

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN  
INGENIERÍA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UN CALDERO INDUSTRIAL DE  
VAPOR SATURADO PARA CONSTRUCCIONES MECANICAS S.A.

ROBERTO FELIPE PROAÑO GUEVARA  
CHRISTIAN PAUL LUGMAÑA RAIMUNDO

SANGOLQUÍ– ECUADOR

2012

## CERTIFICACIÓN

En nuestra calidad de Director y Codirector, certificamos que los señores Roberto Felipe Proaño Guevara y Christian Paul Lugmaña Raimundo han desarrollado el proyecto de grado titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UN CALDERO DE VAPOR SATURADO PARA CONSTRUCCIONES MECANICAS S.A.” bajo nuestra dirección.

Sangolquí, 24 de Agosto del 2012

---

Ing. Hugo Ortiz  
DIRECTOR

---

Ing. Xavier Segovia  
CODIRECTOR

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser la guía en mi búsqueda de un corazón vigilante, para que ningún pensamiento vano me aleje de mis metas, de un corazón noble, para que ningún afecto indigno me rebaje, de un corazón recto, para que ninguna maldad me desvíe, de un corazón fuerte, para que ninguna pasión me esclavice y de un corazón generoso, para servir sin esperar recompensa.

A ti papá, que me enseñaste todo el valor y toda la fuerza en un solo abrazo, y porque en gran parte gracias a ti, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuviste impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera.

A ti mamá, gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

A ti querido hermano Tony, gracias por el apoyo total e incondicional durante este duro camino y porque no sólo eres un hermano, amigo y mejor consejero, eres el ejemplo a seguir. Y porque detrás de este logro estás tú.

A ti querida hermana Nathy, porque dentro de una sonrisa eterna, aprendí que la vida está llena de satisfacciones no materiales.

A ti querida hermana Carito, por la alegría infinita que transmites cada día.

A ti abuelita, tíos, tías, primos y primas, porque no han dejado que el significado de la familia se quede en segundo plano.

A ti Santiago, mi gran amigo, mi aliado, porque desde la infancia hemos compartido tanto que mis logros son los tuyos.

A ti Payul, porque tantos años de compartir conocimientos adquiridos nos sirvieron de práctica para alcanzar esta meta sin caer en el intento. Somos un buen equipo en el terreno profesional.

A Francisco, por aquella manera de ver y enfrentar la vida y por toda aquella “fe y alegría” que tanto la usamos para que todo salga “acorde al plan”.

A José, por compartir su sabiduría y tantas cosas relativas más, por aquellas palabras sabias y por ser un gran maestro de las artes ocultas.

A ti Kary, en cualquier lugar de este universo en donde estés, porque siempre fuiste un verdadero ejemplo que me enseñó a sacarle todo el jugo a la vida. Y por darme la lección más grande de mi vida al mostrarme el verdadero lado positivo de este mundo. Mil palabras no bastarían para agradecerte todo tu apoyo, comprensión y consejos en los momentos no difíciles sino diferentes. Dios te bendiga siempre.

A ti Gaby, por todo el apoyo en los momentos menos oportunos y por todos los “modelos de deberes a seguir”.

A ti Vane, aunque no te hayas dado cuenta, me has enseñado a luchar con todo, por cumplir un sueño. Gracias por regalarme momentos inigualables y agradables llenos de vida, por todo el profundo cariño, y por toda la energía y alegría que me transmites.

A ti Majito, por ser ejemplo de lucha y tenacidad, por todo tu cariño, por tus abrazos tan ricos y porque de ti aprendí a siempre dar lo mejor de uno.

A ti Tabiu, por todas aquellas palabras de aliento y por todos los momentos en que me alegrabas la vida.

A ti Eve, por contagiarme la fascinación por la vida, por enseñarme que hay muchas más cosas desde otra perspectiva. Y porque te asomas cada 5 años o cada vez que pasa cerca de la tierra algún cometa.

A ti Valeria, hay Valeria! , que gran amiga que sos.

A todos y cada uno de mis hermanos Scouts que desde la adolescencia le empezamos a dar sentido a la vida; Tabata, Karlita, Valeria, Yvonne, Fercho, Dario, Don Vini, Don Jorge, Andres, Gordo, Nathy, Vane, Anita, Evelyn, Mishell, Paul, Gaby, Cris, Pao, Tru,... se que se me olvidan demasiados, pero nunca saldrán de mi corazón.

A la real sociedad, amigos del barrio; Julio, Martin, Norman, Alex, Cristian.

A la corporación Martelly por el apoyo en las pruebas finales.

A Panchin, Edisao, Gato, Andrés, Javier, Salitas, Gaby, Pao, Marcelita y todas mis amigas y amigos, compañeros y maestros de la ESPE, gracias a todos porque le dieron un toque muy especial a esta travesía, y en especial al Ingeniero Hugo Ortiz por la dirección de este proyecto.

Roberto Felipe Proaño

Doy gracias a Dios y a la vida por mi familia en especial a mis padres y hermanas que siempre me han apoyado a lo largo de esta etapa estudiantil y han estado en los buenos y malos momentos incentivándome a nunca rendirme y seguir adelante cada día no importa cuán lejos se vea la meta, por sus palabras de apoyo en momentos cruciales.

A mi compañero de Tesis Roberto con el cual he compartido conocimientos en las aulas siendo nuestro segundo hogar las aulas universitarias y con esas bases desarrollar el presente proyecto y como no mencionar a la empresa Construcciones Mecánicas que deposito su confianza y total apoyo durante este recorrido.

Agradecer a todos mis compañeros que en distintos niveles han sido de gran apoyo mi amigo Andrés M, Andrés D, Rommel, Wilmer que durante estos años universitarios con su grano de arena e ideales compartidos hoy se puede cristalizar una etapa más y apenas comenzar una mucho más importante con la mayor seriedad y excelencia como nuevos profesionales.

Y de igual forma agradecemos a nuestro Director de tesis Ing. Hugo Ortiz e Ing. Xavier Segovia que de forma acertada han guiado el presente proyecto.

Christian Paul Lugmaña

## PRÓLOGO

El presente proyecto describe el diseño y la implementación de un sistema de automatización y control para un caldero de vapor saturado controlado por medio de un PLC Siemens con su respectivo panel táctil de visualización del proceso, en base a las normas industriales vigentes y con la meta de obtener una alta eficiencia energética, construido en la empresa Construcciones Mecánicas S.A. de la ciudad de Quito e instalado en el Centro de Investigaciones Tecnológicas Ambientales CITVAS en la ciudad de la Joya de los Sachas.

# ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO .....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>6</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL CALDERO</b> .....	<b>6</b>
2.1 INTRODUCCIÓN A LOS CALDEROS DE VAPOR.....	6
2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	10
2.3 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA .....	14
2.3.1 SISTEMA DE ABLANDAMIENTO DEL AGUA.....	16
2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS CALDEROS DE VAPOR .....	19
2.4.1 CALDERAS PIROTUBULARES O DE TUBOS DE HUMO.....	20
2.4.2 CALDERAS ACUOTUBULARES O DE TUBOS DE AGUA.....	21
2.4.3 CALDERAS ELÉCTRICAS.....	22
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>26</b>
<b>DISEÑO DE HARDWARE</b> .....	<b>26</b>
3.1 ARQUITECTURA DEL PROYECTO .....	26
3.2 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES .....	27
3.2.1 SENSOR DE TEMPERATURA PT100.....	27
3.2.2 ROUTER TRENDNET.....	33
3.2.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC SIEMENS S7-1200) .....	35
3.2.4 ELEMENTO CALEFACTOR .....	37
3.2.5 CONTROLADOR DE PRESIÓN.....	38
3.2.6 VALVULAS DE SEGURIDAD .....	41
3.2.7 CONTROL DE NIVEL DE AGUA.....	42
3.2.8 BOMBA DE AGUA.....	44
3.3 NORMAS DE INSTALACIÓN Y SEGURIDAD .....	47
3.4 IDENTIFICACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CALDERO. ....	51
3.5 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS DEL CALDERO .....	53
3.6 CALCULO DE VOLUMEN ÚTIL DE TRABAJO DEL CALDERO ELÉCTRICO .....	54
3.6.1 DIMENSIONES PRECALENTADOR ELÉCTRICO .....	56
3.7 SIMULACIÓN GRÁFICA DEL CALDERO SEGÚN CRITERIOS DE DISEÑO.....	57
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>60</b>
<b>DESARROLLO DE SOFTWARE</b> .....	<b>60</b>

