



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO DE LA RECUPERACIÓN DE CALOR RESIDUAL EN UNA  
CALDERA DE CARBÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN ENERGÍA**

**PRESENTADO POR:**

**21311266      JOSEPH STEFFAN FUENTES ZELAYA**

**21311310      RAFAEL JOSÉ RIVERA HERRERA**

**ASESOR: DR. HÉCTOR VILLATORO**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA;**

**AGOSTO, 2019**

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de tesis está enfocado en la necesidad de diseñar un sistema de recuperación de calor de purga residual para la empresa "Caracol Knits", la cual es una de las empresas líderes en el país en cuanto al rubro de la creación de material textil para las diferentes compañías maquileras de este país y el mundo. Se escogió este sistema debido a que se identificó que la caldera principal posee una pérdida de energía en el proceso de purga superficial de la misma. Este proceso consiste en el drenaje de cierta cantidad de agua con solidos disueltos en su composición los cuales son perjudiciales para la caldera. Esta purga que se desecha es sometida a un cambio brusco en la presión al salir de la caldera, por lo que provoca que esta agua desechada se revaporice, formándose un nuevo vapor el cual es denominado vapor flash. Este vapor y el remanente de purga la cual es el restante de agua o condensado que no se logró revaporizar, contienen una energía aprovechable para su reutilización. Para resolver este problema se realizó un plan de trabajo como parte de la metodología empleada, dicho plan comenzaría con la obtención de los datos básico de la caldera, posteriormente con el cálculo de la cantidad de purga, vapor flash y remanente de purga, generados por la caldera, con esto datos se realiza un dimensionamiento y selección de los equipos que servirá para recuperación de calor, finalmente se realiza un análisis en términos económicos que representa la recuperación de la energía mencionada con anterioridad. La aplicación de la metodología aplicada y su respectivo análisis da como resultado una cantidad de purga de 2.51 ton/h de los cuales un 20.59% se convierte en revaporizado, dando un total de 0.52 ton/h de vapor flash. Una vez recuperado ese vapor flash luego de la separación del revaporizado del resto de condensado de la purga utilizando un tanque flash, se obtuvo un ahorro de carbón de 407.6 ton al año si reutilizamos el revaporizado en el tanque desaireador, el cual es el que contiene el agua de alimentación de la caldera. Calculando el costo de la tonelada de vapor se obtiene el valor de cuanto le cuesta a la empresa generar una tonelada, arrojando un dato de \$12.71, el cual se multiplica por la cantidad de vapor flash desperdiciado, dándonos un total de \$53,682.6 que ahora se podría reutilizar en otro proceso como ser el precalentado del agua de la alimentación de la caldera como anteriormente se mencionó. Una vez lista la expansión dentro del tanque flash, se calculó el porcentaje de purga remanente que se redirecciona al drenaje, el cual nos da un total de 1.99

ton/h. A este remanente se le calculó la cantidad de energía total que aún conserva este condensado, dándonos un total de 1,263,230.11 kJ/h, pudiendo aprovechar esta energía con la instalación de un intercambiador de calor que transfiera esta energía hacia el fluido de reposición del tanque desaireador. Con el respectivo cálculo se obtuvo que el agua de reposición del tanque desaireador aumentaría de 35 grados Celsius a 43.53 grados Celsius, teniendo así una ganancia de 8.53 grados Celsius. Con el dato anterior se calculó el ahorro equivalente de carbón, el cual da un total de 494.58 toneladas al año, logrando así obtener un ahorro de \$58,855.02 al año. Se automatizó el sistema de purga de superficie a un sistema automático, el cual tomaría lecturas directamente del fluido dentro del domo de la caldera gracias a una sonda, midiendo así el nivel de TDS. Si el nivel es alto, la sonda enviaría un pulso hacia el controlador BC3210 de la marca Spirax Sarco, el cual tendría preestablecido el valor de TDS requerido por la caldera. Si el nivel está más alto del parámetro establecido, este enviaría una señal para la apertura de la válvula con actuador neumático para permitir la evacuación de la purga de superficie, logrando así mantener el nivel de los sólidos disueltos dentro de lo recomendado por el fabricante de la caldera. El ahorro producido por la suma de todos los sistemas previamente es de \$112,537.62 al año, con una inversión de \$23,367.08, obteniendo así un tiempo de recuperación de 0.21 años lo cual equivaldría a dos meses y medio.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| I. INTRODUCCIÓN .....                                  | 1  |
| II. MARCO CONTEXTUAL .....                             | 2  |
| 2.1 Generalidades de la empresa.....                   | 2  |
| 2.1.1 Misión.....                                      | 2  |
| 2.1.1 Visión.....                                      | 3  |
| 2.2 Descripción del departamento .....                 | 4  |
| 2.3 Antecedentes del problema .....                    | 4  |
| 2.3.1 Planteamiento del problema.....                  | 5  |
| 2.3.2 Justificación .....                              | 6  |
| III. OBJETIVOS .....                                   | 7  |
| 3.1 Objetivo general .....                             | 7  |
| 3.2 Objetivos específicos.....                         | 7  |
| IV. MARCO TEÓRICO.....                                 | 8  |
| 4.1 Teoría del vapor .....                             | 8  |
| 4.2 Sistema de Vapor .....                             | 10 |
| 4.3 Sistema de alimentación de agua .....              | 11 |
| 4.3.1 Parámetros de la calidad del agua .....          | 11 |
| 4.4 Generación de vapor.....                           | 12 |
| 4.4.1 Calderas.....                                    | 12 |
| 4.4.4 Partes de una caldera.....                       | 14 |
| 4.4.5 Purgas de caldera .....                          | 15 |
| 4.4.7 Desaireador .....                                | 17 |
| 4.4.8 Vapor <i>flash</i> .....                         | 19 |
| 4.4.9 Tanque flash .....                               | 19 |
| 4.4.10 Válvula de Purga de fondo y de superficie ..... | 20 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.5   | Transferencia de calor.....   | 21 |
| 4.5.1 | Conducción.....   | 21 |
| 4.5.2 | Convección .....  | 22 |
| 4.5.3 | Radiación .....   | 22 |
| 4.5.4 | Intercambiador de Calor.....  | 22 |
| 4.5.5 | Intercambiador de calor de contacto directo .....                               | 23 |
| 4.5.6 | Intercambiador de calor de contacto indirecto .....                             | 23 |
| 4.6   | Combustible de alimentación de la caldera: el carbón .....                      | 23 |
| 4.6.1 | Clasificación de carbón .....   | 24 |
| 4.6.2 | Poder calorífico del carbón .....   | 24 |
| 4.6.3 | Humedad .....   | 25 |
| 4.6.4 | Cenizas .....   | 25 |
| V.    | METODOLOGÍA.....  | 26 |
| 5.1   | Fuentes de Recolección de la información .....                                  | 27 |
| 5.1.1 | Fuentes Primarias.....  | 27 |
| 5.1.2 | Fuentes Secundarias.....  | 27 |
| 5.2   | Variables para los cálculos .....   | 28 |
| 5.3   | Operacionalización de las variables.....  | 28 |
| 5.4   | Procesamiento de la información.....  | 29 |
| 5.5   | Plan de trabajo .....   | 29 |
| 5.5.1 | Recopilación de datos de operación de los equipos y el sistema de vapor.....    | 29 |
| 5.5.2 | Cálculo de expansión de fluido dentro de tanque flash .....                     | 30 |
| 5.5.3 | Selección y dimensionamiento de sistema de control de purga .....               | 30 |
| 5.5.4 | Dimensionamiento de intercambiador de calor para purga remanente .....          | 30 |
| 5.5.5 | Análisis de viabilidad económica del sistema de recuperación de calor de purga. | 31 |
| VI.   | RESULTADOS Y ANÁLISIS .....   | 32 |
| 6.1   | Análisis de la generación de vapor.....   | 32 |
| 6.2   | Análisis de la generación de purga.....   | 35 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 6.2.1      | Análisis del agua .....  | 35 |
| 6.2.2      | Determinación la generación de purga de la caldera.....              | 36 |
| 6.3        | Análisis de la generación de vapor flash.....                        | 38 |
| 6.3.1      | Determinación del porcentaje de revaporizado.....                    | 38 |
| 6.3.2      | Determinación de la cantidad de vapor flash generado.....            | 39 |
| 6.3.3      | Determinación del remanente de purga .....                           | 39 |
| 6.3.4      | Energía disponible en la purga remanente .....                       | 40 |
| 6.3.5      | Costo del vapor.....   | 42 |
| 6.3.6      | Ahorro económico de la recuperación del vapor flash .....            | 43 |
| 6.3.7      | Ahorro de combustible equivalente por producción de vapor flash..... | 44 |
| 6.4        | Dimensionamiento del intercambiador de calor.....                    | 46 |
| 6.4.1      | Calor suministrado al fluido de reposición .....                     | 46 |
| 6.4.2      | Ahorro de combustible por la recuperación de calor.....              | 49 |
| 6.4.3      | Ahorro económico por la recuperación de calor .....                  | 49 |
| 6.4.4      | Selección del intercambiador de calor.....                           | 51 |
| 6.5        | Dimensionamiento sistema de Control de purga .....                   | 52 |
| 6.5.1      | Válvula De Purga.....  | 53 |
| 6.5.2      | Controlador .....  | 54 |
| 6.5.3      | Sonda de Conductividad .....   | 55 |
| 6.5.4      | Codo de conexión de sonda .....                                      | 56 |
| VII.       | CONCLUSIONES .....   | 59 |
| VIII.      | Recomendaciones .....  | 60 |
| IX.        | BIBLIOGRAFIA .....   | 61 |
| X.         | ANEXOS.....  | 63 |
| ANEXO I.   | TABLAS DE VAPOR .....  | 63 |
| ANEXO II.  | FICHA TECNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR ALFA LAVAL CB76 .....          | 65 |
| ANEXO III. | FICHA TECNICA SISTEMA DE CONTROL DE PURGA SPIRAX SARCO .....         | 67 |
| ANEXO III. | FICHA TECNICA SONDA GESTRA LRGT 17-1.....                            | 73 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. Logo de la empresa.....  | 2  |
| Ilustración 2. Cambio molecular del agua .....                                      | 8  |
| Ilustración 3. Sistema tradicional de vapor. ....                                   | 10 |
| Ilustración 4. Principio de funcionamiento de una caldera pirotubular.....          | 13 |
| Ilustración 4. Principio de funcionamiento de una caldera acuotubular. ....         | 14 |
| Ilustración 6. Influencia de la purga en la eficiencia térmica de una caldera. .... | 15 |
| Ilustración 7. Descarga de purga.....   | 16 |
| Ilustración 8. Influencia del oxígeno en la temperatura.....                        | 18 |
| Ilustración 9. Vapor flash.....   | 19 |
| Ilustración 10. Tanque flash.....   | 20 |
| Ilustración 11. Estado actual del sistema. ....                                     | 26 |
| Ilustración 12. Sistema propuesto con las mejoras incluidas.....                    | 27 |
| Ilustración 13. Distribución de la purga en el tanque flash.....                    | 40 |
| Ilustración 14. Intercambiador de calor CB76. ....                                  | 51 |
| Ilustración 15. Válvula de purga.....   | 54 |
| Ilustración 16. Controlador de TDS BC3210.....                                      | 55 |
| Ilustración 17. Sonda Gestra LRGT 17-1.....   | 56 |
| Ilustración 18. Sistema de control de purga completo.....                           | 57 |
| Ilustración 12. Tablas de vapor saturado.....                                       | 64 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Perfil de la empresa.....  | 3  |
| Tabla 2. Propiedades del vapor sobrecalentado.....  | 9  |
| Tabla 3. Relación de dureza del agua.....   | 17 |
| Tabla 4. Clasificación del carbón.....  | 24 |
| Tabla 5. Operacionalización de las variables.....   | 28 |
| Tabla 6. Parámetros de la caldera.....  | 32 |
| Tabla 7. Datos para calcular la eficiencia .....  | 34 |
| Tabla 8. Datos para calcular la generación de purga por la caldera .....                  | 37 |
| Tabla 9. Datos para calcular el costo del vapor.....                                      | 42 |
| Tabla 10. Parámetros del carbón .....   | 43 |
| Tabla 11. Datos para calcular el ahorro de combustible por producción de vapor flash..... | 45 |
| Tabla 12. Datos para calcular el calor suministrado al intercambiador. ....               | 47 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 13. Datos para calcular la temperatura de salida del intercambiador .....  | 48 |
| Tabla 14. Datos para calcular el ahorro de combustible de la recuperación de calor mediante un intercambiador de calor. .... | 49 |
| Tabla 15. Información técnica controlador de TDS.....  | 54 |
| Tabla 16. Resumen de resultados.....   | 58 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| Ecuación 1: Eficiencia de una caldera .....   | 34 |
| Ecuación 2: Eficiencia de una caldera .....   | 35 |
| Ecuación 3: Cantidad de agua a ser purgada mediante concentraciones.....                                  | 36 |
| Ecuación 4: Cantidad de agua a ser purgada mediante STD .....   | 36 |
| Ecuación 5: Cantidad de agua a ser purgada mediante STD .....   | 37 |
| Ecuación 6: Porcentaje de revaporizado .....  | 38 |
| Ecuación 7: Cantidad de vapor flash.....  | 39 |
| Ecuación 8: Purga remanente.....  | 39 |
| Ecuación 9: Energía disponible .....  | 40 |
| Ecuación 10: Energía total disponible .....   | 41 |
| Ecuación 11: Costo del vapor .....  | 42 |
| Ecuación 12: Ahorro de vapor al año .....   | 43 |
| Ecuación 13: Ahorro económico del vapor al año.....   | 43 |
| Ecuación 14: Ahorro de combustible equivalente por vapor flash producido .....                            | 44 |
| Ecuación 15: Ahorro de carbón al año.....   | 45 |
| Ecuación 16: Cantidad de calor absorbido o liberado.....  | 46 |
| Ecuación 17: Ahorro de combustible por la recuperación de calor mediante un intercambiador de calor ..... | 49 |



# I. INTRODUCCIÓN

Caracol Knits es una empresa dedicada a la creación de insumos para el abastecimiento de la industria maquilera. Se conoce a Caracol Knits como una empresa modelo en la industria textil de Honduras, la cual vino a revolucionar el mercado textil del país. Caracol Knits cuenta con su propia planta de generación de vapor para sus diferentes procesos textiles, esto gracias a una caldera con capacidad de generar cien toneladas de vapor por hora. El problema principal de la planta generadora de vapor radica en que hay un cierto porcentaje de vapor, conocido como vapor flash, que actualmente se está desperdiciando ya que la caldera no cuenta con un sistema que nos permita recuperar todo ese calor sensible de este vapor y de sus remanentes líquidos.

Para poder recuperar todo este vapor se propone la implementación de un sistema de recuperación de calor de purga de caldera, así como también la automatización del controlador de sólidos disueltos de la misma, para así lograr una purga eficiente y necesaria, minimizando lo más posible el desperdicio de agua de la caldera.

El objetivo principal de este proyecto radica en aprovechar todo el calor generado por el vapor flash para su posterior utilización en cualquier otro proceso, la automatización del sistema de purga de superficie y la recuperación de calor del remanente de purga.

Este informe está dividido en ocho capítulos donde el capítulo 1 se realiza una introducción al presente documento, posteriormente en el capítulo 2 se establece la información básica de la empresa y así como el planteamiento y justificación del proyecto. En el capítulo 3 pertenece al marco teórico en el cual se proveen los conceptos básicos para el entendimiento del presente trabajo, como ser los conceptos relacionados al vapor y las calderas. El capítulo 4 constituye el plan de trabajo que se estableció como parte de la metodología para la realización de este proyecto. El capítulo 5 pertenece a los resultados obtenidos mediante la implantación de la metodología explicada en el capítulo previo. El capítulo 6 se establecen las conclusiones obtenidas con la realización de este proyecto. En el capítulo 7 se listan unas recomendaciones dirigidas hacia la empresa o cualquier lector que le pueda ser de utilidad. Finalmente, en el capítulo 8 se encuentran los anexos los cuales son documentos e información que sirve para el enriquecimiento de cualquier investigación

## II. MARCO CONTEXTUAL

En el capítulo dos se detallarán las generalidades de la empresa, tales como su fecha de creación, el rubro al cual se dedica y los beneficios que esta genera para la economía del país. También se detallará de manera breve el planteamiento del problema en el cual nos referiremos a la pérdida que la empresa posee debido al vapor flash que se desperdicia en la planta generadora de vapor.

### 2.1 Generalidades de la empresa

Caracol Knits es una empresa textilera ubicada en el municipio de Potrerillos, departamento de Cortes, Honduras. Fue fundada en el año 2000 e inició su operación en 2001, con un aproximado de ochenta colaboradores. Esta empresa es de tipo privada y se encuentra dentro de la industria de la fábrica de tejido de algodón. Su principal misión es convertirse en el líder mundial de la industria textil y de sus servicios relacionados.



**Ilustración 1. Logo de la empresa**

Fuente: (Caracol Knits)

#### 2.1.1 Misión

Convertirnos en líder mundial de la industria textil y sus servicios relacionados, por medio de crear valor agregado para nuestros clientes, formando y manteniendo relaciones y alianzas de largo plazo con nuestros proveedores, atrayendo e integrando en equipos de alto desempeño a la mejor gente que podamos contratar dentro de una estructura organizacional plana, proveyendo productos y servicios de alta calidad bajos costos, cumpliendo nuestras metas financieras y de rentabilidad

### 2.1.1 Visión

Habremos logrado nuestros objetivos cuando nuestros clientes nos recomienden con otros, cuando la calidad de nuestros productos y servicios sea reconocida como la mejor en comparación con la de nuestros competidores, cuando seamos reconocidos por el mercado por ser un proveedor competitivo de productos y servicios, y cuando nuestros accionistas reciban un retorno sobre su inversión conforme a sus expectativas.

**Tabla 1. Perfil de la empresa.**

|                      |  |
|----------------------|--|
| Sector               | Sector textil  |
| Tamaño de la empresa | 1,001 – 5,000 empleados  |
| Sede                 | Potrerrillos, Cortes   |
| Tipo                 | De financiación privada  |
| Fundación            | 2000   |
| Especialidades       | Textil, Energy Generation, Agriculture, Water Treatment Plant, Knitting, Bleach & Dye, Textile Finishing, Apparel y Appare |

Fuente: (Caracol Knits)

## **2.2 Descripción del departamento**

Durante el desarrollo de nuestra práctica profesional realizamos diferentes actividades y proyectos asignados por nuestro jefe inmediato en el departamento de ingeniería de procesos de la planta de generación de Caracol Knits. Algunos de los proyectos y trabajos realizados en este departamento son los siguientes:

- Levantamiento de plano de sistema de aire comprimido de caldera uno y dos.
- Actualización de plano de sistema de lubricación de turbina de caldera dos.
- Toma de tiempos de técnicos eléctricos y mecánicos.
- Actualización de manuales SOP.
- Creación de manual de mantenimiento preventivo y correctivo de generador eléctrico Cummins 500kW.
- Creación de manual de distribución y mejora de procesos en bodega de almacenamiento de biomasa y carbón.
- Creación de manual de plan de acción en caso de falla de compresor de 100HP en sistema principal de aire comprimido.
- Desarrollo de proyecto de recuperación de calor de purga de superficie y vapor flash.

## **2.3 Antecedentes del problema**

En la industria textil, la técnica de teñido de tela ha sido mejorada con el paso de los siglos tanto en la civilización china como en la persa, egipcia, e india. Cada uno de estos métodos antiguos cambiaba de técnica dependiendo del lugar del mundo donde se encontraban.

En la actualidad, son varios procesos los que necesitan del poder del calor para poder llevar a cabo las diferentes etapas del proceso textil, pero la más importante y donde se requiere la mayor potencia es en el proceso de teñido. En este proceso y según el tipo de tela se procede a sumergir el material en un tanque repleto de una solución líquida que comúnmente es agua. A esta solución se le agrega el tinte mientras que se le aplica calor al tanque por medio de unos intercambiadores de calor con el fin de que el tinte combinado con el agua logre impregnarse del todo en la tela a tratar.

La búsqueda de una mayor eficiencia en el uso de esta energía térmica es clave para lograr una mayor rentabilidad, por lo que a lo largo de la historia se ha optado por evitar el desperdicio innecesario, la optimización y la posibilidad de reutilización.

### 2.3.1 Planteamiento del problema

Debido al incremento en la demanda de energía, la industria textil ha optado por la inclusión de generación de calor mediante el uso de calderas industriales alimentadas por biomasa o combustibles fósiles como ser el carbón.

En cualquier sistema donde se utilice el ciclo del agua como principal fluido calefactor, este genera una cantidad de pérdidas térmicas a lo largo del sistema de distribución debido a la manipulación mediante cambios en su temperatura y presión por lo tanto ese calor perdido puede ser un recurso útil para considerar su recuperación, tanto para los procesos textiles como para la generación de energía eléctrica

Un ejemplo de estas pérdidas es el conocido vapor *flash*, el cual es vapor a baja presión creado cuando el agua sobrecalentada es sometida a una disminución abrupta en la presión. Por ejemplo: puede crearse a través de las trampas de vapor o desde la purga de la caldera.

El vapor *flash* muchas veces es visto como un producto desperdiciado con poco valor comparado con el vapor obtenido directamente de la caldera, cuando cualquier tipo de vapor puede ser eficiente para su reutilización. Además, la liberación de vapor *flash* es antiestética y puede ser peligrosa para las personas y dañar superficies del edificio.

Reutilizar el vapor *flash* generado por un sistema de alta presión para su uso en un sistema de menor presión puede brindar ahorros de energía considerables además de mejorar el ambiente de trabajo de la planta al reducir las nubes de vapor. Cuando se considera el uso de un sistema para el manejo de la recuperación de calor, los sistemas de recuperación de purga superficial y vapor *flash* normalmente se evalúan conjuntamente.

### 2.3.2 Justificación

En todo sistema de recuperación de calor, la energía a ser reutilizada se emplea para complementar cualquier otra aplicación de calefacción, dando como resultado un ahorro de energía, debido a que cada cantidad de energía que se reutiliza se transforma en energía que no debe ser producida por la caldera, así mismo también es energía que no será liberada a la atmósfera. Por lo tanto, la recuperación de calor es viable tanto por cuestiones de eficiencia como ambientalmente.

### III. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

Evaluar la implementación de un sistema de recuperación de vapor *flash* y calor residual de purga superficial mediante el uso de un tanque de revaporizado, un intercambiador de calor, y un sistema de control de purga, para poder utilizar el calor recuperado en el precalentado del agua de alimentación de la caldera obteniendo así un ahorro de combustible.

#### 3.2 Objetivos específicos

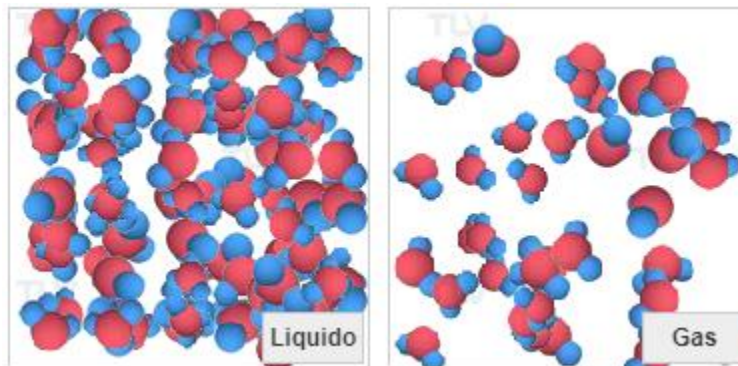
- Calcular el porcentaje de revaporizado generado por la caldera.
- Cuantificar la cantidad de vapor *flash* desperdiciado.
- Calcular el ahorro económico de la recuperación del vapor flash desperdiciado mediante el uso de un tanque de revaporizado.
- Realizar el dimensionamiento y selección de un intercambiador de calor para recuperación de calor de purga residual.
- Calcular el ahorro de combustible con el uso del intercambiador de calor, gracias al precalentamiento del agua de alimentación de la caldera.
- Realizar el dimensionamiento y selección de una válvula automática de purga de superficie y analizador de STD (sólidos totales disueltos).

## IV. MARCO TEÓRICO

En el capítulo cuatro se definirán todos los términos necesarios para poder comprender paso a paso las diferentes etapas que el fluido líquido debe atravesar hasta poder convertirse en vapor. También se analizarán los diferentes tipos de calderas, las partes que conforman un sistema de vapor, las purgas de caldera y la generación de vapor flash, siendo estos dos últimos términos los más importantes, ya que son el centro del problema a corregir.

### 4.1 Teoría del vapor

El vapor de agua se considera como un gas siendo producto del cambio de estado del agua de líquido a gaseoso. Las uniones que mantienen las moléculas de agua tienden a romperse más rápidamente cuando se le aplica calor, reduciendo la interacción de las moléculas entre sí, siendo dispersadas dentro del recipiente en que son contenidas y tomando la forma y el volumen de este.



**Ilustración 2. Cambio molecular del agua**

Fuente: (TLV)

#### 4.1.1 Tipos de vapor

Vapor Saturado o Seco: Es el vapor que no contiene partículas de agua líquidas en su composición, sino todas sus moléculas han sido transformadas a un estado gaseoso. Es el vapor que generalmente se utiliza en los procesos industriales.



Vapor Húmedo: Es el vapor el cual presenta partículas de agua líquida en su composición producto de las partículas que no fueron evaporizadas y las cuales son arrastradas a lo largo del sistema de distribución.

