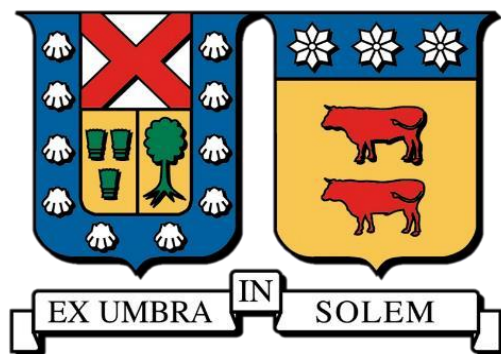


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA
Y ECONÓMICA DE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE
CONTROL AVANZADO EN CALDERA DE
VAPOR DE FÁBRICA DE ALIMENTOS

FELIPE ESTEBAN OJEDA OYARZO

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: Mg. Ing. JAIME ESPINOZA SILVA

CORREFERENTE: Ing. LUCIA TORRES CASTILLO

MARZO – 2023

Este trabajo se lo dedico a mi padre y a mi madre, que me han dado todo lo que tienen y más para permitirme estar donde estoy hoy, sin ellos no sería nada. Mil gracias a ellos y a mi hermano, que, sin su apoyo, ayuda y motivación, no hubiese podido llegar a esta instancia. Cada palabra, muestra de cariño, llamadas telefónicas, ayudaron a levantarme y seguir adelante cuando me encontraba derrotado, e hicieron que los 1.200 kilómetros de distancia que me separaban de mi hogar se redujeran a nada.

A Natalia, por ser mi compañera y un pilar fundamental durante mis años de estudios y parte de mi vida, por ser mi contención y mi refugio. Gracias por acompañarme siempre.

A mis amigos, por toda la ayuda y alegría brindada durante estos años, las risas que nunca faltaron, y que se convirtieron en momentos que se atesorarán por siempre.

A la Srta. Lucía Torres, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de título en la empresa, por acompañarme y ayudarme en mi desarrollo como persona y profesional.

Al profesor Jaime Espinoza, por ser un excelente maestro y guía durante el desarrollo de mi trabajo de título.

Y agradecer a Dios, por lo que tuve ayer, por lo que tengo hoy y por lo que tendré mañana. Sin él nada es posible.

A todos ellos, infinitas gracias.

Resumen

El presente trabajo de título desarrolla un análisis técnico-económico sobre la instalación de un acumulador de vapor en una de las calderas de una fábrica del sector lácteo del sur de Chile.

En primer lugar se procede a un levantamiento de información técnica acerca de los equipos que permiten la producción de vapor, como lo son las calderas, desgasificador, equipos ablandadores de agua, entre otros, ya sean sus capacidades, funcionamiento, control, etc. Además, se realiza un análisis de los equipos y procesos que utilizan el vapor en la fábrica, para de esta forma obtener presiones de operación y sus respectivos consumos de vapor.

Ya con los equipos y procesos identificados, se obtuvieron los consumos mensuales y diarios de vapor en planta. Se realizó un análisis anual, observando que los meses de mayor producción corresponden a la temporada de verano, que son los meses donde existe un mayor ingreso de leche a fábrica.

Para el diseño del estanque acumulador de vapor se analizó una semana de producción del mes de noviembre que se consideró “normal”, es decir, sin detenciones programadas o paradas de planta forzadas. Se obtuvo el consumo promedio de vapor, estableciendo ese dato como la producción constante que tendrá el acumulador. Posterior a ello se registraron datos cada una hora durante los siete días escogidos para determinar los momentos en los que el acumulador era cargado de vapor, y donde se requería vapor del acumulador. De esta forma, teniendo los ciclos de carga y descarga, se pudo llegar al volumen que debe tener dicho estanque, el cual fue de 50 [m³]. La instalación de dicho estanque genera un ahorro anual de unos casi 74 M\$ lo cual equivale a la disminución de un 3,6% del gasto anual de gas natural.

Con el análisis técnico realizado, se cotizó la implementación del estanque a una empresa española, siendo el valor cotizado de unos casi 93 M\$, que considera el estanque acumulador y la puesta en marcha. A eso se le deben adicionar los costos de instalación y transporte, que tienen un costo de unos 41 M\$. Por lo cual, el costo del proyecto alcanzaría un total de unos 134 M\$.

En la factibilidad económica se consideraron tres indicadores económicos: TIR, VAN y payback. Con un flujo de caja en un plazo de 5 años, una tasa de descuento del 10% se obtuvo como resultados un TIR de un 49% y VAN de casi 155 M\$ lo cual equivale a un proyecto rentable. Por otro lado, se calculó que en un plazo de 1 años y 10 meses se recupera la inversión realizada en el acumulador de vapor. Esto da como resultado final un proyecto absolutamente viable para que la empresa lo incorpore en la cartera de inversiones.

Abstract

In the present title work, a technical-economic analysis is developed on the installation of a steam accumulator in one of the boilers of a factory in the dairy sector in southern Chile.

In the first instance, a survey of technical information is developed about the equipment that allows the production of steam, such as boilers, degasser, water softener equipment, among others, whether their capacities, operation, control, etc. In addition, an analysis of the equipment and processes that use steam in the factory is carried out, in order to obtain operating pressures and their respective steam consumption.

Once the equipment and processes were identified, the monthly and daily steam consumption in the plant was obtained. An annual analysis was carried out, observing that the months of greatest production correspond to the summer season, which are the months where there is a greater milk intake to the factory.

For the design of the steam accumulator tank, a week of production in the month of November was analyzed, which was "normal", that is, there were no programmed stoppages or forced plant stoppages. The average steam consumption was obtained, establishing this data as the constant production that the accumulator will have. After that, data was recorded every hour during the seven days chosen to determine the moments in which the accumulator was charged with steam, and where steam was required from the accumulator. In this way, taking into account the loading and unloading cycles, it was possible to reach the volume that said tank should have, which was 50 [m³]. The installation of said tank generates annual savings of \$73,908,130, which is equivalent to a 3.6% decrease in the annual cost of natural gas.

With the technical analysis carried out, a quote for said pond was requested from the Spanish company ATTUS. The value delivered by the company was \$92,917,320, which considers the accumulator tank and the start-up. To this must be added the costs of installation and transportation that have a cost of \$41,172,000. Therefore, the cost of the project gives a total of \$134,089,320.

For economic feasibility, three economic indicators were considered: IRR, VAN and payback. To obtain them, a cash flow was carried out in a period of 5 years with a discount rate of 10%. As results, an IRR of 49% and a VAN of \$153,719,626 were obtained, which, being both positive and higher than the discount rate, consider a profitable project. On the other hand, it was calculated that the investment made in the steam accumulator is recovered within a period of 1 years and 10 months. This results in a viable project, and in which the investment is recovered in a short period of time.

Índice

1. Introducción	10
1.1. Motivación	11
1.2. Objetivos	11
1.2.1. General	11
1.2.2. Específicos	11
2. Antecedentes	12
2.1. Descripción de la empresa	12
2.1.1. Ubicación	12
2.1.2. Origen de la materia prima	13
2.1.3. Valores de producción	13
2.1.4. Productos elaborados	14
2.1.5. Aceptación en el mercado	15
2.2. Caldera de vapor	16
2.2.1. Características de la caldera a trabajar	17
2.2.2. Funcionamiento	20
2.2.3. Partes principales	21
2.3. ¿Qué es el vapor?	30
2.3.1. Utilización del vapor en fábrica	30
2.3.2. Calidad del vapor	33
2.3.3. Consumo de vapor en fábrica	34
3. Desarrollo	35
3.1. Acumulador de vapor	35
3.1.1. Funcionamiento	35
3.1.2. Tipos de acumuladores	36
3.1.3. Componentes de un acumulador de vapor	39
3.1.4. Normativa vigente	47
3.2. Dimensionamiento	47
3.2.1. Análisis del consumo de vapor	48
3.2.2. Obtención del volumen del acumulador	52
3.3. Cotización del acumulador	61
3.4. Cálculo del ahorro económico al instalar un acumulador	63
3.5. Cálculo de indicadores económicos	66
3.6. Ubicación de la instalación del acumulador	67

4.	Conclusiones	69
5.	Referencias	70
6.	Anexos.....	71

Índice de ilustraciones

Ilustración 2- 1: Ubicación geográfica de Nestlé S.A. Llanquihue.	12
Ilustración 2- 2: Camión recolector de la empresa Nestlé.	13
Ilustración 2- 3: Nido Etapas en su formato único de 1,6 [kg.	14
Ilustración 2- 4: Svelty variedades en formato de 800 gr.	15
Ilustración 2- 5: Crema de Leche Nestlé en sus formatos de 236 [gr] (izquierda) y 157 [gr] (derecha).	15
Ilustración 2- 6: Caldera Johnston Boiler PFTA1000 perteneciente a la Fábrica Nestlé Llanquihue.	17
Ilustración 2- 7: Funcionamiento y partes de la caldera Johnston Boiler de 4 fases.	18
Ilustración 2- 8: Análisis de las energías de entrada y salida en calderas.	20
Ilustración 2- 9: Partes interiores y exteriores de una caldera.	21
Ilustración 2- 10: Partes exteriores de una caldera.	22
Ilustración 2- 11: Monitores de control de la sala de calderas.	23
Ilustración 2- 12: Parámetros de operación de la caldera	23
Ilustración 2- 13: Parámetros de operación del estanque de retornos.	24
Ilustración 2- 14: Parámetros de operación del desgasificador.	25
Ilustración 2- 15: Parámetros de operación de los ablandadores.	25
Ilustración 2- 16: Tableros de control de la caldera Johnston Boiler.	26
Ilustración 2- 17: Tablero manual de la caldera Johnston Boiler.	26
Ilustración 2- 18: Tablero automático de la caldera Johnston Boiler.	27
Ilustración 2- 19: Desgasificador de la sala de calderas Fábrica Nestlé Llanquihue.	28
Ilustración 2- 20: Economizador instalado en la caldera Johnston Boiler.	29
Ilustración 2- 21: Ablandadores de la sala de calderas.	29
Ilustración 2- 22: Consumo de vapor anual en planta Nestlé Llanquihue.	34
Ilustración 3- 1: Esquema de un acumulador de vapor horizontal a presión variable.	37
Ilustración 3- 2: Capacidad específica de acumulación de un acumulador en función de la diferencia de presión.	37
Ilustración 3- 3: Acumulador de vapor horizontal de presión variable.	38
Ilustración 3- 4: Acumulador de vapor vertical de presión variable.	38
Ilustración 3- 5: Componentes y accesorios de un acumulador de vapor.	39
Ilustración 3- 6: Estanque presurizado de un acumulador de vapor.	40
Ilustración 3- 7: Inyectores de vapor de la marca Spirax Sarco.	41
Ilustración 3- 8: Esquema de las válvulas de presión.	41
Ilustración 3- 9: Válvula reguladora de presión.	42
Ilustración 3- 10: Rompedores de vacío Spirax Sarco de latón (izquierda) y acero inoxidable austenítico (derecha).	43
Ilustración 3- 11: Válvulas de seguridad para vapor.	43
Ilustración 3- 12: Válvula antirretorno de vapor.	44
Ilustración 3- 13: Purgador termostático.	44
Ilustración 3- 14: Purgador mecánico.	45
Ilustración 3- 15: Purgador termodinámico.	45
Ilustración 3- 16: Mirilla instalada en un acumulador de vapor.	46
Ilustración 3- 17: Termómetro instalado en equipo de vapor.	46

Ilustración 3- 18: Manómetro de presión para equipos hasta 16 bar de presión.	46
Ilustración 3- 19: Curva de consumo de vapor obtenida del PanelView.....	48
Ilustración 3- 20: Gráfico de consumo de vapor 14 de noviembre.....	50
Ilustración 3- 21: Gráfico de consumo de vapor 15 de noviembre.....	50
Ilustración 3- 22: Gráfico de consumo de vapor 16 de noviembre.....	50
Ilustración 3- 23: Gráfico de consumo de vapor 17 de noviembre.....	51
Ilustración 3- 24: Gráfico de consumo de vapor 18 de noviembre.....	51
Ilustración 3- 25: Gráfico de consumo de vapor 19 de noviembre.....	51
Ilustración 3- 26: Gráfico de consumo de vapor 20 de noviembre.....	52
Ilustración 3- 27: Imagen referencial del acumulador de vapor.	62
Ilustración 3- 28: Antiguos silos de carbón de planta Nestlé Llanquihue.	67
Ilustración 3- 29: Patio actual de la sala de calderas fábrica Nestlé Llanquihue.....	68

Índice de tablas

Tabla 2- 1: Valores del año 2022 con respecto a la recepción de kilos de leche.....	14
Tabla 2- 2: Información técnica caldera	19
Tabla 2- 3: Parámetros de operación de la caldera.	19
Tabla 2- 4: Datos técnicos del desgasificador.	28
Tabla 3- 1: Consumo de vapor en toneladas por hora durante una semana de producción.	49
Tabla 3- 2: Análisis del consumo de vapor del día 14 de noviembre.....	53
Tabla 3- 3: Análisis del consumo de vapor del día 15 de noviembre.....	54
Tabla 3- 4: Análisis del consumo de vapor del día 16 de noviembre.....	55
Tabla 3- 5: Análisis del consumo de vapor del día 17 de noviembre.....	56
Tabla 3- 6: Análisis del consumo de vapor del día 18 de noviembre.....	57
Tabla 3- 7: Análisis del consumo de vapor del día 19 de noviembre.....	58
Tabla 3- 8: Análisis del consumo de vapor del día 20 de noviembre.....	59
Tabla 3- 9: Especificaciones técnicas del acumulador de vapor.	62
Tabla 3- 10: Cotización del acumulador de vapor por empresa ATTU.	62
Tabla 3- 11: Estimación de costos de instalación y transporte de un acumulador.	63
Tabla 3- 12: Costo total del acumulador de vapor.....	63
Tabla 3- 13: Parámetros para el cálculo de la eficiencia.	64
Tabla 3- 14: Calculo de las eficiencias mensuales.	64
Tabla 3- 15: Calculo del ahorro con la instalación de un acumulador de vapor.	65
Tabla 3- 16: Tabla resumen de los ahorros al instalar un acumulador de vapor.	66
Tabla 3- 17: Flujo de caja de la inversión del acumulador de vapor.	66
Tabla 3- 18: Indicadores económicos obtenidos.	67

1. Introducción

El vapor hoy en día tiene una gran importancia a nivel industrial ya que es utilizado en diferentes procesos gracias a sus propiedades físicas y termodinámicas. El vapor industrial se considera un fluido energético eficiente, confiable, limpio y estéril al momento de transferir calor. Esto le permite estar en contacto directo con productos alimenticios o en procesos de alta higiene. Dentro de sus aplicaciones más importantes del vapor encontramos:

- Esterilización
- Propulsión
- Procesos de calentamiento
- Motriz
- Atomización
- Limpieza
- Hidratación
- Humidificación

Pero la producción de vapor implica un gasto económico en combustible considerable, ya sea carbón, petróleo o gas natural, cada uno de estos con costos e impactos ambientales diferentes. Por lo cual, los equipos de producción de vapor, en este caso las calderas, deben funcionar en sus máximas eficiencias posibles, para poder así ocupar de mejor manera los recursos energéticos.

A lo largo de los años, las calderas de vapor han mejorado en tecnología y eficiencia, permitiendo producir las mismas, o más, cantidades de vapor, con un menor consumo de combustible. Pero también, se han desarrollado equipos auxiliares que aumentan la eficiencia de la caldera o generan un mayor aprovechamiento de los recursos.

En Chile existen grandes empresas que utilizan el vapor en sus procesos. Dentro de ellas se encuentra Nestlé, la cual es una empresa multinacional suiza de alimentos y bebidas, y que utiliza el vapor en procesos como la evaporación de la leche, esterilización, limpieza, entre otros.

A lo largo de Chile cuenta con varias fábricas, pero una que cumple un rol fundamental, la cual es la fábrica Nestlé Llanquihue. Esta se encarga de recepcionar la leche con la cual se produce la leche en polvo y la crema, los cuales pueden ser envasados en sus respectivos formatos, o ser distribuidos en las demás fábricas de Chile para producir otros productos como galletas, helados, variedades de café con leche, confites, entre otros.

El motor de la fábrica son sus calderas, que generan el vapor para los distintos procesos en planta. Estas calderas utilizan gas natural como combustible primerio en grandes cantidades (también utiliza petróleo, pero en situaciones de emergencia o desabastecimiento de gas natural), por lo que un mínimo aumento en su eficiencia, generará un ahorro significativo de combustible.

1.1. Motivación

La caldera de vapor en la fábrica representa el mayor consumo de energía, por lo que su operación eficiente es de suma importancia al momento optimizar los recursos. Las calderas funcionan durante todo el año, y debido a su gran consumo de combustible, los ahorros que se pueden generar al incrementar unos puntos de eficiencia son considerables, en especial cuando se trabaja en condiciones de máxima operación. Es por ello que se realizará un estudio técnico económico sobre la instalación de un acumulador de vapor en una de las calderas de la fábrica, para evaluar si existe un aumento en la eficiencia de esta, y de ser así, poder obtener el ahorro en combustible que esto significa. Posterior a ello se realizará el análisis económico que determinará la factibilidad de la inversión.

Actualmente, el quemador de la caldera se autorregula para poder generar la cantidad de vapor demandado, pero este no tiene un funcionamiento uniforme o regular, ya que la producción de vapor es variable. Por ende, la función del acumulador será permitir a la caldera trabajar a una producción constante de vapor (promedio), siendo este el encargado de suministrar el vapor restante en momentos de alta demanda.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Determinar la factibilidad técnica y económica, de implementar un acumulador de vapor en caldera Johnston Boiler PFTA1000 con una capacidad 15.000 ton/h de vapor, que se utiliza en una fábrica de alimentos lácteos del sur de país.

1.2.2. Específicos

- Determinar las condiciones de operación, demanda horaria y estacional de vapor fábrica.
- Determinar el diagrama de carga, la carga base y punta del funcionamiento de caldera.
- Identificar las variables de proceso a controlar.
- Identificar y definir los instrumentos de medición y control existentes en sala de calderas.
- Calcular el costo de energía actual y beneficios económicos de la implementación de un acumulador de vapor.
- Recomendar plan inversión según montos e impacto en la operación.

2. Antecedentes

2.1. Descripción de la empresa

Nestlé S.A. es una empresa multinacional suiza de alimentos y bebidas con sede en Vevey, Vaud, Suiza. Ha sido la empresa de alimentos más grande del mundo, medida por los ingresos y otras métricas, para 2014, 2015 y 2016. Se clasificó en el número 72 de la lista Fortune Global 500 en 2014 y en la edición 2016 de Forbes Global 2000 de las empresas públicas más grandes.

Los productos de Nestlé incluyen alimentos para bebés, comida médica, agua embotellada, cereales para el desayuno, café y té, confitería, productos lácteos, helados, alimentos congelados, alimentos para mascotas y aperitivos. Veintinueve de las marcas de Nestlé tienen ventas anuales de más de 1.000 millones de dólares, incluyendo Nespresso, Nescafé, Kit Kat, Smarties, Nesquik, Stouffer, Vittel y Maggi. Nestlé cuenta con 447 fábricas, opera en 194 países y emplea a unas 339.000 personas. Es uno de los principales accionistas de L'Oréal, la compañía de cosméticos más grande del mundo.

Nestlé S.A. cuenta con 8 fábricas a lo largo del país. El trabajo de título será realizado en la fábrica ubicada en la ciudad de Llanquihue, en la X Región de Los Lagos. Esta fábrica es la encargada del procesamiento de la leche recolectada en la Provincia de Llanquihue, con la cual se fabrica específicamente leche en polvo y crema, tanto para ser envasados en los distintos formatos y marcas de la empresa, como también para ser enviados a otras fábricas del país para su reprocesamiento y fabricación de otros productos como galletas, helados, chocolates, entre otros.

2.1.1. Ubicación

La empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Llanquihue, Región de Los Lagos, con dirección Avenida La Marina S/N a nivel del mar.



Ilustración 2- 1: Ubicación geográfica de Nestlé S.A. Llanquihue.

2.1.2. Origen de la materia prima

La materia prima utilizada en la fábrica Nestlé Llanquihue es la leche natural de vaca, la cual proviene de los campos y fundos de la Provincia de Llanquihue, es decir, desde Puerto Montt, Puerto Varas, Cochamó, Calbuco, Maullín, Los Muermos, Fresia, Llanquihue y Frutillar.

La leche obtenida de cada ordeña se almacena en estanques, que poseen un sistema de frío y un agitador, y varía dependiendo del tamaño de la producción, la cual depende de la época del año. En verano, las vacas son ordeñadas dos veces al día, ya que la producción de leche es mayor; y en invierno una vez al día, cuando la producción lechera disminuye.

Cada día, o día por medio, decenas de camiones recolectores de Nestlé Llanquihue recogen la leche en los distintos campos de los Cooperados, para ser llevada inmediatamente a la planta procesadora de Llanquihue.



Ilustración 2- 2: Camión recolector de la empresa Nestlé.

2.1.3. Valores de producción

El año 2022 se consideró un año normal en cuando a términos de producción láctea por parte de los Cooperados, aun con las complejidades climáticas que presentó debido a la disminución de agua caída y aumentos de temperaturas. La pandemia producida por el COVID-19 no afectó la producción de leche, ya que no es un proceso que pueda detenerse o disminuir debido a las enfermedades que esto conlleva para la vaca.

La recepción de leche en la fábrica Nestlé Llanquihue en el año 2022 tuvo un crecimiento del 4% con respecto al año 2021, lo cual equivale a 645.000 [kg] de leche aproximadamente. Este incremento reforzó la confianza con los Cooperadores, ya que debido a la contingencia se esperaba una disminución en cuanto a la recepción de leche por parte de la empresa. A continuación, se presenta en la siguiente tabla los valores obtenidos en cuanto a recepción de la materia prima del año 2020, separados en centros de acopio y entrega directa de leche por parte del Cooperado.

Tabla 2- 1: Valores del año 2022 con respecto a la recepción de kilos de leche.

Indicador	Centros de acopio	Entrega directa
Nº de productores en asesoría	69	98
Nº de productores con estanque	62	74
% de leche entregada en el estanque	97,7%	95%
Kilos de leche entregados	5.995.704 [kg]	10.504.388 [kg]
Variación con respecto al año 2019	6%	3%

2.1.4. Productos elaborados

Nestlé Llanquihue es la fábrica encargada de producir leche en polvo y crema, en los distintos formatos y marcas que posee la empresa. Los productos elaborados se presentan a continuación.

✓ Leche en polvo:

Para la leche en polvo, Nestlé cuenta con dos marcas: Nido y Svelty, las cuales se diferencian en el público al cual están destinadas. La marca Nido abarca principalmente la población desde 1 año hasta la etapa escolar, donde se encuentran:

- Nido Etapa 1+.
- Nido Etapa 3+.
- Nido Etapa 5+.
- Nido Forticrece.