4.1 DIAGRAMA DE FLUJO .....	60
4.2 DISEÑO DEL PROGRAMA DEL PLC .....	62
4.3 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN .....	68
4.4 LA LEY DE HICK .....	70
4.5 DISEÑO HMI.....	72
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>79</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>79</b>
5.1. INSTALACIÓN DE COMPONENTES.....	79
5.2. PUESTA EN MARCHA .....	85
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>88</b>
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>88</b>
6.1. PRUEBAS .....	88
6.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA PRUEBAS PRELIMINARES .....	88
6.2. RESULTADOS .....	91
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>95</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
7.1. CONCLUSIONES .....	95
7.2. RECOMENDACIONES .....	96
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>98</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>99</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>103</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>106</b>

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La idea nace hace dos años, cuando el Presidente de la República, Econ. Rafael Correa Delgado conoció el trabajo de los investigadores de PETROECUADOR, quienes desarrollan procesos biotecnológicos nativos para utilizarlos en las tareas de remediación de pasivos ambientales. Por ello, incorporó el proyecto de creación del Centro de Investigaciones de Tecnologías Ambientales, CITVAS, como meta en los proyectos estratégicos, incorporándolo en el Sistema de Gobernabilidad, SIGOB.

La obra, inicialmente concebida como un laboratorio para remediación ambiental, se convirtió en un Centro de Investigación de Tecnologías Ambientales, tras el análisis de la realidad socio ambiental amazónica.

El proyecto de construcción y equipamiento del CITVAS contempla el funcionamiento de cinco áreas:

- Área de Microbiología Aplicada, compuesta de los laboratorios de Bacteriología (trabajo con bacterias) Micología (trabajo con hongos), Ficología (trabajo con algas y cianobacterias)
  - Área de Fitología, con los laboratorios de Micorrizas (trabajo con hongos asociados a plantas), Cultivo de Tejidos Vegetales
  - Área de Biología Molecular: Estudio a nivel genómico de organismos
  - Área Química Ambiental, procesos de biorremediación para la eliminación de los contaminantes generados por la actividad petrolera.
  - Área de Producción y Escalamiento de Procesos, conformado por el Laboratorio de Bioaumentación.

Actualmente se utiliza para los procesos de remediación, 110 cepas bacterianas, adicionalmente se cuenta con 260 cepas bacterianas en estudio y 40 cepas fúngicas nativas, descubiertas específicamente para cada campo del Distrito Amazónico. De esta manera, se evita el riesgo de alterar la dinámica del ambiente, al introducir especies foráneas en un medio altamente sensible.<sup>1</sup>

Y con la adquisición de un nuevo Bio-fermentador de procedencia Italiana marca Solaris, útil para el escalamiento a nivel industrial y masificación de microorganismos, nace también la necesidad de implementar un sistema de monitoreo, automatización y control de los servicios necesarios para el normal funcionamiento del mismo, siendo estos: aire seco comprimido, agua blanda fría y vapor saturado a dos presiones, una alta de 45 PSI y una presión baja de 25 PSI especialmente para el proceso de esterilización.

Viendo esta necesidad la empresa Construcciones Mecánicas de la ciudad de Quito asume el reto y con total apoyo y confianza en dos jóvenes egresados de la Escuela Politécnica Del Ejército, se inicia el presente proyecto.

---

<sup>1</sup> <http://www.elmercurio.com.ec/223068-centro-de-investigaciones-de-petroecuador-sera-inaugurado-en-diciembre.html>

## **1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Las múltiples aplicaciones que tienen las calderas industriales, las condiciones variadas de trabajo y las innumerables exigencias de orden técnico y práctico que deben cumplir para que ofrezcan el máximo de garantías en cuanto a solidez, seguridad en su manejo, durabilidad y economía en su funcionamiento, ha obligado a un perfeccionamiento constante a fin de encarar los problemas. La búsqueda de soluciones ha originado varios tipos agrupados según sus características más importantes.

La mayor parte de aplicaciones industriales tienen un serio problema al momento de la monitorización del proceso por parte del operador, haciéndose difícil la rápida toma de decisiones, pero gracias a los avances tecnológicos actuales esta dificultad se ha ido superando, en gran parte por controladores lógicos programables (PLC) con sus respectivos paneles táctiles que indican en tiempo real una visión general del estado de los diferentes sensores y actuadores, con lo cual el operador no necesariamente debe tener un alto conocimiento del proceso para poder tomar decisiones de control oportunas, rápidas y precisas. Tomando en cuenta que gran parte de las aplicaciones industriales tienen la necesidad de utilizar calor para determinada tarea, y que además del calor se necesita una alta presión para el caso de los circuitos cerrados de vapor o para obtener un trabajo mecánico como por ejemplo mover una turbina generadora de electricidad. Tiene vital importancia la automatización y el confiable control del caldero productor del vapor a altas presiones.

## **1.3 ALCANCE DEL PROYECTO**

El presente proyecto pretende diseñar un sistema remoto de monitorización y control del suministro de vapor saturado para el normal funcionamiento de un Bio-fermentador industrial, para lo cual se establecen las siguientes etapas:

Una primera etapa de diseño y dimensionamiento mecánico según los requerimientos establecidos por el consumo máximo de vapor.

Una etapa de diseño, dimensionamiento y adquisición de componentes electrónicos para el total control del sistema.

Una etapa de instalación de los componentes electrónicos en el caldero.

Y finalmente una etapa de análisis de pruebas y resultados del control del sistema.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

El proyecto tiene como objetivo principal el diseño e implementación de un sistema de automatización y control de un caldero eléctrico de vapor saturado, con un panel táctil que permita el monitoreo del proceso.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Procurar que la mayor parte de la energía calórica generada se transfiera al medio líquido, logrando así una eficiencia energética que satisfaga la inversión técnica y económica del proyecto.
- Diseñar un sistema de control automático para la producción controlada de vapor saturado, además del accionamiento de un compresor y de un chiller (sistema de frío).
- Desarrollar y Comprender parámetros de configuración y programación del PLC S7-1200 y del Panel de Operador KTP-600 marca Siemens.

- Implementar un sistema de monitoreo y control remoto de fácil acceso y de muy intuitivo manejo para el operador.
- Generar vapor a alta presión bajo normas de seguridad para un proceso biológico industrial.

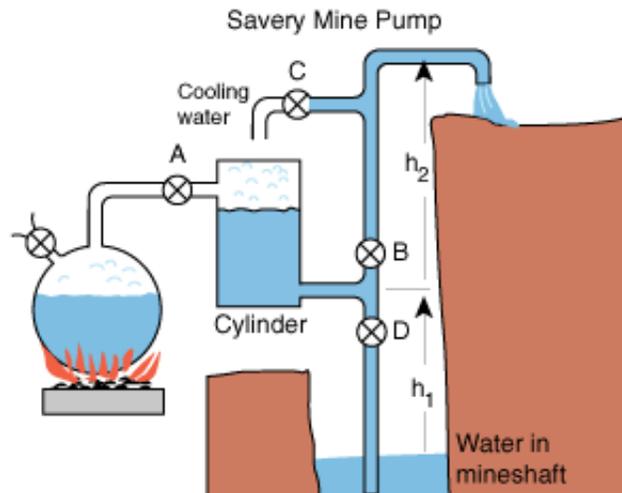
## **CAPÍTULO II**

### **DESCRIPCIÓN DEL CALDERO**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN A LOS CALDEROS DE VAPOR**

La definición de caldera industrial señala que son dispositivos empleados para calentar agua o generar vapor a una presión muy superior a la atmosférica, las calderas industriales cuentan con un compartimiento en donde el combustible se consume, mientras que en otro compartimiento se coloca el agua que luego se convertirá en vapor. La primera mención de utilizar las calderas industriales para obtener energía surge en el Siglo I debido a los estudios del matemático griego Herón de Alejandría. Fue éste quien dio nacimiento a una turbina de vapor que conectada a una caldera mediante tubos que giraban libremente producía energía. Pero fue el mecánico inglés Thomas Savery (1650-1715) quien en 1698 construye una máquina para bombear el agua de las minas de Cornualles, siendo esta la primera vez que se emplea la presión del vapor como fuerza motriz para el uso industrial.