Vapor sobrecalentado: Es el vapor seco que cuenta con un mayor punto de saturación debido al calentamiento adicional al cual es tratado, dando como resultado una mayor temperatura y menor densidad a comparación del vapor saturado, pero manteniendo la misma presión. Este es el tipo de vapor el cual es utilizado para el movimiento de turbinas.

En medios de calentamiento la mejor opción a utilizar es el vapor saturado por sus diversas ventajas:

- Rápido, debido a su calentamiento equilibrado.
- Mayor control, debido a que la variación en su presión produce cambios en su temperatura.
- Mayor transferencia de calor.
- Seguro, por el control en su temperatura.
- Bajo costo al ser el agua su origen.

A pesar de que el vapor sobrecalentado pueda presentar una mayor temperatura a comparación del vapor saturado no se recomienda su utilización en medios de transferencia de calor debido a sus propiedades:

**Tabla 2. Propiedades del vapor sobrecalentado.**

| <b>Propiedad</b>  | <b>Desventaja</b>   |
|---|---|
| Bajo coeficiente de transferencia de calor              | Reduce la productividad<br>Se requiere una superficie mayor para la transferencia de calor  |
| Temperatura variable aun a una presión constante        | El vapor sobrecalentado requiere mantener una velocidad elevada, de lo contrario la temperatura disminuirá ya que se perderá el calor del sistema |
| Calor sensible utilizado para la transferencia de calor | Las caídas de temperatura pueden tener un impacto negativo en la calidad del producto   |
| La temperatura podría ser extremadamente elevada        | Se podrían requerir materiales más fuertes para la construcción de equipos, requiriendo un mayor costo inicial.                                   |

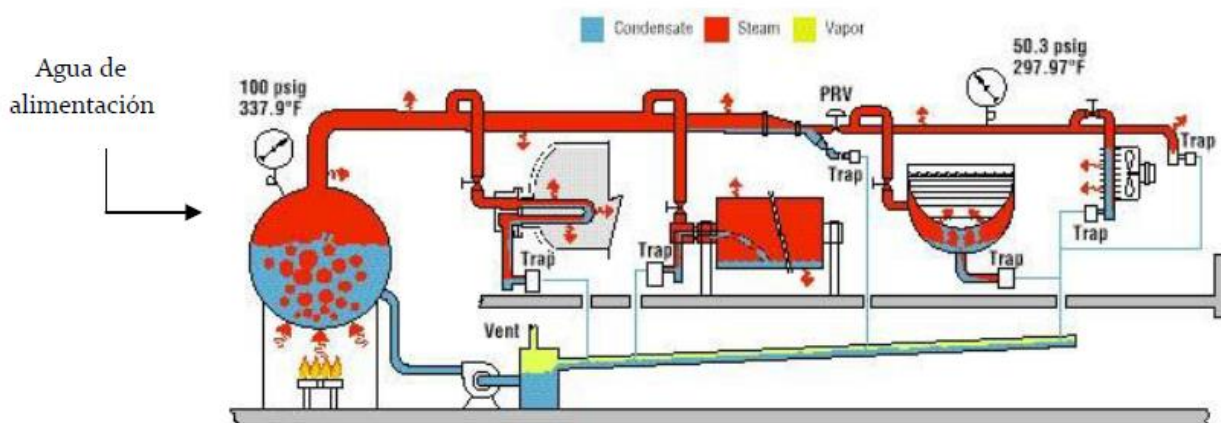
Fuente: (TLV)

Como se mencionó anteriormente el vapor sobrecalentado es el utilizado para el movimiento de turbinas debido a la alta sequedad que este presenta, la cual es conveniente por los equipos que se ven afectados en su rendimiento por causa de la humedad.

## 4.2 Sistema de Vapor

Los sistemas más comunes de vapor están conformados por diferentes etapas, las cuales juntas realizan un ciclo. La primera etapa se le podría llamar generación, que es en la cual se crea calor mediante una combustión para calentar lo que se conoce como el agua de alimentación, su temperatura aumenta hasta convertirse en vapor y este pasa a la siguiente etapa que es la distribución, la cual consiste en el transporte del vapor del agua en el circuito cerrado hasta el punto donde será consumido.

Para la utilización del vapor, se requiere de la tercera etapa la cual es la transferencia del calor y la última que consiste en el retorno del condensado generado después de la utilización del vapor.



**Ilustración 3. Sistema tradicional de vapor.**

Fuente: (Armstrong International)

Dentro de las cuatro etapas que contiene un sistema de vapor se ve involucrado una gran cantidad de componentes que pueden variar según la configuración tanto en control como en operación. Los principales componentes son:

- Trampas de vapor.
- Válvulas de seguridad.

- Tanque de condensados.
- Calderas.
- Válvulas reguladoras de flujo.
- Bomba de alimentación.
- Redes de distribución.
- Sistema de recuperación de calor.
- Equipos consumidores.
- Controladores de presión y temperatura.

### **4.3 Sistema de alimentación de agua**

En el proceso de generación de vapor existe muchos aspectos a tomar en cuenta, cada uno de ellos presenta sus riesgos, esencialmente durante la operación de la caldera. Se destaca como uno de los más importantes el tratamiento del agua sin importar el tipo o tamaño de la caldera.

El agua en su estado natural posee cierto grado de impurezas que acortan la vida útil de una caldera, y así mismo provoca un mayor consumo de combustible. Para evitar este tipo de problemas es necesario cumplir con ciertos estándares en la calidad de agua de alimentación y el agua dentro de la caldera. Este tipo de cuidados deben tener en cuenta la cantidad de STD (sólidos disueltos en el agua), que son medidos midiendo en primera instancia la conductibilidad del agua para luego realizar una conversión a concentraciones en partes por millón (ppm).

#### **4.3.1 Parámetros de la calidad del agua**

Los principales parámetros para determinar la calidad del agua de alimentación y agua dentro de la caldera son:

- Oxígeno: Elemento esencial en la química orgánica, presente en el agua la cual favorece la corrosión en componentes los componentes metálicos de la caldera.
- Dióxido de carbono: Elemento resultado de la combinación de un átomo de carbono con dos de oxígeno. Al igual que el oxígeno, este corroe las partes metálicas de la caldera.
- PH: Coeficiente que indica el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. Un pH muy bajo provocaría corrosión y un pH demasiado alto la formación de depósitos.
- Fosfato: Elemento que controla el nivel de pH.

- Alcalinidad: Cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, y silicatos o fosfatos en el agua.
- Dureza: Concentración de minerales en el agua. Fomentan la creación de incrustaciones dentro de la caldera
- Sólidos disueltos: Cantidad de impurezas disueltas en el agua
- Sólidos en suspensión. Cantidad de impurezas no disueltas en el agua, que se encuentran en estado de suspensión.
- Óxido de silicio: Comúnmente llamado sílice, componente principal en todo tipo de rocas, se encuentra en la arenilla que trae el agua. Estos sólidos se convierten en incrustaciones dentro de la caldera.
- Conductividad: Cantidad de iones disueltos en el agua.

## **4.4 Generación de vapor**

### 4.4.1 Calderas

Una caldera es todo aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor. (Sanz & Patiño, 2014)

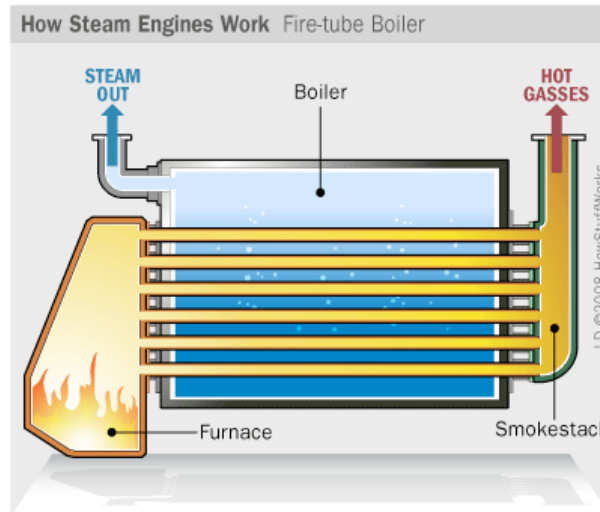
Dicho de la manera más simple, una caldera es como un intercambiador de calor, en el cual la energía contenida en el combustible se transfiere al fluido de trabajo gracias al proceso de combustión que se lleva a cabo en el interior de la caldera. Este fluido puede ser vaporizado o no, esto dependiendo de la presión y la temperatura de trabajo y también de las necesidades del consumidor final. Es posible realizar una clasificación de las calderas según la posición relativa de todos sus tubos interiores, los cuales son donde transcurren el agua, y los humos de la combustión.

### 4.4.2 Calderas Piro-tubulares

Este tipo de caldera tiene la particularidad de que los gases de la combustión atraviesan el interior de unos tubos los cuales están rodeados completamente por el fluido de trabajo a calentar. Estos tubos y la masa de agua están rodeados por el cuerpo de la caldera, para mantener todo unido y

de manera uniforme dentro de ella. Los gases circulan dentro de los tubos transfiriendo el calor sensible a través de la tubería al fluido de trabajo, luego estos son expulsados por la chimenea de la caldera.

En el caso de las calderas pirotubulares industriales de tamaño macro, los humos de la combustión son llevados a una cámara llamada precipitador electrostático, donde son purificados logrando reducir el impacto ambiental a la atmósfera hasta en un 90%. (Becerra, 2010)

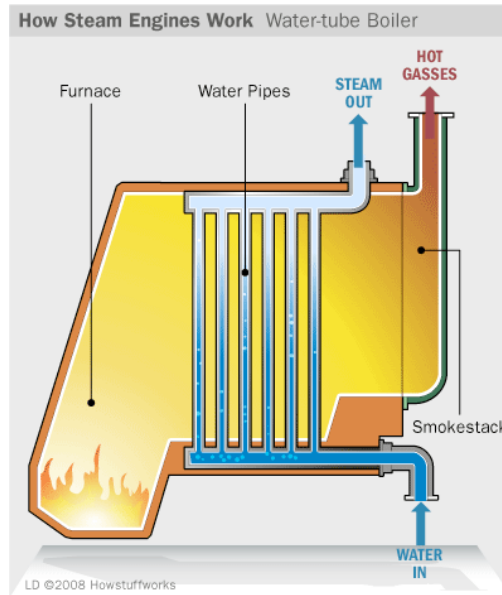


**Ilustración 4. Principio de funcionamiento de una caldera pirotubular.**

Fuente: (Howstuffworks)

#### 4.4.3 Calderas Acuotubulares

Las calderas piro tubulares y acuotubulares son muy similares en cuanto a su construcción, con la particularidad de que a diferencia de las pirotubulares, en las acuotubulares el fluido de trabajo circula dentro de los tubos y el humo procedente de la combustión rodea estos transfiriendo el calor sensible hacia el fluido.



**Ilustración 5. Principio de funcionamiento de una caldera acuotubular.**

Fuente: (Howstuffworks)

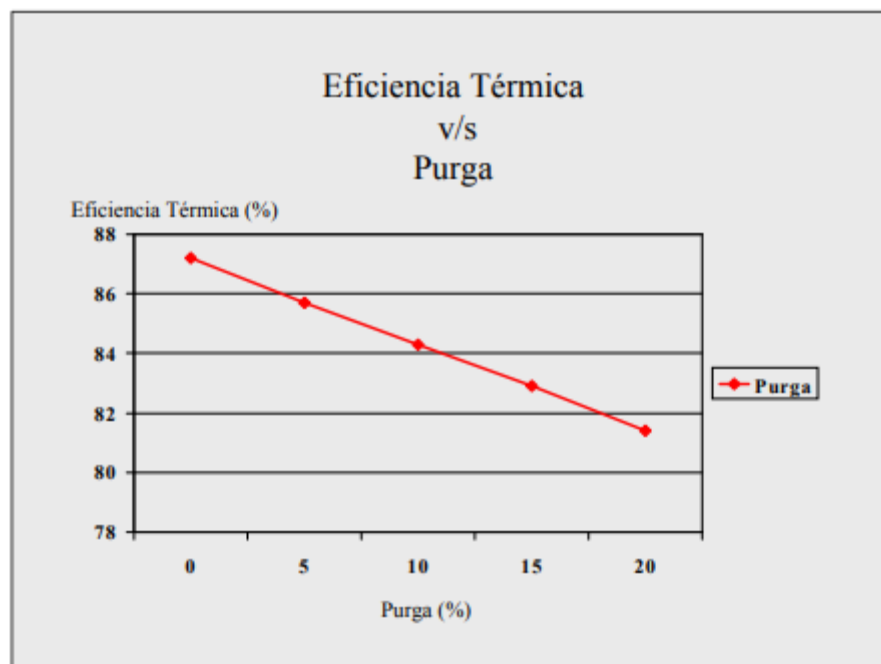
#### 4.4.4 Partes de una caldera

Las calderas son similares entre ellas en cuanto a su construcción, las partes de una caldera son las siguientes:

- Carcasa: Dentro de ella se encuentran los tubos de transferencia y el hogar de la caldera, en este último es donde se realiza la combustión.
- Chimenea: Este es el conducto por el cual los gases de la combustión escapan después de ceder su calor.
- Economizador: La función del economizador es el de precalentar el agua de alimentación de la caldera con el calor restante de los gases de combustión, por medio de tuberías.
- Separador líquido – vapor: Su función es separar los restos de agua líquida en la corriente de vapor final.
- Hogar: Dentro del hogar se lleva a cabo la combustión, allí se encuentran los tubos con el fluido de trabajo y el quemador.
- Quemador: Este equipo es el encargado de realizar la ignición del combustible. En el mercado se encuentran dos tipos de quemadores, atmosférico y no atmosférico.

#### 4.4.5 Purgas de caldera

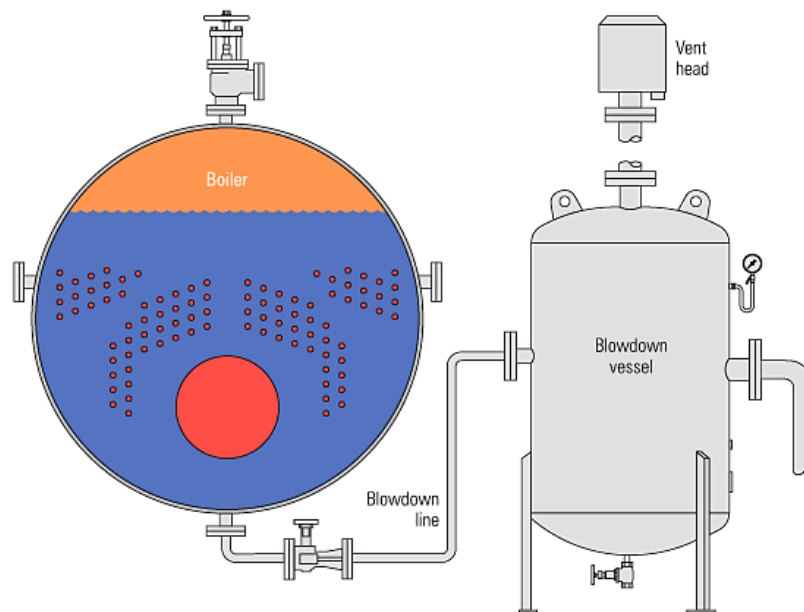
En toda caldera, independientemente de la aplicación para la cual se utilice, se obtienen sólidos disueltos en el agua de alimentación, estos se generan debido a la cantidad de químicos utilizados durante el tratamiento de esta y también por las propiedades mismas del agua. Estos sólidos totales disueltos (STD) aumentan en gran medida durante el proceso interno de evaporación de agua dentro de la caldera, sí; estos no se controlan debidamente, pueden causar la creación de espuma en la parte superior del agua dentro de la caldera, provocando así que la salida de vapor interna quede parcial o totalmente sumergida en la solución espumosa, esto a su vez se traduce en una pobre calidad de vapor ya que este contendrá restos o residuos de espuma que se escaparán por medio de la línea, entorpeciendo el proceso final para la cual se utilizaría el vapor. Estos sólidos en suspensión con el paso del tiempo se depositan en el fondo de la caldera, provocando corrosiones, incrustaciones y demás, esto a su vez provocará que las superficies de calentamiento se vean considerablemente afectadas y por ende la eficiencia del equipo y de sus equipos auxiliares falle con el tiempo.



**Ilustración 6. Influencia de la purga en la eficiencia térmica de una caldera.**

Fuente: (Thermal engineering Ltda)

Para la concentración de sólidos en el fondo de la caldera existe la llamada purga de fondo, el cual consiste en una tubería conectada en la base inferior de la caldera, esta tubería a su vez está conectada a una válvula que se activa periódicamente para lograr una descarga de agua súbita y de gran presión, logrando así eliminar casi en su totalidad la concentración de lodos causadas por las partículas en suspensión que se localizan en el fondo del tanque contenedor del fluido.



**Ilustración 7. Descarga de purga.**

Fuente: (Campbell-Sevey)

#### 4.4.6 Sólidos Totales Disueltos TDS

Los sólidos totales disueltos o total dissolved solids en inglés, representan todos esos sólidos que se pueden encontrar en el agua, de los cuales principalmente podemos encontrar sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica. Calcio, potasio, magnesio y sodio son las principales sales inorgánicas que se pueden observar al hacer un estudio de STD. (Aguapura, 2017)

Los altos niveles de STD muy pocas veces son causados por la mano del hombre, generalmente el agua contiene un nivel alto de STD, ya que ésta a lo largo de su travesía natural entra en contacto con diferentes clases de rocas, absorbiendo así las sales y minerales que estas contienen. Un alto nivel de STD en el agua puede indicarnos la presencia de contaminantes dañinos tales



como bromuros, sulfatos, arsénicos, hierro, magnesio, entre otros. Se requiere de agua tratada para el correcto funcionamiento de la caldera y de sus sistemas automáticos y de tuberías, ya que el agua dura crea películas corrosivas y depósitos altamente contaminantes en las tuberías de transporte de vapor y en la caldera misma. Los STD se pueden medir tanto en miligramos por unidad de volumen (mg/l) como también por partes por millón (ppm).

**Tabla 3. Relación de dureza del agua**

| ppm     | Grado de dureza                            |
|---------|--|
| 0-50    | Muy blanda, o de mineralización muy débil. |
| 50-140  | Blanda, de mineralización débil.           |
| 140-240 | Ligeramente dura, mineralizada.            |
| 240-350 | Dura, bastante mineralizada.               |
| +350    | Muy duras, muy mineralizada.               |

Fuente: (Aguapura)

#### 4.4.7 Desaireador

El desaireador o desgasificador es un tanque de almacenamiento que está previo a la entrada de agua de la caldera. Este tanque tiene tres funciones principales las cuales son:

- Almacenar el agua de alimentación de la caldera, por lo cual este se encuentra cerca del tanque cisterna.
- Tiene también la función de calentar el agua de alimentación de la caldera, esto con el fin de utilizar la menor cantidad de energía para llegar a la temperatura requerida.
- Su mayor función la cual su nombre lo indica es la de desgasificar o retirar todas las partículas de oxígeno y de dióxido de carbono del agua antes de reenviarla directo a la caldera.

Es sumamente importante mantener un estricto control sobre los efectos de la corrosión en el equipo correspondiente de una caldera de vapor. El oxígeno disuelto es muy peligroso si no se logra eliminar de manera eficaz, porque con el tiempo aumentaría considerablemente los costos de mantenimiento de la planta, y costos en productos químicos.

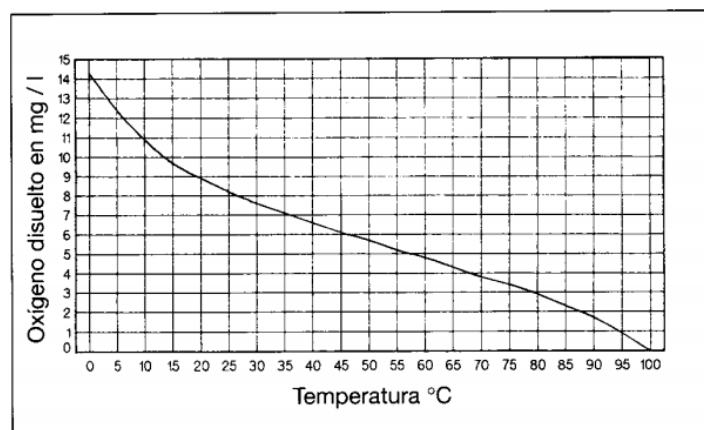
El desaireador se diseña para eliminar el oxígeno y el CO<sub>2</sub> disueltos del agua de alimentación a la caldera. Ambos gases son corrosivos, pueden atacar los metales que toman contacto con el agua de alimentación de la caldera principalmente en las zonas a alta temperatura y reducir el rendimiento de la caldera. El desaireador utiliza vapor de baja presión para arrastrar gran parte de los gases disueltos en el agua y los elimina por el venteo del desaireador. Para eliminar las partículas de oxígeno se utilizan además aditivos químicos. Los principales motivos para instalar un desaireador son:

Ahorro energético:

- Reduce la cantidad de químicos necesarios. La adición de químicos requiere purgar el agua. Reducir y eliminar estos químicos reduce la purga.

Otros:

- Cuando se quiere utilizar el vapor directamente en el proceso tiene que estar libre de potenciales contaminantes para el proceso. Al reducir la adición de químicos no se contamina el vapor.
- Reducir el nivel de oxígeno al mínimo, sin utilizar químicos. Esto elimina la corrosión del agua de caldera.
- Económicamente más rentable que utilizar químicos. Tanto más importante cuanto mayor sea la presión de vapor generado por la caldera y mayores los requerimientos de calidad del agua.

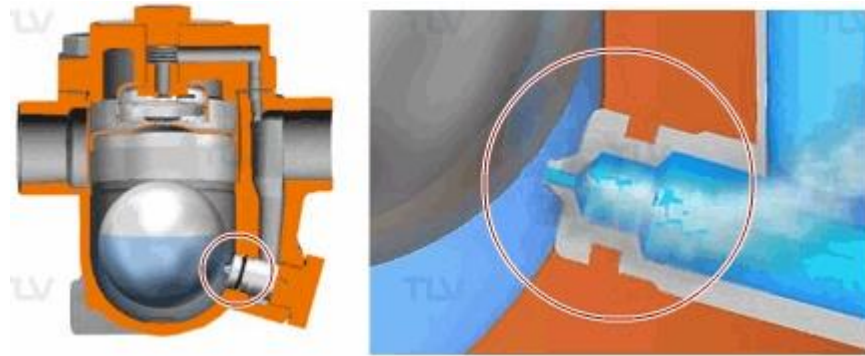


**Ilustración 8. Influencia del oxígeno en la temperatura.**

Fuente: (Burtnik R.)

#### 4.4.8 Vapor *flash*

Vapor Flash es un nombre dado al vapor que se forma a partir del condensado caliente cuando existe una reducción en la presión. El vapor flash nos es tan diferente del vapor normal, simplemente es un nombre conveniente que es utilizado para explicar cómo se forma el vapor. Vapor normal o "vivo" se genera en la caldera, o en un generador de vapor por recuperación de calor - mientras que el vapor flash se genera cuando condensado de alta temperatura/presión se expone a una gran caída de presión tal como la descarga de una trampa de vapor. (TLV, 2012)

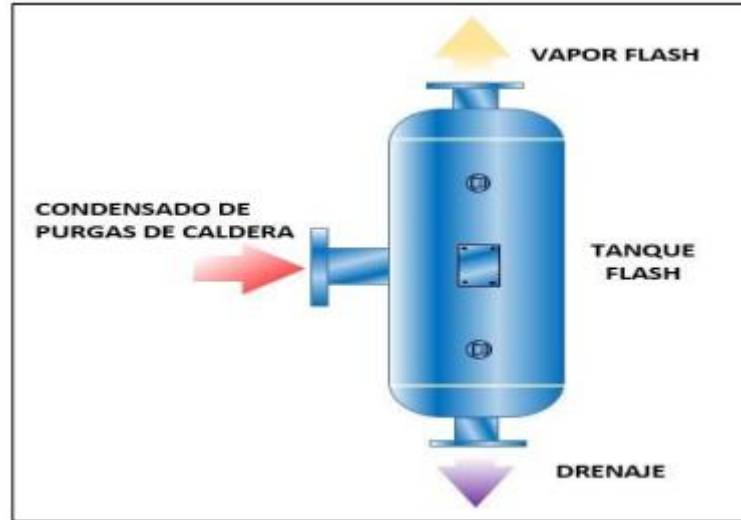


**Ilustración 9. Vapor flash**

Fuente: (TLV)

#### 4.4.9 Tanque flash

El tanque flash tiene como finalidad reutilizar el revaporizado o flash producido del condensado saturado presurizado, que al ser desalojado del medio que lo contiene, reduce su presión revaporizándose parcialmente y alcanzando además la misma temperatura del vapor. Este sistema actúa como recolector, separador y distribuidor, ya que al ingresar el revaporizado parcial se separa, saliendo el vapor por la abertura superior hacia un lugar preestablecido, el condensado restante, se descarga a través de un filtro y una trampa hacia la tubería que conecta con el tanque receptor de condensado en la sala de la caldera. (Aguamarket, 2017)



**Ilustración 10. Tanque flash**

Fuente: (Aguapura)

#### 4.4.10 Válvula de Purga de fondo y de superficie

Es una válvula instalada en la parte baja de la caldera que permite drenar los sólidos no disueltos acumulados en el fondo de la caldera, evitando su acumulación.

