</sup> construidos. Esta planta de producción cuenta con la más alta tecnología en equipos y procesos para la elaboración de las cecinas, posicionándola en industria de nivel mundial.

Cuenta con un sistema continuo para elaboración de vienasas, la cual implica fabricación de la masa, el embutido, ahumados, pasteurizados, enfriado, cocción y empaquetado. Todo esto bajo altos estándares de calidad y estrictos controles en línea, donde los productos jamás entrar en contacto con el personal, conservando así la inocuidad de éstos.

También posee sistemas continuos para líneas de chorizos, pates, longanizas y mortadelas. En cuanto a los jamones poseen un sistema llamado metal-quimia de procedencia española. Sistema compuesto por grandes equipos y de gran capacidad.

Es en este punto donde se puede hacer conexión con el fondo principal que tiene este proyecto. Para los equipos y procesos, es necesario el uso de vapor de agua que es producido en la sala de calderas de la planta. Ahí se encuentra el corazón que bombea a través de piping especializado, el vapor necesario que demanda la producción de la planta, fundamental para poder producir, y ante cualquier falla la planta entera debe



detenerse. Esto comprueba lo importante que es y lo vital que es estudiar el recambio de los generadores de vapor para poder seguir supliendo las crecientes y exigentes demandas del mercado, sin detenciones y eficientemente. (CIAL Alimentos, 2016)

### 3.2.8. Planta de Producción 1

Es la planta de producción más masiva y principal de la empresa desde el 2016, ubicada en Américo Vespucio 2341, Pudahuel, Santiago.

Cuenta con mini fabricas por categoría de productos, las cuales producen para las marcas Winter y San Jorge principalmente. Las mini-fabricas son de vienas, mortadelas, jamones, pate y parrillero básicamente, las cuales están separadas por tema de control y producción mas eficiente e independiente.

Es la planta en la que este estudio tomara lugar, ya que es la que consume más vapor y las calderas están más al límite en capacidad y disponibilidad debido a deterioros por el tiempo.

Esta planta posee una sala de calderas donde actualmente se ve como el layout en la Figura 3:

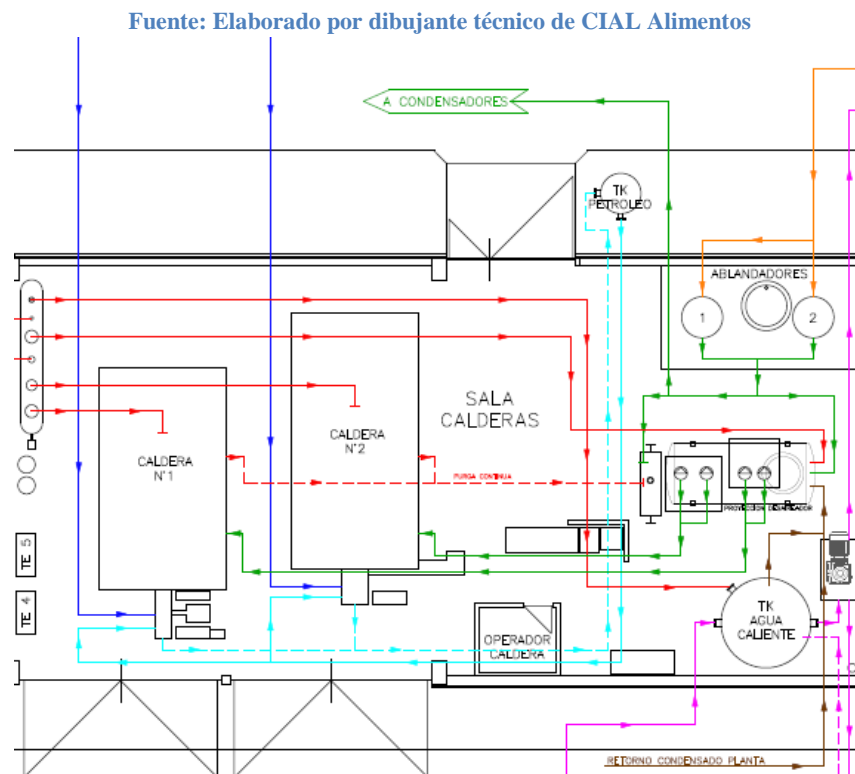


Figura 3 Layout de sala de calderas



El espacio correspondiente a la caldera N°1, es donde se planea emplazar la nueva, el cual tiene disponible para una caldera de un máximo de 10x4x4 [m].

### 3.3. Vapor de Agua

El vapor de agua es el gas formado cuando el agua pasa de un estado líquido a uno gaseoso debido a que el agua alcanza su punto de ebullición. A un nivel molecular esto es cuando las moléculas de  $H_2O$  logran liberarse de las uniones (ej. Uniones de hidrógeno) que las mantienen juntas. El vapor de agua es invisible, puede ser visto solamente a través de la condensación parcial, donde aparece una especie de niebla.

En el agua líquida, las moléculas de  $H_2O$  están siendo unidas y separadas constantemente. Sin embargo, al calentar las moléculas de agua, las uniones que conectan a las moléculas comienzan a romperse más rápido de lo que pueden formarse. Eventualmente, cuando suficiente calor es suministrado, algunas moléculas se romperán libremente. Estas moléculas "libres" forman el gas transparente que se conoce como vapor, o más específico vapor seco. El vapor generalmente es producido y distribuido en una presión positiva. En la mayoría de los casos, esto significa que es suministrado a los equipos en presiones mayores a 0 MPaG (0 psig) y a temperaturas mayores de  $100^{\circ}C$  ( $212^{\circ}F$ ). Esto quiere decir que el punto de ebullición y donde pueden convivir el agua en estado líquido y gaseoso a la vez, varía según la presión a la que este fluido se encuentra. Es importante resaltar que este tipo de vapor es llamado "vapor de agua saturado", ya que existen otros tipos de vapor de agua bajo distintas condiciones, pero durante este trabajo nos referiremos como vapor al vapor de agua saturado. (TLV, 2016)

Este vapor refiere al que se genera una vez que se alcanza el punto de ebullición y la temperatura del agua deja de aumentar y permanece igual hasta que el agua se vaporiza. Cuando el agua pasa de un estado líquido a un estado de vapor y recibe la energía en forma de "calor latente de vaporización", mientras haya algo de agua líquida y la temperatura del vapor es la misma que el agua líquida, se denomina vapor saturado, y al vapor calentado más allá del nivel de vapor saturado se llama vapor sobrecalentado.

En industrias usuarias de vapor, existen dos términos para el vapor los cuales son, vapor seco y vapor húmedo.

- **Vapor seco** aplica a vapor cuando todas sus moléculas permanecen en estado gaseoso.
- **Vapor húmedo** aplica cuando una porción de sus moléculas de agua ha cedido su energía (calor latente) y el condensado forma pequeñas gotas de agua.

El vapor es ampliamente usado en las plantas de generación eléctrica y para aplicaciones industriales de gran tamaño, mayormente conocido por sus aplicaciones en calentamiento, fungiendo tanto como fuente directa e indirecta de calor. Además, es usado en aplicaciones comunes, por ejemplo, procesos calentados



por vapor en fábricas y plantas, y turbinas impulsadas por vapor en plantas eléctricas, pero el uso del vapor en la industria se extiende más allá de las antes mencionadas. (TLV, 2016)

### 3.3.1. Propiedades del Vapor

Aunque el vapor es considerado como un gas perfecto siendo que es una mezcla de vapor seco (gas) y la humedad (agua), posee propiedades como las de los gases: presión, volumen, temperatura, energía interna, la entalpía y la entropía. Pero la presión, volumen y temperatura de vapor de agua en forma de gas no están relacionados por cualquier relación simple tal como se expresa por la ecuación característica para un gas perfecto.

Las propiedades del vapor se investigaron primero experimentalmente por Regnault y posteriormente investigado por el Profesor Callender, llevando a cabo extensos experimentos termodinámicos por medio de calorímetros eléctricos. Las tablas que dan las propiedades del vapor de agua en cada condición fueron compiladas a partir del estudio de las ecuaciones derivadas experimentalmente. Estas propiedades son también representadas en las cartas de vapor. Las cantidades tabuladas son:

- Presión
- Temperatura
- Volumen específico
- La entalpía
- La entropía

La presión, la temperatura y el volumen se pueden dar sus valores absolutos reales; mientras, entalpía y la entropía son puramente cantidades relativas. Se miden relativamente de conveniente condición de referencia y se calcula por 1 kilogramo de vapor. Para vapor, punto de referencia es fijado arbitrariamente como la condición del agua en 0°C. Por lo tanto, la entalpía, la energía interna y la entropía del agua a 0°C se supone que son cero. Todos sus valores medidos por encima de esta temperatura se consideran positivos y los medidos son tomadas como negativo.

La conservación general de la ecuación de energía es aplicable al vapor en la misma de manera que sea aplicable a los gases. Las propiedades del vapor de agua y los cambios en propiedades se pueden determinar mediante el uso de tablas de vapor estándar o gráficos de vapor. (Annaratone, 2007)

### 3.3.2. Tablas Termodinámicas

Es la recopilación de los resultados experimentales de las propiedades termodinámicas (volumen específico, energía interna, calor sensible, calor latente, la temperatura de saturación, etc.) de 1 [kg] de vapor en una columna tabular. Estos están disponibles ya sea en presión como base o sobre la base de la temperatura. Estas tablas son útiles para cálculos de ingeniería de vapor, como los vapores no obedecen leyes de gases



ideales. Las presiones en las tablas de vapor están en bar (absoluto), en caso de presiones manométricas, deben ser convertidos a presión absoluta mediante la adición de la presión atmosférica a ellos.

Los datos que se encuentran en una tabla de vapor saturado se refiere siempre a vapor a un punto de saturación en particular, conocido como el punto de ebullición ya mencionado. Este es el punto donde el agua (líquido) y de vapor (gas) pueden coexistir a la misma temperatura y presión (estado de saturación). Debido que el agua puede ser líquido o gas en su punto de saturación, dos conjuntos de datos son requeridos: Los datos de agua saturada (líquido), que por lo general está marcado con una "f" en el subíndice, y los datos de vapor saturado (gas), que normalmente se caracteriza utilizando una "g" en el subíndice. (TLV, 2016)

A continuación, un ejemplo de una tabla de vapor en la Figura 4 la cual está definida por su presión, a su vez existe el mismo tipo, pero definida por una búsqueda en cuanto a temperatura.

Fuente: TLV

Press. (Abs.)	Temp.	Specific Volume		Specific Enthalpy		
kPa	°C	m <sup>3</sup> / kg		kJ / kg		
P	T	Vf	Vg	hf	hg	hfg
1.0	6.970	0.00100014	129.183	29.30	2513.68	2484.38
2.0	17.495	0.00100136	66.9896	73.43	2532.91	2459.48
4.0	28.962	0.00100410	34.7925	121.40	2553.71	2432.31
6.0	36.160	0.00100645	23.7342	151.49	2566.67	2415.17
				173.85	2576.24	2402.39
200	120.21	0.00106052	0.885735	504.68	2706.24	2201.56
300	133.53	0.00107318	0.605785	561.46	2724.89	2163.44
400	143.61	0.00108356	0.462392	604.72	2738.06	2133.33
500	151.84	0.00109256	0.374804	640.19	2748.11	2107.92
600	158.83	0.00110061	0.315575	670.50	2756.14	2085.64
700	164.95	0.00110797	0.272764	697.14	2762.75	2065.61
800	170.41	0.00111479	0.240328	721.02	2768.30	2047.28
900	175.36	0.00112118	0.214874	742.72	2773.04	2030.31
1000	179.89	0.00112723	0.194349	762.68	2777.12	2014.44
1100	184.07	0.00113299	0.177436	781.20	2780.67	1999.47

Figura 4. Tabla termodinámica ejemplo

### 3.3.3. Fundamentos de Vapor para Plantas Procesadoras de Alimentos

El vapor es un medio conveniente para transmitir la energía en las operaciones de procesamiento de alimentos. Se produce a partir de agua la cual tiene bajo costo y es abundante. Válvulas de control de presión se pueden utilizar para regular y mantener la temperatura del vapor con precisión y las grandes cantidades de energía están contenidos en una masa relativamente pequeña de vapor de agua, por lo que los equipos de transferencia de calor pueden ser compactos. El vapor se transporta fácil y económicamente largas distancias y a lugares remotos del proceso de producción.



El vapor utilizado por las plantas procesadoras de alimentos cae habitualmente en dos amplias categorías. Uno llamado proceso "culinario" y la segunda llamado "higiénico" o de "vapor limpio". Este tipo de vapor se utiliza para la inyección directa en el producto o para limpiar o esterilizar las superficies de contacto del producto, el cual refiere a la categoría en forma de vapor "culinario".

La segunda categoría de vapor utilizado por los procesadores de alimentos se refiere a menudo como "vapor de planta", "vapor utilitario" o simplemente "vapor". Este vapor de planta se puede utilizar en la mayoría de las aplicaciones que no implican el contacto con productos alimenticios o con superficies que entran en contacto con estos productos. Un ejemplo de un uso sin contacto de vapor, es el de calentamiento indirecto. La mayoría de la gente está familiarizada con los calentadores radiantes o intercambiadores de calor (un tipo de calentador de vapor indirecto) que se utilizan en aplicaciones residenciales y comerciales, a modo de poder transferir el calor que trae el vapor a otro fluido o producto sin contacto.

Para el caso aplicado en el cual se trabaja en este estudio, el tipo de uso principal de vapor será para cocinar los productos mediante la inyección directa de vapor, habiendo otros tipos utilizados dentro de la industria alimentaria. (Bowser, 2013)

### **3.3.4. Calentamiento con Vapor**

#### **3.3.4.1. Calentamiento directo con vapor**

El método de calentamiento directo de vapor se refiere al proceso en el cual el vapor está en contacto directo con el producto que está siendo calentado.

El ejemplo que se muestra en la parte inferior (Figura 5) se pueden observar que la botana China está siendo calentada por el vapor. Una canasta de vapor es situada sobre una olla con agua hirviendo. Confirme el agua continua hirviendo, el vapor se eleva hacia la canasta y cocina la comida. En esta configuración, la caldera (olla) y el recipiente de vapor (canasta) son combinadas. (TLV, 2016)

El principio detrás de la vaporización de la comida es aquella en la cual se permite que el vapor entre en contacto directo con el producto a ser calentado, el calor latente del vapor puede ser transferido a la comida directamente, y las gotas de agua formadas por la condensación pueden suministrar hidratación.

En la industria, el método de calentamiento directo de vapor generalmente es usado para cocinar, esterilización, vulcanización y otros procesos.

En el caso de estudio, el tipo de proceso con vapor directo más usado es la inyección de vapor a los productos para su cocción, es por esto que se explica brevemente como este modelo funciona.

Fuente: TLV 2016

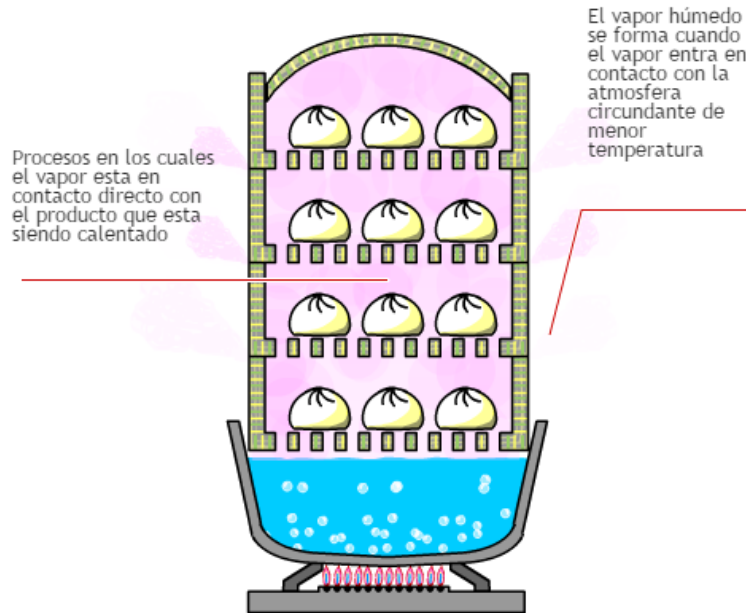


Figura 5. Uso vapor directo.

### Inyección de vapor

La inyección de vapor para productos alimenticios es un proceso de contacto directo en el que el vapor culinario se mezcla con un alimento bombeable (o ingredientes). La cocción se produce cuando el vapor transfiere parte de su energía interna hacia el producto alimenticio, durante el cual el vapor abandona la totalidad de su calor latente de vaporización mientras se condensa y, dependiendo de la presión del sistema, parte de su calor sensible. Puesto que el vapor directamente en contacto con el producto alimenticio y el condensado se incorpora en él, la fuente de vapor debe ser culinaria. Unidades de inyección de vapor típicos son compactos, baratos y sencillos de controlar. Se proporciona un ejemplo en la Figura 4. (Bowser, 2013)

En el caso de CIAL alimentos, la mayoría de estos inyectores son parte de hornos y equipos de cocción dentro de los procesos de sus líneas de producción.

A pesar de ser muy poco los hornos y equipos usados en CIAL lo cuales usen intercambiadores como método de cocción de productos, a excepto del calentamiento para el agua caliente de la planta, se explica cómo funciona este tipo de proceso indirecto a continuación.

Fuente: Bowser 2013

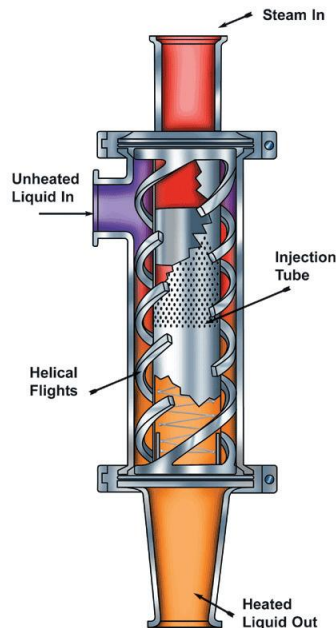


Figura 6 Inyector de vapor directo

### 3.3.4.2. Calentamiento indirecto con vapor

El calentamiento indirecto de vapor se refiere a los procesos en donde el vapor no entra en contacto directo con el producto a calentar. Es ampliamente utilizado en la industria ya que provee un calentamiento rápido y parejo. Este método generalmente utiliza un intercambiador de calor para calentar el producto, como se puede observar en la Figura 7.

Fuente: TLV 2016



Intercambiador de calor de placas

Olla enchaquetada

Intercambiador de calor de tubos

Figura 7. Equipos de calentamiento con intercambiador



La ventaja que ofrece este método sobre el calentamiento directo de vapor es que las gotas de agua formadas durante el calentamiento no afectaran al producto. Por lo tanto, el vapor puede ser usado en una variedad de aplicaciones tales como secado, derretimiento, hervimiento, etc.

El calentamiento indirecto de vapor es usado en un gran rango de procesos como la preparación de alimentos y bebidas, neumáticos, papel, cartón, combustibles como la gasolina y para medicina por solo nombrar algunos. (TLV, 2016)

### **3.4. Calderas**

Emplearemos el término caldera o generador de calor para referirnos a un equipo que es capaz de producir calor al quemar un combustible en su interior, transmitiéndolo posteriormente a un fluido que en la mayoría de los casos será agua y que en general se denominará fluido caloportador. (IMA, 2016)

Las calderas, pueden ser atribuidas a dos funciones esencialmente. Una es como generadora de vapor, y la otra, generadora de agua caliente. Es preciso decir que en un contexto industrial el uso siempre va ser para generar vapor, dando cabida al uso de la de agua caliente para fines domésticos y comerciales. En este trabajo se dará lugar al tipo industrial, la cual genera vapor.

Cuando se habla de "Tipos de calderas", es un término ambiguo, que puede significar gran cantidad de cosas, dependiendo de quién lo hace. En algunos casos, la pregunta se refiere al tipo de combustible, otros, sin embargo, clasifican las calderas de acuerdo con el tipo de tecnología de combustión que utilizan, su diseño u otro factor de diferencia entre estas.

Es por esto, que se puede decir que existen múltiples formas de pensar sobre los "tipos de calderas" y clasificar las calderas industriales.

#### **3.4.1. Clasificación de las Calderas de Vapor**

Aunque se pueden hacer muchas clasificaciones de calderas de vapor de acuerdo con diferentes criterios, se puede decir que hay dos tipos generales y que serán profundizados: las pirotubulares (tubos de humo) y las acuotubulares (tubos de agua). Adicionalmente, las calderas se pueden clasificar en alta y baja presión, de vapor saturado o sobrecalentado entre muchas otras opciones como se puede ver en la Tabla. 3.

La generación de vapor a escala industrial cuenta con más de 200 años de historia. El primer siglo se caracteriza exclusivamente por calderas comparables con las actuales calderas pirotubulares. En el año 1875, es decir, 106 años después de que James Watt inventase la caldera y la máquina de vapor, la empresa Steinmüller diseñó la primera caldera acuotubular. (Bosch, 2012)



**Tabla. 3: Tipos de calderas**

VARIABLES	CLASIFICACIÓN
Disposición de los fluidos	Pirotubulares Acuotubulares
Circulación de agua	Natural Asistida Forzada
Presión de trabajo	Baja Media Alta
Por el tiro	Tiro natural Hogar presurizado Hogar equilibrado
Control	Manual Semiautomático Automático
Bunquek para calefacción	Vapor Agua caliente Agua sobrecalentada Fluido termino

Fuente: National boiler.

### 3.4.1.1. Calderas Acuotubulares (Tubos de Agua)

Estas calderas, por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se hallan en contacto con las caras exteriores de ellos. Son de pequeño volumen de agua y son empleadas casi exclusivamente cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimiento (arriba de 22 [bar]), debido a que los esfuerzos desarrollados en los tubos por las altas presiones se traducen en esfuerzos de tracción en toda su extensión.

Para optimizar el funcionamiento, las calderas acuotubulares se deben suministrar con agua de buena calidad, lo que requiere un sistema de tratamiento de agua de apoyo más especializado que le de las pirotubulares. El desarrollo de las calderas acuotubulares ha sufrido un espectacular cambio de rumbo en lo que se refiere a presión y capacidad. Las primeras calderas acuotubulares industriales tenían capacidades de 30 [Ton/hr] a 180 [bar], para después llegara a caldera de 350 [bar] y grandes capacidades para plantas térmicas. (Bosch, 2012)

La limpieza de estas calderas se lleva a cabo fácilmente porque las incrustaciones se quitan utilizando dispositivos limpia-tubos accionados mecánicamente o por medio de aire. La circulación del agua, en este

tipo de caldera, alcanza velocidades considerables con lo que se consigue una transmisión eficiente del calor; por consiguiente, se eleva la capacidad de producción de vapor.

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En la figura a continuación, Figura 8, se puede suponer que representa una caldera con solo un tubo de agua. Una sola rama del tubo se calienta, ya que la otra está protegida por una pantalla protectora.

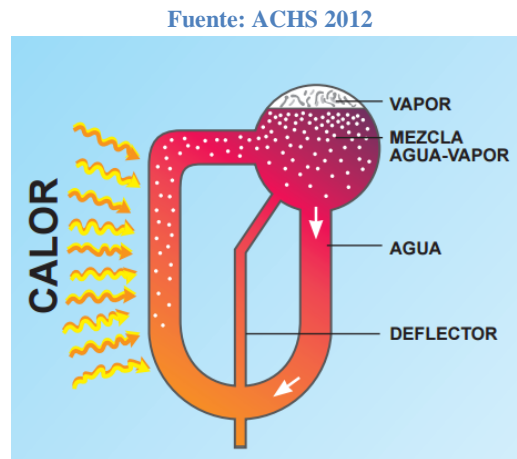


Figura 8 Ejemplo caldera con un solo tubo de agua

En la rama izquierda, el calor calienta el agua, generando vapor y haciendo que ambos (agua y vapor) se muevan hacia arriba. Esta mezcla entra al colector y el agua fría pasa a ocupar su lugar en el tubo calentado. El agua fría se encuentra en el tubo no calentado y en la parte inferior del colector. De esta forma, existe un movimiento continuo de agua-vapor en la dirección que señalan las flechas, en las que siempre la mezcla de agua caliente y vapor sube al colector, mientras el agua fría del fondo del colector baja y ocupa el lugar de esta mezcla. (ACHS, 2012)

### VENTAJAS

- Menor peso por unidad de potencia generada.
- Por tener pequeño volumen de agua en relación a su capacidad de evaporación, puede ser puesta en marcha rápidamente.
- Mayor seguridad para altas presiones.
- Menor eficiencia.
- Son in-explosivas.

## DESVENTAJAS

- Su costo es mayor.
- Deben ser alimentadas con agua de gran pureza, ya que las incrustaciones en el interior de los tubos son, a veces, inaccesibles y pueden provocar roturas de los mismos.
- Debido al pequeño volumen de agua, le es más difícil ajustarse a las grandes variaciones del consumo de vapor, siendo necesario trabajarlas a mayor presión que la necesaria en las industrias.

La siguiente Figura 9 representa la caldera y su circulación de agua por los tubos.

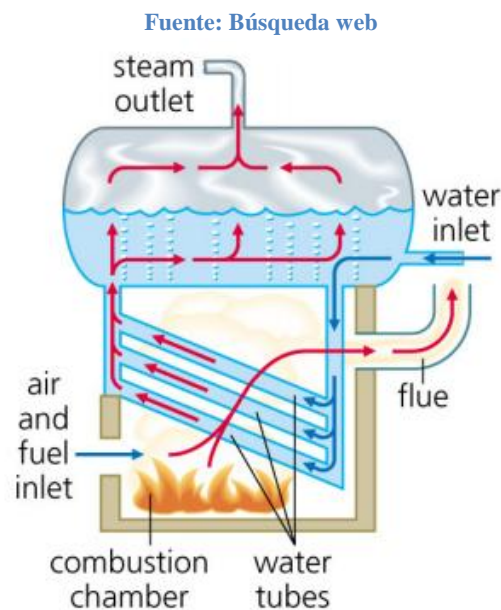


Figura 9. Caldera acuotubular

### **3.4.1.2. Calderas Pirotubulares (Tubos de Humo)**

Según que el combustible sea carbón o un combustible líquido o gaseoso la forma de los hogares varían, pero, en ambos tipos, son los gases de combustión los cuales son obligados a pasar por el interior de tubos que se encuentran sumergidos en el interior de una masa de agua. (ODESIE, 2016)

Todo el conjunto, agua y tubos de gases, se encuentra rodeado por una carcasa exterior.