La máquina de Savery, mostrada en la Figura 2.1 utilizaba el vacío que hacía el vapor al condensarse para extraer agua del fondo de las minas. Calentando el agua en el depósito (1) convirtiéndola en vapor. Se abre la válvula (A) e ingresa el vapor en el depósito (Cylinder). Como en este momento la D (válvula de entrada) y C están cerradas y B (válvula de salida) está abierta, el vapor empuja el agua del depósito hacia arriba saliendo a la superficie llamado PRIMER CICLO. Luego se cierra la válvula A y B y como el vapor está en contacto con el agua líquida se enfría y hace el vacío, succionando el agua del fondo de la mina, y subiendo al depósito (Cylinder) cumpliendo el SEGUNDO CICLO. Y luego con la apertura de la válvula A se repite el proceso.



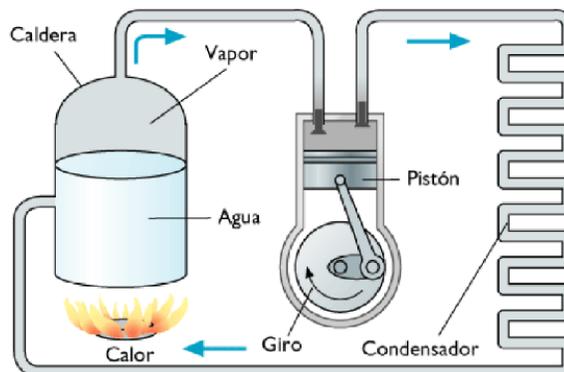
**Figura. 2.1. Máquina de Savery.**

Posteriormente Thomas Newcomen Herrero, inventor y socio de Thomas Savery. Newcomen resolvió los dos problemas de Savery, construyendo una máquina en la que incorporaba un cilindro con un pistón, fuera de la mina que se movía con el vapor producido por la caldera. Ese movimiento lo transmitía al otro extremo de un balancín moviendo una barra (hacia arriba y abajo) que accionaba una bomba de extracción colocada en el interior de la mina.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> <http://www.sistemascalefaccion.com/calderas/industriales.html>

Dionisio Papín en 1769 inventó una caldera de pequeñas dimensiones llamada “marmita”, con esta se trató de remplazar los modelos anteriores. La caldera de vapor más elemental fue diseñada por James Watt en 1776, estas calderas eran utilizadas para accionar bombas de agua, tenía una forma cilíndrica vertical y eran de una larga vida útil, se dice que fueron éstas las responsables de los comienzos de la revolución industrial. Dentro de los primeros tipos de calderas de vapor podemos encontrar divisiones numerosas como las calderas de vapor destinadas a la tracción, las cuales se utilizan en los trenes de pasajeros, contamos con las calderas multi-tubulares que cuentan con tubos amovibles y utilizan como combustible carbón mineral, etc.

Cuando James Watt observó que se podría utilizar el vapor como una fuerza económica que remplazaría la fuerza animal y manual, se empezó a desarrollar la fabricación de calderas, hasta llegar a las que actualmente tienen mayor uso en las distintas industrias. La figura 2.2 hace referencia a las primeras calderas que tuvieron el inconveniente de que los gases calientes estaban en contacto solamente con su base, y en consecuencia no se aprovechaba el calor del combustible. Debido a esto, posteriormente se les introdujeron tubos transversales para aumentar la superficie de calefacción. Si por el interior de los tubos circulan gases o fuego, se les clasifican en calderas piro tubulares (tubos de humo) y calderas acuotubulares (tubos de agua).<sup>3</sup>



**Figura. 2.2. Diagrama primeras calderas industriales.**

<sup>3</sup> <http://www.scribd.com/doc/56698312/Anonimo-Historia-de-Los-Inventos-V1-0>

Inicialmente fue empleada como máquina para accionar bombas de agua y cilindros verticales, fue la impulsora de la revolución industrial, la cual comenzó en el siglo XVIII y continúa hasta el nuestro.

Máquinas de vapor alternativas de variada construcción han sido usadas durante muchos años, como agente motor, pero han ido perdiendo gradualmente terreno frente a las turbinas. Entre sus desventajas está la poca velocidad y (como consecuencia directa) el mayor peso por Kw de potencia; necesidad de un mayor espacio para su instalación e inadaptabilidad.

Al ser una maquina que soporta altos niveles de presión, es construida en parte con acero inoxidable a semejanza de muchos contenedores de gas. Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, la caldera es muy utilizada en la industria, para fines como:

- ✓ Esterilización: Anteriormente se usaba calderas en los hospitales, las cuales generaban vapor para "esterilizar" los instrumentos médicos; también en los comedores para elaborar alimentos en marmitas.
- ✓ Calentar fluidos, por ejemplo, en la industria petrolera se calienta a los petróleos pesados para mejorar su fluidez y el vapor es un subproducto muy utilizado.
- ✓ Generar electricidad a través del ciclo Rankine. La caldera es parte fundamental de las centrales termoeléctricas.

El circuito empieza a partir de la vaporización del agua en el interior del caldero al llegar al punto de ebullición y aprovechar la expansión del vapor en un determinado subproceso.

## 2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La finalidad del sistema de calentamiento es lograr que la mayor parte de la energía calórica generada se transfiera al medio líquido, logrando así una eficiencia energética que satisfaga la inversión técnica y económica del proyecto. Los medios más comunes para lograr este proceso han sido mediante combustión, pero actualmente hay un creciente interés hacia las aplicaciones con energía eléctrica.

La selección del sistema debe basarse en los siguientes aspectos:

- Disponibilidad económica
- Capacidad de generación de vapor
- Dimensiones del equipo
- Tipo de control
- Normas de seguridad industriales
- Tiempo de operación

La generación de vapor de agua se produce mediante la transferencia de calor, el proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera hacia el agua, elevando de esta manera su temperatura, presión y convirtiéndola en vapor. Tal como se ve en la figura 2.3.

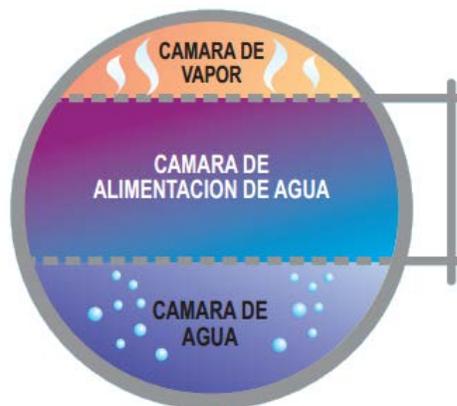


Figura. 2.3. Interior del caldero.

Hacemos referencia a vapor saturado. Que es el vapor que se desprende cuando el líquido hierve. Es obtenido en calderas de vapor y se usa en multitud de procesos industriales que interviene en procesos físicos, químicos en la obtención de múltiples elementos. Y es efectivo y de menor costo para esterilizar la mayoría de los objetos de uso hospitalario, en labores de limpieza con vapor, pasteurización de alimentos y bebidas, etc.<sup>4</sup>

El vapor sobrecalentado es vapor de agua a una temperatura mayor que la del punto de ebullición. Parte del vapor saturado y se le somete a un recalentamiento con el que alcanza mayor temperatura. También se obtiene en las calderas de vapor pero que tienen secciones de recalentamiento para el vapor haciendo pasar el vapor que se obtiene en la ebullición por tubos expuestos a los gases calientes del proceso de combustión. Se utiliza para mover máquinas (de pistones y turbinas). Aunque también se ha usado el vapor saturado, el sobrecalentado tiene ventaja. Así que se usa en locomotoras de vapor (con muy pequeño grado de recalentamiento), accionamiento de barcos, generación eléctrica en centrales termoeléctricas tanto convencionales como nucleares, centrales geotérmicas, en las centrales llamadas ciclos combinados, procesos industriales como por ejemplo el de secado de la madera, destilación, obtención del coque, etc.

