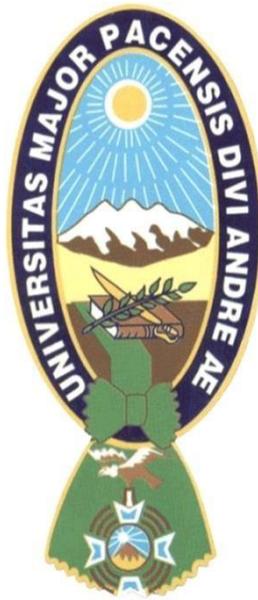


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA



“REDISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR
PARA EL HOSPITAL OBRERO N° 1 DE LA PAZ”

Proyecto de Grado para la obtención del Grado de Licenciatura

POR: VARGAS QUISPE JUAN PABLO

TUTOR: LIC. FLORES TORREJON JAVIER

LA PAZ – BOLIVIA

2022

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

Proyecto de Grado:

**“REDISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR PARA EL
HOSPITAL OBRERO N°1 DE LA PAZ”**

Presentada por:

Univ. Vargas Quispe Juan Pablo

Para optar el Grado Académico de **Licenciado en Electromecánica**

Nota Numeral:

Nota literal:

Ha sido:

Director de la carrera de Electromecánica: M.Sc. Ing. Juan David Castillo Quispe

Tutor: Lic. Javier Flores Torrejon

Tribunal: M.Sc. Lic. Marco Antonio Auza De Bejar

Tribunal: M.Sc. Ing. Marcelo Vásquez Villamor

Tribunal: M.Sc. Lic. Oscar Heredia Vargas

DEDICATORIA.

*A mi abuelo **Carmelo Vargas** por ser el pilar fundamental en mi vida, por la inspiración y motor que fue en vida para mí y por su incondicional apoyo y guía.*

*A mi hermano **Marcelo Vargas Lucana** por ser el promotor de mis sueños, guía y ejemplo a seguir, tu tiempo con nosotros fue breve pero tu esencia se queda conmigo para siempre gracias.*

AGRADECIMIENTO.

Al gerente general de la empresa AXONMED ingeniería medica Boliviana sr. Ariel Linares, por su apoyo en el desarrollo de mi proyecto.

A mi Tutor de proyecto Lic. Javier Flores Torrejón, quien con su conocimiento y su guía fue una pieza clave para que se lograra desarrollar cada etapa de este Proyecto.

RESUMEN

El proyecto de grado tiene como objetivo realizar un estudio del sistema de distribución de vapor en el Hospital Obrero N° 1 del departamento de La Paz con todas las características necesarias para el correcto funcionamiento de las áreas que requieran vapor de agua, así también se proyecta la expansión de la carga de vapor, esto para posibles ampliaciones de capacidad en cualquiera de las áreas que lo requieran.

El caldero de vapor es un sistema muy importante en el hospital ya que se encarga de generar vapor de agua para abastecer a las áreas de lavandería, calefacción y esterilización, sin este equipo estas áreas quedarían paralizadas afectando a los pacientes, es por eso que se debe realizar el estudio adecuado para brindar las condiciones adecuadas al personal y los pacientes.

En el presente proyecto, se muestran las características más importantes que debe tener un generador de vapor así también las condiciones adecuadas que nos deben asegurar un funcionamiento adecuado.

Además el trabajo, explica la estructura y el funcionamiento de las partes más importantes de la caldera y las instalaciones de vapor.

Se realiza un estudio de cargas térmicas a fin de conocer la demanda real de vapor actual, con estos datos obtenidos conocer la capacidad de vapor a generar.

Se realizara él estudio del tratamiento de agua el cual protegerá al caldero de la dureza del agua para que el equipo y el sistema de distribución hacia los diferentes puntos no sufran daños con el paso del tiempo.

ÍNDICE DEL PROYECTO

<i>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES</i>	<i>1</i>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES	5
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.3.1 Identificación del problema.....	7
1.3.2 Formulación del problema.....	8
1.4 OBJETIVOS	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos Específicos.....	9
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	9
1.5.1 Justificación tecnológica	9
1.5.2 Justificación social	9
1.5.3 Justificación económica	10
1.6 LÍMITES Y ALCANCES.....	11
1.6.1 Límites.....	11
1.6.2 Alcances	11
<i>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</i>	<i>13</i>
2.1 Introducción.....	13
2.2 Generalidades	14
2.2.1 Clasificación de las calderas	14
2.2.1.1 Por la energía consumida.....	14
2.2.1.2 Por la disponibilidad de los tubos.....	15
2.2.1.3 Por los métodos de circulación de agua.....	15
2.2.1.4 Por la presión de trabajo.....	16
2.2.2 Por el número de pasos o retornos	17

2.2.2.1	Por la disposición de los tubos	18
2.2.2.2	Por la posición de los calderos	19
2.2.3	Calderas Pirotubulares	19
2.2.4	Partes constitutivas de la Caldera Pirotubular horizontal.....	20
2.2.4.1	La coraza.....	20
2.2.4.2	Cámara de agua	20
2.2.4.3	Cámara de vapor.....	20
2.2.4.4	El hogar o cámara de combustión.....	20
2.2.4.5	El haz de tubos.....	21
2.2.4.6	Tapas.....	21
2.2.4.7	Chimenea.....	22
2.2.4.8	Quemador.	22
2.2.4.9	Bomba de alimentación	23
2.2.4.10	Dispositivos de control y seguridad.	24
2.2.4.11	Accesorios complementarios.....	25
2.3	Funcionamiento.	27
2.4	Aplicaciones	29
2.5	Normas Constructivas de Calderos Pirotubulares.....	30
<i>CAPÍTULO 3. INGENIERÍA DEL PROYECTO.....</i>		32
3.1	Parámetros de Rediseño	32
3.2	Calculo de las dimensiones del caldero a través del software fireCAD.....	36
3.3	Identificación y Descripción de Sistemas y Subsistemas.....	42
3.4	Selección de dispositivos de control y medición para el caldero de vapor.	60
3.5	Generación de Planos de Diseño	64
3.6	Montaje del Caldero	65
3.7	Guía de Operación y Mantenimiento	67

<i>CAPÍTULO 4. COSTOS</i>	74
4.1 Costos de ablandador, quemador y bomba	74
4.2 Costos de Operación	74
4.3 Costo Total Final.....	76
<i>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	78
5.1 CONCLUSIONES	78
5.2 RECOMENDACIONES	79
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	80
<i>ANEXOS</i>	82
Anexo A	82
Anexo B	89

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Fuga dentro el caldero</i>	5
<i>Figura 2. Corrosión y fuga dentro el hogar del caldero</i>	6
<i>Figura 3. Equipos parados por falta de vapor</i>	6
<i>Figura 4. Diagrama de Ishikawa</i>	7
<i>Figura 5. Calderas horizontales RCB</i>	13
<i>Figura 6. Partes principales que constituyen una caldera</i>	19
<i>Figura 7. Quemador</i>	22
<i>Figura 8. Bomba de agua</i>	23
<i>Figura 9. Control de nivel de Agua</i>	24
<i>Figura 10. Presostato de vapor</i>	24
<i>Figura 11. Manómetro</i>	25
<i>Figura 12. Válvula de Seguridad</i>	25
<i>Figura 13. Red de distribución de vapor actual del hospital Obrero</i>	33
<i>Figura 14. Red de distribución de vapor con la demanda requerida y retorno de condensados</i>	35
<i>Figura 15. Parámetros de diseño</i>	36
<i>Figura 16. Calculo de tubos, superficie de calentamiento y eficiencia</i>	37
<i>Figura 17. Disposición de tubos para pasos de humos</i>	39
<i>Figura 18 Capacidades promedio del suavizador</i>	44
<i>Figura 19 Distribución de vapor para el sistema de calefacción</i>	46
<i>Figura 20 Conexiones del caldero al intercambiador</i>	47
<i>Figura 21 Diagrama de flujo de vapor</i>	48
<i>Figura 22 Válvula termostática</i>	48
<i>Figura 23 Transferencia de calor a través de tubería</i>	50
<i>Figura 24 Medidor de gas natural rotativo</i>	60
<i>Figura 25 Regulador de gas natural</i>	61
<i>Figura 26 Presostato</i>	61

Figura 27 <i>Válvula de alivio</i>	62
Figura 28 <i>Visor de nivel de agua</i>	63
Figura 29 <i>Manómetro</i>	63
Figura 30 <i>Distribución eléctrica del sistema de generación de vapor</i>	65
Figura 31 <i>Tablero de Control Caldero</i>	65
Figura 32 <i>Grúa de carga montaje de equipos industriales</i>	67
Figura 33 <i>Funcionamiento de un caldero pirotubular</i>	68
Figura 34 <i>Porcentaje de costo de operación</i>	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo y capacidad de los equipos de lavandería.....	3
Tabla 2. Consumo y capacidad de los equipos de Quirófano y Calefacción	4
Tabla 3. Accesorios del caldero.....	26
Tabla 4. Equipos que consumen vapor dentro el hospital.....	32
Tabla 5 Proyección de incremento de la carga de vapor.....	34
Tabla 6. Coeficientes de convección.....	50
Tabla 7. Coeficientes de conducción	51
Tabla 8. Procedimientos de Emergencias en Calderas	71
Tabla 9. Costo del ablandador de agua, quemador y bomba de agua por cotización	74
Tabla 10. Costo Total	76
Tabla 11. Tabla capacidades de tuberías de vapor saturado a velocidades específicas	82
Tabla 12. Tabla de espesores para aceros al carbono.....	83
Tabla 13. Tabla de especificaciones Básico del agua.....	83
Tabla 15. Propiedades agua saturada.....	84
Tabla 16. Propiedades del agua separada	85
Tabla 17. Tabla de especificaciones del medidor de gas	86
Tabla 18. Corriente de conductores	86
Tabla 19. Interruptores termomagnéticos	87
Tabla 20. Capacidad de interruptores termomagnético.....	87
Tabla 21. Cotización	88

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.

1.1 INTRODUCCIÓN.

El Hospital Obrero N°1, ubicado en el Departamento de La Paz, está destinado a salvaguardar y brindar atención de salud inmediata a los afiliados a la Caja Nacional de Salud.

Entre las áreas más importantes del hospital se encuentran 6 quirófanos esto equivale a un quirófano por piso y por especialidad, mencionando algunas de sus especialidades de Traumatología y Ortopedia, Terapia Intensiva, Neonatología, Esterilización entre otros. Esta última es una de las importantes de los hospitales ya que está encargada de la higiene y la inocuidad de todo el material quirúrgico y de vestimenta del personal médico y del paciente a ser tratado.

El Hospital Obrero N° 1 del departamento de La Paz, es una institución que cuenta con las siguientes áreas:

- Área de emergencias, destinada a salvaguardar la vida de los pacientes en caso crítico de emergencia.
- Área de laboratorio, el cual se encarga del análisis que contribuyen al estudio, la prevención, el diagnóstico tratamiento de los problemas de salud.
- Área de esterilización, en el cual se realizan el conjunto de operaciones destinadas a eliminar cualquier forma de vida en un material sanitario.
- Área de quirófano, destinada a la intervención quirúrgica programada y en caso de emergencia.
- Área de lavandería, destinada a la higiene del material de uso personal por parte de los pacientes del hospital y también de los materiales usados en quirófano (sábanas, batas. Gorras, etc.)

Consumo inicial de vapor en lavandería del Hospital

El sistema de generación de vapor actual cuenta con una capacidad de diseño de 2000 kilogramos por hora de vapor de agua, el cual, estaba destinado a satisfacer la demanda de vapor de únicamente del área de lavandería, y que el generador de vapor cuenta con 25 años de antigüedad.

Y con el pasar del tiempo se fueron añadiendo más equipos de lavandería y, así también la demanda de vapor, al no tener un correcto mantenimiento y al sacar fuera de servicio al sistema ablandador de agua el generador de vapor sufrió corrosión y fisuras, lo que llevo a la determinación de disminuir la capacidad de generación de vapor a un 50% de 1000 kilogramos hora de vapor de agua aproximadamente. Actualmente se incrementó la demanda de vapor así también las áreas de distribución y al ser un equipo fabricado el año 1996 que y al no tener el correcto tratamiento de agua fue deteriorándose y disminuyendo la vida útil del generador de vapor, de tal manera que pone en peligro al personal y la infra estructura del hospital.

Considerando la situación actual se recomienda un nuevo sistema de generación de vapor, para satisfacer las siguientes cargas.

Lavandería

- Lavadoras
- Centrifugadoras.
- Secadoras

Esterilización

- Pupineles
- Autoclaves

Calefacción

- Estufas de calefacción para cada piso.

Se cuenta con el área de lavandería, encargada de todo el aseo e higiene de algunos implementos médicos, indumentaria de los pacientes, médicos y trabajadores la cual también requiere una gran cantidad de recursos energéticos y de fluidos *ver tabla*.

CONSUMO DE VAPOR EQUIPOS DE LAVANDERÍA					
Equipos	Cantidad	Consumo energético en KW	Consumo de vapor en kg - h	Consumo energético total en KW	Consumo de vapor de agua total en kg - h
Lavadora 55 kg	3	4.4	135	13.2	405
Lavadoras 110 kg	3	6.5	150	19.5	450
Lavadora Icomac	1	5.6	130	5.6	130
Secadoras	3	5.5	165	22	415
Planchadora	3	2.6	50	7.8	150
Calandra	1	4.1	350	4.1	350
total				66.6	1900

Tabla 1 Consumo y capacidad de los equipos de lavandería
Fuente elaboración propia

En varias áreas del Hospital Obrero N°1, requiere de fuentes de energía y fluidos para su correcto funcionamiento uno de estos es el vapor de agua el cual debe abastecer a lavandería, esterilización y calefacción, este elemento es necesario para el correcto funcionamiento de los equipos de estas áreas en mayor demanda las áreas de

lavandería y esterilización cuyos equipos funcionan a base de vapor de agua.

La demanda actual del área de lavandería es de 1900 kilogramos - hora de vapor

También debemos considerar la demanda de las áreas de quirófano y calefacción

CONSUSMO DE VAPOR DE ESTERILIZACIÓN Y CALEFACCION				
Equipos	Modelo	Cantidad	Consumo de vapor en kg - h	Consumo de vapor de agua total en kg - h
Auto clave Tecnitramo	Tk /20	6	120	720
Calefacción Termosistem	Tz-100	6	100	600
Total				1320

*Tabla 2 Consumo y capacidad de los equipos de Quirófano y Calefacción
Fuente elaboración propia*

1.2 ANTECEDENTES.

El Hospital Obrero N°1 de La Paz es una institución que tiene como misión el cuidado de la salud en la población general brindando servicios de atención médica para satisfacer la demanda del asegurado, promoviendo los más altos niveles de calidad dentro de un marco de bioética.

En el subsuelo se encuentra el área de máquinas y el generador de vapor (caldero), el cual es responsable de la generación y distribución eficiente de vapor hacia los distintos sectores de demanda, desde este punto empieza el correcto funcionamiento de las demás áreas, mientras se encuentren estables las variables de operación y en buen estado los equipos, se garantiza el eficiente proceso de funcionamiento en las demás áreas y equipos. Al pasar el tiempo el hospital mostro crecimiento dentro la infraestructura y la demanda de asegurados esto a su vez requiere la implementación de más equipos, pero no se hizo el cálculo del incremento de carga de vapor que debe suministrar el generador de vapor, el cual se encuentra en malas condiciones debido a no tener un correcto tratamiento de agua que ocasiono su deterioro, corrosión y fisuras. Ver figura 1 y 2.



Figura 1 Fuga dentro del caldero
Fuente elaboración propia



Figura 2 Corrosión y fuga del hogar del caldero
Fuente elaboración propia



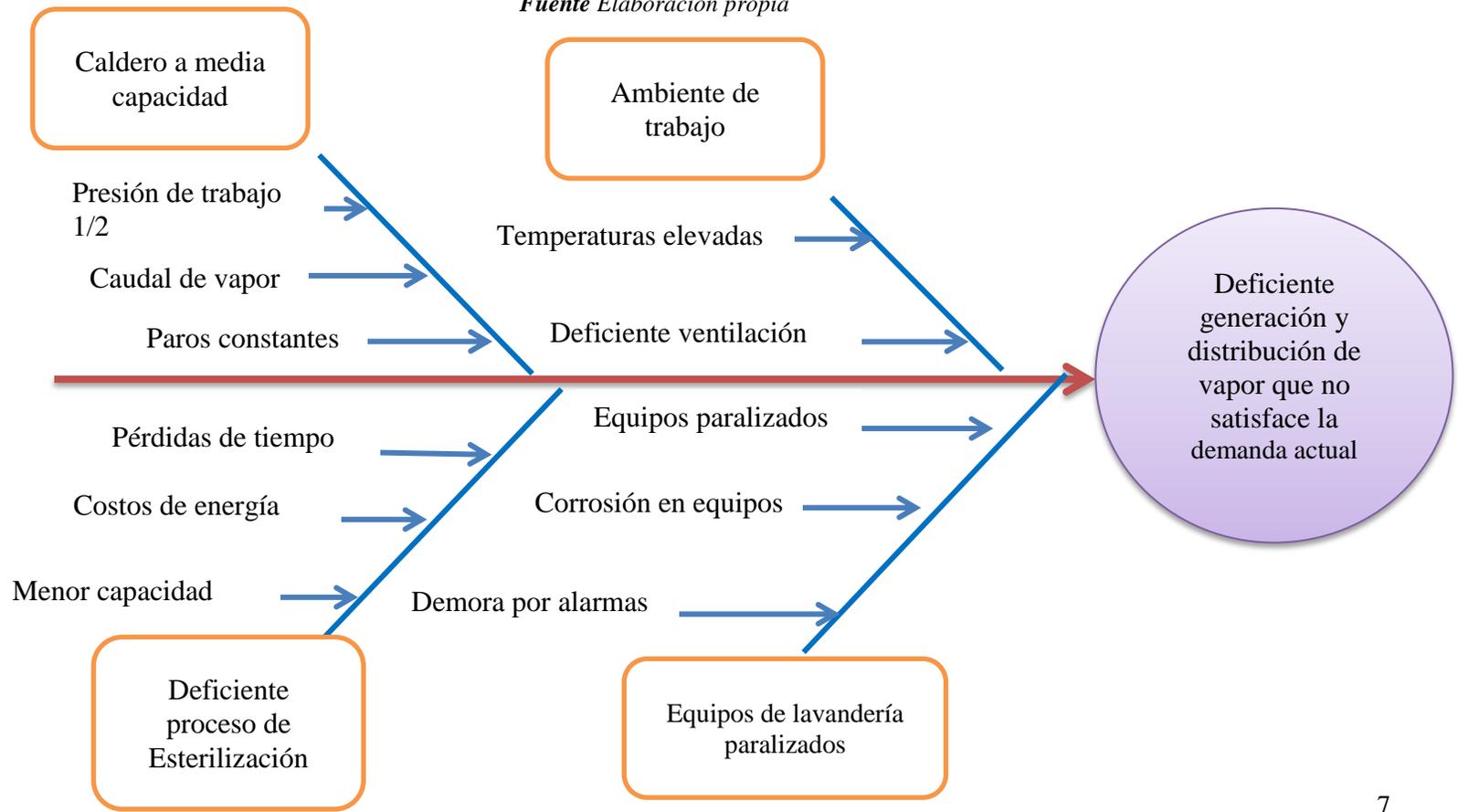
Figura 3 Equipos parados por falta de vapor
Fuente elaboración propia

Debido al desgaste natural y no tener un sistema de tratamiento de agua el generador de vapor actual perdió su eficiencia de diseño y por tanto reduce su capacidad de generación de vapor. Desde aquí nace la necesidad de realizar un estudio que determine la capacidad de un equipo generador de vapor que satisfaga la demanda de vapor requerida dentro el hospital, el cual se analizará en el presente proyecto.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.3.1 Identificación del problema.