Ilustración 2- 3: Nido Etapas en su formato único de 1,6 [kg].

Los productos anteriores se diferencian en los componentes y nutrientes con los cuales fueron fabricados, los cuales dependerán de la edad del consumidor, y pueden encontrarse en el formato de leche sin lactosa. Además, estos productos solo se fabrican en el formato de tarro de 1,6 [kg].

También podemos encontrar Nido Entera, la cual es leche en polvo con un alto contenido de Vitaminas A, C, D y Hierro, y está destinada a la población adolescente y adultos. Nido Entera se produce en el formato de tarro de 1,6 [kg] y bolsas de 700 [gr] como Nido Buen día.

Por otro lado, en la Fábrica Nestlé Llanquihue se produce leche en polvo marca Svelty, específicamente Svelty Sin Lactosa y Svelty Descremada, las cuales están destinadas a la población adulta y adulta mayor. La leche Svelty se caracteriza por contener altos niveles de colágeno, calcio y vitamina C, cuyos niveles disminuyen en el cuerpo a medida que pasan los años. Esta marca solo se produce en formato de bolsa de 800 [gr].



Ilustración 2- 4: Svelty variedades en formato de 800 gr.

✓ Crema:

En la fábrica de Llanquihue se produce únicamente Crema de Leche en los formatos de 157 [gr] y 236 [gr], en tarro. La crema es obtenida a partir del proceso de descremación y posterior pasterización, y se caracteriza por ser un producto natural.



Ilustración 2- 5: Crema de Leche Nestlé en sus formatos de 236 [gr] (izquierda) y 157 [gr] (derecha).

2.1.5. Aceptación en el mercado

En un año en que las empresas se vieron desafiadas para mantener sus operaciones, presencia y compromiso de cara a sus consumidores y la sociedad, se entregaron los resultados del ranking de reputación Merco Empresas y Líderes 2022: Nestlé ocupó el top 3 de la lista y lideró su sector. Con este resultado, la compañía sube dos puestos desde

su ubicación en 2021 y mantiene el liderazgo en el rubro de alimentos. Pese al impacto de la pandemia, la décimo primera versión del estudio Merco en el país se realizó sobre la base de 27.436 encuestas a consumidores, trabajadores, directivos, analistas y catedráticos, entre otros, totalizando 24 fuentes de información diferentes.

Desde el inicio de la crisis sanitaria, Nestlé puso todos sus esfuerzos por mantener su rol en la cadena de abastecimiento de alimentos en el país, siempre velando por cuidar la salud de las personas, proteger el empleo y contribuir con quienes más lo necesitaban.

Es así que reforzó su programa de donación de alimentos a comunidades, familias y personas que requieren apoyo, entregando a la fecha más de 600 toneladas de productos en todo el país. Asimismo, la compañía adaptó su Iniciativa por los Jóvenes, que promueve la empleabilidad juvenil para dar continuidad a sus programas de apoyo como talleres, prácticas, entre otros. Y realizó por primera vez en formato virtual el V Encuentro de Jóvenes de la Alianza del Pacífico donde se abordaron los retos y desafíos actuales que afectan a la empleabilidad de la juventud de la región con casi 100.000 participantes registrados.

También enfocó su tradicional Fondo de Desarrollo Local Premio Henri Nestlé, al apoyo de pequeños emprendedores, para dar un impulso en momentos que han sido muy golpeados por los efectos del COVID-19.

Además, adaptó a formato digital su programa de educación nutricional temprana en colegios Nestlé por Niños Saludables, creando Nutricheck un servicio de asesorías nutricionales gratuitas y abierto a la comunidad para seguir entregando acompañamiento a padres y educadores en pandemia.

Por último, la compañía no dejó de lado sus compromisos medioambientales. Como uno de los primeros firmantes del compromiso de la ONU "Business Ambition for 1.5°C", NESTLÉ anunció un amplio plan para alcanzar las cero emisiones netas para 2050 y que sus fábricas usen electricidad 100% renovable al 2025, entre otros.

El nivel de aceptación que tiene Nestlé en Chile es enorme, lo cual queda demostrado en sus ventas, estadísticas y logros. Esto lo consigue a través de sus campañas, productos y estrategias, que la permiten posicionarse como una empresa líder en productos a nivel nacional y mundial. Además, Nestlé es una empresa transparente que ha sabido ganarse a la sociedad a través de su sello verde, naturalidad de sus productos y apoyo tanto a sus trabajadores como proveedores.

2.2. Caldera de vapor

Una caldera es un recipiente metálico cerrado que, aplicando el calor de algún combustible sólido, líquido o gaseoso, produce vapor o calienta un fluido a una temperatura superior a la del ambiente y presión por encima de la atmosférica. Por tratarse de un recipiente a presión, suele ser de acero al carbono y dispone de dispositivos de seguridad. Además, debe ser sometida a inspecciones y pruebas periódicas y ser manipulada por operarios capacitados.

El principio básico del funcionamiento de las calderas consiste en una cámara donde, con la ayuda del aire comburente, se produce la combustión y un intercambiador de calor donde el calor producido por la combustión se transmite al fluido caloportador, encargado a su vez de llevar el calor a los puntos de consumo. En el calentamiento del fluido caloportador de una caldera intervienen los tres mecanismos de transmisión de calor reconocidos:

- Conducción, por contacto directo entre la llama y el cuerpo de la caldera que contiene el fluido caloportador.
- Radiación, desde la llama a las paredes del hogar donde tiene lugar la combustión.
- Convección, desde los humos calientes producidos en la combustión a las partes metálicas de la caldera.

Las calderas son utilizadas en multitud de aplicaciones, tanto en entornos residenciales y terciarios, como en instalaciones industriales. El uso final del calor generado condiciona directamente la forma de las calderas y las instalaciones auxiliares que precisan.

2.2.1. Características de la caldera a trabajar

El Trabajo de Título se desarrollará en la caldera de vapor marca Johnston Boiler, modelo PFTA1000-4LG250S, la cual es de origen estadounidense y fue fabricada en el año 1995. La fábrica Nestlé Llanquihue cuenta con dos calderas de este modelo, donde una se encuentra en *stand by* en caso de falla o mantención de la caldera principal.



Ilustración 2- 6: Caldera Johnston Boiler PFTA1000 perteneciente a la Fábrica Nestlé Llanquihue.

La caldera es denominada como tubo de fuego empaquetado (PFT) y está diseñada para ser suministrada como un sistema empaquetado completo con quemador de combustible, controles de presión y nivel, así como un sistema de control y monitoreo electrónico. Todas las calderas Johnston están construidas según las estrictas pautas de ASME.

La caldera tiene un diseño de espalda húmeda con una cámara de combustión y un tubo de combustión completamente sumergidos. La caldera además cuenta de 4 pasos, los cuales maximiza la transferencia de calor efectiva teniendo 5 pies cuadrados de superficie de transferencia de calor por HP, mientras que, al mismo tiempo, elimina el estrés térmico en la placa tubular y el alto costo de mantenimiento normalmente experimentado en otras calderas.

Como indica su nombre, la caldera de tubos de fuego consiste en un número de tubos a través de los cuales se pasan los gases calientes. Estos tubos de gas caliente se sumergen en agua, en un recipiente cerrado. Estos tubos de fuego o tubos de gas caliente calientan el agua y convierten el agua en vapor y el vapor permanece en el mismo recipiente.

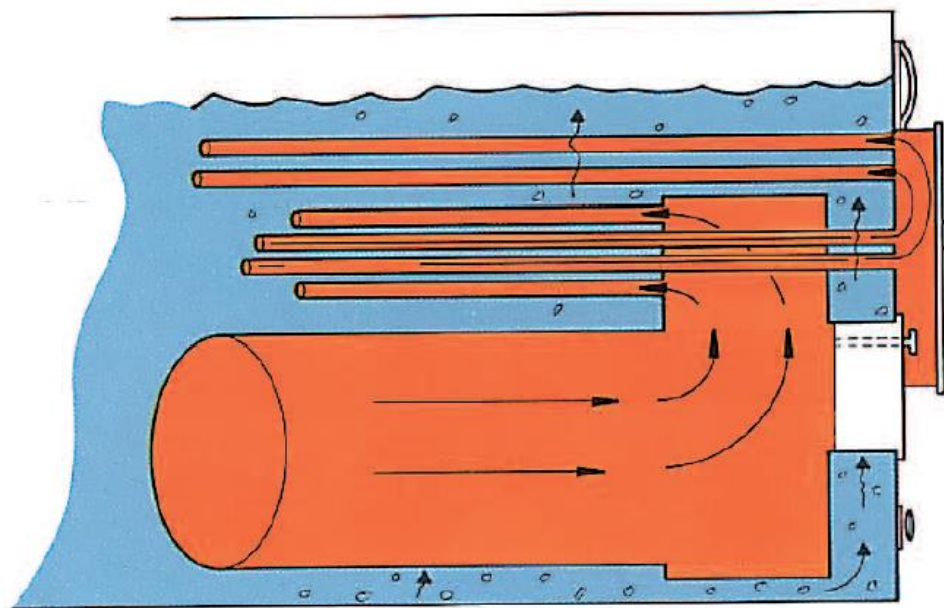
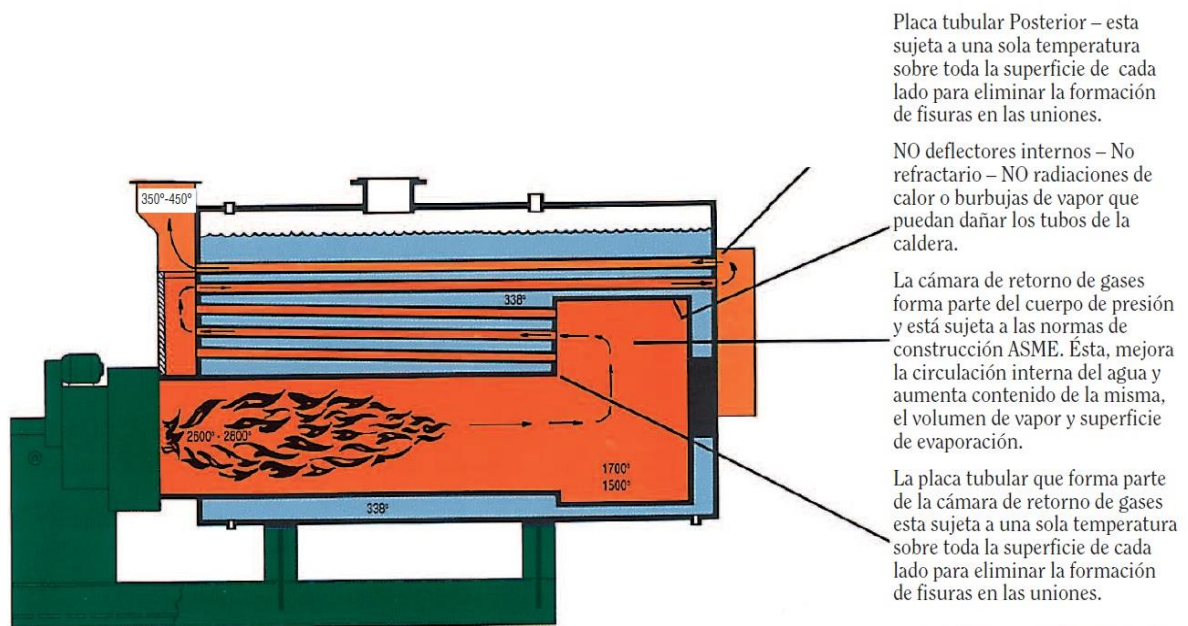


Ilustración 2- 7: Funcionamiento y partes de la caldera Johnston Boiler de 4 fases.

Tabla 2- 2: Información técnica caldera

Modelo	PFTA1000-4LG250S
Tipo de caldera	Pirotubular
Tipo de quemador	Quemador Johnston “A”
Potencia	1.000 HP
Fases	4
Combustible	Gas, petróleo
Presión de diseño	250 [psig]
Producción	Vapor
Capacidad producción	15.000 [ton/h]

Tabla 2- 3: Parámetros de operación de la caldera.

Presión de operación [psig]	Capacidad [lb/h]	Gas Natural		Fuel oil #2		Fuel oil #6	
		Temp. chimenea [F]	% Rend.	Temp. chimenea [F]	% Rend.	Temp. chimenea [F]	% Rend.
10	34.728	260	85,9	266	89,1	271	89,9
50	34.055	318	84,5	324	87,8	329	88,5
100	33.691	358	83,5	364	86,7	369	87,5
150	33.487	386	82,8	392	86	397	86,8
200	33.361	408	82,2	414	85,4	420	86,2
250	33.280	426	81,8	432	85	438	85,7
300	33.228	442	81,4	448	84,6	454	85,3

2.2.2. Funcionamiento

La energía que utiliza la caldera proviene del gas natural y del petróleo. Dicha energía se introduce a la caldera mediante el proceso de combustión en forma de calor. El objetivo de una caldera es convertir este calor en la mayor cantidad de vapor posible. Todo calor perdido es una pérdida de energía entregada por el combustible. Hay solamente 3 destinos para la energía que entra a la caldera: salir en forma de vapor producido; perderse al ambiente en forma de radiación de calor; o puede ser perdido a la atmósfera a través de la chimenea.

Las pérdidas al ambiente pueden considerarse como como pérdidas radiantes y convectivas. Aun así, siendo una cantidad de calor impresionante al tacto humano, en realidad la pérdida al medio ambiente es aproximadamente de un 1%. La gran mayoría del calor perdido es dispersado a la atmósfera por la segunda forma, es decir, como un componente de los productos de combustión que salen por la chimenea.

La eficiencia térmica de todas las calderas Johnston está calculada utilizando la norma ASME Power Test Code PTC 4.1. Esta norma toma en cuenta la cantidad de energía liberada de la caldera en la forma de vapor y la cantidad de energía entregada hacia la caldera en forma de combustible. Conforme vaya creciendo la eficiencia va disminuyéndose la cantidad de energía que se desperdicia. La eficiencia es el factor más importante para determinar el costo del combustible necesario para producir el vapor que se necesita para su proceso. Un incremento en la eficiencia, aunque sea pequeño, podría representar un ahorro de miles de dólares en costo de combustible año tras año.

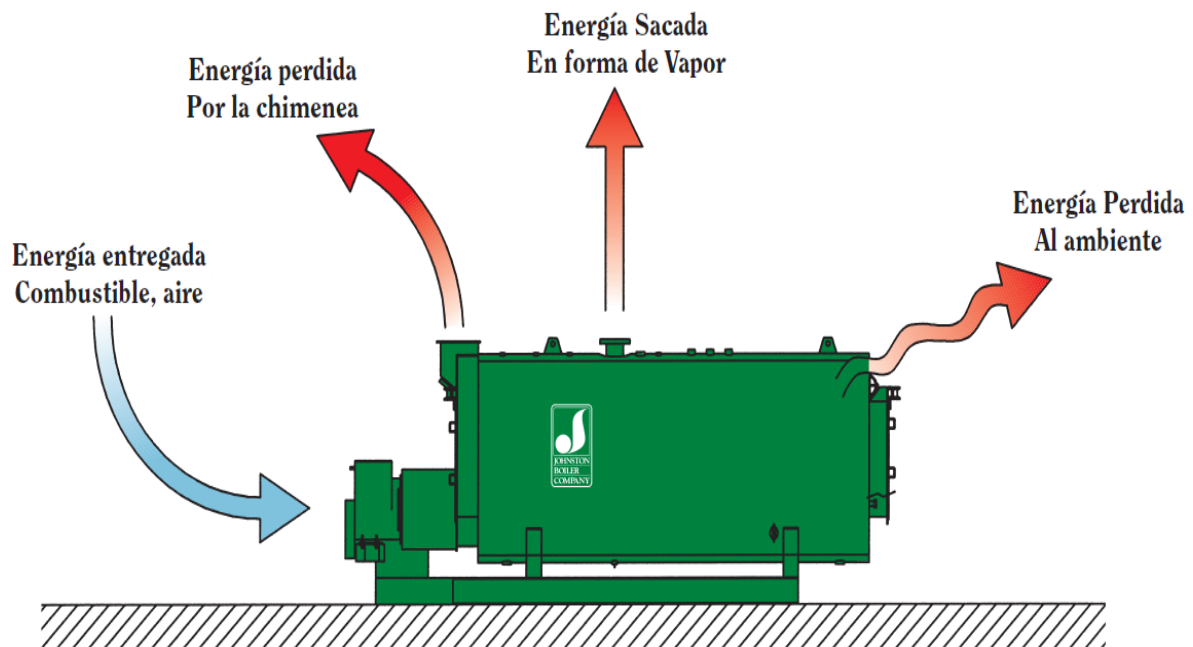


Ilustración 2- 8: Análisis de las energías de entrada y salida en calderas.

2.2.3. Partes principales

En general, una caldera pirotubular o de tubos de fuego cuenta con las siguientes partes:

- 1) Quemador: sirve para quemar el combustible y producir la llama.
- 2) Hogar o cámara de combustión: alberga el quemador y en su interior se realiza la combustión del combustible utilizado y la generación de los gases calientes. Es donde se alcanzan las temperaturas más altas, próximas a los 2000°C.
- 3) Tubos de intercambio de calor: a través de su superficie se efectúa el flujo de calor desde los gases generados en la combustión hasta el fluido caloportador. Suelen incluir elementos (retardadores) o geometrías especiales con el fin de mejorar el coeficiente de transmisión de calor humos-fluido.
- 4) Salida de vapor: desde donde el vapor se envía hacia los puntos de consumo de la instalación.
- 5) Chimenea: es la vía de escape de los humos y gases de combustión hacia el exterior después de haber cedido calor al fluido caloportador. Su trazado es vertical prácticamente en su totalidad y presenta una envoltura aislante y resistente.
- 6) Aislante térmico: evita pérdidas de calor al ambiente.
- 7) Carcasa: contiene el hogar y el sistema de tubos de intercambio. Debe estar recubierta por una envoltura con material aislante térmico, con el fin de disminuir las pérdidas de calor y proteger a los operarios contra quemaduras.
- 8) Refractario delantero y posterior: permite paliar las diferencias térmicas y mantener una temperatura constante, además de permitir el retorno y paso de los gases de altas temperaturas a través de la caldera.

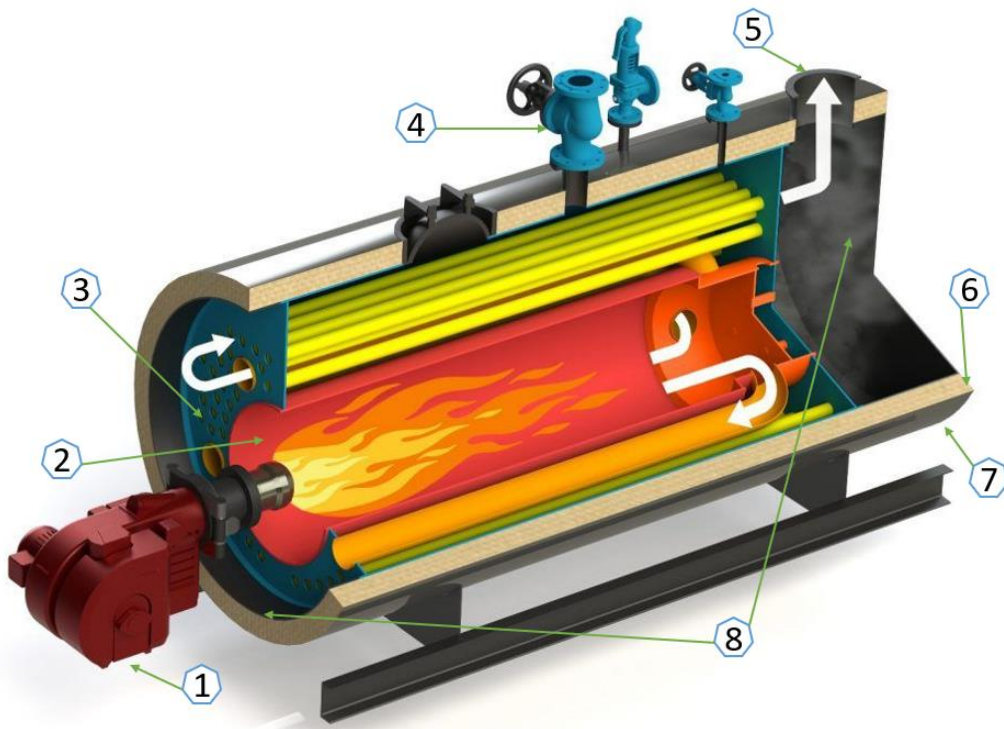


Ilustración 2- 9: Partes interiores y exteriores de una caldera.

- 9) Válvulas de purga: permiten drenar los sedimentos en al agua del interior de la caldera
- 10) Base de acero estructural: unidad sobre la cual se monta la caldera.
- 11) Tablero de control: controla el funcionamiento automático de la caldera, encendido, apagado, entre otros.
- 12) Puerta delantera: permite el ingreso al interior de la caldera para el mantenimiento.
- 13) Columna de nivel: indica el nivel de agua dentro de la caldera.
- 14) Manómetro de vapor: indica la presión interna de la caldera.
- 15) Válvulas de seguridad: válvulas que se abren y expulsan el exceso de agua cuando la presión supere cierto nivel.
- 16) Bomba de agua: se encarga de suministrar agua a la caldera a una presión mayor que la de trabajo de la caldera.
- 17) Moduladora de agua: regula el porcentaje de ingreso de agua a caldera.