Una caldera de vapor al ser una máquina que trabaja a alta presión, en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía térmica, se obtiene como resultado una fuerza limpia, poco contaminante y relativamente con las normas de seguridad, muy fácil de utilizar. A través del cambio de fase del agua, de líquida a gaseosa.

Es necesario considerar los siguientes parámetros al momento del diseño de los componentes y normas de instalación:

- Eficiencia energética.
- Seguridad de funcionamiento.
- Costos mínimos de mantenimiento.

---

<sup>4</sup> [http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/1\\_anio/quimigeral/Pto.\\_de\\_Ebullicion5.pdf](http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/1_anio/quimigeral/Pto._de_Ebullicion5.pdf)

- Vida útil lo más larga posible.

Y para el caso específico de la caldera se subdivide en dos ítems:

- El tener en cuenta que del cumplimiento de los requisitos operacionales, depende el funcionamiento de toda la planta.
- El mantenimiento está ligado a los costos operativos, a la seguridad y a la vida útil.
- Especificación de materiales a utilizarse.
- Cálculo del dimensionamiento para las partes a presión.
- Tensiones admisibles de los materiales.
- Tratamientos del agua a utilizarse.
- Controles, pruebas y ensayos.

El diseño de un caldero depende en general de las especificaciones requeridas para una determinada aplicación que se desee ejecutar. De esta manera se podrá seleccionar el tipo de caldero más adecuado y su capacidad de operación.

Para este proyecto se construirá un caldero eléctrico ya que su construcción y automatización es factible según la disponibilidad de recursos factibles en el medio físico y para el subproceso que se pretende poner en ejecución.

Los principios básicos de esta unidad generadora de vapor son los siguientes:

- La conversión del potencial energético del elemento calefactor en energía térmica.
- La transmisión de la energía térmica al agua, que se puede emplear posteriormente en un trabajo útil.

El control automático que permite un funcionamiento seguro y confiable del equipo bajo los parámetros de diseño establecidos.<sup>5</sup>

El diseño de un proyecto obedece al sector al cual se encuentre enfocado. Este proyecto constituye un elemento necesario para el óptimo funcionamiento de un fermentador biológico en el sector productivo, por tanto debe regirse de acuerdo con los siguientes aspectos:

---

<sup>5</sup> <http://www.scribd.com/doc/17302256/DISENO-DE-CALDERAS>

- ✓ Grado de cumplimiento de las especificaciones técnicas.
- ✓ Demanda energética.
- ✓ Recursos humanos disponibles.
- ✓ Recursos Económicos.
- ✓ Capacidad de satisfacción.

El presente proyecto estará conformado por el diseño del caldero eléctrico de 5HP y con los dimensionamientos y respectivos componentes a utilizarse teniendo en cuenta previamente que el subproceso a operar va ser para un fermentador biológico el cual se encuentra ubicado en las instalaciones del campo de operaciones e investigaciones para Petroecuador “CITVAS” en la Ciudad de la Joya de los Sachas, como se muestra en la Figura 2.4.

Es indispensable tener en cuenta la alimentación eléctrica (3PH-208V) con la cual opera el equipo y que será provisto del tablero de servicios generales de las instalaciones mencionadas.



**Figura. 2.4. Laboratorio de implementación del caldero.**

Como segunda etapa se encuentra la automatización e instrumentación del caldero eléctrico, mediante un PLC y su respectiva visualización de estado mediante un Panel de Operador (HMI) que permita mostrar los estados de operación del sistema y los componentes y actuadores que intervienen en la operación del mismo.

En la implementación física del dispositivo se deberá tener cuidado en regirse con las normas y procedimientos que regulan estos dispositivos, que sean afines para evitar condiciones críticas y precautelar la integridad física de las personas que operan la maquinaria.

### **2.3 PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA**

Al ser el agua el principal elemento sobre el cual se realizara el proceso de cambio de estado de líquido a gaseoso necesitamos conocer propiedades de presión y evaporación y valores propios de entalpia que puede generar un determinado valor de presión para lo cual nos basamos en la siguiente tabla 2.1.

Esto es importante ya que los líquidos tienen un valor de presión de vapor definida para cada registro de temperatura lógicamente aumentando la temperatura se incrementa la vaporización y por lo tanto aumenta la presión de vapor.

Teniendo en cuenta que la vaporización de los líquidos demuestra que sus moléculas se mueven con velocidades distintas ya que si todas se moviesen a la misma velocidad pues prácticamente se movería de una forma prácticamente explosiva al estado de vapor.

Además hay que mencionar que al ser un elemento tan común y tan útil no posee propiedades ácidas ni básicas y es un catalizador en muchas reacciones químicas.

La tabla 2.1 ilustra los valores de la presión en relación con la temperatura, necesarios para entender un poco más la relación entre la generación de vapor con el consumo de energía.

Tabla. 2.1. Vapor Saturado Tabla de Temperaturas

Presión Relativa	Presión Absoluta	Temperatura	Entalpia Especifica			Valor Especifico Vapor
			Agua (hf)	Evaporación (hfg)	Vapor	
bar	bar	°C	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	m3/kg
0	1,013	100	419	2257	2676	1,673
0,2	1,213	105,1	440,8	2243,4	2684,2	1,414
0,4	1,413	109,55	459,7	2231,3	2691	1,225
0,6	1,613	113,56	476,4	2220,4	2696,8	1,083
0,8	1,813	117,14	491,6	2210,5	2702,1	0,971
1	2,013	120,42	505,6	2201,1	2706,7	0,881
1,2	2,213	123,46	518,7	2192,8	2711,5	0,806
1,4	2,413	126,28	530,5	2184,8	2715,3	0,743
1,6	2,613	128,89	541,6	2177,3	2718,9	0,689
1,8	2,813	131,37	552,3	2170,1	2722,4	0,643
2	3,013	133,69	562,2	2163,3	2725,5	0,603
2,2	3,213	135,88	571,7	2156,9	2728,6	0,568
2,4	3,413	138,01	580,7	2150,7	2731,4	0,536
2,6	3,613	140	589,2	2144,7	2733,9	0,509
2,8	3,813	141,92	597,4	2139	2736,4	0,483
3	4,013	143,75	605,3	2133,4	2738,7	0,461
3,2	4,213	145,46	612,9	2128,1	2741	0,44
3,4	4,413	147,2	620	2122,9	2742,9	0,422
3,6	4,613	148,84	627,1	2117,8	2744,9	0,405
3,8	4,813	150,44	634	2112,9	2746,9	0,389

Para el caldero la Entalpía del vapor saturado es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que éste puede intercambiar con su entorno siendo una reacción química a presión constante, el cambio de entalpía del sistema es el calor absorbido o desprendido en la reacción de líquido a gas, el cambio de entalpía del sistema es el calor latente, en este caso el de vaporización. En un simple cambio de temperatura, el cambio de entalpía por cada grado de variación corresponde a la capacidad calorífica del sistema a presión constante.

Para el ejemplo la caldera eléctrica a diseñar tiene una presión nominal de funcionamiento de 70 PSI (4,82 Bares aprox) como se puede observar en la tabla 2.1 se tiene una temperatura promedio de operación de 150°C y la entalpia producida por la evaporación del agua será de 2112,9 Btu/libra.

### 2.3.1 SISTEMA DE ABLANDAMIENTO DEL AGUA

El agua de lluvia al caer puede absorber oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno, polvo y otras impurezas contenidas en el aire y también disolver sustancias minerales de la tierra. Esta contaminación puede acrecentarse además con ácidos procedentes de la descomposición de materias orgánicas, residuos industriales y aguas sépticas descargadas en lagos y ríos. Al ser el agua su ingreso por medio de una línea de agua potable tiene elementos como cloro y purificadores que deben ser filtrados previamente por el desmineralizador para pasar al tanque de alimentación.