*Figura 4 Diagrama de Ishikawa
Fuente Elaboración propia*



1.3.2 Formulación del problema.

El Hospital Obrero N°1 de La Paz tiene un equipo de generación de vapor en mal estado debido a falta de mantenimiento preventivo y correctivo adecuado y un mal manejo por parte del personal , dañando el equipo de tal manera que se disminuyó la presión de trabajo a la mitad siendo 12 bares la presión normal de trabajo, actualmente trabaja a 6 bares de presión, esta determinación también fue tomada por motivos de seguridad ya que el caldero cuenta con fisuras en su estructura interna, por este motivo también se vio disminuida el caudal de distribución de vapor, además que el actual caldero de vapor no cuenta con la capacidad necesaria de generar la carga requerida, puesto que este equipo fue diseñado para una carga de 2000 kg/h de vapor de agua, y la demanda actual sobrepasa este valor.

Para satisfacer la demanda actual y futura del Hospital, se determina realizar un nuevo cálculo del sistema de generación de vapor de acuerdo a la carga requerida y potencia necesaria para satisfacer dicha demanda.

¿Podrá mejorar la deficiente distribución de vapor, realizando el rediseño de un nuevo sistema de generación de vapor?

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo General.

Rediseñar un nuevo sistema de generación de vapor para el suministro eficiente de vapor de agua para las áreas de Lavandería, esterilización y calefacción del Hospital Obrero N°1 del departamento de La Paz.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- ❖ Realizar el estudio actual de distribución de vapor
- ❖ Determinar el requerimiento de vapor
- ❖ Calcular el sistema de generación de vapor en función de los requerimientos
- ❖ Determinar la capacidad del quemador de G.N.
- ❖ Calcular el ablandador de agua.
- ❖ Analizar costos del generador de vapor.

1.5 JUSTIFICACIÓN.

1.5.1 Justificación tecnológica.

Desde el punto de vista tecnológico este proyecto permitirá mejorar la producción de vapor, mediante un sistema de generación de vapor dentro los requerimientos de operación a una presión y caudal requeridos por los equipos de consumo de las áreas de lavandería, esterilización y calefacción.

1.5.2 Justificación social.

El presente proyecto beneficiara a los pacientes y personal del hospital reduciendo tiempos de generación de vapor y ampliando el área de distribución de vapor, considerando que no cuenta con un sistema de distribución de vapor para calefacción, y reduciendo tiempo y costos en el área de esterilización.

1.5.3 Justificación económica.

Desde el punto de vista económico permitirá aumentar la producción y reducir los costos de mano de obra y procesos de lavandería, calefacción y esterilización. Además de reducir costos de consumo de energía eléctrica en los equipos de esterilización que funcionan con energía eléctrica a través de resistencias, que será remplazada con vapor.

1.6 LÍMITES Y ALCANCES.

1.6.1 Límites.

Los parámetros dimensionados en el presente proyecto serán de información de referencia, que deberá ser contrastada con una segunda referencia del cálculo de los parámetros del caldero y sus subsistemas.

En el presente proyecto no se considera la construcción ni la adquisición de los equipos, o modificaciones de la red de distribución de vapor. Considerando que al ser una Institución del Estado requiere un proceso administrativo.

El presente proyecto no considera el cálculo de la resistencia del suelo de sala de máquinas para la fundación o plataforma de base del caldero de vapor.

1.6.2 Alcances.

Se calculara la nueva capacidad del generador de vapor y de sus subsistemas del Hospital Obrero N°1, de manera que las instalaciones de lavandería, calefacción y esterilización cuenten con un sistema de generación y distribución de vapor, capaz de satisfacer la demanda de vapor actual y futura, causadas por el aumento de la demanda de los equipos receptores de vapor.

Además de dimensionar el caldero de vapor, también se determinara la capacidad del ablandador de agua, las bombas de agua, y la red de distribución de vapor que permitan mejorar la eficiencia de distribución a los puntos de consumo.

Se realizara el cálculo del intercambiador de calor para la distribución al sistema de calefacción.

Se realizara el cálculo del quemador de combustión que suministra energía calorífica al caldero y de los equipos de medición y regulación de gas natural de acuerdo a la demanda determinada.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Introducción.

Una caldera es un dispositivo en la cual se calienta agua o genera vapor de agua, lo cual se utilizará para diferentes aplicaciones. En otras palabras es un intercambiador de calor, que transforma la energía química del combustible en energía calorífica, además de intercambiar este calor con un fluido, generalmente agua, que se transforma en vapor de agua.

En una caldera se produce la combustión que es la liberación del calor del combustible y la captación del calor liberado por el fluido. Una caldera es a menudo el equipo más grande que se encuentra en un circuito de vapor.



Figur5. Calderas Horizontales RCB
Fuente: Fuente propia (hospital Obrero de Oruro)

Su tamaño puede depender de la aplicación en la que se usa. En una instalación grande, donde existen cargas de vapor variables, pueden usarse varias calderas.

Las calderas son la parte más importante del circuito de vapor, después de todo, es donde se crea el vapor. Es necesario saber que existen calderas de todo tamaño. Las calderas

Pequeñas, se utilizan exclusivamente para agua caliente sanitaria, que se suelen conocer como calentadores (ej. para emplear en la ducha, en el fregadero de la cocina, etc.).

2.2 Generalidades.

2.2.1 Clasificación de las calderas.

Calderas de vapor clasificación según sus características.

De esta forma, se podría establecer la clasificación de las calderas bajo las siguientes bases:

- Por la energía consumida.
- Por los métodos de circulación de agua.
- Por la presión de trabajo.
- Por el número de pasos .
- Por la disposición de los tubos.
- Por la posición de las calderas.

2.2.1.1 Por la energía consumida.

De acuerdo a esta clasificación, se tiene:

- Energía Eléctrica, (calderas eléctricas).
- Energía Química.

Por energía química se considera al combustible (como elemento químico) que quemaría una caldera para generar vapor y según el tipo de combustible, la clasificación sería la siguiente:

- Bunker.
- Diésel 2.
- Diésel 1.
- Gas Natural.
- Bagazo de caña de azúcar.

2.2.1.2 Por la disponibilidad de los tubos

En esta clasificación se encuentran las calderas:

- Sin tubos.
- Con tubos.

Las calderas sin tubos, llamadas así, porque para su funcionamiento carecen de tubos en su construcción.

Esta innovación en la construcción de calderas presenta muchas ventajas en su rendimiento, durabilidad y operación económica, además que es completamente automática, se la encuentra en modelos que van de 1.2 a 80 Hp. Según sea el requerimiento del usuario. Existen actualmente las calderas sin tubo fabricadas por marcas reconocidas como York Shipley y Fulton.

Las calderas con tubos, corresponden a las que encontramos normalmente en la

industria, y que se verán en todos los tipos de calderas que se describan en las demás clasificaciones

2.2.1.3 Por los métodos de circulación de agua.

Las calderas de tubos de agua se clasifican según los métodos de circulación del agua contenida, de la siguiente manera:

- Circulación Natural (limitada).
- Circulación Forzada.

La designación *Circulación Natural*, se aplica a todas las calderas en las cuales la circulación del agua a través de los circuitos de la caldera depende únicamente de la diferencia de densidades entre un cuerpo que desciende que es el agua relativamente fría, y de otro cuerpo que asciende que es el agua caliente, que contiene burbujas de vapor. La cantidad de agua de alimentación suministrada es siempre igual a la cantidad de vapor generado.

La *Circulación Forzada*, son efectuadas por medio de bombas externas a las calderas, que mantienen un flujo continuo de agua a través de los circuitos de la caldera. En la caldera de circulación forzada, mayor cantidad de agua es bombeada a través de los circuitos que la que se transforma en vapor. En una caldera de circulación forzada (de un solo paso), la cantidad de agua de alimentación bombeada dentro de los circuitos es la misma que la cantidad de vapor extraída.

2.2.1.4 Por la presión de trabajo.

Según la presión de trabajo las calderas se clasifican en:

- Calderas de alta presión.
- Calderas de baja presión.

Las calderas de Alta Presión son generalmente usadas cuando las demandas de vapor son extremadamente grandes y sobre todo cuando hay requerimiento indispensable de vapor recalentado; estas calderas generalmente son del tipo de tubos de agua (Acuotubular) y operan a presiones superiores a 20 Kg/cm², o sea superiores a 284.4 l/plg². Su uso principal es en plantas eléctricas que operan con turbinas a vapor.

Las calderas de baja presión son en cambio las más usadas en el campo industrial y generalmente operan con vapor saturado a presiones del orden de 7-8 Kg/cm², cierto número llega a los 10 Kg/cm² y unas pocas a 18 Kg/cm², pero sin sobrepasar este último valor.

En este grupo de calderas se encuentran generalmente las calderas construidas de tubos de fuego llamadas Piro tubulares.

2.2.2 Por el número de pasos.

Se comprende por pasos en una caldera el trayecto que recorre la energía calorífica proveniente del hogar hacia perímetro externo donde tiene contacto con el agua, (calderas acuotubulares) o el recorrido de la energía calorífica por los ductos de los tubos de fuego, teniendo en consideración el número de pasos que está construida la caldera, en cada paso cambia la dirección de flujo (calderas piro tubulares). De acuerdo con este criterio, las calderas se clasifican en:

- Un paso.
- Dos pasos.
- Tres pasos.
- Cuatro pasos.

Las calderas industriales de amplia aceptación en la actualidad, para producción de vapor saturado con presión de hasta 18Kg/cm², son calderas de tres y cuatro pasos.

En el caso de las calderas sin tubos, se entiende que paso sería la circulación de los gases a través de las nervaduras con cambio de dirección de flujo.

En el caso de las calderas de tres pasos, se obtiene el 60% de eficiencia en el hogar con cada uno de los pasos restantes contando el 20%.

Este tipo de calderas tienen el cilindro que conforma el hogar y que se ubica por lo regular en el centro con referencia al perímetro de la camisa. Esta ubicación permite que los sedimentos sólidos no se adhieran en la parte exterior del cilindro del hogar.

Los tubos que conforman el haz de tubos son de igual diámetro y longitud tienen igual tensión y presión en los espejos laterales.

Mientras que en el caso de las calderas de cuatro pasos, se obtiene el 40% de eficiencia en el cilindro del hogar, y el 60% resulta en el pase por haz que corresponden los tres pasos restantes. Este tipo de calderas tienen el hogar de menor diámetro con relación a las calderas de dos y tres pasos. Una denotación que es propia de este tipo de caldera es que el lecho del hogar de fuego se ubica en la parte inferior del centro con relación a la circunferencia del cilindro de la caldera.

2.2.2.2 Por la disposición de los tubos.

A las calderas también se las puede clasificar por la disposición de los tubos, así:

- De tubos rectos.
- De tubos inclinados.
- De tubos curvos.

2.2.2.3 Por la posición de los calderos.

En este aspecto podríamos incluir solamente a las Calderas Piro tubulares, las cuales se clasificarían según su posición en el piso sobre el cual van montadas en:

- Verticales.
- Horizontales.

2.2.3 Calderas Piro tubulares.

Como su nombre lo indica, en esta caldera el humo y los gases calientes circulan por el interior de los tubos y el agua se encuentra por el exterior.

Estas calderas también son denominadas también igneotubulares o piro tubulares y pueden ser verticales u horizontales.

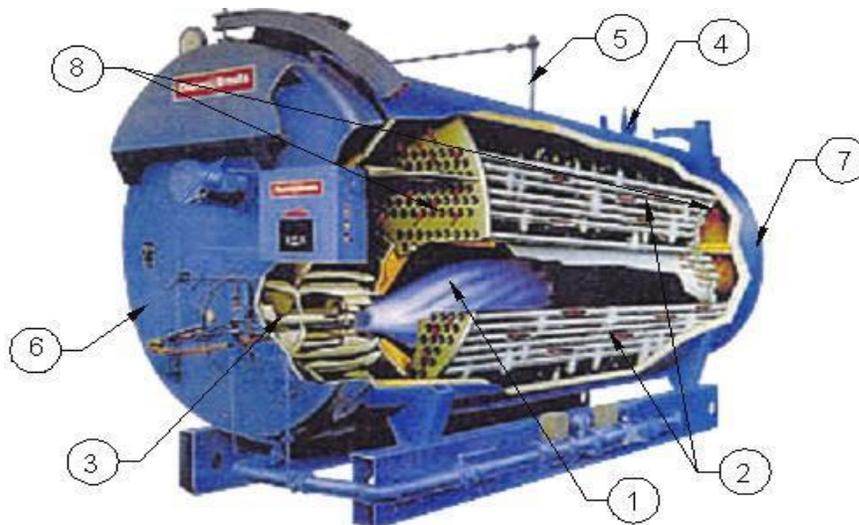


Figura 6. Partes principales que constituyen las calderas piro tubulares horizontales
Fuente: (Mantenimiento Industrial, s.f.)

1. Hogar, **2.** Haz de tubos, **3.** Quemador, **4.** Válvula de seguridad, **5.** Conexión para control de nivel de agua, **6.** Tapa frontal, **7.** Tapa posterior, **8.** Espejos interiores

En la figura anterior se puede mostrar de una manera más clara, comprensible y detallada las partes constitutivas de una Caldera Pirotubular horizontal.

2.2.4 Partes constitutivas de la Caldera Pirotubular horizontal.

Las calderas de vapor fundamentalmente constan de las siguientes partes:

2.2.4.1 La coraza.

Es un cilindro construido de chapa de acero dentro del cual se encuentran alojado de manera integral la cámara de agua, la cámara de vapor, el hogar y el haz de tubos.

2.2.4.2 Cámara de agua.

Se denomina al espacio que ocupa el volumen de agua en el interior del cilindro de la caldera.

2.2.4.3 Cámara de vapor.

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en la que debe separarse el vapor del agua. Cuanto más sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de la cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor

2.2.4.4 El hogar o cámara de combustión.

Es en esta parte de la caldera donde se realiza la reacción química del combustible (combustión) lo cual produce la liberación de la energía del combustible que se transferirá al agua. El hogar debe tener la longitud suficiente y el diámetro apropiado para asegurar que exista una total combustión del combustible que se está utilizando para obtener una eficiencia mayor del equipo.

2.2.4.5 El haz de tubos.

Está compuesto por múltiples tubos de menor diámetro que el hogar, por los cuales ya sólo circulan productos de combustión a altas temperaturas a la entrada del haz. Lo que se hace en esta parte de la caldera es capturar la mayor parte de la energía de dichos gases calientes para pasarlos finalmente, al igual que en el hogar, al agua que está en la parte exterior de los tubos.

Es importante indicar que en muchas de las ocasiones los gases calientes se hacen pasar más de una vez en el agua de la caldera, esto se debe a que hay que aprovechar al máximo la energía que aún se encuentra en los gases calientes para así lograr una mayor eficiencia en el equipo. Esto se logra colocando otro haz, con menor número de tubos que el paso anterior, para tratar de mantener la misma tasa de transferencia de calor, obteniendo un coeficiente convectivo interior un poco más elevado que el paso anterior a pesar de que la temperatura de los productos de combustión se vean disminuidos. Con esto se logra extraer la mayor cantidad de energía disponible de los productos de combustión hasta obtener temperaturas de salida de los mismos alrededor de 250°C, que es un parámetro normal para calderas que están bien diseñadas.

Se debe destacar que el hogar es considerado como el primer paso de la caldera y luego se cuentan los haces de tubos existentes. Generalmente las calderas pirotubulares horizontales son de dos, tres y hasta cuatro pasos.

2.2.4.6 Tapas.

Toda Caldera Pirotubular tiene una tapa frontal y una tapa posterior que sirven para poder acceder a los espejos para el mantenimiento y limpieza de los tubos de la caldera; generalmente las tapas se encuentran empernadas. En la tapa frontal es donde está incorporado el quemador, mientras que en el fondo de la tapa posterior se coloca

material refractario ya que estará sometida a altas temperaturas. Usualmente en las tapas se encuentran desviadores que sirven para separar el flujo de productos de combustión de cada uno de los pases de la caldera del segundo en adelante en caso de tener más de dos pases.

2.2.4.7 Chimenea.

Está ubicada en la tapa posterior, por donde salen los productos de combustión hacia el medio ambiente.

2.2.4.8 Quemador.

Es el dispositivo de la caldera que genera la llama que provocará la liberación de energía del combustible atomizado. Generalmente los quemadores de las calderas son de llama turbulenta no premezclada, es decir, que a la zona donde se está generando la llama llega por separado el aire y el combustible.



Figura 7. Quemador-Calderas Horizontales RCB
Fuente: Fuente propia (hospital obrero de Oruro)

2.2.4.9 Bomba de alimentación.

Tiene la función de alimentar de agua al interior de la caldera desde el tanque reservorio, elevando la presión igual o mayor a la presión de operación de la caldera.



Figura 8. Bomba de agua-Calderas Horizontales RCB
Fuente: Fuente propia (hospital obrero de Oruro)

2.2.4.10 Dispositivos de control y seguridad.

Son aquellos que garantizan el correcto funcionamiento del equipo. A continuación se mencionan algunos de ellos:

- Control de nivel de agua.
- Control de presión (Presostato).
- Válvula de seguridad.
- Manómetro de presión.
- Medidores de temperatura

Control de nivel de agua



*Figura 9. Control de nivel de Agua
Fuente: VyC Industria*

Control de presión (Presostato).



*Figura 10. Presostato de vapor
Fuente: Danfoss*

Dispositivo de seguridad al mismo que se regula de acuerdo a la presión de trabajo que se requiera.

Manómetro de presión.

Figura 11. Manómetro



Fuente: Genera Vapor

Es un indicador que nos permite visualizar la presión de trabajo al interior de la caldera. El conocimiento de esta presión es necesario desde el punto de vista de seguridad.

Válvula de seguridad.

La misión de la válvula de seguridad es evitar que la presión de la caldera sobrepase el valor normal de trabajo para el cual se ha proyectado y construido, es decir, que proteja a la caldera de presiones excesivas. Toda caldera debe estar equipada con una válvula de seguridad que funcione con absoluta confianza.



Figura 12. Válvula de Seguridad

Fuente: Genera Vapor

2.2.4.11 Accesorios complementarios.

Se define como accesorios aquellos elementos útiles o necesarios con que se equipan las calderas para facilitar el trabajo del operador; asegurar un buen funcionamiento del sistema y contribuir a la seguridad de la instalación.

A veces una caldera necesita de algunos accesorios para tener un mejor funcionamiento. Los accesorios más comúnmente usados en las calderas son los manómetros, nivel de agua regulador de agua de alimentación, válvulas de seguridad, tapones, fusibles, purgadores, sopladores de hollín, indicadores de tiro y aparatos de control.

Es importante que también cada uno de estos accesorios esté instalado correctamente y en un lugar específico de la caldera, como por ejemplo los niveles de agua se montan en la parte frontal del cuerpo cilíndrico de la caldera de forma que se puedan ver desde el suelo. Se define también como accesorios aquellos elementos útiles o necesarios con que se equipan las calderas para facilitar el trabajo del operador, asegurar un buen funcionamiento del sistema y contribuir a la seguridad de la instalación.