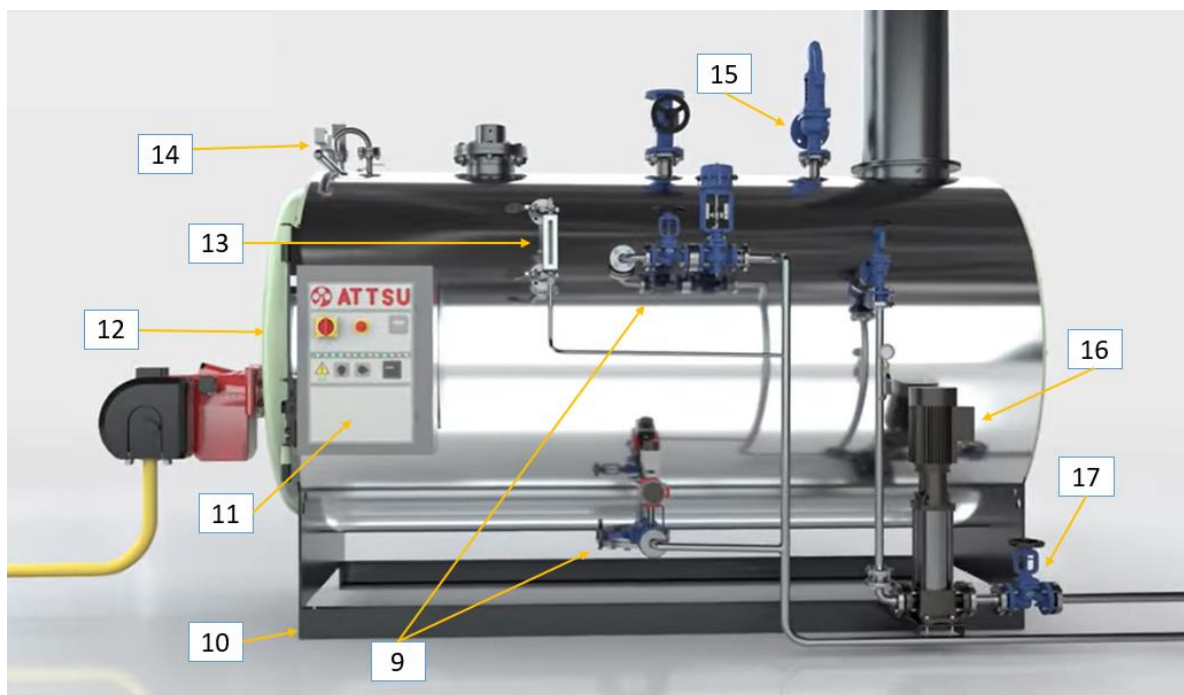


Ilustración 2- 10: Partes exteriores de una caldera.

2.2.4. Operación sala de calderas

Desde la sala de calderas se pueden monitorear y controlar los equipos de producción de aire caliente y vapor, es decir, hornos y calderas respectivamente. La sala cuenta con monitores donde se pueden observar parámetros y modificar los *set point* de los equipos, además de monitorear la operación del desgasificador, bombas de agua de la sala de calderas, nivel de cloro en el agua potable, nivel del pozo de agua industrial, entre otros.



Ilustración 2- 11: Monitores de control de la sala de calderas.

Ahora bien, desde el monitor se pueden observar los parámetros de operación más importantes de la caldera, dentro de los cuales tenemos:

- 1) Vapor total producido: indica la cantidad de vapor producido desde la mantención anual realizada.
- 2) Tasa de vapor: indica la tasa de producción por hora, la cual depende de la demanda en fábrica, el cual en su máxima producción alcanza aproximadamente los 15.000 kilos de vapor por hora, la cual es la capacidad máxima de la caldera.
- 3) Presión de la caldera: la cual se debe encontrar entre los 11 y 12 bar.
- 4) Set point del agua al interior de la caldera: valor al cual está seteado el nivel de agua (SP) y el nivel en el cual se encuentra en el momento (PV), siendo esta siempre de un 50%.
- 5) Porcentaje de apertura de la válvula moduladora de agua de alimentación, que dependerá de cuanto falta para alcanzar el 50% en el nivel del agua interior de la caldera.
- 6) Ppm de CO en el ambiente: el cual debe encontrarse en 0 o muy cercano.
- 7) Presión de las bombas de agua de alimentación: cuya presión esta seteada en 22 bar.
- 8) Nivel de agua en el interior de la caldera.



Ilustración 2- 12: Parámetros de operación de la caldera

En otra ventana del monitor, se pueden controlar otros equipos y parámetros que repercuten directamente en la caldera, como lo son:

- Estanque de retornos:

El estanque de retornos es el encargado de almacenar el agua de condensación y agua de vaca que retorna del proceso de evaporación de la leche. El estanque cuenta con un nivel que indica el porcentaje de agua que contiene este. Cuando no hay suficiente agua de retorno, el estanque se rellena con agua industrial previamente tratada en los ablandadores. En el monitor se pueden observar los siguientes parámetros:

- 1) Válvula de paso agua industrial hacia estanque de retorno.
- 2) Porcentaje de nivel estanque de retornos.
- 3) Estanque de retornos.
- 4) Bombas de alimentación hacia desgasificador.
- 5) Válvula de alimentación agua industrial hacia desgasificador.
- 6) Set point porcentaje de apertura válvula moduladora hacia desgasificador.
- 7) Válvula moduladora hacia desgasificador.

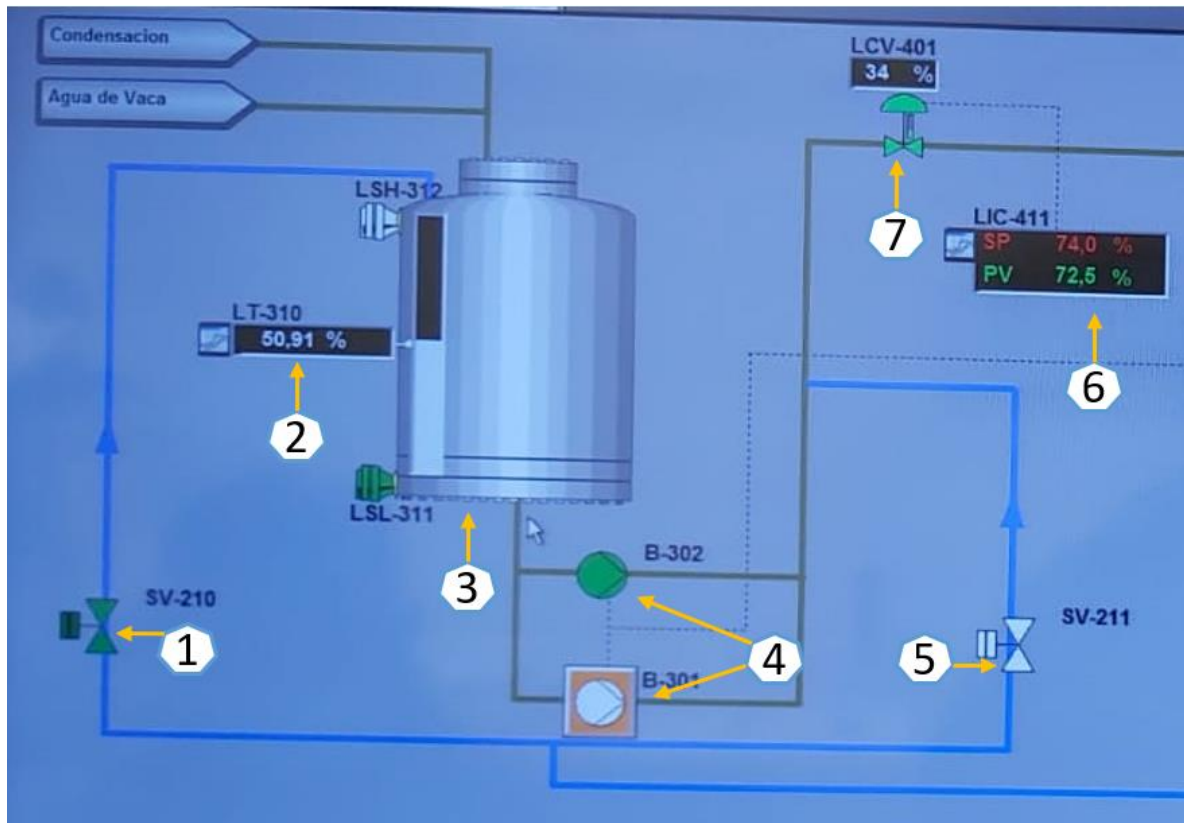


Ilustración 2- 13: Parámetros de operación del estanque de retornos.

- Desgasificador:

El desgasificador es un equipo crítico para la caldera, ya que este abastece de agua a la caldera a cierta temperatura y con un porcentaje casi nulo de oxígeno. Desde el monitor se pueden apreciar ciertos parámetros:

- 1) Válvula moduladora de vapor: regula el ingreso de vapor al desgasificador.
- 2) Set point de la presión del desgasificador: la cual siempre debe encontrarse en 0,5 bar.
- 3) Set point de la válvula reguladora de presión: regula la presión del vapor que ingresa al desgasificador, seteada en 2,5 bar.
- 4) Válvula reguladora de presión del vapor proveniente de la caldera hacia el desgasificador.
- 5) Indicador del nivel de agua en el desgasificador.
- 6) Temperatura del agua que ingresa a la caldera desde el desgasificador. Comúnmente, esta temperatura debe estar cercana a los 104°C.
- 7) Set point de la presión de las bombas de agua de alimentación hacia calderas, seteadas en 22 bar.
- 8) Bombas de impulsión de agua de alimentación desde desgasificador hacia calderas.

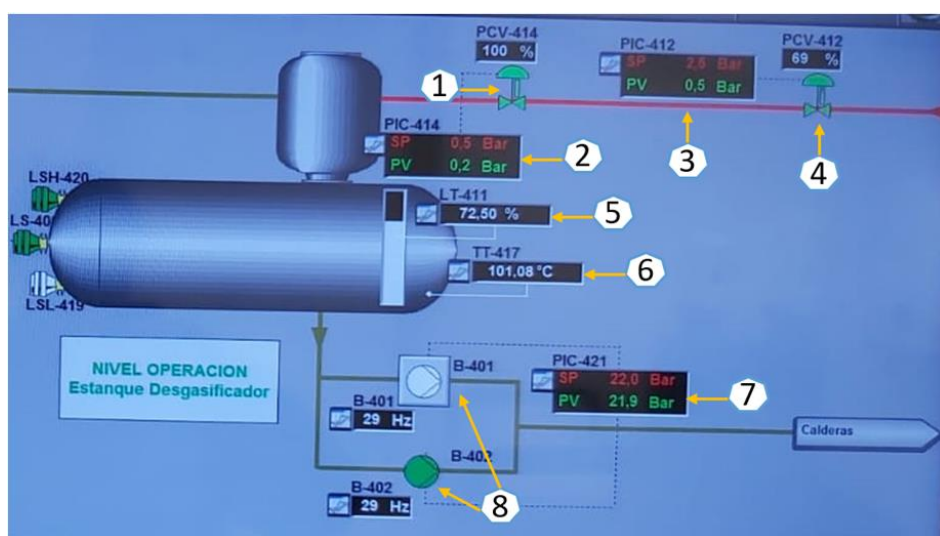


Ilustración 2- 14: Parámetros de operación del desgasificador.

- Ablandadores:

El control que se tiene de los ablandadores desde la sala de control es únicamente de las bombas de impulsión de agua desde el pozo de agua industrial. Por ende, desde el monitor se puede observar:

- 1) Bombas de impulsión desde pozo de agua industrial hacia ablandadores.

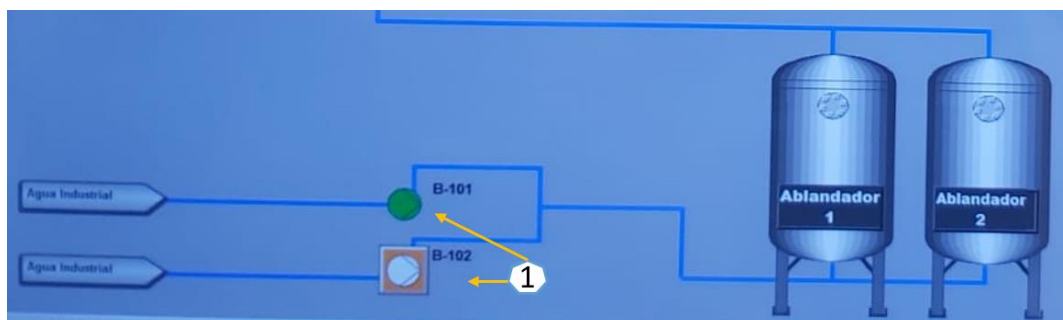


Ilustración 2- 15: Parámetros de operación de los ablandadores.

2.2.5. Control de calderas

Si bien la caldera puede ser monitoreada desde su sala de control, gran parte de los procedimientos deben realizarse en terreno. La caldera cuenta con dos tableros de control:

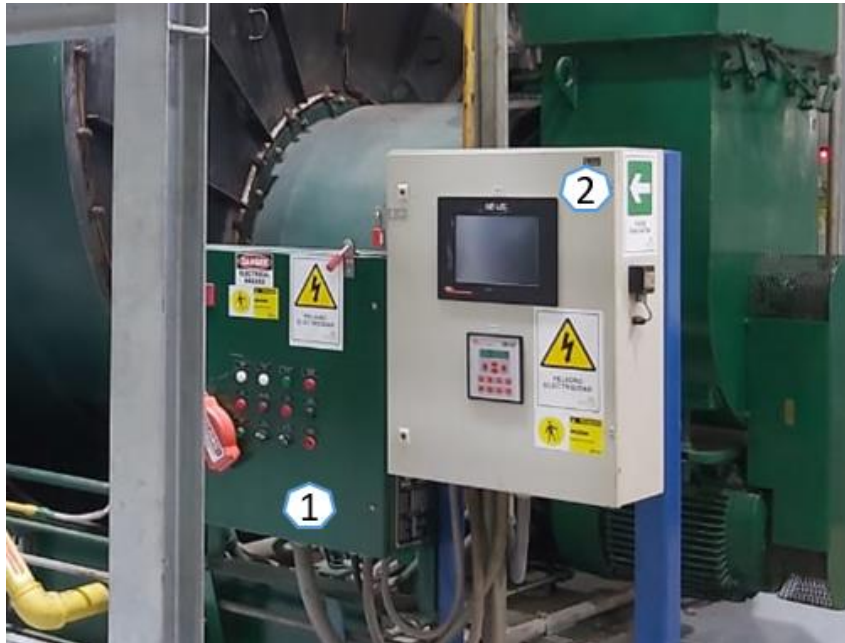


Ilustración 2- 16: Tableros de control de la caldera Johnston Boiler.

- 1) El tablero verde es con el cual la caldera viene de fábrica. Este tablero actualmente tiene la función de encendido – apagado del quemador, parada de emergencia, y selecciona el combustible a utilizar por la caldera.



Ilustración 2- 17: Tablero manual de la caldera Johnston Boiler.

- 2) El talero blanco, el cual es una mejora realizada a la caldera. Desde este control se puede seleccionar si la caldera desea controlarse en modo manual o automático, ver las fases en las cuales se encuentra en quemador una vez encendido, entre otros. Pero la función más importante, es controlar la presión de la caldera. Desde este tablero se setea la presión de trabajo de la caldera dependiendo el consumo

que se tiene en dicho momento en fabrica. Esta presión no está normalizada para ciertos consumos, sino que depende netamente de la decisión y experiencia del operador de calderas de turno. Dicha acción, es la que se desea modificar en el presente trabajo aplicando un APC.



Ilustración 2- 18: Tablero automático de la caldera Johnston Boiler.

2.2.6. Equipos auxiliares

- Desgasificador

El desgasificador es el encargado de aumentar la temperatura del agua de alimentación, eliminar el oxígeno y además funcionar como una reserva de agua. Este equipo funciona introduciendo agua fría atomizada por la parte superior de la torre a través de una boquilla y el vapor, proveniente de calderas, ingresa en un nivel más bajo a contracorriente, de esta forma se eleva la temperatura del agua y se presuriza el sistema. La cantidad de vapor alimentada a la base del desgasificador es controlada por una válvula reductora de presión, encargada de mantener la presión de ebullición del agua. El vapor es conducido a través de las bandejas del desgasificador, para mejor el intercambio de calor y lograr la liberación del oxígeno disuelto. De esta forma, el vapor en contacto con el agua atrapa el oxígeno y lo libera hacia la atmosfera, a través del venteo existente en la parte superior de la torre. El condensado producido y el agua desgasificada se aloja en las parrillas y escurre hacia el estanque de acumulación.

Tabla 2- 4: Datos técnicos del desgasificador.

Marca	Dueik Equipos Térmicos
Modelo	DTD - 40
Oxígeno restante	0,005 [cm ³ /lt]
Temperatura de salida del agua	100 – 110 °C
Presión de operación	0,5 bar
Capacidad	18.000 [kg/h] de agua
Flujo de vapor	2,29 [ton/h]
Volumen de acumulación estanque	8 [m ³]



Ilustración 2- 19: Desgasificador de la sala de calderas Fábrica Nestlé Llanquihue.

- Intercambiador de humos

La caldera en estudio es la única que cuenta con un economizador en su parte superior. Un economizador es un intercambiador de calor de tubos aletados, que permite recuperar parte del calor sensible de los productos de la combustión que emite una caldera, transfiriéndolo al agua de alimentación y aumentando de esta manera la eficiencia térmica. La cantidad de calor que estos equipos pueden recuperar está limitada por el punto rocío ácido (temperatura de condensación componentes ácidos) de los productos de la combustión generados por el combustible utilizado en la caldera.

La principal ventaja o beneficio de un economizador es la importante reducción de los gastos en combustible, resultante del mejoramiento de la eficiencia de las calderas, lo que permite quemar una menor cantidad de combustible para aportar el calor requerido para generar vapor.

La caldera cuenta con un equipo estadounidense construido y diseñado por Eco Ing., y comercializado en Chile por Thermal Engineering.



Ilustración 2- 20: Economizador instalado en la caldera Johnston Boiler.

- Ablandadores

Un ablandador de agua está lleno de bolitas de resina. El agua dura con calcio y magnesio fluye a través de esta resina y, en un proceso llamado intercambio iónico, los iones de dureza en el agua se intercambian con iones blandos en las bolitas de resina. El resultado es agua blanda.

Con el tiempo, las bolitas de resina del ablandador de agua se cubrirán con iones de calcio y magnesio, disminuyendo su capacidad para ablandar el agua dura. A través de un proceso llamado regeneración, se pasa agua automáticamente a través del ablandador de agua con una alta concentración de regenerante. Las bolitas de resina recogen los iones blandos del regenerante a cambio de la dureza de las bolitas. Para lo anterior se usa el cloruro de sodio, el cual es el componente para regenerar y limpieza de la resina y la zeolita, intercambiando los iones que son calcio y magnesio. La sal ayuda producir el ablandamiento del agua.



Ilustración 2- 21: Ablandadores de la sala de calderas.

2.3. ¿Qué es el vapor?

Teóricamente, el vapor de agua es el gas formado cuando el agua pasa de un estado líquido a uno gaseoso. A un nivel molecular esto es cuando las moléculas de H₂O logran liberarse de las uniones (uniones de hidrógeno) que las mantienen juntas.

Ahora bien, el vapor de agua es vital para realizar transferencia de calor en múltiples procesos industriales. Es por esta razón, que es importante la calidad que tenga este, es decir, la proporción de vapor saturado que se encuentra en una mezcla saturada líquido-vapor. La gran mayoría de los sistemas de vapor industriales (más del 88%) utilizan vapor saturado para diferentes aplicaciones de proceso. El vapor saturado es completamente gaseoso y no contiene líquido. Existen diferentes tipos de vapor:

- Vapor de planta: es el vapor normal que se utiliza para fines generales de calentamiento indirecto en plantas de proceso. Es también llamado vapor de utilidad y se produce mediante una caldera. Es utilizado en aplicaciones que no impliquen contacto con productos alimenticios o con superficies que entren en contacto directo con los mismos (por ejemplo, calentamiento indirecto).
- Vapor culinario: es el vapor que se usa para la inyección directa en el producto, limpiar o esterilizar las superficies de contacto del producto. Se produce pasando el vapor de la planta a través de un filtro de alta eficiencia. Generalmente contiene aditivos que previenen la corrosión y la formación de incrustaciones dentro de las calderas, por lo que a menudo se filtra antes de entrar en contacto con los productos alimenticios.
- Vapor puro (o higiénico): también conocido como vapor limpio, vapor WFI, vapor de alta pureza, vapor sanitario limpio, vapor limpio farmacéutico, vapor limpio GMP y vapor libre de pirógeno. Es similar al vapor limpio; sin embargo, no contiene bacterias ni pirógenos. Se produce por un generador de vapor puro; que se clasifica como sanitario en diseño.
- Vapor Hospitalario: Se conoce también como vapor HTM 2031, vapor EN 285 y vapor limpio simple. Es una fase intermedia del vapor limpio o puro. Se produce en un generador independiente y puede usar agua potable ablandada, desionizada (DI) u ósmosis inversa (RO) como agua de alimentación, dependiendo de los requisitos del usuario final.

La mayoría del vapor utilizado en la industria alimentaria, que es donde se realizará el presente trabajo, es el vapor culinario, pero hay casos en los que se prefiere o se requiere vapor puro.

2.3.1. Utilización del vapor en fábrica

El vapor es un elemento fundamental en la producción de leche en polvo y crema, productos principales de la fábrica Nestlé Llanquihue, ya que participa en las etapas claves del proceso. De aquí su gran importancia y necesidad de contar con los equipos siempre operativos y con la mejor calidad de vapor posible. Los procesos en los cuales participa el vapor producido por la caldera se describen a continuación.

- Uso en lecitina

La lecitina es un emulsionante que facilita la disolución de grasas en agua, la cual se agrega a la leche en polvo para lograr la instantaneidad. En el proceso, la lecitina se inyecta en la torre de secado, específicamente en el equipo denominado Egron. En la superficie de este, ingresa aire caliente (proveniente de los hornos), leche (proveniente de los evaporadores) y lecitina.

Para lograr el secado por automatización, la lecitina se pulveriza en forma líquida o diluida en aceite/grasa y esto se logra inyectando vapor en la línea de lecitina, de tal forma que ingresa al equipo de secado en forma de espray, adhiriéndose a las gotas de leche, formándose la aglomeración entre la leche y lecitina.

Además, se usa una pequeña proporción de vapor en el precalentador de aire ambiente de la sala en la cual se almacena la lecitina.

- Uso en torre de secado

La torre de secado de la leche cuenta con dos equipos: Egron 1 y Egron 2. Ambos equipos se encuentran alojados en el edificio de forma vertical, ocupando los cinco pisos de este. Cada piso tiene equipos y funciones específicas. Dentro de estos pisos se encuentran los siguientes equipos que utilizan vapor:

- Intercambiador post secador.
- Intercambiador para ventilador aire sala inyección.
- Intercambiador para ventilador aire sala intercambiadores.
- Precalentador de placas.

- Uso en evaporadores

Los evaporadores son de los equipos más importantes y complejos en el proceso de producción, ya que se encargan de eliminar el agua de la leche para obtener un producto lácteo concentrado. Son los equipos de mayor consumo de vapor en fábrica y existen tres:

- Evaporador Scheffer 2
- Evaporador Scheffer 3
- Evaporador VEB

Los evaporadores son similares en cuanto a funcionamiento y equipamiento, por ende, los equipos / componentes que utilizan vapor se repiten entre ellos, los cuales se mencionan a continuación.

- Uperizador DSI: el uperizador es el equipo encargado de inyectar vapor a la leche para la destrucción de microorganismos, sin modificar la estructura, composición y caracteres organolépticos de la leche (*DSI: Direct steam injection / Inyección directa de vapor*).
- Termocompresor: equipo encargado de recuperar y reutilizar la energía del vapor exhausto, utilizando bombas a chorro de vapor utilizando vapor de alta presión que se expande para arrastrar y comprimir vapor de baja presión a una presión intermedia.
- Intercambiador de calor (Coil).