Los gases calientes al circular por los tubos ceden el calor sensible, el cual se transmite a través del tubo pasando al agua, que se calienta, al mismo tiempo que la parte del agua más próxima a los tubos se vaporiza.



Estas calderas son denominadas también igneotubulares y pueden ser verticales u horizontales. Entre las calderas verticales pueden encontrarse dos tipos con respecto a los tubos: 1. De tubos semi sumergidos, y 2. De tubos totalmente sumergidos.

En el primer caso, el agua no cubre totalmente los tubos; en el segundo, éstos están totalmente cubiertos. Las calderas horizontales con tubos múltiples de humo, hogar interior y retorno simple o doble retorno son las llamadas calderas escocesas y son las de aplicación más frecuente en nuestro país. Estas calderas, como cualquier otro tipo, pueden ser utilizadas con hogar para quemar carbón, leña o bien con quemadores de petróleo. Se encuentran en este grupo de calderas los locomóviles y las locomotoras que se caracterizan principalmente por ser de mediano volumen de agua, tiraje forzado y cuentan con tres partes bien definidas:

- I. Una caja de fuego donde va montado el hogar; esta caja puede ser de sección rectangular o cilíndrica; es de doble pared, por lo que el hogar queda rodeado de una masa de agua. Debido a esta doble pared las planchas tienen que reforzarse con tirantes o estayes (pernos o refuerzos con un orificio central para detectar filtraciones cuando se cortan por corrosiones o exceso de tensiones).
- II. Un cuerpo cilíndrico atravesado, longitudinalmente, por tubos de pequeño diámetro, por cuyo interior circulan los gases calientes.
- III. Una caja de humos, que es la prolongación del cuerpo cilíndrico, a la cual llegan los gases después de pasar por el haz tubular, para salir hacia la chimenea. Estas calderas trabajan, casi siempre, con tiraje forzado, el cual se consigue mediante un chorro de vapor de la misma caldera (vapor vivo) o utilizando vapor de escape de la máquina. Por problemas de resistencia de materiales, su tamaño es limitado. Sus dimensiones alcanzan a 4,5 metros de diámetro y 10 metros de largo. Se construyen para capacidades máximas del orden de 50 [Ton/hr] de vapor y sus presiones de trabajo no superan los 18 [bar] aproximadamente. (ACHS, 2012)

### VENTAJAS

- Menor costo inicial, debido a la simplicidad de diseño en comparación con las acuotubulares de igual capacidad.
- Mayor flexibilidad de operación, ya que el gran volumen de agua permite absorber fácilmente las fluctuaciones en la demanda de vapor.
- Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación, porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son eliminadas por las purgas.
- Facilidad de inspección, reparación y limpieza.

### DESVENTAJAS

- Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad.

- Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
- Gran peligro en caso de explosión o ruptura, debido al gran volumen de agua almacenado.
- No son empleadas para altas presiones.

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Fuente: UNAD 2016

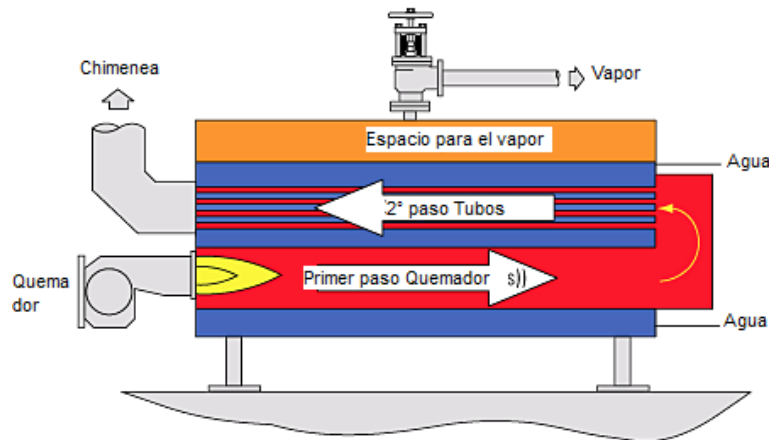


Figura 10 Caldera pirotubular

El nombre "pirotubular" es muy descriptivo. El fuego, o gases de combustión calientes del quemador, se canaliza a través de tubos (Figura 10) que están rodeados por el fluido a calentar. El cuerpo de la caldera es el recipiente a presión y contiene el fluido. En la mayoría de los casos, este fluido es agua que se hará circular para calefacción o se convertirá en vapor para el uso del proceso industrial.

Debido al principio de diseño, no pueden conseguirse unas producciones tan grandes ni unos parámetros de vapor tan extremos en calderas pirotubulares, así como en las acuotubulares. Sin embargo, las calderas pirotubulares son aún objeto de mejoras hoy en día.

De esta manera, actualmente pueden cubrirse con seguridad y de forma económica unas producciones de vapor de hasta 55 [Ton/hr] casi exclusivamente mediante una única caldera pirotubular. Dependiendo del tamaño, pueden alcanzarse presiones de hasta 30 [bar] y temperaturas de hasta 300 °C en vapor sobrecalentado. La Figura 11 muestra el diseño de una moderna caldera pirotubular con doble hogar de combustión. (Bosch, 2012)

Fuente: BOSCH

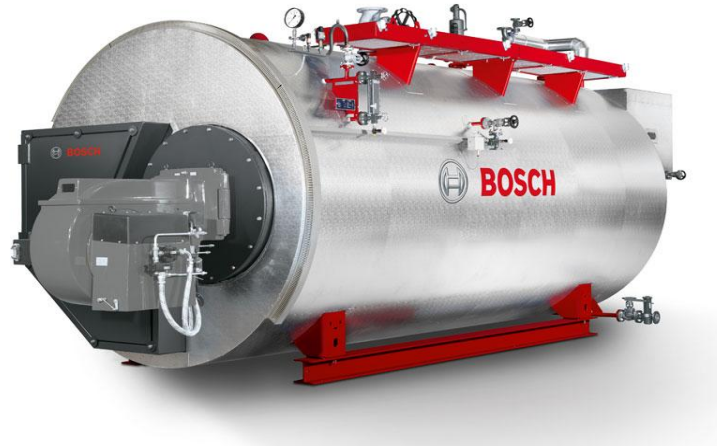


Figura 11 Caldera pirotubular real

### 3.4.2. Componentes Claves de una Caldera

Los elementos clave de una caldera incluyen el quemador, la cámara de combustión, el intercambiador de calor, la chimenea de escape y los controles. A continuación, se detallará la función de cada uno y de componentes secundarios (Figura 12).

Fuente: Estructplan online

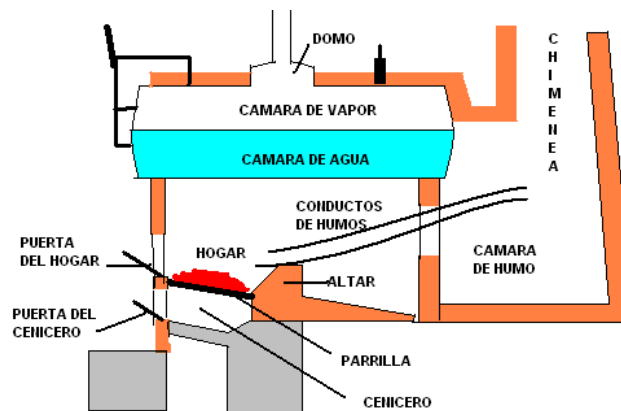


Figura 12 Componentes de una caldera clásica

En cuanto a los accesorios adicionales de la caldera, incluido el economizador de gases de combustión, por ejemplo, que se utiliza como método eficaz para recuperar calor de una caldera, será discutido más adelante.



- **Quemador:** es el encargado de quemar un combustible líquido, gas o sólido produciendo una llama.
- **El hogar o cámara de combustión:** es donde se quema el combustible y donde se alcanzan las temperaturas más altas.
- **El circuito de humos o intercambiador:** cumple la doble misión de conducir los humos que se producen en la combustión hacia la caja de humos y de arrebatárles el mayor calor posible para luego cedérselo al agua (dejarlos salir directamente a la atmósfera acarrearía entre otros inconvenientes una gran pérdida de energía, al desperdiciar el calor que poseen).
  - Para aumentar al máximo el intercambio de calor entre los gases y el agua, el circuito de humos tendrá la mayor superficie posible y se realizará de forma que disminuya en lo posible la velocidad de salida de los gases.
  - Esto se logra obligando a los gases a dar varias vueltas antes de dejarlos salir e intercalando a su paso ciertos elementos denominados turbuladores que les dificultan el paso frenándolos.
- **Caja de humos:** es la zona en la que confluyen todos los humos para ser enviados posteriormente hacia el exterior por la chimenea
- **Parrilla y cenicero:** Soporte y contenedor de residuos respectivamente, de combustibles sólidos.
- **Retorno de agua:** es la toma en la que se conecta la parte de la instalación por la que vuelve el agua más fría, puede llegar de los radiadores, de un acumulador de condensado o directamente del tratamiento de aguas de la operación
- **Salida de vapor:** una vez que el agua ha entrado en la caldera y ha absorbido calor es enviada hacia la planta para darle uso.
- **Circuito de agua:** en este el agua circula calentándose al absorber el calor de las paredes que la contienen y que es transmitido por radiación, conducción y convección.
- **Altar:** Es un pequeño muro de ladrillo, refractario, ubicado en el hogar, en el extremo opuesto a la puerta del fogón y al final de la parrilla, debiendo sobrepasar a ésta en aproximadamente 30 cm.
  - Los objetivos del altar son:
  - Impedir que caigan de la parrilla residuos o partículas de combustible.
  - Ofrecer resistencia a las llamas y gases para que éstos se distribuyan en forma pareja a lo ancho de la parrilla y lograr en esta forma una combustión completa.
  - Poner resistencia a los gases calientes en su trayecto hacia la chimenea. Con esto se logra que entreguen todo su calor y salgan a la temperatura adecuada.
- **Cámara de Agua:** Es el volumen de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y tiene como límite superior un cierto nivel mínimo del que no debe descender nunca el agua durante su funcionamiento. Es el comprendido del nivel mínimo visible en el tubo de nivel hacia abajo.
- **Cámara de Vapor:** es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera.



- **Cámara de alimentación de agua:** Es el espacio comprendido entre los niveles máximo y mínimo de agua. Durante el funcionamiento de la cámara, se encuentra ocupada por agua y/o vapor, según sea donde se encuentre el nivel de agua. (Fenercom, 2012)

### 3.4.3. Accesorios de Calderas

Los accesorios de la caldera son todos los elementos útiles y necesarios para permitir y/o controlar el buen funcionamiento del equipo generador de vapor.

Cada uno de los accesorios tiene una función específica que cumplir cuando el equipo está en servicio. Y se pueden clasificar de la siguiente manera: (Estructplan, 2011)

#### Accesorios de Observación:

- **Indicadores de nivel de agua:** Toda caldera deberá estar provista, a lo menos, de dos indicadores de nivel de agua, independientes entre sí. Uno de ellos deberá ser de observación directa del nivel de agua, del tipo tubo de vidrio, pudiendo ser el otro formato por una serie de tres grifos o llaves de prueba.
- **Medidores de flujos:** No son indispensables, pero ayudan a tener control de flujos de agua y combustible, lo que finalmente ayuda al control de eficiencia más exacto.
- **Indicadores de presión:** Toda caldera deberá estar provista de uno o más manómetros, que se conectarán a la cámara de vapor de la caldera mediante un tubo que forme un sello de agua.
- **Analizadores de gases:** Son aparatos que sirven para controlar la calidad de la combustión dentro del hogar, a través del análisis de los gases que salen por la chimenea.
- **Indicadores de temperatura:** Son instrumentos destinados a medir la temperatura, ya sea del agua de alimentación, del vapor, de los gases de la combustión del petróleo, etc.

#### Accesorios de Seguridad:

- **Válvulas de seguridad:** Tiene por objeto dar salida al vapor de la caldera cuando ésta sobrepasa a la presión máxima de trabajo.
- **Tapón fusible:** El tapón fusible, es un elemento que permite el paso de vapor y agua hacia el hogar, cuando el nivel de agua en la caldera baja más allá del mínimo permitido.
- **Alarmas:** Toda caldera dispondrá de un sistema de alarma, acústica o visual, que funcione cuando el nivel de agua alcance el mínimo o el máximo, deteniendo a la vez, el funcionamiento del sistema de combustión, cuando se alcance el nivel mínimo de agua.



### Accesorios de Alimentación de Agua:

- **Bombas:** Este accesorio al igual que el inyector, nos permite reponer el agua que se ha vaporizado en el interior de la caldera. Entre éstas, tenemos las bombas centrífugas y las de émbolo.
- **Inyectores:** Los inyectores, son dispositivos que funcionan con el mismo vapor que produce la caldera y son capaces de descargar agua a una presión mayor que la presión interna de la caldera.

### Accesorios de Limpieza:

- **Puertas de inspección:** Según sus dimensiones se llaman puertas de hombre o tapas de registro. Éstas últimas sólo permiten el paso de un brazo. Ambas puertas sirven para efectuar limpiezas o inspecciones en el interior de los colectores principales o de los tubos según sea su ubicación.
- **Llaves de purga:** Entre las llaves de purga, se pueden distinguir las válvulas de extracción de fondo y las de extracción de superficie. La primera de ellas va ubicada en las partes más bajas de la caldera y sirven para extraer los lodos o barros provenientes de la vaporización de las aguas duras y acción del uso de los desincrustantes.

### Accesorios de Control:

- **Retardadores:** Consisten en una plancha lisa, del mismo ancho que el diámetro interior del tubo, torcida en forma de hélice, la que se mete en el tubo de caldera. Los gases calientes tienen ahora que recorrer un camino mayor, siendo más lento el paso de ellos por el interior de los tubos y entregando mayor cantidad de calor al agua. La eficiencia de la caldera se aumenta entre un 2 % y 8 % con el uso de retardadores.
- **Presostatos:** Son accesorios que funcionan sobre la base de la máxima y mínima presión de trabajo de la caldera. Actúan sobre el quemador, apagándolo al llegar a la máxima presión para lo cual fue regulado y encendiéndolo al alcanzar la mínima presión deseada.
- **Termostato:** Son accesorios que funcionan de acuerdo a la temperatura del agua. Apagan el quemador cuando se obtiene la máxima temperatura para la cual fue regulada.
- **Control de nivel de agua:** Los controles de nivel de agua, tienen por objeto controlar que el agua, dentro de la caldera, se mantenga en un valor o en un rango pre-determinado.
- **Control de la llama:** Mediante una celda fotoeléctrica se controla la llama (su largo) impidiendo la alimentación de combustible, en caso de que ésta no exista en el hogar.
- **Control del encendido (chispa):** Por medio de este control, se impide que salga combustible sin que exista la chispa para encender.



### Accesorios de Eficiencia:

- **Economizadores:** Los economizadores son equipos clave para el aumento del rendimiento térmico de una caldera. Se ha demostrado que pueden llegar a aumentar el rendimiento desde un 3% hasta 5%, al aprovechar la temperatura de salida de los gases de la combustión.

Este incremento directo en el rendimiento térmico se traduce en una reducción en el consumo de combustible utilizado por la caldera. En conjunto con cierta tecnología, aumenta la eficiencia de abatimiento de material particulado y gases contaminantes, dado que disminuye la temperatura a la salida de la caldera, evitando la evaporación de agua de recirculación.

#### **3.4.4. Principio de Funcionamiento de una Caldera**

Tanto las calderas de gas como las de petróleo utilizan combustión controlada del combustible para calentar el agua.

El quemador mezcla el combustible y el oxígeno juntos y, con la ayuda de un dispositivo de ignición, proporciona una plataforma para la combustión. Esta combustión tiene lugar en la cámara de combustión, y el calor que genera se transfiere al agua a través del intercambiador de calor. Los controles regulan el encendido, la tasa de encendido del quemador, el suministro de combustible, el suministro de aire, el tiro de escape, la temperatura del agua, la presión del vapor y la presión de la caldera.

El vapor producido, para el caso estudiado, es trasladado a través de tuberías y entregada a los equipos en toda la planta y donde sea que se utilice, que puede incluir equipos como hornos, en unidades de tratamiento de aire, equipos de calentamiento de agua caliente de servicio y unidades terminales. Las calderas de vapor producen vapor que fluye a través de tuberías de áreas de alta presión a áreas de baja presión, sin ayuda de una fuente de energía externa como una bomba. El vapor utilizado para el calentamiento puede ser utilizado directamente o con equipos intercambiadores.

El funcionamiento tiene todo un proceso de iniciación, donde se deben seguir ciertas normas y pasos para calentar el agua y luego empezar a generar el vapor requerido, a presión y volumen requerido. (Bosch, 2012)

#### **3.4.5. Combustión y Combustible**

Casi la totalidad de las actividades hoy en día se basan en el uso de la energía en sus distintas expresiones, desde el uso de la electricidad para la iluminación, motores y equipos electrónicos, hasta el uso de fuentes de energía como son los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos en la cobertura de las demandas térmicas.

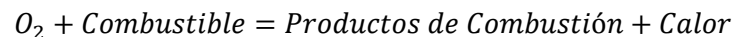


Precisamente en este último uso de la energía, la cobertura de demandas térmicas para sus distintos usos, el proceso fundamental utilizado es la combustión de los denominados combustibles.

Es importante notar que no basta simplemente con realizar la cobertura de las demandas térmicas, sino que, por el coste económico creciente de las fuentes de energías, sus existencias limitadas e impacto que pueden causar, generan que su correcta y eficiente ejecución sea tema de interés.

### Definición

Combustión es la reacción química mediante la cual las sustancias combustibles reaccionan con el oxígeno, desarrollando luz y calor. Sustancias combustibles son todas las que, al combinarse con el oxígeno del aire a ciertas temperaturas, se queman produciendo calor. A toda sustancia que se pueda quemar se llama combustible. Para que haya combustión, es necesario que exista un cuerpo que se queme llamado combustible, el oxígeno del aire que recibe el nombre de comburente y una fuente de calor que entregue la temperatura necesaria. Si uno de estos elementos falta, no puede haber combustión. Ahora, si están los tres elementos, la combustión puede ser mala o incompleta si: - El combustible es inadecuado o de mala calidad. - El aire es poco o insuficiente. - La temperatura es baja. Como el aire es el que da el oxígeno necesario para la combustión, siempre debe mantenerse una adecuada relación aire-combustible para que la combustión sea correcta o completa.



En general todos los combustibles están constituidos por: carbono (C), hidrógeno (H<sub>2</sub>), azufre (S), nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), humedad y cenizas. Los distintos combustibles tienen estos elementos, pero en diferentes proporciones, siendo el carbono el elemento fundamental, ya que mientras mayor sea la proporción de carbono, el combustible al quemarse genera mayor calor. (ACHS, 2012)

#### **3.4.5.1. Tipos de combustión**

De acuerdo con el nivel de combustión alcanzado y la cantidad de comburente aportado a la combustión, se pueden dar los siguientes tipos de combustión:

- **Combustión completa:** es aquella reacción en la que el combustible se quema hasta el máximo grado posible de oxidación. En consecuencia, no habrá sustancias combustibles en los humos. En los productos de la combustión se puede encontrar N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y SO<sub>2</sub>.
- **Combustión incompleta:** es aquella reacción en la que el combustible no se oxida completamente. Se forman sustancias, denominadas inquemados, que todavía pueden seguir oxidándose, por ejemplo, CO. Otros inquemados pueden ser H<sub>2</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, H<sub>2</sub>S y C. Estas sustancias son los contaminantes más comunes que escapan a la atmósfera en los gases de combustión.



- **Combustión teórica o estequiométrica:** es la combustión realizada con la cantidad teórica de oxígeno estrictamente necesaria para producir la oxidación total del combustible sin que se produzcan inquemados. En consecuencia, no se encuentra  $O_2$  en los humos, ya que el  $O_2$  aportado a la combustión se consume completamente en la misma.
- **Combustión con exceso de aire:** es la combustión que se lleva a cabo con una cantidad de aire superior a la estequiométrica. Esta combustión tiende a no producir inquemados y es típica la presencia de  $O_2$  en los humos. Si bien la incorporación de aire permite evitar la combustión incompleta y la formación de inquemados, trae aparejada la pérdida de calor en los productos de combustión, reduciendo la temperatura de combustión, la eficiencia y la longitud de llama.
- **Combustión con defecto de aire:** en esta combustión, el aire disponible es menor que el necesario para que se produzca la oxidación total del combustible. Por lo tanto, se producen inquemados.

(ACHS, 2012)

### 3.4.5.2. Combustibles

Desde los principios de la sociedad, todas nuestras actividades han envuelto el uso de energía en cualquiera de sus distintas formas, tanto para satisfacer nuestras demandas térmicas, en forma de calor, como para transformar este calor en trabajo mecánico o en energía eléctrica. Pero la obtención de esa energía tiene un coste tanto económico como social y medioambiental, por lo que no sólo se deben conocer bien los procesos de combustión asociados, sino también las fuentes de energía disponibles para obtener dicha combustión, con el fin de realizar la mejor selección posible del mismo.

#### Definición

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía en forma de calor cuando reacciona con el oxígeno, habitualmente el contenido en el aire, transformando su estructura química. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser una reacción química, se conoce como energía química). En general, se trata de sustancias susceptibles de quemarse.

De acuerdo con su estado de agregación, los combustibles se clasifican en:

- **Combustibles sólidos:** son aquellas sustancias en las que sus moléculas presentan una gran cohesión entre sí, ya que las fuerzas de atracción son superiores a las que originan los movimientos moleculares. Su característica fundamental es que mantienen una forma y volumen definidos.
- **Combustibles líquidos:** son aquellas sustancias en las que las fuerzas resultantes de los movimientos moleculares son lo suficientemente elevadas frente a las fuerzas de atracción para permitir el



movimiento de las moléculas entre sí, permitiéndole fluir y adaptarse a la forma del recipiente que las contiene. Su característica fundamental es que no poseen una forma definida, aunque mantienen un volumen determinado.

- **Combustibles gaseosos:** son aquellas sustancias en las que las fuerzas resultantes de los movimientos moleculares son muy superiores a las fuerzas de atracción entre moléculas. Por ello, las moléculas de los gases se distancian ocupando todo el espacio disponible. Si no se contienen en un espacio cerrado, se difunden en la atmósfera. Su característica fundamental es que tienen forma y volumen variables y ejercen presión sobre las paredes del recipiente que las contiene. Al contrario de los sólidos y los líquidos, los gases son compresibles, por lo que siempre que se indique un volumen deberá precisarse la presión y la temperatura a las que se ha medido.

(Fenercom, 2012)

### 3.4.5.3. Poder calorífico

Es la cantidad de energía (calor) desprendida por una unidad de combustible en su combustión completa para unas condiciones determinadas de presión y temperatura de los productos que reaccionan y de los productos resultantes.

Para los combustibles cuyos productos de la combustión (gases quemados) contienen vapor de agua, se debe diferenciar si la cantidad de energía medida incluye la energía correspondiente al calor de vaporización de ese vapor de agua o no. Efectivamente, si los gases quemados se evacúan directamente a la atmósfera sin actuar sobre ellos, la energía incorporada a la entalpía del vapor de agua en forma de calor latente de vaporización no se aprovecha, pero si estos gases quemados se enfrían, se puede aprovechar el calor sensible de los gases, pero lo que es más importante, si se disminuye la temperatura por debajo de la temperatura de punto de rocío del vapor de agua, éste condensa, cediendo (exotérmico) el correspondiente calor de condensación, y obteniendo una energía adicional que puede representar hasta un 11% del total de energía en el caso del gas natural. Por ello, se definen dos tipos de poder calorífico según la temperatura final de los gases quemados:

- **Poder calorífico superior (PCS):** es la cantidad de energía desprendida por una unidad de combustible enfriando los gases quemados hasta 0 °C a presión atmosférica. En estas condiciones, el vapor de agua ha condensado, cediendo su calor latente de vaporización (en este caso de condensación). Se mide en kWh/kg (combustibles sólidos y líquidos) o en kWh/nm<sup>3</sup> (combustibles gaseosos).
- **Poder calorífico inferior (PCI):** es la cantidad de energía desprendida por una unidad de combustible enfriando los gases quemados hasta 0 °C a presión atmosférica, pero sin considerar el



calor latente de condensación del vapor de agua producido. Se mide en kWh/kg (combustibles sólidos y líquidos) o en kWh/nm<sup>3</sup> (combustibles gaseosos).

(Fenercom, 2012)

El poder calorífico de los combustibles líquidos y gaseosos más habituales en la producción térmica en la industria, están indicados en la siguiente Tabla. 4.

**Tabla. 4 Poder calorífico combustibles.**

Combustible	Unidad	PCI	PCS
Gas natural	[kWh/kg]	13,05	14,43
Propano comercial	[kWh/kg]	12,82	13,92
Butano comercial	[kWh/kg]	12,69	13,74
Gasóleo C	[kWh/kg]	11,56	12,23

Fuente: Fenercom, 2012

#### **3.4.5.4. Combustibles gaseosos**

Los combustibles gaseosos han tenido una gran importancia en la cobertura de las demandas de nuestra sociedad, ya desde el siglo XIX. Efectivamente, desde la mitad del siglo XIX se empleó el gas manufacturado, también llamado “gas ciudad” o “gas de villa” en el alumbrado público de muchas de nuestras ciudades, la denominada “luz de gas”. Este gas estaba compuesto por una mezcla de hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua, y era producido por la destilación seca de hullas.

Desde principios del siglo XX, con el desarrollo de la tecnología de transporte por tuberías, se desarrolló principalmente en los Estados Unidos el uso de los gases combustibles, tanto los provenientes del petróleo como del gas natural. (Fenercom, 2012)

##### Características

Por su carácter gaseoso, la característica más importante es la compresibilidad.

Los gases son compresibles, consiguiéndose con la misma masa de gas variaciones importantes de volumen en función de las condiciones de presión y temperatura. Esta propiedad tiene una aplicación directa en el transporte de los gases a través de tuberías, ya que el volumen a vehicular se reduce



considerablemente en función de la presión, y es la variación de presión entre las distintas secciones de la canalización lo que origina el movimiento del gas por su interior.