SISTEMA		ACCESORIOS COMPLEMENARIOS
OBSERVACION		Indicadores de nivel de agua Manómetros
ANALIZADORES DE GASES DE COMBUSTION	DE	Indicadores CO Indicadores CO2
INDICADORES DE TEMPERATURA	DE	Termómetros Pirómetros

ACCESORIOS DE SEGURIDAD	Válvula de seguridad de presión
	Silbato de presión
	Alarma de bomba
ALIMENTACION DE AGUA	Bomba centrífuga
	Ablandador de agua
CONTROL AUTOMATICO	Presostato
	Termostato
	Control aire
	Control de llama
	Control de gas
	Control de encendido

Tabla 3. *Accesorios del caldero*
Fuente: *Propia*

2.3 Funcionamiento.

Cuando se va a poner en funcionamiento una caldera pirotubular hay que tener en cuenta que la caldera debe estar al nivel donde indique el visor de agua ya que si no es así el control de nivel impedirá que el quemador de la caldera se encienda mandando a prender la bomba de alimentación de la caldera hasta alcanzar el nivel de agua adecuado. Una vez que ha llegado al nivel óptimo de agua, el control de abre un circuito que hará que la bomba de alimentación de la caldera se apague y cierra otro circuito que hará que el quemador se encienda automáticamente.

El quemador tiene una fotocelda, la cual es capaz de detectar cuando no existe llama para mandar a apagar la válvula de combustible y el ventilador del quemador. Una vez

que se ha logrado encender el quemador, la caldera debe ser capaz de elevar la temperatura del agua hasta la temperatura de ebullición y por ende elevar la presión dentro de la misma. Dicha presión, que no es más que la presión de operación de la caldera, se la debe establecer en el presostato la presión de trabajo interna en la caldera, mismo que nos sirve como controlador, envía la señal de apagar automáticamente el quemador cuando la presión llega al valor preestablecido.

Dicho equipo de control permite establecer una variación de presión determinada sobre y por debajo de la presión de operación de la caldera, por lo que cuando el equipo se encuentre generando vapor de una manera continua (estado estable), la presión se encontrará variando entre el valor máximo y mínimo que se haya establecido en el presostato, para lo cual se requiere estar enviando automáticamente a encender el quemador cuando la presión es la mínima y apagar cuando la presión es la máxima. En caso de que este controlador de presión falle, en la parte superior de la caldera se encuentran válvulas de seguridad que están reguladas a la presión de diseño de la caldera, las cuales se abren cuando dicha presión se ha sobrepasado. Es importante indicar que las calderas pirotubulares sólo pueden generar vapor saturado. Una vez que el equipo se encuentra generando vapor, de una forma continua o no, será necesario reponer el agua que se está consumiendo y es aquí cuando entra en operación por segunda vez el control de nivel de agua. Si el nivel de agua baja de manera moderada, este cierra el circuito que energiza la bomba de alimentación de la caldera para reponer el agua. Durante este proceso el quemador no queda des energizado, esto quiere decir que si se encontraba encendido cuando se activó la bomba de alimentación, se mantendrá encendido durante todo el proceso de reposición de agua. Caso contrario se da cuando el nivel de agua de la caldera cae por debajo de un límite mínimo preestablecido, ya que en este caso no sólo que se encenderá la bomba de alimentación sino que se apagará automáticamente el quemador de la caldera.

Todo el proceso descrito anteriormente realiza la caldera durante todo el tiempo que este equipo se encuentre operando hasta ser apagado.

2.4 Aplicaciones.

La aplicación de las calderas pirotubulares tiene un campo muy amplio ya que el vapor es necesario en la mayoría de los procesos térmicos entre los cuales tenemos los siguientes campos: Fábricas de concreto prefabricado, los concretos necesitan ser metidos en hornos para su procesamiento correcto para tratar de mantenerlos a una temperatura entre 60°C y 70°C.

- Industria alimenticia, los alimentos son cocidos usualmente en recipientes llamados marmitas a una presión de 60 psi. Se debe de alcanzar temperaturas de aproximadamente 106°C para lograr evaporar un 20% de su contenido de agua.
- Cremerías, las chaquetas de vapor para la elaboración de crema y queso requieren una presión de vapor de 100 psi y un calentamiento aproximado de 15°C a 40°C.
- Papeleras, en este proceso se requiere secar el papel en tambores rotativos calientes. La presión de vapor aproximada en estas máquinas es de 180 psi.
- Plantas de asfalto, para calentar el asfalto de 149°C a 155°C generalmente se necesita vapor a una presión aproximada de 125 psi.
- Equipos de hospitales, se utiliza vapor de alta presión para los esterilizadores. También se utiliza para obtener agua caliente.
- Tintorerías, el vapor proveniente de la caldera debe fluir por el fondo de los tanques del tinte para calentar el mismo y se lo debe agitar a fin de mezclarlo completamente.
- Industria química, se utiliza vapor en la mayoría de los procesos para la obtención de los medicamentos.

2.5 Normas Constructivas de Calderos Pirotubulares.

El código ASME para Calderos y Recipientes sometidos a Presión, es una norma de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, que provee reglas para el diseño, fabricación e inspección de Calderos y Recipientes a presión.

Un equipo o componente sometido a presión diseñado y fabricado de acuerdo a la Norma ASME tendrá una larga vida útil, asegurando la protección de la vida humana y su propiedad. La norma está redactada por voluntarios quienes son nominados por diferentes Comités, en base a su experiencia técnica y habilidad para la redacción, revisión, interpretación y administración del documento escrito o Norma. La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) funciona como un organismo de acreditación y otorga permisos a terceros independientes, como agencias de verificación, ensayo y certificación para inspeccionar y velar por el cumplimiento del código o norma ASME para Calderos y Recipientes sometidos a presión.

Desglose de la Norma ASME.

La norma ASME está dividida en las siguientes partes:

- Parte PG Requisitos Generales para todos los Métodos de Construcción.
- Parte PW Requisitos para Calderas Fabricadas por Soldadura.
- Parte PR Requisitos para Calderas Fabricadas por medio de Remachado.
- Parte PB Requisitos para Calderas Fabricadas por medio de Soldadura Brazing.
- Parte PWT Requisitos para Calderas Acuotubulares.
- Parte PFT Requisitos para Calderas Pirotubulares.
- Parte PFH Requisitos opcionales para Calentador de Agua de Alimentación (Cuando está ubicado dentro del alcance de las Reglas de la Sección I).
- Parte PMB Requisitos para Calderas Miniaturas.

- Parte PEB Requisitos para Calderas Eléctricas.
- Parte PVG Requisitos para Evaporadores de Fluidos Orgánicos.
- Parte PHRSG Requisitos para los Generadores de Vapor con Recuperación de Calor.

El texto se referirá a los materiales que corresponde a los calderos pirotubulares.

- **Materiales:** Los materiales para tubos, carcazas y tapas anterior y posterior donde se alojan los tubos se encuentran en la Sección II y deben limitarse a aquellos para los cuales se indican los valores de esfuerzo admisible en las Tablas 1A y 1B de la Sección II, Parte D, a no ser que se permita específicamente lo contrario en la Parte PG y PFT.
- **Requisitos para determinar espesores.**
- Cañones o Cámaras de Combustión: Código ASME para calderas y recipientes de presión (BPVC)

CAPÍTULO 3. INGENIERIA DEL PROYECTO.

3.1 Parámetros de rediseño.

Actualmente el Hospital Obrero N°1 de la ciudad de La Paz cuenta con un caldero de vapor de la marca española ATTSU tipo RL – 2000 de año de fabricación de 1996, con una capacidad de generar 2000 kg/h vapor, que para un inicio fue instalada para satisfacer la demanda de carga de vapor del área de lavandería.

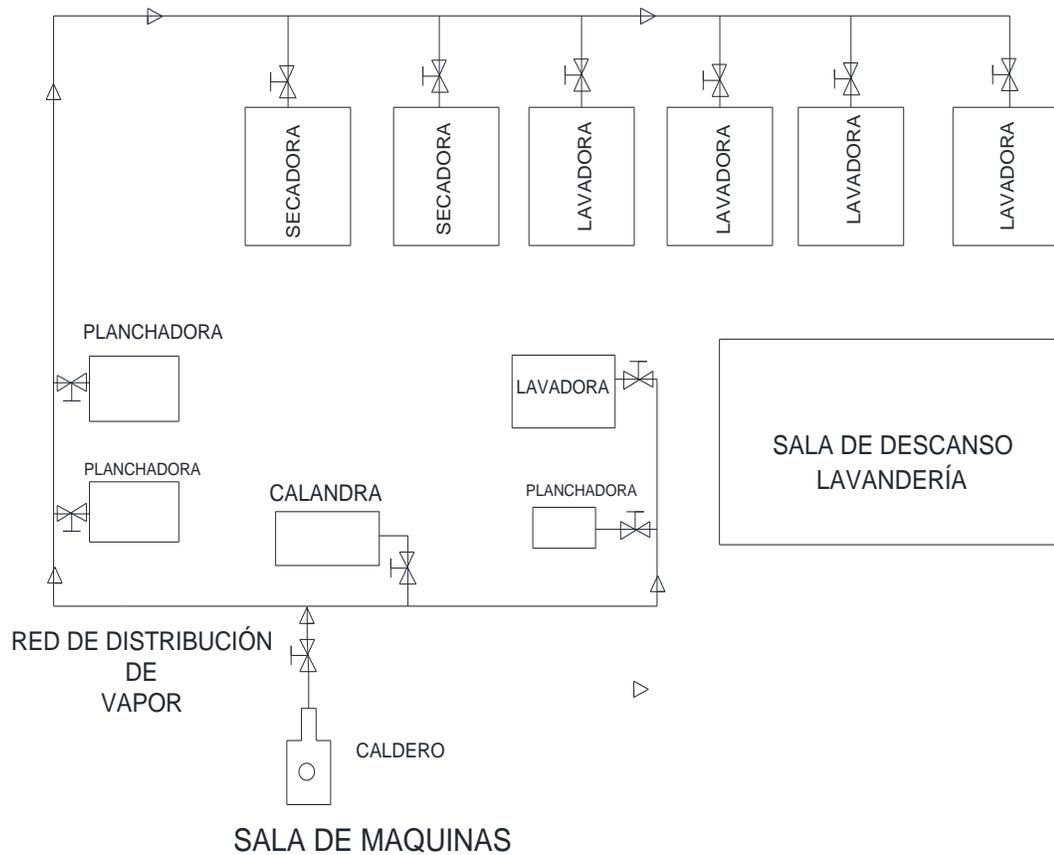
Al tener un deficiente mantenimiento y no contar con un ablandador de agua funcionando, el caldero de vapor se fue deteriorando sufriendo fisuras en su estructura, por este motivo se bajó la presión de trabajo a 6 bares, también se redujo el flujo de vapor a 1000 kg/ h vapor aproximadamente.

De acuerdo al diagnóstico realizado la capacidad de distribución de vapor necesaria para los equipos es la siguiente:

EQUIPOS QUE FUNCIONAN CON VAPOR				
Equipo	Modelo	Cantidad	Capacidad (KG/H)	Total en Kg/h
Lavadora Girbau	HS-2110	3	150	450
Lavadora Girbau	HS-2055	3	135	405
Lavadora Icomac	SR/V-60	1	130	130
Calandra Girbau	Ps-800/2	1	350	350
Planchadora Girbau	SEP-4	3	50	150
Secadora Fagor	SR/V-60	3	165	415
QUIROFANOS		6		

Auto clave	Tk /20	6	120	720
Tecnitramo				
Calefacción	Tz-100	6	100	600
Ternosistem				
TOTAL				3300

*Tabla 4. Equipos que consumen vapor dentro el hospital
Fuente: Propia*



*Figura 13. Red de distribución de vapor actual del hospital Obrero
Fuente: Elaboración Propia*

Además se asume una proyección de expansión de la carga de vapor para los próximos 5 años.

Tiempo estimado	Areas de expansion	Flujo de vapor Kg/h
Primer año	Lavanderia	200
Segundo año	Quirofano	200
Tercer año	Calefaccion	100
Cuarto año	Cocina(marmitas)	50
Quinto año	Otros (duchas,termotanques,etc)	50
Total		600

*Tabla 5. Proyección de incremento de la carga de vapor
Fuente: Propia*

En los próximos años se considera el incremento de la carga de vapor, es por eso que diseñamos el generador de vapor con una capacidad extra del 15 % para satisfacer esta capacidad, que será destinada a las áreas de lavandería, cocina, calefacción, etc.

La demanda actual de vapor es de 3300 kg/h de vapor de agua, además añadiremos el valor de la proyección de demanda requerida a largo o corto, plazo de 15% que equivale a 600 kg/h de vapor de agua. Por lo que la demanda de vapor sería de 3900 kg/h vapor

Teniendo en cuenta la capacidad de vapor requerida por los equipos se realiza el cálculo del caldero de vapor para una capacidad de 4000 kg/h de vapor, a una presión de 10 bar.

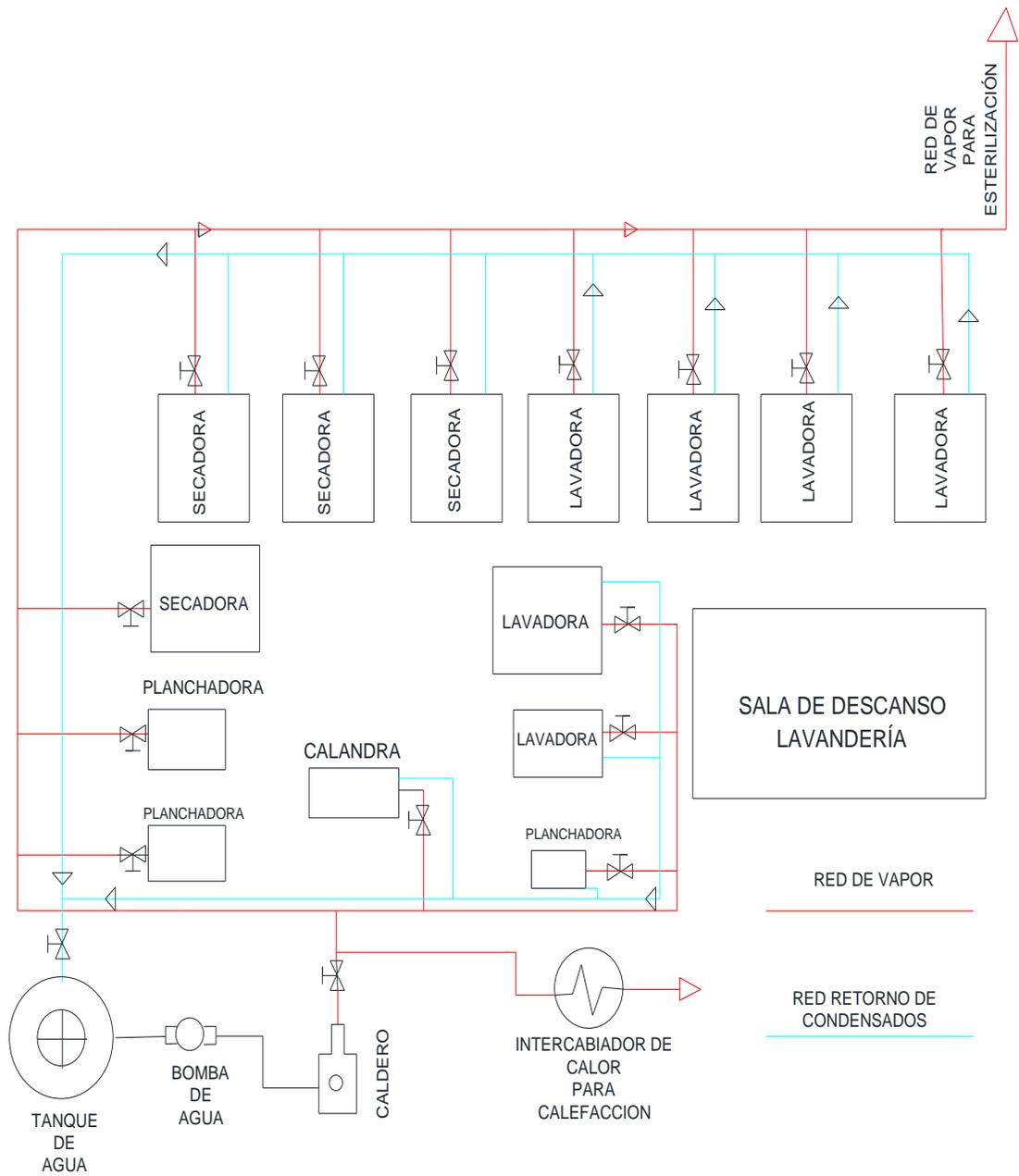


Figura 14. Red de distribución de vapor con la demanda requerida y retorno de condensados
Fuente: Elaboración Propia

3.2 Cálculo de las dimensiones del caldero a través del software fireCAD.

Introduciremos los siguientes datos al software:

Total de carga de vapor = 4000 kg/h de vapor

Presión = 10 bar

Temperatura de entrada de agua al caldero = 15 ° C (temperatura promedio en La Paz)

Gas natural en Bolivia (metano)

FireCAD - Fired Boiler - Input Form

File Add Fuel Config Run Help

Units: MKS Boiler Type: SteamBoiler

Steam Capacity: 4000 Back End: DRYBACK

Stm Pressure(g): 10.72 Stm Type: F&A 100C

Fuel: Gas Natural Boliviano WaterInTemp: 15

Fuel Composition - Gas

CH4	100	C4H10	0	H2S	0	O2	0
C2H4	0	C5H12	0	H2O	0	Rad. Loss	0.8
C2H6	0	C6H6	0	SO2	0	UnBurnt Loss	0.5
C3H6	0	H2	0	CO2	0	UnAccounted	0.5
C3H8	0	CO	0	N2	0	Ex Air	10

Gross Cal Value: CALCULATED 13256.11

Title: HOSPITAL OBRERO

AutoDesign Back Exit

Units - MKS
MKS Units: Steam Capacity-Kg/hr; Steam Pressure(g)-Kg/Cm2; Temp-degC;
GrossCalorificValue-Kcal/Kg; Length/Dia=mm; GasComp-%Vol

Figura 15. Parámetros de diseño
Fuente: Propia (FIRECAD)

FireCAD - Fired Boiler - Output Form - HOSPITAL OBRERO

File Add Fuel Print Run Help

Boiler Configuration		Boiler Performance		Combustion Details		
Steam Capacity	4000	Steam Capacity	4000	Dry Gas Loss	9.57	
Stm Pressure(g)	10.72	Stm Pressure(g)	10.72	Moisture Prod+Fuel	12.17	
Furnace Details :		Efficiency-GCV	76.2	Moist in Air	0.26 PerCent	
No Of Furnaces	1	Efficiency-NCV	84.39	UnBurrt Loss	0.5	
Furnace ID	863.94	Blr Exit Temp	324.04	UnAccounted Margin	0.5	
Furnace Length	3900	Fuel Name	Gas Natural	Radiation Loss	0.8	
Second Pass :		Fuel Consumption	213.85	Total Losses	23.8	
No Of Tubes	38	Fuel-GCV	13256.11	Gas Mass Flow	4339.89	
Tube OD	63.5	Fuel-NCV	11968.61	Gas Normal Vol Flow	3525.17	
Tube Len(Effect)	3900	Total PressureDrop	155.09	Excess Air	10	
Tube Thickness	3.66	Heat Load	2.16e06	Unit Wet Gas	20.38	
Third Pass :		Gross Heat Input	2.835e06	Unit Wet Air	19.38	
No Of Tubes	38	Net Heat Input	2.559e06	Gas Comp-----%Vol-----%Wt		
Tube OD	63.5	Furnace ExitGasTemp	1206.62	CO2	8.44	13.49
Tube Len(Effect)	3900	II Pass ExitGasTemp	554.97	H2O	18.78	12.28
Tube Thickness	3.66	III Pass ExitGasTemp	324.04	SO2	0	0
		Boiler ExitGasTemp	324.04	N2	71.08	72.27
		Heating Surface Area	69.71	O2	1.69	1.96
		II Pass GasMassVel	12.8	Title: <input type="text" value="HOSPITAL OBRERO"/>		
		III Pass GasMassVel	12.8	<input type="button" value="Redesign"/> <input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Exit"/>		

Units - MKS
 MKS Units: Stm Cap-Kg/hr; Stm Press-Kg/Cm2; Temp-degC; Cal.Val-Kcal/Kg; Length/Dia = mm; HeatLoad- Kcal/hr; Press.Drop-mm of WC; Area-Sq.mt; Gas Mass Flow-kg/hr; Gas Nor Flow-Nm3/hr; GasMassVel-Kg/s/m2

Figura 16. Calculo de tubos, superficie de calentamiento y eficiencia
Fuente: Propia (FIRECAD)

Calculo de la superficie de calentamiento, espesores de tubos de pasos de humos y cámara de combustión.