- Uso en CIP recepción y CIP condensación

El sistema CIP, del acrónimo Cleaning in Place (Limpieza in situ), es la limpieza realizada en el interior de los circuitos de los equipos de producción, sin desmontar o cambiar el estado de funcionamiento de estos. Para la limpieza se utilizan diferentes químicos, principalmente soda y ácido, los cuales, para una limpieza efectiva, deben estar a cierta temperatura, por lo cual se utilizan intercambiadores de calor para lograrlo. Por ende, el consumo de vapor en los CIP se lleva a cabo en:

- Intercambiador de calor para los estanques de ácido.
- Intercambiador de calor para los estanques de soda.

- Uso en descremación

Una vez ingresada la leche en estado natural a fabricación, la primera etapa es la descremación, aquí la leche ingresa a la descremadora, extrayendo la crema de esta. Posteriormente, este descremado ingresa a la sala de cremas donde se le incrementa la temperatura a través de un intercambiador de calor, para luego ingresar a la homogeneizadora. Una vez listo este proceso, la crema ya homogeneizada ingresa a otro intercambiador de calor, para aumentar aún más su temperatura para poder ser envasada en los tarros. Por lo cual, en esta etapa, el vapor se utiliza en:

- Intercambiador de calor descremado.
- Intercambiador de calor crema.

- Uso en sección crema

En la sala de crema, los tarros luego de ser llenados y tapados se acumulan en placas sobre un carro, para luego ser llevadas al equipo autoclave llamado Lagarde. Este, gracias a su diseño, permite realizar el proceso de esterilización con alta presión de vapor, que elimina microorganismos, incluidos virus y bacterias peligrosas, así como todas sus formas de esporas. La sala de crema cuenta con dos de estos equipos, siendo los segundos equipos, luego de los evaporadores, que más consumen vapor en planta.

- Uso en desgasificador

El desgasificador es el encargado de eliminar el oxígeno del agua de alimentación que ingresa a calderas, para de esta forma evitar la corrosión al interior de estas. Este equipo se basa en el principio de funcionamiento de que la solubilidad de los gases disueltos en agua (O_2 y CO_2) disminuye cuando el agua está cercana al punto de ebullición ($100^\circ C$ a presión atmosférica). Ahora bien, para aumentar la temperatura del agua, es que ingresa vapor al desgasificador para poder alcanzar la temperatura de los $100^\circ C$. El desgasificador es el tercer equipo que consume mayor cantidad de vapor en la fábrica.

- Usos menores de vapor

Ya mencionados los equipos que mayor consumen vapor, también existen consumos de vapor menores en fábrica como lo son:

- Cocina, específicamente en lavado.

- Lavandería, en secadora.
- Estanque de agua caliente de la fábrica.

En el Anexo N°1 se aprecia el diagrama de vapor en fábrica con los respectivos consumos de cada equipo.

2.3.2. Calidad del vapor

La calidad del vapor es un término usado en los sistemas de vapor. En este contexto la palabra calidad se refiere normalmente sólo a la cantidad del agua en el vapor y no a otros contaminantes. Un término más correcto sería la fracción seca o título del vapor.

Un problema común en la industria láctea es poder reducir al mínimo el riesgo de contaminación en sus procesos y en especial en el proceso de los productos lácteos infantiles.

Mientras que el vapor sigue siendo el método más eficiente y limpio para transferir calor a muchas aplicaciones de procesos de alimentación y bebidas, hay que tener cuidado y asegurarse que todos los sistemas de vapor están diseñados, instalados y mantenidos correctamente. De esa manera se garantiza que se entrega vapor de alta calidad al punto de consumo.

Nestlé cuenta con un programa a nivel mundial sobre gestión de vapor culinario, el cual comprende los siguientes ítems:

- El agua de reposición cruda de la caldera debe ser de la misma calidad o debe ser de la misma calidad para la adición a los productos / procesos y debe cumplir con los requisitos y estándares de la legislación alimentaria vigente.
- Las resinas y membranas de intercambio iónico para el tratamiento del agua de alimentación deben cumplir con la norma NSF / ANSI 61 (Componentes del sistema de agua potable - Efectos sobre la salud) o normas equivalentes reconocidas internacionalmente.
- Los productos químicos utilizados para la regeneración de resinas y la limpieza de membranas deben cumplir con la norma NSF / ANSI 60 (productos químicos para el tratamiento del agua potable) o una norma equivalente reconocida internacionalmente.
- HCl y NaOH utilizados deben estar certificados Foodgrade (US FDA o NSF).
- Todas las sustancias alcalinas volátiles, algunas conocidas por ser cancerígenas, irritantes y / o tóxicas, están estrictamente prohibidas para el tratamiento del agua de la caldera en todas las operaciones de Nestlé.
- Las calderas deberán especificarse para suministrar vapor con al menos un 99,5% de sequedad a la salida de la caldera y a la máxima potencia. Las condiciones de funcionamiento deben evitar situaciones que promuevan el arrastre de la caldera.
- Las calderas no deben funcionar a una presión inferior a la presión nominal de funcionamiento para evitar el arrastre. Si la reducción de presión fuera necesaria, se consultará al fabricante y se realizarán los ensayos correspondientes antes y después de la reducción de presión para confirmar que no hay prórroga.
- Todo el sistema de distribución de vapor debe diseñarse para garantizar una eliminación eficiente del condensado.

- Los puntos de inyección directa de vapor (DSI) en los productos y en la limpieza o esterilización de las superficies en contacto con el producto en las tuberías y equipos de proceso deben tener un purificador de vapor, un muestreador y materiales de tuberías de acero inoxidable después del purificador de vapor.
- Los condensados procedentes de aplicaciones peligrosas (es decir, calefacción para el tanque principal de almacenamiento de fueloil, depósito diurno de fueloil, trazado de líneas de combustible y similares) no deben reutilizarse.
- Un Plan de Respuesta de Emergencia para gestionar incidentes de contaminación por vapor.

2.3.3. Consumo de vapor en fábrica

Las calderas son equipos fundamentales en la producción de vapor en una fábrica. Nestlé Llanquihue cuenta con dos calderas de iguales características, Johnston Boiler y Johnston Boiler 2. Los estudios y análisis serán realizados en la caldera Johnston Boiler 1. Dichas calderas funcionan todo el año, siendo la caldera en estudio la principal y la Johnston Boiler 2 la caldera de respaldo. Los tiempos en los cuales las calderas no producen vapor es en tiempo de mantención y en paros no programados, ya sea por averías o fallas en equipos de control.

A continuación, se presentan los datos recopilados de la caldera Johnston Boiler 1 obtenidos del software de la caldera, en los cuales se muestra la producción de vapor durante un año, considerando desde diciembre del año 2021 hasta noviembre del año 2022, para de esta forma tener una tendencia de los meses en los cuales existe un mayor y menos consumo.

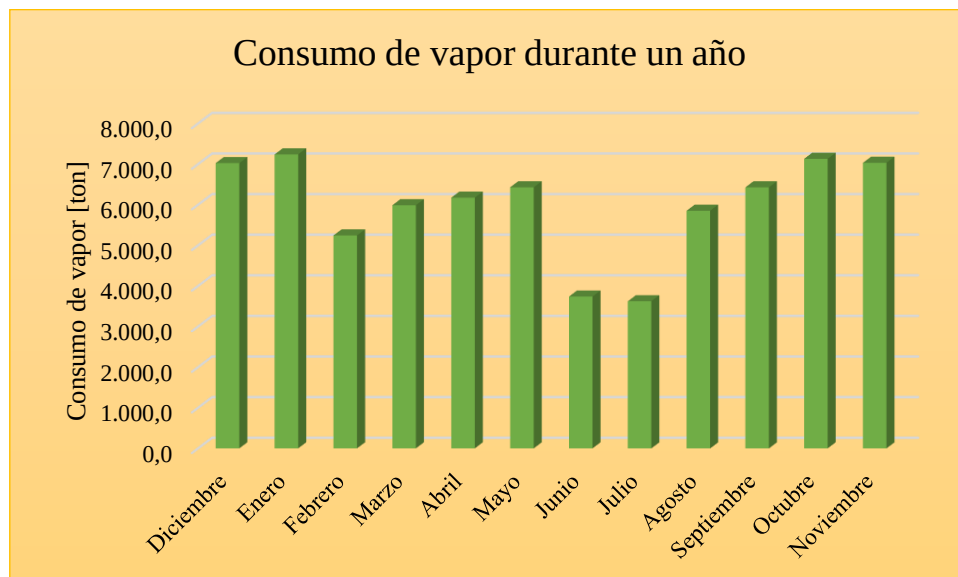


Ilustración 2- 22: Consumo de vapor anual en planta Nestlé Llanquihue.

3. Desarrollo

Una vez conocidos los antecedentes de la empresa y las características de la caldera que posee esta, se puede comenzar a trabajar en el dimensionamiento del acumulador de vapor.

Cuando se reduce la presión sobre agua almacenada a temperatura de saturación, se tiene como resultado un exceso de energía en el agua, lo que provoca que parte del agua se transforme en vapor. Este fenómeno es conocido como “flashing”, y el equipo para almacenar agua a presión se denomina acumulador de vapor. Pero primero, ¿qué es un acumulador? o, ¿para qué sirve?, son preguntas que se responderán a continuación.

3.1. Acumulador de vapor

Un acumulador de vapor es un recipiente a presión cuya función principal es ser una reserva de energía en forma de vapor que permita responder frente a la variabilidad de la demanda de vapor en una planta de producción, siendo este una extensión de la capacidad de almacenamiento de la caldera. En su interior contiene agua de vapor y vapor sobrecalentado en un estado de equilibrio térmico.

Poseer un acumulador en plantas que utilicen calderas de vapor trae consigo varios beneficios, como lo son:

- Evitan la necesidad de dimensionar la caldera de vapor basándose en la demanda punta.
- Disponibilidad inmediata de la cantidad requerida de vapor (el acumulador debe estar bien dimensionado).
- Operación flexible y controlable.
- Ahorro de energía ya que el quemador trabaja de manera progresiva y racional.
- Presión de vapor y calidad constantes.
- Evitan la tensión que sufren las estructuras de las calderas para lograr la cantidad de vapor requerida en los peaks.

3.1.1. Funcionamiento

Los acumuladores de vapor son estanques cilíndricos a presión, llenos con un 50% a un 90% de su volumen con agua. Su funcionamiento consiste esencialmente en dos etapas: primero la carga del equipo, y segundo, la descarga de vapor hacia los procesos.

La fase de carga del acumulador ocurre cuando existe una baja demanda de vapor en la planta, por lo cual, la caldera se encuentra generando más vapor de lo requerido. Este vapor extra, se inyecta al acumulador, que su interior posee una masa de agua caliente almacenada. El vapor se introduce a través de boquillas que funcionan como inyectores, que genera una turbulencia al interior del acumulador, lo que permite una mayor transferencia de calor entre el agua y el vapor ingresado. Pasado un lapso de tiempo, el

agua al interior del acumulador incrementa su temperatura, hasta alcanzar los parámetros de operación de la caldera, como lo son la presión y temperatura de saturación del vapor.

Cuando la demanda de vapor sea mayor a la capacidad de producción de la caldera, el acumulador comienza su fase de descarga cuando entrega vapor en periodos de alta demanda hacia la red de más baja presión, lo que permite a la caldera seguir trabajando en sus parámetros normales, sin necesidad de aumentar su producción de vapor frente al peak, ya que este será suplido por el acumulador. El acumulador entregará vapor hasta que la demanda se vuelva a equiparar con la cantidad de vapor que produce la caldera.

Se debe tener en cuenta que el acumulador debe estar completamente cargado al comienzo de su periodo de descarga para que funcione correctamente. Para que suceda esto debe ocurrir:

- Debe existir suficiente tiempo disponible desde un final de una sobredemanda hasta el comienzo de otra, para poder recargar el agua en el acumulador.
- La demanda promedio de vapor debe ser inferior a la capacidad de la caldera, de modo que exista suficiente capacidad excedente de la caldera disponible para suministrar el vapor excedente al acumulador durante los periodos de baja demanda.

Otros criterios a tener en consideración en el diseño para asegurar que el acumulador tenga suficiente capacidad son:

- Se debe almacenar suficiente agua para proporcionar la cantidad requerida de vapor instantáneo durante el periodo de descarga. Esto se satisface dimensionando el acumulador lo suficientemente grande.
- La capacidad de evaporación debe ser suficiente. Esto depende de la presión a la cual se almacena el agua en el acumulador (presión de la caldera), y la presión mínima a la cual realizará la descarga. Mientras mayor sea el diferencial entre estas presiones, mayor vapor flash se producirá.
- La presión de diseño del acumulador debe ser mayor que la presión de distribución aguas abajo. Esto es necesario para crear un diferencial de presión a través de la válvula reductora de presión (PRV) aguas abajo, para permitir el flujo requerido desde el acumulador a la planta.

3.1.2. Tipos de acumuladores

Se considera que existen dos tipos de acumuladores de vapor. El primero es un acumulador de vapor seco, los cuales almacenan vapor directamente, lo cual no es práctico y actualmente esa tecnología se encuentra en desuso.

Por otro lado, se tienen los acumuladores de vapor de presión variable, que son los utilizados hoy en día, y será el utilizado en este proyecto. En el diseño de estos acumuladores que busca maximizar el área de contacto entre el vapor que ingresa al equipo con el agua que se encuentra dentro de él. Durante el periodo de carga de estos equipos el vapor es introducido por debajo del agua mediante una serie de tuberías de

distribución, las cuales están conectadas a inyectores de vapor, como se observa en la Ilustración 3-1.

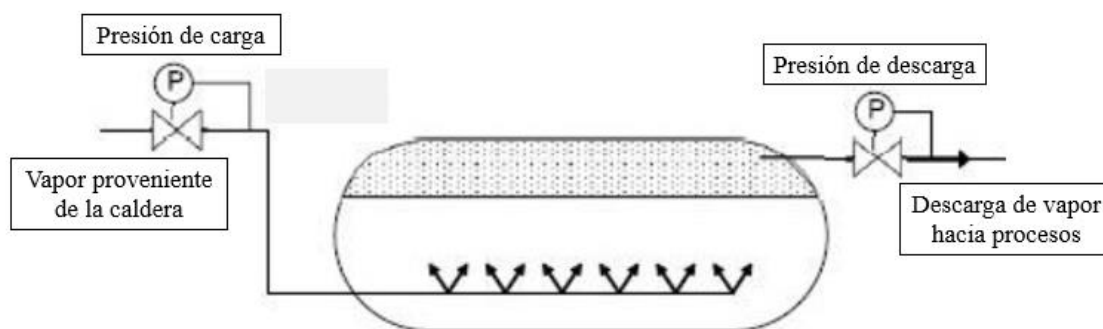


Ilustración 3- 1: Esquema de un acumulador de vapor horizontal a presión variable.

Cuando una caída de presión ocurre en el acumulador de vapor, con toda el agua a la temperatura de saturación, se generará vapor flash en la cantidad demandada por el pico de demanda. Este proceso de repentina evaporación que se produce por disminuir rápidamente la presión es conocido como “flashing”. La cantidad de vapor flash generado dependerá de la diferencia entre la presión inicial y final del proceso de descarga, ya que el calor que provoca la generación de vapor flash es la diferencia entre la entalpía del líquido a la presión más alta y la entalpía del líquido a la presión más baja.

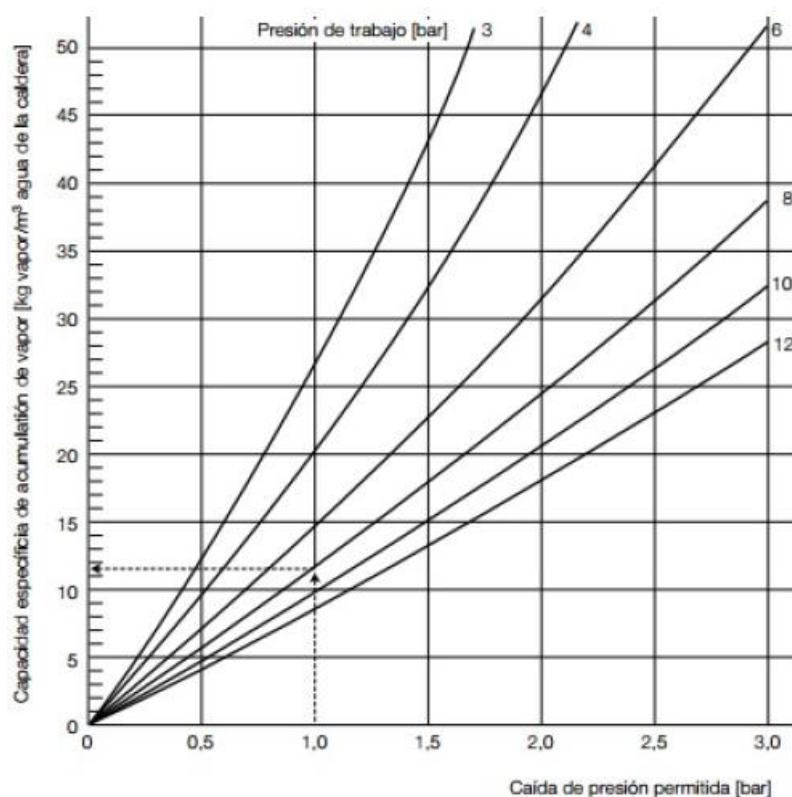


Ilustración 3- 2: Capacidad específica de acumulación de un acumulador en función de la diferencia de presión.

La presión de descarga no debe ser menor la requerida en planta para los procesos, mientras que la presión de carga viene dada por la presión a la cual trabaja la caldera.

Ahora bien, los acumuladores de vapor de presión variable se dividen en acumuladores horizontales y verticales. La gran mayoría de los acumuladores diseñados son del tipo horizontal, esto debido a que tienen un menor costo de construcción y maximizan el contacto entre el vapor y el agua, pudiendo así instalarse acumuladores de vapor más compactos y con un volumen menor que si estuviesen en disposición vertical. Por otro lado, la ventaja de los acumuladores de vapor horizontales es que pueden ser instalados cuando existe una superficie limitada, pero eso implicará un mayor volumen para poder generar lo que haría un acumulador horizontal de menor volumen.



Ilustración 3- 3: Acumulador de vapor horizontal de presión variable.



Ilustración 3- 4: Acumulador de vapor vertical de presión variable.

Tanto los acumuladores de presión variable dispuestos de forma horizontal como los dispuestos de forma vertical, siguen el mismo funcionamiento que hemos descrito anteriormente.

3.1.3. Componentes de un acumulador de vapor

Para que el acumulador de vapor pueda cumplir su función requiere de varios componentes que permiten su correcto desempeño, además de brindar seguridad y control. En la Ilustración 3-5 se observa un esquema completo de los componentes y accesorios principales del acumulador de vapor, los cuales se describen a continuación.

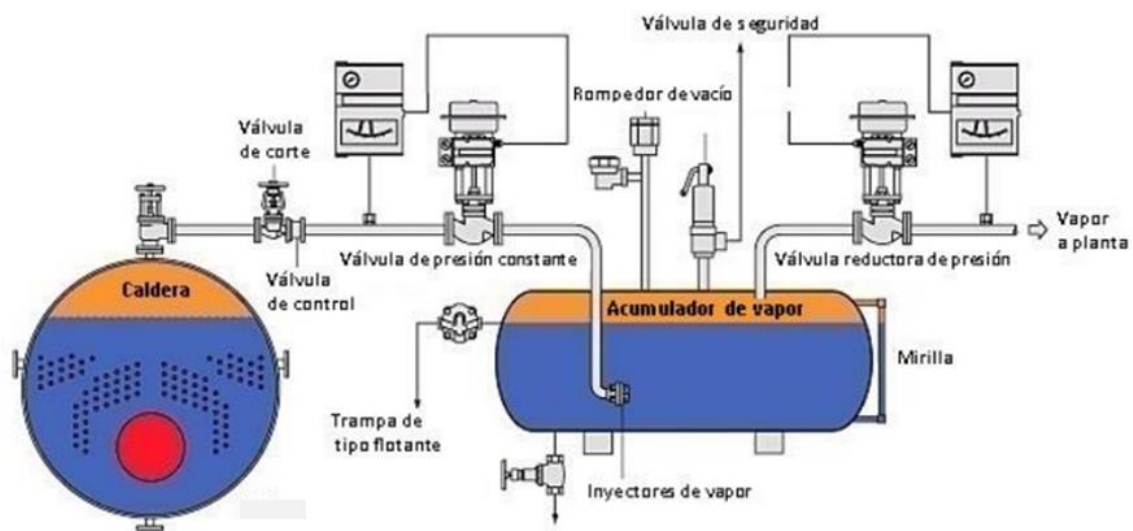


Ilustración 3- 5: Componentes y accesorios de un acumulador de vapor.

- Estanque presurizado

El recipiente dónde el vapor es acumulado suele ser la parte más cara del sistema del acumulador de vapor, y deberá ser diseñado individualmente para cada aplicación. Debe ser diseñado para poder mantener el agua/vapor a las temperaturas requeridas en la planta. Para plantas industriales los rangos usuales a los que deberá trabajar el recipiente serán entre 5 y 30 bares de presión.

Normalmente como se comentó previamente, se suelen diseñar los recipientes de forma que la relación diámetro/longitud total sea de 1:4 a 1:6, pero este criterio de diseño puede variar substancialmente dependiendo de las condiciones de la planta y el espacio disponible.

Los recipientes son generalmente de forma cilíndrica, con acabados elípticos, ya que estructuralmente es la forma de diseño más efectiva. Además de la capacidad directa de almacenamiento, el recipiente debe tener:

- Suficiente agua en el fondo del recipiente, en unas condiciones adecuadas, para acomodar y cubrir los inyectores de vapor.

- Suficiente espacio por encima del agua cuando el acumulador está completamente cargado para proporcionar un área suficiente para que el vapor pueda ser liberado. Esto es muy importante debido a que la velocidad de liberación instantánea del vapor sí sola puede ser el criterio final para ver si el acumulador se puede enfrentar a picos de demanda bastante bruscos y pesados.

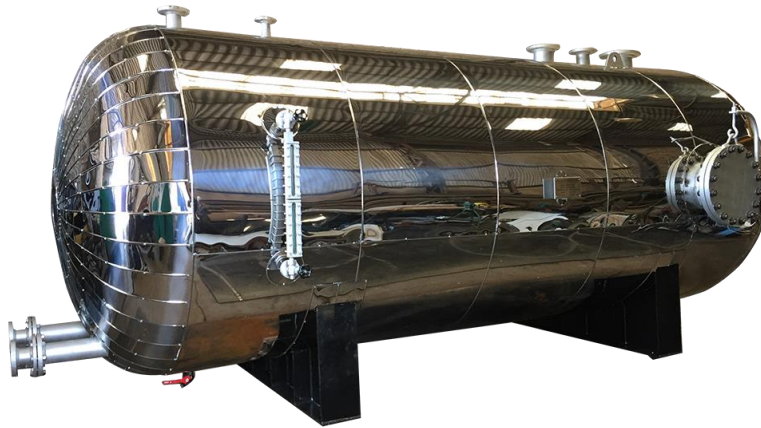


Ilustración 3- 6: Estanque presurizado de un acumulador de vapor.