Son muchas las marcas de válvulas que se encuentran en el mercado, la cual deberá ser seleccionada dependiendo de las necesidades y parámetros que la caldera exija. Es muy importante que se lleven a cabo las medidas de seguridad en cuanto al mantenimiento de la caldera, lográndose esto con la eliminación de los sólidos que no están en suspensión. Las válvulas más recomendadas son las neumáticas de diafragma, las cuales pueden ser controladas con un flujo de aire, las cuales poseen un segundo método de accionamiento en caso de falla, refiriéndonos a una palanca manual. En cuanto al mantenimiento de ésta, no requiere de mayor esfuerzo ya que viene totalmente lubricada de fábrica para un funcionamiento y vida útil normal, solo se debe verificar periódicamente que todo se encuentre en su lugar y no haya piezas sueltas.

En cuanto a la válvula de purga de superficie, tiene el mismo funcionamiento y concepto de la válvula de purga de fondo, lo único que las diferencia es el sistema controlador de STD, el cual va acoplado directamente al controlador que a su vez controla la apertura o cierre de la válvula de purga de superficie, esto se da ya que ésta purga se lleva a cabo solo si el controlador detecta

altas concentraciones de sólidos disueltos en suspensión en la parte media de la caldera, a diferencia de la purga de fondo que se realiza cada cierto periodo de tiempo sin necesidad de análisis previos.

## **4.5 Transferencia de calor**

La transferencia de calor se define como el proceso por el cual dos o más cuerpos pueden transferirse energía el uno al otro.

La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado de la Segunda Ley de la Termodinámica. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida; solo puede hacerse más lenta. (EcuRed, 2016)

La transferencia de calor se define por tres formas principales, las cuales son por conducción, por radiación y por convección. En un sistema o cuerpo estas tres formas de transferencia pueden coexistir, aunque en la mayoría de los casos una de ella es la que predomina.

### **4.5.1 Conducción**

Cuando dos partes de un material se mantienen a temperaturas diferentes, la energía se transfiere por colisiones moleculares de la más alta a la más baja temperatura. La mayoría de los metales son eficientes conductores del calor porque tienen cierto número de electrones libres, que pueden distribuir calor, además del que se propaga por la agitación molecular. (Tippens, 2011)

Se sabe muy poco sobre cómo funciona esta transferencia de calor por conducción, por ejemplo, en el caso de los sólidos, se cree que los encargados de transferir el calor de un extremo del sólido al otro extremo del sólido son a causa del movimiento de los electrones libres que transportan la energía de un lado a otro, logrando así distribuir el calor a través de todo el material.

#### 4.5.2 Convección

La convección se ha definido como el proceso por el que el calor es transferido por medio del movimiento real de la masa de un medio material. Una corriente de líquido o de gas que absorbe energía de un lugar y lo lleva a otro, donde lo libera a una porción más fría del fluido recibe el nombre de corriente de convección. (Tippens, 2011)

Los líquidos y los gases se comportan de manera diferente a los sólidos cuando se les transfiere energía en forma de calor, tal es el ejemplo de una tetera, en la cual contenemos agua a temperatura ambiente y le aplicamos calor, esta acción provocará un movimiento dentro de la tetera llamado convección, el cual hará que el fluido calentado de la parte inferior con una densidad más bajo debido al calor, ascienda hacia la superficie y a su vez haga descender el fluido más frío hacia la parte posterior, de esta manera el calor viaja a través de todo el fluido transportando el calor.

#### 4.5.3 Radiación

El término radiación se refiere, a la emisión continua de energía en forma de ondas electromagnéticas originadas en el nivel atómico. Todos los objetos con una temperatura superior al cero absoluto emiten energía radiante. A bajas temperaturas, la razón de emisión es pequeña y la radiación es predominantemente de longitudes de onda grandes. A medida que la temperatura se eleva, esa razón aumenta rápidamente y la radiación predominante corresponde a longitudes de onda más cortas. (Tippens, 2011)

A diferencia de la transferencia de calor por conducción y por convección, la transferencia de calor por radiación es muy diferente, ya que esta transmite su calor o energía sin tener contacto directo con el cuerpo o el equipo, con un vacío de por medio.

#### 4.5.4 Intercambiador de Calor

El intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos fluidos, encontrándose éstos en contacto o separados por una barrera sólida. Se trata de componentes

esenciales en los sistemas de climatización o refrigeración, acondicionamiento de aire, producción energética y procesamiento químico.

Para entender fácilmente el funcionamiento del intercambiador de calor, podemos tomar como referencia el radiador de cualquier vehículo. El motor calienta el fluido refrigerante. Este último se refresca por el contacto con las corrientes de aire, logrando así reducir la temperatura del primero tras circular por su interior. (Tsoluciona, 2017)

#### 4.5.5 Intercambiador de calor de contacto directo

En este tipo de intercambiador la transferencia de calor se produce por el contacto directo (mezcla) entre los dos fluidos que se encuentran en el proceso.

#### 4.5.6 Intercambiador de calor de contacto indirecto

Este tipo de intercambiador es el más utilizado ya que en el no existe el contacto directo entre los dos fluidos, estos fluidos se encuentran separados por una barrera dependiendo del fabricante.

El mantenimiento de estos sistemas se lleva a cabo en las tuberías de transmisión, ya que, con el tiempo, estos se ven saturados con una película de suciedad, generalmente compuestas por incrustaciones calizas, óxidos y demás, haciendo que el equipo aumente la resistencia térmica que trae de fábrica, reduciendo su eficiencia.

### **4.6 Combustible de alimentación de la caldera: el carbón**

El carbón es un combustible orgánico no homogéneo, el cual se originó a partir de los restos en descomposición de materia vegetal. El carbón varía ampliamente su composición. Estas diferencias se deben a los diferentes agentes que intervienen en el proceso de formación o carbonificación. (Eco carbón, 1998)

El carbón es el combustible fósil más utilizado para la generación de vapor, por su alta disponibilidad y bajo costo.

#### 4.6.1 Clasificación de carbón

Para ser clasificados según su rendimiento, es decir la cantidad de calor que generan al quemarse cierta cantidad de combustible, se utiliza un valor llamado poder calorífico. Es la cantidad de calor que se obtiene al quemar un kilogramo de combustible. (ACHS, 2012)

En los Estados Unidos y en la mayoría de los países, la clasificación utilizada para el carbón es la propuesta por la ASTM (American Society for Testing and Materials) denominada "Classification of coals by rank". (Guadiana, 1999)

**Tabla 4. Clasificación del carbón.**

| Clase          | Grupo                     | Carbono Fijo % | Poder Calorífico (cal/gr) |
|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|
| Antracita      | Meta-antracita            | >98            |                           |
|                | Antracita                 | 92-98          |                           |
|                | Semi-Antracita            | 86-92          |                           |
| Bituminoso     | Bituminoso bajo volatil   | 78-86          |                           |
|                | Bituminoso medio volatil  | 69-78          |                           |
|                | Bituminoso bajo volatil A | <69            | 7780                      |
|                | Bituminoso bajo volatil B | <69            | 7220-7780                 |
|                | Bituminoso bajo volatil C | <69            | 6380-7220                 |
| Sub-Bituminoso | Sub-Bituminoso A          | <69            | 5380-6380                 |
|                | Sub-Bituminoso B          | <69            | 5280-5380                 |
|                | Sub-Bituminoso C          | <69            | 4610-5280                 |
| Lignito        | Lignito A                 | <69            | 3500-4610                 |
|                | Lignito B                 | <69            | 3500                      |

Fuente: (ASTM)

#### 4.6.2 Poder calorífico del carbón

El poder calorífico del carbón se refiere a la energía total liberada durante la etapa de la combustión.

El poder calorífico del carbón se da partiendo de reactivos (carbón + aire) en condiciones de 298K y 1 atmósfera de presión. (Eco carbón, 1998)

El poder calorífico recibe el nombre de poder calorífico superior (PCS o HHV por sus siglas en inglés higher heating value) cuando el H<sub>2</sub>O en los productos está en forma líquida, y poder



calorífico inferior (PCI o LHV por sus siglas en inglés, lower heating value) cuando el H<sub>2</sub>O en los productos está en forma de vapor. (Cengel & Boles, 2012)

#### 4.6.3 Humedad

Se refiere a la cantidad de agua que se encuentra presente en el carbón. Se determina generalmente por porcentaje de pérdida de peso al calentar una muestra en estufa a 105 °C.

La humedad de un combustible es muy variable, en función de las condiciones de extracción y de su preparación mecánica, el tiempo en que ha estado expuesto a la acción y las condiciones atmosféricas propias en el momento del muestreo. (Cortés)

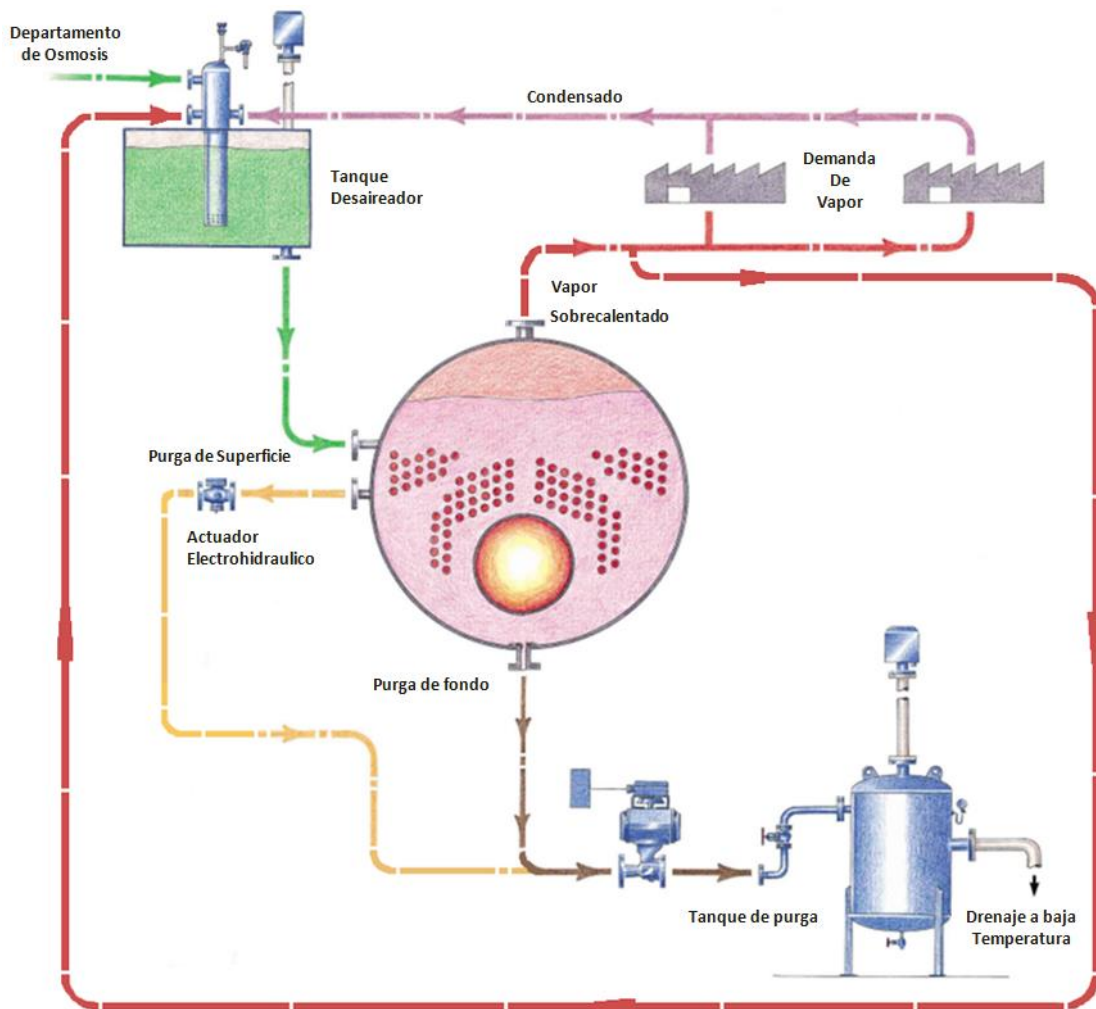
#### 4.6.4 Cenizas

Es el residuo sólido tras una combustión completa de toda la materia orgánica y de la oxidación de la materia mineral presente en el carbón. (Cortés)

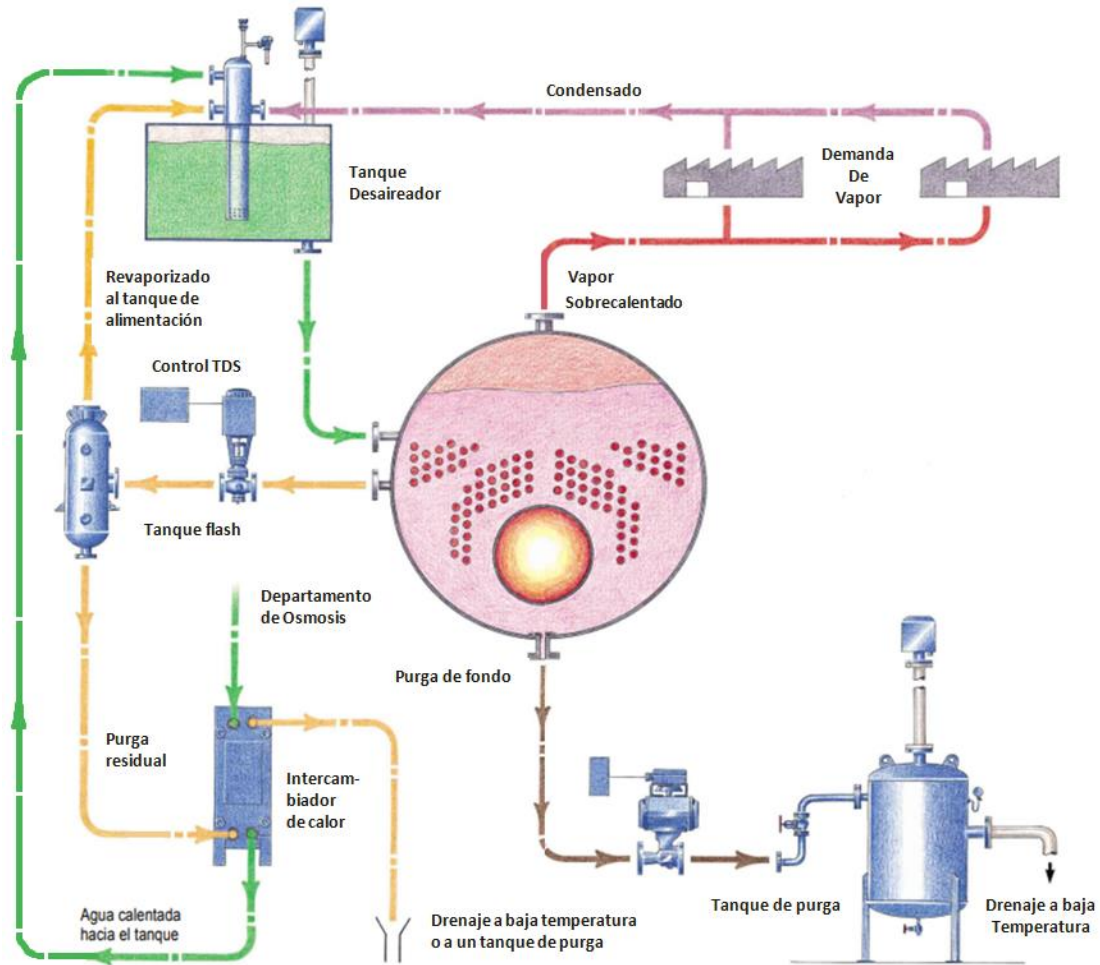
Por lo tanto, un análisis de cenizas determina la calidad del carbón debido a que la cantidad de cenizas producto de la combustión representa la materia incombustible en la composición del carbón. El carbón presentará menor poder calorífico a mayor cantidad de cenizas.

## V. METODOLOGÍA

En este capítulo se explica la metodología de investigación empleada para la ejecución de este informe; se describen los pasos desarrollados durante la investigación, lo cual permitió el reconocimiento de los elementos que se tomaron en consideración para la implementación de un sistema de recuperación de vapor flash y calor residual de purga. Básicamente la metodología utilizada consiste en el análisis del sistema de vapor antes y después de la implementación del tanque flash, intercambiador de calor, y sistema de control de TDS, haciendo énfasis en los beneficios que este sistema proporcionaría.



**Ilustración 11. Estado actual del sistema.**



**Ilustración 12. Sistema propuesto con las mejoras incluidas.**

## 5.1 Fuentes de Recolección de la información

### 5.1.1 Fuentes Primarias

Las fuentes primarias para la obtención de información fueron los equipos de medición, diagramas de procesos, apuntes de campo, información facilitada por el personal que labora en la empresa y textos relacionados con la transferencia y recuperación de calor.

### 5.1.2 Fuentes Secundarias

Como fuente de información secundaria se hizo uso de investigaciones, artículos y páginas webs relacionadas al tema.

## 5.2 Variables para los cálculos

- Temperatura
- Presión
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Flujo Másico
- Poder calorífico
- Concentración
- Conductividad

## 5.3 Operacionalización de las variables

**Tabla 5. Operacionalización de las variables**

| VARIABLE         | DEFINICION  | DIMENSION  | INDICADORES |
|------------------|---|--|-------------|
| Presión          | Es la magnitud física que refleja la fuerza que un cuerpo ejerce sobre la unidad de superficie.                                   | Presión inicial.<br>Presión final.                     | pH          |
| Temperatura      | Es una magnitud física que refleja la cantidad de energía interna, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.              | Temperatura inicial.<br>Temperatura final              | °F          |
| Flujo Másico     | Variación de masa en cierto tiempo  | C  | Kg/h        |
| pH               | Es una medida de acidez o de alcalinidad de una disolución. Indica el contenido de iones de hidrógeno en determinadas soluciones. | pH específico  | pH          |
| Poder calorífico | Cantidad de energía liberada durante un proceso de combustión por unidad de masa.   | Poder calorífico superior<br>Poder calorífico inferior | kJ/kg       |

| <b>VARIABLE</b> | <b>DEFINICION</b>  | <b>DIMENSION</b>          | <b>INDICADORES</b> |
|-----------------|--|---------------------------|--------------------|
| Concentración   | Cantidad de unidades en una sustancia                                | Sólidos totales disueltos | Ppm                |
| Conductividad   | Capacidad de un cuerpo para dar paso a calor, electricidad o sonido. | Conductividad del agua    | $\mu\text{S/cm}$   |

Fuente: (Elaboración propia)

#### **5.4 Procesamiento de la información**

La información recopilada para el desarrollo de esta investigación será presentada mediante diagramas, cuadros, tablas, e imágenes y serán utilizadas para realizar los respectivos cálculos para los dimensionamientos del sistema deseado.

#### **5.5 Plan de trabajo**

Para la realización del diseño del sistema de recuperación de calor residual (tanque flash, intercambiador de calor, analizar de TDS de purgas) se utilizará la metodología que se muestra a continuación, la cual se dividirá en las siguientes actividades planteadas.

##### 5.5.1 Recopilación de datos de operación de los equipos y el sistema de vapor

- Realizar una revisión bibliográfica sobre la temática asociada a desarrollar.
- Llevar a cabo una revisión superficial del sistema de vapor para lograr determinar los equipos y elementos que lo integran.
- Consultar profesionales en el área e investigar bibliográficamente cómo diseñar un sistema de recuperación de calor residual (tanque flash, intercambiador de calor, analizar de TDS de purgas).
- Llevar a cabo mediciones de las variables de operación: cantidad de purga producida, vapor flash generado, temperaturas, presiones.

### 5.5.2 Cálculo de expansión de fluido dentro de tanque flash

Se llevarán a cabo los cálculos referentes a la expansión del fluido dentro del tanque flash para posteriormente separar y redirigir la purga remanente y el revaporizado hacia sus respectivos sistemas donde se aprovechará su calor residual. Los parámetros para este apartado son:

- Cantidad de agua a ser purgada
- Porcentaje de vapor flash
- Remanente de purga
- Presión de trabajo de tanque flash

### 5.5.3 Selección y dimensionamiento de sistema de control de purga

La selección del sistema de control de purga de superficie el cual incluye: Sonda analizadora de muestra, codo de conexión de sonda, válvula de interrupción, controlador digital y válvula de purga con actuador electrohidráulico, dependerá de los siguientes valores y parámetros:

- Presión en línea de purga de domo
- Caudal de purga
- Tipo de controlador según área de instalación
- Tipo de actuador de válvula según el análisis realizado

### 5.5.4 Dimensionamiento de intercambiador de calor para purga remanente

Se realizará el dimensionamiento de un intercambiador de calor el cual tendrá la finalidad de transferir el calor residual de la purga remanente resultado de la expansión dentro del tanque flash, esto con el objetivo de precalentar el agua de alimentación proveniente de nuestra fuente.

- Temperatura del agua de alimentación
- Calor específico del agua de alimentación
- Calor disponible en la purga remanente

### 5.5.5 Análisis de viabilidad económica del sistema de recuperación de calor de purga.

- Se calculará el ahorro de vapor flash anual que se obtendría con la implementación del tanque flash.
- El ahorro económico obtenido con el precalentado del agua de alimentación con la utilización del intercambiador de calor
- El retorno de la inversión del sistema.

## VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el capítulo seis se realizarán todos los cálculos necesarios para determinar las variables requeridas y así poder hacer una selección o dimensionamiento de las partes correctas de los sistemas que se requieran instalar. Todos los datos aquí reflejados se obtuvieron mediante investigación de campo y asistencia de los ingenieros de planta.

### 6.1 Análisis de la generación de vapor

#### 6.1.1 Potencia de la caldera

Muchas veces por costumbre se designa la potencia de una caldera en caballos de fuerza, lo cual es erróneo, pues una caldera no tiene fuerza motriz sino vapor, el que podría ser utilizado por una máquina que genere fuerza motriz. Según sea la máquina producirá mayor o menor potencia con la misma cantidad de vapor. (ACHS, 2012)

Por lo tanto, la potencia de una caldera se puede expresar en cantidad de vapor generado en una hora.

**Tabla 6. Parámetros de la caldera**

|                                     |                                |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| Potencia de la caldera              | 100 t/h                        |
| Tipo de caldera                     | Acuotubular                    |
| Tipo de combustible                 | Carbón                         |
| Diseño y fabricación                | Changsha Boiler Plant Co., Ltd |
| Temperatura de agua de alimentación | 35 °C                          |
| Presión de trabajo                  | 50 bar                         |

Fuente: (Elaboración propia)



### 6.1.2 Eficiencia de la caldera

Se determinó la eficiencia de la caldera debido a la necesidad de estimar un costo al vapor flash desperdiciado para la obtención de los beneficios económicos de la implementación del sistema de recuperación de vapor flash.

La eficiencia de una caldera corresponde al porcentaje o razón de la cantidad de vapor producido en una caldera a partir de la cantidad de calor administrado por el combustible quemado. La eficiencia de una caldera es la relación entre la energía absorbida para la evaporación o generación de vapor (Q salida) y la suma de energías introducidas al proceso (Q entrada). (Bonilla, y otros, 2009)

Básicamente para la estimación de la eficiencia de la caldera, se considera la cantidad de vapor que se genera y la cantidad de combustible consumido, o sea el ingreso y salida del calor al sistema. El diferencial entre ambos es la energía perdida del proceso (calor expulsado a la atmósfera).

$$\text{Eficiencia} = Q \text{ salida} / Q \text{ entrada}$$

Los datos utilizados fueron proporcionados por el sistema de control de la caldera, el departamento de tratamiento de agua y mediante la verificación de la instrumentación en la caldera, como ser indicadores de presión y temperatura. Para la obtención de la energía contenida en el vapor y el agua se utilizaron las tablas de vapor. (Anexo 9.1)

Todas las propiedades del vapor están interrelacionadas. Tomando cualquier valor conocido se pueden determinar todos los demás valores. Estas relaciones se detallan en la tabla de Propiedades del vapor saturado, a las que también se denominan, simplemente, Tablas de vapor. (Armstrong, s.f.)

Para cualquier presión dada, se puede obtener:

- La temperatura del vapor.
- La entalpía del líquido saturado.
- La entalpía del vapor.
- La entalpía de la evaporación.

- El volumen específico del líquido saturado.
- El volumen específico del vapor saturado.

Tomando en cuenta la información anterior y los datos obtenidos de las temperaturas o presiones del vapor, y del agua de alimentación a la caldera, se calcula la eficiencia mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Calor útil}}{\text{Calor Suministrado}}$$

### **Ecuación 1: Eficiencia de una caldera**

Fuente: (Ari armaturen, 2014)

$$\text{Calor suministrado} = CC \times PCS$$

$$\text{Calor útil} = C_v \times (H_s - H_w)$$

$$\eta = \frac{C_v \times (H_s - H_w)}{CC \times PCS}$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia de la caldera (%)

CC: Cantidad de combustible (ton/h)

PCS: Poder calorífico bajo del combustible (kJ/kg)

$C_v$ : Cantidad de vapor generado (ton/h)

$H_s$ : Entalpía del vapor (kJ/kg)

$H_w$ : Entalpía del agua de alimentación (kJ/kg)

Calculando:

**Tabla 7. Datos para calcular la eficiencia**

| <b>Parámetro</b>                          | <b>Valor</b>    |
|---|-----------------|
| Cantidad de combustible                   | 11.28 ton/h     |
| Poder calorífico superior del combustible | 26,668.82 kJ/kg |
| Cantidad de vapor generado                | 93.75 ton/h     |
| Entalpía del vapor (5.21 MPa a 475 °C)    | 3,372 kJ/kg     |

| Parámetro                                    | Valor         |
|--|---------------|
| Entalpía del agua de alimentación (0.26 MPa) | 589.126 kJ/kg |

Fuente: (Elaboración propia)

$$\eta = \frac{\text{Calor útil}}{\text{Calor Suministrado}}$$

$$\text{Calor suministrado} = 11.28 \times 26,668.82$$

$$\text{Calor util} = 11.28 \times (3372 - 589.126)$$

$$\eta = \frac{93.75 \times (3372 - 589.126)}{11.28 \times 26,668.82}$$

$$\eta = 0.8673 \approx 86.73\%$$

Se obtiene como resultado una eficiencia del 86.73% para la caldera. Dicho valor será útil para la estimación del costo por cantidad de vapor desperdiciado.