Calculamos el volumen de la cámara.

Dónde:

$$D \text{ camara} = 863,94 \text{ mm}$$

$$r \text{ camara} = 0,43 \text{ m}$$

$$L = \frac{Vc}{\frac{\pi * r^2}{4}}$$

$$3,90 \text{ m} * \frac{\pi * (0,43\text{m})^2}{4} = Vc$$

$$\mathbf{Vc = 0,57 m^3}$$

Calculamos la superficie de calentamiento de la cámara

$$Sc = \pi * Dc * Lc$$

$$Sc = \pi * 0,84 \text{ m} * 3,90 \text{ m}$$

$$\mathbf{Sc = 10,59 m^2}$$

Calculamos la superficie de calentamiento de los tubos

$$St = \pi * Dt * Lt * Nt$$

$$St = \pi * 0,063 \text{ m} * 3,90 \text{ m} * 38$$

$$\mathbf{St = 29,33 m^2}$$

Calculamos la disposición de los tubos

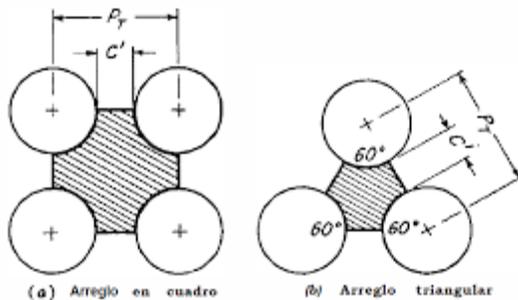


Fig. 7.19. Diámetro equivalente

Figura 17. Disposición de tubos para pasos de humo

Fuente: www.termosistem.com

Para realizar el cálculo de la distancia entre tubos debe ser igual a 1,25* diámetro de los tubos

$$P = 1,25 * 63,50 \text{ mm}$$

$$P = 79,37 \text{ mm}$$

$$e = Dc^{0,6} * \left(\frac{lc * S_2 * P}{1,73E_{young}} \right)^{0,4} + C$$

e = el espesor mínimo del cañón

Dc = diámetro del cañón

lc = longitud del cañón

S_2 = factor de seguridad igual a 3 para calderos \leq a 92 cm de diámetro, 3,9 para calderos $>$ 92 cm

P = presión de operación del caldero

E Young coeficiente de elasticidad o módulo de Young para el acero 210000 Mpa

C = factor de corrosión igual a 0,75 mm

$$e = 863\text{mm}^{0,6} * \left(\frac{3900\text{mm} * 3 * 2 \text{MPa}}{1,73 * 210000 \text{Mpa}} \right)^{0,4} + 0,75\text{mm}$$

$$e = 19,81 \text{ mm}$$

Calculamos el espesor de las carcasas anterior y posterior

$$ec = \sqrt{\frac{P}{CS} * \left(p^2 - \frac{\pi * Dt * l^2}{4} \right)}$$

ec = espesor de las caras posterior y anterior de la carcasa

P = paso entre tubos en el arreglo de los tubos

C = es un coeficiente igual a 2,1 para carcasas menores a 11 mm y 2,2 para mayores a 11 mm

Dt = diámetro de los tubos

P = presión máxima de diseño

S = es la máxima resistencia 121 Mpa para el acero

$$ec = \sqrt{\frac{2\text{Mpa}}{2,1 * 121\text{Mpa}} * \left(79,37\text{mm}^2 - \frac{\pi * 63,50\text{mm}^2}{4} \right)}$$

$$ec = 4,96\text{mm}$$

$$ec = 5 \text{ mm}$$

Calculo del espesor de la carcasa cilíndrica.

Calculamos el volumen del agua

$$(1m^3)/400Kw * 2146,67 Kw$$

$$\mathbf{Vagua = 5,37 m^3}$$

Calculamos el volumen total con el volumen del agua cañon y tubos

$$Vcarcasa = 5,37 + \left(\frac{\pi * (0,830m)^2}{4} * 3,90m \right) + 38 * \left(\frac{\pi * 0,063 mm^2}{4} * 3,90m \right)$$

$$Vcarcasa = 7,93 m^3$$

$$Vcar = \pi * r^2 * l$$

$$r = \sqrt{\frac{Vcar}{\pi * l}}$$

$$r = \sqrt{\frac{7,93 m^3}{\pi * 3,9 m}}$$

$$r = 0,80 m$$

$$\mathbf{Dcar = 1,60 m}$$

$$ecar = \frac{Pmax * D}{2 * S * E + 2 * y * P} + C$$

ecar : Espesor de la carcasa cilíndrica

Pmax ;Presión máxima permisible que es igual a 1.5 veces la presión de trabajo

D; diámetro del cilindro o carcasa

S: máxima resistencia a la tracción del material ,121 Mpa

E: coeficiente de soldadura o ligamiento (tabla Pg-26 código ASME calderos)

Y: coeficiente de temperatura (tabla Pg-27.4.6 código ASME calderos)

C: coeficiente de seguridad por roscado y estabilidad estructural (tabla Pg-27.4.3 código ASME calderos)

$$ecar = \frac{1.5 * 2Mpa * 1600mm}{2 * 121Mpa * 0,73 + 2 * 0,70 * 2Mpa} + 1,65$$

$$ecar = 28,40 \text{ mm}$$

3.3 Identificación y Descripción de Sistemas y Subsistemas.

Sistema de tratamiento de agua.

Dureza del agua en La Paz según la norma NB 512 ver anexo A es: 500 mg/l CaCO₃

Determinamos la dureza del agua

$$Dur = Dur \text{ la paz} \div 17,1$$

$$Dur = 500 \text{ ppm} \div 17,1$$

$$Dur = 29,24 \text{ gpg}$$

Determinamos los caballos vapor del generador

$$P = \dot{m} * 34,5$$

$$P = 4000\text{kg/h de vapor} = 8818,49 \text{ lb/h de vapor}$$

$$P = 8819,49 \text{ lb/h} * 34,5$$

$$P = 255,64 \text{ HP}$$

Determinamos la alimentación de agua máxima al generador

$$V = P * 4,25$$

$$V = 255,64 \text{ HP} * 4,25$$

$$V = 1086,47 \text{ gal/h}$$

$$V = 4112,74 \text{ lt/h}$$

$$V = 1,14 \text{ lt/seg}$$

Determinamos la cantidad de condensados de retorno

Consideramos un 50 % de retorno

$$Ret = V_{total} - V_{50\%}$$

$$Ret = 1088,47 \text{ gal/h} - 543,24 \text{ gal/h}$$

$$Ret = 543,24 \text{ gal/h}$$

$$Ret = 0,57 \text{ lt/seg}$$

Determinamos la alimentación total requerida por día

$$V_{total-dia} = Ret * 10 \text{ h}$$

$$V_{total-dia} = 543,24 \text{ gal/h} * 10 \text{ h}$$

$$V_{total-dia} = 5432,30 \text{ gal}$$

$$V_{total-dia} = 2056,39 \text{ lt}$$

Determinamos los gramos de dureza a remover por día

$$Dur_{dia} = V_{total-dia} * 29,24 \text{ gpg}$$

$$Dur_{dia} = 5432,30 \text{ gal} * 29,24 \text{ gpg}$$

$$Dur_{dia} = 158841,99 \text{ granos}$$

Debemos considerar un margen de error este margen es común el 15 %

$$Dur_{dia} = 158841,99 \text{ granos} * 1,15$$

$$Dur_{dia} = 182668,28 \text{ gpg}$$

30,000 granos por pie³ de resina (regenerando con 15 libras de sal por pie³ de resina)

25,000 granos por pie³ de resina (regenerando con 10 libras de sal por pie³ de resina)

20,000 granos por pie³ de resina (regenerando con 5 libras de sal por pie³ de resina)

Figura 18. Capacidades promedio del suavizador

Fuente: www.econext.com.mx

$$182668,28\text{gpg}/20000 \text{ grano por pie}^3=9,13\text{pie}^3 * 5 \text{ libras de sal por pie } 3$$

$$= 20,67 \text{ kg de sal por día}$$

Sistema de alimentación de agua.

Calculamos la capacidad de la bomba de agua.

Hallamos el Caudal.

$$Q = Vol/t$$

$$Q = 2056,39 \text{ lt}/1 \text{ h}$$

$$Q = 2056,39 \frac{\text{lt}}{\text{h}}$$

$$\mathbf{Q = 0,57 \text{ lt}/\text{seg}}$$

Calculamos la potencia de la bomba.

$$P_{teorica} = \gamma * H * Q$$

H ; Altura consideraremos 1 metro de altura de bombeo

γ ; peso específico de agua

Q ; Caudal

$$P_{teorica} = \gamma * H * Q$$

$$P_{teorica} = 9780 \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}^2 * \text{m}^3} * 1 \text{ m} * 0,56 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$\mathbf{P_{teorica} = 5,47 \text{ Kw}}$$

Calculamos la potencia real

Consideraremos una eficiencia de 85 %

$$P_{real} = \frac{P_{teorica}}{\eta}$$

$$P_{real} = \frac{5,57 \text{ Kw}}{0,85}$$

$$\mathbf{P_{real} = 6,44 \text{ kw}}$$

Consideraremos que tendremos 2 bombas de agua en el sistema una para trabajo y la otra bomba de respaldo de emergencia.

Cálculo del intercambiador de calor para calefacción.

Suministro de vapor para el sistema de calefacción. Realizaremos el cálculo de un intercambiador de calor para realizar la distribución hacia la red de calefacción.



Figura19. Distribución de vapor para el sistema de calefacción
Fuente: elaboración propia

Calculamos el intercambiador de calor

$$Q_c = m * CP * (\Delta T)$$

Dónde:

Q_c : Transferencia de calor

m : Flujo másico

CP : Calor específico del vapor de agua

ΔT : Diferencia de temperatura

Datos:

$$Q_c = 2,01 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{k})$$

$m = 600 \text{ kg/h}$ de vapor para calefacción

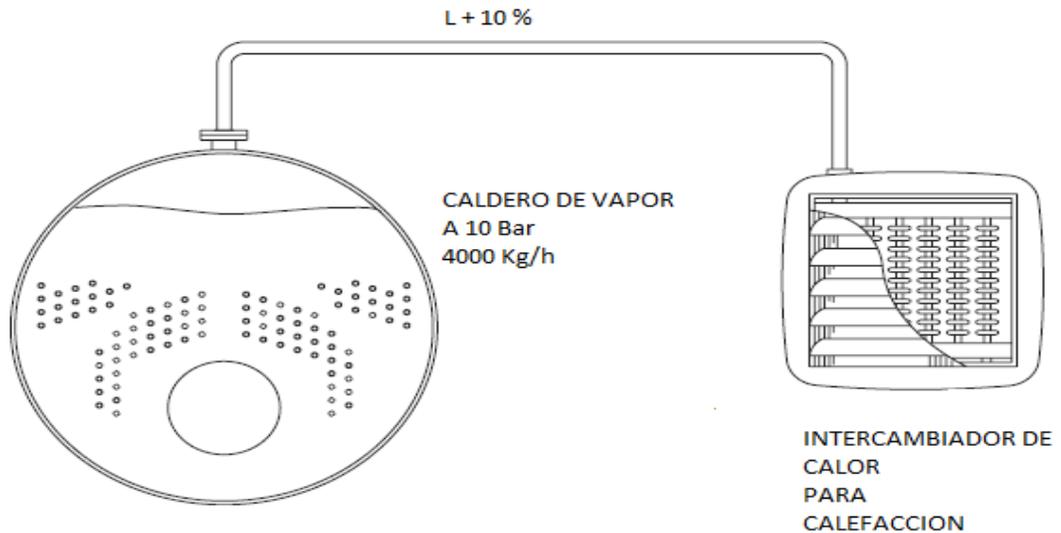
$$T_{\text{entrada}} = T_1 = 180^\circ \text{C} = 453,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{salida}} = T_2 = 100^\circ \text{C} = 373,15 \text{ K}$$

$$Q_c = m * CP * (\Delta T)$$

$$Q_c = 0,17 \text{ kg/seg} * 2,01 \text{ kJ}/(\text{kg} * \text{k}) * (453,15 - 373,15 \text{ K})$$

$$Q_c = - 27.33 \text{ Kw}$$



*Figura20. Conexión del caldero al intercambiador de calor
Fuente: Distribución de vapor –Spirax sarco*

Para mejorar la eficiencia del generador de vapor consideramos el retorno al tanque de almacenamiento de agua para así elevar la temperatura del agua y que está ya no ingrese a 15 °C al caldero si no a mayor temperatura y requiera menos energía calentarla.



Figura 21. Diagrama de flujo de vapor
Fuente: Elaboración propia

Para el correcto funcionamiento usaremos válvulas termostáticas para evitar el choque térmico, para mantener la temperatura de retorno deseada.

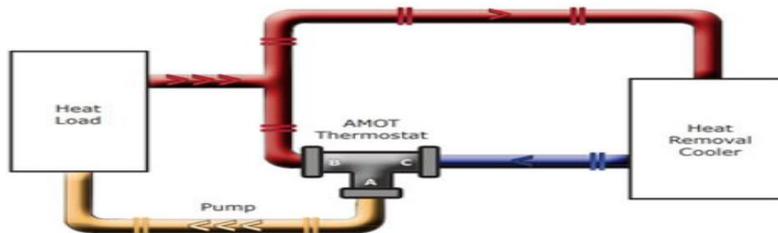


Figura22. Válvula termostática
Fuente: www.amot.com

Calculo la tubería de la red de distribución de vapor.

Con ayuda de tabla capacidades de tuberías de vapor saturado a velocidades específicas (tubería de Schedule 80). Ver ([Anexo A](#))

C = Velocidad = 40 m/s

Volumen específico de tablas = $0.24 \frac{m^3}{kg}$

$$V = 1.11 \text{ kg/s} * 0.24 \frac{m^3}{kg}$$

$$V = 0,27 \frac{m^3}{s}$$

$$D = \sqrt{\frac{4*V}{\pi*C}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4*0,27 \frac{m^3}{s}}{\pi*40 \frac{m}{s}}}$$

$$D = 0,092 \text{ m} = 92 \text{ mm}$$

Tenemos la longitud de distribución de vapor por planos del área de lavandería ver ([Anexo B](#)), conocemos la longitud de la red de distribución.

Calculo de las pérdidas de calor a través de las tuberías.

Analizaremos las pérdidas de calor a través de las tuberías sin aislación y posteriormente lo analizaremos con el aislante de fibra de vidrio.

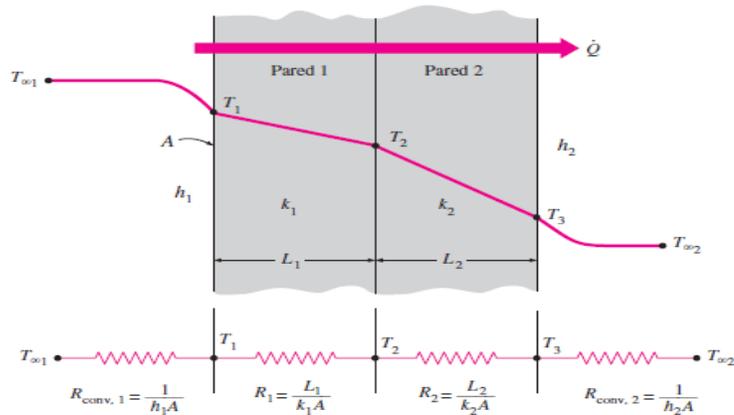


Figura 23. Transferencia de calor a través de tubería
Fuente: Transferencia de Calor y masa, Yunus A. Cengel.

Para ello analizaremos la sección de un tubo de la red de distribución por una longitud de un metro de sección de tubería, y calcularemos la pérdida de calor sin aislamiento y posteriormente con aislante

$$L = 1 \text{ m}$$

$$r = 92 \text{ mm} = 0,092 \text{ m}$$

Material	λ W/(m·K)	Material	λ W/(m·K)
Acero	47 - 58	Hielo	2
Acero inoxidable	12 - 45	Hierro	80,2
Agua	0,58	Hormigón	1,7
Aire	0,025	Ladrillo	0,80
Alcohol	0,16	Ladrillo refractario	0,47 - 1,05
Alpaca	29,1	Latón	81 - 116
Aluminio puro	237	Litio	301,2
Amianto	0,04	Madera	0,04 - 0,4
Bronce	116 - 186	Mercurio	83,7
Caucho	0,16	Mica	0,35
Cemento Portland	0,29	Níquel	52,3
Cinc	106 - 140	Oro	318
Cobre	401	Parafina	0,21
Corcho	0,03 - 0,04	Piedra arenisca	2,4
Diamante	900 - 2300	Plata	429
Estaño	64,0	Plomo	35,0
Fibra de vidrio	0,03 - 0,07	Polipropileno	0,12
Glicerina	0,29	Tierra húmeda	0,8
Helio (superfluidez)	infinito	Vidrio	0,6 - 1,1

Tabla 6. Coeficientes de conducción
Fuente: Transferencia de Calor y masa, Yunus A. Cengel.

Mediante la **Tabla 7** se encuentra los valores de coeficientes de conducción

Acero:

$$k_1 = 50 \text{ W/m K}$$

Lana o Fibra de Vidrio:

$$k_2 = 0,05 \text{ W/m K}$$

Aire:

$$k_1 = 0,025 \text{ W/m K}$$

Mediante la **Tabla 8** de convección se halla los coeficientes de convección de los fluidos.

Tabla 7. Coeficientes de convección.