Sin embargo, es importante resaltar que los gases pueden llegar a licuarse por compresión, pero no todos los gases se comportan de igual manera cuando se comprimen y ello es consecuencia de un determinado valor de la temperatura crítica.

### 3.4.5.5. Gas Natural Metrogas

Las condiciones y suministro de gas natural con el cual se opera en CIAL Alimentos, siendo este el principal combustible con que trabajan las calderas, están regidas por la empresa Metrogas. Ésta es la encargada de considerar el gas en las condiciones expuestas como estándares o sino hacer el cobro del uso de poder calorífico con el factor de corrección correspondiente.

Los Factores de corrección corrigen el volumen registrado en el medidor a las condiciones estándar de presión y temperatura y poder calorífico.

• Condiciones estándares:

Presión: 1 Atmósfera (absoluta), Temperatura: 15 °C, Poder Calorífico (PCS): 9.300 [kcal/m<sup>3</sup>]

#### Por qué se Aplican los Factores de Corrección

Debido a que el medidor de gas:

- Mide volumen de gas.
- No distingue la cantidad energía por unidad de volumen.
- Existen distintas presiones de suministro de gas.
- Variación de temperatura según el clima.
- Poder calorífico puede variar.
- Para una misma cantidad de energía requerida, el volumen de gas leído en el medidor, será menor entre mayor sea la presión de gas suministrada. Esto es debido que a la cantidad de energía por unidad de volumen es mayor, mientras mayor sea la presión.
- El consumo real dado condiciones distintas a los estándares se calcula de la siguiente forma;

$$m^3 \text{ equivalente} = m^3 \text{ leído} \times FC_{P,T} \times FC_{PCS}, \quad (1)$$

donde el volumen visible se corrige con los respectivos factores de corrección.



Finalmente, la tarifa se aplica al volumen equivalente, es decir, se cobra lo realmente consumido en energía. Además, es importante considerar que esta información del factor de corrección viene en la factura mensual, con lo cual sabremos el poder calorífico real del gas utilizado para poder así hacer cálculos más precisos.

(Metrogas, 2016)

### **3.4.6. Agua y Tratamiento**

Es sumamente importante el que agua y su tratamiento antes de ser parte del proceso que realiza la caldera de vapor con ella. No solo por seguridad, sino también por eficiencia y vida útil de la caldera.

Asegurar una buena calidad del agua de alimentación y de la misma caldera, se puede lograr cumpliendo con ciertos requerimientos de normas definidas para los parámetros involucrados en el tratamiento del agua.

Es por esto, que es de principal importancia que el tratamiento del agua, así como pruebas y estudios, sean realizados por compañías especializadas en tratamientos de agua, las cuales trabajan con los operadores de las calderas. Esto es un trabajo muy complementario donde todos juegan un papel importante y vital para que resulte y la caldera pueda operar con seguridad, eficiencia y continuamente. (Fenercom, 2012)

#### **3.4.6.1. Procedencia**

El agua en general procede de los ríos, lagos, pozos y agua de lluvia. Para los efectos de alimentación de generadores de vapor y fines industriales en general tienen primordial importancia los ríos y pozos. Por la misma índole de su procedencia no se puede evitar que ella arrastre y disuelva impurezas que la hacen inapta para el consumo humano y también industrial.

#### **3.4.6.2. Criterios generales importantes a considerar sobre estado del agua**

- Debe ser clara, con la turbidez inferior a 10 ppm. Cuando esta turbidez es superior, debe ser sometida a filtración.
- Debe estar totalmente exenta de dureza no carbónica.
- La dureza total no debe exceder de 35 ppm.
- Debe estar prácticamente exenta de aceites.
- Debe estar prácticamente exenta de oxígeno.
- Debe tener un bajo contenido de sílice.



Estos son criterios a modo general de cómo debe estar el agua que será consumida por la operación de la caldera para su producción de vapor de agua. Estas condiciones pueden variar según las calderas, su uso y las indicaciones del fabricante, tema importante para poder la eficiencia garantizada por el proveedor.

Las impurezas podrían entrar en las siguientes clasificaciones:

- Sólidos en suspensión:
  - Barro (arcilla).
  - Materias orgánicas (madera y bacterias).
  - Arena (sílice).
- Sales disueltas:
  - Sales de calcio y magnesio.
  - Cloruros de sulfatos alcalinos.
- Gases disueltos:
  - Aire (oxígeno-nitrógeno).
  - Anhídrido carbónico.

(ACHS, 2012)

### 3.4.6.3. Parámetros específicos para el tratamiento de agua

- **Conductividad:** Permite controlar cantidad de sales (iones) disueltos en el agua.
- **PH:** Indica las características acidas del agua. En caso de un elevado PH se debe prevenir problemas de corrosión, para bajos niveles se deben prevenir problemas de depósitos.
- **Durezas:** Cuantifica los iones de calcio y magnesio, quienes son responsables de formar incrustaciones.
- **Oxígeno:** Favorece la corrosión, por lo tanto, se deben mantener bajo niveles ya que expuesto a presiones y altas temperaturas se fomenta este efecto.
- **Dióxido de carbono:** Este generalmente se encuentra en el retorno de condensado. El problema que causa es la formación de ácido carbónico que provoca ranuras o canales en las tuberías.
- **Hierro y cobre:** Interfieren en la transferencia de calor.
- **Aceites:** Aumenta formación de espuma, lo que causa arrastre de agua en el vapor.
- **Fosfatos:** Controlan PH y protege contra durezas.
- **Sílice:** Causa incrustaciones y baja conductividad térmica.

(ACHS, 2012)



#### 3.4.6.4. Tratamientos para purificar agua de alimentación

Como ha sido mencionado anteriormente, el agua de alimentación de las calderas debe ser tratada. Con el objeto de prevenir los problemas causados por las impurezas, hay una serie de tratamientos utilizados para la realización de este proceso, los cuales pueden ser utilizados dependiendo de las características necesarias de operación del agua. Estos pueden ser tratamientos físicos, químicos, térmicos, mixtos o eléctricos.

##### 3.4.6.4.1. Tratamientos Físicos:

- **Filtración:** Su objeto es extraer partículas grandes en suspensión. Se realiza antes que el agua llegue a la caldera (externo). Los filtros pueden ser de mallas (pequeñas instalaciones) o de grava y arena.
- **Desaireación:** También llamada desgasificación. Consiste en extraer los gases disueltos (oxígeno, anhídrido carbónico). Se consigue calentando el agua de alimentación, proporcionando una gran área de contacto agua-aire (ducha o agitación).
- **Purgas:** Consiste en evacuar cierta cantidad de agua desde el fondo de la caldera o del domo, con objeto de disminuir o mantener la cantidad total de sólidos disueltos y extraer lodos (en el caso de purga de fondo). La extracción puede ser continua o intermitente. La magnitud de la extracción depende de la concentración de sólidos disueltos a mantener en la caldera la del agua de alimentación.

(ACHS, 2012)

##### 3.4.6.4.2. Tratamientos Químicos:

Consiste en suministrar internamente sustancias químicas que reaccionan con las impurezas del agua, precipitando sólidos insolubles o en suspensión, eliminables mediante purgas. Según el objetivo que persiguen, las sustancias se clasifican en:

- **Ablandadores:**
- **Hidróxido de sodio o soda cáustica (NaOH):** Precipita las sales de magnesio; aumenta la alcalinidad.
- **Carbonato de sodio o soda comercial (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>):** Precipita las sales de calcio; bajo costo; produce acidez.



- **Hidróxido de calcio o cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ):** Precipita las sales de calcio y magnesio.
- **Fosfatos de Sodio ( $\text{Na}_2 \text{HPO}_4$ ):** Precipita sales de calcio. Debe mantenerse en exceso.
- **Intercambio de Iones:** Se utilizan ablandadores naturales o sintéticos (zeolitas o permutitas).
  
- Inhibidores de corrosión:
  - **Sulfito de Sodio ( $\text{NaSO}_3$ ):** Reacciona con el oxígeno produciendo sulfatos de sodio. Se utiliza para calderas de presiones menores a 30 Kg/cm<sup>2</sup>.
  - **Hidracina ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ):** Reacciona con el oxígeno produciendo nitrógeno y agua sin producir sólidos disueltos. Apta para calderas de alta presión.
  - **Aminas:** Utilizadas para el control de la corrosión en tuberías de retorno de condensado (corrosión por anhídrido carbónico).
  
- Inhibidores de fragilidad caustica:
  - **Nitratos y nitritos de sodio ( $\text{NaNO}_3$ - $\text{NaNO}_2$ ):** Debe usarse donde el agua tiene características de fragilidad.
  
- Inhibidores de adherencias por lodos:
  - **Agentes orgánicos:** Taninos, almidones, derivados de aguas marinas. Evita la formación de lodos adherentes y minimizan el arrastre.

#### 3.4.6.4.3. Tratamientos Térmicos:

Mediante el calentamiento del agua hasta su temperatura de ebullición, se precipitan todos los bicarbonatos en forma de carbonatos insolubles que decantan y se extraen del fondo del economizador, eliminando de esta manera la dureza temporal y los gases disueltos. Este procedimiento no separa la dureza permanente.

#### 3.4.6.4.4. Tratamientos Mixtos:

Consiste en emplear algunos desincrustantes químicos y a su vez calentar el agua eliminando ambas durezas.

#### 3.4.6.4.5. Tratamientos Eléctricos:

Por este sistema basado en la electrólisis del agua, el zinc en planchas que se apertan a tubos de chapas, defiende las planchas de hierro de la acción de las sales incrustantes.



(ACHS, 2012)

### 3.4.6.5. Influencia del tratamiento de agua

En el rendimiento de la caldera:

El rendimiento de la caldera es la relación que existe entre el calor total entregado por el combustible al quemarse y el calor contenido en el vapor. 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.

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.

(ACHS, 2012)

### 3.4.6.6. Control de la calidad del agua

La eficacia de un tratamiento depende, de una parte, de su calidad en la aplicación y, por otra, de su control. Es por esto, que es necesario poner al tanto la importancia de que sean empresas especializadas, como ya fue mencionado anteriormente, las que se encarguen de realizar estos controles en coordinación y conjunto con los operadores de calderas.

Estos controles se realizan por medio de análisis regulares con el fin de comprobar los estados de concentración en los diferentes puntos del circuito de operación del agua y asegurarse del exceso requerido de los productos para el tratamiento.

Los puntos más importantes a controlar, de modo general, son:

- **Agua bruta**, por si existen variaciones que puedan influir en el tratamiento.
- **Agua tratada**, analizando principalmente el pH, la dureza total, el contenido de oxígeno disuelto, dióxido de carbono, contenido total de hierro, contenido total de cobre, alcalinidad total, contenido en aceite y condición general (limpio, claro y libre de sustancias insolubles).



- **Agua del interior de la caldera**, analizando principalmente el pH, el contenido de oxígeno disuelto, TH y TAC, cloruros, dióxido de carbono disuelto, contenido total de hierro, contenido total de sílice, sólidos disueltos y sólidos en suspensión, conductividad y condición general (limpio, claro y libre de sustancias insolubles).
- **Agua de condensados**, controlando el pH y el contenido en hierro.

(ACHS, 2012)

### 3.4.6.7. Mediciones de flujos y purgas

#### 3.4.6.7.1. Agua de reposición total (ART)

El agua de alimentación y/o de reposición entran a la caldera junto con el condensado pasando previamente por un sistema de tratamiento de agua para prevenir la incrustación y la corrosión. El agua de reposición añadida a la caldera es para compensar las diferentes pérdidas que puedan existir en la caldera como son: pérdidas en el vapor, pérdidas en el condensado y pérdidas en la purga. El agua de reposición total se puede expresar de la siguiente manera;

$$ART = PV + PC + PP , \quad (2)$$

donde,

PV: Pérdidas de vapor

PC: Pérdidas de condensado

PP: Pérdidas por purgas

(CONUEE, 2009)

#### 3.4.6.7.2. Ciclos de concentración (CC)

Los ciclos de concentración de una caldera quedan definidos como la concentración de las impurezas en la caldera por la concentración de impurezas en el agua de alimentación;

$$CC = CIC/CA , \quad (3)$$

donde,

CIC: Concentración impurezas en caldera

CA: Concentración impurezas en alimentación



Si los CC tienden a infinito, la alimentación será cero. Esto implica una reducción en purgas, lo cual es conveniente ya que éstas se convierten en pérdidas de calor y energía. (SISTEAGUA, 2011)

Se pueden incrementar los ciclos de concentración ya sea, reduciendo la cantidad de purga, disminuyendo la concentración total de sólidos en el agua de alimentación o modificando el programa de tratamiento del agua de la caldera.

(CONUEE, 2009)

### **3.4.6.7.3. Purga**

La purga sirve para la extracción de los sólidos disueltos que se encuentran dentro de la caldera, a la vez que disminuyen significativamente la tasa de transferencia de calor del combustible al agua, reduciendo con ello la eficiencia de la caldera. (CONUEE, 2009)

Las purgas consisten en extraer de la caldera un porcentaje del agua que allí se encuentra, remplazándola por agua de alimentación más pura que generalmente está constituida por la mezcla del condensado que se recupera y de la cantidad de agua de aportación necesaria para completar el caudal requerido por la caldera.

El control de que el número de purgas es el requerido se realiza mediante la medición de los cloruros en el agua de alimentación y agua de la caldera. Los cloruros son utilizados como variable de control, ya que no participan en el tratamiento de agua y son fáciles de medir (método de las gotas: reacción entre el nitrato de plata y el cloruro para formar cloruro de plata y producir un cambio de coloración).

Básicamente, las purgas que se realizan en las calderas son dos, las purgas de fondo o lodos y las purgas de superficie o sales disueltas. Existen las manuales en calderas más antiguas y las automáticas que se describen a continuación, la cuales CIAL no posee.

#### **Purga automática de fondo**

Esta purga, situada en el fondo de la caldera como su nombre indica, tiene el objetivo de eliminar las sustancias que han precipitado en el fondo de la caldera, normalmente en forma de lodos.

Está formada por una válvula de accionamiento rápido para favorecer la extracción de estas impurezas, un actuador, normalmente neumático para evitar que la válvula se quede abierta en caso de avería eléctrica, y un temporizador para programar los ciclos de purga (periodicidad y duración) de fondo requeridos por el tratamiento utilizado en la caldera.



En general, cuando se trata de instalaciones de calderas a baja presión ( $p < 15 \text{ kg/cm}^2$ ), donde el coste del tratamiento del agua y su funcionamiento puede suponer un gasto relativo muy considerable, se admiten condiciones menos severas para el agua de alimentación y del interior de la caldera y se suple la calidad del agua de aportación por un aumento del porcentaje de purga. Claro que esto tiene una grave contrapartida que es el aumento de combustible y, por tanto, de energía que se desperdicia.

### Purga automática de superficie

La purga automática de superficie está compuesta por un sensor de conductividad, una válvula con actuador y un controlador. El sensor de conductividad mide la conductividad del agua de la caldera (sólidos disueltos) y envía esta información al controlador. El controlador compara esta medición con el valor de conductividad máxima programado, para luego abrir o cerrar la válvula de purga según los resultados de esta comparación.

La ausencia de un porcentaje adecuado de purgas en las calderas de vapor puede provocar fenómenos de espuma y arrastres, y de contaminación del vapor, lo cual, en muchos casos, puede desnaturalizar diversos procesos industriales.

Un método rápido para el cálculo de las purgas respecto de la vaporización total se expresa por la relación;

$$Purga \% = \frac{TAC_{alimentación}}{TAC_{máx.en caldera} - TAC_{alimentación}} \cdot 100 \quad (4)$$

donde,

TAC: Alcalinidad total

Aunque para mayor seguridad puede realizarse el cálculo no sólo con el TAC sino con la sílice, los sólidos disueltos y el hierro, estimando el porcentaje más elevado que resulte.

Algunas consideraciones para calcular la cantidad de agua que se debe de purgar son las siguientes (CONUEE, 2009a):

1. La cantidad de agua que se alimenta a la caldera debe ser igual a la de agua que se pierde tal que;

$$A = V + P, \quad (5)$$

donde,

A: Cantidad de agua de alimentación [kg/hr]

V: Cantidad de vapor generado [kg/hr]



P: Cantidad de agua purgada [kg/hr]

2. La cantidad de purga puede relacionarse con la cantidad de agua de alimentación utilizando los ciclos de concentración (CC);

$$CC = A/P, \quad (6)$$

lo que quiere decir que:

$$\% \text{ de purga} = 1/CC, \quad (7)$$

donde,

CC: Ciclos de concentración utilizado por la caldera

A: Cantidad de agua de alimentación [kg/hr]

P: Cantidad de agua purgada [kg/hr]

(Fenercom, 2012)

### 3.4.7. Sistema de Calderas

El sistema de calderas de vapor típico, cuenta con una serie de complementos unidos para poder funcionar de la manera más correcta y poder así producir lo requerido de la forma más eficiente.

A continuación, se describe la configuración típica de un sistema de vapor eficiente (Figura 13).

Fuente: Web

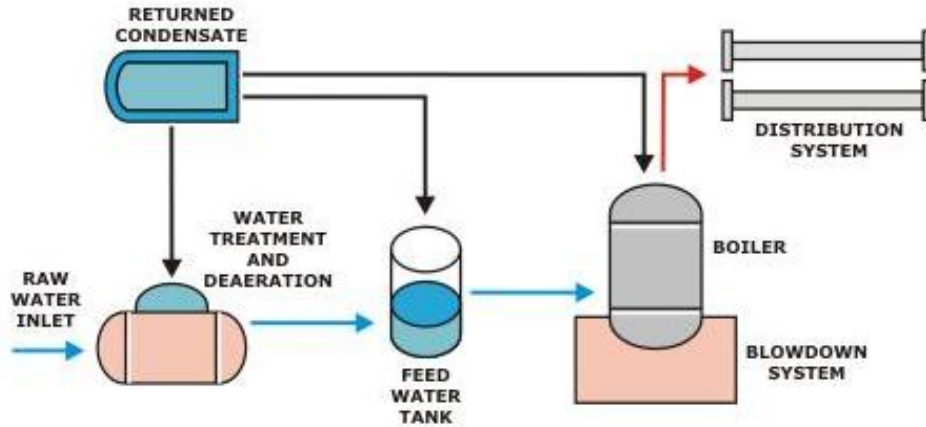


Figura 13 Sistema de vapor típico

### Agua de entrada (Raw water inlet)

La fuente local de agua dura a una fábrica inevitablemente contendrá minerales y gases disueltos, y podría venir sucia con partículas. Esto causará problemas en la caldera, el sistema de distribución y el equipo relacionado.

### Tratamiento del agua dura (Water treatment)

El tratamiento del agua es esencial para purificar el agua dura y eliminar las partículas disueltas y los gases. Se emplean diversos métodos para tratar el agua, y el método utilizado depende de la calidad del agua requerida. Si no se trata correctamente el agua, se producirán problemas en todo el sistema de vapor.

### Tanque de alimentación de agua (Feed water tank)

Una vez que el agua ha sido tratada se almacena en el tanque de alimentación, listo para suministrar la caldera. Si el condensado se devuelve al tanque de alimentación de agua, es necesario incluir un desaierador en el tanque de alimentación, ya que el condensado puede entrar en contacto con el aire aspirado al sistema. Retraso y aislamiento son muy importantes en el tanque de alimentación de agua, o grandes pérdidas de calor se podrían producir.

### La caldera (Boiler)



El corazón de un sistema de vapor.

### Sistema de purga de calderas (Blowdown system)

Un sistema de purga eficiente es una parte crítica de una caldera. A medida que el agua se convierte en vapor y se escapa en el suministro, las impurezas disueltas en el agua permanecen en la caldera y se concentran. Si no se eliminan cantidades adecuadas de agua impura, la caldera se corroerá y perderá eficiencia. Sin embargo, la eliminación de demasiada agua en un momento hará que la caldera se enfríe, lo que resulta en energía desperdiciada.

### Sistema de distribución (Distribution system)

Piping relacionado al traslado del vapor a los equipos de la planta y sus respectivas válvulas para ir regulando las presiones para cada operación con vapor.

### Trampas de vapor

Las trampas de vapor son un tipo de válvula automática que filtra el condensado (es decir vapor condensado) y gases no condensables como lo es el aire, esto sin dejar escapar al vapor. En la industria, el vapor es regularmente usado para calentamiento o como fuerza motriz para un poder mecánico. Las trampas de vapor son usadas en tales aplicaciones para asegurar que no se desperdicie el vapor dentro del sistema sin ser usado.

Todo esto debido a que el uso de válvulas convencionales para eliminar el condensado generado ya sea en las tuberías o equipos con intercambiador, generan demasiadas pérdidas de vapor mediante uso manual, lo que recae en baja eficiencia del sistema de vapor.

### El porqué de las trampas

Los procesos basados en el calentamiento utilizan el calor latente y lo transfieren al producto. Cuando se realiza este trabajo (es decir el vapor ha cedido su calor latente), el vapor se condensa y se convierte en condensado. En otras palabras, el condensado no tiene la habilidad de hacer el trabajo que el vapor realiza. Por lo tanto, la eficiencia de calentamiento se ve afectada si el condensado no es removido propia y rápidamente como sea posible, ya sea en una tubería para transportar el vapor o en un intercambiador de calor.

Dado que existen innumerables tipos de procesos, y los requerimientos de los mismos son muy variables es imposible pensar en un solo tipo de trampa para vapor, a tales efectos existen hoy en el mercado muchos tipos de trampas. Diversos tipos de mecanismos (Principios de Operación) han sido desarrollados para la descarga automática de condensado y gases no condensables. Los mecanismos mayormente usados son aquellos que dependen de las diferencias en temperatura, gravedades específicas y presión.



(TLV, 2016)

### 3.4.8. Eficiencia de Calderas

La eficiencia de la caldera es extremadamente importante. Si una caldera no está quemando combustible a un ritmo satisfactorio, o si el calor se está perdiendo a través del sistema circundante sin ser puesto en uso, usted termina con una gran cantidad de residuos e incluso puede encontrarse con problemas que incumplen con los estándares de emisiones.

"Eficiencia en caldera" es un término que puede significar varias cosas diferentes. A menudo se utiliza para referirse a eficiencia térmica o eficiencia de combustible a vapor, por ejemplo, pero también puede usarse como abreviatura para la eficiencia de la combustión. Para ayudar a clarificar, se resume cada uno de los tipos de eficiencia de la caldera. Todos ellos calculan la eficiencia de manera diferente y por lo tanto pueden tener sus propias implicaciones económicas particulares.

#### 3.4.8.1. Eficiencia de combustión en una caldera

La eficiencia de la combustión mide la eficacia con que una caldera transfiere la energía química almacenada en el combustible al calor utilizable por la caldera. Alcanzar la eficiencia óptima de la combustión típicamente requiere el bombeo del aire adicional en la cámara de combustión de modo que se pueda quemar todo el combustible.

Sin suficiente oxígeno, algún combustible quedará sin quemar y terminará como hollín, humo o monóxido de carbono. Demasiado oxígeno, por otra parte, creará el gas de combustión excesivamente caliente, que no puede transferir todo su calor en la producción del vapor. Según los cálculos de eficiencia de combustión, una caldera se considera eficiente cuando tiene bajos niveles de combustible no quemado y no requiere mucho aire extra.

La determinación de la cantidad adecuada de aire (conocida como la cantidad estequiométrica) para añadir a un proceso de combustión es una cuestión de medir la temperatura de la chimenea y las concentraciones de oxígeno o dióxido de carbono en el gas de combustión. Si está quemando gas natural, el Departamento de Energía de los Estados Unidos tiene una hoja de sugerencias útil que incluye una tabla para hacer este cálculo. (National Boiler Service, 2016)

#### 3.4.8.2. Eficiencia térmica de una caldera

La eficiencia térmica mide cuán bien el intercambiador de calor de una caldera transfiere el calor del proceso de combustión al agua o vapor en la caldera. Una razón simple expresada como porcentaje, la



eficiencia térmica es básicamente la energía de entrada transferida al proceso de calentamiento de agua o vapor dividida por la energía de salida del proceso de combustión.

La deficiencia de la eficiencia térmica como medida de la eficiencia de la caldera es que sólo mide la eficacia del intercambiador de calor. Debido a que el calor térmico también se puede perder a través de la radiación y la convección a través de otros componentes de la caldera, como la carcasa o columna de agua, el rendimiento térmico se limita y no es preciso como cálculo para medir la eficiencia de la caldera.

### 3.4.8.3. Eficiencia global de una caldera

Al corregir las deficiencias de los cálculos de eficiencia térmica, la eficiencia del combustible a vapor intenta medir la eficiencia global de la transferencia de calor de una caldera desde el proceso de combustión al agua o vapor en la caldera. Al hacerlo, mide la eficiencia del intercambiador de calor, al mismo tiempo que se soportan las pérdidas de radiación y convección a través de otras áreas del sistema de calderas.

Para exponer la forma de determinar el rendimiento energético de una caldera recurrimos al símil del intercambiador de calor entre dos venas o flujos de materia que es, en definitiva, este generador de calor:

- Una vena la compone el flujo del combustible que introducimos y reacciona en la cámara de combustión de la caldera, produciendo calor, para escapar el resultado de la combustión en forma de humos por la chimenea.
- La otra vena la compone el flujo de agua que transita por la caldera, bañando y refrigerando el lado exterior de las superficies de la cámara de combustión y de los pasos de humos mediante la captación del calor de la combustión, lo que origina su elevación de temperatura.

El rendimiento energético de este proceso de intercambio será la relación entre la cantidad de calor que ha captado el agua (calor útil) respecto al que poseía el combustible utilizado.

Existen dos formas de efectuar el balance energético para determinar este rendimiento: (IES Estelas de Cantabria, 2016)

1. **El método directo** que, como su nombre indica, se obtiene por la medición, por un lado, del calor contenido en tubería de agua y vapor, antes y después de su entrada en la caldera y, por otro, la determinación de la energía del combustible, producto de la cantidad empleada por su poder calorífico.