- Equipo de inyección de vapor

Una tubería de entrada de vapor alimenta al acumulador por debajo del nivel por donde se encuentra el agua condensada, el vapor se inyecta necesariamente en el agua a través de una serie de inyectores.

Si el flujo lleva una velocidad de circulación muy baja, el vapor tenderá a entrar al acumulador desde los inyectores más cercanos a la tubería de entrada de vapor. El diseño de la tubería de entrada y del sistema del colector, junto con la colocación de los inyectores, debe asegurar la inyección de vapor a lo largo de la longitud del acumulador, independientemente del caudal de vapor.

Hay que considerar que la capacidad del inyector se reducirá a medida que la presión aumente en el recipiente, pues la presión diferencial entre el vapor inyectado y la presión del recipiente se reduce. La capacidad de los inyectores se obtiene de los catálogos proporcionados por los fabricantes.

Por los inyectores sale vapor, y en ocasiones algunas burbujas de vapor de condensación a alta velocidad. Este hecho hace que se produzca régimen turbulento en la corriente y se facilite la mezcla con la masa de agua. La descarga de los inyectores no se debe llevar a cabo cerca de las paredes del acumulador o de manera que el flujo impacte sobre dichas paredes. Es por esto, que se recomienda situar los inyectores de forma inclinada, al igual que estos deben tener diferentes direcciones de descarga para lograr una mejor distribución, y, además, evitar la erosión de la zona interna del acumulador.



Ilustración 3- 7: Inyectores de vapor de la marca Spirax Sarco.

- Tuberías

La tubería entre la caldera y el acumulador de vapor debe ser diseñada, en condiciones generales, para una velocidad del vapor entre 25 y 30 [m/s] y teniendo en cuenta la máxima capacidad de producción de la caldera.

En cuanto a la tubería entre el acumulador de vapor y los consumidores de baja de la planta, está debe ser diseñada también para que el vapor circule entre 25 y 30 [m/s], pero en este caso, teniendo en cuenta el máximo peak de producción de vapor que puede generar el acumulador a la presión de los consumidores de baja.

Debe existir especial cuidado en el aislamiento de dichas tuberías, para evitar así las pérdidas de calor y problemas mecánicos asociados a la condensación de vapor en las tuberías.

- Válvulas de mantenimiento de presión

La válvula de mantenimiento de presión se utiliza en los acumuladores de vapor (como en otros equipos de vapor) para mantener automáticamente en las tuberías de carga y descarga de vapor. Las válvulas deben estar perfectamente sincronizadas para permitir el paso de fluido en el momento adecuado como se puede ver en la Ilustración 3-8.

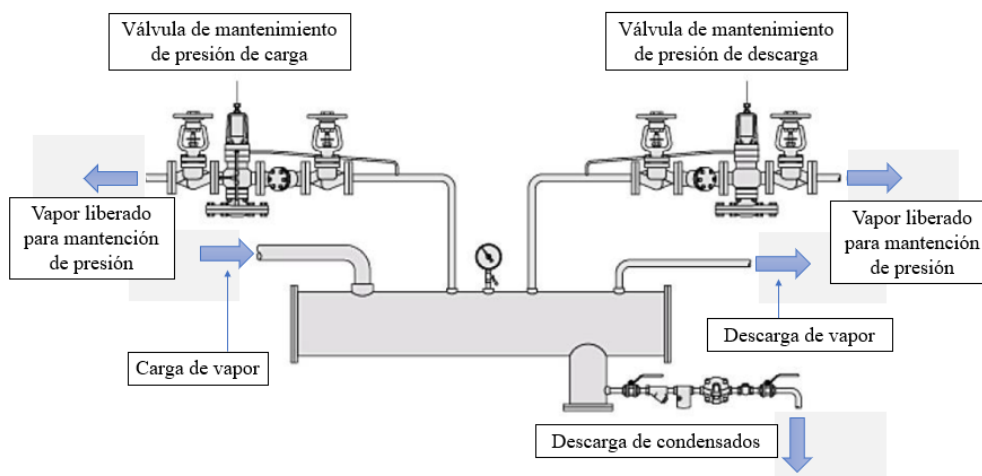


Ilustración 3- 8: Esquema de las válvulas de presión.

- Válvulas reductoras de presión

Las válvulas reguladoras de presión son equipos que pueden iniciar, detener, o regular el paso de un fluido mediante una pieza móvil que abre u obstruye uno o más orificios conductores.

Una válvula reguladora en una línea de vapor es el equipo encargado de tomar una presión inicial mediante un mecanismo tipo diafragma y un resorte el cual genera una contra presión al paso de la línea de fluido, lo que permite que la presión inicial sea reducida logrando mantener condiciones deseadas para el proceso.

El principal objetivo de este tipo de válvulas es reducir la presión de entrada a la presión de salida deseada mediante un mecanismo de un resorte que equilibra con la presión de entrada y logra reducir en un porcentaje de acuerdo a la tensión que se aplique al resorte; un punto débil que presentan las VR es que son sensibles a los cambios de presión inicial, además que conducen bajos flujos de vapor y pueden ser muy sensibles a vapores húmedos o condensados.



Si bien el dimensionamiento es importante para el buen funcionamiento de una válvula reductora, también lo es su instalación correcta, y puesto que la mayor parte de los problemas de una válvula reductora son causados por la presencia de humedad o suciedad, se han de instalar, antes de la válvula, un separador y un filtro de malla fina. El filtro debe ser colocado lateralmente para evitar que el cuerpo se llene de agua y para garantizar que toda la superficie de filtración sea efectiva.

Si la tubería o la instalación de salida no pueden resistir la presión de entrada, se debe instalar una válvula de seguridad a la salida de la válvula reductora, regulada a la máxima presión que pueda soportar esta parte de la instalación y además con una capacidad de descarga de vapor igual a la que puede pasar a través de la válvula, totalmente abierta, a esta presión máxima.

- Rompedores de vacío

Un rompedor de vacío protegerá la planta y al acumulador de vapor contra el vacío cuando la presión cae por debajo de la atmosférica., y al mismo tiempo permitirá un drenaje efectivo del condensado que se forma durante la operación de descarga del acumulador. Generalmente se utilizan rompedores de vacío de latón y de acero inoxidable austenítico



Ilustración 3- 10: Rompedores de vacío Spirax Sarco de latón (izquierda) y acero inoxidable austenítico (derecha).

- Válvulas de seguridad

Las válvulas de seguridad son dispositivos que permiten aliviar la sobre presión en calderas, acumuladores o estaciones reductoras de presión instaladas en redes de vapor.



Ilustración 3- 11: Válvulas de seguridad para vapor.

- Válvula antirretorno

Una válvula antirretorno, o de retención, se emplean en un sistema de múltiples trampas de vapor que descargan condensado en una línea común para de esta forma prevenir la inversión del flujo hacia la caldera en el caso en el que deliberadamente la caldera se detenga por algún motivo.



Ilustración 3- 12: Válvula antirretorno de vapor.

- Purgador de condensado

Un purgador de vapor es un tipo de válvula que filtra de forma automática el condensado (en este caso vapor condensado) y gases no condensables, como lo es el aire, sin dejar escapar al vapor.

Los purgadores pueden clasificarse por su funcionamiento en tres grandes grupos:

- Termostáticos: Identifica el vapor y el condensado mediante la diferencia de temperatura. El condensado debe enfriarse por debajo de la temperatura de vapor antes de ser eliminado.

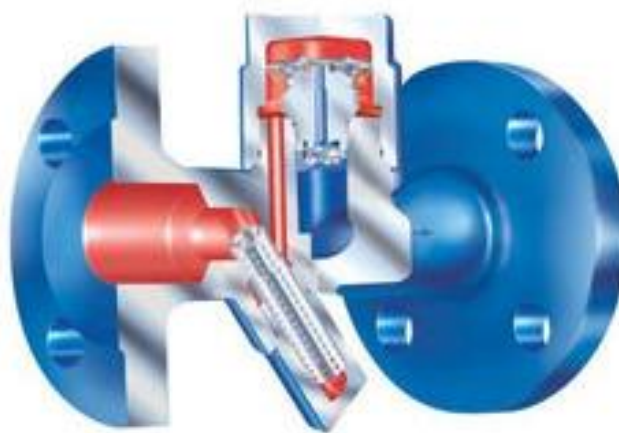


Ilustración 3- 13: Purgador termostático.

- Mecánico: Operan mecánicamente por diferencia de densidades entre vapor y condensado. El movimiento de una boya o una cubeta actúa sobre la válvula.

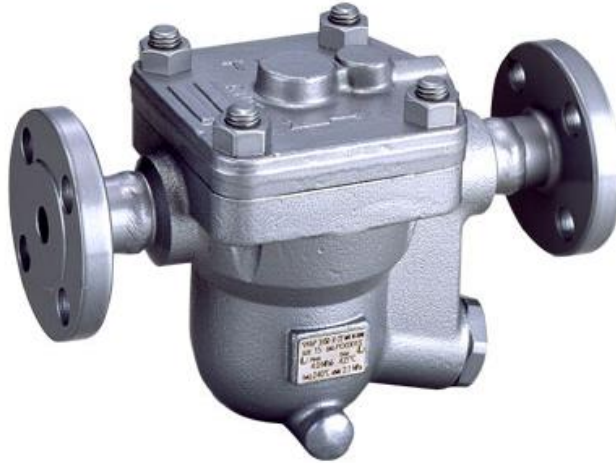


Ilustración 3- 14: Purgador mecánico.

- Termodinámico: Operan mecánicamente por diferencia de densidades entre vapor y condensado. El movimiento de una boya o una cubeta actúa sobre la válvula.



Ilustración 3- 15: Purgador termodinámico.

- Accesorios

Dentro de los accesorios que encontramos en un acumulador de vapor están la mirilla, termómetro y manómetro.

La variación de nivel del agua dentro del acumulador de vapor no va a ser muy grande, porque aproximadamente tan sólo el 10% del agua acumulada se convertirá en vapor, sin embargo, algún modo de ver el nivel de agua de la instalación es esencial. Generalmente

se utilizará una simple mirilla de cristal, colocada como vemos en la Ilustración 3-16 para controlar el nivel del agua.

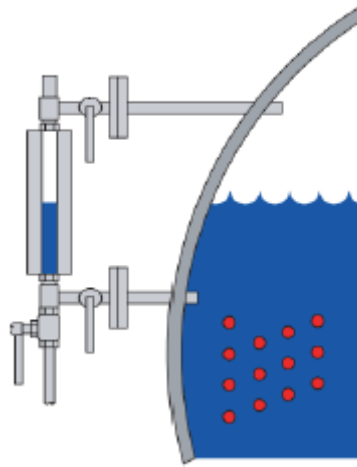


Ilustración 3- 16: Mirilla instalada en un acumulador de vapor.

Además, se debe contar con un manómetro y un termómetro que nos indiquen en todo momento la temperatura y la presión existente en el interior del acumulador de vapor.



Ilustración 3- 17: Termómetro instalado en equipo de vapor.



Ilustración 3- 18: Manómetro de presión para equipos hasta 16 bar de presión.

3.1.4. Normativa vigente

Los recipientes sometidos a presión definidos como calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua, cuya presión de trabajo es superior a 0,5 [kg/cm²], se encuentran regulados por el Decreto Supremo N°10 (ex Decreto 48), del año 2012 del Ministerio de Salud. Este cuerpo legal entrega una serie de requisitos y condiciones de seguridad, dentro de las cuales se pueden destacar:

- a) Toda Caldera y Autoclave debe contar con:
 - ✓ Un número de registro otorgado por la SEREMI de Salud respectiva.
 - ✓ Libro de Vida, el cual deberá contener especificaciones técnicas, cálculo de diseño, normas de fabricación, mantención, reparaciones y accidentes que pueda haber sufrido.
 - ✓ Placa de Identificación que contenga sus principales especificaciones y el número de registro.
- b) Establece requisitos generales de instalación y seguridad de las calderas de vapor, autoclaves y equipos que utilizan vapor.
- c) Establece requisitos mínimos de calidad del agua.
- d) Define los accesorios mínimos de observación, de seguridad y de control automático y sus características técnicas.
- e) Establece revisiones y pruebas de las condiciones de seguridad, periodicidad, procedimientos para realizar cada una de ellas.

3.2. Dimensionamiento

Un acumulador de vapor en el sistema de vapor aumenta la capacidad de almacenamiento. El diseño adecuado del acumulador de vapor garantiza que se pueda atender a cualquier caudal. No existen límites teóricos para el tamaño de un acumulador de vapor, pero, por supuesto, las consideraciones prácticas impondrán restricciones.

En la práctica, el volumen del acumulador de vapor se basa en el almacenamiento necesario para satisfacer una demanda máxima, con una caída de presión permitida, mientras sigue suministrando vapor limpio y seco a una velocidad adecuada de liberación de vapor desde la superficie del agua.

Para calcular el volumen necesario que debe tener el estanque acumulador se analizará el consumo de vapor durante una semana normal, es decir, sin detenciones en la producción de vapor o eventualidades.

Estos datos serán obtenidos de la curva de consumo de vapor que se muestra en el PanelView de la sala de calderas. Como estos datos no se pueden extraer digitalmente, se realizará un análisis visual para determinar el consumo en toneladas por hora durante una semana, y obteniendo datos con una frecuencia de una hora. Se registrarán los datos en toneladas por hora debido a que se realiza una aproximación visual, y no se pueden determinar con exactitud la cifra exacta de kilos de vapor que se consumen en dicha hora.

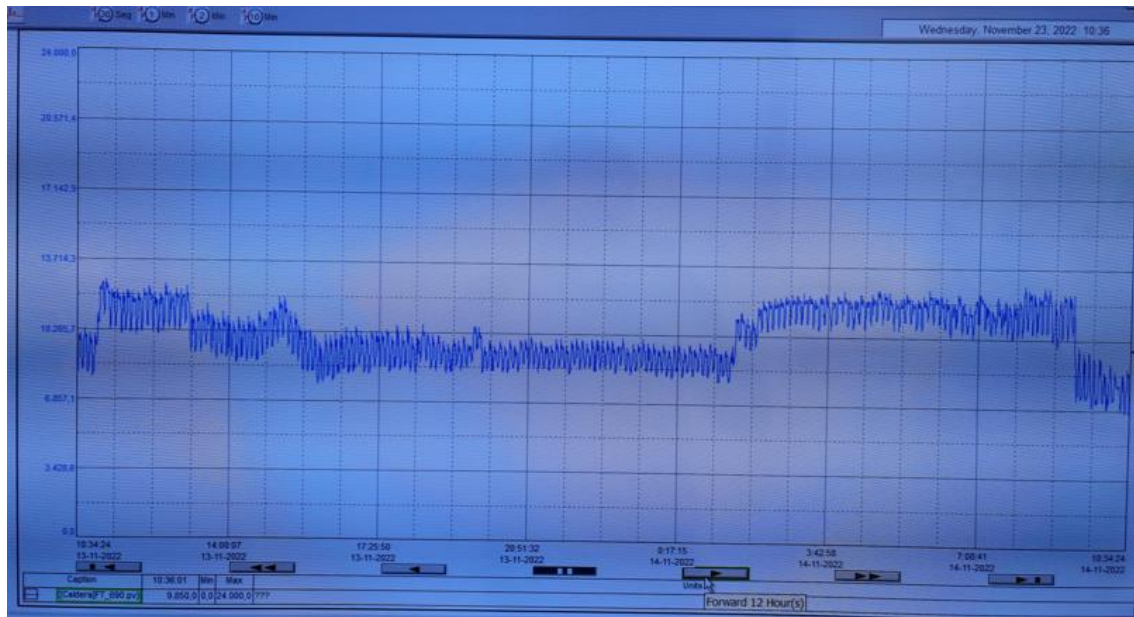


Ilustración 3- 19: Curva de consumo de vapor obtenida del PanelView.

3.2.1. Análisis del consumo de vapor

Se analizará la semana del 14 al 20 de noviembre del año 2022, para así trabajar con datos recientes. Como se mencionó anteriormente, cada una hora se obtendrá el consumo de vapor hasta completar los siete días de la semana. Este estudio nos permitirá determinar el flujo de vapor constante por parte de la caldera al instalar un acumulador. Los datos obtenidos se observan en la Tabla 3-1.

Tabla 3- 1: Consumo de vapor en toneladas por hora durante una semana de producción.

Hora	Consumo de vapor ton/h						
	14-nov	15-nov	16-nov	17-nov	18-nov	19-nov	20-nov
0:00	10,6	11,1	11,1	11,1	10,9	11	11,5
1:00	10,7	11	10,8	10,8	11,1	11,1	11
2:00	11,1	11,2	10,8	10,9	11,3	11	11
3:00	11,2	11,3	10,5	10,7	10,6	10,9	10,9
4:00	10,9	11,2	11,2	10,8	10,9	10,5	10,3
5:00	10,7	11	11,1	11	11	10,7	10,9
6:00	10,9	10,9	11,6	10,9	11,4	11	11,1
7:00	10,6	11,1	11,1	11,1	10,9	11,1	11
8:00	10,9	10,7	11	10,7	10,2	11	11,2
9:00	11,2	10,9	10,7	11,4	10,6	11,2	11,5
10:00	11,4	11,2	11,3	11,3	11,5	11,2	11,2
11:00	11,3	11	11,1	11,5	11,6	11	11
12:00	11,3	10,7	11	11,1	11,2	11,3	10,7
13:00	11,1	11	10,5	10,6	11	11	11
14:00	10,9	11,4	10,6	10,7	10,4	11	11,1
15:00	10,3	11,2	10,8	10,8	10,7	11,1	11,4
16:00	10,9	10,6	10,9	11	11	10,7	10,6
17:00	10,9	11,2	11,4	10,8	10,8	10,9	10,7
18:00	11,2	11,5	11,4	11,3	11,1	11	10,8
19:00	11,5	10,8	11,1	11,1	11,2	11	10,8
20:00	11,2	10,9	11	11	11,5	10,9	10,9
21:00	10,8	10,9	11	11,2	11,3	10,7	11,3
22:00	10,4	11	11,1	11,1	11	10,7	11
23:00	10,9	11	11	11,1	10,8	11,6	11,2
Promedio	10,9542	11,0333	11,0042	11	11	10,9833	11,0042
Promedio final	10,997						

Para una mejor visualización de los datos, se graficará el consumo de vapor por cada día, demarcando en cada uno el consumo promedio, y de esta forma, determinar los peaks de vapor en el día y los momentos de bajo consumo.

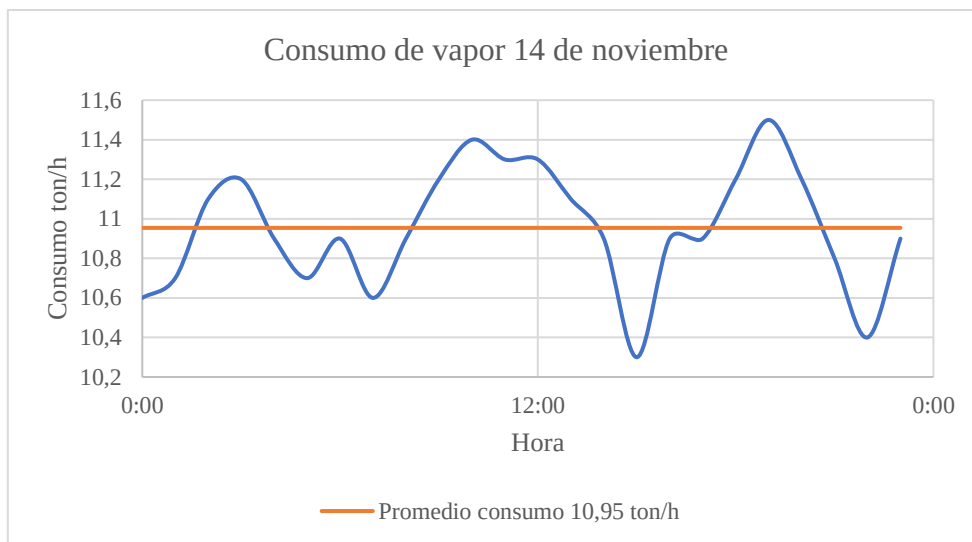


Ilustración 3- 20: Gráfico de consumo de vapor 14 de noviembre.

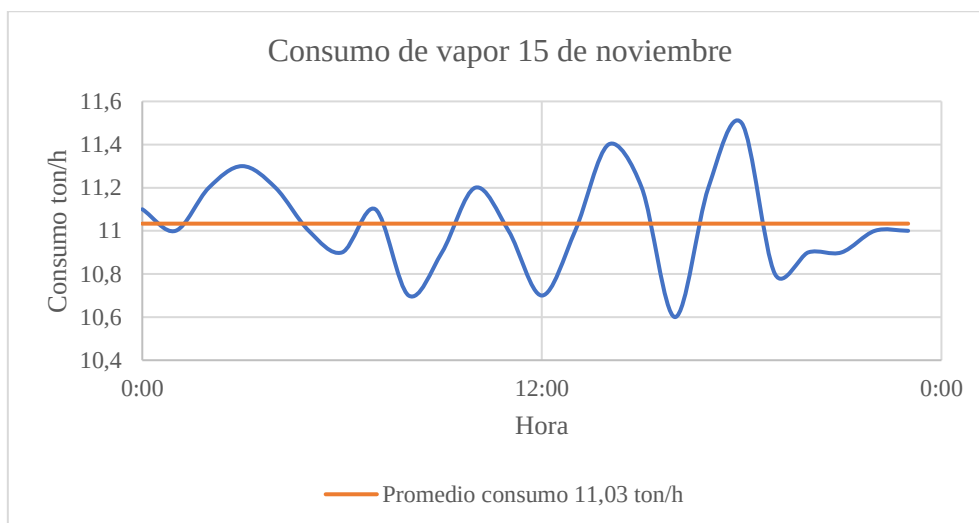


Ilustración 3- 21: Gráfico de consumo de vapor 15 de noviembre.