Fuente: www.vaxasoftware.com

Medio	Coefficiente de transferencia de calor h (W/m ² · K)
Aire (convección natural)	5-25
Aire/vapor supercalentado (convección forzada)	20-300
Petróleo (convección forzada)	60-1800
Agua (convección forzada)	300-6000
Agua (en ebullición)	3000-60.000
Vapor (en condensación)	6000-120.000

Aire:

$$h_1 = 15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

La temperatura en el interior del vapor es $T_1 = 180 \text{ }^\circ\text{C}$ y la temperatura en el medio exterior del caldero es $T_2 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

$$T_1 = 180 \text{ }^\circ\text{C} = 453,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 15 \text{ }^\circ\text{C} = 285,2 \text{ K}$$

Calculamos perdidas de calor a traves de la tuberia sin aislante:

$$R_{\text{tubo}} = \frac{L}{k * A}$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{1 \text{ m}}{50 \text{ W/m K} * \pi * (0,092 \text{ m})^2}$$

$$R_{\text{tubo}} = 1,33 \text{ k/w}$$

$$R_{\text{aire}} = \frac{1}{h * \pi * r^2}$$

$$R_{\text{aire}} = \frac{1}{15 \text{ W/m}^2 \text{ K} * \pi * (0,092 \text{ m})^2}$$

$$R_{\text{aire}} = 2,51 \text{ k/w}$$

Calculamos perdidas de calor a traves de la tuberia con aislacion:

$$R_{\text{fibra}} = \frac{L}{k * A}$$

$$R_{fibra} = \frac{1 \text{ m}}{0,05 \text{ W / m K} * \pi * (0,092 \text{ m})^2}$$

$$R_{fibra} = 752,15 \text{ k/w}$$

Sumamos las pérdidas de calor del tubo y el tubo sin aislación:

$$R_t = R_{tubo} + R_{aire}$$

$$R_t = 1,33 \text{ k/w} + 2,51 \text{ k/w}$$

$$R_t = 3,84 \text{ k/w}$$

Entonces la pérdida de calor es la siguiente sin aislación:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_t}$$

$$Q = \frac{453,15 \text{ K} - 285,2 \text{ K}}{3,84 \text{ k/w}}$$

$$Q = 43,73 \text{ W}$$

Sumamos la resistencia del tubo y la resistencia con aislación:

$$R_t = R_{tubo} + R_{fibra}$$

$$R_t = 1,73 \text{ k/w} + 752,15 \text{ k/w}$$

$$R_t = 753,88 \text{ k/w}$$

Entonces la pérdida de calor con aislación es la siguiente:

$$Q = \frac{T1 - T2}{Rt}$$

$$Q = \frac{453,15 \text{ K} - 285,2 \text{ K}}{753,88 \text{ k/w}}$$

$$Q = 0,22 \text{ W}$$

Con el valor encontrado llegamos a la conclusión que a pérdida de calor es mucho menor con el aislante de fibra de vidrio mejorando la eficiencia de la red de distribución.

Calculo del Quemador.

Cálculo del Calor aprovechado.

Es la cantidad de calor aprovechado por el agua hasta lograr su evaporación y sobrecalentamiento a una temperatura indicada

La forma más práctica de evaluar la carga térmica de la caldera es mediante la

Diferencia de la entalpía entre el estado final e inicial del agua expresado

$$Q = \Delta h \cdot m \text{ (kW)}$$

Dónde:

Δh es la entalpía del vapor y se halla en tablas de vapor con la presión absoluta del vapor o la temperatura del mismo.

h_1 es la entalpía del agua como líquido y se halla en tablas de vapor con la temperatura del agua de alimentación al caldero.

Hallamos las entalpías por tablas:

$h_1 =$ *Entalpía de entrada.*

Con temperatura del agua que ingresa al caldero $T = 15^\circ\text{C}$ temperatura promedio de La Paz por tabla en función de temperaturas (**Anexo A**), se obtiene la entalpía de entrada.

$$h_1 = 62,99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$h_2 =$ *Entalpía de salida.*

Con presión del vapor en el caldero $P = 10$ bar por tabla en función de presiones **Anexo A**, se obtiene la entalpía de salida.

$$h_2 = 2015,3 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

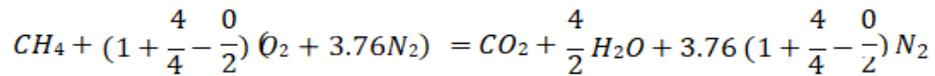
Entonces se calcula el calor aprovechado Q_a con los valores obtenidos:

$$Q_a = m_{\text{vapor}} * (h_2 - h_1)$$

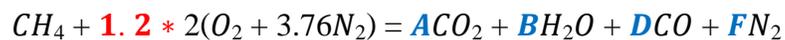
$$Q_a = 4000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} * (2015,3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 62,99 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}})$$

$$Q_a = 2169,23 \text{ KW}$$

Ecuación estequiométrica. Se denomina así a la combustión que se realiza con la cantidad teórica de oxígeno estrictamente necesaria para producir la oxidación total del combustible sin que se generen productos no quemados o parcialmente quemados. En consecuencia, no se encuentra O_2 en los humos ya que dicho O_2 se consume totalmente durante la combustión. También se puede definir como *la cantidad mínima necesaria de aire para la combustión total de una unidad másica de combustible.*



Combustión con exceso de Aire. En toda combustión abierta a la atmósfera como la combustión de una vela, un mechero Bunsen, una fogata, etc, el aire de la combustión se está tomando del ambiente. En tal caso se tiene una combustión atmosférica que por lo general es una combustión incompleta por la presencia de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados. Si se quiere una combustión completa, se debe alimentar el fuego con aire por medio de un ventilador, aireador u otra forma de inyección de aire y que avivará la llama. Cuando se tiene más aire que la cantidad de aire estequiométrica, se dice que se tiene una *combustión con exceso de aire*. El exceso de aire se mide en porcentajes del aire teórico y lo recomendable para fines de diseño de equipos de combustión es de 15% a un 20% como máximo para asegurarse de tener una combustión completa.



Carbono C: A=1.

Hidrógeno H: 4=2B B=2.

Oxígeno O: 1,2*2*2=2A+B+D D=0,8.

Nitrógeno N: 1,2*2*3,76=F F=9,024.

Por último se obtiene la ecuación estequiométrica igualada.



Relación Aire Combustible. Se realiza la relación aire combustible.

$$A/Combs = \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible}}$$

$$A/Combs = \frac{1,2 * 2 * (1 + 3,76) \text{ mol Aire} * 28,9 \frac{Kg \text{ aire}}{\text{mol de aire}}}{1 \text{ mol Combustible} * (1 * 12 + 4 * 1) \frac{Kg \text{ combustibl}}{\text{mol de combustible}}}$$

$$A/Combs = 20,63 \frac{Kg \text{ aire}}{Kg \text{ de combustible}}$$

Calculando la Potencia calorífica del quemador.

Es la cantidad de calor por unidad de tiempo que se obtiene del quemador en el proceso de combustión y se define por:

$$Q_s = \dot{m} * PC$$

Dónde:

Tipo de combustible = gas natural

$$PCI = 9,72 \frac{Kw * h}{m^3}$$

Q_s es el calor suministrado o Potencia teórica del quemador (kW)

\dot{m} es el flujo másico del gas combustible.

PCI es el poder calorífico inferior.

Calculo del flujo másico

Se calcula el flujo másico a través de la relación del rendimiento del generador de vapor. Se define como la relación entre el calor que se aprovecha de la caldera Q_a , es decir, el calor que toma el fluido de trabajo (vapor), desde que entra como líquido hasta que sale de la caldera como vapor, y el calor suministrado a la caldera Q_s liberado por la combustión del combustible dentro del horno.

Con ayuda del programa FIRE CAD obtenemos la rendimiento que es igual a: 84,39 %

Para el cálculo del flujo másico consideramos de tablas el valor del poder calorífico para el gas en condiciones normales:

$$P.C.I. = 13,89 \frac{Kw \cdot h}{Kg}$$

$$\eta = \frac{Q_a}{Q_s} * 100 \%$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_{vapor} * (h_2 - h_1)}{\dot{m} * PC} * 100 \%$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_{vapor} * (h_2 - h_1)}{\eta * PC} * 100 \%$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_{vapor} * (h_2 - h_1)}{0,8439 * PC.}$$

$$\dot{m} = \frac{2169,23 \text{ kw}}{0,8439 * 13,89 \frac{Kw \cdot h}{Kg}}$$

$$\dot{m} = 185,06 \frac{kg}{h} \text{ Combustible}$$

Hallamos el flujo volumétrico a través de la densidad del gas.

La densidad del gas (metano) es de 0,657 kg/m³

$$\rho = \frac{\dot{m}}{\dot{V}}$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$\dot{V} = \frac{185,06 \frac{kg}{h} \text{Combustible}}{0,657 kg/m^3}$$

$$\dot{v} = 281,67 \frac{m^3}{h}$$

Hallamos el calor suministrado con el poder calorífico inferior del gas (metano) en La Paz

$$Q_s = \dot{v} * P.C.I$$

$$Q_s = 281,67 \frac{m^3}{h} * 9,72 \frac{KW * h}{m^3}$$

$$Q_s = 2737,83 KW$$

Volvemos a calcular la eficiencia

$$\eta = \frac{Q_a}{Q_s} * 100 \%$$

$$\eta = \frac{2169,23 KW}{2737,83 KW} * 100 \%$$

$$\eta = 79,23 \%$$

El rendimiento disminuye por el poder calorífico entregado del gas para el metano en Bolivia.

3.4 Selección de dispositivos de control y medición para el caldero de vapor

Selección del regulador de gas.

Sabemos que el caudal volumétrico del combustible es: $281,67 \frac{m^3 \text{ combustible}}{h}$



*Figura 24. Medidor de gas natural rotativo
Fuente: www.common.com*

Medidor rotativo g250 de la marca Common. Ver ([Anexo A](#))

Características:

$$Q \text{ máximo} = 400 \frac{m^3}{h}$$

$$Q \text{ min} = 4 \frac{m^3}{h}$$

P máxima trabajo = 20 bar

Diámetro nominal = DN 80

Temperatura ambiente: -25 a 70 °C

Material del cuerpo: Aluminio

Seleccionamos el regulador de gas

Con presión de red de 4 bar

Presión del quemador de 250 mbar

	Presión de diseño : hasta 20 bar	Modelo: DIVAL 600
	Rango de presión de entrada: 0,2 a 20 bar	Rango de temperatura de operación: -20 a 60° C
	Rango de regulación: 10 a 350 mbar	Dimensiones: DN 40 de 1 ¼"
	Tipo de cabezal: 280/RT	Velocidad máxima: 25 m/s a 4 bar

Figura 25. Regulador de gas

Fuente: www.inoxpa.com

Presostato de Vapor

El presostato de vapor se encarga de apagar al quemador cuando llegue a la presión deseada y encender el quemador cuando la presión haya bajado.

	Rango de regulación de 5 – 25 bar	Temperatura ambiente: -50 a 70 ° C
	Diferencial mecánica ajustable: 1.2 bar	Corriente alterna :AC- 10ª-400 Vol
	Presión de prueba max: 47 bar	Conexión de cable: 6 – 14 mm
	Presión de funcionamiento max: 42 bar	Código n° : 017-518166

Figura 26. Presostato

Fuente: www.grupodanfpos.com

Válvula de Seguridad

Es el dispositivo de seguridad más importante se puede decir, ya que este dispositivo es una válvula de seguridad de presión que se encuentra instalada en el Caldero, si en cualquier caso el Presostato sufriera cualquier avería o mal funcionamiento, entonces este será el que entra en acción ya que esta válvula controlará que no sobrepase la presión máxima del caldero.

	Presión máxima de trabajo : DN 25/80 15 bar	Temperatura máxima de trabajo: 250 °- varía de acuerdo a la junta
	Presión de apertura: regulable en función al muelle	Acabado superficial: Ra 0,8 um
	Caudal máximo:DN-25 10000 lt/h	Juntas en contacto: EPDM(estándar)
	Tipo de conexiones: DIN 11851 (estándar)	Clase NLG DIN : 51818

Figura27. Válvula de alivio

Fuente: www.inoxpa.com

Visor de nivel.

Es el Accesorio con que cuenta el caldero, que nos sirve para la inspección visual de nivel de agua

	Presión máxima de trabajo : 25 bar	Temperatura máxima de trabajo: 300 °C
	Material de construcción :acero al carbono	Temperatura máxima de operación : 250 °C
	Válvula de purga: GG 25	Conexiones: DN 20 / PN16
	Visor reflexivo: vidrio templado	Unión de válvula: AISI 204

Figura 28. Visor de nivel de agua
Fuente: www.sotermic.cl

Manómetro.

Encargado de medir la presión del caldero.

	Código de producto: MA - RG	Temperatura máxima de trabajo: -20 a 60°C
	Margen vizualizado:0 a 16 bar	Fluido de funcionamiento: gases inertes- líquidos neutros
	Tamaño nominal : 50 mm	Forma constructiva: tubo de Bourdom
	Conexión neumática : G 1/4	Peso : 70 gr

Figura 29. Manómetro
Fuente: www.festo.com/catalogue

Selección de elementos eléctricos.

Para bomba de agua

Tenemos como dato la potencia de la bomba

$$P_{real} = 6,44 \text{ Kw}$$

Para realizar los cálculos consideraremos $\cos \phi$ igual a 0,8.

Calculamos la corriente

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \phi}$$

$$I = \frac{6,44 \text{ kw}}{\sqrt{3} * 400 \text{ vol} * 0,8}$$

$$I = 11,62 \text{ A}$$

De acuerdo a tabla de conductores seleccionamos el *calibre* Awg # 12

Para el sistema de protección de la bomba seleccionamos. Ver ([Anexo A](#))

El interruptor termomagnético de la marca *siemens 5SX2 320-7 de 3 polos para 20 amperios 380/400 vol.* Ver ([Anexo A](#))



*Figura 30. Distribución eléctrica del sistema de generación de vapor
Fuente: elaboración propia*

Sistema de Control del Caldero y quemador.

Es el centro de comando del caldero ya que controla distintos parámetros de funcionamiento del caldero, el cual se encarga de controlar y accionar los sistemas de bombeo de agua y funcionamiento del quemador



*Figura 31. Tablero de Control Caldero
Fuente: Hospital Obrero N° 3*

3.5 Generación de Planos de diseño.

Ver **Anexo B.**

3.6 Montaje del caldero de vapor

Los pasos a seguir para el montaje del caldero de vapor son:

- 1 Primero se procede a desmontar el quemador del caldero de vapor para recortar Espacio de trabajo y cuidar del quemador de posibles daños en el traslado.
- 2 Segundo paso se proceder a la extracción de los electrodos de nivel de agua para resguardar su integridad ya que son elementos muy delicados
- 3 Posteriormente se quita la chimenea de salida de gases por su elevado tamaño y aligerar un poco el peso del equipo
- 4 Cuarto paso se hace el enguachado del equipo para volarlo o elevarlo a través de una grúa sobre la instalación del hospital ya q este equipo será instalado en el subsuelo y es la única manera de llegar a este punto **ver figura 32**
- 5 Quinto paso se deja el equipo bien centrado sobre su fundación que actualmente ya cuenta el hospital
- 6 Sexto paso se realiza la conexión de todos elementos extraídos anteriormente del caldero como ser el quemador, electrodos de nivel, chimenea y válvulas
- 7 Como séptimo paso se procede a realizar la conexión de la bomba de agua del caldero al depósito de agua
- 8 Por último se hace la conexión de gas para que suministre combustible al quemador



Figura 32. Grúa de carga montaje de equipos industriales
Fuente: Metalconfort

3.7. Guía de Operación y Mantenimiento.

Guía De Operación.

Lo primero que se debe considerar antes de realizar la operación de una caldera es necesario observar lo que sucede desde la entrada hasta la salida de la unidad. En la operación completa de una unidad están involucrados varios ciclos, como el ciclo del calor, el ciclo de agua y vapor, y el ciclo de circulación de agua, donde todos éstos interactúan para obtener el producto de una caldera.

En la operación de las calderas se debe vigilar y controlar continua y efectivamente el flujo de aire de entrada al hogar, el agua, el combustible requerido y el vapor, con el fin de garantizar un buen funcionamiento con una producción permanente de vapor a una presión constante, tal como lo requieren los procesos.

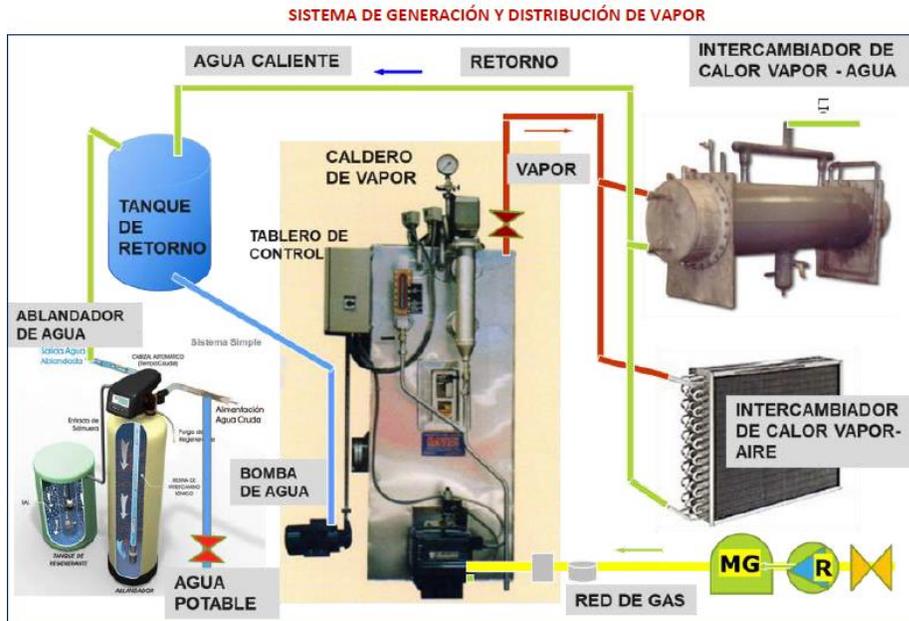


Figura 33. Sistema de generación y distribución de vapor

Fuente: <https://es.calameo.com>

Instrucciones para operar la caldera.

Seguir la siguiente secuencia:

1. Verificar el tanque de agua que esté completamente lleno.
2. Antes de alimentar al tablero de control verificar la fase y neutro para poder conectar correctamente. De no ser así o de no estar seguro, no alimentar al tablero de control.
3. Verificar que el disyuntor termomagnético esté en posición energizada al tablero.
4. Antes de girar la llave selectora del tablero, aseguramos de que estén abiertas todas las válvulas en la línea de alimentación de agua, como también de que esté alimentado la válvula de salida de vapor, esto para evitar posibles daños al mecanismo de la bomba de alimentación, cierre la válvula de drenaje de agua del caldero. La bomba debe apagarse cuando el nivel de agua alcanza el nivel alto de agua, supervisando mediante

el visor de nivel de agua.

5. Después de haber verificado el llenado de agua al caldero, cerrar la válvula de salida de vapor.
6. Abrir la llave de alimentación de combustible.
7. Presionar el pulsador ON del tablero de control para encender e iniciar el funcionamiento del Caldero. Iniciando el ciclo de funcionamiento del quemador .
8. En el caso de no poder arrancar y que el tablero nos indique el piloto de falla, presionar el pulsador OFF para reiniciar el sistema. Posteriormente volverá iniciar el sistema de encendido con el pulsador ON.