Los fines principales perseguidos con el tratamiento del agua de alimentación son los siguientes:

- 1.- Quitar las materias solubles y en suspensión.
- 2.- Eliminación de los gases.
- 3.- Reducir los niveles de "dureza" de minerales, calcio, hierro y cal.
- 4.- Evitar la formación de incrustaciones sobre las superficies de calentamiento del agua.
- 5.- Proteger contra la corrosión los metales de las calderas, recuperadores y tuberías de distribución a los distintos subprocessos.

El sistema de ablandamiento del agua se ilustra en las figuras de la 2.5 a la 2.7 que están a continuación.

Métodos y su desempeño en la remoción de los contaminantes en los sistemas de tratamiento de agua														
Contaminante	Clarificadores	Lecho de Arena	Ablandador	Desionizador	Microfiltración	Filtros de Membrana	Destilación	Adsorción (Carbon Activado)	Osmosis Inversa	Ultrafiltración	Ultravioleta (UV)	Desgasificador	Cloración	Oxidación
Solubles - Iónicos	0-1	0	0	2	0	0	2-3	0	2	0	0	0	0	0
Solubles - Orgánicos	1	0	0	1	0	0	2-3	1	2	1	2	0	0	0
Solubles - Gaseosos	0	0	0	0	0	0	2-3	0	0	0	0	1-3	0	0
Particulados - > 0,45 $\mu\text{m}$	1-2	1	1	1	2-3	3	2-3	1-2	3	3	0	0	0	0
Particulados - < 0,45 $\mu\text{m}$	1-2	0	0	0	0-1	2-3	3	0	2	2	0	0	0	0
Bacterias	1*	0	0	0	0-1	2-3	3	0-1	2-3	2	1-2*	0	3*	3*
Pirógenos	0	0	0	0	0	1-3	3	0	1-2	2	0	0	0	0
Gusto y olor	X		X					X					X	X
Color	X	X	X		X	X		X					X	X

Figura. 2.5. Sistemas de tratamiento de agua.

Leyenda:

X: Puede ser utilizado como método de tratamiento

0: No presenta remoción

1: Remoción parcial

2: Remoción hasta bajos niveles

3: Remoción hasta niveles inferiores a la detección analítica

\*: Los organismos vivos pueden ser muertos, en tanto el material celular permanece en el flujo

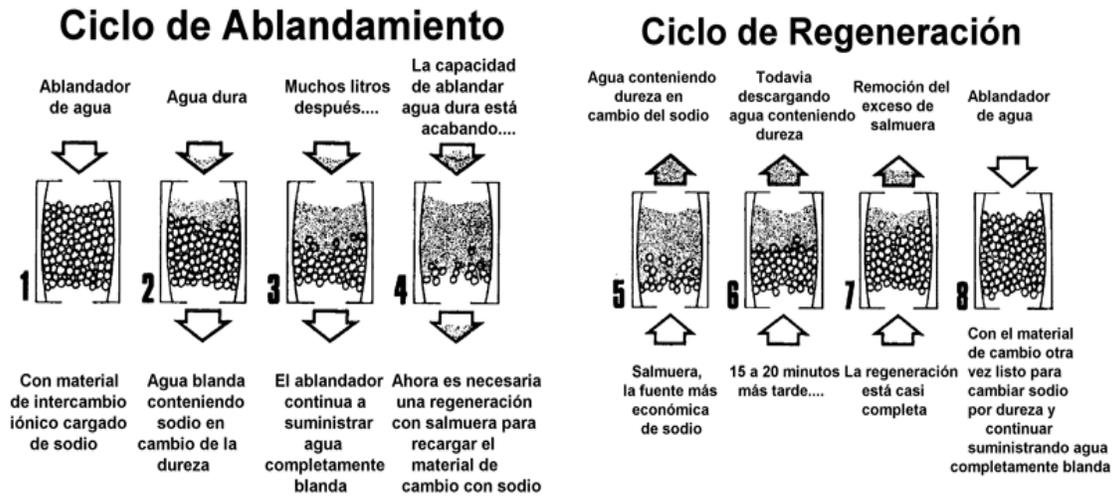


Figura 2.6. Ciclo de ablandamiento de agua.

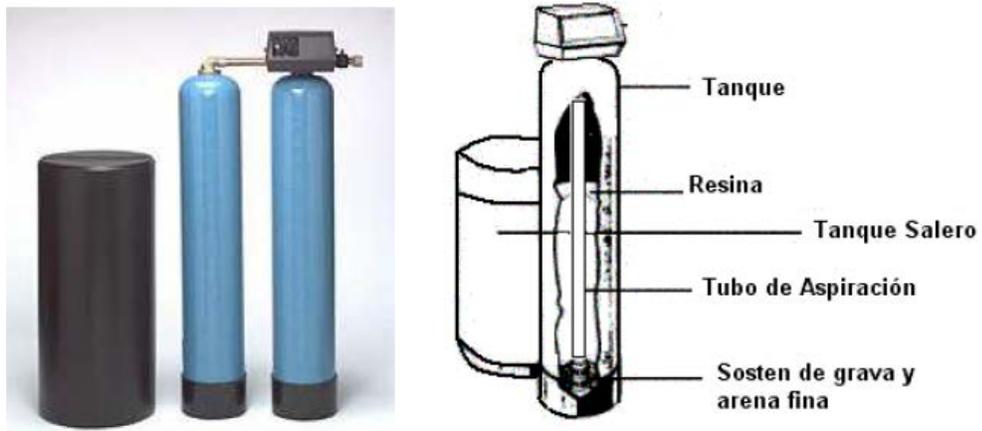


Figura 2.7 sistema común de ablandamiento.

## 2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS CALDEROS DE VAPOR

Existen varias formas de clasificación, entre estas se puede señalar las siguientes:

Según su movilidad:

- Fija o estacionaria.
- Móvil o portátil.

Según la presión de trabajo:

- Baja presión. 0 a 2,5 kg/cm
- Media presión. 2,5 a 10 kg/cm
- Alta presión. 10 a 220 kg/cm
- Supercríticas. Más de 200 kg/cm

Según su generación:

- De agua caliente.
- De vapor saturado o recalentado.

Según el ingreso de agua a la caldera:

- Circulación natural: el agua se mueve por efecto térmico.
- Circulación forzada: el agua circular mediante el impulso de una bomba.

Según la circulación del agua y de los gases en la zona de tubos:

- Piro tubulares o de tubos de humo.
- Acuotubulares o de tubos de agua.

### 2.4.1 CALDERAS PIROTUBULARES O DE TUBOS DE HUMO.

La caldera de vapor piro tubular, concebida especialmente para el aprovechamiento de gases de recuperación presenta las siguientes características.

Como muestra la figura 2.8 formada por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor, el hogar y los tubos están completamente rodeados de agua, la llama se forma en el hogar pasando los

humos por el interior de los tubos de los pasos siguientes para finalmente ser conducidos hacia la chimenea, una de sus desventajas es que presentan una elevada pérdida de carga en los humos.



Figura 2.8 Calderas industriales piro tubulares.

Características:

- Sencillez en su construcción.
- Facilidad en su inspección, reparación y limpieza.
- Gran peso.
- La puesta en marcha es lenta.
- Gran peligro en caso de explosión o ruptura.
- Varios números de pasos antes de desfogar el vapor.

- Llamadas como calderas de tubos porque sus productos de combustión pasan a través de los tubos internos en la misma

#### **2.4.2 CALDERAS ACUOTUBULARES O DE TUBOS DE AGUA.**

En estas calderas el agua está dentro de los tubos ubicados longitudinalmente en el interior y se emplean para aumentar la superficie de calefacción, los mismos están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja.<sup>6</sup>

La llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión. Soporta mayores presiones, pero es más cara, tiene problemas de suciedad en el lado del agua, y menor inercia térmica. Las calderas acuotubulares eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor. Tal como se muestra en la figura 2.9.