Este es el procedimiento que se utiliza, por ejemplo, para la determinación en laboratorio de la acreditación de rendimiento de las calderas para ser marcadas con la identificación CE (certificación europea). La dificultad de su aplicación práctica en la medición del rendimiento energético de calderas en servicio estriba en la dificultad de la medición del caudal de agua que



circula por la caldera. Salvo que la misma tenga instalado un caudalímetro, esta medición sólo podría realizarse, de forma no destructiva, con equipos de ultrasonidos, de alto coste y difícil utilización por cuanto exige aplicarse en tramos rectilíneos de tubería desnuda (desmontar el aislamiento térmico). La ecuación viene dada por;

$$\eta = \frac{P_v \cdot (H_v - h_{fe})}{b \cdot PCI}, \quad (8)$$

donde,

- $P_v$ : Producción de vapor [kg/h]
- $H_v$ : Entalpía del vapor [kcal/kg]
- $h_{fe}$ : Entalpía del fluido de entrada [kcal/kg]
- b: Consumo de combustible [Volumen de combustible/h]
- PCI: Poder Calorífico Inferior del combustible [kcal/Volumen de combustible]

La producción de vapor y consumo de gas, pueden ser en cualquier espacio de tiempo. Para CIAL Alimentos utilizaremos el mes, ya que esto genera menos margen de error.

2. **El método indirecto** que, como su nombre indica, se basa en razonar que aquel calor que introducimos con el combustible y no escapa con los humos por la chimenea o es perdida por otros medios, habrá sido captado por el agua. Es decir, se busca calcular las perdidas en vez del usado en la operación de la generación de vapor. No se entrará más en detalle de sobre este método ya que no será el utilizado dentro del desarrollo y cálculos en este estudio.  
Para cualquiera de estos dos procedimientos debemos indicar que los rendimientos obtenidos son referidos al Poder Calorífico Inferior PCI del combustible.

### 3.5. Emisiones de NO<sub>x</sub>

La emisión de las calderas de vapor, se reducen y enfocan en el NO<sub>x</sub> debido a su implicancia en el medio ambiente y regulaciones para esto. Este es el término genérico para un grupo de gases altamente reactivos, todos los cuales contienen nitrógeno y oxígeno en cantidades variables. Muchos de los óxidos de nitrógeno son incoloros e inodoros. Sin embargo, un contaminante común, dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) junto con partículas en el aire puede ser visto a menudo como una capa marrón rojizo sobre muchas áreas urbanas.

(Thermal Engineering LTDA., 2016)



### 3.5.1. Fuentes Generadoras de NO<sub>x</sub>

En un proceso de combustión existen tres fuentes generadoras de Óxidos de Nitrógeno.

El **NO<sub>x</sub> Térmico** proveniente de la disociación y reacción de nitrógeno atmosférico, en las zonas de alta temperatura de la llama

El **NO<sub>x</sub> Prompt** el cual se forma en las primeras etapas de la llama resultante de la combustión de hidrocarburos en presencia de radicales de hidrocarburos, es decir, en la combustión de combustibles que no poseen radicales CH no se producirá NO<sub>x</sub> Prompt.

El **NO<sub>x</sub> del combustible** proveniente del nitrógeno contenido en el combustible. El NO<sub>x</sub> del combustible se forma a partir de los átomos de nitrógeno directamente ligados a las moléculas que forman el combustible.

Es importante señalar que combustibles como el gas natural, que contienen nitrógeno molecular y no poseen átomos de nitrógeno ligados, formarán solo NO<sub>x</sub> térmico.

Por otro lado, durante el proceso de combustión se generan principalmente (95 – 98 %) de óxidos de nitrógeno (NO), los que posteriormente se transforman en dióxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en la atmósfera.

Al hablar de NO<sub>x</sub> se hace referencia al NO<sub>2</sub> por lo tanto las emisiones de NO son convertidas a NO<sub>2</sub>, para efectos de poder realizar comparaciones.

### 3.5.2. Emisiones NO<sub>x</sub> de Calderas en Chile (Normativa)

Existen varios decretos ya sean del ministerio de salud como de medio ambiente que hacen referencia a la medición y control de emisiones de NO<sub>x</sub>, especialmente respecto al caso de la Región Metropolitana.

En el Decreto Supremo N°58 de 2003, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, publicado en el Diario Oficial de fecha 29 de enero de 2004, aprobó la Reformulación y Actualización del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA), el que entre otras materias, establece metas de reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> para las fuentes existentes denominadas Mayores Emisores y la exigencia de compensar emisiones de NO<sub>x</sub> para fuentes nuevas que ingresen a la Región Metropolitana.

Actualmente las fuentes que se tienen en CIAL Alimentos tienen permitido las 8 toneladas anuales de NO<sub>x</sub> que aparecen en el artículo 68, extracto de decreto en Anexo 4.



### 3.5.3. Cálculo de Emisiones de NO<sub>x</sub>

Primero se debe tener en cuenta que, por generalidad, cuando se quiere calcular las emisiones anuales de una caldera, es necesario de realizar una serie de cálculos a partir de la oferta técnica del equipo. Esto es debido a que solo se informa las PPM (partes por millón) que emite la caldera en cuanto a desechos de cierta molécula. Cuando se habla de emisiones, lo que realmente importa es saber cuánta masa emiten en cierto tiempo, para poder estar acorde a las normas y regulaciones medioambientales y de salud, y así poder operar la caldera de forma legal.

En primera instancia, lo que se debe hacer es transformar los PPM a algún tipo de medida que muestre el peso respecto al volumen de gases que la caldera expulsa por su chimenea. En el caso del NO<sub>x</sub> se tiene la siguiente conversión; (Global Combustion Systems, 2016)

$$\frac{ppm NO_x \cdot 46}{22.4} = NO_x \frac{mg}{m^3}, \quad (9)$$

Para no entrar en detalles químicos y composición de moléculas, solo se mencionará que esta conversión está dada por la relación de los pesos moleculares y densidades de cada elemento que compone el NO<sub>x</sub>, los cuales son NO y NO<sub>2</sub>, y para un exceso de aire estándar en la combustión. La relación es uno a uno en cuanto al peso como se puede observar en la siguiente relación.

$$ppm NO + ppm NO_2 = ppm NO_x$$

Para poder obtener lo que finalmente la ley regula, que es la masa (toneladas) de este compuesto durante un año corrido de operación, se tienen la siguiente igualdad;

$$NO_x \frac{ton}{año} = NO_x \frac{mg}{m^3} \cdot CGS \frac{m^3}{hr} \cdot 10^{-9} \frac{ton}{mg} \cdot HOA \frac{hr}{año}, \quad (10)$$

donde,

- CGS: Caudal Gases de salida [m<sup>3</sup>/hr]
- HOA: Horas de operación anual [hr/año]



## 4. Levantamiento de Información

En este capítulo, se resolverá cómo es y con qué cuenta la empresa actualmente en su red de vapor, como también los costos asociados y consumos, para poder generar la base de requerimientos mínimos y comparación para la renovación de los equipos.

### 4.1. Generadores de Vapor

La planta de CIAL Alimentos, la cual trabaja constantemente usando generadores de vapor o calderas de vapor como principal recurso de sus líneas de producción para la elaboración de sus productos, cuenta actualmente con dos calderas generadoras de vapor. Estas calderas son operadas por caldereros en turno rotativos, quienes están a cargo de la seguridad, funcionamiento y mantenimiento de todos los equipos relacionados a la operación de la sala de calderas.

Las calderas utilizadas y sus especificaciones nominales se pueden observar en la siguiente Tabla. 5;

**Tabla. 5: Calderas actuales de planta**

	<b>Caldera N°1</b>	<b>Caldera N°2</b>
<b>Tipo</b>	Pírotubular	Pírotubular
<b>Superficie de Calefacción</b>	140	264
<b>Capacidad de vapor [Kg/hr]</b>	7,200	10,000
<b>Fabricante</b>	Babcock Chile SA	Babcock Chile SA
<b>Modelo</b>	OFTC-15	OFTC-25
<b>Año</b>	1995	1999
<b>Presión Máxima de trabajo [Bar]</b>	10.5	10
<b>Rendimiento Oil</b>	80%	83%
<b>Rendimiento Gas</b>	79%	81%
<b>Consumo Gas [m<sup>3</sup>/hr]</b>	774	774
<b>Consumo Petroleo [Kg/hr]</b>	669	669
<b>Evacuación gases</b>	Tiro forzado	Tiro forzado
<b>Quemador</b>	NU-WAY	NU-WAY
<b>Número de registro</b>	IN-1930	IN-1955

Fuente: Elaboración propia

A pesar del año de fabricación, básicamente la diferencia entre ambas calderas es su capacidad máxima de generación de vapor. Tenemos la caldera N°2 la cual es la grande y tiene 3 [ton/hr] de generación de vapor de diferencia con la caldera N°1. Ambas son duales y por lo tanto pueden usar dos tipos de combustibles para su funcionamiento, que puede ser gas natural o petróleo. En cuanto a las presiones o más bien



temperaturas de trabajo, es decir, temperatura a la cual puede llegar el vapor generado, son similares y sobre lo requerido por los equipos que operan con vapor en la producción.

En cuanto al historial de las calderas funcionando en la planta, la información que se pudo conseguir, entre algún registro y caldereros que llevan mucho tiempo, la caldera N°1 es la que ha presentado mayores problemas y ha tenido más reparaciones dentro de su operación. Esto finalmente se traduce en que la confiabilidad es muy baja y en cualquier momento se sabe que podría volver a fallar, es más, se utiliza como respaldo para los picos más altos de vapor solamente, donde la caldera N°2 no es suficiente por sí sola. En el caso de la caldera N°2, debido al bajo impacto que ha tenido en cuanto a reparaciones o detenciones de emergencia dentro de su historial, además de inspecciones de estado realizadas en tiempos de mantenimientos programadas, se sabe que la vida útil es mayor y podría superar la década de funcionamiento según opiniones expertas.

Uno de los puntos más complicados asociado al levantamiento de información, es la falta de registros de ciertos parámetros y la falta de medidores de flujos en los equipos, como de vapor generado, suministros y pérdidas de agua y combustible utilizado. Estas calderas constan de medidores de presión, por ende, temperatura, también controles de seguridad y válvulas entre otras cosas, pero nada que conlleve a una medición correcta de los recursos utilizados y generados, ni tampoco de las pérdidas como purgas. Es más, ambas calderas tienen purgas totalmente manuales, las cuales son manipuladas solamente por el calderero de turno. Este tipo de acciones genera ciertas suposiciones en cuanto a porcentaje de purga y consumos, pero nada es medido realmente. Por ejemplo, un calderero va a abrir en mayor porcentaje de purga de acuerdo a sus propios y diarios análisis del agua, si cree que el agua está muy dura respecto a lo recomendado, se abrirá más la purga y las pérdidas serán mayores. Todo esto finalmente recae en que se debe estudiar más profundamente los parámetros a los que si se tienen acceso, para poder hacer estimaciones mucho más exactas del panorama actual de la operación de las calderas.

## **4.2. Sistema de Calderas**

Llamaremos sistema de calderas a todo lo relacionado a la operación en sí de generación de vapor de agua saturado en la planta. Esto incluye las calderas, equipos de tratamiento, suministros varios, sala de caldera, análisis y dispositivos relacionados a la operación.

### **4.2.1. Configuración**

La configuración actual en la sala de calderas es la típica como se mostró en el marco teórico, consta de las dos calderas, el sistema de tratamiento de agua, piping agua y vapor, entrada de combustible e instalaciones eléctricas.

El sistema de tratamiento de agua por su parte, consta de un ablandador y un tanque desgasificador para el agua dura que viene desde napa subterránea, previamente ya filtrada pero no al punto necesario que requieren las calderas.

En el siguiente esquema (Figura 14) se puede observar cómo está conectado el sistema de calderas actualmente al tratamiento de agua y suministros, y que idealmente por temas de infraestructura y costos, debería ser el que se conserve con la nueva caldera a reemplazar.

Fuente: Elaboración propia

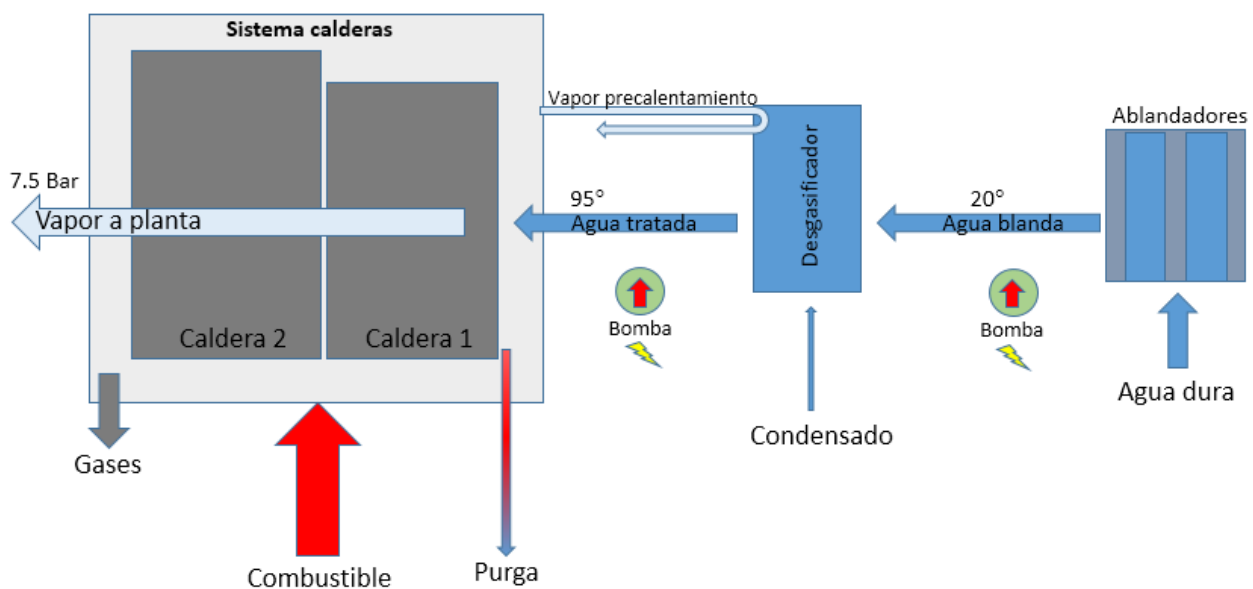


Figura 14: Sistema de calderas CIAL

Como se muestra en el esquema anterior, la configuración de la sala de vapor es bastante simple. El agua dura entra primeramente hacia los ablandadores, donde se realiza el tratamiento químico encargado de eliminar las durezas y dejar el agua blanda lista para los requerimientos de la caldera. El agua entra y es tratada en los ablandadores a temperatura ambiente, la cual oscila entre los 15 a 20 grados Celsius. Posteriormente después de pasar por este proceso, mediante una bomba el agua es impulsada hacia un estanque, el cual es el encargado de desairar o desgasificar el agua blanda, lo que como ya fue mencionado en el capítulo anterior, quita los gases como el aire (oxígeno y nitrógeno) y anhídrido carbónico del agua. Este proceso es especial, además de la agitación que requiere, también necesita de calor para calentar el agua. Es por eso que en el esquema se puede observar que se utiliza vapor de la misma caldera para poder llevar el agua desde la temperatura ambiente a los 95° C para el tratamiento. Este precalentamiento del agua se realiza mediante intercambiadores de calor, y además permite un ingreso de agua más caliente a la



caldera, también impulsado nuevamente por una bomba. Otro fluido que llega directamente al desaireador, es el condensado, el cual llega ya tratado y con temperatura suficiente para recircular hacia el proceso y no utilizar recursos.

Ya el agua una vez que entra al sistema de calderas (identificado así debido a no tener split entre ambas calderas por falta de medidores), comienza su fase de calentamiento que se traduce en consumo de combustible y generación del vapor de agua. También del sistema se puede ver agua y calor perdido, esto sucede a través de las purgas por un tema de mantener el agua óptima dentro de la caldera, mediante los gases donde también calor no utilizado se pierde hacia el ambiente, además de las emisiones por supuesto y finalmente por pérdidas de calor por radiación y conducción hacia el ambiente. Todo el resto finalmente es lo que va directamente a la operación de la planta, todo el vapor de agua saturado generado gracias al agua y combustible que no se ha perdido, entra al piping a aproximadamente 7.5 [bar], lo que es una temperatura cercana a los 173° C, según tablas termodinámicas para vapor saturado.

En el sistema también se pueden observar dos bombas que impulsan el agua, estas bombas no son modulantes, es decir, el consumo de electricidad es prolongado en el tiempo de funcionamiento independiente de la necesidad según el consumo instantáneo de vapor. Lo que se convierte en un gasto mayor en electricidad, la cual se pierde a cargas bajas de trabajo.

#### 4.2.2. Condiciones de Operación Generales

Para contextualizar en qué condiciones opera actualmente una caldera, y así poder entregar un informe más completo de requerimientos para que proveedores puedan garantizar funcionamientos en las condiciones reales y no perfectas que podrían esperar, es necesario reunirá los siguientes datos de la Tabla. 6:

**Tabla. 6 Condiciones de operación sala de calderas CIAL**

SITUACIÓN		Interior
TEMPERATURA MAX	°C	40
TEMPERATURA MIN	°C	15
UBICACIÓN		Pudahuel, Santiago de Chile
ALTURA/NIVEL MAR	[m]	448
POTENCIA MAX	[kW]	5.5
CONDUCTOR TIERRA		sí

Fuente: Elaboración propia

Además, según informe de ACHS realizado en mayo del 2013, se concluye que la sala de calderas y las calderas están en condiciones de funcionar. El espacio es el pertinente y amplio que según lo explicitado en el Art. 9°. D.S. N°48/84. Aprueba Reglamento de Calderas y Generadores de Vapor.



También en cuanto a la documentación legal pertinente, se encuentra accesible, para ser presentados ante cualquier organismo fiscalizador que lo requiera: Libro de vida, certificados de registros, autorizaciones sanitarias de funcionamiento, certificados de pruebas, derecho a saber, programa de inspecciones y procedimientos.

### 4.2.3. Medidores y Flujos

El tema complejo ya mencionado, es no tener control de flujos que entran y salen a este sistema de calderas. Sin esto se hace muy difícil tener una visión real de lo está sucediendo realmente con el agua y combustible, agentes importantísimos para poder saber cómo se comportan las calderas durante su operación en términos de eficiencia.

Lo más cercano que se tiene, es la medición de agua dura total que entra a la sala de calderas, la cual una parte se va hacia las calderas, y la otra hacia condensadores. Gracias a que los condensadores si poseen un medidor de uso de agua, se puede decir que se tiene un medidor de flujo estimativo sobre cuanto entra de agua al sistema de calderas.

El otro medidor que se tiene, gracias a que actualmente las calderas están funcionando solo con gas natural de Metrogas, a pesar de poseer quemadores duales para gas natural y petróleo, es el medidor de gas que tiene Metrogas instalado para poder cobrar el consumo. Lo importante de esto, es que como la sala de calderas es el único consumo que existe de gas natural industrial, podemos asumir que ese consumo va directo al proceso de generación de vapor. Para gas natural en casino u otras instalaciones, se usa medidores diferentes de gas natural residencial. Esto debido a que en caso de algún problema de Metrogas y su suministro, solo puede cortar en primera instancia las conexiones industriales, no así las conexiones residenciales que usa la población en general, es por esto el Split que se tiene.

Un dato importante a considerar es que también hay un registro mensual de la calidad del agua que entra y está dentro de la caldera, en todos sus parámetros de control. Este procedimiento lo hace una empresa externa llamada Nalco, a cargo de reportar como se está tratando el agua, recomendar y dar servicios en caso de ser necesario para la generación de vapor. Con los datos que entrega este reporte mensual, es posible calcular el flujo estimado de purga del mes en proporción al agua suministrada al sistema total.

Periódicamente un reporte importante para poder asegurar estar cumpliendo con las normativas de salud y medioambientales, es la medición y análisis de las emisiones de NO<sub>x</sub> de las calderas. Este procedimiento también está a cargo de una empresa externa y experta en el tema llamada JHG Ingeniería.



### 4.3. Equipos Consumidores de Vapor

#### Equipos en la planta de producción

Dentro de la planta de producción de CIAL Alimentos, hay muchos equipos los cuales necesitan suministro de vapor para su funcionamiento. Dentro de estos se tienen hornos de cocción, descongeladoras de ingredientes, lavadoras de bandejas y cutters. Para tener una idea del requerimiento de vapor nominal de la planta en total, se hizo un catastro de todos sus equipos y sus consumos nominales.

Con el fin de tener una visión más simple de la planta, esta se secciona en diferentes líneas de productos la cual son nombradas como mini fábricas. Cada mini fabrica es para un tipo de producto en particular y contiene todo el equipo necesario para la producción completa de éste. En la siguiente Tabla. 7 se podrán ver los equipos consumidores de vapor, con su respectiva área de trabajo y consumo de vapor nominal.

**Tabla. 7 Equipos consumidores de vapor CIAL**

Mini fábrica	Equipo	Cantidad	Consumo eléctrico [kW]	Consumo vapor [kg/hr]	Presión [Bar]
MORTADELA	Horno Vemag N3	2	26.4	460	6.0
JAMONES	Horno Vemag N5	1	25.5	720	6.0
JAMONES	Horno Vemag N6	2	13.5	300	6.0
JAMONES	Horno Vemag N8	3	29.6	365	6.0
JAMONES	Horno Ness	1	54.6	720	6.0
MORTADELA	Horno Alkar N3	1	40.0	910	5.5
PARRILLERO	Horno Vemag TVA N1	2	11.0	950	5.5
PARRILLERO	Horno Vemag TVA N3	2	34.0	1,350	5.5
PATE	Horno Continuo Fessmann	1	31.3	725	5.5
VIENESA	Horno Alkar N1	2	122.5	1,400	5.5
VIENESA	Horno Continuo ALKAR J-Con	1	311.0	2,550	5.5
JAMONES	Horno Schroder N12	4	7.0	210	5.5
JAMONES	Descongelador CFS Scanmidi N1	5	63.0	120	5.0
MORTADELA	Cutter 325	1	99.0	20	2.0
MORTADELA	Cutter 500 N2	2	190.0	35	2.0
JAMONES	Lavadora Bandeja Colussi L017-000	1	67.0	150	3.0

Fuente: Elaboración propia

Además, se puede observar que todos los equipos requieren distintas presiones para operar. Esto no influye necesariamente en el consumo de vapor debido a que existen dos líneas de vapor dentro de la planta, una de alta presión 7 [bar] y una de baja presión 3 [bar]. Por su parte, cada equipo para poder regular más



precisamente la presión o temperatura a la que ingresa el vapor, posee una propia válvula que regula la entrada de vapor hacia el equipo.

Todos los datos adjuntos en la tabla, son solo valores nominales y no necesariamente el gasto que cada equipo genera en vapor. Además, los hornos son los equipos más gastadores y que más funcionan durante la producción junto con las descongeladoras. Los otros equipos son de baja frecuencia en uso y su consumo es casi despreciable. A pesar de que jamás sucede que todos estos equipos estén funcionando juntos y a su valor nominal, si sumamos los requerimientos y asumimos ese total como la demanda de vapor nominal y máxima de la planta, este valor sería igual a 17,320 [kg/hr] de vapor saturado. Lo que se resume más detallado en la Tabla. 8.

**Tabla. 8: Resumen consumos por tipo de equipo CIAL**

Consumo de vapor	[kg/hr]
Hornos	16,480
Descongeladores	600
Otros	240
Total Nominal de la Planta	17,320

**Fuente: Elaboración propia**

Este número total sólo sería efectivo en caso de que todos los equipos estuviesen funcionando a carga nominal al mismo tiempo, algo que al menos en el caso de los hornos no debiese pasar. Las mini-fabricas utilizan los hornos en distintos momentos y no todos, debido a que capacidad máxima excede la producción real actual. Esto se corroborará en la sección de estimación de consumo de agua y generación de vapor.

Es importante también mencionar que todos los hornos utilizan el vapor de agua inyectándolo directamente en los productos, el cual es irrecuperable como condensado. Para el caso de descongeladoras y otros equipos es el mismo caso, el condensado producido por la entrega de calor en la operación del equipo se pierde porque ya queda contaminado para poder volver a la caldera. Como se mencionó en el marco teórico, se utiliza calentamiento directo principalmente e indirecto en baja cantidad. Los hornos tienen tramos de funcionamiento con intercambiadores, pero en el caso de esta planta no se está recuperando tal condensado o es muy poco, casi despreciable.

### Desgasificador

Dentro de los equipos no fue nombrado el desgasificador como consumidor de vapor, siendo que es un equipo que utiliza vapor para calentar el agua mediante intercambiadores. Este equipo para poder realizar el proceso de quitar el aire y oxígeno del agua, y para poder entregar el agua a la caldera a la temperatura requerida, necesita entregar calor al agua blanda y elevar su temperatura a 98°C aproximadamente desde la ambiental (20°C aprox.). El consumo de este equipo va a depender totalmente en la cantidad de agua que ingresa a la caldera, lo que se traduce en la cantidad de vapor que se esté utilizando en la planta en el



momento. Por lo tanto, el consumo será un porcentaje sobre el vapor que se esté requiriendo en la planta, esta estimación de consumo se realizará en la próxima sección en el cálculo de consumos de vapor con ayuda de las propiedades del vapor y tablas termodinámicas.

#### 4.4. Consumos, Emisiones y Costos

En esta sección se estimará mediante datos reales, con ayuda de cierta metodología explicada en el marco teórico y con aportes de expertos relacionados a estas calderas, el consumo de agua y combustible que se está teniendo para la producción de vapor. Además, se relacionarán los consumos y la generación de vapor con costos asociados a la operación en sí, para poder determinar el precio actual del vapor que se está generando y posteriormente la eficiencia del sistema de calderas.

El periodo que se realizan las mediciones de consumos de agua y gas es muy importante, por lo que se tomaran referencia de 5 meses durante los cuales representa un periodo de producción normal y el periodo de máxima producción debido a las fiestas patrias en Chile. Por lo tanto, tendremos información que muestra peaks más certeros y confiables.

##### 4.4.1. Consumo de Agua y Generación de Vapor

###### Consumo de agua

Para poder determinar el flujo de vapor que se está generando por el sistema de calderas, saber sus picos de altos y bajos de carga, el promedio de uso de vapor en la planta y poder estimar la capacidad que será necesario para suplir la demanda, se necesitará crear un perfil de consumo de vapor diario.