Una vez el caldero que se encuentre en funcionamiento llegara a los 10 bares de presión, una vez llegada a esta presión el presostato mandara la señal al tablero de control del caldero para que desactive al quemador.

El Caldero bajara hasta los 6 bares y automáticamente se volverá a iniciar el ciclo de encendido del quemador.

9. De no poder arrancar el caldero debido a fallas de encendido, el sistema de control nos indicará falla y se deberá reiniciar el sistema presionando el pulsador OFF. Luego revisar posibles fallas de encendido. Una vez realizada la inspección encender con el pulsador ON.
10. Para detener el funcionamiento del Caldero, presionar el pulsador OFF.
11. Una vez finalizado el funcionamiento del Caldero, despresurizar totalmente por la salida de Vapor.
12. Desenergizar con la llave selectora todo el tablero de Control.
13. Desenergizar el tablero de control de la alimentación principal.
14. Asegurarse completamente que esté despresurizado el caldero.
15. Expulsar todo el Agua que contiene el caldero por la llave de drenaje (Tener cuidado ya que el agua se encuentra a Alta temperatura).

16. Cerrar todas las válvulas.

Guía de Mantenimiento.

Mantenimiento preventivo.

1. Limpieza de polvo en controles eléctricos y revisión de contactos.
2. Limpieza de filtros de las líneas de combustible, aire y vapor.
3. Mantenimiento a todo el sistema de agua: filtros, tanques, válvulas, bomba, etc.
Engrasar motores.
4. Purga diaria de columna de agua.
5. Desmonte y limpieza del sistema de combustión.
6. Verificar estado de la cámara de combustión y refractarios.
7. Verificar estado de trampas de vapor.
8. Limpieza cuidadosa de columna de agua.
9. Verificar acoples y motores.
10. Verificar asientos de válvulas y grifos.
11. Verificar bloqueos de protección en el programador.
12. Dependiendo del combustible, incluir limpieza del sistema de circulación de gases.
13. Verificación de limpieza de mallas a la entrada del aire al ventilador, filtro de aire en el compresor, filtros de combustible, área de la caldera y sus controles.
14. De acuerdo a un análisis del agua y las condiciones superficiales internas de la caldera, se determina si es necesario realizar una limpieza química de la caldera.
15. Mantenimiento de motores eléctricos en un taller especializado. Desarme total con limpieza y prueba de aislamientos y bobinas.

Atención de Emergencias en Calderas.

En la siguiente tabla se presentan las condiciones de emergencias más comunes que ocurren durante la operación de calderas, por las cuales se debe aplicar una acción inmediata, y se describen las medidas preventivas que evitarían la ocurrencia de la emergencia.

Tabla 8. Procedimientos de Emergencias en Calderas

Evento	Acción	Medida preventiva
▪ Explosión del tubo de nivel	▪ Cerrar los grifos de nivel	▪ Utilizar los tubos indicados ▪ Verificar el alineamiento de los racores ▪ Colocar válvulas de venteo de aire en el McDonnell ▪ Programa de Mantenimiento
▪ Incendio en el hogar de la caldera	▪ Cortar el suministro de combustible ▪ Retirar del hogar el exceso de combustible	▪ Revisar periódicamente el sellado de las solenoides y repararlas o cambiarlas
▪ Excesiva temperatura de gases	▪ Sacar de servicio la caldera ▪ Proceder a enfriarla	▪ Establecer frecuencia de deshollinado

de salida	para deshollarla	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ No es visible el nivel de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apagar el equipo ▪ No suministrar agua fría 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalar o revisar controles y alarmas de nivel ▪ Programa de mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nivel bajo de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cortar el suministro de combustible 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalar o revisar controles y alarmas de nivel
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exceso de presión 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumentar la salida de Vapor. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalar controles de exceso de presión (válvula de seguridad). ▪ Verificación periódica de los controles.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cortocircuito 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desconectar el corto circuito tomando las debidas precauciones ▪ Abrir el disyuntor del corto-circuito o desconectar ▪ Estar preparados para usar extintores en Incendios de origen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar mediciones de resistencia eléctrica de aislamiento. ▪ Ubicación y coordinación apropiada de los dispositivos de protección

	eléctrico.	
▪ Equipo eléctrico mojado	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cortar la corriente eléctrica ▪ Secar y probar los motores 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Localizar los equipos eléctricos por fuera de niveles de inundación ▪ Usar protectores y cubiertas para evitar la humedad
▪Escapes de vapor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el escape es en el tubo de vapor, cortar el vapor ▪ Si el escape es en la caldera, parar la caldera 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinar causa del escape y corregir el problema para evitar que vuelva a suceder ▪ Programa de mantenimiento
▪Fallas repetidas en motor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sustitución por un motor de recambio 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinar si el uso del motor es correcto y si este es apropiado para su función

Fuente: Temas Selectos de ingeniería Térmica, J. L. Hernández,

CAPÍTULO 4 COSTOS.

4.1 Costos de Componentes.

Tabla 9. Costo del ablandador de agua, quemador y bomba de agua por cotización, ver (Anexo A)

Ítem	UNIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO Bs.	PRECIO TOTAL Bs.
1	pieza	Bomba de agua	2	5926,23	11852.40
2	pieza	Quemador Baltur maraca italiana	1	105293,95	105293,95
3	pieza	Tratamiento de agua automático FLECK USA	1	32456,45	32456,45
4	pieza	Tanque de agua	1	13988.66	13988.66
5	pieza	Panel eléctrico siemens	1	59744.67	59744.67
6	pieza	Válvulas e instrumentos	1	61674.14	61674.14
					285009.97

Fuente: Elaboración propia

4.2 Costos de Operación.

Los costos de operación para la generación de vapor dependen de las siguientes variables

Consumo y costo de combustible

Costo de consumo de energía eléctrica

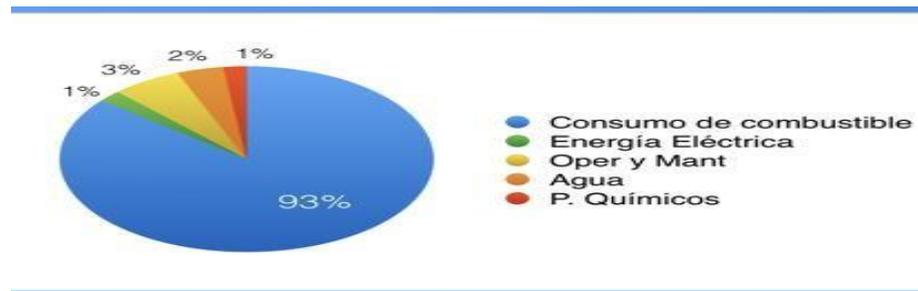


Figura 34. Porcentaje de costo de operación

Fuente: vaporparalaindustria.com

Puede observarse en la gráfica anterior, que el coste asociado al combustible representa sobre el 93% del coste de generación de vapor, al usar gas o petróleo como combustibles.

Como se observó en la **Figura 34**, el costo de operación es prácticamente el costo de combustible. Es por eso que tomaremos como costo de operación el costo de combustible. Y realizaremos solo el cálculo del costo de combustible.

La tarifa de consumo de gas natural según la ANH es $0,43 \text{ Bs}/\text{m}^3$.

El flujo volumétrico de combustible promedio comparando el consumo del generador actual es de $281,67 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

Entonces el costo de consumo de combustible será:

$$\text{Costos de consumo de combustible} = 0,43 \text{ Bs}/\text{m}^3 * 281,67 \text{ m}^3/\text{h} * 8 \text{ h}$$

$$\text{Costos de consumo de combustible} = 968,94 \text{ Bs}$$

Costo de consumo de energía eléctrica

La tarifa es igual a 0,674 Bs por KW

Potencia de nuestra bomba de agua es igual a 6,44 kw

Consumo de energía eléctrica = 6,44 KW* 0,624 Bs/Kw = 4,02 Bs *192 horas de trabajo que equivalen a un mes de consumo.

Consumo de energía eléctrica de = 771,56 Bs por mes

Costo de fabricación del caldero por cotización es de 384722.58 Bs. Ver (Anexo A)

4.3 Costo Total Final.

Análisis de Costos			
Proyecto	Rediseño del sistema de generación de vapor		
Ubicación	LA PAZ - BOLIVIA		
Especificaciones	4000 kg/h - 10 bares		
Costo de construcción de caldero			
Caldero			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario(Bs)	Costo Total(Bs)
Caldero WNS4-1	1	384722,58	384722,58
Total (Bs.)			384722,58
costos de componentes del ablandador de agua y quemador			
Componentes			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario(Bs)	Costo Total(Bs)
Bomba de agua	2	5926,23	11852,46
Quemador Baltur	1	105293,95	105293,95
Tratamiento de agua FLECK-USA	1	32456,35	32456,35
Tanque de agua	1	13988,66	13988,66
Panel eléctrico siemens	1	59744,67	59744,67

Válvulas e Instrumentos	1	61674,14	61674,14
Total (Bs.)			285009,97
Costos de Operaciones			
Operaciones			
Descripción	Tipo de combustible	Precio Unitario(Bs)	Costo Total(Bs)
consumo de combustible	gas natural (metano)	968,94	968,94
consumo de energía eléctrica	energía eléctrica	771,56	771,56
Total (Bs.)			1740,50
COSTO TOTAL (Bs.)			622259,69

Tabla 10. Costo Total
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

Se logró calcular la nueva capacidad del nuevo generador de vapor y la de sus subsistemas para satisfacer la demanda de las instalaciones de lavandería, calefacción y esterilización

Se realizó en análisis de pérdidas de energía a través de la red de distribución y se pudo mejorar el rendimiento del sistema de distribución con el aislante de fibra de vidrio. Además se pudo calcular la capacidad del intercambiador de calor para la distribución hacia el área de calefacción.

Se realizó el cálculo del quemador de combustión que se encarga de suministrar la energía calorífica suficiente para poder generar 4000 kg/h vapor.

Se logró seleccionar los elementos de medición y protección para el caldero de vapor.

Se realizó el análisis del costo de proyecto a través de cotizaciones suministrada por la empresa ZG Industrial Boiler.

5.2 RECOMENDACIONES.

Se recomienda añadir al caldero un medidor de flujo de vapor para determinar el flujo másico en tiempo real.

Se recomienda realizar el estudio del suelo de la sala de máquinas para poder diseñar la base del caldero de vapor.

Se recomienda realizar un estudio para contrastar con los cálculos de parámetros dimensionados en el presente proyecto.

BIBLIOGRAFÍA.

ABARCA BAHAMONDEZ, P. (2008). *Descripcion de Calderas y Generadores de Vapor.*

AVILA REYNA, A., & PEREX BRANDT, J. M. (2010). *Modelado y Simulacion de una Caldera para la Implementacion de Lazos de Control con PLC.* Mexico.

BETANCOURT PRISCO, J. C., & OSPINA BERRIO, J. E. (2010). *Diseño y Construcción de un Prototipo de Caldera que usa como combustible Cascara de Jatropha Curca.* Medellin.

BPVC, C. A. (2010). *Codigo ASME para Calderas y Recipientes a Presion.*

DONOSO CONTRERAS, A. (2001). *Diseño de un Caldero Piro-tubular para el secado de madera usando aserrin como combustible.*

ENGINEERS, A. S. (2010). *Boilers and Pressure Vessel Code.*

HERNANDEZ QUISBERT, J. L. (2014). *Temas Selectos de Ingenieria Termica.* La Paz: HERRERA ORDOÑEZ, M. A. (2009). *Selección de Equipos y Diseño del Sistema para*

Calentamiento de Agua en un Hotel Cinco Estrellas. Guayaquil.

IGUARAN DUARTE, O. A., & MARTINEZ BARRIOS, D. M. (2008). *Diseño y Construcción de una Mini Caldera Piro-tubular para el Laboratorio de Transferencia de Calor.* Bucaramanga.

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. (s.f.). *Mantenimiento Industrial.* Obtenido de Mantenimiento Industrial: <http://www.slideplayer.com/slide/5654016/>

MORALES GALAN, D. (2010). *Control avanzado de una Caldera*. Madrid.

MUÑOZ NEIRA, M. J., PINTO HERRERA, H. A., & AUGUSTO PINZON, C. (2004). *Diseño y Construcción de un Sistema Automático para el encendido y apagado de una Caldera Industrial*. Bucaramanga.

PIMMSA®. (s.f.). *Proyectos industriales y Mantenimiento de Morelia S.A. de C.V.*

Obtenido de http://www.calderaspimmsa.com.mx/c_horizontales.html

PUNINA GUERRERO, D. J., & ARCOS ROBAYO, J. R. (2014). *Diseño y Construcción e Instalación de un Generador de Vapor para el Laboratorio de Transferencia de Calor*. Riobamba.

QUINTERO CARRASCAL, A. P. (2013). *Diseño Mecánico de un Generador de Vapor tipo Acuotubular de presión Subcrítica y baja producción de Vapor*. Barranquilla.

ANEXOS.

Anexo A.

Presión bar	Velocidad		kg/h												
	m/s		15mm	20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	65mm	80mm	100mm	125mm	150mm		
0,4	15	7	14	24	37	52	99	145	213	394	648	917			
	25	10	25	40	62	92	162	265	384	675	972	1457			
	40	17	35	64	102	142	265	403	576	1037	1670	2303			
0,7	15	7	16	25	40	59	109	166	250	431	680	1006			
	25	12	25	45	72	100	182	287	430	716	1145	1575			
	40	18	37	68	106	167	298	428	630	1108	1712	2417			
1,0	15	8	17	29	43	65	112	182	260	470	694	1020			
	25	12	26	48	72	100	193	300	445	730	1160	1660			
	40	19	39	71	112	172	311	465	640	1150	1800	2500			
2,0	15	12	25	45	70	100	182	280	410	715	1125	1580			
	25	19	43	70	112	162	295	428	656	1215	1755	2520			
	40	30	64	115	178	275	475	745	1010	1895	2925	4175			
3,0	15	16	37	60	93	127	245	385	535	925	1505	2040			
	25	26	56	100	152	225	425	632	910	1580	2480	3440			
	40	41	87	157	250	375	595	1025	1460	2540	4050	5940			
4,0	15	19	42	70	108	156	281	432	635	1166	1685	2460			
	25	30	63	115	180	270	450	742	1080	1980	2925	4225			
	40	49	116	197	295	456	796	1247	1825	3120	4940	7050			
5,0	15	22	49	87	128	187	352	526	770	1295	2105	2835			
	25	36	81	135	211	308	548	885	1265	2110	3540	5150			
	40	59	131	225	338	495	855	1350	1890	3510	5400	7870			
6,0	15	26	59	105	153	225	425	632	925	1555	2525	3400			
	25	43	97	162	253	370	658	1065	1520	2530	4250	6175			
	40	71	157	270	405	595	1025	1620	2270	4210	6475	9445			
7,0	15	29	63	110	165	260	445	705	952	1815	2765	3990			
	25	49	114	190	288	450	785	1205	1750	3025	4815	6900			
	40	76	177	303	455	690	1210	1865	2520	4585	7560	10880			
8,0	15	32	70	126	190	285	475	800	1125	1990	3025	4540			
	25	54	122	205	320	465	810	1260	1870	3240	5220	7120			
	40	84	192	327	510	730	1370	2065	3120	5135	8395	12470			
10,0	15	41	95	155	250	372	626	1012	1465	2495	3995	5860			
	25	66	145	257	405	562	990	1530	2205	3825	6295	8995			
	40	104	216	408	615	910	1635	2545	3600	6230	9880	14390			
14,0	15	50	121	205	310	465	810	1270	1870	3220	5215	7390			
	25	85	195	331	520	740	1375	2080	3120	5200	8500	12560			
	40	126	305	555	825	1210	2195	3425	4735	8510	13050	18630			

Figura 11. Tabla capacidades de tuberías de vapor saturado a velocidades específicas (tubería de Schedule) 80

Fuente: www.vemacero.com

CEDULA 40									
Diámetro Nominal		Diámetro Exterior		Espesor		Peso		Presión de Prueba ASTM A-53	
Pulg.	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm	Lb/pie	kg/m	Lb/pulg ²	Kg/cm ²
1/2"	13	0.84	21.3	1.11	2.77	0.85	1.27	700.00	50.00
3/4"	19	1.05	26.7	0.11	2.87	1.13	1.69	700.00	50.00
1"	25	1.32	33.4	0.13	3.38	1.68	2.5	700.00	50.00
1 1/4"	32	1.66	42.2	0.14	3.56	2.27	3.39	1,200.00	85.00
1 1/2"	38	1.90	48.3	0.15	3.68	2.72	4.05	1,200.00	85.00
2"	50	2.38	60.3	0.15	3.91	3.65	5.44	2,300.00	162.00
2 1/2"	64	2.88	73	0.20	5.15	5.79	8.63	2,500.00	176.00
3"	76	3.50	88.9	0.22	5.49	7.58	11.29	2,220.00	156.00
4"	102	4.50	114.3	0.24	6.02	10.79	16.07	1,900.00	134.00

Tabla 12. Tabla de espesores para aceros al carbono

Fuente: www.vemacero.com

Nº	Parámetro	Valor máximo aceptable	Observaciones
Físicos			
1	Color ⁽¹⁾	15 UCV	UCV = Unidad de color verdadero UCV en unidades de platino cobalto
2	Sabor y olor	Aceptables (*)	Para efectos de evaluación, el sabor y olor se determinan por medio de los sentidos. (*) Por tratarse de propiedades organolépticas su valoración es sólo cualitativa.
Químicos			
3	Sólidos disueltos totales ⁽¹⁾	1 000 mg/L ⁽²⁾	Valor superior podría influir en la aceptabilidad (palatabilidad)
Químicos Inorgánicos			
4	Alcalinidad total	370,0 mg/L CaCO ₃ ⁽²⁾	Está relacionada con el pH
5	Calcio Ca	200,0 mg/L	Valor mayor tiene efecto sobre la salud
6	Cloruros Cl ⁻	250,0 mg/L	Valor mayor influye en la aceptabilidad por el sabor
7	Dureza total	500,0 mg/L CaCO ₃	-
8	Hierro total Fe	0,3 mg/L ⁽²⁾	Valor mayor influye en la aceptabilidad por el color
9	Magnesio Mg	150,0 mg/L	Valor mayor tiene efecto sobre la salud