## 6.2 Análisis de la generación de purga

### 6.2.1 Análisis del agua

Mediante los registros de calidad del agua proporcionados por el personal del departamento de tratamiento de agua de la caldera, se obtuvo los datos de conductividad del agua fuente, y del agua de alimentación de la caldera. Dichos datos son utilizados para la obtención de los sólidos totales disueltos en el agua y posteriormente calcular la cantidad de agua que se purga en la caldera.

Las lecturas de la conductividad del agua ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) pueden ser convertidas a unidades de concentración (partículas por millón), multiplicando o dividiendo por un factor de conversión. Normalmente en la determinación de los TDS se utiliza un factor de correlación de 0.5 respecto del valor de la conductividad, aunque no es exacto, se acepta que el valor para TDS sea la mitad del valor de la conductividad. (Maquimsa, 2007)

Por lo tanto, la ecuación que se utiliza para el cálculo de los sólidos totales disueltos es la siguiente:

$$\text{STD (ppm)} = \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm}) \times 0.5$$

### **Ecuación 2: Eficiencia de una caldera**

Fuente: (Maquimsa, 2007)

## 6.2.2 Determinación la generación de purga de la caldera

Cuando el agua es evaporada y se forma vapor, los minerales o sólidos disueltos y suspendidos en el agua, permanecen dentro de la caldera. El agua de reposición contiene una carga normal de minerales disueltos, estos hacen que se incrementen los sólidos disueltos totales dentro de la caldera. Después de un periodo de tiempo los sólidos disueltos totales (TDS) alcanzan niveles críticos dentro de la caldera. El incremento en los niveles de TDS dentro de la caldera es conocido como "ciclos de concentración", este término es empleado muy seguido en la operación y control de la caldera. (Todocalderas, s.f.)

El ciclo de concentración crítico está definido por el valor de Sólidos Totales Disueltos al llegar al valor máximo en un menor número de ciclos. La cantidad de agua purgada por ciclo se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de agua a ser purgada} = \frac{\text{Flujo de vapor en caldera (ton/h)}}{\text{C.C. Crítico} - 1}$$

### **Ecuación 3: Cantidad de agua a ser purgada mediante concentraciones**

Fuente: (Benítez, 2015)

Alternativamente, la cantidad de agua a ser purgada se puede calcular por medio de la ecuación:

$$\text{Cantidad de agua a ser purgada} = \frac{F \times V}{B - F}$$

### **Ecuación 4: Cantidad de agua a ser purgada mediante STD**

Fuente: (Byworth, 2015)

Donde:

F: STD del agua de alimentación (ppm)

B: STD en la Caldera (ppm)

V: Producción de vapor de la caldera (ton/h)

Calculando:

**Tabla 8. Datos para calcular la generación de purga por la caldera**

| Parámetro                         | Valor       |
|-----------------------------------|-------------|
| STD del agua de alimentación      | 4.7 ppm     |
| STD en la Caldera                 | 180 ppm     |
| Producción de vapor de la caldera | 93.75 ton/h |

Fuente: (Elaboración propia)

$$\text{Cantidad de agua a ser purgada} = \frac{F \times V}{B-F}$$

$$\text{Cantidad de agua a ser purgada} = \frac{4.7 \text{ (ppm)} \times 93.75 \text{ (ton/h)}}{180 \text{ (ppm)} - 4.7 \text{ (ppm)}}$$

$$\text{Cantidad de agua a ser purgada} = 2.51 \text{ ton/h}$$

Conociendo la cantidad de agua a ser purgada con la ecuación 4 y la tasa de producción de vapor de la caldera, se obtiene el porcentaje de purga aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de purga} = \frac{\text{Cantidad de agua a ser purgada}}{\text{Tasa de producción de vapor de la caldera}} \times 100$$

**Ecuación 5: Cantidad de agua a ser purgada mediante STD**

Fuente: (Benítez, 2015)

$$\text{Porcentaje de purga} = \frac{2.51 \text{ (ton/h)}}{93.75 \text{ (ton/h)}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de purga} = 2.70\%$$

La purga representa 2.70% del total de vapor generado.

### 6.3 Análisis de la generación de vapor flash

#### 6.3.1 Determinación del porcentaje de revaporizado

El método más apropiado para la implementación del vapor flash recuperado es para la inyección al tanque desaireador, de forma que se eleve la temperatura del agua de alimentación de la caldera. El tanque flash se encuentra a 10 bares de presión manométrica, que fue la presión de revaporización utilizada para los cálculos del presente estudio. El porcentaje de revaporizado generado se calcula a través de la siguiente ecuación.

$$\text{Porcentaje de revaporizado} = \frac{H_f \text{ alta presión} - H_f \text{ baja presión}}{H_{fg} \text{ baja presión}} \times 100$$

#### **Ecuación 6: Porcentaje de revaporizado**

Fuente: (TLV, 2012)

Donde:

H<sub>f</sub>: Entalpía específica del agua saturada (kJ/kg)

H<sub>fg</sub>: Entalpía específica de evaporación (kJ/kg)

De las tablas de vapor (Anexo 9.1) se obtiene el dato de entalpía específica del agua saturada a 55.4 bar que es la presión a la que sale la purga del domo del caldero. Esta es de 1,193.2 kJ/kg.

También se obtiene el dato de entalpía específica del agua saturada a 10 bares, la cual es de 781.43 kJ/kg, y finalmente el dato de entalpía específica de evaporación a 10 bares que es de 1999.28 kJ/kg.

$$\text{Porcentaje de revaporizado} = \frac{1,193.22 \text{ (kJ/kg)} - 781.43 \text{ (kJ/kg)}}{1,999.28 \text{ (kJ/kg)}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de revaporizado} = 20.59\%$$

De acuerdo a este cálculo aproximadamente 20.59% del agua de purga se convertiría en vapor al bajar su presión de 55.4 bar a 10 bares.

### 6.3.2 Determinación de la cantidad de vapor flash generado.

Multiplicando el porcentaje de revaporizado obtenido en la ecuación 6 por la cantidad de agua que se purga obtenida en la ecuación 4, se puede obtener la cantidad de vapor flash que se puede aprovechar:

Cantidad de vapor flash = Cantidad de agua a ser purgada × porcentaje de revaporizado

#### **Ecuación 7: Cantidad de vapor flash**

Fuente: (TLV, 2012)

$$\text{Cantidad de vapor flash} = 2.51 \text{ (ton/h)} \times 20.59 \text{ (\%)}$$

$$\text{Cantidad de vapor flash} = 0.52 \text{ ton/h}$$

0.52 ton/h es la cantidad de vapor flash que se recuperaría y la misma cantidad que se inyectaría al desaireador para aumentar la temperatura del agua de alimentación

### 6.3.3 Determinación del remanente de purga

El remanente de purga es el condensado restante que queda de la separación del vapor flash desde la purga total.

El remanente de agua de purga se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Purga remanente} = \text{Purga total} \left( \frac{\text{ton}}{\text{h}} \right) - \text{Revaporizado} \left( \frac{\text{ton}}{\text{h}} \right)$$

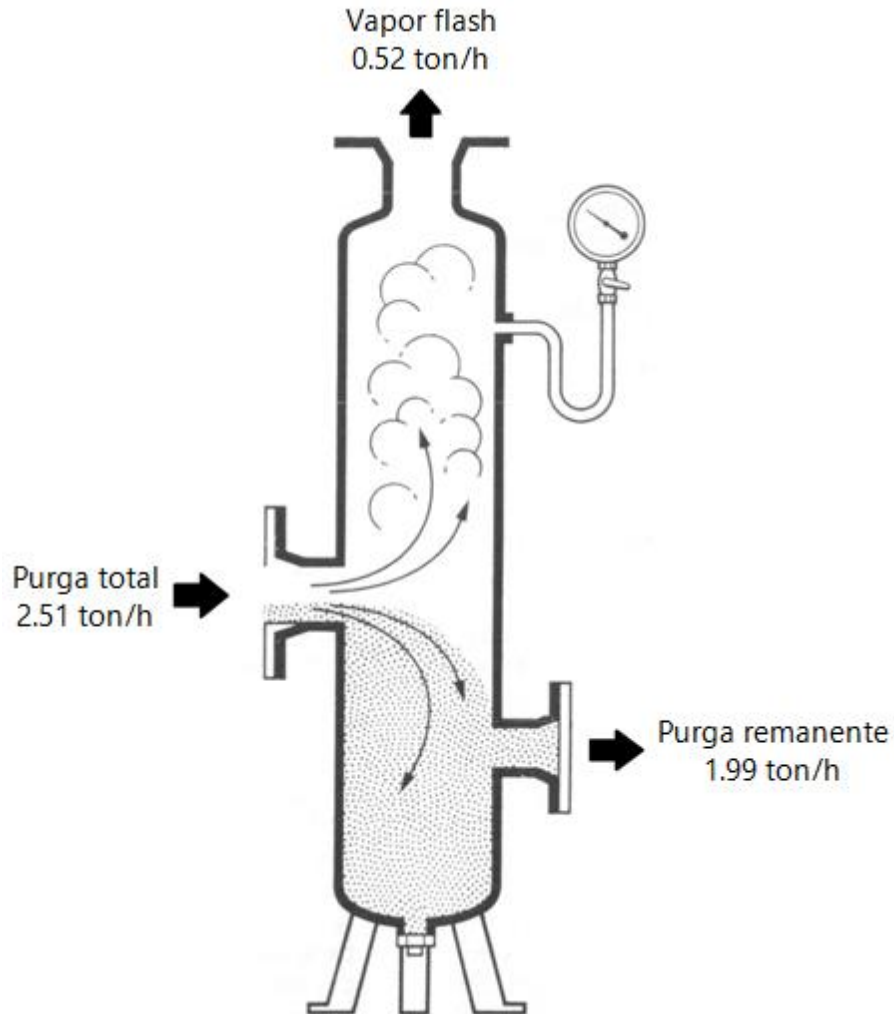
#### **Ecuación 8: Purga remanente**

Fuente: (TLV, 2012)

$$\text{Purga remanente} = 2.51 \text{ (ton/h)} - 0.52 \text{ (ton/h)}$$

$$\text{Purga remanente} = 1.99 \text{ ton/h}$$

$$\text{Purga remanente} = 1990 \text{ kg/h}$$



**Ilustración 13. Distribución de la purga en el tanque flash.**

Fuente: (Elaboración propia)

#### 6.3.4 Energía disponible en la purga remanente

La energía disponible en la purga remanente se utiliza para calentar el agua fuente que proviene del proceso de ósmosis. Para el cálculo de la energía disponible para calentar el agua fuente se utiliza la ecuación.

$$ED \text{ (kJ/kg)} = H_f \text{ (10 bar)} - H_f \text{ (35}^\circ\text{C)}$$

#### **Ecuación 9: Energía disponible**

Fuente: (Benítez, 2015)



Donde:

ED: Energía específica disponible

Hf (10 bares): Entalpía específica del agua saturada a 10 bares (kJ/kg)

Hf (35 °C): Entalpía específica del agua a 35 °C (kJ/kg)

De las tablas de vapor (Anexo 9.1) se obtiene que la entalpía del agua saturada a 10 bares (presión a la salida del tanque de revaporizado) es de 781.434 kJ/kg. La entalpía del agua a 35 °C es 146.645 kJ/kg.

Con esta información se procede a calcular la energía disponible para calentar el agua fuente.

$$ED \text{ (kJ/kg)} = H_f \text{ (10 bar)} - H_f \text{ (35}^\circ\text{C)}$$

$$ED \text{ (kJ/kg)} = 781.434 - 146.645$$

$$ED = 634.789 \text{ kJ/kg}$$

La energía total disponible (ETD) se determina mediante siguiente ecuación.

$$ETD = ED \times \text{Flujo másico de purga remanente}$$

#### **Ecuación 10: Energía total disponible**

Fuente: (Benítez, 2015)

Donde:

ED: Energía disponible en la purga remanente (kJ/kg)

$$ETD = 634.789 \text{ (kJ/kg)} \times 1990 \text{ (kg/h)}$$

$$ETD = 1,263,230.11 \text{ kJ/h}$$

### 6.3.5 Costo del vapor

Con la siguiente ecuación se calcula el costo de generar una tonelada de vapor en la caldera. Dicho dato será útil para obtener el valor económico que implica el vapor desperdiciado en la caldera.

$$CTV = \frac{(H_g - H_f) \times CC}{PCI \times \eta}$$

#### Ecuación 11: Costo del vapor

Fuente: (Spirax Sarco, 2018)

Donde:

CTV: Costo por tonelada de vapor (\$/ton)

H<sub>g</sub>: Entalpía específica del vapor saturado a 55.4 bar (kJ/kg)

H<sub>f</sub>: Entalpía específica del agua saturada a 2.6 bar (kJ/kg)

CC: Costo del combustible (\$/ton)

PCI: Poder calorífico inferior (kJ/kg)

η: Eficiencia de la caldera (%)

Calculando:

**Tabla 9. Datos para calcular el costo del vapor.**

| Parámetro  | Valor           |
|--|-----------------|
| Entalpía específica del vapor saturado (55.4 bar)          | 2,788.32 kJ/kg  |
| Entalpía específica del agua saturada a (2.6 bar a 140 °C) | 589.126 kJ/kg   |
| Costo del combustible                                      | \$119/ton       |
| Poder calorífico inferior                                  | 23,731.65 kJ/kg |
| Eficiencia de la caldera                                   | 86.73%          |

Fuente: (Elaboración propia)

$$CTV = \frac{(H_g - H_f) \times CC}{PCI \times \eta}$$

$$CTV = \frac{(2,788.32-589.126)kJ/kg \times \$119/ton}{23,731.65 kJ/kg \times 0.8673}$$

$$CTV = \$12.71/ton$$

**Tabla 10. Parámetros del carbón**

| Parámetro                       | Valor         |
|---------------------------------|---------------|
| Tipo de carbón                  | Bituminoso    |
| Poder calorífico                | 6,074 kcal/kg |
| PCS (poder calorífico superior) | 6,374 kcal/kg |
| PCI (poder calorífico inferior) | 5,672 kcal/kg |
| Humedad                         | 12.70%        |
| % de Ceniza                     | 8.57%         |
| Costo                           | 119 \$/ton    |

Fuente: (Elaboración propia)

### 6.3.6 Ahorro económico de la recuperación del vapor flash

Con el dato de la cantidad de vapor flash a recuperar obtenido en la ecuación 7 (0.52 ton/h), se realiza el cálculo anual de la recuperación de este vapor multiplicando dicho dato por la cantidad de horas de disponibilidad de la caldera al año.

$$\text{Ahorro de vapor al año} = \text{Cantidad de vapor flash} \times \text{Disponibilidad de la caldera}$$

#### **Ecuación 12: Ahorro de vapor al año**

Fuente: (Spirax Sarco, 2018)

$$\text{Ahorro de vapor al año} = 0.52 \text{ (ton/h)} \times 8059 \text{ (h)}$$

$$\text{Ahorro de vapor al año} = 4,190.68 \text{ ton}$$

La cantidad de vapor ahorrado al año sería de 4190.68 ton, multiplicando este valor por el costo del vapor calculado en la ecuación 11 el cual es de \$12.71 la tonelada de vapor se obtiene el ahorro económico al año.

$$\text{Ahorro económico del vapor al año} = \text{Costo del vapor} \times \text{Ahorro de vapor al año}$$

#### **Ecuación 13: Ahorro económico del vapor al año**

Fuente: (Spirax Sarco, 2018)

Ahorro económico del vapor al año = \$12.71/ton × 4,190.68 ton

Ahorro de vapor al año = \$53,682.6

≈ Lps. 1,319,786.72

Se obtiene como resultado un ahorro económico de 53,682.6 dólares al año mediante la implementación del tanque flash para la recuperación de vapor flash.

### 6.3.7 Ahorro de combustible equivalente por producción de vapor flash

El equivalente en carbón de la ganancia de calor por el vapor flash producido, se determinará mediante la ecuación:

$$\dot{m}_{carbón} = \frac{\dot{m}_{vf} \times (H_{g2} - H_{f2})}{PCI \times \eta}$$

#### **Ecuación 14: Ahorro de combustible equivalente por vapor flash producido**

Fuente: (Byworth, 2015)

Donde:

$\dot{m}_{carbón}$ : Cantidad de carbón (ton/h)

$\dot{m}_{vf}$ : Cantidad de vapor flash generado (ton/h)

$H_{g2}$ : Entalpía específica del vapor saturado a 10 bares (kJ/kg)

$H_{f2}$ : Entalpía específica del agua saturada a 10 bares (kJ/kg)

PCI: Poder calorífico inferior del carbón (kJ/kg)

$\eta$ : Eficiencia de la caldera (kJ/kg)

**Tabla 11. Datos para calcular el ahorro de combustible por producción de vapor flash**

| <b>Parámetro</b>                                  | <b>Valor</b>  |
|---|---------------|
| Cantidad de vapor flash generado                  | 520 kg/h      |
| Entalpía específica del vapor saturado a 10 bares | 2780.71 kJ/kg |
| Entalpía específica del agua saturada a 10        | 781.43 kJ/kg  |
| Poder calorífico inferior del carbón              | 5672 kcal/kg  |
| Eficiencia de la caldera                          | 86.73%        |

Fuente: (Elaboración propia)

Calculando:

$$\dot{m}_{\text{carbón}} = \frac{\dot{m}_{\text{vf}} \times (H_{\text{g2}} - H_{\text{f2}})}{\text{PCI} \times \eta}$$

$$\dot{m}_{\text{carbón}} = \frac{520 \text{ (kg/h)} \times (27,80.71 \text{ (kJ/kg)} - 781.43 \text{ (kJ/kg)})}{23,731.65 \text{ (kJ/kg)} \times 0.8673}$$

$$\dot{m}_{\text{carbón}} = 50.51 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{\text{carbón}} = 0.05051 \text{ ton/h}$$

Con el dato de la cantidad de carbón ahorrado (0.05051 ton/h), se realiza el cálculo anual del ahorro multiplicando dicho dato por la cantidad de horas de disponibilidad de la caldera al año.

Ahorro de carbón al año = Cantidad de carbón ahorrado x Disponibilidad de la caldera

**Ecuación 15: Ahorro de carbón al año**

Fuente: (Byworth, 2015)

$$\text{Ahorro de carbón al año} = 0.05051 \text{ ton/h} \times 8059 \text{ h}$$

$$\text{Ahorro de carbón al año} = 407.06 \text{ ton}$$

## 6.4 Dimensionamiento del intercambiador de calor.

El intercambiador de calor es el sistema encargado de recuperar el calor del agua de purga, el cual es evacuado por el tanque flash a una temperatura de 184.12 °C aproximadamente que sería utilizada para calentar el agua de reposición de la caldera, el cual ingresa al tanque desaireador a una temperatura de 35 °C. A esa temperatura la caldera requeriría de mayor cantidad de combustible para poder lograr su generación de vapor óptima. Al utilizar el calor en la purga remanente, podremos intercambiar este calor con la línea del agua de reposición, aumentando su temperatura y logrando así un ahorro considerable de combustible, ya que el agua de reposición ingresaría al tanque desaireador a una temperatura un poco mayor, facilitando de la misma manera la desgasificación del fluido dentro del tanque desaireador.

### 6.4.1 Calor suministrado al fluido de reposición

El calor Q es energía térmica que se transfiere de un sistema más caliente a un sistema más frío que está en contacto. Podemos calcular el calor liberado o absorbido utilizando el calor específico C, la masa m de la sustancia y el cambio en temperatura  $\Delta T$ . (Khan Academy, 2017)

Para determinar la temperatura final a la que puede llegar el agua fuente con el aporte de calor del agua de purga se utilizó la ecuación siguiente:

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (\Delta T)$$

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_{ar_{salida}} - T_{ar_{entrada}})$$

#### **Ecuación 16: Cantidad de calor absorbido o liberado**

Fuente: (Khan Academy, 2017)

Donde:

Q: Cantidad de energía o calor suministrado (kJ)

$\dot{m}$ : Flujo de la sustancia a calentar, agua de reposición (kg/ton)

$C_p$ : Calor específico del agua de reposición (kJ/kg °C)

$\Delta T$ : Diferencial de temperatura

$T_{\text{salida}}$  : Temperatura de agua de reposición a la salida del intercambiador ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\text{entrada}}$ : Temperatura de agua de reposición a la entrada del intercambiador ( $^{\circ}\text{C}$ )

Calculando:

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})$$

$$Q = \dot{m} \times 4.186 \times (T_{\text{salida}} - 35 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

Donde  $T_{\text{salida}}$  es la variable por determinar. Teniendo en cuenta que para el agua entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $100^{\circ}\text{C}$  el calor específico ( $C_p$ ) es de  $4.186 \text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$ .

La energía o calor total ( $Q$ ) se puede obtener de siguiente ecuación:

$$Q = \dot{m} (\Delta H_f)$$

$$Q = \dot{m} (H_f \text{ purga a } 184.12 \text{ }^{\circ}\text{C} - H_f \text{ purga a } 35 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

Donde:

$Q$ : Energía total entregada por el agua de purga (kJ).

$m$ : Flujo másico de condensado de purga a través del intercambiador de calor (kg/ton).

$\Delta H_f$ : Diferencia entre entalpías de agua saturada a  $184.12 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y a  $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$H_f$  purga a  $184.12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ : Entalpía de agua saturada a  $184.12 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (kJ/kg).

$H_f$  purga a  $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ : Entalpía de agua saturada a  $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (kJ/kg).

Calculando se obtiene:

**Tabla 12. Datos para calcular el calor suministrado al intercambiador.**

| Parámetro   | Valor        |
|---|--------------|
| Flujo másico de condensado de purga                             | 1990 kg/h    |
| Entalpía de agua saturada ( $184.12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) | 781.43 kJ/kg |
| Entalpía del agua ( $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )             | 146.64 kJ/kg |

Fuente: (Elaboración propia)

$$Q = \dot{m} (H_f \text{ purga a } 184.12 \text{ }^\circ\text{C} - H_f \text{ purga a } 35 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q = 1,990 \text{ kg/h (634.78 kJ/kg)}$$

$$Q = 1,263,230.11 \text{ kJ/h}$$

Conociendo que el flujo másico total del agua de reposición es igual al 35% del total generado (solo 65% de retorno de condensado aproximado), más el flujo perdido en la purga, se obtiene:

$$\dot{m} = 0.35 (93,750 \text{ kg/h}) + 2,510 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m} = 32,812.5 \text{ kg/h} + 2,510 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m} = 35,322.5 \text{ kg/h}$$

Como resultado obtenemos el flujo másico total del agua de alimentación utilizada para el proceso de generación de vapor más la suma del flujo perdido por la purga, restándole el 65% que sería el retorno de condensado.

Reemplazando los datos obtenidos en las ecuaciones anteriores se obtiene que:

**Tabla 13. Datos para calcular la temperatura de salida del intercambiador**

| Parámetro   | Valor             |
|---|-------------------|
| Cantidad de energía o calor suministrado                          | 1,263,230.11 kJ/h |
| Flujo de la sustancia a calentar, agua de reposición              | 35,322.5 kg/h     |
| Calor específico del agua de reposición                           | 4.186 kJ/kg °C    |
| Temperatura de agua de reposición a la entrada del intercambiador | 35 °C             |

Fuente: (Elaboración propia)

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_{r_{salida}} - T_{r_{entrada}})$$

$$T_{r_{salida}} = T_{r_{entrada}} + \frac{Q}{\dot{m} \times C_p}$$

$$T_{r_{salida}} = 35 \text{ }^\circ\text{C} + \frac{1,263,230.11 \text{ (kJ/h)}}{35,322.5 \text{ (kg/h)} \times 4.186 \text{ (kJ/kg }^\circ\text{C)}}$$

$$T_{r_{salida}} = 43.53 \text{ }^\circ\text{C}$$



#### 6.4.2 Ahorro de combustible por la recuperación de calor

El ahorro en carbón de la ganancia de calor de la purga remanente producida mediante el intercambiador de calor se determinará mediante la ecuación:

$$\dot{m}_{\text{carbón}} = \frac{Q}{\text{PCI} \times \eta}$$

#### **Ecuación 17: Ahorro de combustible por la recuperación de calor mediante un intercambiador de calor**

Fuente: (Custodio & Solís, 2017)

Donde:

Q: Energía total entregada por la purga (kJ/h)

PCI: Poder calorífico inferior del carbón (kJ/kg)

$\eta$ : Eficiencia de la caldera (kJ/kg)

**Tabla 14. Datos para calcular el ahorro de combustible de la recuperación de calor mediante un intercambiador de calor.**

| Parámetro                            | Valor             |
|--------------------------------------|-------------------|
| Energía total entregada por la purga | 1,263,230.11 kJ/h |
| Poder calorífico inferior del carbón | 5,672 kcal/kg     |
| Eficiencia de la caldera             | 86.73%            |

Fuente: (Elaboración propia)

Calculando:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{carbón}} &= \frac{Q}{\text{PCI} \times \eta} \\ \dot{m}_{\text{carbón}} &= \frac{1,263,230.11 \text{ (kJ/h)}}{23,731.65 \text{ (kJ/kg)} \times 0.8673} \\ \dot{m}_{\text{carbón}} &= 61.37 \text{ kg/h} \\ \dot{m}_{\text{carbón}} &= 0.06137 \text{ ton/h}\end{aligned}$$

#### 6.4.3 Ahorro económico por la recuperación de calor

Con el dato de la cantidad de carbón ahorrado (0.06137 ton/h), se realiza el cálculo anual del ahorro multiplicando dicho dato por la cantidad de horas de disponibilidad de la caldera al año.