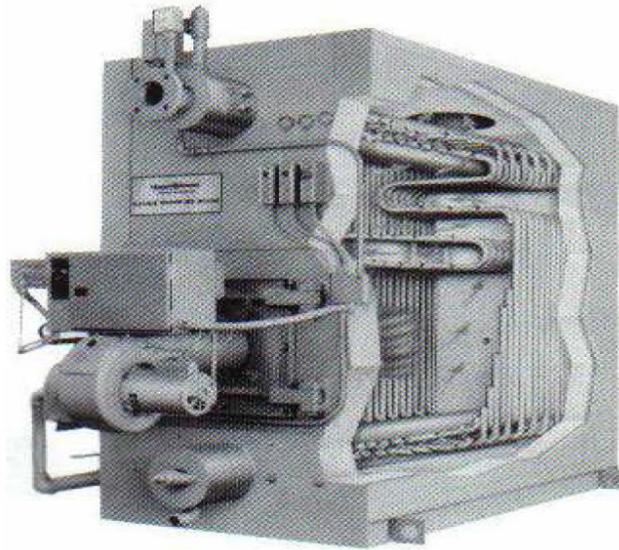
Características:

- La Caldera de tubos de agua tiene la ventaja de poder trabajar a altas presiones, dependiendo del diseño llegan hasta 350 psig (Caldera Acuatubular).
- Se fabrican en capacidades de 20 HP hasta 2000 HP.
- Por su fabricación de tubos de agua es una caldera inexplorable.
- La eficiencia térmica está por arriba de cualquier caldera de tubos de humo, ya que se fabrican de 3, 4 y 6 pasos dependiendo de la capacidad.

---

<sup>6</sup><http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/325/1/CD-0307.pdf>

- El tiempo de arranque para la producción de vapor a su presión de trabajo es mínimo.
- El vapor que produce una caldera de tubos de agua es un vapor seco, por lo que en los sistemas de transmisión de calor existe un mayor aprovechamiento.



**Figura 2.9 Calderas industriales piro tubulares.**

### **2.4.3 CALDERAS ELÉCTRICAS**

Las calderas eléctricas se diferencian de sus homólogas de otras fuentes, en que no tienen cámara de combustión. La energía latente, (la electricidad), cede su poder calórico a una resistencia, la cual a vez lo transfiere al agua del caldero. En función de lo sofisticado del modelo de la caldera tendrá un tipo u otro de regulación y forma de controlar la temperatura final del agua, su almacenamiento, su caudal y su distribución final.

Dentro de la línea completa de calderas eléctricas de vapor hay desde 12 Kw a 1000 Kw (1,2 a 100 BHP) hasta 300 PSI para la calefacción y aplicaciones de proceso. Por lo general hay en configuración vertical en la mayoría de las formas, y se las considera muy eficientes por que los elementos calefactores están totalmente sumergidos en el agua y el recipiente de presión está completamente aislado. Y las pérdidas de calor son casi nulas, las presiones de operación se logran de forma rápida con una eficiencia aceptable. Su ventaja es que no se presenta desperdicio de combustibles fósiles y son más amigables con el medio ambiente. Ver figura 2.9.



**Figura. 2.9. Calderos eléctricos industriales marca Fulton.**

Aunque el principio de operación no es nada complejo las particularidades del proceso son complejas para realizar un trabajo seguro y eficiente por parte de la caldera, especialmente cuando se quiere operar en ambientes exigentes donde

dependiendo de varios factores y criterios como la alimentación de los fluidos, su circulación el mecanismo de transmisión de calor dominante, aspectos estructurales, modo de intercambio de calor, forma de quemado del combustible o alimentación eléctrica, forma de alimentación del agua, etc.

**Tabla 2.2 Resumen clasificación general de los Calderos.**

Por la Disposición de los fluidos:	Tubos de Agua (Acuotubulares), Tubos de Humo(Piro tubulares)
Por la disposición del Tambor o Hervidor:	Verticales, Horizontales
Por la disposición de los Tubos:	Verticales, Horizontales, Inclinaos
Por el numero de pasos:	Un paso, Dos pasos, Tres o más pasos
Por la circulación del agua:	Circulación Natural, asistida, forzada
Por la transmisión del Calor:	De Convección, Radiación, Combinada
Por el combustible empleado:	De Carbón (Carbón Pulverizado), Combustibles Líquidos, Combustibles Gaseosos, Combustibles Gaseosos, Nucleares(Uranio Natural, enriquecido)
Por la presión de Trabajo:	Baja Presión( menor a 20kg/cm <sup>2</sup> ), De media presión (entre 20 y 64 kg/cm <sup>2</sup> ), de alta presión (mayor a 64 kg/cm <sup>2</sup> )
Por la clasificación de los Materiales:	Calderas de Fundición, de Acero.

**Tabla 2.3. Tipos de Calderos Capacidad vs Medio de Combustión**

<b>Tipo de Caldero</b>	<b>Capacidad BHP</b>	<b>Combustible</b>
Calderos Piro tubulares Horizontales	20 – 500	Diesel, Bunker, Gas LPG, Combustibles Sólidos
Calderos Piro tubulares Verticales	1 – 50	Diesel, Bunker, Gas LPG, Combustibles Sólidos
Caldero Acuotubulares	500 – 1000	Diesel, Bunker, Gas LPG,
Calderos Aceite Térmico	20 – 500	Diesel, Bunker, Gas LPG
Calderos para baños de cajón y para agua caliente	20 – 500	Combustible: Diesel, Gas LPG
Calderos Eléctricos	1 – 100	Suministro Eléctrico

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE HARDWARE

#### 3.1 ARQUITECTURA DEL PROYECTO

A continuación en la figura 3.1 se detalla a manera de esquema, una arquitectura básica del proyecto que hace referencia a los componentes utilizados.

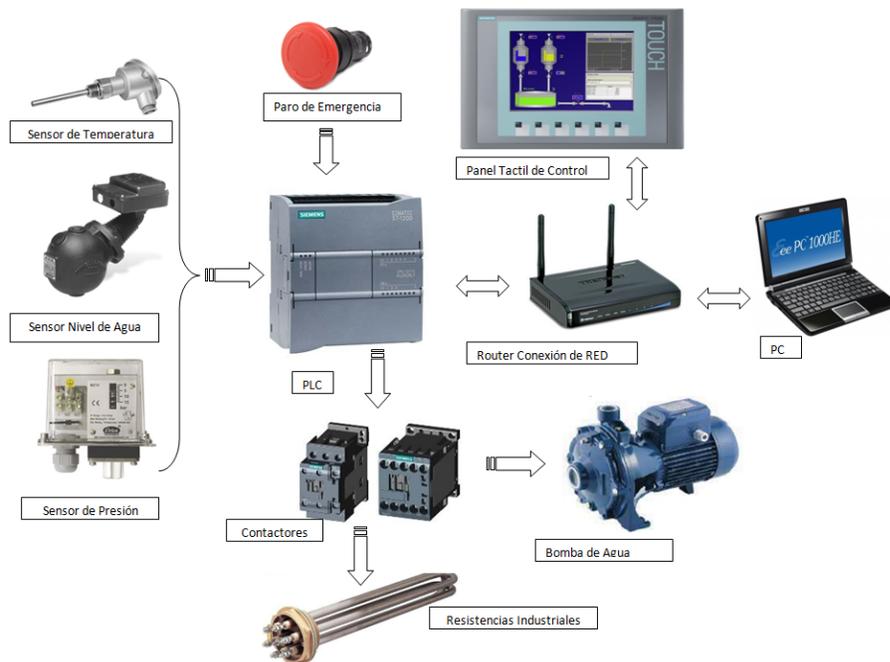


Figura. 3.1. Arquitectura del Proyecto.

## 3.2 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

A continuación se detalla cada componente utilizado en el presente proyecto, mencionando sus características principales.

### 3.2.1 SENSOR DE TEMPERATURA PT100

Este elemento permite determinar el nivel térmico de un cuerpo y la medida de temperatura presupone un intercambio de calor entre el cuerpo a medir y el transductor, se fundamenta principalmente en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura, esta variación lineal intrínseca puede expresarse con la siguiente ecuación:

$$R_T = R_o(1 + \alpha(T - T_o)) \quad \text{Ecuacion (3.0)}$$

Donde  $R_o$  es la resistencia a la temperatura de referencia  $T_o$ ,  $\alpha$  es el coeficiente de temperatura del metal como el platino, cobre y níquel, al analizar la tabla el platino es el que ofrece un margen lineal más amplio con una sensibilidad aceptable y una elevada precisión y exactitud de ahí el nombre PT100 por presentar una resistencia de  $100\Omega$  a  $0^\circ\text{C}$ .