Fuente: Elaboración propia

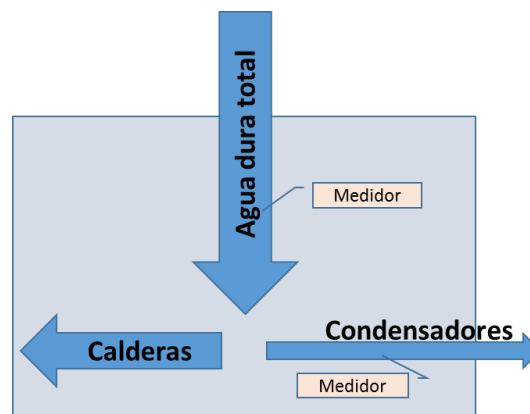


Figura 15 Vías agua blanda



Para esto, se recolectó información durante 3 semanas (18 días) del suministro de agua dura hacia la sala de calderas, tomando mediciones cada una hora a cargo del calderero de turno. Con estas mediciones, más la de suministro de agua hacia los condensadores, se calcula el ingreso de agua dura directamente al sistema de calderas (ART). Para dejar claro cómo se hace el cálculo de suministro de agua a las calderas se debe observar la siguiente ecuación 11 y Figura 15;

$$\text{Consumo}_{\text{calderas}} = \Delta \text{Total agua dura} - \Delta \text{Condensadores}, \quad (11)$$

Se utiliza un delta ya que las mediciones están basadas en el número inicial y final que muestra el medidor de caudal cada una hora, por lo que el consumo de cada equipo es la diferencia entre el número que muestra el medidor en sí. Los datos de las mediciones por hora se pueden encontrar en los Anexo 5.

El perfil de consumo diario muestra cuánta agua es suministrada al sistema cada una hora, con lo que podremos saber cuál es el consumo máximo y mínimo de un día para poder así tener una estimación de en cuanto oscila la carga con la que la caldera opera. La muestra de 18 días arrojó los siguientes resultados diarios desplegados en la siguiente Tabla. 9:

**Tabla. 9 Consumo de agua por hora de calderas (18 días)**

Consumo de agua por hora calderas (18 días) - [Kg/hr]						
	1	2	3	4	5	6
Máx	15,000	12,000	16,000	14,000	11,000	10,000
Mín	5,000	4,000	3,000	3,000	6,000	4,000
	7	8	9	10	11	12
Máx	12,000	15,000	11,000	11,000	12,000	12,000
Mín	4,000	7,000	6,000	6,000	2,000	7,000
	13	14	15	16	17	18
Máx	15,000	15,000	12,000	11,000	12,000	12,000
Mín	7,000	6,000	4,000	6,000	3,000	4,000

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el suministro por hora de agua varía mucho durante 24 horas de operación, lo que es debido a la forma de operar de la planta y que es totalmente aleatoria dependiendo las necesidades y tiempos de producción. El máximo fue de 16 [ton/hr] de consumo de agua y el mínimo de 2 [ton/hr], variación considerable. Además, de toda la data recolectada se obtuvo un promedio de 8.4 [ton/hr] de consumo de agua por el sistema de calderas.



Por otro lado, también es necesario saber el consumo de agua en un nivel más macro de tiempo. Esto es en orden de poder después realizar cálculos de eficiencia global de la caldera y que la precisión sea mucho mejor. Para esto se usarán medidas de consumo de agua durante el periodo de un mes, por 5 meses.

Los datos recogidos fueron los siguientes (Tabla. 10):

**Tabla. 10 Consumo agua mensual calderas**

<b>Consumo agua [m<sup>3</sup>/mes]</b>	
<b>Mes 1</b>	4,923
<b>Mes 2</b>	5,217
<b>Mes 3</b>	5,328
<b>Mes 4</b>	5,472
<b>Mes 5</b>	5,020
<b>Promedio</b>	5,192

**Fuente: Elaboración propia**

Se observar un consumo promedio de agua en el sistema de calderas de 5,192 [m<sup>3</sup>] mensual. Que si se compara contra un mes promedio de 25 días (domingos detenidos) en los cuales la planta funciona 24 horas por día, y se considera el promedio de 8.4 [ton/hr] de funcionamiento calculado anteriormente, se tiene que al mes se consumiría 5,040 [m<sup>3</sup>] de agua. Esto comprueba una coherencia entre las mediciones horarias y mensuales realizadas.

Con estos datos aun no es posible tener una estimación exacta de la generación de vapor que se está entregando a la planta, ya que a pesar de que sabemos que el agua consumida o más bien agua de reposición total como se menciona en el marco teórico, no tenemos un control de las perdidas por purgas, en vapor y/o condensado. Además, por temas de simplicidad y conocimiento de que el condensado es casi nulo por la forma de operar con el vapor de los equipos, solo se considera el agua eliminada mediante la purga.

#### Estimación de purgas

Para la estimación de purgas habrá que tomar más de un método en cuenta, ya que no existe mediciones del flujo de agua que se elimina mediante este sistema de mantenimiento del agua dentro de la caldera.

Es importante resaltar que según expertos que trabajan en el área de mantención e ingeniería, los caldereros e incluso el gerente del área, tienen considerada y estimada una purga cercana al 10% respecto al agua de reposición a la caldera.

Por su parte, mediante el método que relaciona los estudios de calidad del agua en cuanto a impurezas, ya sea cloruros, alcalinidad u otro, más los ciclos de concentración, es posible obtener resultados bastante distintos a cuanto realmente se está purgando o estimaciones previas.



Para este cálculo, se toman informes de análisis de varios meses sobre la calidad del agua de alimentación y dentro de las calderas, realizados por Narco, con lo que podremos obtener los ciclos de concentración y por ende el porcentaje que se debiese estar purgando de agua para que esos números sean reales. En la siguiente tabla se puede ver los análisis de cloruros respectivos para cada caldera y agua de alimentación en [PPM], usando la relación de la ecuación 3 y la ecuación 7 ya descritas en marco teórico.

**Tabla. 11 Ciclos de concentración de calderas**

<b>Muestra [PPM]</b>	<b>Junio</b>		<b>Julio</b>		<b>Agosto</b>		<b>Septiembre</b>		<b>Octubre</b>	
<b>Caldera NaCL</b>	620	620	630	625	620	620	630	630	640	640
<b>Alimentación NaCL</b>	140		120		136		145		120	
<b>Ciclos de concentración</b>	4.4	4.4	5.3	5.2	4.6	4.6	4.3	4.3	5.3	5.3
<b>Purga</b>	23%	23%	19%	19%	22%	22%	23%	23%	19%	19%

Fuente: Elaboración propia

Durante todos los meses que se tienen como base para estimación de purga de la Tabla. 11, los análisis muestran que para esos resultados la purga debe estar siendo el doble de lo estimado por experiencia. el porcentaje de purga promedio es de 21% respecto del agua de alimentación según análisis de cloruros. Este número no es menor y es el doble de lo pensado en un principio, no se puede afirmar que sea la purga que se está realizando, pero si da para creer que es más de lo que se tenía pensado en un principio.

Dado que la purga estimada por experiencia y expertos en el tema, como la calculada por análisis de agua difieren, para el cálculo de generación de vapor estimada se tomará en cuenta una purga promedio entre ambas, la cual será de un 16%. Este número se sustenta en que al ser las purgas manuales y sin control, puede que el rango calculado por los dos métodos simplemente sea una muestra en la irregularidad de precisión de purga que realizan los caldereros dados sus análisis instantáneos de conductividad.

### Vapor de agua

Para poder calcular la producción de vapor de agua de las calderas solo hacía falta poder tener cuanto del suministro de agua se consideraría purgado. Por lo tanto, la generación de vapor será el consumo de agua menos el porcentaje de agua que se pierde en purga (16%) quedando los resultados de la Tabla. 12:

Se puede observar que la producción por hora de vapor saturado varía bastante al igual que el caso del consumo de agua que es obviamente debido al mismo fenómeno. El máximo consumo de vapor saturado fue de 13.5 [Ton/hr] y el mínimo de 1.7 [Ton/hr]. Además, de toda la data recolectada se obtuvo un promedio de 7.0 toneladas por hora de generación de vapor por el sistema de calderas.



**Tabla. 12 Perfil de consumo de vapor (18 días)**

<b>Generación de vapor 18 días - [Kg/hr]</b>						
	1	2	3	4	5	6
<b>Máx</b>	12,669	10,135	<b>13,514</b>	11,824	9,291	8,446
<b>Mín</b>	4,223	3,378	2,534	2,534	5,068	3,378
	7	8	9	10	11	12
<b>Máx</b>	10,135	12,669	9,291	9,291	10,135	10,135
<b>Mín</b>	3,378	5,912	5,068	5,068	<b>1,689</b>	5,912
	13	14	15	16	17	18
<b>Máx</b>	12,669	12,669	10,135	9,291	10,135	10,135
<b>Mín</b>	5,912	5,068	3,378	5,068	2,534	3,378

Fuente: Elaboración propia

Nuevamente para obtener a nivel mensual cuanto se genera de vapor, y así poder hacer calculo luego de la eficiencia global de la caldera, se aplicará la sustracción de la purga al consumo de agua mensual, quedando los resultados de la Tabla. 13.

**Tabla. 13 Producción vapor mensual**

<b>Producción vapor [Ton/mes]</b>	
<b>Mes 1</b>	4,158
<b>Mes 2</b>	4,406
<b>Mes 3</b>	4,500
<b>Mes 4</b>	4,622
<b>Mes 5</b>	4,240
<b>Promedio</b>	4,385

Fuente: Elaboración propia

Se observar una generación promedio de vapor de 4,385 [Ton] mensual. Que si se compara contra un mes promedio de 25 días (domingos detenidos) en los cuales la planta funciona 24 horas por día, y se considera el promedio de 7.0 [ton/hr] de funcionamiento calculado anteriormente, se tiene que al mes se produciría 4,258 [Ton] de vapor saturado. Esto comprueba una coherencia entre las mediciones horarias y mensuales realizadas.

En cuanto a cuanto porcentaje del vapor producido es para la planta de producción y cuanto para el proceso de desgasificación, utilizando una ecuación simple podremos obtener el porcentaje estimado de vapor usado. Igualaremos el calor requerido para llevar el agua de 25°C a 98°C aproximadamente, y con esto podremos obtener la relación de vapor sobre el agua de entrada a la caldera.

La siguiente ecuación representa la relación,



$$\dot{m}_a \cdot \Delta T \cdot C_p = \dot{m}_v \cdot h_g, \quad (12)$$

donde,

- $\dot{V}_{a,v}$  = volumen de agua y vapor, respectivamente
- $\Delta T$  = diferencial de temperatura de agua
- $C_p$  = calor específico agua [kcal/kg · C]
- $h_{g,f}$  = entalpía [kcal/kg] del vapor a 7.5bar y agua a 100°C

De donde al remplazar los valores correspondientes, se obtiene el porcentaje de vapor sobre la entrada de agua a la caldera, siendo;

$$\frac{\dot{V}_v}{\dot{V}_a} = \frac{\Delta T \cdot C_p}{h_g - h_f} = \frac{73 \cdot 1}{461} \approx 15\%$$

Con esto finalmente, tenemos que para el precalentamiento del agua se está utilizando un 15% del volumen de agua de entrada, en forma de vapor saturado. Esto es, considerando la purga estimada, de toda el agua que entra al sistema de calderas, solo un 69% se va hacia la planta en forma de vapor, el resto se pierde en purga (16% de agua de entrada) o se usa como vapor de precalentamiento (17% de vapor generado).

#### 4.4.2. Consumo de Gas Natural

El consumo de gas natural de la caldera, el cual es el combustible y principal fuente de energía para poder convertir toda el agua suministrada en vapor saturado, es el principal agente de la operación debido a su alto costo. Ya ha sido mencionado con anterioridad que este combustible es operado por Metrogas, quien es responsable de la instalación hacia la sala de calderas, medidores y equipos relacionados al suministro de este importante agente. El consumo de gas natural que se tiene para el mismo periodo que las mediciones de agua consumida, es el siguiente de la Tabla. 14:

**Tabla. 14 Consumo de gas natural**

Gas natural	[m <sup>3</sup> ]	Factor de corrección	[m <sup>3</sup> ] <sub>equivalente</sub>
Mes 1	326,814	0.9933	324,637
Mes 2	336,504	0.9933	334,263
Mes 3	349,441	0.9931	347,023
Mes 4	357,779	0.9986	357,289
Mes 5	325,172	0.9977	324,434
Promedio	339,149	0.9952	337,529

Fuente: Elaboración propia



El volumen a utilizar finalmente será el equivalente que esta corregido para mayor exactitud, el cual depende de las variables externas como presión, temperatura y poder calorífico del gas durante el mes de emisión, es un valor entregado por Metrogas en cada facturación.

No fue necesario tomar mediciones de consumo de gas horaria, ya que como será utilizado para calcular la eficiencia y costo del vapor actual de la operación, tomar periodos de tiempo más largos genera que el margen de error en el cálculo se reduzca notablemente.

#### 4.4.3. Costo del Vapor

El costo del vapor es un factor muy importante en el momento de la elección de una nueva caldera para la operación. Finalmente, aparte de la confiabilidad de funcionamiento para la continua operación que necesita mantener la planta de producción para poder suplir la demanda, es importante que el cambio de calderas genere un beneficio económico para poder así justificar la alta inversión que significa. Es por esto, que entre todos los agentes involucrados en la generación de vapor debe haber alguno el cual sea capaz de generar un ahorro versus el panorama actual, especialmente en los relacionados con la eficiencia de la caldera como los son el combustible, las pérdidas, el agua y su tratamiento.

Para poder hacer una estimación del costo del vapor, se tomarán los mismos 5 meses de referencia que se tienen para los consumos de agua y gas. Con estos costos sumados al gasto de electricidad y tratamiento de agua obtendremos el costo variable de la tonelada de vapor. Además de esto, existe un costo fijo el cual está compuesto por la mano de obra, mantención y depreciación de las calderas, el cual también será calculado para tener una idea del costo global de generar la tonelada de vapor. Es importante tener los costos separados ya que, para después poder tener una base de comparación adecuada y precisa, se compararán los costos que tengan mayor impacto y que realmente sea un factor variable dentro del costo de generación.

En la siguiente Tabla. 15 se resumen los costos variables y fijos promedio de 5 meses, con lo que a su vez, al tener la generación mensual promedio de 5 meses, podemos estimar cuanto es el costo de la generación de una tonelada de vapor actual. En Anexo 7 se puede revisar la tabla completa mes a mes.

Como se puede apreciar, el costo actual de la tonelada de vapor que se estimó mediante el promedio de costo y consumo mensual, es de \$23.567. Es importante notar que el único costo que tiene realmente importancia e impacto dentro de la generación de vapor, es el gas natural. Este agente dentro del proceso de generación de vapor representa un 90% del costo total, lo que quiere decir que, al buscar un ahorro notorio para poder justificar el cambio de equipos, debe estar enfocado en este punto, lo cual tiene directa relación con la eficiencia global de una caldera.



Tabla. 15 Costo de vapor

Costo variable	Costo unitario		Consumo medio mensual
Agua napa	\$ 350	[1/m <sup>3</sup> ]	\$ 1,817,200
Gas natural	\$ 277	[1/m <sup>3</sup> ]	\$ 93,495,588
Electricidad	\$ 85	[1/kW]	\$ 1,893,120
Tratamiento agua			\$ 740,000
Vapor generado		[Ton]	4385
<b>Costo fijo</b>			
Mano de obra	\$ 2,900,000		
Depreciación	\$ 1,800,000		
Mantenimiento	\$ 700,000		
<b>Costo variable</b>	\$ 22,336	[1/Ton]	
<b>Costo fijo</b>	\$ 1,231	[1/Ton]	
<b>Costo total vapor</b>	\$ 23,567	[1/Ton]	

Fuente: Elaboración propia

Dado lo anterior, es importante considerar el costo actual de gas natural por tonelada de vapor, el cual es **\$21,321**. Además de esto, es posible rescatar que la relación de gas natural y vapor es 77, lo cual indica que, por cada tonelada de vapor producida, se utilizarían 77 [m<sup>3</sup>] de gas natural.

Todos estos costos fueron tomados de facturas reales, y serán los mismos valores a utilizar en las siguientes secciones del estudio donde se compararán los equipos versus sistema actual. Además, expertos e industria similares confirmaron que sus costos están en el orden estimado, lo que corrobora un buen calculo estimado del precio de la tonelada de vapor en CIAL Alimentos.

#### 4.4.4. Eficiencia Global del Sistema de Calderas

Para seguir obteniendo y estimando el panorama inicial de CIAL Alimentos en cuanto a su generación de vapor, este ítem es uno de los más importantes para poder tener una referencia de cómo se están comportando los equipos en la operación. Como fue explicado en el marco teórico, la eficiencia habla de cómo se está aprovechando la energía química presente en el combustible y transfiriéndose hacia el agua para poder generar el vapor saturado. Para este cálculo, se utilizará el método directo de estimación de eficiencia, donde veremos cuanto del calor del gas natural es aprovechado por el agua que entra y sale de las calderas.

Claramente hay muchos factores que afectan la eficiencia, y puede ser que no solo sea problema directo de la caldera, el quemador o el sistema en sí, el cual podría no estar óptimamente correcto. Es por esto que



este punto debe tomarse seriamente ya que solo intervenir en la caldera podría no ser la mejor solución, o la más eficiente.

Para poder realizar estos cálculos se necesitarán saber los siguientes datos, ya mencionados en marco teórico y que muestran el método directo de cálculo de eficiencia global, los cuales son entalpía de agua de entrada, entalpía de vapor de salida, poder calorífico de combustible, consumo de gas y producción de vapor. Los datos se obtuvieron de tablas de vapor comunes en la web o en la literatura afín.

En la siguiente Tabla. 16 puede ver la eficiencia para los 5 meses de prueba:

**Tabla. 16 Rendimiento calderas**

RENDIMIENTO GLOBAL		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Prom
Presión de trabajo	bar	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Entalpía agua entrada @98°C	kcal/kg	98	98	98	98	98	98
Producción de vapor	Ton/mes	4,158	4,406	4,500	4,622	4,240	4,385
Consumo de combustible	Nm <sup>3</sup> /mes	324,637	334,263	347,023	357,289	324,434	337,529
PCS Gas natural	kcal/Nm <sup>3</sup>	9,300	9,300	9,300	9,300	9,300	9,300
Entalpía vapor @7.0 bar	kcal/kg	661	661	661	661	661	661
Eficiencia global (PCS)	%	78%	80%	79%	78%	79%	79%

Fuente: Elaboración propia

Como ya fue mencionado, con el método directo de cálculo de eficiencia, se estimó la eficiencia mensual y se obtuvo que el promedio es 79%. Se consideró una entrada de agua a 98°C, y una salida de vapor a 7.0 [bar], lo que al observar las cartas de vapor se tiene que las entalpías son 98 [kcal/kg] y 661 [kcal/kg], respectivamente. Es importante mencionar que para este cálculo según la literatura se debe usar el poder calorífico inferior del combustible (PCI), pero esta vez se utilizó el poder calorífico superior del gas natural, esto debido a que Metrogas calcula mediante un factor de corrección el volumen de gas utilizado basado en el poder calorífico superior. Por lo tanto, para este caso particular al usar el volumen corregido de gas, es posible hacer el cálculo con este valor a diferencia de la teoría que se hace con valores teóricos totalmente.

#### 4.4.5. Emisiones de NO<sub>x</sub>

Actualmente la planta de producción 1 de CIAL Alimentos que es donde se está llevando a cabo este estudio, cuenta con cierto permiso de cantidad de emisiones anuales de NO<sub>x</sub> por cada caldera de vapor que tiene en la operación. Esta cantidad asciende a las 8 toneladas al año para cada una. Es importante tener en cuenta que estas fuentes de emisiones consideradas de mayor emisor de NO<sub>x</sub> tienen que cumplir con esta normativa o las sanciones pueden afectar la producción debido a estrictas mediciones realizadas periódicamente a las calderas.



Actualmente, la caldera N°1 según análisis y mediciones periódicas realizadas por JHG Servicios Ambientales Ltda, está emitiendo una concentración medida de 60.4 [ppm] de NO<sub>x</sub> en sus gases de escape, lo que, al traducirlo según el tiempo de funcionamiento de 288 días al año durante 24 horas, equivale a 5.8 toneladas al año, lo que cumple con lo establecido.

En el caso de la caldera 2, los números son diferentes. Esta caldera funciona más tiempo al año y además a mayor carga, por lo que las emisiones de NO<sub>x</sub> están muy cerca a las 8 toneladas permitidas para esta fuente al año. Hay que tener especial cuidado al adquirir la nueva caldera ya que la empresa no tiene intenciones de compensar, como se establece por la ley en caso de pasar las 8 toneladas anuales.

Esto es debido a lo estipulado por el ministerio de salud en documento que establece el procedimiento de acreditación del cumplimiento de las metas individuales de emisión y compensación de óxidos de nitrógeno, donde se exige que;

$$EAP = EAC + EAD, \quad (13)$$

donde,

EAP: Emisión anual permitida.

EAC: Emisión anual compensada.

EAD: Emisión anual declarada.



## 5. Requerimientos Mínimos para Nueva Caldera

Este capítulo está destinado a crear, en base al levantamiento de información, una serie de requerimientos a exigir en una nueva caldera de vapor. Estos a su vez, están en función de poder cumplir con los estándares de generación de vapor y poder seleccionar una caldera entre opciones válidas y admisibles para CIAL Alimentos. Desde la información entregada acá, los proveedores serán capaces de saber cuáles ofertar, para así tener distintas opciones para poder evaluar y seleccionar la mejor para la planta de producción.

Primero se estimará la característica principal, la cual es la capacidad máxima de generación de vapor, la cual en una inversión de estas características debe ser pronosticada para un largo plazo, y así luego seguir con las características generales en cuanto tipos, presiones, condiciones de uso, entre otras.

Cabe destacar, que el supuesto de este estudio es el reemplazo de la caldera N°1, la más pequeña y poco confiable que posee la planta actualmente, por una caldera de supla toda la demanda de vapor, para así, la caldera grande (N°2), quede como respaldo en caso de falla o periodos de mantención no programada. Esto se basa principalmente en el espacio disponible dentro de la sala de calderas, y debido a que no es posible hacer cambio de la ubicación por limitaciones de espacio y legales.

### 5.1. Capacidad de Generación de Vapor

La capacidad de generar vapor se podría decir que es el criterio más básico e importante sobre el cual se pueden comenzar a mirar opciones de calderas. Finalmente, la capacidad de producir vapor será el límite con que la planta puede operar y producir sus productos de aquí a un largo plazo. A su vez, no es llegar y comprar una caldera sobredimensionada que jamás se utilizará su carga máxima o cercana, ya que podría arruinar la eficiencia, ser una inversión demasiado grande y a muy lenta recuperación por ahorros, o ya simplemente no ser una opción por espacio.

Es por esto que la capacidad necesaria será estimada de la siguiente forma, primero mediante un cálculo de crecimiento esperado de la producción y la relación que tiene con el uso del vapor, y a esto, calculando el porcentaje de sobre-vapor necesario para más uso, debido al precalentamiento con vapor para el proceso de desgasificación. En este punto también es importante tomar en cuenta que en esta época una caldera nueva, si o si integrará un economizador, el cual hará parte del trabajo que actualmente lo hace el vapor de precalentamiento. Por esto se puede hacer una estimación general de cuanto menos porcentaje de vapor será destinado a este proceso de desgasificación, lo cual no tiene sentido en hacerlo en cada nueva propuesta de caldera ya que la variación debiese ser muy poco en cuanto al uso de vapor para precalentar, al tener distintos economizadores.

Para esto, se intentó crear una relación entre lo que es el vapor utilizado y las toneladas de producción a nivel mensual, pero no existe coherencia con los datos debido a que la eficiencia con la que se utilizan los



equipos de calentamiento con vapor en cuanto a llenarlos y así utilizar la máxima capacidad del equipo y aprovechar al máximo la energía, no es regulada.

Al ser información confidencial, no es posible mostrar los datos de producción histórica, crecimiento o expectativas a futuro, solo se puede usar un estimativo entregado por la empresa que pretende mostrar una sutil realidad y dar un horizonte a este estudio. El número entregado en porcentaje de crecimiento en uso de vapor que ellos esperan es de un 2% anual, lo que debe considerarse que además para precalentamiento tenemos otro porcentaje de aumento en vapor total generado (17%) como ya ha sido mencionado.

Para esto la matemática que se aplicará será quitar el porcentaje de consumo de precalentado al historial que se tiene, y a ese consumo de la planta se aumentará 2% anual, para luego sobre eso aplicar un 17% más de vapor para el precalentado del agua, y así obtener tener una estimación de capacidad media requerida máxima a un horizonte de 20 años. Esto es para poder tener una idea de cómo el promedio se relaciona con el máximo de capacidad instalada por los equipos la cual es 17 [Ton/hr], la cual no debería variar debido a que la planta en espacio e instalaciones, se encuentra casi al máximo, los hornos ya están sobredimensionados considerando que el promedio de uso de vapor es la mitad de capacidad máxima y el peak máximo es de 13.5 [Ton/hr].

El cálculo de uso medio de vapor por la planta al horizonte estipulado, sería el siguiente;

$$V_m^{20} = V_m^{\bar{x}} \cdot (1 + 0.02)^{20}, \quad (14)$$

donde,

$V_m^{20}$  = volumen de vapor requerido a 20 años.

$V_m^{\bar{x}}$  = volumen medio actual de consumo de vapor por CIAL Alimentos.

Este cálculo refleja que 6,388 [Ton/mes] será el volumen estimado mensual de uso de vapor en un horizonte de 20 años, lo que se traduce en 11.6 [Ton/hr] el uso medio de vapor a futuro, tomando 23 días de operación mensual a 24 horas. Considerando que la planta utilizará 17 [Ton/hr] en caso extremo y máximo de carga al sistema de vapor, y además tomando en cuenta un 17% es parte del vapor para precalentar el agua del sistema, se obtiene un valor total de vapor requerido de 19.8 [Ton/hr] necesario a futuro en caso de seguir con el mismo tipo de configuración de sistema que utiliza un alto porcentaje del vapor para precalentamiento. Con esto se estima que la capacidad necesaria de una nueva caldera para poder suplir las demandas dentro de los próximos 20 años, es de una caldera capaz de generar un máximo de 20 [Ton/hr]. Es importante mencionar, que una caldera de 20 toneladas de capacidad, no trabajará al límite y está sujeto a un factor de riesgo no explícito. Este factor de riesgo considerado, es que la necesidad de precalentar el agua con vapor disminuirá considerablemente, ya que cualquier sistema nuevo de generación de vapor a



considerar, deberá contar con un equipo economizador para el precalentamiento del suministro de agua, y así, aprovechar el calor perdido en los gases de escape. Para graficarlo más sencillo, del máximo considerado como peak a 20 años de 19.8 [Ton/hr], debería disminuir un 7-8% aproximadamente, por lo que no debería superar las 18.7 [Ton/hr] de vapor durante una posible máxima de carga, la cual con adecuadas planificaciones de producción tampoco debería suceder.