Ahorro de carbón al año=Cantidad de carbón ahorrado x Disponibilidad de la caldera

$$\text{Ahorro de carbón al año} = 0.06137 \text{ ton/h} \times 8,059 \text{ h}$$

$$\text{Ahorro de carbón al año} = 494.58 \text{ ton}$$

La cantidad de carbón ahorrado al año sería de 494.58 ton, multiplicando este valor por el costo del carbón el cual es de \$119 por tonelada de carbón se obtiene el costo del carbón ahorrado al año.

Ahorro económico de carbón al año=Costo del carbón x Ahorro de carbón al año

$$\text{Ahorro económico de carbón al año} = \$119/\text{ton} \times 494.58 \text{ ton}$$

$$\text{Ahorro de carbón al año} = \$58,855.02$$

$$\approx \text{Lps. } 1,456,661.74$$

Se obtiene como resultado un ahorro económico de 58,855.02 dólares al año mediante la implementación del intercambiador de calor para el aprovechamiento del calor de la purga remanente del tanque flash.

#### 6.4.4 Selección del intercambiador de calor

Como resultado obtenemos la temperatura final a la cual se elevará nuestra agua de reposición luego de haber obtenido el calor residual de nuestra purga remanente. Para obtener la ganancia en grados de nuestra agua de reposición se deberá restar Tar Salida menos la temperatura a la que ingresó el agua de reposición al intercambiador de calor. Esto da un total de 8.53 grados Celsius de ganancia térmica.

Tomando en cuenta los datos de los resultados calculados, se seleccionó el intercambiador de calor de placas soldadas modelo CB76 de la marca Alfa Laval, ya que este modelo en específico cumple con los requerimientos de temperatura y presión necesarias para poder soportar la transferencia de calor que se generara entre el remanente de purga y el agua de reposición de la caldera. El CB76 soporta una presión máxima de 32 bares y una temperatura máxima de 225 °C, logrando cumplir con los requerimientos necesarios para llevar a cabo la transferencia.



**Ilustración 14. Intercambiador de calor CB76.**

Fuente: (Alfa Laval)

## **6.5 Dimensionamiento sistema de Control de purga**

El agua contiene impurezas en forma de gases disueltos, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. El tratamiento químico del agua puede modificar el tipo de impurezas, pero no las elimina completamente y normalmente incrementa el nivel de sólidos disueltos. A medida que el agua se evapora, la concentración total de sólidos disueltos (TDS) se incrementa en el agua de la caldera. Si la concentración de TDS es demasiado alta, el agua de la caldera es arrastrada con el vapor. Este transporte o arrastre puede producir serios problemas en los sistemas de vapor y condensado debidos a la corrosión y a la acumulación de depósitos en las superficies de transferencia de calor. La consiguiente contaminación del producto no puede ser tolerada en aplicaciones donde el vapor es utilizado para productos alimenticios, bebidas o en procesos de esterilización médica. Para limitar la concentración de TDS al nivel recomendado por el fabricante de la caldera, es una práctica común el drenar (o purgar) periódicamente el agua de la caldera, y permitir que sea reemplazada por agua de alimentación con relativamente bajo nivel de TDS. La purga excesiva es muy costosa en términos de pérdidas de energía y de aportación de químicos en el tratamiento del agua. (Aguapura, 2017)

En nuestro caso se ha seleccionado el sistema más adecuado para llevar a cabo la purga de superficie del domo de la caldera. Se ha determinado la cantidad de agua a ser purgada dependiendo de los niveles de sólidos totales disueltos del agua de alimentación, los sólidos totales disueltos requeridos por la caldera y la tasa de producción de vapor de esta, tomando como referencia los siguientes datos proporcionados por el departamento de osmosis:

F: STD del agua de alimentación

B: STD requeridos en la caldera

V: Tasa de producción de vapor de la caldera.

F: 4.7 ppm

B: 180 ppm

V: 93.5 ton/h

$$\text{Cantidad de agua a ser purgada} = \frac{F \times V}{B-F}$$

$$\text{Cantidad de agua a ser purgada} = \frac{4.7 \text{ (ppm)} \times 93.75 \text{ (ton/h)}}{180 \text{ (ppm)} - 4.7 \text{ (ppm)}}$$

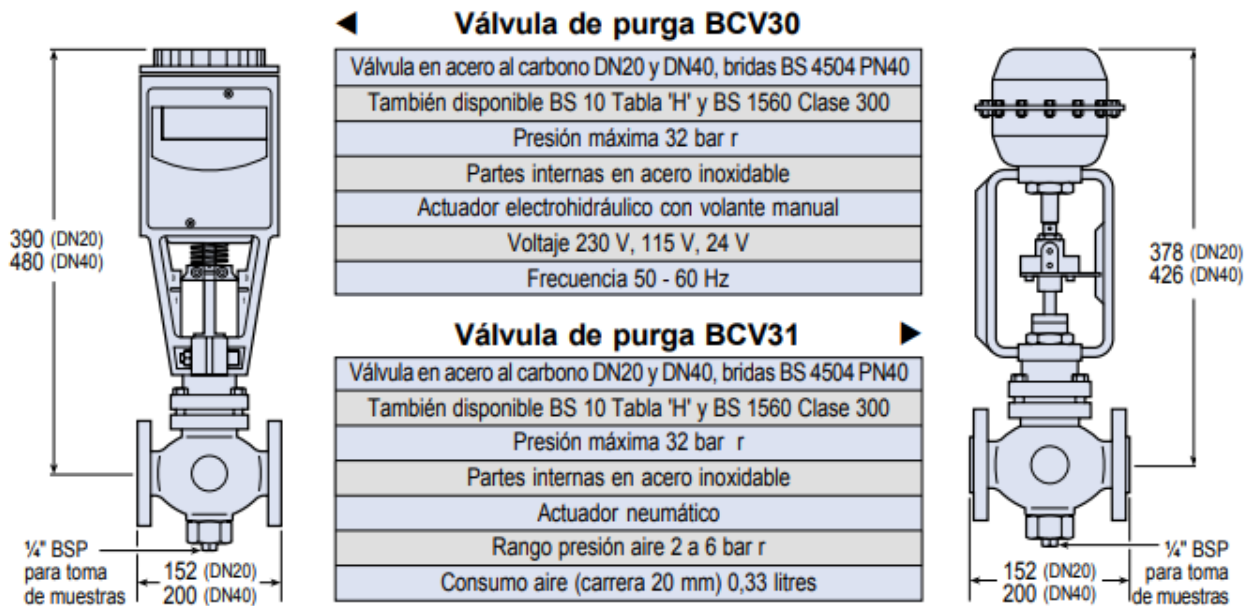
$$\text{Cantidad de agua a ser purgada} = 2.51 \text{ ton/h}$$

Una vez determinado el cálculo de la cantidad de purga que será extraída de la caldera, podemos iniciar la selección de cada una de las partes del sistema de control de purga de superficie.

### 6.5.1 Válvula De Purga

Se ha seleccionado la válvula de purga BCV31 de la marca Spirax Sarco dejando de lado la válvula BCV30 de la misma marca, esto debido a que la válvula BCV31 (únicos dos modelos disponibles) cuenta con un actuador neumático, el cual facilitaría su conexión en la caldera, ya que se cuenta con un eficiente sistema de aire comprimido el cual controla en su totalidad todas las válvulas neumáticas de la planta. Esta válvula también cuenta con un cierre de resorte de emergencia en caso de que el suministro de aire comprimido se vea afectado ya sea por un corte en el suministro de energía eléctrica o por algún fallo de los compresores.

La válvula BCV31 cuenta con dos variantes, la DN40 y la DN20. La variante DN40 soporta caudales de hasta 11,000 Kg/h, y la variante DN20 soporta caudales de un máximo de 1,800 Kg/h, ambas con una presión máxima de trabajo de 32 bar. Para el presente dimensionamiento se ha seleccionado la válvula BCV31 DN40, la cual trabajará a una presión máxima de 32 bares, con un caudal máximo soportado de 3,700 kg/h.



**Ilustración 15. Válvula de purga.**

Fuente: (Spirax Sarco)

### 6.5.2 Controlador

El controlador de TDS tiene la funcionalidad de decidir en qué momento se llevará a cabo la operación de purga o no, esto gracias a un parámetro posteriormente establecido en el dispositivo, este parámetro dependerá de los sólidos totales disueltos requeridos en la caldera establecidos por el operador de turno.

El controlador seleccionado para nuestro dimensionamiento es el BC3210 de la marca Spirax Sarco, creado con una carcasa que nos permitirá la fácil instalación dentro del panel controlador de caldera. Los rangos de operación del controlador BC3210 son los siguientes:

**Tabla 15. Información técnica controlador de TDS**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Rangos de operación         | 110 – 99 (ppm o $\mu\text{S}/\text{cm}$ )<br>100 – 999 (ppm o $\mu\text{S}/\text{cm}$ )<br>1,000 – 9990 (ppm o $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) |
| Voltaje                     | 230 V, 115 V   |
| Frecuencia                  | 50 – 60 Hz   |
| Máxima temperatura ambiente | 55 °C  |
| Protección                  | IP40   |

Fuente: (Spirax Sarco)



**Ilustración 16. Controlador de TDS BC3210.**

Fuente: (Spirax Sarco)

### 6.5.3 Sonda de Conductividad

Un Sensor de conductividad eléctrica mide la cantidad de corriente eléctrica que un material puede transportar. Por ejemplo, la salinidad de los suelos, sistemas de agua de riego o soluciones de fertilizantes es un parámetro importante que afecta el medio ambiente. Para estos casos, cualquiera de estos factores puede tener un efecto significativo en el crecimiento de una planta y su calidad. También niveles bajos en sal podrían dar lugar a deficiencias térmicas. La conductividad del agua puede reflejar el nivel de electrolitos presentes en el agua. Dependiendo de la concentración de dicho elemento. (HeTPro, 2018)

Para llevar a cabo el análisis de la conductividad del agua saturada del domo se deberá de utilizar una sonda con capacidad de soportar presiones de entre 50 y 60 bares, y temperaturas de entre 250 y 270 grados Celsius. La sonda de conductividad CP30 de este sistema no es adecuada para el presente dimensionamiento, ya que ésta opera con valores máximos de temperatura y presión inferiores a los encontrados dentro del domo. Para ser más específicos, la sonda CP30 puede operar a una presión máxima de 32 bar y una temperatura máxima de 239 grados Celsius. Para este sistema se optó por la sonda LRGT 17-1 de la marca Gestra, la cual puede soportar una temperatura máxima de 275 C y una presión máxima de 60 bares. La sonda LRGT 17-1 incluye por defecto un controlador de TDS incorporado en el cuerpo de esta, dándonos la opción de utilizar tanto su controlador de serie o sustituir este por el controlador BC3210 de la marca Spirax Sarco.



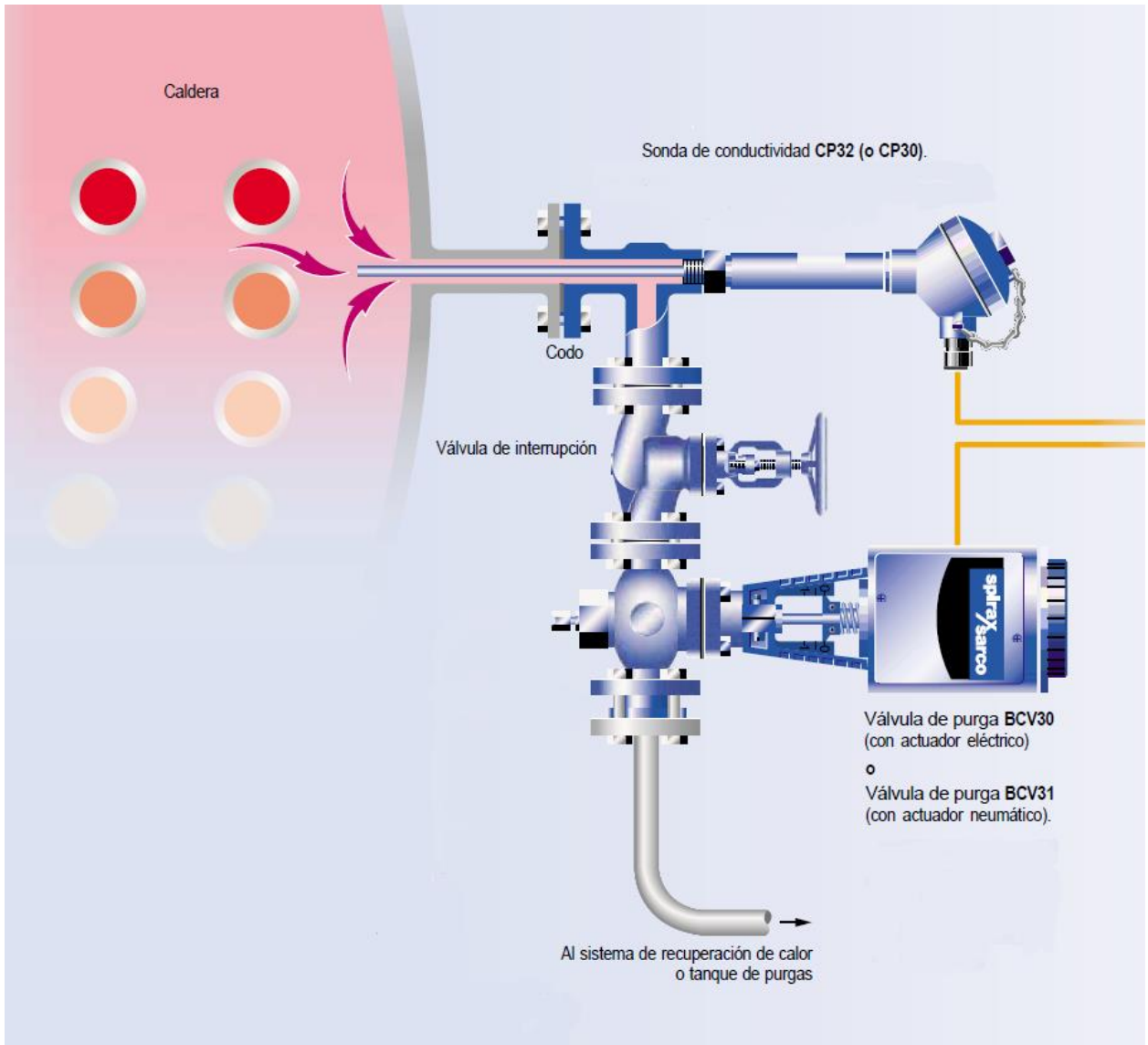
**Ilustración 17. Sonda Gestra LRGT 17-1.**

Fuente: (Ramseyer)

#### 6.5.4 Codo de conexión de sonda

El codo de conexión se utilizará para conectar de manera horizontal al domo de la caldera la sonda de conductividad en forma de T, dejando en la parte inferior y de manera vertical el resto del sistema. Entre el codo y el resto del sistema se encuentra una válvula de interrupción en caso de que se quiera llevar a cabo un mantenimiento o sustitución de pieza en caso de falla.





**Ilustración 18. Sistema de control de purga completo.**

Fuente: (Spirax Sarco)

**Tabla 16. Resumen de resultados**

| <b>Cálculo de purga</b>                                  |                        |
|--|------------------------|
| Tasa de producción de vapor                              | 93.75 ton/h            |
| Cantidad de agua a purgar                                | 2.51 ton/h             |
| Porcentaje de purga                                      | 2.70%                  |
| <b>Ahorro por uso del vapor flash de la purga</b>        |                        |
| Vapor flash total generado en el tanque flash            | 0.52 ton/h             |
| Porcentaje de revaporizado                               | 20.59%                 |
| Ahorro de vapor  | 4,190.68 ton/año       |
| Ahorro en dólares  | \$53,682.60/año        |
| <b>Ahorro por uso del calor de la purga remanente</b>    |                        |
| Remanente de agua de purga                               | 1.99 ton/h             |
| Calor específica disponible para calentar el agua fuente | 634.789 kJ/kg          |
| Energía total disponible para calentar el agua fuente    | 1,263,230.11 kJ/h      |
| Ahorro de carbón   | 494.58 ton/año         |
| Ahorro en dólares  | \$58,855.02/año        |
| <b>Inversión del sistema de recuperación de calor</b>    |                        |
| Tanque Flash   | \$18,000.00            |
| Controlador BC3210                                       | \$1,284.33             |
| Sonda Gestra   | \$1,242.75             |
| Codo de conexión   | \$200.00               |
| Válvula BCV31  | \$950.00               |
| Intercambiador de Calor AL CB76                          | \$1,500.00             |
| Manómetro 0-16 Bar                                       | \$10.00                |
| Distribuidor de Vapor                                    | \$180.00               |
| <b>Cálculo de tiempo de retorno de inversión</b>         |                        |
| Inversión total del sistema                              | \$23,367.08            |
| Ahorro anual total del sistema                           | \$112,537.62           |
| Tiempo de recuperación                                   | 0.21 años ≈ 2.51 meses |

Fuente: (Elaboración Propia)

## VII. CONCLUSIONES

- Aproximadamente un 20.59% del agua de purga se convertirá en vapor flash al sufrir un cambio en su presión desde el lado de alta al lado de baja.
- El 20.59% de vapor flash aprovechable equivale a 0.52 ton/h de vapor.
- Se obtiene un ahorro económico de 53,682.6 dólares al año mediante la implementación del tanque flash para la recuperación de las 0.52 ton/h de vapor flash.
- Se seleccionó el intercambiador de calor de placas modelo CB76 de la marca Alfa Laval, modelo el cual cumple con los requerimientos de temperatura a 184.4 Celsius y 10 bares de presión necesarios para poder soportar la transferencia de calor que se generara entre el remanente de purga y el agua de reposición de la caldera.
- La cantidad de carbón ahorrado al año mediante la implementación del intercambiador de calor para el aprovechamiento del calor de la purga remanente del tanque flash sería de 494.58 ton el cual equivale a un ahorro económico de 58,855.02 dólares al año.
- Se ha seleccionado la válvula de purga BCV31 y el controlador BC3210, ambos de la marca Spirax Sarco, capaz de soportar las condiciones de presión y temperatura de la caldera, para la automatización del proceso de purga de la caldera.
- El tiempo total necesario para el retorno de la inversión es de un total de dos meses y medios.

## **VIII. Recomendaciones**

- Se recomienda verificar todos los sistemas de instrumentación para obtener correctas lecturas y así evitar posibles fallas o accidentes.
- Se recomienda la selección de una válvula con actuador neumático del tipo de falla cerrada para evitar el vaciado del domo de la caldera en caso de que se presente una falla o interrupción en el sistema eléctrico y el suministro de aire comprimido se corte. Si el suministro de aire comprimido se corta, la válvula inmediatamente entraría en modo de cierre, evitando así el paso del fluido hacia el tanque de revaporizado.
- Todo sistema de calderas debe poseer un sistema automático de purga y un sistema de recuperación de calor de purga, esto para maximizar la eficiencia de la caldera y obtener ahorros considerables.
- Se recomienda un aislamiento adecuado en las tuberías y tanques del sistema para evitar la pérdida de calor por radiación, maximizando así el calor en dichos fluidos que los atraviesan.

## IX. BIBLIOGRAFIA

- ACHS. (2012). *Potencia y rendimiento de la caldera*. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de <https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/potencia-y-rendimiento-de-la-caldera.pdf>
- Aguamarket. (2017). *Tanque de recuperacion de condensado*. Recuperado el 26 de 4 de 2019, de <https://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=2380>
- Aguapura. (2017). *TDS que importancia tiene y como medirlo*. Recuperado el 20 de Mayo de 2019, de <https://aguapuraysana.com/tds-que-importancia-tiene-y-como-medirlo/>
- Ari armaturen. (2014). *Economics*.
- Armstrong. (s.f.). *Tablas de vapor*. Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de Armstrong International Inc.: <https://www.armstronginternational.com/es/tablas-de-vapor>
- Becerra, J. A. (2010). *Diseño de un precipitador electrostático*. Santiago.
- Benítez, G. F. (2015). *Ahorro de Combustible con la Automatización y Recuperación de*. Guayaquil.
- Bonilla, J., Carranza, M., Castillo, M., Aguirre, K., Casasola, J., Gonzales, A., . . . Lemuz, F. (Julio de 2009). *Termodinámica de equipos industriales: eficiencia energética de una caldera*. Recuperado el 24 de Mayo de 2019, de [http://www.fsalazar.bizland.com/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin13/URL\\_13\\_QUI03.pdf](http://www.fsalazar.bizland.com/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin13/URL_13_QUI03.pdf)
- Byworth. (2015). *Best Practice in Boiler Water Treatment*. Obtenido de <https://byworth.co.uk/wp-content/uploads/2015/06/Best-Practice-in-Boiler-Water-Treatment-Part-2.pdf>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica* (7.<sup>a</sup> ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Cortés, V. J. (s.f.). *Carbón*. Sevilla, España.
- Custodio, J. C., & Solís, E. P. (2017). *Evaluación del sistema de recuperación de purgas de fondo y de nivel de las calderas pirotubulares en la empresa pesquera Austral Group S.A.A. – COISHCO*. Nuevo Chimbote.
- Ecocarbón. (1998). *Calderas a carbón*. Medellín, Colombia: Editorial Pontificia Universidad Bolivariana.
- EcuRed. (29 de Febrero de 2016). *Transferencia de calor*. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Transferencia\\_de\\_calor](https://www.ecured.cu/Transferencia_de_calor)

- Guadiana, D. L. (1999). Sistema productivo del carbón mineral y sus residuos.
- HeTPro. (2018). *Sensor de conductividad eléctrica*. Recuperado el 5 de Junio de 2019, de <https://hetpro-store.com/sensor-de-conductividad-electrica/>
- Khan Academy. (2017). *Calor y temperatura*. Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/chemistry/thermodynamics-chemistry/internal-energy-sal/a/heat>
- Maquimsa. (2007). *Fichas Técnicas: Conductividad*. Recuperado el 20 de Mayo de 2019, de <http://maquimsa.com/fichastecnicas.html>
- Panachlor. (2016). *Sólidos Disueltos Totales (TDS) & Electroconductividad (EC)*. Recuperado el 20 de Mayo de 2019, de [http://panachlor.com/wp-content/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-\(TDS\)-Electroconductividad-\(EC\).pdf](http://panachlor.com/wp-content/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-(TDS)-Electroconductividad-(EC).pdf)
- Sanz, M., & Patiño, M. (2014). Manual práctico del operador de calderas industriales. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Spirax Sarco. (2018). *Uso eficiente del vapor*. Obtenido de <http://www.spiraxsarco.com/global/ar/Documents/Archivos/Uso%20eficiente%20de%20vapor.pdf>
- Surdry. (2018). *intercambiador de calor*. Obtenido de <https://surdry.com/es/glosario/intercambiador-de-calor/>
- Tippens, P. E. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones* (7ª ed.). Mexico: McGraw-Hill.
- TLV. (2012). *Vapor Flash*. Obtenido de <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/flash-steam.html>
- Todocalderas. (s.f.). *Control de calidad del agua*. Recuperado el 23 de Mayo de 2019, de <https://todocalderas.com.ar/articulos/control-de-calidad-del-agua>
- Tsoluciona. (3 de Noviembre de 2017). *Intercambiador de calor: ¿qué es y para qué sirve?* Obtenido de <https://t-solucion.com/noticias/intercambiadores-calor-que-son-sirven/>
- Valvias. (2008). *Válvula de Diafragma (Diaphragm valve)*. Recuperado el 27 de Mayo de 2019, de <http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-diafragma.php>