Tabla 13, Parámetro de control Básico del agua

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Presión bar	Temp. °C	Volumen específico m ³ / kg		Energía Interna kJ / kg		Entalpia kJ / kg			Entropía kJ / kg , K		
		Líquido		Vapor		Líquido		Vapor	Líquido		Vapor
		sat,	sat,	sat,	sat,	sat,	vaporiz,	sat,	sat,	sat,	
		v _l x 10 ³	v _g	u _l	u _g	h _l	h _{fg}	h _g	s _l	s _g	
0,04	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,4746	
0,06	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304	
0,08	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2287	
0,10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502	
0,20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085	
0,30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686	
0,40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700	
0,50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939	
0,60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,6	2653,5	1,1453	7,5320	
0,70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797	
0,80	93,50	1,0380	2,087	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346	
0,90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949	
1,00	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594	
1,50	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233	
2,00	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271	
2,50	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527	
3,00	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919	
3,50	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405	
4,00	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959	
4,50	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565	
5,00	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212	
6,00	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600	
7,00	165,0	1,1080	0,2729	696,44	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	6,7080	
8,00	170,4	1,1148	0,2404	720,22	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	6,6628	
9,00	175,4	1,1212	0,2150	741,83	2580,5	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	6,6226	
10,0	179,9	1,1273	0,1944	761,68	2583,6	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	6,5863	
15,0	198,3	1,1539	0,1318	843,16	2594,5	844,84	1947,3	2792,2	2,3150	6,4448	
20,0	212,4	1,1767	0,09963	906,44	2600,3	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	6,3409	
25,0	224,0	1,1973	0,07998	959,11	2603,1	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	6,2575	
30,0	233,9	1,2165	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,2	2,6457	6,1869	
35,0	242,6	1,2347	0,05707	1045,4	2603,7	1049,8	1753,7	2803,4	2,7253	6,1253	
40,0	250,4	1,2522	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2801,4	2,7964	6,0701	
45,0	257,5	1,2692	0,04406	1116,2	2600,1	1121,9	1676,4	2798,3	2,8610	6,0199	
50,0	264,0	1,2859	0,03944	1147,8	2597,1	1154,2	1640,1	2794,3	2,9202	5,9734	
60,0	275,6	1,3187	0,03244	1205,4	2589,7	1213,4	1571,0	2784,3	3,0267	5,8892	
70,0	285,9	1,3513	0,02737	1257,6	2580,5	1267,0	1505,1	2772,1	3,1211	5,8133	
80,0	295,1	1,3842	0,02352	1305,6	2569,8	1316,6	1441,3	2758,0	3,2068	5,7432	
90,0	303,4	1,4178	0,02048	1350,5	2557,8	1363,3	1378,9	2742,1	3,2858	5,6772	
100	311,1	1,4524	0,01803	1393,0	2544,4	1407,6	1317,1	2724,7	3,3596	5,6141	
110	318,2	1,4886	0,01599	1433,7	2529,8	1450,1	1255,5	2705,6	3,4295	5,5527	
120	324,8	1,5267	0,01426	1473,0	2513,7	1491,3	1193,6	2684,9	3,4962	5,4924	
130	330,9	1,5671	0,01278	1511,1	2496,1	1531,5	1130,7	2662,2	3,5606	5,4323	
140	336,8	1,6107	0,01149	1548,6	2476,8	1571,1	1066,5	2637,6	3,6232	5,3717	
150	342,2	1,6581	0,01034	1585,6	2455,5	1610,5	1000,0	2610,5	3,6848	5,3098	
160	347,4	1,7107	0,009306	1622,7	2431,7	1650,1	930,6	2580,6	3,7461	5,2455	
170	352,4	1,7702	0,008364	1660,2	2405,0	1690,3	856,9	2547,2	3,8079	5,1777	
180	357,1	1,8397	0,007489	1698,9	2374,3	1732,0	777,1	2509,1	3,8715	5,1044	
190	361,5	1,9243	0,006657	1739,9	2338,1	1776,5	688,0	2464,5	3,9388	5,0226	
200	365,8	2,036	0,005834	1785,6	2293,0	1826,3	583,4	2409,7	4,0139	4,9269	
220,9	374,1	3,155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3		2099,3	4,4298	4,4298	

Tabla 14. Propiedades del agua saturada.
Fuente: Tablas de Vapor y agua (T.L. Boox)

Temp. °C	Presión bar	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg		Entropía kJ/kg, K		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor vaporiz.	Líquido sat.	Vapor sat.	
		$v_f \times 10^3$	v_g	u_f	u_g	h_f	h_g	s_f	s_g	
.01	0,00611	1,0002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562
4	0,00813	1,0001	157,232	16,77	2380,9	16,78	2491,9	2508,7	0,0810	9,0514
5	0,00872	1,0001	147,120	20,97	2382,3	20,98	2489,6	2510,6	0,0761	9,0257
6	0,00935	1,0001	137,734	25,19	2383,6	25,20	2487,2	2512,4	0,0912	9,0003
8	0,01072	1,0002	120,917	33,59	2386,4	33,60	2482,5	2516,1	0,1212	8,9501
10	0,01228	1,0004	106,379	42,00	2389,2	42,01	2477,7	2519,8	0,1510	8,9008
11	0,01312	1,0004	99,857	46,20	2390,5	46,20	2475,4	2521,6	0,1658	8,8765
12	0,01402	1,0005	93,784	50,41	2391,9	50,41	2473,0	2523,4	0,1806	8,8524
13	0,01497	1,0007	88,124	54,60	2393,3	54,60	2470,7	2525,3	0,1953	8,8285
14	0,01598	1,0008	82,848	58,79	2394,7	58,80	2468,3	2527,1	0,2099	8,8048
15	0,01705	1,0009	77,926	62,99	2396,1	62,99	2465,9	2528,9	0,2245	8,7814
16	0,01818	1,0011	73,333	67,18	2397,4	67,19	2463,6	2530,8	0,2390	8,7582
17	0,01938	1,0012	69,044	71,38	2398,8	71,38	2461,2	2532,6	0,2535	8,7351
18	0,02064	1,0014	65,038	75,57	2400,2	75,58	2458,8	2534,4	0,2679	8,7123
19	0,02198	1,0016	61,293	79,76	2401,6	79,77	2456,5	2536,2	0,2823	8,6897
20	0,02339	1,0018	57,791	83,95	2402,9	83,96	2454,1	2538,1	0,2966	8,6672
21	0,02487	1,0020	54,514	88,14	2404,3	88,14	2451,8	2539,9	0,3109	8,6450
22	0,02645	1,0022	51,447	92,32	2405,7	92,33	2449,4	2541,7	0,3251	8,6229
23	0,02810	1,0024	48,574	96,51	2407,0	96,52	2447,0	2543,5	0,3393	8,6011
24	0,02985	1,0027	45,893	100,70	2408,4	100,70	2444,7	2545,4	0,3534	8,5794
25	0,03169	1,0029	43,360	104,88	2409,8	104,89	2442,3	2547,2	0,3674	8,5580
26	0,03363	1,0032	40,994	109,06	2411,1	109,07	2439,9	2549,0	0,3814	8,5367
27	0,03567	1,0035	38,774	113,25	2412,5	113,25	2437,6	2550,8	0,3954	8,5156
28	0,03782	1,0037	36,690	117,42	2413,9	117,43	2435,2	2552,6	0,4093	8,4946
29	0,04006	1,0040	34,733	121,60	2415,2	121,61	2432,8	2554,4	0,4231	8,4739
30	0,04246	1,0043	32,894	125,78	2416,6	125,79	2430,5	2556,3	0,4369	8,4533
31	0,04496	1,0046	31,165	129,96	2418,0	129,97	2428,1	2558,1	0,4507	8,4329
32	0,04759	1,0050	29,540	134,14	2419,3	134,15	2425,7	2559,9	0,4644	8,4127
33	0,05034	1,0053	28,011	138,32	2420,7	138,33	2423,4	2561,7	0,4781	8,3927
34	0,05324	1,0056	26,571	142,50	2422,0	142,50	2421,0	2563,5	0,4917	8,3728
35	0,05628	1,0060	25,216	146,67	2423,4	146,68	2418,6	2565,3	0,5053	8,3531
36	0,05947	1,0063	23,940	150,85	2424,7	150,86	2416,2	2567,1	0,5188	8,3336
38	0,06632	1,0071	21,602	159,20	2427,4	159,21	2411,5	2570,7	0,5458	8,2960
40	0,07394	1,0078	19,523	167,56	2430,1	167,57	2406,7	2574,3	0,5725	8,2570
45	0,09593	1,0099	15,258	188,44	2436,8	188,45	2394,8	2583,2	0,6387	8,1648
50	0,1235	1,0121	12,032	209,32	2443,5	209,33	2382,7	2592,1	0,7038	8,0763
55	0,1576	1,0146	9,568	230,21	2450,1	230,23	2370,7	2600,9	0,7679	7,9913
60	0,1994	1,0172	7,871	251,11	2456,6	251,13	2358,5	2609,6	0,8312	7,9066
65	0,2503	1,0199	6,197	272,02	2463,1	272,06	2346,2	2618,3	0,8935	7,8310
70	0,3119	1,0228	5,042	292,95	2469,6	292,98	2333,8	2626,8	0,9549	7,7563
75	0,3858	1,0259	4,131	313,90	2475,9	313,93	2321,4	2635,3	1,0155	7,6824
80	0,4739	1,0291	3,407	334,86	2482,2	334,91	2308,8	2643,7	1,0753	7,6122
85	0,5783	1,0325	2,828	355,84	2488,4	355,90	2296,0	2651,9	1,1343	7,5445
90	0,7014	1,0360	2,361	376,85	2494,5	376,92	2283,2	2660,1	1,1925	7,4791
95	0,8455	1,0397	1,982	397,88	2500,6	397,96	2270,2	2668,1	1,2500	7,4159
100	1,014	1,0435	1,673	418,94	2506,5	419,04	2257,0	2676,1	1,3069	7,3549
110	1,433	1,0516	1,210	461,14	2518,1	461,30	2230,2	2691,5	1,4185	7,2367
120	1,985	1,0603	0,8919	503,50	2529,3	503,71	2202,6	2706,3	1,5276	7,1296
130	2,701	1,0697	0,6885	546,02	2539,9	546,31	2174,2	2720,5	1,6344	7,0269
140	3,613	1,0797	0,5089	588,74	2550,0	589,13	2144,7	2733,9	1,7391	6,9299
150	4,758	1,0905	0,3928	631,68	2559,5	632,20	2114,3	2746,5	1,8418	6,8379
160	6,178	1,1020	0,3071	674,86	2568,4	675,55	2082,6	2758,1	1,9427	6,7502
170	7,917	1,1143	0,2428	718,33	2576,5	719,21	2049,5	2768,7	2,0419	6,6663
180	10,02	1,1274	0,1941	762,09	2583,7	763,22	2015,0	2778,2	2,1396	6,5867
190	12,54	1,1414	0,1565	806,19	2590,0	807,62	1978,8	2786,4	2,2359	6,5079
200	15,54	1,1565	0,1274	850,65	2595,3	852,45	1940,7	2793,2	2,3309	6,4323
210	19,06	1,1726	0,1044	896,53	2599,5	897,76	1900,7	2798,5	2,4248	6,3585
220	23,18	1,1900	0,08619	940,87	2602,4	943,62	1858,5	2802,1	2,5178	6,2861
230	27,95	1,2088	0,07158	986,74	2603,9	990,12	1813,8	2804,0	2,6099	6,2146
240	33,44	1,2291	0,05976	1033,2	2604,0	1037,3	1766,5	2803,8	2,7015	6,1437
250	39,73	1,2512	0,05013	1080,4	2602,4	1085,4	1716,2	2801,5	2,7927	6,0730
260	46,88	1,2755	0,04221	1128,4	2599,0	1134,4	1662,5	2796,6	2,8838	6,0019
270	54,99	1,3023	0,03564	1177,4	2593,7	1184,5	1605,5	2789,7	2,9751	5,9301
280	64,12	1,3321	0,03017	1227,5	2586,1	1236,0	1543,6	2779,6	3,0668	5,8571
290	74,36	1,3656	0,02557	1278,9	2576,0	1289,1	1477,1	2766,2	3,1594	5,7821
300	85,81	1,4036	0,02187	1332,0	2563,0	1344,0	1404,9	2749,0	3,2534	5,7045
320	112,7	1,4988	0,01549	1444,6	2525,5	1461,5	1238,6	2700,1	3,4480	5,5362
340	145,9	1,6379	0,01080	1570,3	2464,6	1594,2	1027,9	2622,0	3,6594	5,3357
360	186,5	1,8925	0,006945	1725,2	2351,5	1780,5	720,5	2481,0	3,9147	5,0526
374,14	220,9	3,155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3	0	2099,3	4,4298	4,4298

Tabla 15. Propiedades de agua separada.
Fuente: Tablas de Vapor y agua (T.L. Boox)

		G16	G25	G40	G65	G100	G160	G250	G400
Caudal máximo	m ³ /h	25	40	65	100	160	250	400	650
Caudal mínimo	m ³ /h	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6
Volumen cíclico	dm ³	0,229	0,229	0,316	0,503	0,823	1,310	2,020	3,385
Presión máxima de trabajo	bar	20							
Tipo de conexión	-	brida ANSI 150							
Diámetro nominal	-	DN50			DN80			DN100	
Temperatura ambiente	°C	de -25 a 70							
Ancho (distancia entre bridas)	mm	150			171			241	
Precisión de medición	-	$Q_t - Q_{\max} < \pm 1\%$ $Q_{\min} - Q_t < \pm 2\%$							
Gases	-	gas natural (metano), etano, propano, butano, aire, hidrógeno, nitrógeno, monóxido de carbón, etc.							
Material cuerpo	-	Aluminio							

Tabla 16. Tabla de especificaciones del medidor de gas

Fuente: www.vemacero.com

Amperaje que soportan los cables de cobre							
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C			
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT			
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A		
12 AWG	20 A	20 A	20 A				
10 AWG	30 A	30 A	30 A				
8 AWG	40 A	50 A	55 A				
6 AWG	55 A	65 A	75 A				
4 AWG	70 A	85 A	95 A				
3 AWG	85 A	100 A	115 A				
2 AWG	95 A	115 A	130 A				
1 AWG	110 A	130 A	145 A				
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A				
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A				
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A				
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A			12 AWG	25 A

Tabla 17. Tabla de corriente de conductores

Fuente: www.ingenierword.com

	Ejecución	Tipo 5SX2	Corriente nominal	Número de catálogo	Unidades por empaque
	1 polo	5SX2 102-7	2 A	5SX21027	12 pzas.
		5SX2 104-7	4 A	5SX21047	12 pzas.
		5SX2 106-7	6 A	5SX21067	12 pzas.
		5SX2 110-7	10 A	5SX21107	12 pzas.
		5SX2 116-7	16 A	5SX21167	12 pzas.
		5SX2 120-7	20 A	5SX21207	12 pzas.
		5SX2 125-7	25 A	5SX21257	12 pzas.
		5SX2 132-7	32 A	5SX21327	12 pzas.
		5SX2 140-7	40 A	5SX21407	12 pzas.
		5SX2 150-7	50 A	5SX21507	12 pzas.
	2 polos	5SX2 163-7	63 A	5SX21637	12 pzas.
		5SX2 202-7	2 A	5SX22027	6 pzas.
		5SX2 204-7	4 A	5SX22047	6 pzas.
		5SX2 206-7	6 A	5SX22067	6 pzas.
		5SX2 210-7	10 A	5SX22107	6 pzas.
		5SX2 216-7	16 A	5SX22167	6 pzas.
		5SX2 220-7	20 A	5SX22207	6 pzas.
		5SX2 225-7	25 A	5SX22257	6 pzas.
		5SX2 232-7	32 A	5SX22327	6 pzas.
		5SX2 240-7	40 A	5SX22407	6 pzas.
	3 polos	5SX2 250-7	50 A	5SX22507	6 pzas.
		5SX2 263-7	63 A	5SX22637	6 pzas.
		5SX2 302-7	2 A	5SX23027	4 pzas.
		5SX2 304-7	4 A	5SX23047	4 pzas.
		5SX2 306-7	6 A	5SX23067	4 pzas.
		5SX2 310-7	10 A	5SX23107	4 pzas.
		5SX2 316-7	16 A	5SX23167	4 pzas.
		5SX2 320-7	20 A	5SX23207	4 pzas.
		5SX2 325-7	25 A	5SX23257	4 pzas.
		5SX2 332-7	32 A	5SX23327	4 pzas.
5SX2 340-7	40 A	5SX23407	4 pzas.		
5SX2 350-7	50 A	5SX23507	4 pzas.		
5SX2 363-7	63 A	5SX23637	4 pzas.		

Tabla 18. Tabla de interruptores termomagnéticos

Fuente: www.siemens.com

Tabla de selección

	Interruptor tipo	Modelo	Corriente nominal de servicio	Número de catálogo
	QP 1* 1 polo 120 /240 V CA	Q115	15	Q115
		Q120	20	Q120
		Q130	30	Q130
		Q140	40	Q140
		Q150	50	Q150
		Q160	60	A7B10000005610
	QP 1* 2 polos disparo simultáneo 120/240 V CA	Q215	15	Q215
		Q220	20	Q220
		Q230	30	Q230
		Q240	40	Q240
		Q250	50	Q250
		Q260	60	Q260
		Q270	70	Q270
		Q280	80	Q280
		Q290	90	Q290
		Q2100	100	Q2100
Q2125	125	Q2125		
	QP 1* 3 polos disparo simultáneo 240 V CA	Q315	15	Q315
		Q320	20	Q320
		Q330	30	Q330
		Q340	40	Q340
		Q350	50	Q350
		Q360	60	Q360
		Q370	70	Q370
		Q380	80	Q380
		Q390	90	Q390
		Q3100	100	Q3100

Tabla 19. Tabla de capacidad para interruptores termomagnéticos

Fuente: www.siemens.com

Tabla 20, Cotización de precio del generador de vapor



PARTE B: REQUISITOS

Presión: 10bar

Combustibles: gas

Capacidad de vapor: 4ton/h

voltaje: 220V,60HZ

Altura de nivel sobre mar:500metros

PARTE C: LISTA DE PRECIO

LISTA DE PRECIO

No.	Lista de Producto y modelo	Precio de Unidad (USD)	Cantidad (SET)	Total Precio (USD)
1	Caldera de vapor WNS4-1.0-YQ Standard de fabricación: ASME	55,830	1	55,830
2	Válvula y instrumentos (no incluye válvula seguridad) Standard de fabricación: ASME	8,950	1	8,950
3	Economizador Standard de fabricación: ASME	6,330	1	6,330
4	Bomba de agua de alimentación	870	2	1,740
5	Quemador Baltur Marca Italy	15,280	1	15,280
6	Panel eléctrico de control Siemens	8,670	1	8,670
7	Tratamiento de agua automático FLECK USA	4,710	1	4,710
8	Cilindro separador	2,030	1	2,030
9	Costo de inspección ASME	7,150	1	7,150
PRECIO TOTAL (FOB QINGDAO, CHINA)			USD110,690	