## 5.2. Requerimientos Generales

Como primer requerimiento para la nueva caldera, ya teniendo claro las condiciones en las que deberá operar de aquí al horizonte que se pretende estudiar, es el tipo de caldera que se adecua mejor a operar en y para la planta 1 de CIAL Alimentos. Estas opciones a discutir son básicamente dos, una es la opción pirotubular y la otra la acuotubular, ya mencionadas en la sección calderas del marco teórico.

### 5.2.1. Comparación Caldera Acuotubular y Pirotubular

#### Características Físicas

A continuación, se expondrán diversos aspectos que son el resultado directo de los respectivos principios de diseño: contenidos de agua, acumulaciones, características de la carga parcial.

En relación con la capacidad térmica generada, la caldera pirotubular contiene mucha más agua que la caldera acuotubular. Por lo tanto, la caldera pirotubular es más resistente ante las fluctuaciones de vapor o demandas de vapor que excedan temporalmente la producción nominal de la caldera. Aparte de un aumento a corto plazo de la humedad del vapor, no cabe esperar otros efectos; no debe preverse una influencia negativa de la transferencia térmica. Este comportamiento inofensivo, no es el característico de las calderas acuotubulares en virtud de su diseño. Las fluctuaciones en la presión tendrán una influencia inevitable sobre los cambios en la densidad.

Un factor esencial en relación con la duración de las calderas de vapor es el número de arranques del quemador. En este sentido, es decisivo – aparte de un ajuste adecuado de la caldera/sistema también el nivel de carga mínima que puede producir la caldera. En el caso de ciertos diseños de calderas acuotubulares generadoras de vapor sobrecalentado, esta carga mínima corresponde con la mínima capacidad técnica proporcionada por el quemador. En las calderas acuotubulares, la carga mínima del quemador no puede normalmente proyectarse a la caldera ya que la reducción del caudal másico en la zona de agua, influye negativamente sobre la transferencia térmica causando efectos no deseados de avería por calor excesivo, con un rango de flujos térmicos elevados.



## Costes y Tiempo

Siempre y cuando puedan cubrirse determinados requerimientos mediante diversos modelos de calderas pirotubulares, la elección de una caldera pirotubular representa una alternativa más económica, si los niveles de costes de fabricación y de calidad son comparables. Por otra parte, los plazos de entrega, así como el tiempo necesario para instalar la planta son más reducidos.

Por regla general, las calderas pirotubulares ofrecen un mayor rendimiento que las calderas acuotubulares. Esto ocurre también mientras están funcionando ya que pueden someterse a operaciones de mantenimiento con facilidad durante su funcionamiento; es decir, las calderas pirotubulares se caracterizan por una mayor economía también mientras funcionan.

Los anteriores aspectos se encuentran resumidos en la Tabla. 17 presentada a continuación:

**Tabla. 17 Comparación calderas pirotubulares y acuotubulares**

<b>Criterios</b>	<b>Pirotubulares</b>	<b>Acuotubulares</b>
<b>Calidad del agua</b>	Menores exigencias, posible funcionamiento con salinidad del agua	Mayores exigencias, es necesario un bajo nivel de salinidad para su funcionamiento
<b>Mantenimiento</b>	Fácil de limpiar	Más costoso
<b>Revisiones</b>	Inspección ordinaria	Pruebas costosas en tiempo y dinero
<b>Costes para niveles comparables de gasto fabricación/calidad</b>	Menores	Mayores
<b>Eficiencia</b>	Mayor	Menor
<b>Funcionamiento a Carga parcial</b>	Puede aprovecharse el control del quemador cuando caiga por debajo de la carga mínima, el quemador puede apagarse sin problemas	En el caso de determinados diseños, debe limitarse la carga parcial; el quemador no puede apagarse manualmente
<b>Contenido agua</b>	Mayor, debido a su diseño	Menor
<b>Plazo entrega</b>	Corto	Más largo
<b>Tiempo de puesto en marcha y montaje</b>	Reducido	Más prolongado
<b>Presión funcionamiento</b>	Altas	Más bajas

Fuente: Bosch

En cuanto a eficiencia, durabilidad y mantenimiento de la caldera, además de utilizar una presión muy baja de vapor, ya se tienen argumentos y base necesaria para optar por una caldera pirotubular como las que se utilizan actualmente en la planta. Es muy importante el tema de las fluctuaciones en carga y que se puedan



regular de buena forma, por eficiencia y daño a la caldera, ya que se pudo observar las grandes variaciones en el uso diario por hora de consumo de vapor, su máximo y mínimo es muy alejado.

Además, podemos agregar argumentos de tratamiento de agua y mantenimiento menos costoso, debido a sus bajos requerimientos en calidad versus la acuotubular, y su fácil acceso al interior de sus componentes.

Un tema importante pero no excluyente de tomar la decisión, es que las calderas pirotubulares tienen más posibilidades, bajo un mal uso y mantención, de explotar y causar daños gigantescos. Una caldera acuotubular solo podría llegar a explotar un tubo, lo que no provoca daño. A pesar de esto, la industria que utiliza este tipo de condiciones de vapor para sus procesos, opta por la pirotubular por eficiencia y costo, además se debe tomar en cuenta la experticia y medidas de seguridad que ya se tienen consideradas por años para evitar este tipo de catástrofe. Además de que se usan bajas presiones en los procesos de la planta 1 de CIAL Alimentos.

(BOSCH, 2016)

### 5.2.2. Otras Características

Un punto el cual incentiva al cambio de calderas de la planta, es el ahorro que esto puede generar para pagar la inversión y luego disminuir costos. Un accesorio importante y excluyente al elegir una nueva caldera, es que implemente **purgas automáticas**. Como ya se ha mencionado en la sección del marco teórico sobre purgas automáticas, estos accesorios son vitales para la eficiencia y seguridad con la que opera la caldera, por lo tanto, un buen sensor de calidad del agua para extracción ya sea de materiales sumergidos por el fondo o de sólidos disueltos, medidos mediante análisis de conductividad, sean realizados por sensores y válvulas automáticas y no por mano humana, ya que esto desencadena en pérdida de calor en exceso. Esto asegurara eficiencia en ahorro de combustible y agua, como también en seguridad en la operación de la caldera, ya que la calidad del agua puede causar muchos defectos en el equipo de generación de vapor, en la red de vapor y en los productos.

Un tema de diseño de la caldera, el cual el gerente del área de ingeniería y mantención de CIAL explicitó como importante, es el fondo de la caldera. El fondo de la caldera se puede clasificar como wet back, fondo húmedo y calderas dry back, de fondo seco. El diseño de la caldera de fondo húmedo cuenta con una cámara de fuegos que está revestida, o completamente rodeada de agua, que se utiliza para dirigir los gases de combustión del horno a los bancos de tubos. Las calderas de fondo seco, poseen la cámara de fuegos con una pared trasera que está revestida con refractario, que pasa los gases de combustión desde el horno a múltiples láminas de tubos y refleja el calor del quemador, dando como resultado pérdidas de radiación al exterior. El diseño seco de la caldera trasera utiliza una lámina de tubo trasero común y cuenta con acceso conveniente al lado del fuego y al agua.



La ventaja de una caldera de fondo húmedo, es poseer mayor área de superficie humedecida en comparación con la zona de combustión, de modo que se puede absorber más calor de los gases de combustión. Otra ventaja es que, dependiendo de la circulación interna de la caldera, se permite una convección natural alrededor de la caldera que reduce las tensiones térmicas. Con esta característica, se puede traducir que la vida de la caldera, y su mantenibilidad será mejor debido a que sufre menos daño durante la operación, además de usar mejor los gases calientes. Esta característica es requerimiento por eficiencia, durabilidad y mantención, y por exigencias de CIAL Alimentos.

La caldera, además, debe ser del tipo dual en cuanto al combustible que puede utilizar el quemador. Esto debido a que la caldera no puede detenerse por problemas de suministro de combustible, a pesar de que generalmente y en caso de no tener problemas, solo utilizara el gas natural como principal. El otro que está habilitado en la sala de calderas actual, la cual será la misma a utilizar, es para petróleo. Por lo tanto, dada las condiciones existentes y disminución de obras civiles involucradas en el cambio de calderas, se espera contar con calderas que sean capaces de operar mediante estos dos tipos de suministros de combustible. Además, el gas natural por sus características en cuanto a poder calorífico y emisiones, debe ser si o si según CIAL Alimentos el combustible base de la operación de generación de vapor saturado. Se quiere además, tener una eficiencia continua a diferentes cargas de funcionamiento, por lo que un quemador modular será importante para poder variar la intensidad de la combustión dado el uso de vapor de la planta, y no desperdiciar combustible con un quemador eficiente solo a ciertas cargas.

Sumado a los accesorios básicos de toda caldera como de observación, seguridad, alimentación de agua, de limpieza, de control y eficiencia que se mencionaron en la sección calderas del marco teórico, será indispensable esta vez que la caldera cuente con accesorios extras que permitan medir los flujos de agua, vapor saturado y combustible utilizado, para poder llevar un mejor control de cómo esta funcionando la red de vapor de la planta y su comportamiento sin tener que recurrir a cálculos engorrosos y estimaciones complejas como para el estudio realizado en este trabajo. Todo para tener de manera sencilla información de consumos y gastos, eficiencia y uso del vapor por los gerentes del área y usuarios de las calderas.

Otro accesorio que, si o si debe tener la caldera nueva por un tema de eficiencia, es un economizador. Gracias a esto el calor cedido por el combustible podrá ser aprovechado mediante este equipo el cual tomara ventaja de los gases de escape para cooperar en el precalentamiento del agua, ahorrando vapor de agua que es utilizado para este proceso. A la vez, esto genera un margen de vapor generado disponible as alto para los procesos de la planta, ya que no se desviará al precalentamiento en el desgasificador el mismo porcentaje actual de vapor.

El tamaño también es un factor importante que debe tomarse en cuenta, ya que, como se describe anteriormente, el espacio a utilizar es la misma sala de calderas y cuenta con límites de espacio. La nueva caldera solo suplantara la caldera a reemplazar y la otra quedara donde mismo, por lo tanto, el espacio que



se tiene, solo posee cabida para una caldera de medidas 9x4x4 [m], lo que refiere a largo, ancho y alto respectivamente.

En la siguiente Tabla. 18, se resumen todos los requerimientos mínimos que deberán presentar las ofertas de a calderas nuevas para la planta 1 de CIAL Alimentos.

**Tabla. 18 Requerimientos mínimos nueva caldera**

<b>Requerimientos mínimos nueva caldera</b>	
<b>Fluido</b>	Vapor saturado
<b>Tamaño máximo (Largo x Ancho x Alto)</b>	10x4x4 [m]
<b>Tipo</b>	Piro-tubular
<b>Presión de trabajo medio</b>	7.0 [bar]
<b>Capacidad máxima desde</b>	19.5 [Ton/hr]
<b>Eficiencia desde, a distintas cargas</b>	90%
<b>Quemador</b>	Dual modulante
<b>Combustibles</b>	GN/Oil
<b>Fondo caldera</b>	Húmedo
<b>Accesorios extras</b>	
Medidor flujo combustible, agua, vapor y gases, economizador y purgas automáticas de superficie y fondo. (accesorios básicos no se mencionan, tales como presostatos, válvulas seguridad, termómetros, manómetros, alarma, entre otros)	

Fuente: Elaboración propia



## 6. Selección de Calderas

### 6.1. Criterios de Selección

A pesar de que los criterios al momento de pensar en una caldera industrial para la operación de una planta son muchos, en el caso de este proyecto se enfocará solo en aquellos que tengan verdadera repercusión e impacto para la empresa en términos de economía y confiabilidad. Esto, debido a que la sección requerimientos ya acotó al tipo de caldera y sus características a las cuales se apunta, solo falta discernir entre la mejor opción de las ofertas.

Generalmente cuando se desea elegir una caldera hay muchos detalles en los cuales fijarse, desde el material, la forma de construcción hasta el diámetro de tuberías. En el caso de este estudio, se trabajará con representantes de ventas de ciertas marcas de generadores y se evaluarán criterios más relacionados a eficiencias, dimensiones, calidad, tecnologías y generación de ahorros, es decir, más globales y no detalles técnicos sobre la construcción.

Los criterios deben considerar las demandas de temperatura de los equipos que usan vapor, los consumos ya sea los máximos, mínimos y medios. Además, debe tomarse en cuenta accesorios extras, componentes y dimensiones de la caldera. Esto acompañado de un análisis económico basado en el impacto generado por el ahorro de mejorar la caldera en cuanto a eficiencia. Es importante también tomar en cuenta la experiencia de la marca y empresas clientes de éstas, como también los costos post ventas y mantenibilidad de la caldera. Es por esto que se filtrará primero las calderas que cuenten con los requerimientos mínimos, para luego ser comparadas en el impacto de cada una a futuro y poder seleccionar la que conlleve a más ahorros y beneficios para la planta.

La clasificación de calderas y su potencia individual solo se puede realizar bajo la carga mínima, máxima y media esperada. Los aspectos de seguridad de funcionamiento también son importantes a este respecto, pero no deben ser el único criterio a tener en cuenta.

En resumen a lo mencionado, para seleccionar el generador de vapor en este proyecto se tomarán en cuenta los requerimientos mínimos del capítulo anterior, y luego los siguientes;

- Eficiencia a consumo de vapor máximo y mínimo, y promedio actual y futuro (diferentes cargas).
- Dimensión respecto de sala de calderas.
- Necesidades en cuanto accesorios extras para mejorar condiciones de trabajo de calderero y su seguridad, es decir, más extras versus el costo entre las opciones.
- Confiabilidad y experiencia real que se pueda conseguir.
- Emisiones anuales de  $\text{NO}_x$ .
- Ahorros en cuanto a valor de tonelada de vapor generado.



- Costo de la inversión en cuanto a valor equipos, transporte, puesta en marcha, obras civiles, certificaciones, pruebas y servicios extras.
- Servicio de instalación y post venta.

## 6.2. Ofertas de Proveedores

Los proveedores a solicitar ofertas de calderas, fueron elegidos debido a razones de tener representación en Chile, ser marcas conocidas y con prestigio por años, y recomendaciones de gerencia de CIAL Alimentos, gente que lleva años en el rubro industrial trabajando con este tipo de equipos.

Las empresas, luego de ser informadas con las necesidades y requerimientos mínimos de CIAL Alimentos, enviaron ofertas técnicas y económicas con las calderas y opciones que más se adecuan a la necesidad propuesta. Las empresas y calderas que finalmente entraron a ser consideradas a evaluación, se observan en la siguiente Tabla. 19;

**Tabla. 19 Proveedores de calderas contactados**

<b>Marca</b>	Bosch	Powermaster	Steam Matic	Cleaver Brooks	Hurts Boiler
<b>Representante</b>	<i>Bosch Chile</i>	<i>Autoflame</i>	<i>Autoflame</i>	<i>ISA Equipos Térmicos Ltd</i>	<i>Thermal Engineering</i>

Fuente: Elaboración propia

Dentro de las propuestas de cada empresa, se integra una oferta técnica que contiene detalles de las calderas como características, eficiencias, accesorios, dimensiones, flujos y suministros, materiales y emisiones entre otras cosas. Además de esto, se integra a la propuesta la oferta económica, donde se muestra el valor del equipo y cada accesorio por separado, los valores de transporte, de instalación, de puesta marcha, pruebas iniciales, detalles de certificaciones, y todo costo asociado a adquirir la caldera y ponerla en funcionamiento. En las siguientes secciones se evaluarán primeramente las características técnicas de las calderas, para luego las que sean más aptas y adecuadas a los necesario por CIAL Alimentos, se evaluará para ver qué tan rentables son económicamente, y si lo son todas, cual es la que generara mayores beneficios económicos sustentables en el tiempo.

## 6.3. Evaluación Técnica

A continuación (Tabla. 20), se mostrarán las opciones de calderas con las que se cuenta y sus respectivas características, las cuales serán las más relevantes para poder discriminar en primera instancia cuales son las opciones que se adecuan más a la planta de CIAL Alimentos. Todas las ofertas técnicas vienen en diferentes formatos, unidades y muestran distinta información, por lo que, se precisa crear un cuadro resumen para poder comparar de igual a igual los criterios relevantes técnicos de los generadores.



Tabla. 20 Comparación técnica de calderas ofrecidas

Marca:	Bosch	Bosch	Powermaster	Steam Matic	Cleaver Brooks	Hurts Boiler
Modelo:	UL-S 18000	UL-S 17000	CE-1091-P	SG 1500/12	BL-200-1300	SE – GA2
<b>Caldera</b>						
Tipo	Pirotubular	Pirotubular	Pirotubular	Pirotubular	Pirotubular	Pirotubular
Capacidad vapor nominal [Kg/hr]	20,000	19,000	20,000	20,000	19,565	20,000
Presión media servicio [bar]	7	7	7	7	7	7
Tipo de fondo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo
Número de pasos	3	3	3	3	4	3
Quemador	Dual modulado	Dual modulado	Dual modulado	Dual modulado	Dual modulado	Dual modulado
Combustibles	GN/Oil	GN/Oil	GN/Oil	GN/Oil	GN/Oil	GN/Oil
Rendimiento GN (carga baja, media, alta) %	94.5/94.6/94.7	95.0/95.1/95.2	94/95/96	94/95/96	90.4-91.8	94
Rendimiento OIL (carga baja, media, alta) %	94.6/94.7/94.8	95.1/95.2/95.3	94/95/96	94/95/96	90.3-91.7	94
Dimensión (LargoxAnchoxAlto) [m]	9.9x3.4x3.7	9.9x3.4x3.6	10.2x3.8x4.1	10.3x3.9x3.9	10.4x3.9x4.0	9.4x3.7x3.9
Peso [Kg]	33,740	33,484	37,789	39,936	38,770	36,456
Emisiones NOx garantizadas (GN) [mg/Nm3]	72	75	84	84	80	78
Caudal gases de escape [m <sup>3</sup> /h]	15,769	14,902	15,776	15,896	14,804	14,902
<b>Accesorios extras</b>						
Purgas automáticas	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Medidor conductividad	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Medidor flujo vapor	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Medidor flujo suministro agua	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Medidor flujo combustible	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Medidor flujo gases escape	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Panel de control táctil de caldera	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Bombas modulantes	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Acceso remoto	Si	Si	No	No	Si	No
Economizador (ECO)	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Temperatura de agua de entrada [°C]	80	80	85	85	85	85
Temperatura de agua de salida [°C]	131	133	100	100	100	100
Necesidad de tratamiento de agua nuevo	Si	Si	Desaireador	Desaireador	Desaireador	Si
<b>Otros</b>						
Plazo entrega	28 semanas	35 semanas	16 semanas	16 semanas	13 semanas	25 semanas
Certificaciones	Si	Si	Si	Si	extra	no
Puesta en marcha	Si	Si	Si	Si	extra	Si
Pruebas iniciales	Si	Si	Si	Si	extra	Si

Fuente: Elaboración propia



Se puede observar que todas las opciones de calderas cumplen con los requerimientos mínimos que se esperaban y exigieron, para poder ser parte de la evaluación a considerar. Todas poseen eficiencias sobre el 90%, y además de los accesorios básicos que vienen por defecto, todas incluyen los extras estipulados como convenientes para la operación de la generación de vapor en CIAL Alimentos.

A primera vista, la caldera Bosch UL-S 17000, a pesar de su excelente calidad por trayectoria e increíble eficiencia, quedará descartada por no tener la capacidad máxima de generación de vapor nominal adecuada la cual por seguridad debe ser al menos de 19.5 toneladas por hora.

Además, por problemas de espacio dentro de la sala de calderas y por ser la menos eficiente en un porcentaje considerable, a pesar de estar dentro del rango pedido, la caldera Cleaver Brooks también será descartada desde un principio.

Como fue descrito en el marco teórico sobre emisiones, existe un máximo anual que se pueden generar por caldera, y además se pueden compensar en caso de sobre pasarse de estos. Para el caso de CIAL Alimentos, por políticas de la empresa y por ser un requisito de la gerencia de ingeniería y mantenimiento, no se pretende generar un plan de compensación, por lo que, se deberá asegurar una caldera que cumpla el requisito anual de 8 toneladas máximo de emisiones de NO<sub>x</sub>. es por este motivo que se generó la siguiente Tabla. 21, donde se puede observar las emisiones anuales de cada equipo, todo fundado en el cálculo de emisiones mencionado en sección 3.5.3, del marco teórico.

**Tabla. 21** Calculo de emisiones calderas nuevas

Emisiones NO <sub>x</sub>	Bosch	Bosch	Powermaster	Steam Matic	Cleaver Brooks	Hurts Boiler
	UL-S 18000	UL-S 17000	CE-1091-P	SG 1500/12	BL-200-1300	SE – GA2 – 1000 – 150
[mg/nm <sup>3</sup> ]	72	70	84	84	80	78
<b>Emisiones anuales[Ton/año]</b>	7.8	7.2	9.1	9.2	8.2	8.0

Fuente: Elaboración propia

Esta información está en base a 24 días de funcionamiento a 24 horas mensuales por 12 meses, lo cual se extrae de la base utilizada actualmente para realizar las mediciones de emisiones en la planta.

Automáticamente, este detalle técnico deja fuera a las calderas Powermaster y Steam Matic, ya que no se puede correr el riesgo de no cumplir las normativas, la cual es medida de esta misma manera.

Técnicamente, a pesar de ser todas calderas de calidad y que se adecuan de cierta forma a lo solicitado, se pueden rescatar solo las opciones Bosch UL-S 18000 y la caldera Hurts, para así poder realizar el proyecto adecuándose lo más posible a las condiciones reales en las que se operan estos sistemas y no tener que intervenir zonas donde CIAL Alimentos no siente necesidad y prefiere ahorrar el trabajo.



Es imposible no considerar que, en caso de poder compensar emisiones, las calderas Steam Matic y Powermaster tienen características técnicas y eficiencias de excelencia, por lo que se considerarían dentro de la evaluación económica de todas maneras.

La post venta y mantenciones de todas las opciones de calderas no se tomará como criterio debido a similitud a panorama actual y entre éstas.

## **6.4. Evaluación Económica**

En esta sección se evaluará la factibilidad económica del proyecto en estudio, donde mediante los flujos esperados en base a ahorros, se desprenderá información necesaria para tener una mejor visión de cada una de las opciones y su viabilidad.

Para poder estimar el ahorro que significará cada opción en estudio, se calculará el costo del vapor basado en combustible, el cual representa un 90% del costo total, y así poder ver los flujos de aquí al horizonte de estudio. Para esto será necesario tener el valor de la inversión, la tasa de descuento de CIAL Alimentos y la estimación de consumo de toneladas de vapor a futuro.

### **6.4.1. Costo de Inversión**

La inversión en una caldera nueva no solo se basa en el costo del equipo en sí, también hay equipos periféricos, obras civiles, costos de instalación, certificaciones y obras civiles entre otros. Es por esto que se pretende tener una estimación de cada opción y su costo total, todo esto basado en las ofertas económicas y estimaciones de ciertos costos como las obras civiles, basados en proyectos anteriores y facilitados para este estudio por la jefa de proyectos de obras civiles de CIAL Alimentos. Básicamente, estas estimaciones de obras civiles están dadas por un costo de instalación de la caldera, y las variaciones entre estas es por la cantidad de equipos periféricos o complementarios que van dentro de la adquisición de cada una de las calderas o por solicitar un layout de la sala de calderas muy distinto a lo que se tiene actualmente.

En la siguiente Tabla. 22 se puede observar las opciones de las calderas a evaluar, con sus respectivos costos asociados.

Se aprecian muy variadas las inversiones iniciales de cada una de las opciones, pero observar solo el costo no dice nada acerca de cuál podría finalmente convenir. Por ejemplo, la caldera Bosch, es considerada como una de las mejores a nivel mundial, se tienen testimonios y experiencias de empresas que las utilizan y que recomiendan debido a su confiabilidad, calidad y rápida recuperación de la inversión. Un tema muy complicado en este rubro, es la certificación de las calderas, quemadores y permisos, por lo que, más que el costo en sí, el trámite y complicación de que el servicio no incluya este papeleo, complica a CIAL Alimentos a inclinar su decisión sobre la caldera Hurts, aun siendo la más económica.



Tabla. 22 Costo de inversión de opciones de calderas

	<b>Bosch</b>	<b>Powermaster</b>	<b>Steam Matic</b>	<b>Hurts Boiler</b>
	<i>UL-S 18000</i>	<i>CE-1091-P</i>	<i>SG 1500/12</i>	<i>SE – GA2</i>
Caldera	€ 331,988	\$ 213,616	\$ 228,485	\$ 126,450
Tratamiento agua	€ 101,705	\$ 63,457	\$ 63,457	\$ 11,150
Otros equipos	€ 7,032	\$ 104,739	\$ 104,739	\$ 69,950
Transporte	€ 45,165	\$ 32,345	\$ 33,489	\$ 45,000
<b>Subtotal 1</b>	<b>€ 485,890</b>	<b>\$ 414,157</b>	<b>\$ 430,170</b>	<b>\$ 252,550</b>
Obras civiles	CLP 18,000,000	CLP 28,000,000	CLP 28,000,000	CLP 32,000,000
Puesta en marcha	CLP -	CLP 3,000,000	CLP 3,000,000	CLP 2,680,000
Pruebas iniciales	CLP -	CLP -	CLP -	CLP 5,025,000
Certificaciones	CLP -	CLP -	CLP -	No incluye
<b>Subtotal 2</b>	<b>CLP 18,000,000</b>	<b>CLP 31,000,000</b>	<b>CLP 31,000,000</b>	<b>CLP 39,705,000</b>
<b>Total CLP</b>	<b>CLP 360,552,450</b>	<b>CLP 308,485,190</b>	<b>CLP 319,213,900</b>	<b>CLP 208,913,500</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido a que las ofertas vienen dadas en euro y dólares, dependiendo el proveedor, se toma como referencia un promedio del valor de estos de la primera semana de diciembre de 2016 según Bol Chile, siendo estos:

- Dólar: CLP 670
- Euro: CLP 705

#### 6.4.2. Costo del Vapor y Ahorro

Dentro de esta sección es necesario establecer algunos supuestos para poder hacer una estimación real y confiable de los ahorros que se obtendrán a partir del cambio de la caldera.