# X. ANEXOS

## ANEXO I. TABLAS DE VAPOR



TI-GCM-01  
CM Issue 5

### Tablas de vapor seco saturado

| Presión  |         | Temperatura<br>°C | Entalpía Específica |                            |                     | Volumen<br>específico<br>vapor<br>m³/kg |
|----------|---------|-------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|---|
| bar      | kPa     |                   | Agua (hf)<br>kJ/kg  | Evaporación (hfg)<br>kJ/kg | Vapor (hg)<br>kJ/kg |   |
| 0,30     | 30      | 69,113            | 289,331             | 2 335,28                   | 2 624,61            | 5,229 76                                |
| 0,50     | 50      | 81,338            | 340,578             | 2 304,77                   | 2 645,35            | 3,240 85                                |
| 0,75     | 75      | 91,782            | 384,469             | 2 278,10                   | 2 662,57            | 2,217 51                                |
| 0,95     | 95      | 98,204            | 411,524             | 2 261,38                   | 2 672,91            | 1,777 59                                |
| 1,00     | 100     | 99,632            | 417,547             | 2 257,63                   | 2 675,18            | 1,694 32                                |
| 1,013 25 | 101,325 | 100,001           | 419,101             | 2 256,66                   | 2 675,76            | 1,673 59                                |
| 0        | 0       | 100,001           | 419,101             | 2 256,66                   | 2 675,76            | 1,673 59                                |
| 0,1      | 10      | 102,660           | 430,327             | 2 249,62                   | 2 679,95            | 1,532 56                                |
| 0,2      | 20      | 105,128           | 440,758             | 2 243,05                   | 2 683,81            | 1,414 08                                |
| 0,3      | 30      | 107,434           | 450,510             | 2 236,86                   | 2 687,37            | 1,313 11                                |
| 0,4      | 40      | 109,600           | 459,676             | 2 231,02                   | 2 690,69            | 1,225 99                                |
| 0,5      | 50      | 111,642           | 468,331             | 2 225,47                   | 2 693,80            | 1,150 03                                |
| 0,6      | 60      | 113,577           | 476,534             | 2 220,19                   | 2 696,72            | 1,083 20                                |
| 0,7      | 70      | 115,416           | 484,336             | 2 215,13                   | 2 699,47            | 1,023 92                                |
| 0,8      | 80      | 117,169           | 491,779             | 2 210,29                   | 2 702,07            | 0,970 98                                |
| 0,9      | 90      | 118,844           | 498,898             | 2 205,64                   | 2 704,54            | 0,923 40                                |
| 1,0      | 100     | 120,449           | 505,725             | 2 201,16                   | 2 706,88            | 0,880 39                                |
| 1,1      | 110     | 121,991           | 512,284             | 2 196,83                   | 2 709,12            | 0,841 33                                |
| 1,2      | 120     | 123,474           | 518,599             | 2 192,65                   | 2 711,25            | 0,805 68                                |
| 1,3      | 130     | 124,903           | 524,690             | 2 188,60                   | 2 713,29            | 0,773 01                                |
| 1,4      | 140     | 126,283           | 530,574             | 2 184,67                   | 2 715,25            | 0,742 97                                |
| 1,5      | 150     | 127,617           | 536,266             | 2 180,86                   | 2 717,13            | 0,715 23                                |
| 1,6      | 160     | 128,909           | 541,781             | 2 177,15                   | 2 718,93            | 0,689 56                                |
| 1,7      | 170     | 130,161           | 547,130             | 2 173,54                   | 2 720,67            | 0,665 71                                |
| 1,8      | 180     | 131,376           | 552,324             | 2 170,02                   | 2 722,34            | 0,643 50                                |
| 1,9      | 190     | 132,557           | 557,374             | 2 166,58                   | 2 723,96            | 0,622 76                                |
| 2,0      | 200     | 133,705           | 562,289             | 2 163,23                   | 2 725,52            | 0,603 36                                |
| 2,2      | 220     | 135,913           | 571,742             | 2 156,74                   | 2 728,48            | 0,568 06                                |
| 2,4      | 240     | 138,011           | 580,741             | 2 150,53                   | 2 731,27            | 0,536 76                                |
| 2,6      | 260     | 140,013           | 589,333             | 2 144,55                   | 2 733,89            | 0,508 82                                |
| 2,8      | 280     | 141,927           | 597,559             | 2 138,80                   | 2 736,36            | 0,483 71                                |
| 3,0      | 300     | 143,762           | 605,453             | 2 133,24                   | 2 738,70            | 0,461 02                                |
| 3,2      | 320     | 145,525           | 613,044             | 2 127,87                   | 2 740,92            | 0,440 41                                |
| 3,4      | 340     | 147,221           | 620,357             | 2 122,67                   | 2 743,02            | 0,421 61                                |
| 3,6      | 360     | 148,858           | 627,417             | 2 117,61                   | 2 745,03            | 0,404 38                                |
| 3,8      | 380     | 150,438           | 634,242             | 2 112,70                   | 2 746,94            | 0,388 54                                |
| 4,0      | 400     | 151,966           | 640,849             | 2 107,92                   | 2 748,77            | 0,373 92                                |
| 4,5      | 450     | 155,584           | 656,515             | 2 096,49                   | 2 753,00            | 0,341 86                                |
| 5,0      | 500     | 158,949           | 671,117             | 2 085,70                   | 2 756,82            | 0,314 96                                |
| 5,5      | 550     | 162,098           | 684,811             | 2 075,47                   | 2 760,28            | 0,292 06                                |
| 6,0      | 600     | 165,059           | 697,720             | 2 065,72                   | 2 763,44            | 0,272 32                                |
| 6,5      | 650     | 167,858           | 709,944             | 2 056,39                   | 2 766,33            | 0,255 12                                |
| 7,0      | 700     | 170,513           | 721,561             | 2 047,43                   | 2 768,99            | 0,239 99                                |
| 7,5      | 750     | 173,039           | 732,641             | 2 038,81                   | 2 771,45            | 0,226 58                                |
| 8,0      | 800     | 175,451           | 743,238             | 2 030,49                   | 2 773,72            | 0,214 61                                |
| 8,5      | 850     | 177,759           | 753,400             | 2 022,43                   | 2 775,83            | 0,203 85                                |
| 9,0      | 900     | 179,974           | 763,168             | 2 014,63                   | 2 777,80            | 0,194 13                                |
| 9,5      | 950     | 182,103           | 772,576             | 2 007,05                   | 2 779,62            | 0,185 31                                |
| 10,0     | 1 000   | 184,154           | 781,656             | 1 999,67                   | 2 781,33            | 0,177 26                                |
| 10,5     | 1 050   | 186,133           | 790,433             | 1 992,49                   | 2 782,92            | 0,169 88                                |
| 11,0     | 1 100   | 188,045           | 798,931             | 1 985,48                   | 2 784,41            | 0,163 10                                |
| 11,5     | 1 150   | 189,897           | 807,171             | 1 978,63                   | 2 785,80            | 0,156 84                                |
| 12,0     | 1 200   | 191,691           | 815,171             | 1 971,94                   | 2 787,11            | 0,151 05                                |
| 12,5     | 1 250   | 193,432           | 822,948             | 1 965,38                   | 2 788,33            | 0,145 67                                |
| 13,0     | 1 300   | 195,123           | 830,515             | 1 958,96                   | 2 789,48            | 0,140 66                                |
| 13,5     | 1 350   | 196,767           | 837,888             | 1 952,67                   | 2 790,56            | 0,135 98                                |
| 14,0     | 1 400   | 198,368           | 845,077             | 1 946,49                   | 2 791,57            | 0,131 60                                |
| 14,5     | 1 450   | 199,928           | 852,093             | 1 940,42                   | 2 792,51            | 0,127 50                                |
| 15,0     | 1 500   | 201,450           | 858,947             | 1 934,46                   | 2 793,40            | 0,123 64                                |
| 15,5     | 1 550   | 202,934           | 865,648             | 1 928,59                   | 2 794,24            | 0,120 01                                |
| 16,0     | 1 600   | 204,384           | 872,203             | 1 922,82                   | 2 795,02            | 0,116 59                                |
| 17,0     | 1 700   | 207,188           | 884,907             | 1 911,53                   | 2 796,44            | 0,110 29                                |
| 18,0     | 1 800   | 209,873           | 897,116             | 1 900,57                   | 2 797,68            | 0,104 63                                |
| 19,0     | 1 900   | 212,450           | 908,873             | 1 889,89                   | 2 798,77            | 0,099 52                                |
| 20,0     | 2 000   | 214,930           | 920,220             | 1 879,49                   | 2 799,71            | 0,094 88                                |
| 21,0     | 2 100   | 217,319           | 931,192             | 1 869,32                   | 2 800,51            | 0,090 64                                |
| 22,0     | 2 200   | 219,626           | 941,818             | 1 859,38                   | 2 801,20            | 0,086 76                                |
| 23,0     | 2 300   | 221,857           | 952,125             | 1 849,65                   | 2 801,77            | 0,083 19                                |

| Presión manométrica |        | Temperatura<br>°C | Entalpia Especifica |                            |                     | Volumen<br>especifico<br>vapor<br>m <sup>3</sup> /kg |
|---------------------|--------|-------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|--|
| bar                 | kPa    |                   | Agua (hf)<br>kJ/kg  | Evaporación (hfg)<br>kJ/kg | Vapor (hg)<br>kJ/kg |  |
| 24                  | 2 400  | 224,017           | 962,13              | 1 840,11                   | 2 802,24            | 0,079 906  |
| 25                  | 2 500  | 226,112           | 971,87              | 1 830,74                   | 2 802,62            | 0,076 858  |
| 26                  | 2 600  | 228,145           | 981,36              | 1 821,55                   | 2 802,91            | 0,074 028  |
| 27                  | 2 700  | 230,121           | 990,60              | 1 812,51                   | 2 803,11            | 0,071 393  |
| 28                  | 2 800  | 232,044           | 999,62              | 1 803,61                   | 2 803,24            | 0,068 933  |
| 29                  | 2 900  | 233,916           | 1 008,44            | 1 794,86                   | 2 803,30            | 0,066 632  |
| 30                  | 3 000  | 235,741           | 1 017,06            | 1 786,23                   | 2 803,28            | 0,064 473  |
| 31                  | 3 100  | 237,521           | 1 025,49            | 1 777,72                   | 2 803,21            | 0,062 445  |
| 32                  | 3 200  | 239,259           | 1 033,74            | 1 769,32                   | 2 803,07            | 0,060 535  |
| 33                  | 3 300  | 240,957           | 1 041,83            | 1 761,04                   | 2 802,87            | 0,058 734  |
| 34                  | 3 400  | 242,617           | 1 049,77            | 1 752,85                   | 2 802,62            | 0,057 031  |
| 35                  | 3 500  | 244,241           | 1 057,55            | 1 744,77                   | 2 802,32            | 0,055 420  |
| 36                  | 3 600  | 245,831           | 1 065,20            | 1 736,77                   | 2 801,97            | 0,053 893  |
| 37                  | 3 700  | 247,389           | 1 072,71            | 1 728,86                   | 2 801,57            | 0,052 443  |
| 38                  | 3 800  | 248,915           | 1 080,09            | 1 721,04                   | 2 801,13            | 0,051 065  |
| 39                  | 3 900  | 250,411           | 1 087,35            | 1 713,29                   | 2 800,64            | 0,049 753  |
| 40                  | 4 000  | 251,879           | 1 094,50            | 1 705,62                   | 2 800,12            | 0,048 503  |
| 41                  | 4 100  | 253,320           | 1 101,53            | 1 698,02                   | 2 799,55            | 0,047 311  |
| 42                  | 4 200  | 254,735           | 1 108,46            | 1 690,49                   | 2 798,95            | 0,046 171  |
| 43                  | 4 300  | 256,126           | 1 115,28            | 1 683,02                   | 2 798,30            | 0,045 082  |
| 44                  | 4 400  | 257,492           | 1 122,01            | 1 675,62                   | 2 797,63            | 0,044 039  |
| 45                  | 4 500  | 258,835           | 1 128,64            | 1 668,28                   | 2 796,92            | 0,043 040  |
| 46                  | 4 600  | 260,156           | 1 135,19            | 1 660,99                   | 2 796,18            | 0,042 082  |
| 47                  | 4 700  | 261,455           | 1 141,64            | 1 653,76                   | 2 795,40            | 0,041 162  |
| 48                  | 4 800  | 262,735           | 1 148,02            | 1 646,58                   | 2 794,60            | 0,040 278  |
| 49                  | 4 900  | 263,994           | 1 154,31            | 1 639,45                   | 2 793,76            | 0,039 428  |
| 50                  | 5 000  | 265,234           | 1 160,53            | 1 632,36                   | 2 792,90            | 0,038 610  |
| 51                  | 5 100  | 266,456           | 1 166,68            | 1 625,33                   | 2 792,00            | 0,037 823  |
| 52                  | 5 200  | 267,660           | 1 172,75            | 1 618,33                   | 2 791,08            | 0,037 064  |
| 53                  | 5 300  | 268,847           | 1 178,75            | 1 611,38                   | 2 790,14            | 0,036 332  |
| 54                  | 5 400  | 270,017           | 1 184,69            | 1 604,48                   | 2 789,16            | 0,035 626  |
| 55                  | 5 500  | 271,171           | 1 190,56            | 1 597,60                   | 2 788,17            | 0,034 943  |
| 56                  | 5 600  | 272,309           | 1 196,37            | 1 590,77                   | 2 787,14            | 0,034 284  |
| 57                  | 5 700  | 273,432           | 1 202,12            | 1 583,97                   | 2 786,10            | 0,033 647  |
| 58                  | 5 800  | 274,541           | 1 207,82            | 1 577,21                   | 2 785,03            | 0,033 030  |
| 59                  | 5 900  | 275,635           | 1 213,45            | 1 570,48                   | 2 783,94            | 0,032 433  |
| 60                  | 6 000  | 276,716           | 1 219,04            | 1 563,78                   | 2 782,82            | 0,031 855  |
| 61                  | 6 100  | 277,783           | 1 224,56            | 1 557,12                   | 2 781,68            | 0,031 295  |
| 62                  | 6 200  | 278,836           | 1 230,04            | 1 550,48                   | 2 780,52            | 0,030 752  |
| 63                  | 6 300  | 279,878           | 1 235,47            | 1 543,87                   | 2 779,34            | 0,030 225  |
| 64                  | 6 400  | 280,907           | 1 240,85            | 1 537,29                   | 2 778,14            | 0,029 713  |
| 65                  | 6 500  | 281,923           | 1 246,19            | 1 530,73                   | 2 776,92            | 0,029 217  |
| 66                  | 6 600  | 282,928           | 1 251,48            | 1 524,20                   | 2 775,67            | 0,028 734  |
| 67                  | 6 700  | 283,922           | 1 256,72            | 1 517,69                   | 2 774,41            | 0,028 265  |
| 68                  | 6 800  | 284,905           | 1 261,93            | 1 511,20                   | 2 773,13            | 0,027 809  |
| 69                  | 6 900  | 285,877           | 1 267,09            | 1 504,74                   | 2 771,82            | 0,027 366  |
| 70                  | 7 000  | 286,838           | 1 272,21            | 1 498,29                   | 2 770,50            | 0,026 934  |
| 71                  | 7 100  | 287,789           | 1 277,29            | 1 491,87                   | 2 769,16            | 0,026 514  |
| 72                  | 7 200  | 288,730           | 1 282,34            | 1 485,47                   | 2 767,80            | 0,026 105  |
| 73                  | 7 300  | 289,661           | 1 287,34            | 1 479,08                   | 2 766,42            | 0,025 707  |
| 74                  | 7 400  | 290,582           | 1 292,31            | 1 472,71                   | 2 765,03            | 0,025 318  |
| 75                  | 7 500  | 291,494           | 1 297,25            | 1 466,36                   | 2 763,61            | 0,024 939  |
| 76                  | 7 600  | 292,397           | 1 302,15            | 1 460,03                   | 2 762,18            | 0,024 570  |
| 77                  | 7 700  | 293,292           | 1 307,02            | 1 453,71                   | 2 760,73            | 0,024 210  |
| 78                  | 7 800  | 294,177           | 1 311,86            | 1 447,40                   | 2 759,26            | 0,023 858  |
| 79                  | 7 900  | 295,054           | 1 316,67            | 1 441,11                   | 2 757,78            | 0,023 515  |
| 80                  | 8 000  | 295,922           | 1 321,45            | 1 434,83                   | 2 756,27            | 0,023 179  |
| 81                  | 8 100  | 296,782           | 1 326,19            | 1 428,56                   | 2 754,75            | 0,022 852  |
| 82                  | 8 200  | 297,635           | 1 330,91            | 1 422,31                   | 2 753,22            | 0,022 532  |
| 83                  | 8 300  | 298,479           | 1 335,60            | 1 416,06                   | 2 751,66            | 0,022 219  |
| 84                  | 8 400  | 299,316           | 1 340,26            | 1 409,83                   | 2 750,09            | 0,021 913  |
| 85                  | 8 500  | 300,145           | 1 344,90            | 1 403,60                   | 2 748,50            | 0,021 614  |
| 86                  | 8 600  | 300,967           | 1 349,51            | 1 397,39                   | 2 746,90            | 0,021 322  |
| 87                  | 8 700  | 301,781           | 1 354,09            | 1 391,18                   | 2 745,27            | 0,021 035  |
| 88                  | 8 800  | 302,589           | 1 358,65            | 1 384,98                   | 2 743,64            | 0,020 755  |
| 89                  | 8 900  | 303,389           | 1 363,19            | 1 378,79                   | 2 741,98            | 0,020 481  |
| 90                  | 9 000  | 304,183           | 1 367,70            | 1 372,61                   | 2 740,31            | 0,020 212  |
| 92                  | 9 200  | 305,751           | 1 376,66            | 1 360,25                   | 2 736,91            | 0,019 691  |
| 94                  | 9 400  | 307,293           | 1 385,53            | 1 347,92                   | 2 733,45            | 0,019 191  |
| 96                  | 9 600  | 308,810           | 1 394,32            | 1 335,60                   | 2 729,93            | 0,018 710  |
| 98                  | 9 800  | 310,303           | 1 403,04            | 1 323,30                   | 2 726,34            | 0,018 247  |
| 100                 | 10 000 | 311,772           | 1 411,68            | 1 311,00                   | 2 722,68            | 0,017 801  |
| 102                 | 10 200 | 313,220           | 1 420,25            | 1 298,70                   | 2 718,95            | 0,017 372  |
| 104                 | 10 400 | 314,646           | 1 428,76            | 1 286,40                   | 2 715,16            | 0,016 958  |
| 106                 | 10 600 | 316,051           | 1 437,20            | 1 274,10                   | 2 711,30            | 0,016 558  |
| 108                 | 10 800 | 317,436           | 1 445,59            | 1 261,79                   | 2 707,37            | 0,016 171  |
| 110                 | 11 000 | 318,801           | 1 453,92            | 1 249,46                   | 2 703,38            | 0,015 798  |
| 112                 | 11 200 | 320,147           | 1 462,20            | 1 237,12                   | 2 699,31            | 0,015 437  |
| 114                 | 11 400 | 321,475           | 1 470,43            | 1 224,75                   | 2 695,18            | 0,015 087  |
| 116                 | 11 600 | 322,785           | 1 478,61            | 1 212,36                   | 2 690,97            | 0,014 748  |
| 118                 | 11 800 | 324,077           | 1 486,76            | 1 199,94                   | 2 686,70            | 0,014 420  |
| 120                 | 12 000 | 325,353           | 1 494,86            | 1 187,48                   | 2 682,35            | 0,014 101  |

**Ilustración 19. Tablas de vapor saturado.**

Fuente: (Spirax Sarco)



## ANEXO II. FICHA TECNICA INTERCAMBIADOR DE CALOR ALFA LAVAL CB76



**GIAFLEX**

www.alfalaval.si

### CB76 / CBH76

#### Brazed Plate Heat Exchanger

##### General information

Alfa Laval introduced its first brazed plate heat exchanger (BHE) in 1977 and has since continuously developed and optimized its performance and reliability.

Brazing the stainless steel plates together eliminates the need for gaskets and thick frame plates. The brazing material seals and holds the plates together at the contact points ensuring optimal heat transfer efficiency and pressure resistance. The plate design guarantees the longest possible life.

The design options of the brazed heat exchanger are extensive. Different plate patterns are available for various duties and performance specifications. You can choose a standard configuration BHE, or a unit designed according to your own specific needs. The choice is entirely yours.

##### Typical applications

- HVAC heating/cooling
- Refrigerant applications
- Industrial heating/cooling
- Oil cooling

##### Working principles

The heating surface consists of thin corrugated metal plates stacked on top of each other. Channels are formed between the plates and corner ports are arranged so that the two media flow through alternate channels, usually in counter-current flow for the most efficient heat transfer process.

##### Standard design

The plate pack is covered by cover plates. Connections are located in the front or rear cover plate. To improve the heat transfer design, the channel plates are corrugated.

##### Standard materials

|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| Cover plates     | Stainless steel |
| Connections      | Stainless steel |
| Plates           | Stainless steel |
| Brazing material | Copper          |

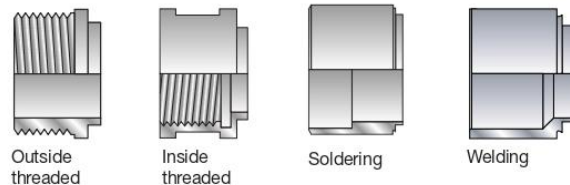


##### Particulars required for quotation

To enable Alfa Laval's representative to make a specific quotation, specify the following particulars in your enquiry:

- required flow rates or heat load
- temperature program
- physical properties of liquids in question
- desired working pressure
- maximum permitted pressure drop

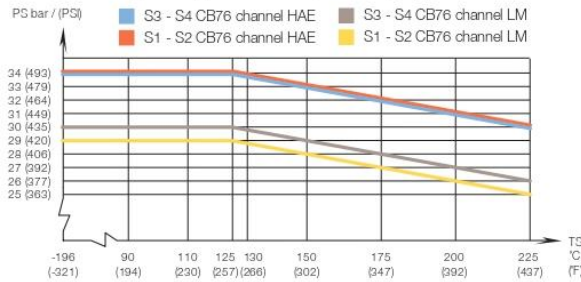
##### Examples of connections



**GIAFLEX**

GIA-S d.o.o., Industrijska cesta 5, 1290 Grosuplje, Slovenija  
 Telefon: +386 1 7865 300, Telefax: +386 1 7863 568, info@gia.si, www.giaflex.com

### CB76 – PED approval pressure/temperature graph\*

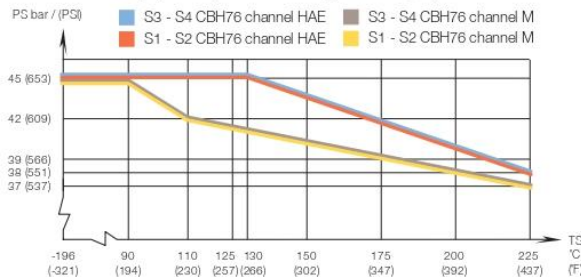


### Standard data

|                                       |                           |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Min. working temperature              | see graph                 |
| Max. working temperature              | see graph                 |
| Min. working pressure                 | Vacuum                    |
| Max. working pressure                 | see graph                 |
| Volume per channel, litres (ga)       | 0.18 - 0.25 (0.05 - 0.07) |
| Max particle size mm (inch)           | 1.2 (0.05)                |
| Max flowrate m <sup>3</sup> /h (gpm)* | 37 (163)                  |
| Min no of plates                      | 10                        |
| Max no of plates                      | 190                       |

\* Water at 5 m/s (16.4 ft/s) (connection velocity)

### CBH76 – PED approval pressure/temperature graph\*



### Standard dimension and weight\*

#### CB76

|                  |  |
|------------------|--|
| A channel        | A measure mm = 10 + (n x 2.5) ± 5          |
|                  | A measure inch = 0.39 + (n x 0.098) ± 0.19 |
| E channel        | A measure mm = 10 + (n x 2.2) ± 5          |
|                  | A measure inch = 0.39 + (n x 0.09) ± 0.19  |
| H, L, M channels | A measure mm = 10 + (n x 2.85) ± 5         |
|                  | A measure inch = 0.39 + (n x 0.09) ± 0.19  |

Weight\*\* kg = 8 + (n x 0.44)  
Weight\*\* lb = 17.6 + (n x 0.97)

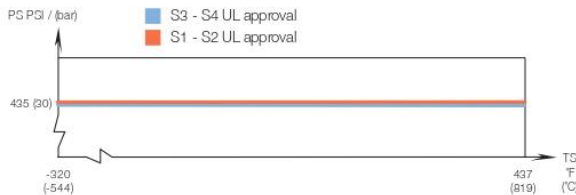
#### CBH76

|               |  |
|---------------|--|
| A channel     | A measure mm = 14 + (n x 2.5) ± 5          |
|               | A measure inch = 0.55 + (n x 0.098) ± 0.19 |
| E channel     | A measure mm = 14 + (n x 2.2) ± 5          |
|               | A measure inch = 0.55 + (n x 0.09) ± 0.19  |
| H, M channels | A measure mm = 14 + (n x 2.85) ± 5         |
|               | A measure inch = 0.39 + (n x 0.11) ± 0.19  |

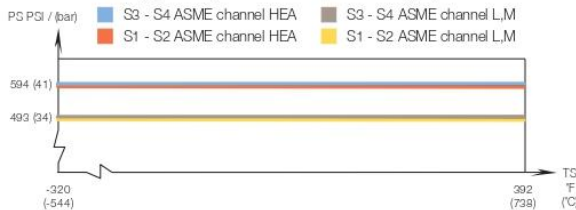
Weight\*\* kg = 10 + (n x 0.44)  
Weight\*\* lb = 22 + (n x 0.97)

\*\* excluding connections  
(n = number of plates)

### CB76 - UL approval pressure/temperature graph\*



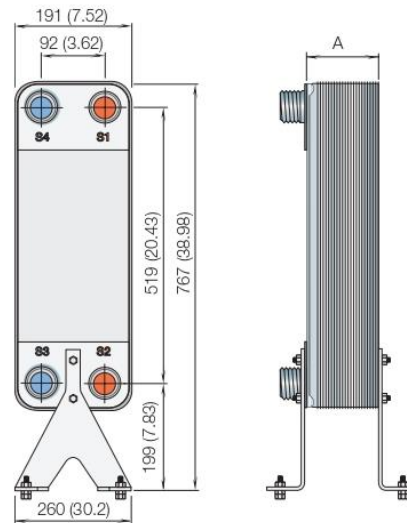
### CB76 - ASME approval pressure/temperature graph\*



### CB76 – KHK approval pressure/temperature graph\*



\* For exact values please contact your local Alfa Laval representative.



PCT00113EN 1003

Alfa Laval reserves the right to change specifications without prior notification.

**How to contact Alfa Laval**  
Up-to-date Alfa Laval contact details for all countries are always available on our website at [www.alfalaval.com](http://www.alfalaval.com).