Nota: Esta cotización es válida en un mes desde 18 de Abril

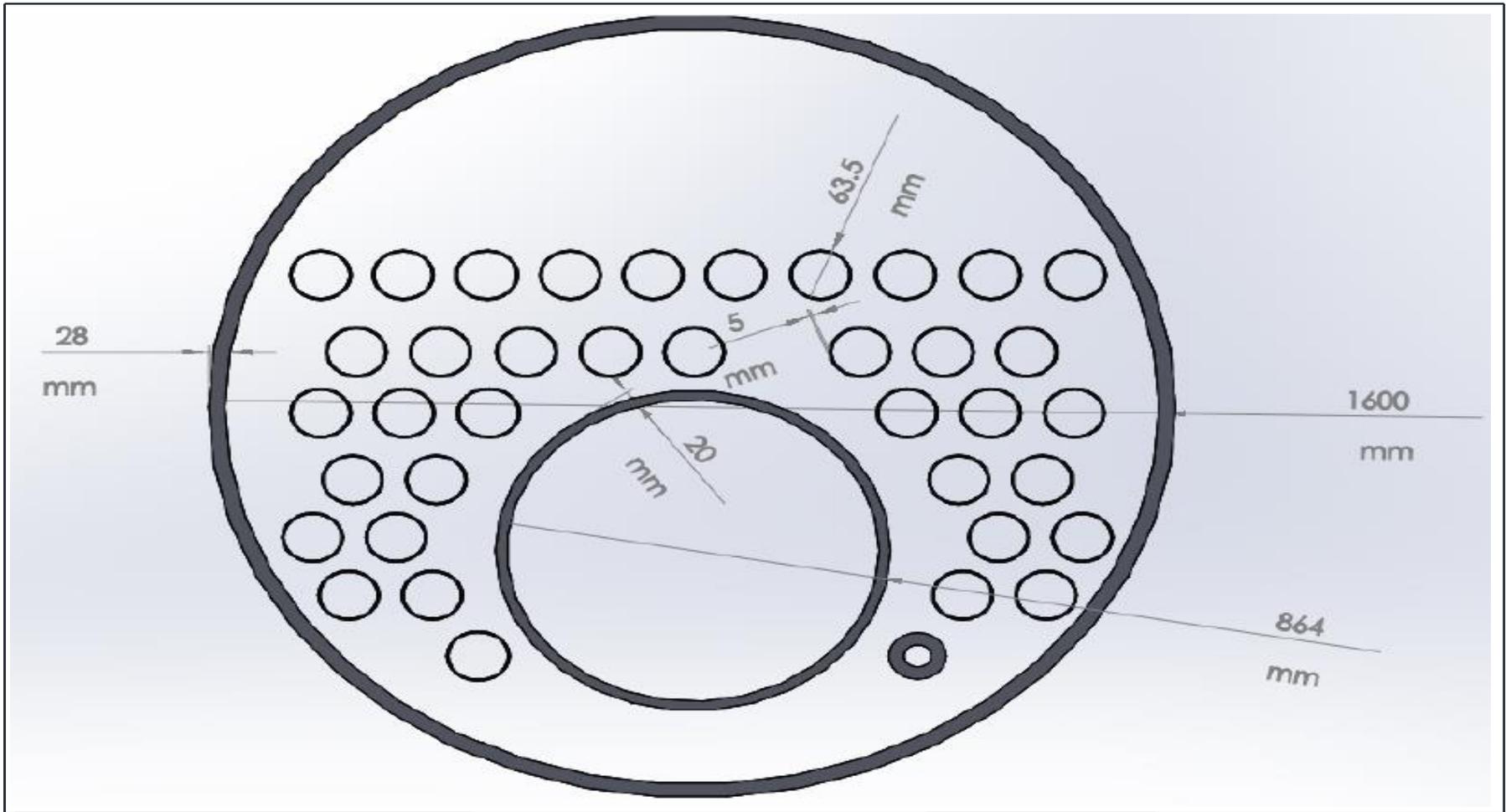
Tel: 0086-371-86062323
E-mail: zg@zgvessel.com
Website: <http://www.zgindustrialboiler.com>



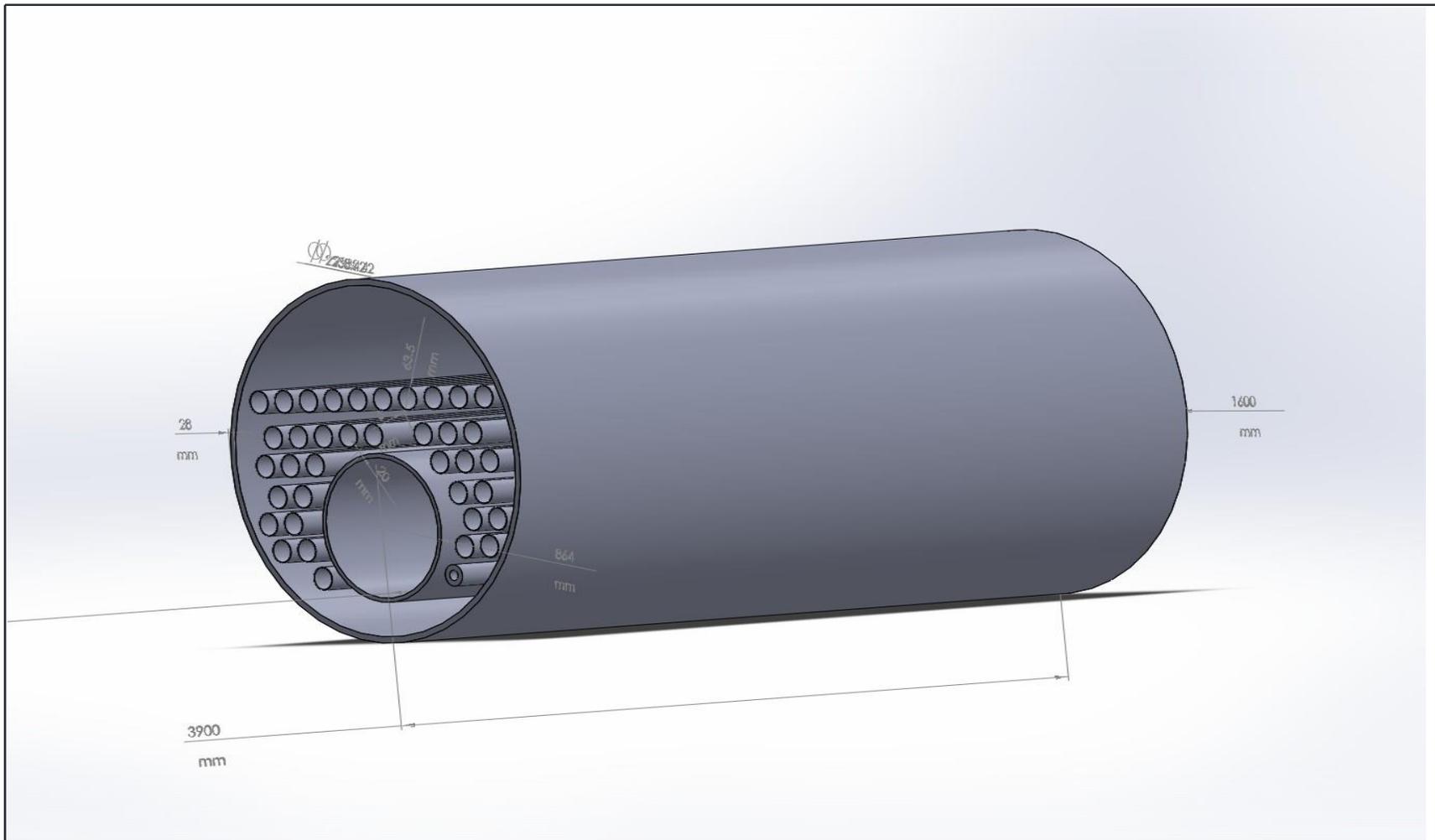
Fuente: ZG industrial boiler

Anexo B.

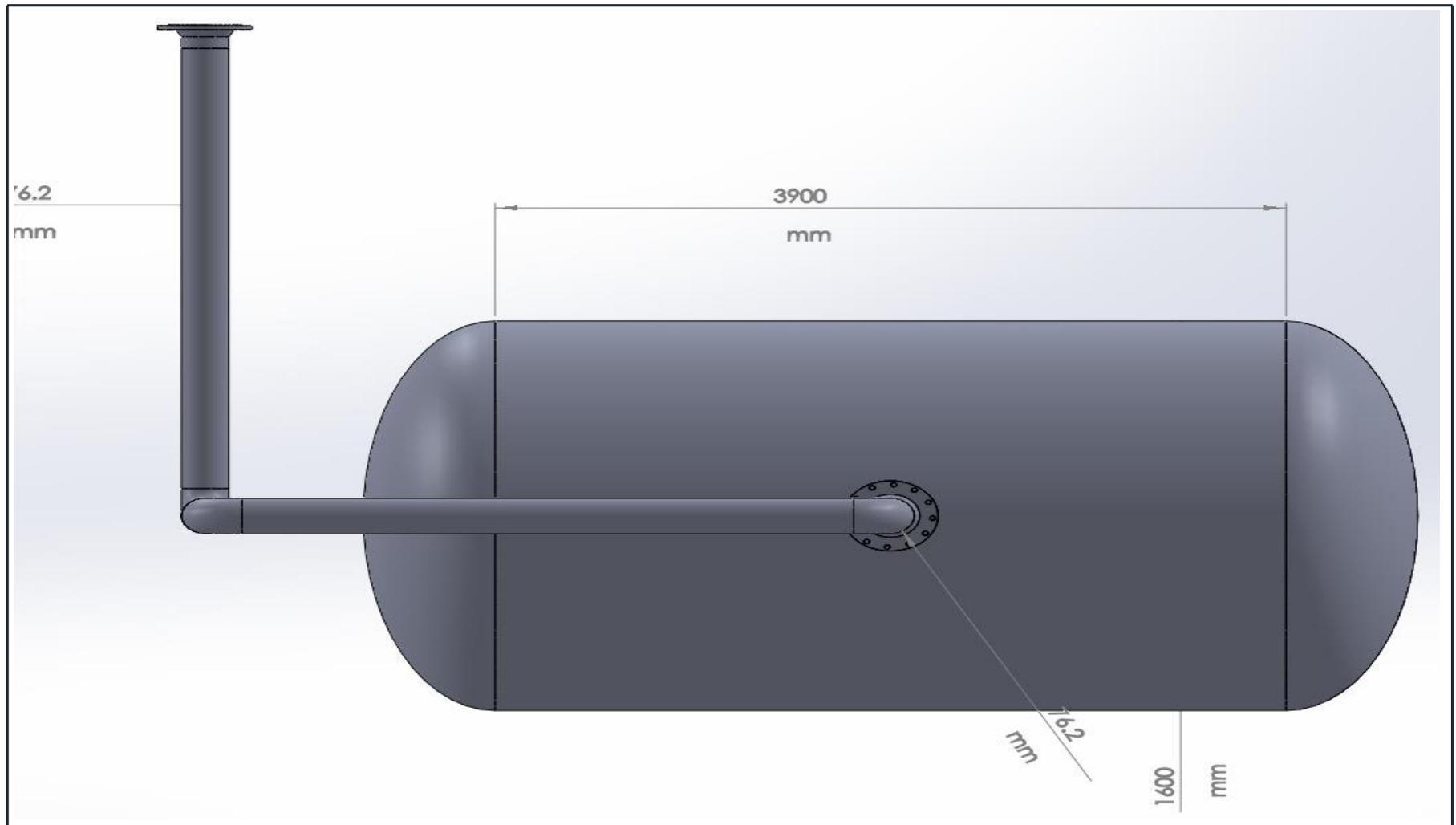
Planos de diseño y planos eléctricos.



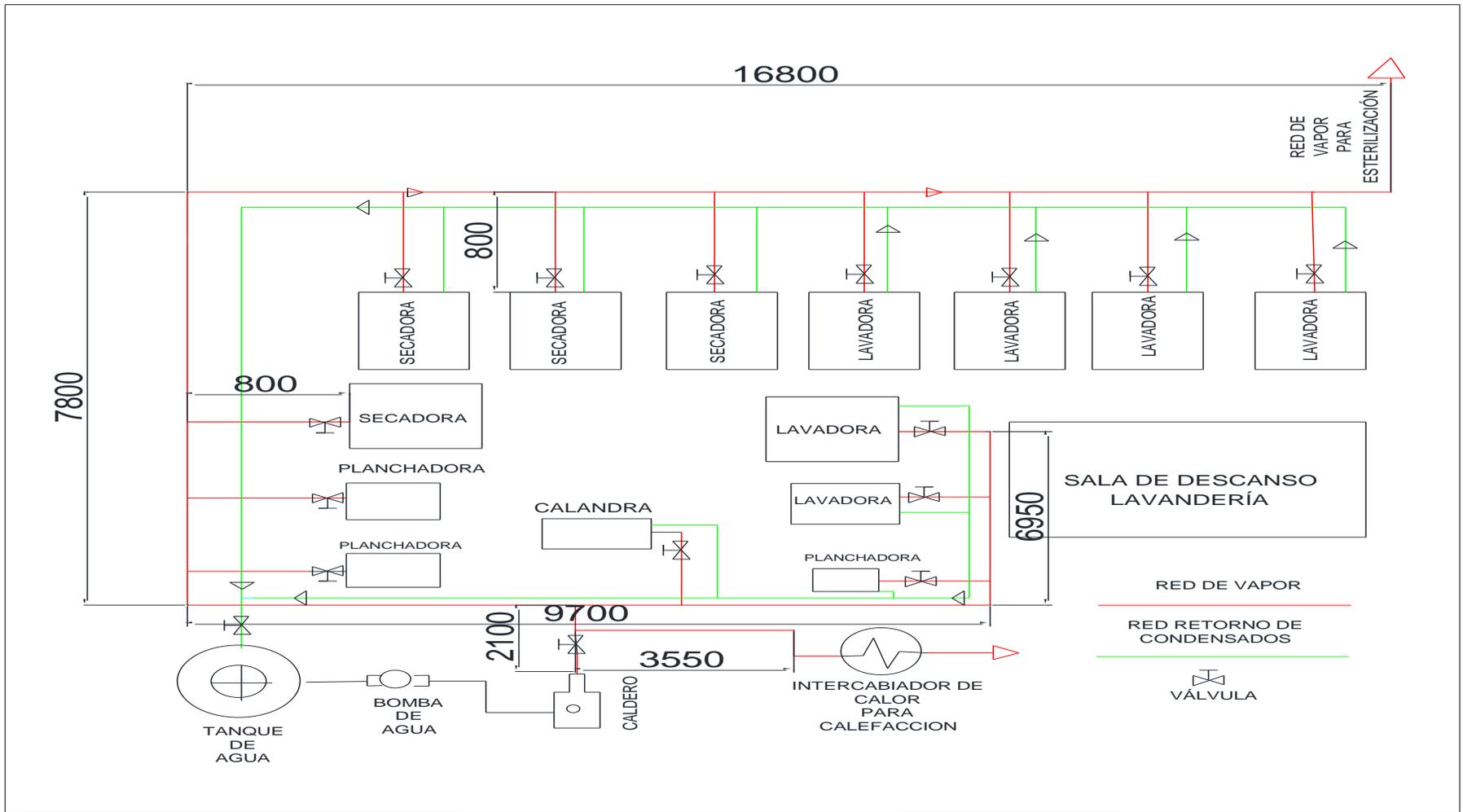
REDISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR	DISTRIBUCION DE TUBOS Y CAMARA DE HOGAR	UMSA	POSTULANTE : UNIV. JUAN PABLO VATRGAS QUISPE
ELABORACION PROPIA		FACULTAD DE TECNOLOGIA	UNIDADES: MILIMETROS



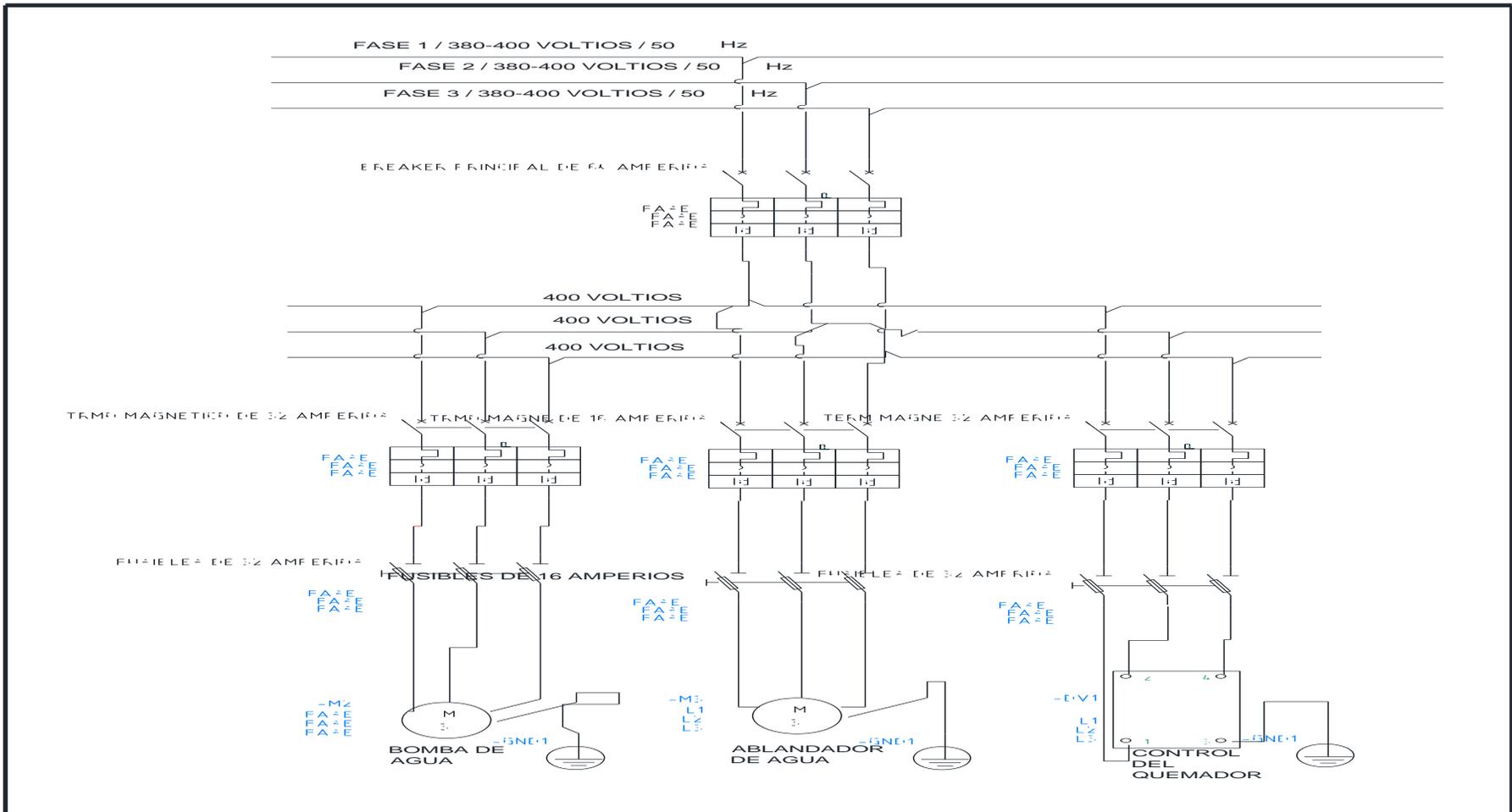
<p>REDISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR</p>	<p>DISTRIBUCION DE TUBOS Y CAMARA DE HOGAR</p>	<p>UMSA</p>	<p>POSTULANTE : UNIV. JUAN PABLO VATRGAS QUISPE</p>
<p>ELABORACION PROPIA</p>		<p>FACULTAD DE TECNOLOGIA</p>	<p>UNIDADES: MILIMETROS</p>



REDISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR	CAÑÓN DE CALDERO ACOPLADO	UMSA	POSTULANTE : UNIV. JUAN PABLO VARGAS QUISPE
ELABORACION PROPIA		FACULTAD DE TECNOLOGIA	UNIDADES : MILIMETROS



REDISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR	RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADOS	UMSA	POSTULANTE : UNIV. JUAN PABLO VARGAS QUISPE
ELABORACION PROPIA		FACULTAD DE TECNOLOGIA	UNIDADES : MILIMETROS



<p>REDISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR</p>	<p>ELEMENTOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA</p>	<p>UMSA</p>	<p>POSTULANTE : UNIV. JUAN PABLO VATRGAS QUISPE</p>
<p>ELABORACION PROPIA</p>		<p>FACULTAD DE TECNOLOGIA</p>	<p>DIAGRAMA UNIFILAR</p>