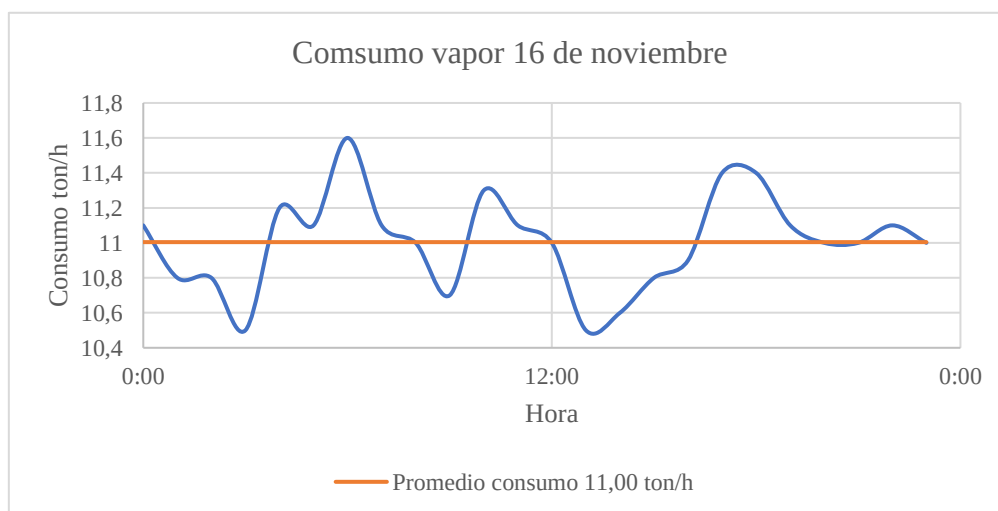


Ilustración 3- 22: Gráfico de consumo de vapor 16 de noviembre.

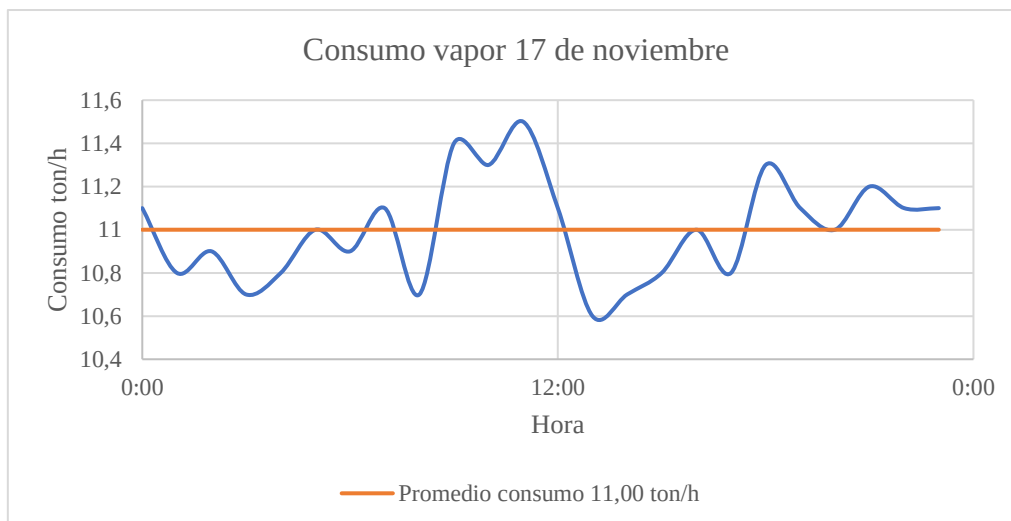


Ilustración 3- 23: Gráfico de consumo de vapor 17 de noviembre.

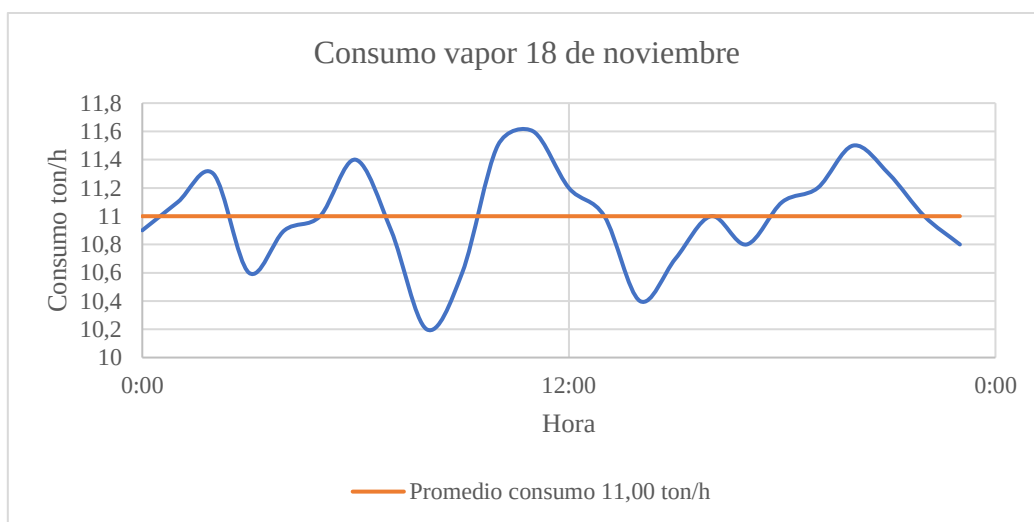


Ilustración 3- 24: Gráfico de consumo de vapor 18 de noviembre.

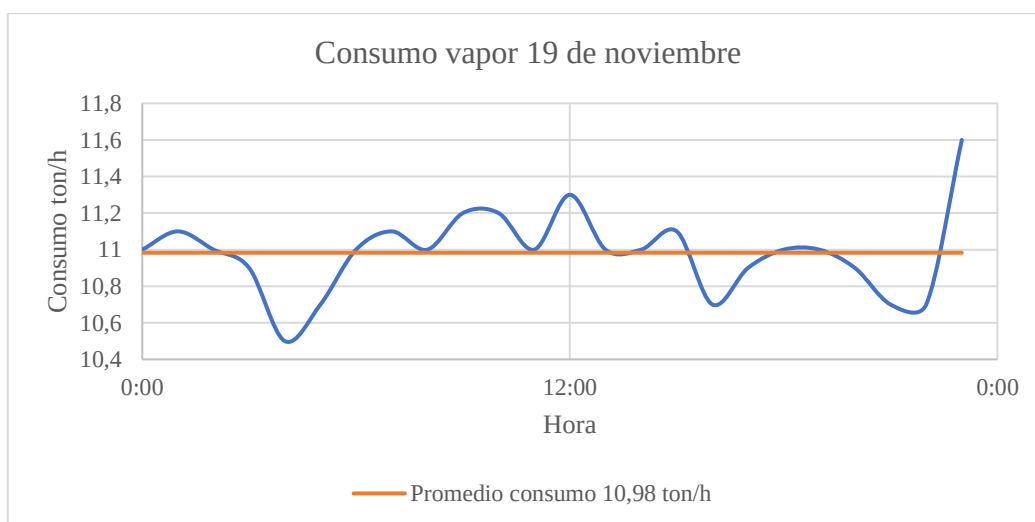


Ilustración 3- 25: Gráfico de consumo de vapor 19 de noviembre.

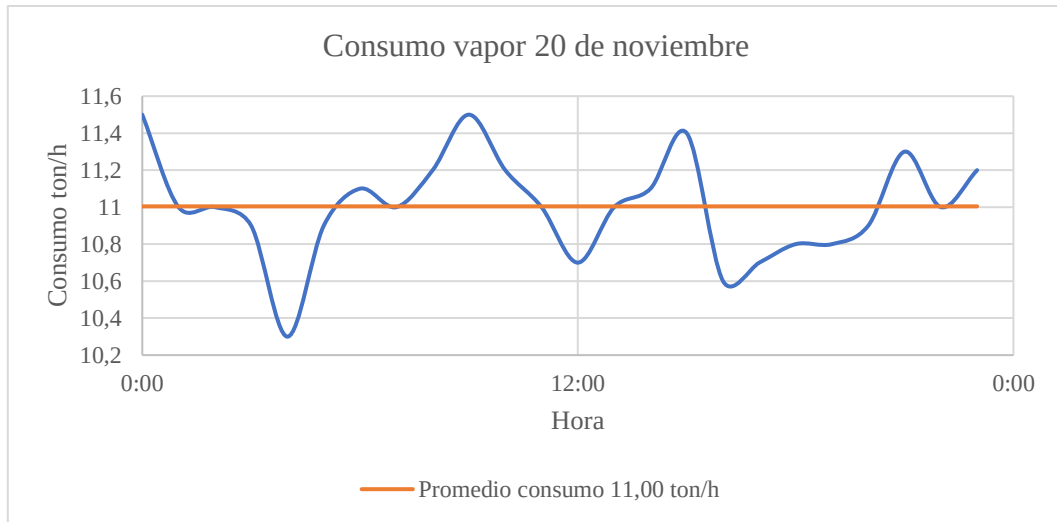


Ilustración 3- 26: Gráfico de consumo de vapor 20 de noviembre.

De los datos obtenidos, se puede determinar que el consumo promedio de vapor es de 11 toneladas de vapor hora. Este dato es de suma importancia, ya que será el valor constante de producción de vapor por parte de la caldera. Es decir, todos los peaks sobre la línea naranja en los gráficos anteriores será el vapor aportado por el acumulador, mientras que los peaks bajo esta línea será el vapor aportado al acumulador para su carga.

3.2.2. Obtención del volumen del acumulador

Ya con los datos tabulados y con la determinación del valor constante de producción de vapor, se procederá a analizar la cantidad de vapor que se cargará el acumulador, y cuanto será el vapor extraído de este, considerando los consumos de vapor diarios. De esta forma se garantizará que cuando la demanda de vapor sea mayor que el valor de producción promedio, el estanque acumulador cuente con la cantidad suficiente de vapor para poder suministrar al proceso. Y, por el contrario, cuando la demanda de vapor sea menor al promedio, obtener la cantidad de vapor que se almacena en el acumulador.

El vapor a extraer o a acumular se calculará a través de la siguiente ecuación:

$$m_{vap} = |\dot{m}_{vap} - \dot{m}_{med}| \quad (1)$$

donde:

m_{vap} [ton]: cantidad de vapor acumulado o extraído del acumulador.

$\dot{m}_{vap}$ [ton/h]: cantidad de vapor producido por la caldera en una hora.

$\dot{m}_{med}$ [ton/h]: demanda media de vapor del proceso durante el periodo estudiado.

Como se mencionó, se utilizará $\dot{m}_{cal} = 11$ [ton/h]. Al momento de realizar los cálculos, se considera la suposición que el acumulador ya se encontraba cargado con 0,25 toneladas de vapor el día 14 de noviembre a las 00:00 hrs (marcado en amarillo en Tabla 3-2). De esta forma, los datos obtenidos se observan en las siguientes tablas.

Tabla 3- 2: Análisis del consumo de vapor del día 14 de noviembre.

14 de noviembre							
Hora inicio	Hora fin	Demanda inicio ton/h	Demanda final ton/h	Demanda media ton/h	Vapor acumulado ton	Vapor extraído ton	Vapor acumulado
0:00	1:00	10,6	10,7	10,65	0,35	0	0,60
1:00	2:00	10,7	11,1	10,9	0,10	0	0,70
2:00	3:00	11,1	11,2	11,15	0,00	0,15	0,55
3:00	4:00	11,2	10,9	11,05	0,00	0,05	0,50
4:00	5:00	10,9	10,7	10,8	0,20	0	0,70
5:00	6:00	10,7	10,9	10,8	0,20	0	0,90
6:00	7:00	10,9	10,6	10,75	0,25	0	1,15
7:00	8:00	10,6	10,9	10,75	0,25	0	1,40
8:00	9:00	10,9	11,2	11,05	0,00	0,05	1,35
9:00	10:00	11,2	11,4	11,3	0,00	0,3	1,05
10:00	11:00	11,4	11,3	11,35	0,00	0,35	0,70
11:00	12:00	11,3	11,3	11,3	0,00	0,3	0,40
12:00	13:00	11,3	11,1	11,2	0,00	0,2	0,20
13:00	14:00	11,1	10,9	11	0,00	0	0,20
14:00	15:00	10,9	10,3	10,6	0,40	0	0,60
15:00	16:00	10,3	10,9	10,6	0,40	0	1,00
16:00	17:00	10,9	10,9	10,9	0,10	0	1,10
17:00	18:00	10,9	11,2	11,05	0,00	0,05	1,05
18:00	19:00	11,2	11,5	11,35	0,00	0,35	0,70
19:00	20:00	11,5	11,2	11,35	0,00	0,35	0,35
20:00	21:00	11,2	10,8	11	0,00	0	0,35
21:00	22:00	10,8	10,4	10,6	0,40	0	0,75
22:00	23:00	10,4	10,9	10,65	0,35	0	1,10
23:00	0:00	10,9	11,1	11	0,00	0	1,10

Tabla 3- 3: Análisis del consumo de vapor del día 15 de noviembre.

15 de noviembre							
Hora inicio	Hora fin	Demanda inicio ton/h	Demanda final ton/h	Demanda media ton/h	Vapor acumulado ton	Vapor extraído ton	Vapor acumulado
0:00	1:00	11,1	11	11,05	0,00	0,05	1,05
1:00	2:00	11	11,2	11,1	0,00	0,1	0,95
2:00	3:00	11,2	11,3	11,25	0,00	0,25	0,70
3:00	4:00	11,3	11,2	11,25	0,00	0,25	0,45
4:00	5:00	11,2	11	11,1	0,00	0,1	0,35
5:00	6:00	11	10,9	10,95	0,05	0	0,40
6:00	7:00	10,9	11,1	11	0,00	0	0,40
7:00	8:00	11,1	10,7	10,9	0,10	0	0,50
8:00	9:00	10,7	10,9	10,8	0,20	0	0,70
9:00	10:00	10,9	11,2	11,05	0,00	0,05	0,65
10:00	11:00	11,2	11	11,1	0,00	0,1	0,55
11:00	12:00	11	10,7	10,85	0,15	0	0,70
12:00	13:00	10,7	11	10,85	0,15	0	0,85
13:00	14:00	11	11,4	11,2	0,00	0,2	0,65
14:00	15:00	11,4	11,2	11,3	0,00	0,3	0,35
15:00	16:00	11,2	10,6	10,9	0,10	0	0,45
16:00	17:00	10,6	11,2	10,9	0,10	0	0,55
17:00	18:00	11,2	11,5	11,35	0,00	0,35	0,20
18:00	19:00	11,5	10,8	11,15	0,00	0,15	0,05
19:00	20:00	10,8	10,9	10,85	0,15	0	0,20
20:00	21:00	10,9	10,9	10,9	0,10	0	0,30
21:00	22:00	10,9	11	10,95	0,05	0	0,35
22:00	23:00	11	11	11	0,00	0	0,35
23:00	0:00	11	11,1	11,05	0,00	0,05	0,30

Tabla 3- 4: Análisis del consumo de vapor del día 16 de noviembre.

16 de noviembre							
Hora inicio	Hora fin	Demanda inicio ton/h	Demanda final ton/h	Demanda media ton/h	Vapor acumulado ton	Vapor extraído ton	Vapor acumulado
0:00	1:00	11,1	10,8	10,95	0,05	0	0,35
1:00	2:00	10,8	10,8	10,8	0,20	0	0,55
2:00	3:00	10,8	10,5	10,65	0,35	0	0,90
3:00	4:00	10,5	11,2	10,85	0,15	0	1,05
4:00	5:00	11,2	11,1	11,15	0,00	0,15	0,90
5:00	6:00	11,1	11,6	11,35	0,00	0,35	0,55
6:00	7:00	11,6	11,1	11,35	0,00	0,35	0,20
7:00	8:00	11,1	11	11,05	0,00	0,05	0,15
8:00	9:00	11	10,7	10,85	0,15	0	0,30
9:00	10:00	10,7	11,3	11	0,00	0	0,30
10:00	11:00	11,3	11,1	11,2	0,00	0,2	0,10
11:00	12:00	11,1	11	11,05	0,00	0,05	0,05
12:00	13:00	11	10,5	10,75	0,25	0	0,30
13:00	14:00	10,5	10,6	10,55	0,45	0	0,75
14:00	15:00	10,6	10,8	10,7	0,30	0	1,05
15:00	16:00	10,8	10,9	10,85	0,15	0	1,20
16:00	17:00	10,9	11,4	11,15	0,00	0,15	1,05
17:00	18:00	11,4	11,4	11,4	0,00	0,4	0,65
18:00	19:00	11,4	11,1	11,25	0,00	0,25	0,40
19:00	20:00	11,1	11	11,05	0,00	0,05	0,35
20:00	21:00	11	11	11	0,00	0	0,35
21:00	22:00	11	11,1	11,05	0,00	0,05	0,30
22:00	23:00	11,1	11	11,05	0,00	0,05	0,25
23:00	0:00	11	11,1	11,05	0,00	0,05	0,20

Tabla 3- 5: Análisis del consumo de vapor del día 17 de noviembre.

17 de noviembre							
Hora inicio	Hora fin	Demanda inicio ton/h	Demanda final ton/h	Demanda media ton/h	Vapor acumulado ton	Vapor extraído ton	Vapor acumulado
0:00	1:00	11,1	10,8	10,95	0,05	0	0,25
1:00	2:00	10,8	10,9	10,85	0,15	0	0,40
2:00	3:00	10,9	10,7	10,8	0,20	0	0,60
3:00	4:00	10,7	10,8	10,75	0,25	0	0,85
4:00	5:00	10,8	11	10,9	0,10	0	0,95
5:00	6:00	11	10,9	10,95	0,05	0	1,00
6:00	7:00	10,9	11,1	11	0,00	0	1,00
7:00	8:00	11,1	10,7	10,9	0,10	0	1,10
8:00	9:00	10,7	11,4	11,05	0,00	0,05	1,05
9:00	10:00	11,4	11,3	11,35	0,00	0,35	0,70
10:00	11:00	11,3	11,5	11,4	0,00	0,4	0,30
11:00	12:00	11,5	11,1	11,3	0,00	0,3	0,00
12:00	13:00	11,1	10,6	10,85	0,15	0	0,15
13:00	14:00	10,6	10,7	10,65	0,35	0	0,50
14:00	15:00	10,7	10,8	10,75	0,25	0	0,75
15:00	16:00	10,8	11	10,9	0,10	0	0,85
16:00	17:00	11	10,8	10,9	0,10	0	0,95
17:00	18:00	10,8	11,3	11,05	0,00	0,05	0,90
18:00	19:00	11,3	11,1	11,2	0,00	0,2	0,70
19:00	20:00	11,1	11	11,05	0,00	0,05	0,65
20:00	21:00	11	11,2	11,1	0,00	0,1	0,55
21:00	22:00	11,2	11,1	11,15	0,00	0,15	0,40
22:00	23:00	11,1	11,1	11,1	0,00	0,1	0,30
23:00	0:00	11,1	10,9	11	0,00	0	0,30

Tabla 3- 6: Análisis del consumo de vapor del día 18 de noviembre.

18 de noviembre							
Hora inicio	Hora fin	Demanda inicio ton/h	Demanda final ton/h	Demanda media ton/h	Vapor acumulado ton	Vapor extraído ton	Vapor acumulado
0:00	1:00	10,9	11,1	11	0,00	0	0,30
1:00	2:00	11,1	11,3	11,2	0,00	0,2	0,10
2:00	3:00	11,3	10,6	10,95	0,05	0	0,15
3:00	4:00	10,6	10,9	10,75	0,25	0	0,40
4:00	5:00	10,9	11	10,95	0,05	0	0,45
5:00	6:00	11	11,4	11,2	0,00	0,2	0,25
6:00	7:00	11,4	10,9	11,15	0,00	0,15	0,10
7:00	8:00	10,9	10,2	10,55	0,45	0	0,55
8:00	9:00	10,2	10,6	10,4	0,60	0	1,15
9:00	10:00	10,6	11,5	11,05	0,00	0,05	1,10
10:00	11:00	11,5	11,6	11,55	0,00	0,55	0,55
11:00	12:00	11,6	11,2	11,4	0,00	0,4	0,15
12:00	13:00	11,2	11	11,1	0,00	0,1	0,05
13:00	14:00	11	10,4	10,7	0,30	0	0,35
14:00	15:00	10,4	10,7	10,55	0,45	0	0,80
15:00	16:00	10,7	11	10,85	0,15	0	0,95
16:00	17:00	11	10,8	10,9	0,10	0	1,05
17:00	18:00	10,8	11,1	10,95	0,05	0	1,10
18:00	19:00	11,1	11,2	11,15	0,00	0,15	0,95
19:00	20:00	11,2	11,5	11,35	0,00	0,35	0,60
20:00	21:00	11,5	11,3	11,4	0,00	0,4	0,20
21:00	22:00	11,3	11	11,15	0,00	0,15	0,05
22:00	23:00	11	10,8	10,9	0,10	0	0,15
23:00	0:00	10,8	11	10,9	0,10	0	0,25

Tabla 3- 7: Análisis del consumo de vapor del día 19 de noviembre.

19 de noviembre							
Hora inicio	Hora fin	Demanda inicio ton/h	Demanda final ton/h	Demanda media ton/h	Vapor acumulado ton	Vapor extraído ton	Vapor acumulado
0:00	1:00	11	11,1	11,05	0,00	0,05	0,20
1:00	2:00	11,1	11	11,05	0,00	0,05	0,15
2:00	3:00	11	10,9	10,95	0,05	0	0,20
3:00	4:00	10,9	10,5	10,7	0,30	0	0,50
4:00	5:00	10,5	10,7	10,6	0,40	0	0,90
5:00	6:00	10,7	11	10,85	0,15	0	1,05
6:00	7:00	11	11,1	11,05	0,00	0,05	1,00
7:00	8:00	11,1	11	11,05	0,00	0,05	0,95
8:00	9:00	11	11,2	11,1	0,00	0,1	0,85
9:00	10:00	11,2	11,2	11,2	0,00	0,2	0,65
10:00	11:00	11,2	11	11,1	0,00	0,1	0,55
11:00	12:00	11	11,3	11,15	0,00	0,15	0,40
12:00	13:00	11,3	11	11,15	0,00	0,15	0,25
13:00	14:00	11	11	11	0,00	0	0,25
14:00	15:00	11	11,1	11,05	0,00	0,05	0,20
15:00	16:00	11,1	10,7	10,9	0,10	0	0,30
16:00	17:00	10,7	10,9	10,8	0,20	0	0,50
17:00	18:00	10,9	11	10,95	0,05	0	0,55
18:00	19:00	11	11	11	0,00	0	0,55
19:00	20:00	11	10,9	10,95	0,05	0	0,60
20:00	21:00	10,9	10,7	10,8	0,20	0	0,80
21:00	22:00	10,7	10,7	10,7	0,30	0	1,10
22:00	23:00	10,7	11,6	11,15	0,00	0,15	0,95
23:00	0:00	11,6	11,5	11,55	0,00	0,55	0,40

Tabla 3- 8: Análisis del consumo de vapor del día 20 de noviembre.