**Tabla. 3.1. Valores Características RTD según materiales**

	Coef ( $\alpha$ )	Alcance	Exactitud	$R_{100}/R_0$	Precio	$R_0$
Pt	0.00385	-200 a +850°C	0.01 °C	1.385	Alto	100
Ni	0.00672	-150 a +300° C	0.5 °C	1.672	Medio	120
Cu	0.00425	-200 a +120° C	0.1 °C	1.425	Bajo	10



**Figura. 3.2. PT100 Tipo B**

Para el sensor de temperatura mostrado en la figura 3.2 el método más empleado para medir pequeños cambios de resistencia consiste en dos divisores de tensión en paralelo, uno de los cuales contiene el transductor de temperatura, y mediante la ecuación propia para el PT100 describe un comportamiento lineal en un intervalo aproximado de (0-400°C).

El método más empleado para medir pequeños cambios de resistencia consiste en dos divisores de tensión en paralelo, uno de los cuales contiene el transductor de temperatura y se diseña de tal forma que en reposo ambos divisores den la misma tensión ( $E_0=0V$ ), y el parámetro que hace medir es la diferencia de tensión entre las salidas para obtener una señal que dependerá de la variable a medir.

Para los presentes cálculos el puente de medida que se utiliza en el diseño consta de los siguientes valores de dos resistencias de  $633\Omega$  para las resistencias de  $R_a$  y  $R_b$ , una resistencia de referencia ( $124\Omega$ ) para una temperatura de referencia de ( $62^\circ C$ ) que se las llamara  $R_0$  y  $T_0$  y un transductor de temperatura (PT100), cuya resistencia se denomina  $R_T$ .

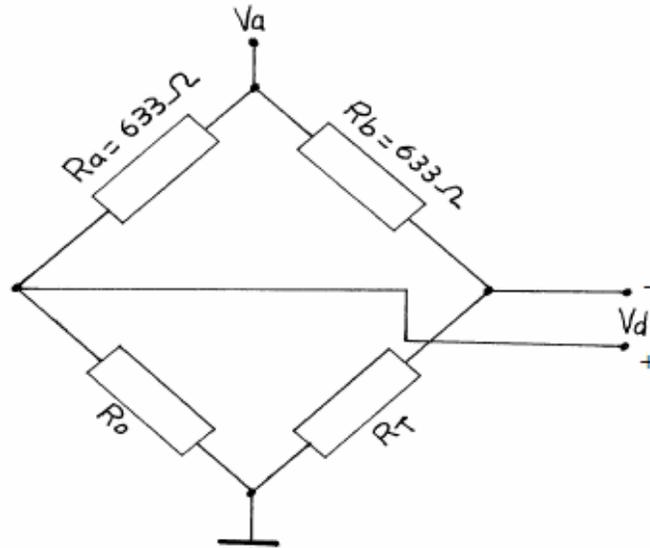


Figura. 3.3. Diseño circuito Acondicionamiento PT100

Donde  $R_o$  es la resistencia a la temperatura de referencia,  $T_o$  y  $\alpha, \beta, \delta$  son los coeficientes de temperatura del metal de orden 1, 2 y 3. Para el platino, cobre y níquel en su margen lineal, la ecuación se reduce a la expresión.

$$R_t = R_o(1 + \alpha(T - T_o)) \quad \text{Ecuacion (3.1)}$$

La ecuación para reducir la expresión del mismo se realiza aplicando conceptos de reducción de circuitos, si al denominador puente se lo alimenta con una tensión  $V_a$ , entonces la tensión de desequilibrio del puente  $V_d$  estará dada por:

$$V_d = \frac{V_a * R_o}{R_a + R_o} - \frac{V_a * R_t}{R_b + R_t} = V_a \left( \frac{R_o}{R_a + R_o} - \frac{R_t}{R_b + R_t} \right) \quad \text{Ecuacion (3.2)}$$

De la ecuación descrita se puede despejar el valor de  $R_t$ , a partir de la cual se podría despejar el valor de temperatura a la cual está sometida la PT100.

$$V_d = \frac{V_a * R_o}{R_a + R_o} - \frac{V_a * R_t}{R_b + R_t}$$

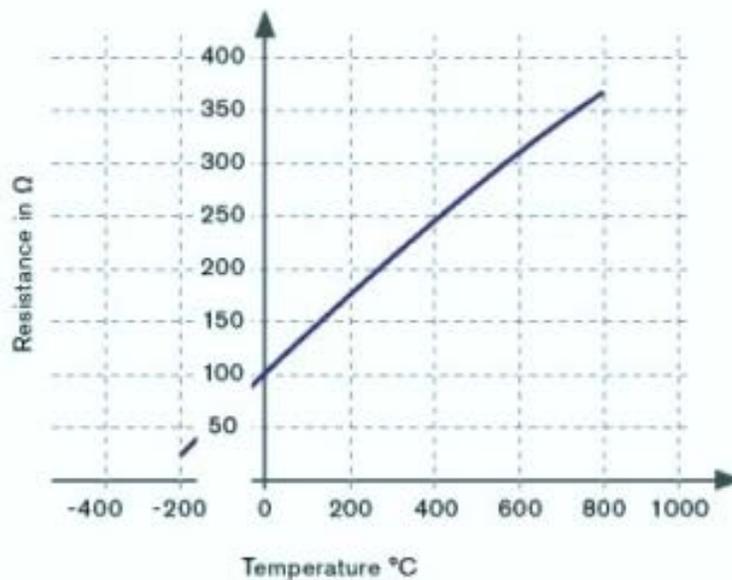
$$\frac{Va * Rt}{Rb + Rt} = \frac{Va * Ro}{Ra + Ro} - Vd$$

$$\frac{Va}{\frac{Rb}{Rt} + 1} = \frac{Va * Ro}{Ra + Ro} - Vd$$

$$\frac{Rb}{Rt} + 1 = \frac{Va}{\frac{Va * Ro}{Ra + Ro} - Vd}$$

$$Rt = \frac{Rb}{\frac{Va}{\frac{Va * Ro}{Ra + Ro} - Vd} - 1}$$

Siendo el platino el metal que ofrece un margen lineal amplio con una sensibilidad aceptable y una elevada precisión y exactitud. La sonda más común es la Pt100 (100Ω a 0°C) en la figura 3.4 se muestra la curva característica.



**Figura. 3.4. Grafica característica RTD (PT100).**

Al ser un transductor cuya resistencia varía de forma lineal para un rango de temperatura de (0°C a 400°C), si a estos valores se los realizara un método de aproximación se podría llegar a una ecuación más próxima que caracteriza el comportamiento de la PT100.

$$R_t = R_o(1 + \alpha(T - T_o))$$

*Ecuacion (3.3)*

En la figura 3.5 se muestra la simulación del circuito del acondicionamiento de la señal del sensor de temperatura PT100.