El método que se utilizará en para este cálculo, será calcular con la ecuación de la eficiencia global de una caldera, el caudal de gas dada las condiciones de funcionamiento de la caldera y su rendimiento según las ofertas técnicas. Una vez obtenido este caudal, se podrá calcular la cantidad de gas que se utilizará para generar una tonelada de vapor de agua saturada, y así el costo asociado a la generación. Se puede ver la formula a utilizar en la siguiente ecuación, la cual deriva de la ecuación 8 del marco teórico, siendo;

$$\text{Caudal de Gas Natural} = \frac{P_v \cdot (H_v - h_{fe})}{\eta \cdot PCI}, \quad (15)$$

El supuesto ya mencionado en otras secciones, pero el más importante para el cálculo de costos y ahorros, es que todo se basará en el combustible. Esto debido a que es el 90% del costo de la generación de vapor, y además es lo más preciso de estimar. Por ejemplo, el costo de ahorro en energía eléctrica debido a contar



con bombas modulantes, o el tener purgas automáticas que debiesen decrecer la tasa de perdida de agua y calor, es muy complejo de estimar a priori, y costos muy despreciables versus lo que impacta el combustible y su eficiencia. También el supuesto se basa en el uso solo de gas natural por defecto, el diésel (Oil) solo se considera como backup en caso muy especiales.

Para el cálculo de caudal de combustible se utilizarán los siguientes datos para todos los cálculos (Tabla. 23).

**Tabla. 23 Datos para cálculos de caudal de combustible de nuevas calderas**

<b>Entalpia out (7,0 bar)</b>	<i>kcal/Kg</i>	661
<b>PCI gas natural</b>	<i>kcal/m3</i>	8,378
<b>Costo gas natural</b>	<i>\$/m3</i>	277
<b>Vapor medio mensual</b>	<i>Ton/mes</i>	4,385
<b>Consumo medio gas natural</b>	<i>m3/mes</i>	337,529
<b>Costo tonelada vapor actual</b>	<i>\$</i>	21,321

Fuente: Elaboración propia

Con esta información y mediante la ecuación 15, se puede encontrar el costo de tonelada de vapor de todas las opciones de calderas, y así poder luego ver cuál de todas impacta más en la operación de generación de vapor. La siguiente Tabla. 24 resume las estimaciones correspondientes a cada una de las calderas evaluadas como opciones más concretas a seleccionar.

**Tabla. 24 Costos y ahorros de gas en generación de vapor**

	<b>Bosch</b>	<b>Powermaster</b>	<b>Steam Matic</b>	<b>Hurts Boiler</b>
<b>Entalpia de agua entrada [kcal/kg]</b>	131	100	100	100
<b>Caudal Nominal Gas [m<sup>3</sup>/h]</b>	1,337	1,410	1,410	1,425
<b>Caudal Nominal Vapor [m<sup>3</sup>/h]</b>	20	20	20	20
<b>m<sup>3</sup> Gas natural/Ton vapor</b>	67	70	70	71
<b>Eficiencia media</b>	94.6%	95%	95%	94%
<b>Costo gas por tonelada vapor</b>	CLP 18,523.55	CLP 19,524.44	CLP 19,524.44	CLP 19,732.15
<b>Ahorro vs costo actual</b>	CLP 2,797.45	CLP 1,796.56	CLP 1,796.56	CLP 1,588.85
<b>% ahorro vs costo actual</b>	13%	8%	8%	7%

Fuente: Elaboración propia

De esta información, podemos ver que la caldera Bosch a pesar de ser la que compromete una inversión más alta, genera un 6% más de ahorro que el resto de las opciones de calderas. El ahorro finalmente será el flujo de cada periodo, después de ser multiplicado por el vapor a producir en el periodo según las



estimaciones correspondientes, es decir, mientras más producción y uso de vapor, mayor será el flujo del periodo.

Esto es debido a que a pesar de tener una eficiencia similar, el agua de entrada a la caldera es a temperatura más alta, lo cual es debido a un mejor equipo economizador, el cual recupera más calor y más eficiente desde los gases de escape.

Para poder evaluar dentro del horizonte establecido y poder ver obtener indicadores financieros del proyecto para así evaluar la viabilidad económica, se utilizará la suposición del 2% de crecimiento anual en uso de vapor saturado como ya descrito en la sección de capacidad de generación de vapor, pero esta vez se hará una disminución del porcentaje de vapor utilizado para precalentamiento del agua de entrada a la caldera desde el 17% a un 13.5%. Esta disminución de 3.5% es un promedio, ya que, los economizadores de las mayorías de las calderas evaluadas, cooperaran y el vapor de precalentamiento tendrá que encargarse de levantar el agua de suministro entre 15-20 °C menos, lo que se traduce en un 3-4% aproximado menos de lo que ocurre actualmente. Esto es importante ya que finalmente el ahorro se produce por tonelada de vapor generado, es decir, es totalmente proporcional a la cantidad de vapor que se genere el impacto en ahorro para los flujos futuros del proyecto.

Importante recordar que todo calculo y evaluación será versus y sobre situación actual, todo costo o valor que no cambia o es despreciable respecto a la base de hoy en día, será obviada debido a que no será un flujo que impacte en el estudio.

### **6.4.3. Estimación de Indicadores Financieros**

Para la estimación de los indicadores a utilizar en la evaluación de estos proyectos, tales como el VAN, la TIR y payback, se utilizará un horizonte de tiempo de 20 años, y una tasa de descuento de un 7%, lo cual exige CIAL Alimentos para evaluar sus calderas dada la experiencia previa.

Los ingresos de los flujos serán en base a ahorro en gas natural, y los egresos serán dados por la inversión inicial. Es importante destacar que los costos de mantenciones programadas son similares y no generan diferencia a lo actual o entre las opciones, por lo que serán obviados dentro de los flujos, ya que el interés es observar cómo se comporta el ahorro en combustible sobre la inversión y así poder justificarla.

Los flujos de cada caldera mensual y anual se pueden observar en Anexo 1y Anexo 3. Cabe destacar que, para la empresa, el payback en este proyecto es muy importante, tiene un peso muy grande ya que les interesa un pronto auto-pago del nuevo equipo, además de solo evaluar con capital propio, no se permite una inversión apalancada por alguna institución financiera para este caso.



En cuanto a los resultados para las opciones, se puede observar la siguiente Tabla. 25 como resumen, donde todos los cálculos fueron realizados por formulas integradas en Excel sobre los flujos anuales del proyecto:

**Tabla. 25 Indicadores económicos para cada opción de caldera**

<b>Equipo</b>	<b>Payback (mes)</b>	<b>VAN</b>		<b>TIR</b>	<b>RCB</b>
<b>Bosch</b>	34	CLP	1,307,227,703	42%	28%
<b>Powermaster</b>	47	CLP	767,615,279	32%	40%
<b>Steam Matic</b>	48	CLP	757,588,447	31%	42%
<b>Hurts Boiler</b>	35	CLP	738,594,014	41%	28%

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que todas las opciones poseen VAN positivos, TIR mayores a la tasa de descuento y una relación costo-beneficio (RCB) menor a 100%, por lo tanto, todas las alternativas son viables del punto de vista económico.

Al observar el periodo de recuperación de inversión (Payback), se puede asumir que las dos mejores opciones, para suplir requerimientos de CIAL Alimentos en cuanto a periodo de recuperación de inversión, son las calderas Bosch y Hurts Boiler. Claramente entre estas dos opciones, el beneficio a largo plazo, debido a mayores flujos de ahorro en cada periodo, lidera la caldera Bosch con casi el doble de rentabilidad dentro del horizonte evaluado.

#### 6.4.4. Análisis de Sensibilidad para Precio del Gas Natural

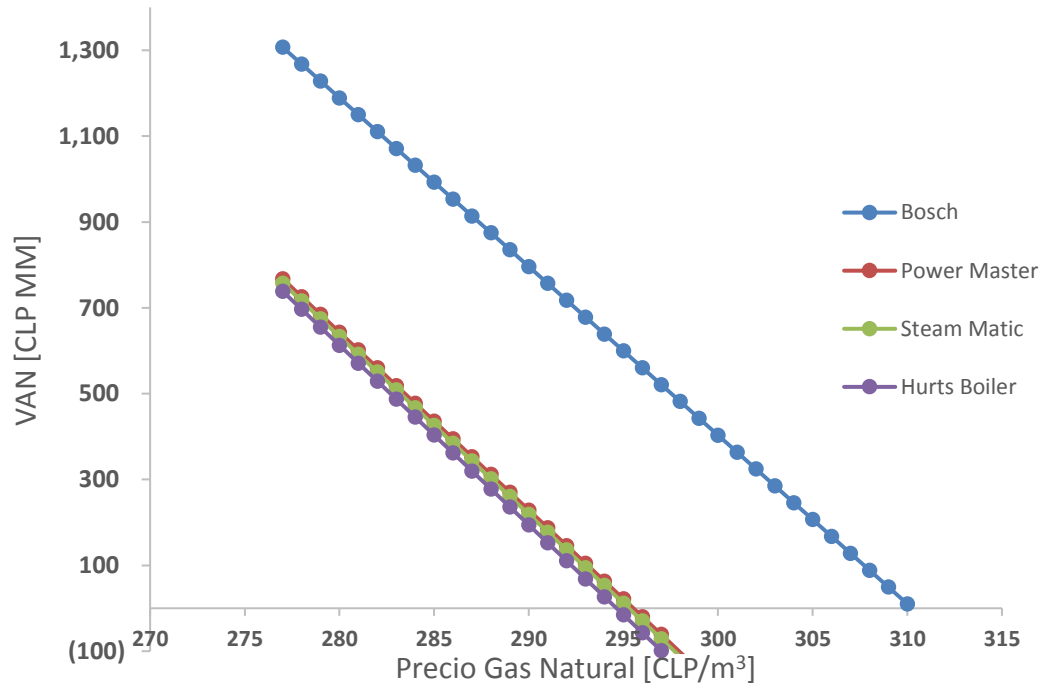
Como ya ha sido mencionado en reiteradas ocasiones dentro del estudio, el gas natural es la base y mayor porcentaje del costo (90%) para la generación del vapor, por lo tanto, la variación del precio de este suministro podría generar grandes impactos en los flujos e indicadores del proyecto. Esta posible variación no impactaría la decisión de cual opción tomar, sino hasta donde le proyecto del cambio de calderas soportaría para cada una de estas.

El precio establecido para el estudio por metro cubico de gas natural es de \$277, lo que si disminuyera no impactaría más que con más beneficio del esperado para cada opción. Por otra parte, el peligro vendría en caso de que el precio de este suministro esencial se dispare sobre cierto nivel, y el VAN o rentabilidad de la inversión ya no sea positiva.

Por lo tanto, se realizó el siguiente análisis para las opciones, donde se puede estimar hasta qué punto el precio podría variar, y cual opción tiene mayor capacidad de aguantar esta variación aun siendo rentable, es decir, VAN positivo.



Tabla. 26 Análisis sensibilidad del VAN respecto a variación de precio de gas natural



Fuente: Elaboración propia

Al desprender la información mostrada en el gráfico (Tabla. 26), se puede ver que la caldera Bosch podría aguantar siendo un proyecto aún posible de efectuar hasta un precio de gas natural igual a \$310 por metro cubico, es decir, aguanta \$33 de variación al alza. En cuanto a las opciones Powermaster y Steam Matic, solo aguantan hasta una variación de \$19, es decir, hasta \$296 por metro cubico de gas. Por último, la opción de caldera Hurts Boiler, según esta estimación, el precio máximo del gas podría ser \$295, solo \$18 de variación.

Nuevamente la caldera Bosch al tener mayor rango de variación del suministro más importante y base de estudio de este proyecto, toma la delantera como la opción menos riesgosa en cuanto a fluctuaciones de precios del combustible.



## 7. Conclusiones (Propuesta de selección caldera)

Dada la solicitud de CIAL Alimentos de asesoría sobre estudio técnico-económico para estimar mejor opción de caldera de vapor saturado para reemplazar en su planta de producción N°1, ubicada en Américo Vespucio 2341, Pudahuel, Santiago, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

Primeramente, se logró hacer la estimación base de cómo está funcionando actualmente la planta en cuanto a la red de vapor, de lo cual no se tenía registro ni estimaciones certeras como para poder afrontar un cambio de calderas y su respectivo estudio de factibilidad ya sea económica y técnica. De este primer capítulo de levantamiento se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla. 27):

**Tabla. 27 Levantamiento y cálculos de información actual**

<b>Capacidad máxima nominal planta [Ton/hr]</b>	17.3
<b>Vapor generado máximo [Ton/hr]</b>	13.5
<b>Vapor generado mínimo [Ton/hr]</b>	1.7
<b>Vapor generado medio [Ton/hr]</b>	7.0
<b>Vapor medio mensual [Ton/mes]</b>	4,385
<b>Purga media</b>	16%
<b>Costo total tonelada vapor</b>	CLP 23,567
<b>Costo gas natural tonelada vapor</b>	CLP 21,321
<b>Eficiencia media global sistema de calderas</b>	79%

Fuente: Elaboración propia

Esta información se logró obtener mediante mediciones y estimación por cálculos en base a la literatura explicada en el marco teórico de este trabajo. Con esta información se pudo obtener un perfil de consumo de vapor, para saber en cuanto oscila el uso y así poder solicitar una caldera capaz de funcionar eficientemente entre el máximo y mínima de carga, además poder proyectar según crecimiento estimado entregado por la empresa en su consumo de vapor (2% anual), el máximo necesario de aquí al horizonte estudiado. Es importante también recalcar que, gracias a poder estimar eficiencia y costo de vapor, fue posible realizar el estudio económico, ya que, es totalmente en base a la situación actual, por lo tanto, crucial saber y estimar las condiciones aquí descritas. Gracias a este levantamiento, se fijó como ahorro base para los flujos de la evaluación económica, el gas natural, el cual representa el 90% del costo de la tonelada de vapor y así, por cada peso de ahorro en la tonelada de vapor generada por la nueva caldera, se traduciría en un flujo positivo, por lo que mientras más vapor se genere, mayor será el flujo del periodo. Además, debido a que los ahorros producidos por las purgas automáticas en cuanto a agua, o el producido por bombas nuevas modulantes en energía eléctrica, son ahorros sumamente despreciables al lado del costo del gas natural y su ahorro, se dejaron fuera de la evaluación económica. Por su parte, las nuevas calderas y las actuales requieren mantenimientos similares en costo y frecuencia, por lo tanto, no es un costo que varíe de un escenario a otro y se considera también despreciable.



Gracias a este levantamiento y recolección de información, se logró concretar una serie de requerimientos para la nueva caldera, considerando la proyección de crecimiento y condiciones de trabajo, resumida en la siguiente Tabla. 28:

**Tabla. 28 Estimaciones y requerimientos calculados y estudiados sobre situación actual y futura de red de vapor**

<b>Requerimientos mínimos nueva caldera</b>	
<b>Fluido</b>	Vapor saturado
<b>Tamaño máximo (LargoxAnchoxAlto)</b>	10x4x4 [m]
<b>Tipo</b>	Pirotubular
<b>Presión de trabajo medio</b>	7.0 [bar]
<b>Capacidad máxima desde</b>	19.5 [Ton/hr]
<b>Eficiencia desde, a distintas cargas</b>	90%
<b>Quemador</b>	Dual modulante
<b>Combustibles</b>	GN/Oil
<b>Fondo caldera</b>	Húmedo
<b>Accesorios extras</b>	
Medidor flujo combustible, agua, vapor y gases, economizador y purgas automáticas de superficie y fondo. (accesorios básicos no se mencionan, tales como presostatos, válvulas seguridad, termómetros, manómetros, alarma, entre otros)	

Fuente: Elaboración propia

Las características más bien técnicas ya fueron discutidas en el capítulo anterior, y la tabla refleja lo solicitado y recomendado para la empresa como el tipo de caldera, el tipo de fondo y la presión necesaria para operar. Las condiciones de combustibles y dimensiones máximas son debido a que se pretende seguir con las instalaciones ya puestas es la sala actual de calderas de CIAL Alimentos.

Dentro de las opciones que llegaron ofertas técnicas y económicas (Tabla. 29), se realizó un filtro por criterios técnicos y económicos, del cual se concluyó lo siguiente.

**Tabla. 29 Ofertas de calderas post requerimientos mínimos**

<b>Marca</b>	Bosch	Bosch	Powermaster	Steam Matic	Cleaver Brooks	Hurts Boiler
<b>Representante</b>	<i>Bosch Chile</i>	<i>Bosch Chile</i>	<i>Autoflame</i>	<i>Autoflame</i>	<i>ISA Equipos Térmicos Ltd</i>	<i>Thermal Engineering</i>
<b>Modelo:</b>	UL-S 18000	UL-S 17000	CE-1091-P	SG 1500/12	BL-200-1300	SE – GA2

Fuente: Elaboración propia

La caldera que cumple con todos los requerimientos técnicos en cuanto a calidad, emisiones, capacidad, accesorios extras, dimensiones, certificaciones y garantía de eficiencia, es la caldera Bosch UL-S 18000.



La segunda opción era la caldera Hurts Boiler, la cual solo no cumple con incluir las certificaciones necesarias, lo cual es un contra desde el lado de CIAL Alimentos debido a su complejidad y dificultad de realizar por su cuenta. Las demás se desecharon técnicamente debido a dimensiones, emisiones o baja eficiencia dentro del abanico de opciones.

Junto a esto, posteriormente en el estudio económico se corroboró la decisión, ya que, a pesar de que todas las opciones evaluadas mostraron tener flujos positivos y eran opciones a ser seleccionadas, la misma caldera Bosch UL-S 18000 tomó la delantera con mayor ahorro en cuanto al costo de producción de la tonelada de vapor (en cuanto a gas, con 13% menos sobre costo actual), por lo tanto, con un VAN mucho más prometedor (Tabla. 30), además de una recuperación de capital de solo 34 meses, prioridad a solicitud de la empresa, por lo que resulta en ser la caldera que debe ser propuesta como a seleccionar. Otro punto a favor de esta caldera, es que tiene mayor capacidad de resistir al alza del gas natural, con un 12% de alza en el costo de este suministro el proyecto sigue siendo posible de realizar según el análisis de sensibilidad realizado en el capítulo anterior (Tabla. 26).

**Tabla. 30 Resumen estudio económico**

<b>Equipo</b>	<b>Payback (mes)</b>	<b>VAN</b>	<b>TIR</b>	<b>RCB</b>
<b>Bosch</b>	34	CLP 1,307,227,703	42%	28%
<b>Powermaster</b>	47	CLP 767,615,279	32%	40%
<b>Steam Matic</b>	48	CLP 757,588,447	31%	42%
<b>Hurts Boiler</b>	35	CLP 738,594,014	41%	28%

**Fuente: Elaboración propia**

Finalmente, después de levantar información necesaria, estudiar mejores opciones de calderas y sus requerimientos, calcular necesidades a futuro y evaluar la mejor opción ofertada por proveedores, se puede concluir que la empresa debe seleccionar la caldera Bosch UL-S18000 para su planta N°1, y reemplazar así, la actual caldera N°1 para poder aumentar la confiabilidad y rentabilidad de la operación de su red de vapor.



## 8. Referencias

- ACHS. (2012). Agua alimentación calderas. Santiago.
- ACHS. (2012). Descripción de Calderas y Generadores de Vapor. Santiago.
- ACHS. (2012). Potencia y rendimiento caldera.
- Annaratone, D. (2007). *Steam Generators*. Springer.
- Bosch. (2012). Industrial boiler technology for begginers.
- BOSCH. (2016). Informe técnico, Comparativa de caldera pirotubular y acuotubular.
- Bowser, T. J. (2013). *Steam Basics for Food Processors*.
- CIAL Alimentos. (2016). Obtenido de <http://www.cial.cl/>
- CONUEE. (2009).
- Estructplan. (2011). *Estructplan online*. Obtenido de <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2953>
- Fenercom. (2012). Calderas industriales eficientes. Madrid.
- Global Combustion Systems. (2016). *NOx measurement*. Obtenido de <http://www.globalcombustion.com/nox-measurement/>
- IEEE, ANDI, cooperacion alemana. (2016). Calderas y sistemas de vapor.
- IES Estelas de Cantabria. (2016). EFICIENCIA ENERGÉTICA DE INSTALACIONES.
- IMA. (2016). *Dpto. Instalación y Mantenimiento CIFP Tecnológico Industrial de León*. Obtenido de <http://www.imacifp.com/wp-content/uploads/2014/10/4.-Generadores-de-calor..pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2014). Carnes y Cecinas en Chile.
- La Tercera. (27 de abril de 2011). *Alberto Kassis y compra de Winter: "Sin volumen, en este rubro es muy complejo competir"*.
- Metrogas. (2016). *Metrogas*. Obtenido de [www.metrogas.cl](http://www.metrogas.cl)
- National Boiler Service. (2016). *National Boiler Service*. Obtenido de [Ways to Measure Industrial Boiler Efficiency: http://www.nationalboiler.com/blog/uncategorized/ways-to-measure-industrial-boiler-efficiency/](http://www.nationalboiler.com/blog/uncategorized/ways-to-measure-industrial-boiler-efficiency/)
- ODESIE. (2016). *THE INDUSTRIAL WIKI*. Obtenido de <https://www.myodesie.com/wiki/index/returnEntry/id/3061#Fire-tube Boilers>
- SISTEAGUA. (2011). *Trataminto calderas de vapor*. Obtenido de <https://paginas.seccionamarilla.com.mx/sistemas-de-filtracion-y-purificacion-para-agua-sisteagua/purificadores-de-agua/distrito-federal/ciudad-de-mexico/alvaro-obregon/jose-maria-pino-suarez/>
- Thermal Engineering LTDA. (2016). Reduccion de NOx en Calderas.
- TLV. (Septiembre de 2016). *TLV, compañía especialista en vapor*. Obtenido de <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/>



## 9. Anexos

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8
Ahorro Bosch	\$ 11,121,379	\$ 11,121,379	\$ 11,121,379	\$ 11,121,379	\$ 11,121,379	\$ 11,121,379	\$ 11,121,379	\$ 11,121,379
Ahorro Powermaster	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276
Ahorro Steam Matic	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276
Ahorro hurts Boiler	\$ 6,316,530	\$ 6,316,530	\$ 6,316,530	\$ 6,316,530	\$ 6,316,530	\$ 6,316,530	\$ 6,316,530	\$ 6,316,530
Mes	9	10	11	12	13	14	15	16
Ahorro Bosch	\$ 11,121,379	\$ 11,121,379	\$ 11,121,379	\$ 11,121,379	\$ 10,601,689	\$ 10,601,689	\$ 10,601,689	\$ 10,601,689
Ahorro Powermaster	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525
Ahorro Steam Matic	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 7,142,276	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525
Ahorro hurts Boiler	\$ 6,316,530	\$ 6,316,530	\$ 6,316,530	\$ 6,316,530	\$ 6,021,365	\$ 6,021,365	\$ 6,021,365	\$ 6,021,365
Mes	17	18	19	20	21	22	23	24
Ahorro Bosch	\$ 10,601,689	\$ 10,601,689	\$ 10,601,689	\$ 10,601,689	\$ 10,601,689	\$ 10,601,689	\$ 10,601,689	\$ 10,601,689
Ahorro Powermaster	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525
Ahorro Steam Matic	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525	\$ 6,808,525
Ahorro hurts Boiler	\$ 6,021,365	\$ 6,021,365	\$ 6,021,365	\$ 6,021,365	\$ 6,021,365	\$ 6,021,365	\$ 6,021,365	\$ 6,021,365
Mes	25	26	27	28	29	30	31	32
Ahorro Bosch	\$ 10,106,283	\$ 10,106,283	\$ 10,106,283	\$ 10,106,283	\$ 10,106,283	\$ 10,106,283	\$ 10,106,283	\$ 10,106,283
Ahorro Powermaster	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370
Ahorro Steam Matic	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370
Ahorro hurts Boiler	\$ 5,739,993	\$ 5,739,993	\$ 5,739,993	\$ 5,739,993	\$ 5,739,993	\$ 5,739,993	\$ 5,739,993	\$ 5,739,993
Mes	33	34	35	36	37	38	39	40
Ahorro Bosch	\$ 10,106,283	\$ 10,106,283	\$ 10,106,283	\$ 10,106,283	\$ 9,634,026	\$ 9,634,026	\$ 9,634,026	\$ 9,634,026
Ahorro Powermaster	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081
Ahorro Steam Matic	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,490,370	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081
Ahorro hurts Boiler	\$ 5,739,993	\$ 5,739,993	\$ 5,739,993	\$ 5,739,993	\$ 5,471,769	\$ 5,471,769	\$ 5,471,769	\$ 5,471,769
Mes	41	42	43	44	45	46	47	48
Ahorro Bosch	\$ 9,634,026	\$ 9,634,026	\$ 9,634,026	\$ 9,634,026	\$ 9,634,026	\$ 9,634,026	\$ 9,634,026	\$ 9,634,026
Ahorro Powermaster	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081
Ahorro Steam Matic	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081	\$ 6,187,081
Ahorro hurts Boiler	\$ 5,471,769	\$ 5,471,769	\$ 5,471,769	\$ 5,471,769	\$ 5,471,769	\$ 5,471,769	\$ 5,471,769	\$ 5,471,769
Mes	49	50	51	52	53	54	55	56
Ahorro Bosch	\$ 9,183,838	\$ 9,183,838	\$ 9,183,838	\$ 9,183,838	\$ 9,183,838	\$ 9,183,838	\$ 9,183,838	\$ 9,183,838
Ahorro Powermaster	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965
Ahorro Steam Matic	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965
Ahorro hurts Boiler	\$ 5,216,079	\$ 5,216,079	\$ 5,216,079	\$ 5,216,079	\$ 5,216,079	\$ 5,216,079	\$ 5,216,079	\$ 5,216,079
Mes	57	58	59	60				
Ahorro Bosch	\$ 9,183,838	\$ 9,183,838	\$ 9,183,838	\$ 9,183,838				
Ahorro Powermaster	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965				
Ahorro Steam Matic	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965	\$ 5,897,965				
Ahorro hurts Boiler	\$ 5,216,079	\$ 5,216,079	\$ 5,216,079	\$ 5,216,079				