20 de noviembre							
Hora inicio	Hora fin	Demanda inicio ton/h	Demanda final ton/h	Demanda media ton/h	Vapor acumulado ton	Vapor extraído ton	Vapor acumulado
0:00	1:00	11,5	11	11,25	0,00	0,25	0,15
1:00	2:00	11	11	11	0,00	0	0,15
2:00	3:00	11	10,9	10,95	0,05	0	0,20
3:00	4:00	10,9	10,3	10,6	0,40	0	0,60
4:00	5:00	10,3	10,9	10,6	0,40	0	1,00
5:00	6:00	10,9	11,1	11	0,00	0	1,00
6:00	7:00	11,1	11	11,05	0,00	0,05	0,95
7:00	8:00	11	11,2	11,1	0,00	0,1	0,85
8:00	9:00	11,2	11,5	11,35	0,00	0,35	0,50
9:00	10:00	11,5	11,2	11,35	0,00	0,35	0,15
10:00	11:00	11,2	11	11,1	0,00	0,1	0,05
11:00	12:00	11	10,7	10,85	0,15	0	0,20
12:00	13:00	10,7	11	10,85	0,15	0	0,35
13:00	14:00	11	11,1	11,05	0,00	0,05	0,30
14:00	15:00	11,1	11,4	11,25	0,00	0,25	0,05
15:00	16:00	11,4	10,6	11	0,00	0	0,05
16:00	17:00	10,6	10,7	10,65	0,35	0	0,40
17:00	18:00	10,7	10,8	10,75	0,25	0	0,65
18:00	19:00	10,8	10,8	10,8	0,20	0	0,85
19:00	20:00	10,8	10,9	10,85	0,15	0	1,00
20:00	21:00	10,9	11,3	11,1	0,00	0,1	0,90
21:00	22:00	11,3	11	11,15	0,00	0,15	0,75
22:00	23:00	11	11,2	11,1	0,00	0,1	0,65
23:00	0:00	11,2	11,5	11,35	0,00	0,35	0,30

De las tablas anteriores se puede obtener que el valor máximo de vapor entregado fue de 1,2 toneladas, mientras que de igual forma la máxima cantidad de vapor acumulado fue de 1,2 toneladas de vapor.

Considerando los valores de aportación y almacenamiento de vapor máximo, junto al flujo de vapor constante por parte de la caldera, se puede calcular el volumen del acumulador. Para ello se utilizará una formula entregada por Spirax Sarco para el cálculo de la porción de vapor flash en un acumulador de vapor, la cual es la siguiente:

$$r = \frac{m_{vap}}{m_{agua}} = \frac{|h_{f1} - h_{f2}|}{h_{fg2}} \quad (2)$$

donde:

r [kg vapor/kg de agua]: cantidad de vapor liberada en el acumulador por cantidad de agua acumulada.

m_{agua} [kg]: masa de agua en el acumulador.

h_{f1} [kJ/kg]: entalpia de vapor saturado a la presión de entrada del sistema.

h_{f2} [kJ/kg]: entalpia del vapor saturado a la presión de consumo del proceso.

h_{fg2} [kJ/kg]: entalpía de vaporización del vapor saturado a la presión de consumo.

Para el caso estudiado, se considerará una presión de entrada al acumulador de 12 bar, que es la entregada por la caldera, y una presión de descarga de 8 bar, la cual es la segunda mayor presión que se utiliza en el proceso. El diagrama de las presiones utilizadas en los diferentes procesos en planta se observa en el Anexo N°1.

Por lo cual, considerando las presiones $P_1 = 12$ bar y $P_2 = 8$ bar, se tiene que las entalpías del vapor para las propiedades dadas son:

- $h_{f1_{12\text{ bar}}} = 798,499 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$
- $h_{f2_{8\text{ bar}}} = 721,018 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$
- $h_{fg2_{8\text{ bar}}} = 2047,284 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

Calculando r a través de la Ecuación 2:

$$r = \frac{798,499 - 721,018}{2047,284} = 0,03784 \left[\frac{\text{kg vapor}}{\text{kg agua}} \right]$$

El valor obtenido anteriormente se utiliza nuevamente en la Ecuación 2 para obtener la masa de agua presente en el acumulador, por ende,

$$m_{agua} = \frac{m_{vap}}{r} = \frac{1.200 [\text{kg vapor}]}{0,03784 [\text{kg vapor/kg agua}]}$$
$$\rightarrow m_{agua} = 31.712,47 [\text{kg agua}]$$

Ya obtenido la masa de agua dentro del acumulador, y sabiendo la presión dentro de este, se puede obtener el volumen de agua que ocupa esta masa a una presión de 12 bar, utilizando su volumen específico, por lo cual:

$$V = v * m_{agua} \quad (3)$$

donde:

$V \text{ [m}^3\text{]}$: volumen que ocupa la masa de agua.

$v \text{ [m}^3\text{/kg]}$: volumen específico del agua.

Considerando que el volumen específico del agua a una presión de 12 bar es de 0,00138 [m³/kg], se obtiene un volumen de:

$$V = 43,13 \text{ [m}^3\text{]}$$

Debido al volumen obtenido, lo recomendable es un acumulador de vapor horizontal. Ahora bien, los fabricantes recomiendan que el porcentaje de llenado de este tipo de acumuladores es de un 90%, por lo cual, es volumen que debe tener el acumulador del caso estudiado es de:

$$V = 47,92 \text{ [m}^3\text{]}$$

Como el resultado obtenido no es un volumen fabricado comercialmente, se aproximará el volumen a **50 m³**, que será el volumen escogido para nuestro caso en estudio.

3.3. Cotización del acumulador

La cotización del acumulador de vapor fue realizada en la empresa ATTTSU, la cual es una empresa española que suma más de 103 años de experiencia en la fabricación de calderas de vapor, aceite térmico, agua caliente, agua sobrecalentada y toda clase de equipos térmicos. En Chile son representados por Inning Group, empresa que se dedica a servicios de ingeniería, construcción, montajes, equipos industriales, asesorías y consultorías.

A grandes rasgos, se realizó la cotización de un acumulador de vapor de 50 [m³], que reciba vapor a una presión de 12 bar y la descargue a 8 bar. Dentro de la cotización se incluye el acumulador, una plataforma de inspección superior, puesta en parcha y todos los accesorios que permiten su funcionamiento, como lo son controladores, válvulas, panel de control. Las características generales del acumulador se encuentran en la Tabla 3-9. La cotización completa se muestra en el Anexo N°2.

Tabla 3- 9: Especificaciones técnicas del acumulador de vapor.

Especificaciones técnicas	
Marca	ATTSU
Modelo	AV-50000/14
Volumen total	50.000 lt
Presión de diseño	14 bar
Presión de trabajo	12 bar
Longitud total	11.000 mm
Ancho incluido accesorios	2.950 mm
Altura total incluido accesorios	3.250 mm
Peso de transporte	9.775 kg
Código de diseño	TRD
Certificado de conformidad	2014/68/UE
Categoría	IV
Certificado de calidad del fabricante	ISO-9001 BUREAU VERITAS

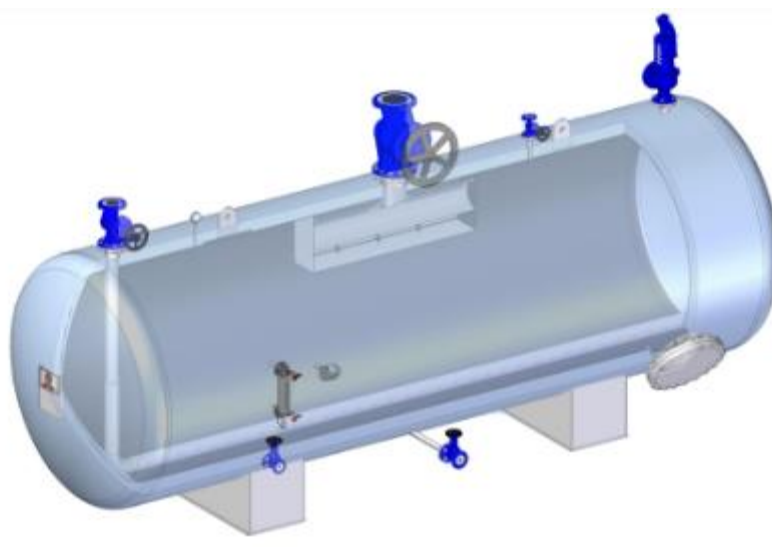


Ilustración 3- 27: Imagen referencial del acumulador de vapor.

Los precios en la cotización vienen dados en euros, por lo cual se utilizará el valor del euro del día 27/01/2023, donde 1€ = \$876. Los costos vienen detallados en la siguiente tabla.

Tabla 3- 10: Cotización del acumulador de vapor por empresa ATTUSU.

Cotización realizada por ATTUSU	
Ítem	Costo
Estanque acumulador con accesorios	\$85.732,
Plataforma de inspección	\$4.018,
Puesta en marcha	\$3.166,
Costo total (en miles)	\$92.917,

Dentro de la cotización no viene incluido el costo de traslado e instalación. Dichos precios serán estimados en base a otras cotizaciones realizadas para la instalación de un acumulador de vapor de dimensiones similares, donde los costos de traslado e instalación de han estimado en 35.000€ y 12.000€, respectivamente.

Tabla 3- 11: Estimación de costos de instalación y transporte de un acumulador.

Estimación de costos	
Ítem	Costo
Transporte	\$30.660,
Instalación	\$10.512,
Costo total (en miles)	\$41.172,

Finalmente, la instalación de un acumulador de vapor en la planta Nestlé Llanquihue tiene un **costo total de \$134.089.320.**

Tabla 3- 12: Costo total del acumulador de vapor.

Costo total	
Acumulador	\$92.917,
Transporte e instalación	\$41.172,
Costo total (en miles)	\$134.089,

3.4. Cálculo del ahorro económico al instalar un acumulador

Una vez obtenido el costo de la adquisición e instalación de un acumulador de vapor, se debe determinar, analizando la eficiencia de la caldera con y sin acumulador, si la inversión del equipo significa un ahorro para la empresa, o un gasto.

Para ello, se recopiló información desde diciembre del año 2021 a noviembre del año 2022 de la producción de vapor y el consumo de gas natural para cada mes, lo cual nos dará información actualizada del funcionamiento de la caldera. Estos datos nos permiten obtener la eficiencia de la caldera, el cual será el parámetro determinante en la decisión de si adquirir un acumulador o no.

Para el cálculo de la eficiencia se utilizará el método directo de estimación de la eficiencia. Este método analiza el calor adquirido por el agua una vez que sale como vapor de la caldera, y, por otro lado, la energía del combustible producto de la cantidad empleada por su poder calorífico. La ecuación para el cálculo de la eficiencia viene dada por:

$$\eta = \frac{\dot{m}_v * (h_v - h_l)}{\dot{m}_f * PCI} \quad (4)$$

donde:

$\dot{m}_v$ [kg/h], [kg/mes]: producción de vapor por parte de la caldera.

h_v [kJ/kg]: entalpía del vapor de salida.

h_l [kJ/kg]: entalpía del agua de entrada.

$\dot{m}_f$ [m³/h], [m³/mes]: consumo de combustible.

PCI [kJ/m³]: poder calorífico inferior del combustible.

Para poder tener una visión más general, se analizarán las eficiencias globales por cada mes. Los datos que no varían durante la operación de la caldera es la temperatura de ingreso del agua a la caldera, la presión de operación, el poder calorífico inferior (PCI) del combustible, por los que los datos a utilizar son los siguientes:

Tabla 3- 13: Parámetros para el cálculo de la eficiencia.

Parámetro	Valor
Entalpía de vapor (12 bar, saturado)	2.783,77 [kJ/kg]
Entalpía agua de ingreso (12 bar, 103°C)	432,57 [kJ/kg]
PCI gas natural	40.474 [kJ/m ³]

Con los datos a utilizar ya registrados, se analizarán los consumos de gas natural y producción de vapor por mes, para obtener las eficiencias globales correspondientes a cada uno. Estos datos se observan en la Tabla 3-14.

Tabla 3- 14: Cálculo de las eficiencias mensuales.

Año	Mes	Producción de vapor (ton)	Consumo de combustible	Eficiencia
2021	Diciembre	7.024,9	452.698,1	90,1
2022	Enero	7.239,9	459.808,5	91,5
	Febrero	5.244,2	335.755,1	90,7
	Marzo	5.987,8	389.879,8	89,2
	Abril	6.175,1	413.773,8	86,7
	Mayo	6.429,1	428.374,8	87,2
	Junio	3.738,6	245.887,6	88,3
	Julio	3.623,1	241.149,5	87,3
	Agosto	5.852,1	390.591,8	87,0
	Septiembre	6.428,0	425.436,0	87,8
	Octubre	7.131,1	478.898,7	86,5
	Noviembre	7.033,0	447.273,9	91,3
Total		71.906,9	4.709.527,6	88,6
Promedio eficiencia %				

De la tabla anterior se puede observar que los meses que poseen una mayor eficiencia son los meses de correspondientes a verano, donde existe una mayor producción de vapor, y donde la caldera presenta menores fluctuaciones al momento de la generación y se mantiene a una producción mayor y constante.

Ahora, por otro lado, calcularemos la eficiencia con el acumulador de vapor, donde se tendrá una producción constante de 11.000 [kg/h], con las mismas condiciones iniciales de presión y temperatura del agua de ingreso. Para determinar el consumo de gas natural para producir esta cantidad de vapor, se obtuvo el promedio de diferentes datos de consumo instantáneo cuando se producía una cantidad cercana a los 11.000 [kg/h], dando como resultado 695 [m³/h] de gas natural. Por lo cual, la eficiencia de la caldera al instalar el acumulador de vapor es de:

$$\eta = \frac{11.000 * (2.783,77 - 432,57)}{695 * 40.474}$$

$$\therefore \eta = 0,919 = 92\%$$

Con la nueva eficiencia obtenida, se recalculan los consumos de combustible de la Tabla 3-15, y así se obtiene el nuevo total de metros cúbicos de gas natural que se consumirán al año para producir la cantidad de vapor demandada.

Tabla 3- 15: Cálculo del ahorro con la instalación de un acumulador de vapor.

Año	Mes	Consumo de combustible con acumulador	Ahorro %
2021	Diciembre	443.571	2,0
2022	Enero	457.147	0,6
	Febrero	331.133	1,4
	Marzo	378.086	3,0
	Abril	389.912	5,8
	Mayo	405.951	5,2
	Junio	236.065	4,0
	Julio	228.772	5,1
	Agosto	369.517	5,4
	Septiembre	405.881	4,6
	Octubre	450.277	6,0
	Noviembre	444.083	0,7
Total		4.540.401	3,6

Se obtuvo que con la instalación de un acumulador de vapor se tiene un ahorro del 3,6% con respecto al consumo de gas natural sin acumulador. Si bien, no es un porcentaje tan elevado, al llevar esta cifra a pesos se transforma en un ahorro monetario considerable. Actualmente, el precio del metro cúbico de gas natural que cancela Nestlé Llanquihue es de \$437, lo cual se traduce en un ahorro anual de \$73.908.130. Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla resumen.

Tabla 3- 16: Tabla resumen de los ahorros al instalar un acumulador de vapor.(miles\$)

Metros cúbicos de gas natural sin acumulador	4.709
Metros cúbicos de gas natural con acumulador	4.540
Ahorro en %	3,6 %
Ahorro en \$	\$73.908

3.5. Cálculo de indicadores económicos

En todos los proyectos que se requiera de una inversión considerable, se deben utilizar diversos indicadores económicos que permitan determinar si una inversión es rentable o no. Para el presente proyecto se utilizarán tres indicadores:

- TIR (Tasa interna de retorno): es la rentabilidad que ofrece la inversión, es decir, el porcentaje de ingresos que se obtiene periódicamente debido a una inversión.
- VAN (Valor actual neto): permite determinar la viabilidad de un proyecto a través de los flujos de caja originados por la inversión.
- Payback: es el plazo que tarda una inversión en la recuperación del capital invertido.

Para poder calcular estos indicadores es necesario realizar el flujo de caja de la inversión. En el se consideran los movimientos de dinero, es decir, ingresos y egresos. Como ingreso principalmente se considera el ahorro económico en gas natural que genera el acumulador de vapor. Por otro lado, como egresos se tiene el costo de la mantención del equipo, que es de 2.300€ anuales. Además, se tiene la depreciación del equipo, considerando una vida útil de 20 años. Por último, para la estimación de los indicadores se considera un horizonte de tiempo de 5 años, con una tasa de descuento del 10%. El flujo de caja se observa en la Tabla 3-17.

Tabla 3- 17: Flujo de caja de la inversión del acumulador de vapor. (en miles \$)

Años	0	1	2	3	4	5
Inversión	\$ -134.089.320					
Depreciación		\$ 4.487	\$ 4.487	\$ 4.487	\$ 4.487	\$ 4.487
Ingresos		\$ 73.908	\$ 73.908	\$ 73.908	\$ 73.908	\$ 73.908
Gastos		\$ 2.015	\$ 2.015	\$ 2.015	\$ 2.015	\$ 2.015
Margen Operacional		\$ 75.923	\$ 75.923	\$ 75.923	\$ 75.923	\$ 75.923
Flujo de caja	\$ -134.089.320	\$ 75.923	\$ 75.923	\$ 75.923	\$ 75.923	\$ 75.923
Flujo caja Acumulado	\$ -134.089.320	\$ -58.166	\$ 17.757	\$ 93.680	\$ 169.603	\$ 245.527

A partir del flujo de caja de la tabla anterior, se pueden calcular los indicadores económicos mencionados. Para ello se utilizaron formulas integradas en Excel sobre los flujos anuales del proyecto.

Tabla 3- 18: Indicadores económicos obtenidos.

TIR	49%
VAN	\$153.719.626
PAYBACK	1,8

Observando los resultados obtenidos de la Tabla 3-18, se tiene que, al ser el VAN positivo y la TIR mayor a la tasa de descuento, se considera que el proyecto es viable desde un punto de vista económico.

Por otro lado, se tiene que el payback o periodo de recuperación es de 1,8 años, es decir que, en 1 año, 9 meses y 18 días, se recuperará la inversión del acumulador de vapor, lo cual es un tiempo relativamente corto, que se debe principalmente al ahorro en gas natural que genera el equipo.

3.6. Ubicación de la instalación del acumulador

La sala de calderas se encuentra en una esquina del recinto total de la fábrica. En el exterior de la sala se encuentra un patio que el año 2022 contaba con los antiguos silos de carbón que alimentaban las calderas, como se observa en la Ilustración 3-28. En dicha imagen, se puede apreciar la sala de calderas (construcción de color blanco) y el amplio patio con el que cuenta.



Ilustración 3- 28: Antiguos silos de carbón de planta Nestlé Llanquihue.

A finales del año 2022 dichos silos fueron retirados, quedando un amplio patio fuera de la sala de calderas, como se observa en la Ilustración 3-29.



Ilustración 3- 29: Patio actual de la sala de calderas fábrica Nestlé Llanquihue.

Dicho patio tiene las dimensiones suficientes para la instalación del acumulador de vapor, considerando que se encuentra muy cercano a la caldera y a los equipos que ocupan vapor en planta. Además, el patio no es transitado por operadores de planta, sino que solamente por operadores de caldera y brigadistas en caso de emergencia o ejercicio. Lo cual lo convierte en el espacio óptimo para la instalación del acumulador.

4. Conclusiones

Finalizado el análisis técnico-económico sobre la instalación de un acumulador de vapor en la planta de procesos de Nestlé Llanquihue, se puede concluir que se lograron los objetivos planteados al comienzo del proyecto.

A través de la recopilación de información para dimensionar el estanque se pudo conocer acerca de los equipos con lo que la empresa cuenta para la producción de vapor, como la caldera y los equipos auxiliares, así los procesos dentro de la planta donde se utiliza.

A partir de los cálculos realizados, se obtuvo que para la caldera en estudio se necesita un estanque acumulador de vapor de 50 [m³] y una producción promedio de vapor de 11.000 [kg/h], lo cual generará un ahorro anual del 3,6% de combustible, que equivale a aproximadamente 169.000 [m³] de gas natural.

Si bien el acumulador de vapor no es equipo de bajo costo, es una inversión que trae consigo muchas ventajas para la empresa, principalmente económicas, ya que repercute directamente en la eficiencia de la caldera, lo cual permite disminuir un porcentaje del consumo de gas natural, lo que, proyectado en el tiempo, permite recuperar la inversión. Este se ve reflejado en el indicador económico llamado payback, el cual, según los cálculos, nos muestra que, en base al flujo de caja, la inversión realizada en el acumulador se recupera en un lapso de 1 año y 10 meses aproximadamente.

Con respecto a los otros dos indicadores económicos, TIR y VAN, se obtuvieron resultados favorables. Por un lado, la TIR dio como resultado un 49%, lo cual al ser mayor que la tasa de descuento, nos permite determinar que es un indicador favorable. Ahora bien, el VAN obtenido luego de determinar los ingresos y egresos, y descontando la inversión inicial, da un resultado positivo de unos 153 M\$. Ambos indicadores económicos dan como resultado que la instalación de un acumulador de vapor en la planta Nestlé Llanquihue es un proyecto rentable y viable.

Si bien los acumuladores de vapor existen hace algunas décadas, su demanda sigue en aumento y nos equipos obsoletos. Por el contrario, son equipos que cada vez son más utilizados debido a que las calderas modernas han ido reduciendo su tamaño, por lo cual, para poder dar abasto con la producción de vapor, utilizan estanques acumuladores para poder lograr los peaks en momentos de alta demanda.