# GIAFLEX

GIA-S d.o.o., Industrijska cesta 5, 1290 Grosuplje, Slovenija  
Telefon: +386 1 7865 300, Telefax: +386 1 7863 568,  
info@gia.si, [www.giaflex.com](http://www.giaflex.com)

## ANEXO III. FICHA TECNICA SISTEMA DE CONTROL DE PURGA SPIRAX SARCO

El sistema BCS3 está disponible con uno de estos tres tipos de controladores.

El **BC3200** de montaje en pared



El **BC3210** de montaje en panel



El **BC3100** de montaje en rail DIN/placa montaje



El **DS1000** es una unidad opcional de display digital remoto



### La necesidad de purgar

El agua contiene impurezas en forma de gases disueltos, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. El tratamiento químico del agua puede modificar el tipo de impurezas pero no las elimina completamente y normalmente incrementa el nivel de sólidos disueltos.

A medida que el agua se evapora, la concentración total de sólidos disueltos (TDS) se incrementa en el agua de la caldera. Si la concentración de TDS es demasiado alta, el agua de la caldera es arrastrada con el vapor. Este transporte o arrastre puede producir serios problemas en los sistemas de vapor y condensado debidos a la corrosión y a la acumulación de depósitos en las superficies de transferencia de calor.

La consiguiente contaminación del producto no puede ser tolerada en aplicaciones donde el vapor es utilizado para productos alimenticios, bebidas o en procesos de esterilización médica.

Para limitar la concentración de TDS al nivel recomendado por el fabricante de la caldera, es una práctica común el drenar (o purgar) periódicamente el agua de la caldera, y permitir que sea reemplazada por agua de alimentación con relativamente bajo nivel de TDS. La purga excesiva es muy costosa en términos de pérdidas de energía y de aportación de químicos en el tratamiento del agua.

### Control de la purga

Para la medida del nivel de TDS en el agua de la caldera, Spirax Sarco ha desarrollado el sistema de purga de caldera BCS3 que minimiza la cantidad de purga necesaria, reduce el arrastre de agua de la caldera y proporciona el control automático de TDS.

El sistema BCS3 es adecuado para calderas horizontales y verticales y puede ser conectado a sistemas de gestión de la energía en edificios.

### Beneficios

- Permite control automático de TDS de la caldera.
- Evita arrastres debido a altos niveles de TDS.
- Indicación remota de condiciones de trabajo con alarma de nivel alto de TDS alarm y salidas 0- 20/4-20 mA.
- La CP32 proporciona compensación de temperatura sin necesitar una segunda conexión en la caldera.
- Limpieza de la sonda (y compensación por incrustaciones en la CP32) proporciona un control preciso de TDS.

## Los controladores



El **BC3200** es un controlador de montaje en pared con un display LED de 4 dígitos y dos teclas para una puesta en marcha, calibración y funcionamiento sencillo.

### Características:-

- Alimentación 230 V o 115 V (50 - 60 Hz), seleccionable por un interruptor interno.
- Rangos seleccionables (ppm o  $\mu\text{S/cm}$ ), para adecuarse a todo tipo de calderas.
- Display LED de 4 dígitos para TDS (además de estado del sistema, por ej. función de purga o limpieza de sonda).
- Salida relé alarma de nivel alto de TDS, que puede estar cableada para dar una indicación remota.
- Señal de salida 4 - 20/0 - 20 mA.
- Limpieza automática de sonda y compensación por incrustaciones con la sonda CP32 (patentes UK N.º. 2276943 y 2297843).
- Compensación de temperatura, usando la sonda CP32 o una sonda de temperatura adicional y la CP30.
- Opción de display remoto usando el **DS1000**.
- Filtraje electrónico para dar una medida de TDS más representativa en condiciones de grandes turbulencias.
- Seleccionable característica de seguridad.
- Disponible como opción tapa frontal con cierre.

El **BC3210** tiene exactamente las mismas características que el BC3200, pero con una caja adecuada para montar en el panel de la caldera.

El **BC3100** es un controlador para montaje en raíl DIN, con indicador LED de estado de la purga y un potenciómetro para el ajuste del punto de consigna, calibración, y niveles de alarma. Se usa con la sonda CP30 (no con la CP32) para aplicaciones BCS3.

### Características:

- Alimentación 230 V o 115 V (50 - 60 Hz), seleccionable por un interruptor interno.
- Rangos seleccionables (ppm o  $\mu\text{S/cm}$ ), para adecuarse a todo tipo de calderas.
- LED de indicación del estado de purga.
- Salida relé alarma de nivel alto de TDS, que puede estar cableada para dar una indicación remota.
- Señal de salida 4 - 20/0 - 20 mA.
- Interruptor para circuito de limpieza de sonda.
- Compensación de temperatura usando una sonda de temperatura.
- Opción de display local o remoto usando el **DS1000**.

La unidad de display digital **DS1000** es un extra opcional que se puede usar con el controlador BC3100 como display de TDS local o remoto. También se puede usar como unidad de display remoto con los controladores BC3200 y BC3210.

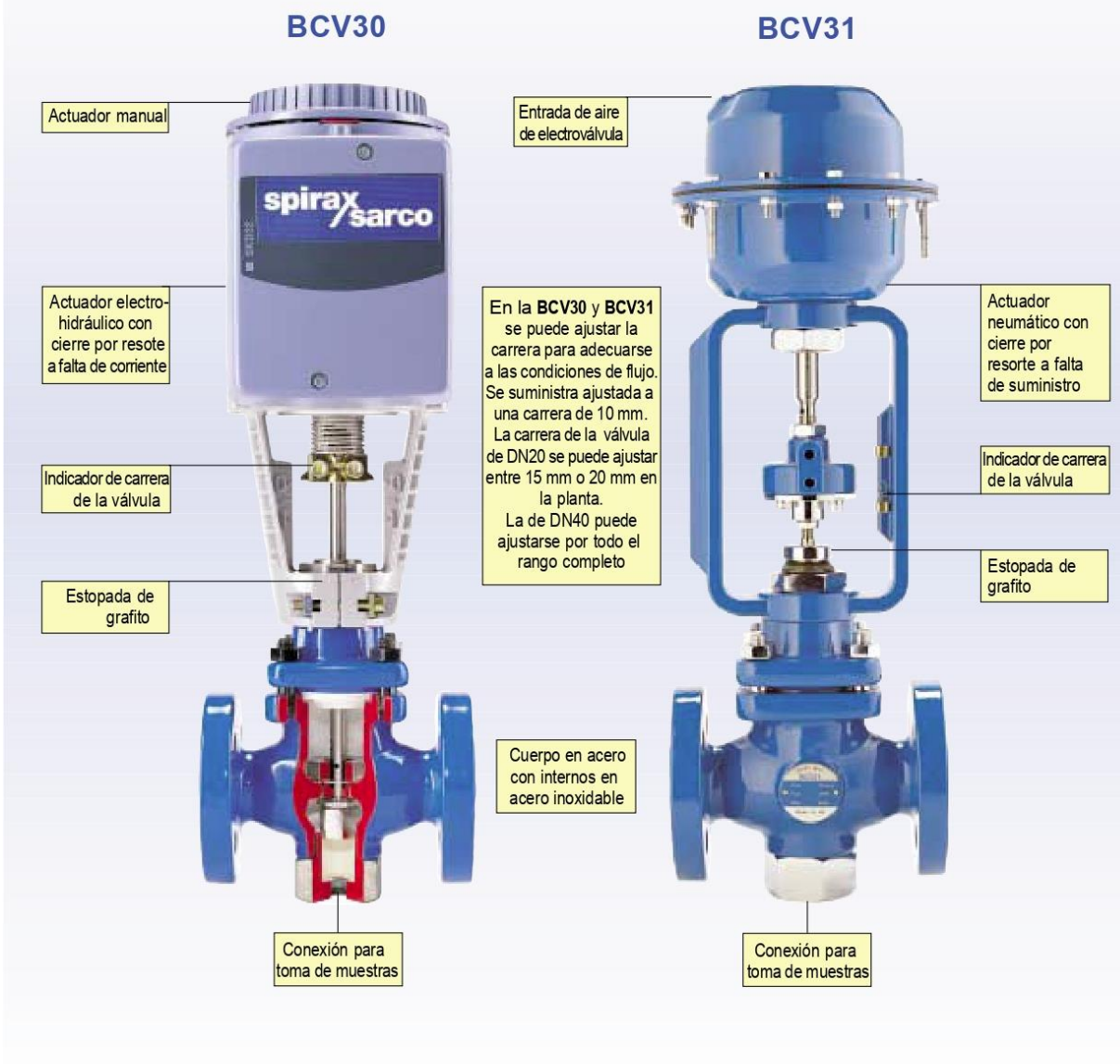
## Las válvulas de purga

Disponemos de dos tipos de válvulas de purga, con actuador electrohidráulico **BCV30**, y con actuador neumático **BCV31**, ambas en tamaños DN20 y DN40.

La válvula de **DN20** tiene una capacidad máxima de caudal de 1 800 kg/h con una presión de caldera de 32 bar r.

La válvula de **DN40** tiene una capacidad máxima de caudal de 11 000 kg/h con una presión de caldera de 32 bar r.

Ambas válvulas pueden ajustarse a diferentes condiciones de caudal.



La **BCV30** y **BCV31** están diseñadas específicamente para aplicaciones de purga de TDS de caldera:-

- El cono asiento aseguran un alineamiento correcto y un cierre hermético.
- Para evitar problemas de erosión del asiento, el cono se retira de asiento antes de que comience el flujo.
- La velocidad del flujo asegura que la suciedad no se deposite en la válvula.

## Las sondas

Disponemos de dos tipos de sondas:

La CP32, con sonda de temperatura incorporada y compensación por incrustaciones, la de un solo electrodo CP30. Las fluctuaciones en la demanda de la caldera de vapor causan variaciones en la temperatura y presión que a su vez altera la conductividad (2% por °C). Por consiguiente la compensación de temperatura muy importante. Antes de la introducción de la CP32, se necesitaba un sensor voluminoso o una segunda conexión en la caldera para una sonda de temperatura, qué a menudo significaba un trabajo extra en la caldera y por tanto, inspección y pruebas.

### CP32

La CP32 es una sonda de conductividad con un que incorpora una sonda de temperatura. Además de detectar la conductividad de agua de la caldera, permite a la sonda detectar y compensar automáticamente incrustaciones o polarización en la varilla, y comienza un ciclo de limpieza de sonda si hay un aumento significativo evitando lecturas incorrectas de TDS. **Atención:** Esta característica no sustituye el correcto tratamiento del agua de la caldera. La presencia de incrustaciones en la sonda también implica la formación en el interior de la caldera, consultar con un especialista en el tratamiento de aguas.

### CP30

La sonda de CP30 es sonda de un solo sensor para usar dónde no se requiere compensación de temperatura o cuando se monta una sonda de temperatura separada. No tiene autocompensación por incrustaciones, pero puede limpiarse usando el circuito de limpieza del BC3200 / BC3210, o por el interruptor manual en el BC3100.

## Cálculo del caudal de purga

Antes de seleccionar el sistema de control de TDS para purga de caldera es necesario calcular la cantidad de agua que deberá ser purgada. **Para ello se precisa de la siguiente información:**

1. Los TDS requeridos en el agua de caldera en partes por millón o  $\mu\text{S/cm}$  (B).
2. Los TDS del agua de alimentación en partes por millón o  $\mu\text{S/cm}$  (F). Un valor medio puede ser obtenido mirando los registros de tratamiento del agua o midiendo una muestra usando el medidor de conductividad Spirax Sarco MS1. **Nota:** la muestra de agua de alimentación que se requiere es de la línea de alimentación a caldera o del tanque de alimentación y no una muestra del agua de aportación.
3. La cantidad de vapor que produce una caldera, normalmente medida en kg/h (S). Para seleccionar un sistema de purga, el valor más importante es normalmente la cantidad máxima de vapor que la caldera pueda generar a plena carga.

**Cuando se dispone de la información anterior, la tasa de purga puede ser calculada como sigue:**

Donde:

F = TDS del agua de alimentación en ppm o  $\mu\text{S/cm}$

B = TDS requeridos en el agua de caldera en ppm or  $\mu\text{S/cm}$

S = Producción de vapor en kg/h

$$\text{Caudal de purga} = \frac{F}{B - F} \times S$$

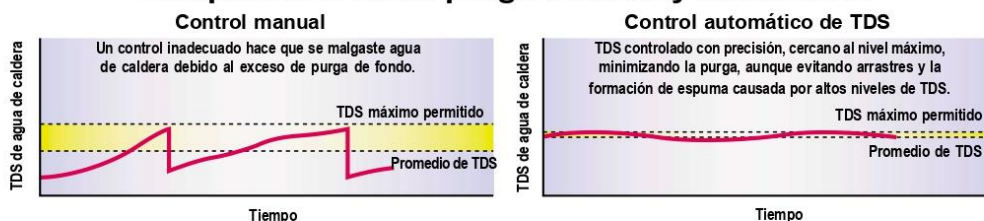
El caudal de purga es dado en kg/h.

## Selección

Habiendo establecido el caudal de purga necesario, verificar en la siguiente tabla que la válvula tiene la capacidad suficiente a la presión de funcionamiento  
**Nota:** Se pueden ajustar carreras intermedias en la BCV30 de DN40, pero no en la de DN20.

| Presión caldera bar r | Capacidad de la válvula de purga en kg/h |               |               |              |               |               |               |
|-----------------------|--|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                       | DN20 BCV30                               |               |               | DN40 BCV30   |               |               |               |
|                       | 10 mm carrera                            | 15 mm carrera | 20 mm carrera | 5 mm carrera | 10 mm carrera | 15 mm carrera | 20 mm carrera |
| 5                     | 380                                      | 530           | 730           | 450          | 2 900         | 3 450         | 3 550         |
| 7                     | 460                                      | 710           | 1 150         | 475          | 3 300         | 4 100         | 4 500         |
| 10                    | 570                                      | 950           | 1 500         | 500          | 3 700         | 4 750         | 5 450         |
| 15                    | 700                                      | 1 150         | 1 650         | 550          | 4 550         | 6 450         | 7 150         |
| 20                    | 780                                      | 1 250         | 1 700         | 800          | 5 750         | 8 100         | 8 650         |
| 32                    | 940                                      | 1 400         | 1 800         | 1 300        | 8 400         | 10 300        | 11 050        |

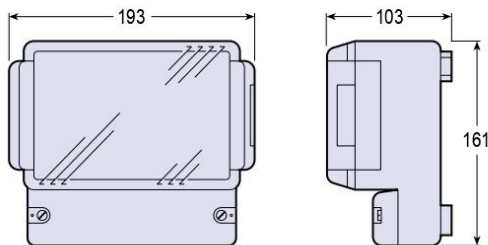
## Comparación entre purga manual y automática



## Información técnica (Dimensiones aproximadas en mm)

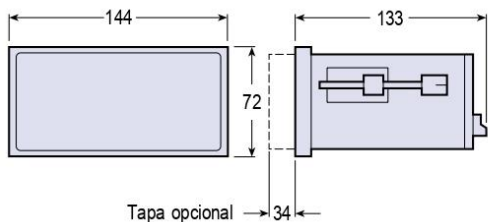
### Controlador BC3200 ▶

|   |
|---|
| Rangos de operación                     |
| 10 - 99 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ )       |
| 100 - 999 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ )     |
| 1 000 - 9 990 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ ) |
| Voltaje 230 V, 115 V                    |
| Frecuencia 50 - 60 Hz                   |
| Máxima temperatura ambiente 55°C        |
| Protección IP65                         |



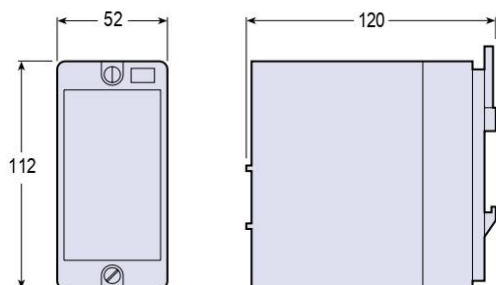
### Controlador BC3210 ▶

|   |
|---|
| Rangos de operación                     |
| 110 - 99 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ )      |
| 100 - 999 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ )     |
| 1 000 - 9 990 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ ) |
| Voltaje 230 V, 115 V                    |
| Frecuencia 50 - 60 Hz                   |
| Máxima temperatura ambiente 55°C        |
| Protección IP65 (solo el panel frontal) |



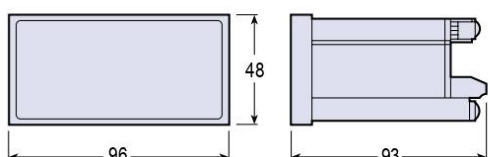
### Controlador BC3100 ▶

|  |
|--|
| Rangos de operación                      |
| 10 - 40 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ )        |
| 40 - 120 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ )       |
| 120 - 400 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ )      |
| 400 - 1 200 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ )    |
| 1 200 - 4 000 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ )  |
| 4 000 - 12 000 (ppm o $\mu\text{S/cm}$ ) |
| Voltaje 230 V, 115 V                     |
| Frecuencia 50 - 60 Hz                    |
| Máxima temperatura ambiente 55°C         |
| Protección IP40                          |



### Unidad visualizadora digital DS1000 ▶

|  |
|--|
| Alimentación lazo 4 - 20 mA  |
| Pre-calibrado para indicar porcentajes                               |
| Can be scaled to suit controller range (in ppm or $\mu\text{S/cm}$ ) |
| Protección IP65 (solo el panel frontal)                              |
| Máxima temperatura ambiente 50°C                                     |

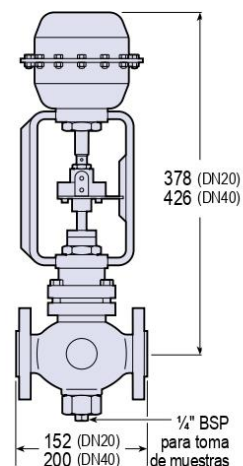
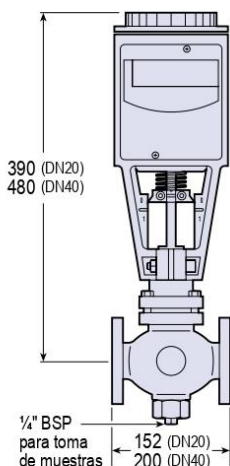


### ◀ Válvula de purga BCV30

|  |
|--|
| Válvula en acero al carbono DN20 y DN40, bridas BS 4504 PN40 |
| También disponible BS 10 Tabla 'H' y BS 1560 Clase 300       |
| Presión máxima 32 bar r                                      |
| Partes internas en acero inoxidable                          |
| Actuador electrohidráulico con volante manual                |
| Voltaje 230 V, 115 V, 24 V                                   |
| Frecuencia 50 - 60 Hz  |

### Válvula de purga BCV31 ▶

|  |
|--|
| Válvula en acero al carbono DN20 y DN40, bridas BS 4504 PN40 |
| También disponible BS 10 Tabla 'H' y BS 1560 Clase 300       |
| Presión máxima 32 bar r                                      |
| Partes internas en acero inoxidable                          |
| Actuador neumático   |
| Rango presión aire 2 a 6 bar r                               |
| Consumo aire (carrera 20 mm) 0,33 litros                     |



## Información técnica (Dimensiones aproximadas en mm)

### Sonda de conductividad CP32

|   |
|---|
| Máxima presión de caldera 32 bar r                      |
| Temperatura máxima 239°C                                |
| Longitudes de varilla disponibles (mm) 300, 500 y 1 000 |

### Sonda de conductividad CP30

|   |
|---|
| Máxima presión de caldera 32 bar r                            |
| Temperatura máxima 239°C                                      |
| Longitudes de varilla disponibles (mm) 300, 500, 1 000, 1 500 |
| Se puede cortar a la longitud exacta requerida                |

### Codo sonda (solo para DN20)

| Tamaño                     | Conexión a caldera       | Referencia |
|----------------------------|--------------------------|------------|
| DN15                       | PN40 (BS 10 Tabla D,E,F) | PE1        |
| DN20                       | PN40 (BS 10 Tabla D,E,F) | PE2        |
| DN25                       | PN40                     | PE3        |
| DN15 / 20                  | BS 10 Tabla H            | PE4        |
| DN25                       | BS 10 Tabla F y H        | PE5        |
| Material:<br>Acero fundido |                          |            |

### Equipos asociados

|  |
|--|
| <b>Sonda de temperatura EL2270</b><br>Longitudes de varilla (mm) 25, 50, 75, 125, 225, 725       |
| <b>Válvula de retención DCV2</b><br>Acero inoxidable, diseño montaje entre bridas DN20, PN40     |
| <b>Válvula de interrupción G3</b><br>Acero al carbono DN20, PN40 asiento y obturador acero inox. |

## Como especificar

Controlador de purga programable de montaje en pared (o panel) con display LED de cuatro dígitos y circuito de limpieza de sonda.

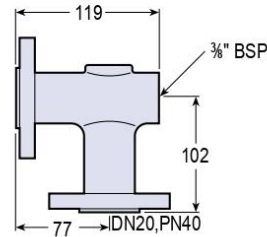
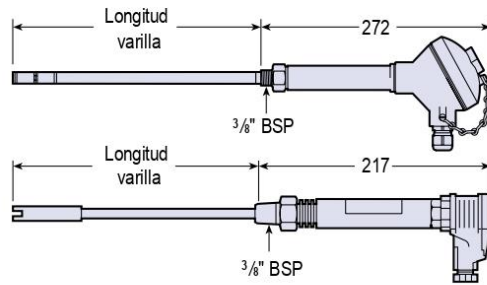
o

Controlador de purga de montaje en rail DIN/placa montaje con circuito de limpieza de sonda.

Sonda de conductividad, longitud de varilla 500 mm.

Codo sonda, acero, DN20, PN40

Válvula de purga de DN20 con bridas BS 4504 PN40 con actuador electrohidráulico (neumático). Partes internas en acero inoxidable. Cierra a falta de suministro.



### Accesorios

|  |
|--|
| <b>Electroválvula</b> (solo BCV31).  |
| <b>Filtro regulador MP2</b> (solo BCV31).  |
| <b>Enfriador de muestras SCS20</b>   |
| <b>Filtro</b> - recomendado para instalaciones con la conexión en la tubería de purga de fondos. |
| <b>Medidor de conductividad MS1.</b>   |

## Como pasar pedido

**Controlador** BC3200 o BC3210 o BC3100

**Unidad visualizadora** DS1000

**Válvula de purga** BCV30 o BCV31  
(DN20 o DN40)  
bridas BS 4504 PN40

**Sonda conductividad** CP32 o CP30, long. varilla 500 mm

**Codo sonda** PE1, PE2, PE3, PE4 o PE5  
(solo DN20)

**Válvula interrupción** G3, DN20, PN40

**Válvula retención** DCV2, DN20, PN40

**Sensor temperatura** EL2270, long. varilla 75 mm  
(no se requiere con con la CP32)

Algunos de los productos descritos pueden no estar disponibles en ciertos países.

BC32

Spirax Sarco S.A.  
Sant Josep, 130, 08980 Sant Feliu de Llobregat  
Tel.: (+34) 936 857 929 Fax: (+34) 936 857 011  
E-mail: spiraxsarco@es.spiraxsarco.com  
Internet: www.SpiraxSarco.com/es

© Copyright 2001 Spirax Sarco is a registered trademark of Spirax-Sarco Limited

**spirax sarco**

SB-P403-03

AB Issue 7



## ANEXO III. FICHA TECNICA SONDA GESTRA LRGT 17-1

### Technical data

#### LRGT 16-1, LRGT 16-2, LRGT 17-1

##### Service pressure

LRGT 16-1: 32 bar at 238°C

LRGT 16-2: 32 bar at 238°C

LRGT 17-1: 60 bar at 275°C

##### Mechanical connection

Thread G1 A, ISO 228

##### Materials

Screw-in body: 1.4571, X6CrNiMoTi17-12-2

Measuring electrode(s): 1.4571, X6CrNiMoTi17-12-2

Electrode rod insulation: PTFE

Terminal box: 3.2161 GAISI8Cu3

LRGT 16-1, LRGT 17-1: Measuring tube/screw 1.4571, X6CrNiMoTi17-12-2

LRGT 16-1, LRGT 16-2: Spacer discs PTFE / PEEK

LRGT 17-1: Spacer discs PEEK HT

##### Measuring length and installed length (electrode rod cannot be cut)

LRGT 16-1, LRGT 17-1: 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 mm (for marine applications: max. 400 mm)

LRGT 16-1: 180, 300, 380, 500, 600, 800, 1000 mm

##### Temperature sensor

Resistance thermometer Pt 1000

##### Electronic circuit board

##### Supply voltage

24 V DC +/- 20%

##### Power consumption

4.5 W

##### Fuse

Electronic thermal fuse  $T_{max} = 85\text{ °C}$ , hysteresis – 2 K.

##### Cycle of measurement

1 sec.

##### Temperature compensation

Linear,  $T_k$  adjustable via code switch:

- 0 % per °C,
- 1.6 – 3.0 % per °C in increments of 0.1.

##### Time constant T (measured using the two-bath process)

Temperature: 9 sec., conductivity: 14 sec.