Anexo 1 flujo mensual ahorro gas



Mes	1	2	3	4	5	6	7	8
Ahorro Bosch	\$ 11,121,379	\$ 22,242,759	\$ 33,364,138	\$ 44,485,517	\$ 55,606,897	\$ 66,728,276	\$ 77,849,655	\$ 88,971,035
Ahorro Powermaster	\$ 7,142,276	\$ 14,284,553	\$ 21,426,829	\$ 28,569,105	\$ 35,711,381	\$ 42,853,658	\$ 49,995,934	\$ 57,138,210
Ahorro Steam Matic	\$ 7,142,276	\$ 14,284,553	\$ 21,426,829	\$ 28,569,105	\$ 35,711,381	\$ 42,853,658	\$ 49,995,934	\$ 57,138,210
Ahorro Hurts Boiler	\$ 6,316,530	\$ 12,633,060	\$ 18,949,590	\$ 25,266,120	\$ 31,582,650	\$ 37,899,180	\$ 44,215,710	\$ 50,532,240
<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>
CLP 100,092,414	\$ 111,213,793	\$ 122,335,173	\$ 133,456,552	\$ 144,058,241	\$ 154,659,929	\$ 165,261,618	\$ 175,863,307	\$ 186,464,996
CLP 64,280,487	\$ 71,422,763	\$ 78,565,039	\$ 85,707,316	\$ 92,515,841	\$ 99,324,366	\$ 106,132,891	\$ 112,941,416	\$ 119,749,941
CLP 64,280,487	\$ 71,422,763	\$ 78,565,039	\$ 85,707,316	\$ 92,515,841	\$ 99,324,366	\$ 106,132,891	\$ 112,941,416	\$ 119,749,941
CLP 56,848,770	\$ 63,165,300	\$ 69,481,830	\$ 75,798,360	\$ 81,819,725	\$ 87,841,090	\$ 93,862,455	\$ 99,883,820	\$ 105,905,185
<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>
\$ 197,066,684	\$ 207,668,373	\$ 218,270,062	\$ 228,871,750	\$ 239,473,439	\$ 250,075,128	\$ 260,676,817	\$ 270,783,099	\$ 280,889,382
\$ 126,558,466	\$ 133,366,991	\$ 140,175,516	\$ 146,984,041	\$ 153,792,566	\$ 160,601,091	\$ 167,409,616	\$ 173,899,986	\$ 180,390,356
\$ 126,558,466	\$ 133,366,991	\$ 140,175,516	\$ 146,984,041	\$ 153,792,566	\$ 160,601,091	\$ 167,409,616	\$ 173,899,986	\$ 180,390,356
\$ 111,926,550	\$ 117,947,915	\$ 123,969,280	\$ 129,990,645	\$ 136,012,010	\$ 142,033,376	\$ 148,054,741	\$ 153,794,733	\$ 159,534,726
<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>
\$ 290,995,665	\$ 301,101,947	\$ 311,208,230	\$ 321,314,513	\$ 331,420,795	\$ 341,527,078	\$ 351,633,361	\$ 361,739,643	\$ 371,845,926
\$ 186,880,726	\$ 193,371,095	\$ 199,861,465	\$ 206,351,835	\$ 212,842,204	\$ 219,332,574	\$ 225,822,944	\$ 232,313,313	\$ 238,803,683
\$ 186,880,726	\$ 193,371,095	\$ 199,861,465	\$ 206,351,835	\$ 212,842,204	\$ 219,332,574	\$ 225,822,944	\$ 232,313,313	\$ 238,803,683
\$ 165,274,719	\$ 171,014,712	\$ 176,754,705	\$ 182,494,698	\$ 188,234,691	\$ 193,974,683	\$ 199,714,676	\$ 205,454,669	\$ 211,194,662
<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>
\$ 381,952,209	\$ 391,586,235	\$ 401,220,262	\$ 410,854,288	\$ 420,488,315	\$ 430,122,341	\$ 439,756,368	\$ 449,390,394	\$ 459,024,421
\$ 245,294,053	\$ 251,481,134	\$ 257,668,216	\$ 263,855,297	\$ 270,042,378	\$ 276,229,460	\$ 282,416,541	\$ 288,603,622	\$ 294,790,704
\$ 245,294,053	\$ 251,481,134	\$ 257,668,216	\$ 263,855,297	\$ 270,042,378	\$ 276,229,460	\$ 282,416,541	\$ 288,603,622	\$ 294,790,704
\$ 216,934,655	\$ 222,406,424	\$ 227,878,193	\$ 233,349,961	\$ 238,821,730	\$ 244,293,499	\$ 249,765,268	\$ 255,237,037	\$ 260,708,806
<b>45</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>53</b>
\$ 468,658,447	\$ 478,292,474	\$ 487,926,500	\$ 497,560,527	\$ 506,744,365	\$ 515,928,204	\$ 525,112,042	\$ 534,295,880	\$ 543,479,719
\$ 300,977,785	\$ 307,164,867	\$ 313,351,948	\$ 319,539,029	\$ 325,436,995	\$ 331,334,960	\$ 337,232,926	\$ 343,130,891	\$ 349,028,857
\$ 300,977,785	\$ 307,164,867	\$ 313,351,948	\$ 319,539,029	\$ 325,436,995	\$ 331,334,960	\$ 337,232,926	\$ 343,130,891	\$ 349,028,857
\$ 266,180,575	\$ 271,652,344	\$ 277,124,113	\$ 282,595,881	\$ 287,811,960	\$ 293,028,039	\$ 298,244,118	\$ 303,460,196	\$ 308,676,275

Anexo 2 ahorro mensual acumulado con payback de ahorro gas



Año		0	1	2	3	4	5	6
Bosch	Flujos	CLP (360,552,450)	CLP 142,798,511	CLP 145,654,481	CLP 148,567,570	CLP 151,538,922	CLP 154,569,700	CLP 157,661,094
	Flujos con tasa dcto	CLP (360,552,450)	CLP 133,456,552	CLP 127,220,265	CLP 121,275,392	CLP 115,608,318	CLP 110,206,060	CLP 105,056,244
Powermaster	Flujos	CLP (308,485,190)	CLP 91,706,828	CLP 93,540,964	CLP 95,411,784	CLP 97,320,019	CLP 99,266,420	CLP 101,251,748
	Flujos con tasa dcto	CLP (308,485,190)	CLP 85,707,316	CLP 81,702,301	CLP 77,884,436	CLP 74,244,977	CLP 70,775,585	CLP 67,468,315
Steam Matic	Flujos	CLP (319,213,900)	CLP 91,706,828	CLP 93,540,964	CLP 95,411,784	CLP 97,320,019	CLP 99,266,420	CLP 101,251,748
	Flujos con tasa dcto	CLP (319,213,900)	CLP 85,707,316	CLP 81,702,301	CLP 77,884,436	CLP 74,244,977	CLP 70,775,585	CLP 67,468,315
Hurts	Flujos	CLP (208,913,500)	CLP 81,104,245	CLP 82,726,330	CLP 84,380,857	CLP 86,068,474	CLP 87,789,843	CLP 89,545,640
	Flujos con tasa dcto	CLP (208,913,500)	CLP 75,798,360	CLP 72,256,381	CLP 68,879,914	CLP 65,661,227	CLP 62,592,945	CLP 59,668,041
Año		7	8	9	10	11	12	13
Bosch	Flujos	CLP 160,814,316	CLP 164,030,603	CLP 167,311,215	CLP 170,657,439	CLP 174,070,588	CLP 177,551,999	CLP 181,103,039
	Flujos con tasa dcto	CLP 100,147,074	CLP 95,467,304	CLP 91,006,215	CLP 86,753,588	CLP 82,699,682	CLP 78,835,211	CLP 75,151,323
Powermaster	Flujos	CLP 103,276,783	CLP 105,342,319	CLP 107,449,165	CLP 109,598,148	CLP 111,790,111	CLP 114,025,913	CLP 116,306,432
	Flujos con tasa dcto	CLP 64,315,590	CLP 61,310,189	CLP 58,445,226	CLP 55,714,141	CLP 53,110,677	CLP 50,628,869	CLP 48,263,034
Steam Matic	Flujos	CLP 103,276,783	CLP 105,342,319	CLP 107,449,165	CLP 109,598,148	CLP 111,790,111	CLP 114,025,913	CLP 116,306,432
	Flujos con tasa dcto	CLP 64,315,590	CLP 61,310,189	CLP 58,445,226	CLP 55,714,141	CLP 53,110,677	CLP 50,628,869	CLP 48,263,034
Hurts	Flujos	CLP 91,336,553	CLP 93,163,284	CLP 95,026,550	CLP 96,927,081	CLP 98,865,622	CLP 100,842,935	CLP 102,859,794
	Flujos con tasa dcto	CLP 56,879,815	CLP 54,221,880	CLP 51,688,147	CLP 49,272,813	CLP 46,970,345	CLP 44,775,469	CLP 42,683,157
Año		14	15	16	17	18	19	20
Bosch	Flujos	CLP 184,725,100	CLP 188,419,602	CLP 192,187,994	CLP 196,031,754	CLP 199,952,389	CLP 203,951,437	CLP 208,030,466
	Flujos con tasa dcto	CLP 71,639,579	CLP 68,291,935	CLP 65,100,723	CLP 62,058,633	CLP 59,158,697	CLP 56,394,272	CLP 53,759,026
Powermaster	Flujos	CLP 118,632,560	CLP 121,005,212	CLP 123,425,316	CLP 125,893,822	CLP 128,411,699	CLP 130,979,933	CLP 133,599,531
	Flujos con tasa dcto	CLP 46,007,752	CLP 43,857,857	CLP 41,808,425	CLP 39,854,760	CLP 37,992,388	CLP 36,217,043	CLP 34,524,658
Steam Matic	Flujos	CLP 118,632,560	CLP 121,005,212	CLP 123,425,316	CLP 125,893,822	CLP 128,411,699	CLP 130,979,933	CLP 133,599,531
	Flujos con tasa dcto	CLP 46,007,752	CLP 43,857,857	CLP 41,808,425	CLP 39,854,760	CLP 37,992,388	CLP 36,217,043	CLP 34,524,658
Hurts	Flujos	CLP 104,916,989	CLP 107,015,329	CLP 109,155,636	CLP 111,338,748	CLP 113,565,523	CLP 115,836,834	CLP 118,153,571
	Flujos con tasa dcto	CLP 40,688,617	CLP 38,787,280	CLP 36,974,790	CLP 35,246,996	CLP 33,599,941	CLP 32,029,850	CLP 30,533,128

### Anexo 3 Flujo anual de ahorro gas

#### G) Control de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en el sector Industrial

**Artículo 68.** Se denomina “mayores emisores de NO<sub>x</sub>” aquellas fuentes estacionarias existentes en la Región Metropolitana cuya emisión de NO<sub>x</sub> sea igual o superior a 8 ton/año al año 1997, de acuerdo a lo establecido en la Resolución Exenta N° 121.059 de 22 de diciembre de 2005, de la Seremi de Salud RM.

**Artículo 69.** La meta global e individual de reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> al 1 de mayo de 2007, para fuentes estacionarias existentes denominadas Mayores Emisores de NO<sub>x</sub>, definidas en el artículo 68 del presente Decreto, corresponde al 33% del total de emisiones que al año 1997 emitían estas fuentes.

La meta global e individual de reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> para fuentes estacionarias existentes denominadas Mayores Emisores de NO<sub>x</sub> al 31 de diciembre del año 2010, es de un 50% del total de emisiones que al año 1997 emitían estas fuentes.

**Artículo 70.** El cumplimiento de las metas de emisión de NO<sub>x</sub> para las fuentes categorizadas como mayores emisores podrá realizarse mediante la compensación de emisiones de acuerdo al procedimiento establecido en la Resolución Exenta N° 42.549 del 11 de octubre de 2006, de la Seremi de Salud RM.

**Artículo 71.** Las fuentes estacionarias nuevas, cuya emisión de NO<sub>x</sub> sea mayor o igual a 8 ton/año, deberán compensar sus emisiones según se indica a continuación:

- 1) Aquellas inscritas entre el 1 de enero de 1998 y el 28 de enero de 2004 en el Registro Oficial de la Seremi de Salud RM, deberán compensar sus emisiones en un 120%.
- 2) Aquellas inscritas a partir del 29 de enero de 2004 en el Registro Oficial de la Seremi de Salud RM deberán compensar sus emisiones en un 150%.

#### Anexo 4 Extracto decreto artículo 68 sobre emisiones de calderas industriales



kg/hr	lun	mar	mie	jue	vie	sab	lun	mar	mie	jue	vie	sab	lun	mar	mie	jue	vie	sab
Día/hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.00	9,000	9,000	8,000	7,000	10,000	9,000	9,000	9,000	8,000	9,000	8,000	9,000	9,000	7,000	12,000	9,000	7,000	11,000
2.00	8,000	7,000	13,000	9,000	7,000	9,000	8,000	8,000	9,000	9,000	9,000	12,000	9,000	8,000	9,000	9,000	8,000	9,000
3.00	8,000	7,000	7,000	9,000	8,000	7,000	8,000	8,000	8,000	9,000	12,000	11,000	7,000	8,000	8,000	9,000	9,000	8,000
4.00	9,000	9,000	3,000	8,000	8,000	9,000	7,000	9,000	8,000	8,000	5,000	7,000	8,000	7,000	8,000	8,000	8,000	12,000
5.00	6,000	7,000	7,000	9,000	7,000	7,000	8,000	9,000	8,000	8,000	5,000	8,000	8,000	8,000	7,000	11,000	9,000	9,000
6.00	7,000	9,000	10,000	11,000	9,000	9,000	9,000	8,000	9,000	10,000	6,000	10,000	11,000	7,000	7,000	9,000	11,000	8,000
7.00	7,000	8,000	7,000	9,000	8,000	8,000	7,000	9,000	7,000	9,000	4,000	10,000	9,000	8,000	8,000	4,000	12,000	9,000
8.00	9,000	10,000	8,000	11,000	10,000	8,000	10,000	7,000	8,000	7,000	6,000	11,000	7,000	8,000	8,000	7,000	9,000	9,000
9.00	7,000	8,000	8,000	6,000	8,000	8,000	8,000	9,000	7,000	9,000	6,000	7,000	8,000	8,000	11,000	8,000	9,000	9,000
10.00	7,000	7,000	7,000	11,000	7,000	7,000	10,000	8,000	8,000	6,000	7,000	8,000	7,000	7,000	9,000	7,000	8,000	8,000
11.00	8,000	9,000	12,000	12,000	9,000	8,000	11,000	12,000	7,000	10,000	6,000	7,000	8,000	8,000	9,000	11,000	7,000	11,000
12.00	9,000	9,000	8,000	4,000	9,000	6,000	12,000	15,000	11,000	9,000	4,000	8,000	7,000	8,000	8,000	9,000	7,000	4,000
13.00	10,000	8,000	7,000	10,000	9,000	4,000	8,000	8,000	9,000	10,000	8,000	9,000	11,000	11,000	8,000	11,000	11,000	11,000
14.00	11,000	12,000	8,000	8,000	8,000	7,000	7,000	8,000	8,000	8,000	3,000	7,000	8,000	7,000	8,000	8,000	11,000	9,000
15.00	12,000	10,000	9,000	3,000	8,000	7,000	7,000	10,000	6,000	6,000	3,000	8,000	8,000	8,000	7,000	10,000	12,000	8,000
16.00	15,000	9,000	10,000	5,000	8,000	8,000	9,000	8,000	9,000	11,000	3,000	8,000	7,000	7,000	4,000	9,000	8,000	9,000
17.00	9,000	8,000	11,000	7,000	11,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,000	3,000	8,000	8,000	8,000	4,000	9,000	9,000	9,000
18.00	8,000	9,000	8,000	10,000	8,000	7,000	8,000	9,000	8,000	9,000	3,000	8,000	11,000	8,000	8,000	8,000	11,000	9,000
19.00	5,000	7,000	16,000	11,000	9,000	8,000	11,000	9,000	10,000	10,000	2,000	11,000	10,000	8,000	9,000	7,000	11,000	9,000
20.00	12,000	4,000	8,000	10,000	6,000	9,000	5,000	9,000	7,000	9,000	2,000	7,000	11,000	9,000	9,000	7,000	9,000	8,000
21.00	9,000	7,000	6,000	5,000	10,000	11,000	7,000	10,000	10,000	10,000	7,000	8,000	10,000	11,000	9,000	8,000	8,000	7,000
22.00	10,000	11,000	7,000	8,000	7,000	8,000	7,000	10,000	8,000	7,000	8,000	8,000	15,000	11,000	8,000	9,000	9,000	8,000
23.00	7,000	8,000	9,000	14,000	8,000	8,000	9,000	9,000	10,000	11,000	8,000	8,000	15,000	15,000	9,000	9,000	9,000	9,000
24.00	6,000	9,000	7,000	8,000	9,000	9,000	10,000	9,000	8,000	8,000	11,000	10,000	12,000	15,000	8,000	9,000	9,000	6,000
m3 diario	208,000	201,000	204,000	205,000	199,000	187,000	205,000	213,000	199,000	209,000	139,000	207,000	222,000	208,000	201,000	204,000	207,000	212,000

### Anexo 5 Consumo agua diario, mediciones

kg/hr	lun	mar	mie	jue	vie	sab	lun	mar	mie	jue	vie	sab	lun	mar	mie	jue	vie	sab
Día/hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.00	7,601	7,601	6,757	5,912	8,446	7,601	7,601	7,601	6,757	7,601	6,757	7,601	7,601	5,912	10,135	7,601	5,912	9,291
2.00	6,757	5,912	10,980	7,601	5,912	7,601	6,757	6,757	7,601	7,601	7,601	10,135	7,601	6,757	7,601	7,601	6,757	7,601
3.00	6,757	5,912	5,912	7,601	6,757	5,912	6,757	6,757	6,757	7,601	10,135	9,291	5,912	6,757	6,757	7,601	7,601	6,757
4.00	7,601	7,601	2,534	6,757	6,757	7,601	5,912	7,601	6,757	6,757	4,223	3,912	6,757	5,912	6,757	6,757	6,757	10,135
5.00	5,068	5,912	5,912	7,601	5,912	5,912	6,757	7,601	6,757	6,757	4,223	6,757	6,757	5,912	5,912	3,291	7,601	7,601
6.00	5,912	7,601	8,446	9,291	7,601	7,601	6,757	7,601	8,446	5,068	8,446	9,291	5,912	5,912	7,601	9,291	9,291	6,757
7.00	5,912	6,757	5,912	7,601	5,912	5,912	7,601	3,912	7,601	7,601	3,378	8,446	7,601	6,757	6,757	6,757	3,378	10,135
8.00	7,601	8,446	6,757	9,291	8,446	6,757	8,446	5,912	3,068	5,912	5,068	9,291	5,912	6,757	6,757	5,912	3,534	7,601
9.00	5,912	6,757	6,757	5,068	6,757	6,757	3,378	7,601	5,912	7,601	5,068	3,912	6,757	6,757	9,291	6,757	7,601	7,601
10.00	5,912	5,912	5,912	9,291	5,912	5,912	8,446	6,757	6,757	3,068	5,912	6,757	5,912	5,912	7,601	5,912	6,757	6,757
11.00	6,757	7,601	10,135	10,135	7,601	6,757	9,291	10,135	5,912	8,446	5,068	3,912	6,757	7,601	9,291	5,912	9,291	6,757
12.00	7,601	7,601	6,757	3,378	7,601	5,068	10,135	10,669	9,291	7,601	3,378	6,757	5,912	8,446	6,757	7,601	5,912	3,378
13.00	8,446	6,757	5,912	8,446	7,601	3,068	6,757	6,757	7,601	8,446	6,757	6,757	7,601	9,291	9,291	6,757	9,291	9,291
14.00	9,291	10,135	6,757	6,757	5,912	5,912	6,757	6,757	6,757	2,534	3,912	6,757	5,912	6,757	8,446	9,291	7,601	7,601
15.00	10,135	8,446	7,601	2,534	6,757	5,912	5,912	8,446	5,068	5,068	2,534	6,757	6,757	5,912	5,912	8,446	10,135	6,757
16.00	12,669	7,601	8,446	4,223	6,757	6,757	7,601	6,757	7,601	9,291	2,534	6,757	3,912	5,912	3,912	7,601	6,757	7,601
17.00	7,601	6,757	9,291	5,912	9,291	6,757	6,757	6,757	6,757	5,912	2,534	6,757	6,757	6,757	5,068	8,446	7,601	7,601
18.00	6,757	7,601	6,757	8,446	6,757	5,912	6,757	7,601	6,757	7,601	2,534	6,757	9,291	6,757	6,757	6,757	9,291	7,601
19.00	4,223	5,912	12,514	9,291	7,601	6,757	9,291	7,601	8,446	8,446	1,669	9,291	8,446	6,757	7,601	5,912	9,291	7,601
20.00	10,135	3,378	6,757	8,446	3,068	7,601	4,223	7,601	5,912	7,601	1,669	5,912	9,291	7,601	7,601	5,912	7,601	6,757
21.00	7,601	5,912	5,068	4,223	8,446	8,446	9,291	5,912	8,446	8,446	5,912	6,757	8,446	9,291	7,601	6,757	6,757	5,912
22.00	8,446	9,291	5,912	6,757	5,912	6,757	5,912	8,446	6,757	5,912	6,757	6,757	12,669	9,291	6,757	7,601	7,601	6,757
23.00	5,912	6,757	7,601	11,824	6,757	6,757	7,601	7,601	8,446	9,291	6,757	6,757	12,669	12,669	7,601	7,601	7,601	7,601
24.00	5,068	7,601	5,912	6,757	7,601	7,601	8,446	7,601	6,757	6,757	9,291	8,446	10,135	12,669	7,601	6,757	7,601	5,068
m3 diario	175,676	169,763	172,297	173,142	168,074	157,939	173,142	179,899	168,074	176,520	117,399	174,831	187,500	175,676	169,763	172,297	174,831	179,054

### Anexo 6 Consumo vapor diario, mediciones

Costo variable	Costo unitario		Consumo mensual					Consumo medio
			1	2	3	4	5	
Agua napa	\$ 350	[1/m <sup>3</sup> ]	\$ 1,723,050	\$ 1,825,950	\$ 1,864,800	\$ 1,915,200	\$ 1,757,000	\$ 1,817,200
Gas natural	\$ 277	[1/m <sup>3</sup> ]	\$ 89,924,449	\$ 92,590,851	\$ 96,125,371	\$ 98,969,053	\$ 89,868,218	\$ 93,495,588
Electricidad	\$ 85	[1/kW]	\$ 1,795,200	\$ 1,876,800	\$ 1,958,400	\$ 2,040,000</		



		MEDIA CORRIDAS	DESVIACION ESTANDAR
*TIEMPO UTILIZADO EN CADA MEDICIÓN (min.)	NOx	180	
*HORA DE REALIZACIÓN DE LA CORRIDA	NOx	11:30 hrs a 15:01 hrs.	
*CONCENTRACIÓN MEDIDA	NOx (ppm)	60,4	1,7
*CONCENTRACIÓN CORREGIDA	NOx (mg/m <sup>3</sup> )	114,9	2,6
*EMISIONES HORA DE CONTAMINANTE	NOx (kg/hr)	0,7	0,02
	NOx (t/año)	5,8	
*O <sub>2</sub> (%)		3,3	
*CO <sub>2</sub> (%)		9,9	
*CAUDAL DE GASES BASE SECA (m <sup>3</sup> /MIN)		5.794	
*VELOCIDAD DE GASES (m/s)		8,4	
*TEMPERATURA DE GASES DE SALIDA (°C)		205	
*HUMEDAD DE GASES (%)		15,0	

FECHA			
DÍA	MESES	AÑO	
26	05	2016	

DECLARO QUE LOS DATOS CONSIGNADOS SON EXPRESIÓN FIEL DE LA REALIDAD POR LO QUE ASUMO LA RESPONSABILIDAD CORRESPONDIENTE

**JHG SERVICIOS AMBIENTALES LTDA.**  
 Servicios de Mediciones y Auditorías Ambientales  
 Fonos: 2744377-Fax: 2252648  
 José D. Cañas 2802-Nañoa-Stgo.

NOMBRE Y FIRMA DEL LABORADORIO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS

Anexo 8 Análisis emisiones de JHG

Planta 1	1/16	2/16	3/16	4/16	5/16	6/16	7/16	8/16	9/16	10/16	11/16	12/16	Promedio 16
Jamones	896,198	1,020,603	1,144,290	1,095,437	1,145,418	1,278,305	1,447,900	1,607,838	1,442,491	1,425,251	1,408,216	1,391,385	1,275,278
Mortadelas	823,567	820,203	1,063,498	1,110,650	1,112,787	1,187,859	1,232,833	1,296,510	1,169,440	1,155,462	1,141,652	1,128,007	1,103,539
Parrilleros	567,956	520,509	629,244	636,614	675,479	754,224	812,436	1,061,932	935,843	924,658	913,606	902,687	777,932
Pate	342,642	347,607	408,819	325,592	374,079	381,092	387,297	417,676	350,523	346,333	342,194	338,104	363,497
Vienesas	3,325,203	3,326,011	3,633,723	3,203,955	3,276,281	3,258,317	3,571,861	3,516,381	3,342,441	3,302,492	3,263,020	3,224,020	3,353,642
<b>Total</b>	<b>5,955,566</b>	<b>6,034,932</b>	<b>6,879,574</b>	<b>6,372,248</b>	<b>6,584,044</b>	<b>6,859,796</b>	<b>7,452,328</b>	<b>7,900,338</b>	<b>7,240,738</b>	<b>7,154,196</b>	<b>7,068,688</b>	<b>6,984,203</b>	<b>6,873,888</b>

Anexo 9 Producción por mini fábrica 2016 [ton]