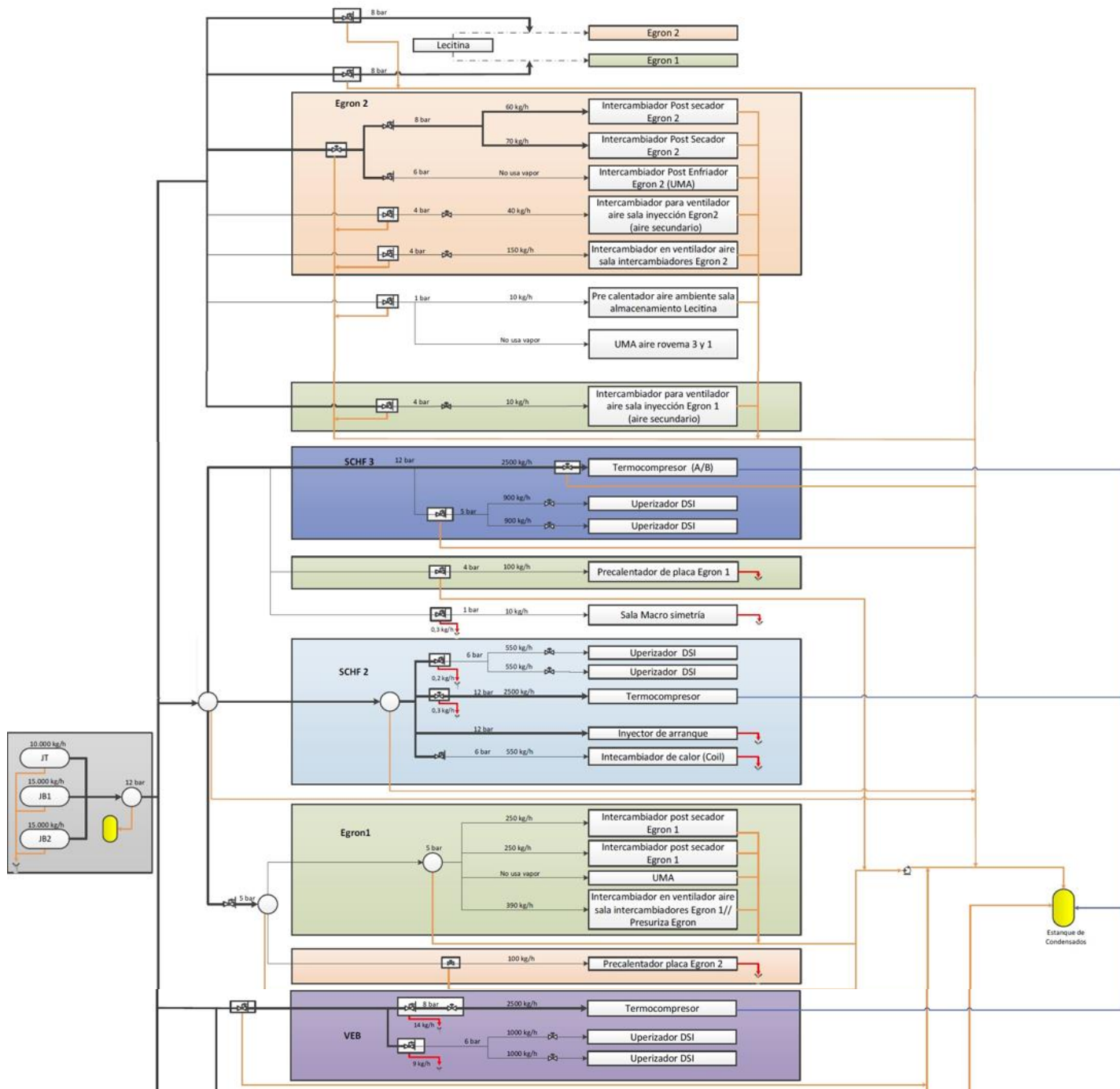
Finalmente, el acumulador de vapor es una herramienta muy eficiente, así como también es la forma más efectiva de poder suministrar vapor a los procesos de cargas intermitentes, como lo fue el presente caso estudiado.

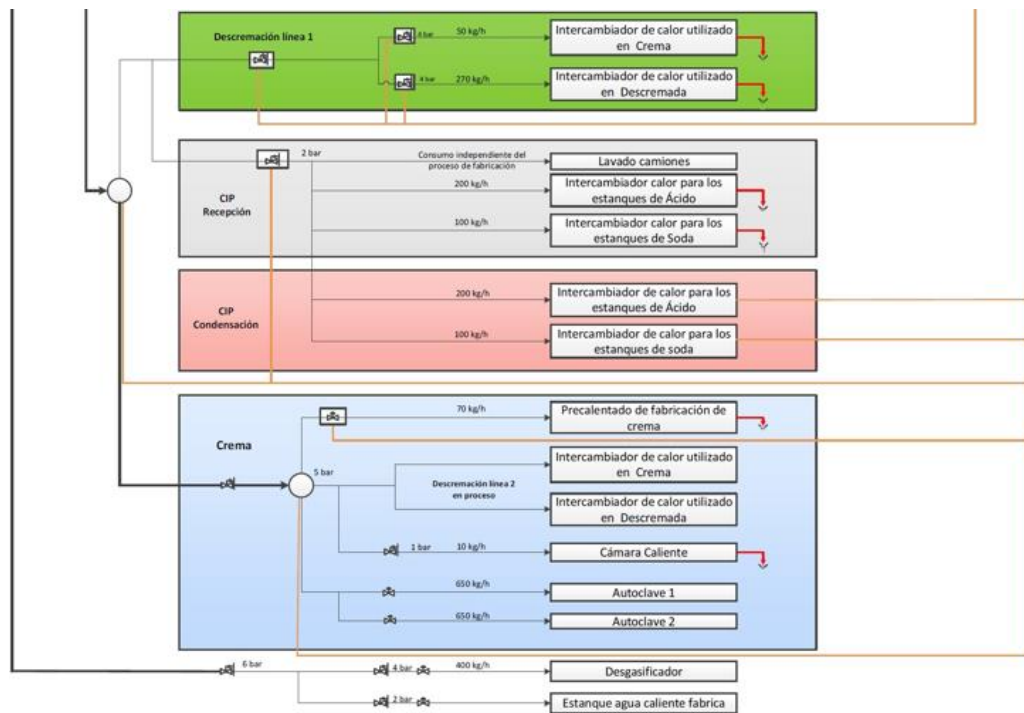
5. Referencias

- ATTSU. (s.f.). Productos y servicios: Acumulador de vapor modelo AV. Obtenido de <https://cutt.ly/s3C1B7G>
- Camus, M. (Diciembre de 2015). Recipientes sometidos a presión. Obtenido de Instituto de Salud Pública: <https://cutt.ly/z3C1WiK>
- Londoño, R. (27 de Octubre de 2019). Válvulas reguladoras de vapor para líneas de vapor. Obtenido de RL S.A.: <https://cutt.ly/43CMg7X>
- Ministerio de Salud. (19 de Octubre de 2013). Decreto 10; Aprueba reglamento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://cutt.ly/u3CM9TK>
- Nuvo, D. (11 de Mayo de 2022). Auditoria de eficiencia energética en una caldera. Obtenido de TECPA: <https://cutt.ly/93CVz5G>
- SERVITEC. (1 de Febrero de 2017). Acumuladores de vapor. Obtenido de SERVITEC: <https://cutt.ly/V3CN4fi>
- Spirax Sarco. (13 de Junio de 2018). Tipos de vapor industrial: comparativo de vapor culinario vs vapor puro. Obtenido de Vapor para la industria: <https://cutt.ly/k3CB1ZQ>
- Thermal Engineering. (2020). Alternativas de ahorro en plantas térmicas. Obtenido de Thermal Engineering: <https://cutt.ly/c3CNbUM>
- TLV. (2015). ¿Qué es el vapor de agua? Obtenido de TLV Compañía especialista en vapor: <https://cutt.ly/V3CBWq5>
- Fabrizio, Aimonino Gay. Modelling of steam storage vessels for batch processes in food plants. Convegno di Medio Termine dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, (2011)
- Stevanovic, Masloravic, Prica. Dynamics of steam accumulation. Applied Thermal Engineering, Vol.37, Pages 37-39. (2012)
- S. Suazo. Metodología de evaluación técnica y económica de un acumulador de vapor tipo Ruth, dentro del sub-sector industrial de la Región Metropolitana. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico. Universidad Técnica Federico Santa María. (1993)
- Cengel, Y. A., Ghajar A. J. (2011). Transferencia de Calor y Masa: Fundamentos y Aplicaciones. 4ª. Ed., McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., Boles, M. A. (2015). Termodinámica. 8ª. Ed.

6. Anexos

Anexo N°1: Diagrama vapor planta Nestlé Llanquihue





Anexo N°2: Cotización estanque
acumulador de vapor por empresa ATTSU



Nº REF: 7633

Date: 24/01/2023
Contact ATTSU: Antoni Jové

STEAM ACCUMULATOR

MODEL - AV – 50000/14

NESTLÉ S.A
CHILE

ATTSU Tèrmica, S.L.
Pol. Ind. C/ Falgueres s/n
17460 CELRÀ -Girona- SPAIN

Tel. +34 972 171 738
Fax +34 972 171 740
VAT Nº B-80561392

attsu@attsu.com
www.attsu.com



pág. 1

Customer: NESTLE

Reference: 7633

QUOTATION

Description of the quoted equipment, technical features and pricing:

1. STEAM ACCUMULATOR	3
1.1 STEAM ACCUMULATOR DESCRIPTION	3
1.2 TECHNICAL SPECIFICATIONS	4
1.3 STEAM ACCUMULATOR SHELL CONSTRUCTION MATERIALS	4
1.4 STEAM ACCUMULATOR ACCESSORIES INSTALLED	4
1.5 PRICE STEAM ACCUMULATOR	5
2. OPTIONS	5
2.1. PLATFORM AND LEADERS	5
2.2. START UP	6
3. PRICE SUMMARY & SCOPE OF SUPPLY	7
4. OFFER CONDITIONS	8
5. PARTNERS, PROVEEDORES, COMPONENTES Y ACCESORIOS	11
6. SOME OF OUR REFERENCES	12
7. GENERAL CONDITIONS OF SALE	13

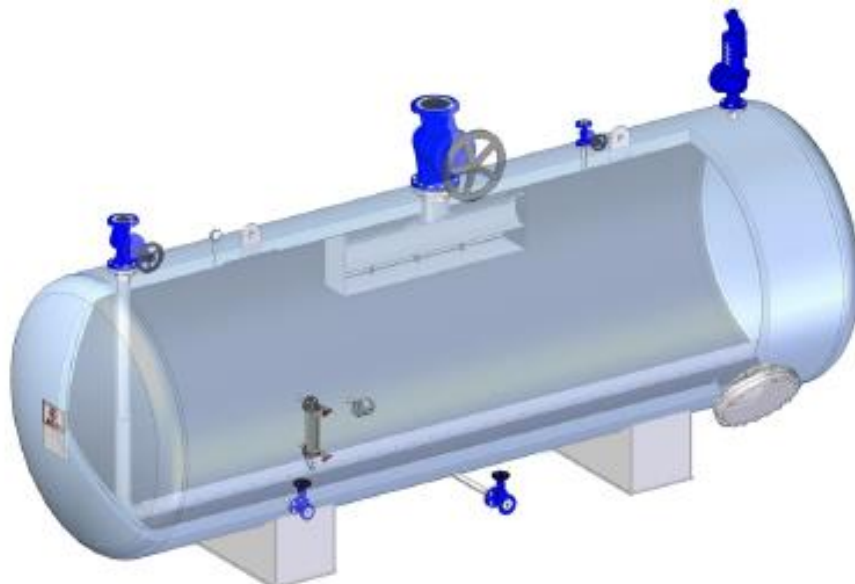
1. STEAM ACCUMULATOR

1.1 Steam accumulator description

The purpose of a steam accumulator in an installation is to smooth out peaks and troughs when the steam delivery and the steam demand may vary greatly. It is used when the steam demand is greater than the boiler's ability to supply at that time.

Its operation principle is the following:

- The accumulator tank is partially filled with water, at the point which is indicated on it; normally 50% of its overall capacity;
- Steam is injected below the water surface by a steam injector until the entire water content is at the required pressure and temperature;
- Once the operating pressure is reached begins a steady steam supply, although consumption may vary considerably, until that total consumption in an hour does not exceed the steam inlet;
- The volume of the accumulator is calculated taking into account the instant and total steam consumption, the steam production, the inlet pressure and the output pressure;
- The steam accumulator also allows large instant steam deliveries free of water content thanks to the steam chamber height, the vaporization surface area and the built-in internal separator.



The steam accumulator is provided with a manhole which allows a clear vision of the body's interior during the cleaning and inspection.

Customer: NESTLE

Reference: 7633

1.2 Technical specifications

Brand	ATTSU
Type	AV-50000/14
Total Volume	50.000 liters
Design pressure	14 bar
Working pressure	12 bar
Overall length	11.000 mm
Width incl. accessories	2.950 mm
Overall height incl. accessories	3.250 mm
Transport Weight	9.775 kg
Design code	TRD
Certificate of conformity	2014/68/UE
Category	IV
Manufacturer's quality certificate	ISO-9001 BUREAU VERITAS

1.3 Steam accumulator shell construction materials

Characteristics of the boiler shell construction materials:

<i>Part</i>	<i>Quality</i>
Boiler shell	P265GH EN-10028
Shell tubes	P235GH EN-10216-2

1.4 Steam accumulator accessories installed

Position of the accessories	Standard (as per the catalogue)
Water level sight glass	PN-40 + Level gauge cock
Water inlet angular shut-off valve	ARI, DN-32
Maximum level controller	Accumulator trap FT -14/4.5 of 1 "
Pressure safety controller	1 pressure switches Danfoss
Visual control pressure gauge	Diameter 160 ATTSU 0-25 bars
Three-way cock for pressure gauge	1 cock
Safety valve	ARIFIG.12902 DN65/100
Steam outlet valve	ARI FIG.12046 DN-250
Vent valve	ARI FIG.23046 DN-20 PN-25
Blowdown valve	DN40
Control panel	ATTSU
Power voltage	400 V - III - 50 Hz
Control panel voltage	230 V - II - 50 Hz
Total electrical power total	1 kW

Costumer: NESTLE
Reference: 7633

1.5 Price steam accumulator

Price of steam accumulator described in accordance with the provision of general conditions:

Tested in our testing bench before delivery.

Price	83.790 €
Price Isoltaion with rockwool 100 mm and aluminium 0.6 mm cover sheet	14.078 €

2. OPTIONS

2.1. Platform and leaders

Access ladder and platform for the access to the valves, manhole and controller mounted on the top of the steam boiler.

¿What is it for?

- Access to the boiler top valves for a more comfortable handling and maintenance.

¿What are the benefits?

- It avoids the use of mobile ladders and its consequent danger, and it ensures a smooth performance of works on the top of the boiler according to the safe homologated measures of Risk Assessment.



Price	4.587 €
-------	---------

2.2. Start up



Startup of the described material during 2 full working days & and fast operation boiler training. The total price includes 1 travel day + 2 full working days + 1 travel day.

The startup dates will be provided by the costumer 1-2 weeks in advance.

For the startup it will be compulsory to send a picture of the boiler installation before the technician travels to destination.

Excluded:

- Flight tickets, accommodation, internal transportation. It will be provided by the customer.
- Materials or spare parts for the startup if needed
- Visa or other taxes for travelling to customer facilities

Additional Price /extra day: 850 €/ technician

* Training course not included

* A translator from Spanish into the costumer's language may be necessary

¿What is it for?

- ✦ Start up, regulation to process real consumption and staff training course.

¿What are the benefits?

- ✦ Regulation and optimization of combustion in order to adapt them to the plant real steam consumption.
- ✦ ATTSU Performance Training Course for the boiler operator.

Price

3.325 €

Price Visa Taxes

+ 290 €

Costumer: NESTLE

Reference: 7633

3. PRICE SUMMARY & SCOPE OF SUPPLY

ITEM	INCLUDE IN THE QUOTATION			
	QTY	YES	NO	
ATTSU Steam accumulator + thermal isolation	1	X		
OPTIONALS				
Platform and leaders	1	X		
Sample cooling	1		X	
Steam pressure regulation train	1		X	
Start up	1	X		
Transport & delivery	1		X	
Civil works	1		X	
Engineering and other technical documentation required	1		X	
Boiler room's remodeling	1		X	
Roof dismantling to entry the equipment	1		X	
Electrical works of the boiler's room	1		X	
Electrical and pneumatic supply to the boiler control panel	1		X	
Electrical connections to the factory general control panel	1		X	
Water supply to the boiler or water tank	1		X	
Steam supply from the boiler to the factory	1		X	
Lifts & Plumbing	1		X	
CE equipment certificates in Spanish & English	1	X		
Equipment manuals in Spanish or English	1	X		
Documents stamped by Customer's Country Embassy (480 €/each one)	1		X	
Commercial inspection before delivery by third party (690 €)	1		X	
TOTAL SUPPLY				

Customer: NESTLE
Reference: 7633

4. OFFER CONDITIONS

- ✿ Equipment placed at our factory excluding shipments, packaging or downloads. EXWORKS Conditions Incoterms 2010
- ✿ The images that appear in this offer are merely indicative and may vary according to scope or model without prior notice.
- ✿ Payment conditions:
 - OPTION 1: Bank transfer**
30% upon purchase order confirmation.
70% before delivery of the equipment.
 - OPTION 2: 100% By opening an L/C with a First-Class Bank.**
*NOTE: L/C delivery date must be minimum +15 days of equipment date delivery shown in the offer conditions
- ✿ Delivery time:
 - 60 days from the date of order confirmation for standard equipment.
 - * Depending on the chosen options, the delivery time could be delayed.
 - 60 – 75 days from the date of order confirmation for standard equipment 60 Hz.
- ✿ Guarantee: The guarantee is 3 years or 5580 hours for the pressure vessel and 1 year or 1880 hours for the accessories. The guarantee certificate is delivered with the boiler. The manufacturer's warranty is subjected to the boiler usage in compliance to the European Standards EN 12953-10:2003 – Shell boilers: Requirements for feed water and boiler water quality, as stated in the guarantee certificate.
- ✿ Language of documents and manuals: ATTSU will supply the documents and manuals in Spanish or English. In case that the customer requires documents in other language, translation costs will be invoiced when not available.
- ✿ After 3 weeks of boiler ready to be collected, if the boiler is not collected, it will be paid by customer the storage cost as 1,5 % of total price x month.
- ✿ This offer is valid for 4 months from the date of the offer
- ✿ General external supply conditions (if not specified otherwise in the offer):
 - Electricity: 400V- III / 230V- I / 50 Hz. With protection from surges and surpluses
 - Water according to UNE EN 12953-10-2003
 - Compressed air. Supply pressure 4-6 Bar. Clean and moisture free
 - Natural Gas: supply pressure of 100 to 300 mbar. Clean and free of moisture
 - Diesel: Supply pressure of 0.1 to 1 bar. With constant pressure. 250 micras filtered and free of moisture

Approved by: Buyer
Sign and stamp

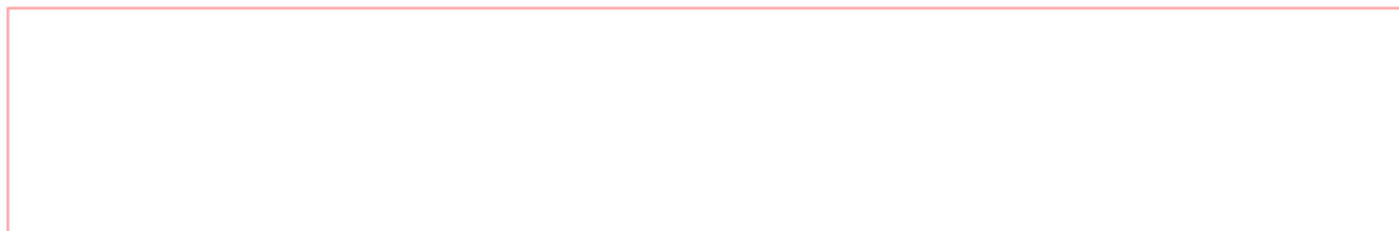
ATTSU Térmica, S.L.
Antoni Jové



POWER OF TEAM

Customer: NESTLE

Reference: 7633



Customer: NESTLE
Reference: 7633

BOILER WATER - EN 12953-10:2003

Working pressure		bar eff.	< 12	12 ≤ PS < 25	25 ≤ PS ≤ 40
Hydrogen Potential	pH (25°C)	–	11,0 - 12,0	11,0 - 12,0	10,5 - 12,5
Total hardness	TH	–	0	0	0
Phenolphthalein Alkalinity	P value (TA)	°f	0,7 * TAC	0,7 * TAC	0,7 * TAC
Methyl orange alkalinity	M value (TAC)	°f	70 to 120	50 to 100	15 to 50
Chlorine	Cl-	mg/l	< 700	< 600	< 400
Conductivity		µS/cm	4000 to 5000	< 4000	< 3000
Silica	SiO ₂	mg/l	< 200	< 130	< 50
SiO ₂ /TAC		mg/l/°f	< 2,0	< 1,5	< 1,0
Phosphates	P ₂ O ₅	mg/l	20 - 30	20 - 30	15 - 20
Sulfite	SO ₃	mg/l	40 - 80	30 - 80	20 - 40
Hydrazine	N ₂ H ₄	mg/l	> 1,0	> 0,5	0,2 < N ₂ H ₄ ≤ 0,5
Suspended solids		mg/l	< 300	< 200	< 100

- (1) The maximum value SiO₂/TAC can be increased to 3, 0 for operating pressures less than 25 bar if the total hardness of the feed water is less than 0, 1 °f.
- (2) Only use sodium sulfite in feed water at a temperature < 80°C. If there is an economizer, use catalyzed sodium sulfite in preference for which the action is faster; injection should be made upstream of the economizer, in the feed water tank.
- (3) Hydrazine should only be used if the temperature of the feed water exceeds 80°C (firstly for the reaction speed and secondly for reasons of economy).
- (4) If recovery water is used as feed water, then it is important to check that this water is free of oil. Thermal degassing is recommended to obtain the values given in the table, in the case of boilers that produce at least 12 tons of steam per hour or that operate at a working pressure greater than 15 bars, or that have an economizer. In case of a super-heater and at normal load, the boiler shall be operated with particular care.

FEED WATER - EN 12953-10:2003

Working pressure	bar eff.	< 12	12 ≤ PS < 25	25 ≤ PS ≤ 40
pH (softened water makeup)	pH (25°C)	7,5 - 10,0	7,5 - 9,2	7,5 - 9,2
pH (make up in decarbonated or dematerialized water)	pH (25°C)	8,5 - 10,0	8,5 - 9,2	8,5 - 9,2
Total hardness TH	°f	< 0,5	< 0,2	< 0,15
Suspended solid	mg/l	2	2	2
Iron	mg/l	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Dissolvent oxygen	mg/l	< 0.10	< 0.05	< 0.02
CO ₂ in the form of CO ₃ H	mg/l	< 25	< 25	< 25
Oil content	mg/l	0	0	0
Organic matter valued of Mn O ₄ K	mg/l	< 10	< 10	< 10
Visual appearance	Clear, with no colour or sludge			

- (5) If there is an economizer, the total hardness TH will always be less than 0.15°f, and the related Ph for dealkalised feed water.

5. PARTNERS. PROVEEDORES. COMPONENTES Y ACCESORIOS



X-rays and welding ultrasound
Germany



Control and certification of equipment
France



Safety and bellows valves for thermal oil
Germany



High Pressure Pumps
Denmark



Pumps for high temperature and pressure
Germany



Level controls and automatic drain
United Kingdom



Industrial burners for boilers
Germany



Industrial burners for boilers
Italy



Industrial burners for boilers
United Kingdom



Pressure switches, thermostats and
inverters
Denmark



Modulating valves
Germany



Manometers and transmitters for steam
Germany



PLC, HMI and electrical components
Germany



Electric components
France



Controlers
Italy



Controlers
japan



Actuators for automatic valves
Spain



Special seals for steam and thermal oil
Spain



Special steel for boilers
Germany



High precision steel tubes
Spain



Seamless steel tubes for power
Spain

6. SOME OF OUR REFERENCES



Anexo N°3: Propiedades del agua saturada

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P_{sat} kPa	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