##### Indicators and controls

2 LEDs for status messages

1 ten-pole code switch for setting:

- Measuring range
- Temperature coefficient
- Cell constant
- Function test

##### Electrical connection

EMC cable gland with integrated cable clamp, M 20 x 1.5

five-pole screw-type terminal strip, detachable, conductor size 1.5 mm<sup>2</sup>

## Technical data continued

### LRGT 16-1, LRGT 16-2, LRGT 17-1 continued

#### LRGT 16-1, LRGT 17-1

| Measuring ranges*) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ at 25 °C)      |       | Current output mA = $\mu\text{S}/\text{cm}$ |                      |
|---|-------|---|----------------------|
| Preferred measuring range up to 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ |       | 4 mA corresponds to                         | 20 mA corresponds to |
| 0.5   | 20    | 0.5   | 20                   |
|   | 100   |   | 100                  |
|   | 200   |   | 200                  |
|   | 500   |   | 500                  |
|   | 1000  |   | 1000                 |
|   | 2000  |   | 2000                 |
|   | 6000  |   | 6000                 |
|   | 12000 |   | 12000                |

#### LRGT 16-2

| Measuring ranges*) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ at 25 °C) |       | Current output mA = $\mu\text{S}/\text{cm}$ |                      |
|--|-------|---|----------------------|
|  |       | 4 mA corresponds to                         | 20 mA corresponds to |
| 100  | 3000  | 100   | 3000                 |
|  | 5000  |   | 5000                 |
|  | 7000  |   | 7000                 |
|  | 10000 |   | 10000                |

Selected via code switch. Maximum load for actual-value output 750 ohm.

\*) **Conversion**  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in ppm (parts per million): 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  = 0.5 ppm

#### Protection

IP 65 to EN 60529

#### Admissible ambient temperature

Max. 70°C

#### Storage and transport temperature

- 40 to + 80°C

#### Weight

Approx. 2.5 kg

#### Approvals

TUV Certificate

VdTÜV Bulletin "Wasserüberwachung 100" (= Water Monitoring 100):  
Requirements for water monitoring equipment.

Type approval no.: TÜV · WÜL · XX-003, XX-017 (see name plate)

UL/cUL (CSA) certification

UL 508 and CSA C22.2 No. 14-13, Standards for Industrial Control  
Equipment. File E243189.

Marine applications

In accordance with the guidelines of Germanischer Lloyd GL 33254-06 HH

## Technical data continued

### Scope of supply

#### LRGT 16-1

- 1 Conductivity transmitter LRGT 16-1
- 1 Sealing ring 33 x 39, form D, DIN 7603, 1.4301, bright annealed
- 1 Installation & Operating Instructions

#### LRGT 16-2

- 1 Conductivity transmitter LRGT 16-2
- 1 Sealing ring 33 x 39, form D, DIN 7603, 1.4301, bright annealed
- 1 Installation & Operating Instructions

#### LRGT 17-1

- 1 Conductivity transmitter LRGT 17-1
- 1 Sealing ring 33 x 39, form D, DIN 7603, 1.4301, bright annealed
- 1 Installation & Operating Instructions

### Name plate/markings

| Safety note   |   |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
|---|---|-----------------|------------------|---------------|---|------------------|-----------------|------------------|---------------|
| Betriebsanleitung beachten<br>See installation instructions<br>Voir instructions de montage   |   |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| <b>LRGT 16-1</b>  | <b>LRGT 16-2</b>  |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| Leitfähigkeitstransmitter<br>Conductivity Transmitter<br>Transmetteur de mesure de conductibilité   | Leitfähigkeitstransmitter<br>Conductivity Transmitter<br>Transmetteur de mesure de conductibilité |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| PN40 G1 1.4571 IP65   | PN40 G1 1.4571 IP65   |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| <table border="1"> <tr> <td>P<sub>max</sub></td> <td>32 bar (464psi)</td> </tr> <tr> <td>T<sub>max</sub></td> <td>238°C (460°F)</td> </tr> </table><br>Tamb = 70°C (158 °F) | P <sub>max</sub>  | 32 bar (464psi) | T <sub>max</sub> | 238°C (460°F) | <table border="1"> <tr> <td>P<sub>max</sub></td> <td>32 bar (464psi)</td> </tr> <tr> <td>T<sub>max</sub></td> <td>238°C (460°F)</td> </tr> </table><br>Tamb = 70°C (158 °F) | P <sub>max</sub> | 32 bar (464psi) | T <sub>max</sub> | 238°C (460°F) |
| P <sub>max</sub>  | 32 bar (464psi)   |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| T <sub>max</sub>  | 238°C (460°F)   |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| P <sub>max</sub>  | 32 bar (464psi)   |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| T <sub>max</sub>  | 238°C (460°F)   |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| 24 V DC   | 4,5 W   |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| 0,25-6000ppm  | 0,5-12000µS/cm  |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| OUT: 4-20 mA / 750 Ω  |   |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| TÜV . WÜL . xx-003/xx-017<br>GL 33254-06-HH   | CE<br>0525  |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |
| GESTRA AG<br>Münchener Str. 77<br>D-28215 Bremen  | Disposal note   |                 |                  |               |   |                  |                 |                  |               |

**Range**

L: 180

200

300

380

400

500

600

700

800

1000

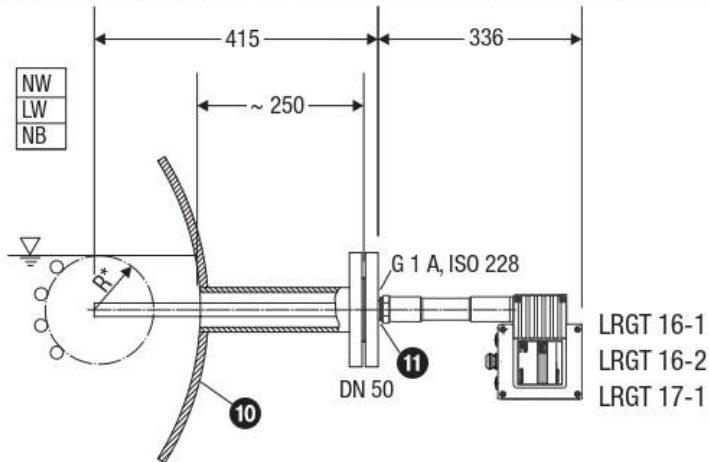
Label stating measuring length & installed length

Fig. 1

## Installation examples

### LRGT 16-1, LRGT 16-2, LRGT 17-1

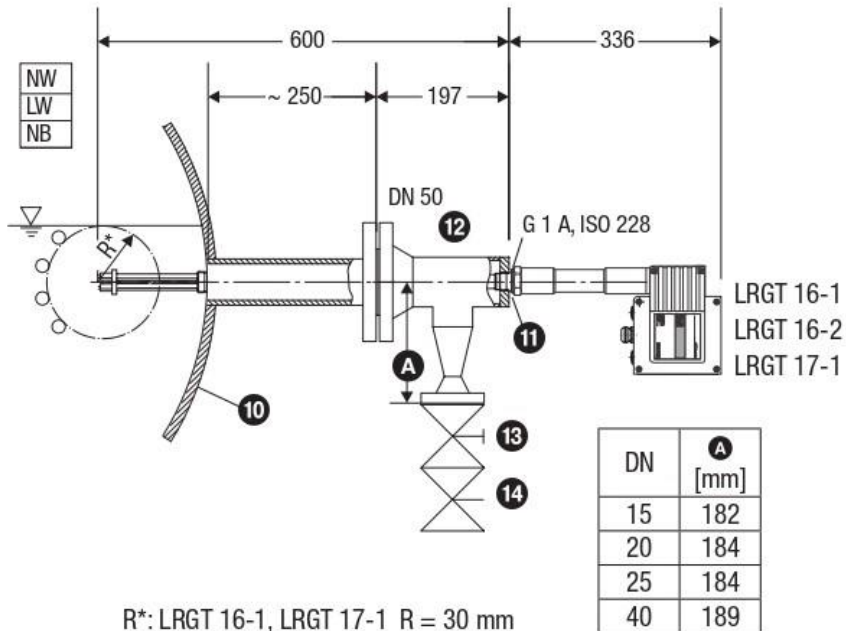
Conductivity monitoring, conductivity transmitter directly installed via flanged connection on side of boiler



**Fig. 6**

R\*: LRGT 16-1, LRGT 17-1 R = 30 mm  
 LRGT 16-2 R = 60 mm

Conductivity monitoring and continuous boiler blowdown, direct installation of conductivity transmitter via T-type connector and connection of a continuous blowdown valve



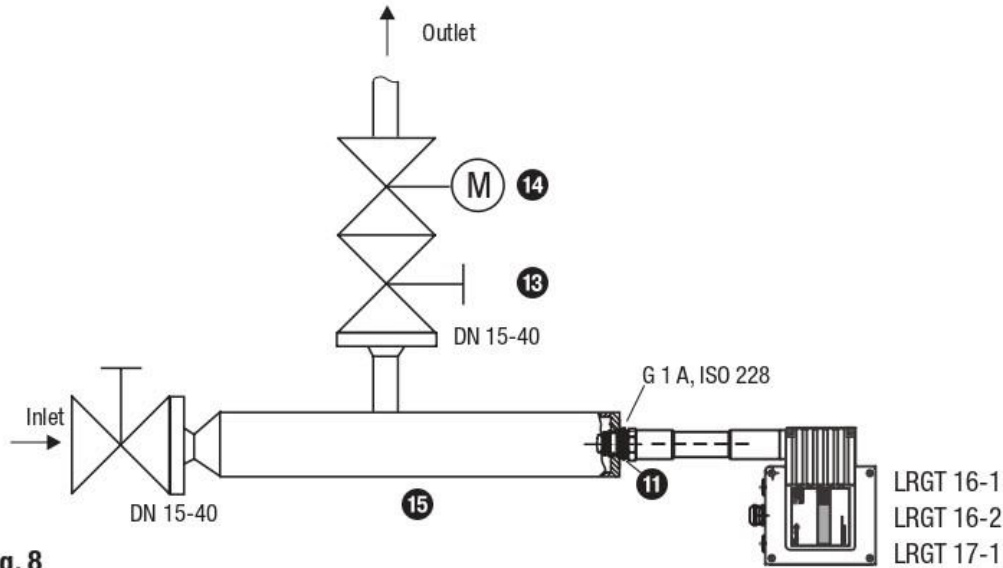
**Fig. 7**

R\*: LRGT 16-1, LRGT 17-1 R = 30 mm  
 LRGT 16-2 R = 60 mm

## Installation examples continued

### LRGT 16-1, LRGT 16-2, LRGT 17-1 continued

Conductivity monitoring and continuous boiler blowdown, installation of conductivity transmitter in the blowdown line via a separate level pot



**Fig. 8**

### Key

- |  |  |
|--|--|
| 10 Boiler drum   | 19 Fixing nut for terminal box                         |
| 11 Sealing ring 33 x 39, form D, DIN 7603, 1.4301, bright annealed | 20 Code switch   |
| 12 T-type connector, provided on boiler, DN 50                     | 21 LED 1 green   |
| 13 Shut-off valve GAV  | 22 LED 2 red   |
| 14 Continuous blowdown valve BAE                                   | 23 Terminal lugs for electrode wires, functional earth |
| 15 Level pot   | 24 Terminal strip                                      |
| 16 Cover screws (cross recess head screws M4)                      | 25 Fixing screw for electronic circuit board           |
| 17 Housing cover   | 26 Connection for functional earth                     |
| 18 EMC cable gland M 20 x 1.5                                      |  |

## Electrical connection

LRGT 16-1, LRGT 16-2, LRGT 17-1

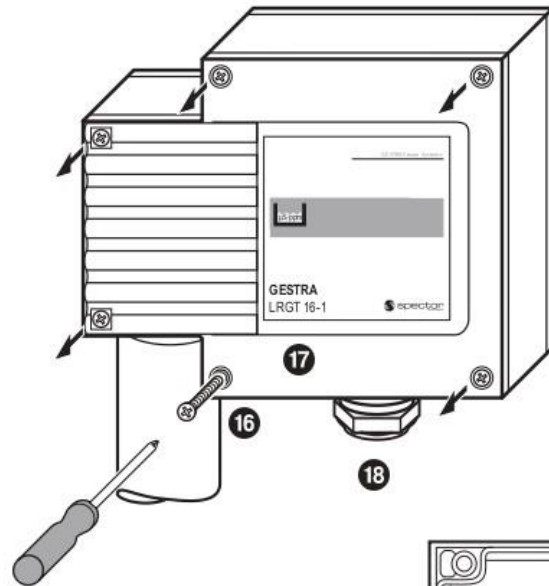


Fig. 9

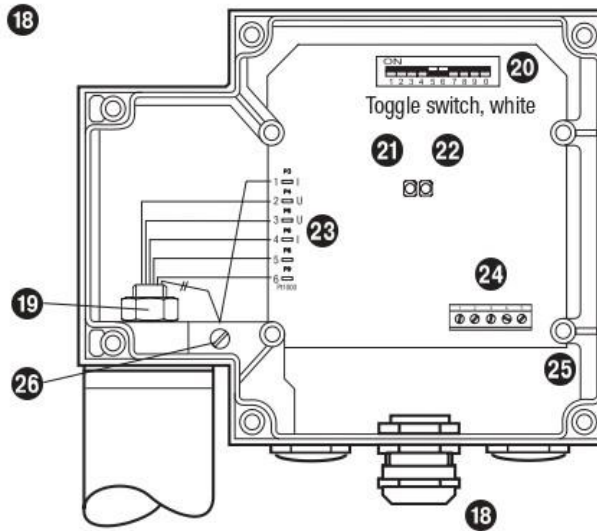


Fig. 10 Diagram of LRGT 16-1  
(shown without cover plate)

## Connection of conductivity transmitter

A self-locking fixing nut 19 connects the terminal box to the electrode part. Before establishing the electrical connection, you can therefore rotate the terminal box max.  $\pm 180^\circ$  into the desired direction (cable outlet).

## Electrical connection continued

### Connecting LRGT 16-1, LRGT 16-2, LRGT 17-1

To connect the conductivity transmitter, please use a screened, multi-core control cable with a min. conductor size of 0.5 mm<sup>2</sup>, e.g. LiYCY 4 x 0.5 mm<sup>2</sup>, max. length: 100 m.

Route connecting cables leading to the equipment separate from power cables.

1. Slacken the screws **16** and remove the housing cover **17**. The arrow on this cover points to the name plate. **Fig. 1, 9**
2. Detach the terminal strip **24** from the circuit board.
3. Unscrew the cap nut **31** of the cable gland **18** and remove the lamellar insert **29**.  
**Fig. 11**
4. Strip the outer sheath of cable **32** and expose the braided screen **28** over a length of approx. 10 – 15 mm.
5. Push the cap nut **31** and lamellar insert **29** with the sealing ring **30** onto the cable.
6. Bend braided screen **28** outwards at right angles (90°).
7. Fold the braided screen **28** towards the outer sheath, i.e. by 180° in total.
8. Push the lamellar insert **29** with sealing ring **30** into the gland body **27**, turn briefly to and fro around the cable axis and snap anti-rotation element into place.
9. Firmly screw on the cap nut **31**.
10. Connect the individual cables to the terminal strip **24** as shown in the wiring diagram.
11. Re-attach the terminal strip **24** to the circuit board.
12. Replace the cover **17** and fasten the cover screws **16**.



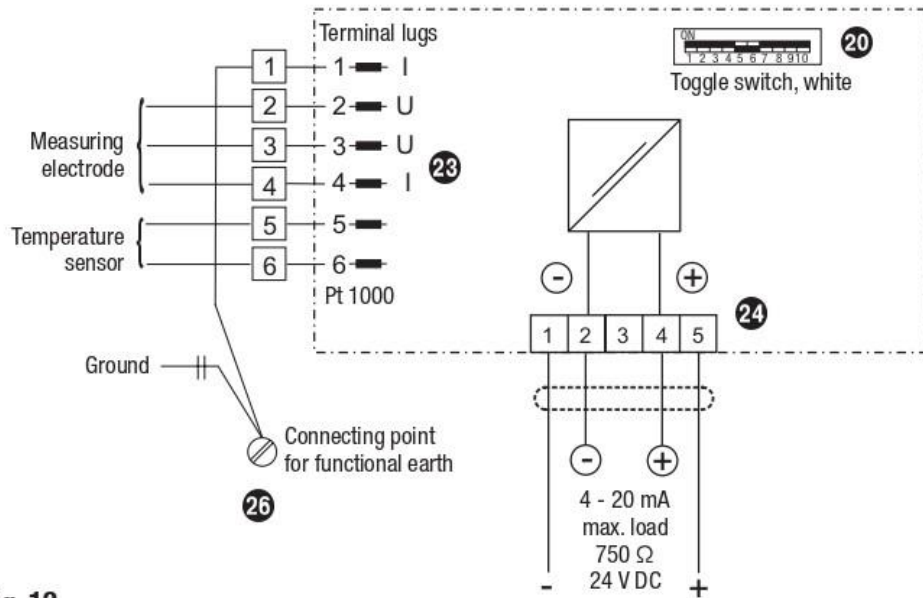
**Fig. 11**

#### Key

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| <b>20</b> Code switch   | <b>28</b> Braided screen  |
| <b>23</b> Terminal lugs for electrode wires, functional earth | <b>29</b> Lamellar insert |
| <b>24</b> Terminal strip                                      | <b>30</b> Sealing ring    |
| <b>26</b> Connection for functional earth                     | <b>31</b> Cap nut         |
| <b>27</b> Gland body  | <b>32</b> Screened cable  |

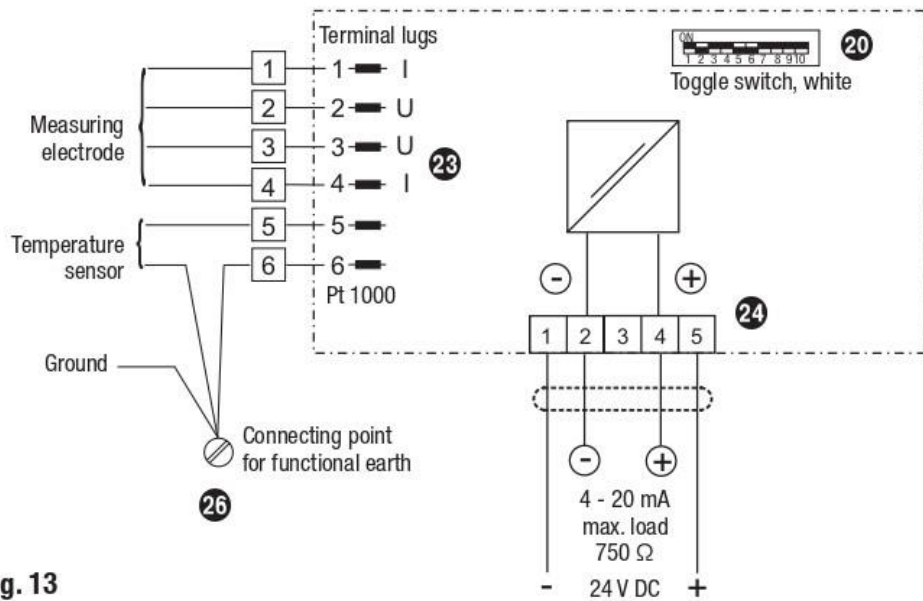
**Electrical connection** continued

**Wiring diagram for conductivity transmitter LRGT 16-1, LRGT 17-1**



**Fig. 12**

**Wiring diagram for conductivity transmitter LRGT 16-2**



**Fig. 13**



## Electrical connection continued

### Safety power supply unit for LRGT 16-1, LRGT 16-2, LRGT 17-1

To supply the conductivity transmitter with 24 V DC, a safety power supply unit (PSU), e.g. Siemens SITOP PSU100C 24V/0.6A, must be used; this must provide a level of isolation against dangerous contact voltages that at least meets the requirements for double or reinforced insulation as per DIN EN 50178 or DIN EN 61010-1 or DIN EN 60730-1 or DIN EN 60950 (electrically protective separation). The PSU must be equipped with a protective device to DIN EN 61010-1.

### Tools

- Screwdriver, size 1
- Screwdriver, size 2.5, fully insulated to VDE 0680-1

## Factory settings

The conductivity transmitter is supplied with the following factory-set default values:

### LRGT 16-1, LRGT 17-1

- Measuring range: 0.5  $\mu\text{S/cm}$  - 500  $\mu\text{S/cm}$  (at 25°C) as the **preferred measuring range**
- Temperature coefficient: 2.1 (% / °C)

### LRGT 16-2

- Measuring range: 100  $\mu\text{S/cm}$  - 7000  $\mu\text{S/cm}$  (at 25°C)
- Temperature coefficient: 2.1 (% / °C)

## Operation

### Correcting the measured value

- If there is a deviation between the indicated conductivity and the measured comparison value, check and change the temperature coefficient  $T_k$  setting. See page 20 for procedure and setting values.
- Only modify the cell constant if the temperature coefficient setting is **no longer** sufficient for correct compensation.



#### Note

- For the procedures of modifying the cell constant, performing a function test and observing the LEDs, open the terminal box by slackening the screws ⑯ and removing the housing cover ⑰. The arrow on this cover points to the name plate. **Fig. 1, 9**

### Adjusting the cell constant

The factory-set cell constant is a geometric characteristic of the equipment used for calculating conductivity. However, this constant may change over time, e.g. due to dirt deposits.

- Depending on the deviation, set code switch 8 or 9 briefly to ON and then to OFF again.
- Repeat this step until the indicated value matches the measured comparison value.
- If the conductivity transmitter and conductivity controller are physically separated from one another, measure the current at the transmitter or have a second person perform the adjustment.
- If adjustment is no longer possible, remove the transmitter and clean the measuring surface and/or electrodes.



#### Note

Repeat the **cell constant adjustment** procedure until the indicated conductivity matches the measured comparison value. The cell constant can be reset to its default value. To do so, set code switches 8 and 9 simultaneously to ON then back to OFF after approx. 1 second.

| Deviation in indicated conductivity             | Code switch |     |                                  | LED indicator         |                  |
|---|-------------|-----|----------------------------------|-----------------------|------------------|
|   | 8           | 9   | Function                         | green                 | red              |
| None  | OFF         | OFF | No change                        |                       |                  |
| Indicated value below measured comparison value | ON          | OFF | Cell constant increases          |                       | flashing rapidly |
| Indicated value above measured comparison value | OFF         | ON  | Cell constant decreases          | flashing rapidly      |                  |
|   | ON          | ON  | Restores default factory setting | both flashing rapidly |                  |

## Operation continued

### Function test

1. To check the functions of the conductivity transmitter, set code switch 10 to ON. This simulates a value that exceeds the measuring range limit and provides a current output of 20 mA.
2. After finishing the function test, set the code switch back to OFF.

| Code switch 10 | Function test                              |
|----------------|--|
| OFF            | Normal operation                           |
| ON             | Simulation: measuring range limit exceeded |

### LED indicator

The two LEDs in the middle of the electronic circuit board indicate the status of the conductivity transmitter.

| Normal operation                              | Green LED | Red LED | Current output [mA]            |
|---|-----------|---------|--------------------------------|
| Conductivity 0 to + 10 % of measuring range   |           | lit up  | proportional to measured value |
| Conductivity 10 to + 90 % of measuring range  | lit up    | lit up  | proportional to measured value |
| Conductivity 90 to + 100 % of measuring range | lit up    |         | proportional to measured value |

## Maintenance

### Safety note

The equipment may only be installed, wired and commissioned by qualified and competent staff. Retrofitting and maintenance work may only be performed by authorised staff who have achieved a recognised level of competence through specific training.



### Danger

Steam or hot water can escape when the conductivity transmitter is loosened. This presents a risk of severe scalding all over the body! Therefore, only dismantle the conductivity transmitter when the boiler pressure is 0 bar. The conductivity transmitter becomes hot during operation. Risk of severe burns to hands and arms. Make sure that equipment is cold before carrying out installation and maintenance work.

### Cleaning the measuring electrode

The conductivity transmitter may only be installed and removed by qualified specialist staff. Please pay attention to the note in the "Installation" section on pages 11 and 12.

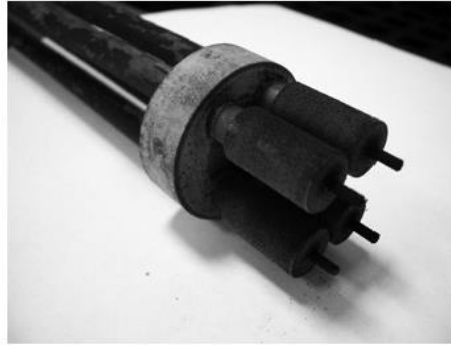
Before cleaning the measuring electrode(s), take the conductivity transmitter out of operation and remove it.

Clean the measuring electrode (**LRGT 16-1, LRGT 17-1**) or electrodes (**LRGT 16-2**):

- Use a fat-free cloth to wipe off loose deposits.
- Use abrasive linen (medium grain, e.g. 400 µm) to remove encrusted deposits.

For **LRGT 16-1, LRGT 17-1** you can also slacken the locking grub screw ④, unscrew the measuring tube ② by hand, and then clean the electrode rod and measuring surface. **Fig. 2**

Example of dirty measuring electrodes



## Maintenance continued



### Danger

Take care not to bend the electrode rod(s), and prevent hard physical shocks to the rod(s).



### Note

After cleaning the electrode rod(s), the conductivity transmitter should indicate the correct conductivity once more, without any changes to settings. It is only necessary to adjust the cell constant in isolated cases.

## Removing and disposing of the conductivity transmitter

### Removing and disposing of conductivity transmitters LRGT 16-1, LRGT 16-2, LRGT 17-1

1. Switch off the supply voltage.
  2. Unscrew the cover screws **16** and remove the housing cover **17**.
  3. Disconnect the connecting wires from terminal strip **24** and pull wires out of the cable gland.
  4. Make sure the equipment is not hot or under pressure before dismantling it.
- Dispose of the conductivity transmitter in accordance with statutory waste disposal provisions.