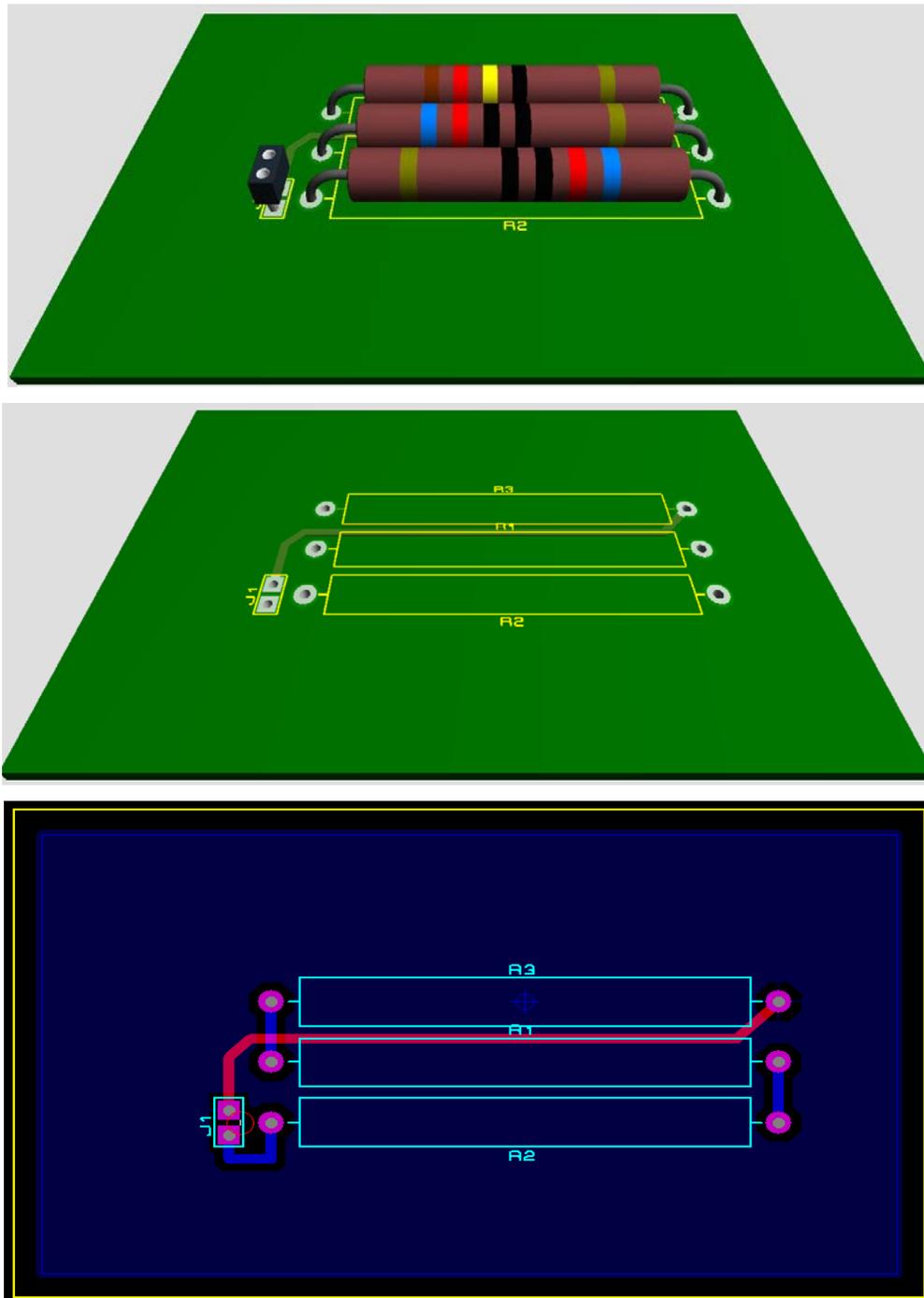


Figura. 3.5. Diseño placa Acondicionamiento PT100

Es indispensable realizar un tipo de accionamiento de forma automática que permita manipular acciones de control un determinado proceso sin la necesidad de la intervención continua de un operario de acuerdo a las condiciones requerida por un proceso, para ello se puede hacer uso de las varias técnicas de control en este caso un control de temperatura de lazo simple que será relacionado con tanque de precalentamiento en el que estará midiendo el sensor y compararla con una señal interna deseada (set point) y ajustar la salida para los valores requeridos tan cerca como sea posible, para la aplicación la señal de control es 100% todo o nada pudiéndosele agregar un cierto rango de tolerancias (histéresis) diseñado así para que la salida no cambie de forma brusca.

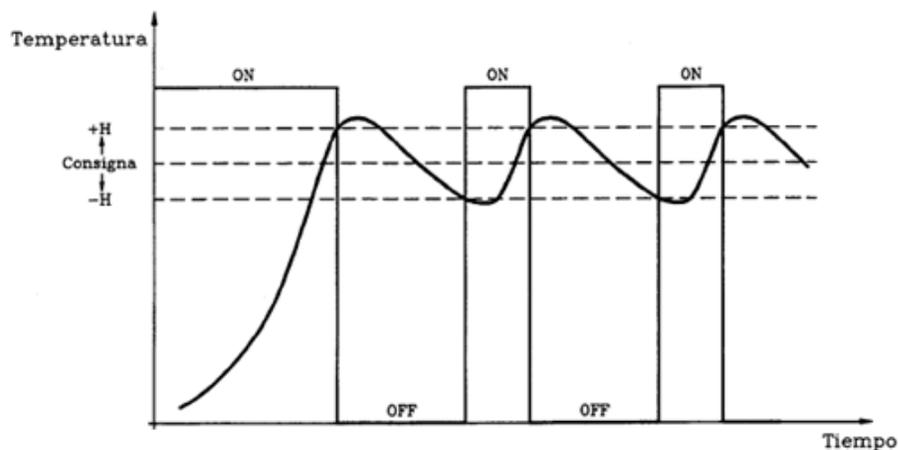


Figura. 3.6. Control de la temperatura con lazo de histéresis

Principalmente en el caldero eléctrico es muy útil para el diseño pues así evita una brusca activación de los contactores y actuadores en general ayudando a prolongar así su vida útil. Lo indispensable de este método de control consiste en ajustar la histéresis de modo que haya un retardo suficiente entre el modo "ON" y "OFF", esto es el overshoot cuando la magnitud de la temperatura rebasa al setpoint y el undershoot en el caso contrario.

- Esta técnica de control permite controlar la activación o no de la resistencia calefactora cuando la temperatura interna del tanque de precalentador está por debajo del rango inferior ( $15^{\circ}\text{C}$ ) y desactivarla o no cuando ha superado el rango superior ( $60^{\circ}\text{C}$ )

- Esta técnica de control ayudara principalmente a que el líquido que ingrese al caldero evolucione y produzca vapor de una forma continua dentro de un margen de tiempo aceptable, dependiendo de los valores y márgenes configurados.

- La rapidez de la evolución de la temperatura dentro del pre calentador es función y característica de las resistencias eléctricas, potencia, voltaje y corriente aplicados.

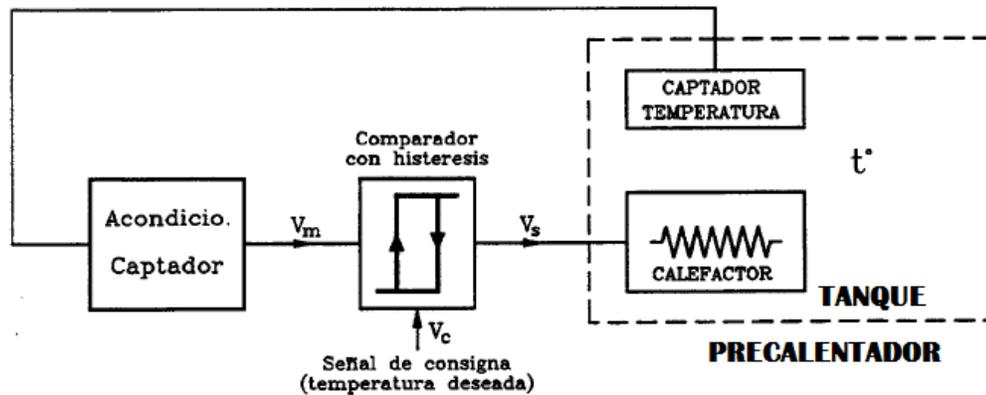


Figura. 3.7. Bloque esquemático del controlador

### 3.2.2 ROUTER TRENDNET

Un router es un dispositivo en caminador que sirve para interconectar redes de ordenadores o dispositivos asegurando el enrutamiento de paquetes entre redes, y determinar la ruta exacta que debería tomar el paquete de datos que intercambiamos.

Para el determinado caso Router TRENDNET 150Mbps Wireless N Home Router TEW-651BR, las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 3.2 son:

Tabla. 3.2. Tabla Característica Router Trendnet

<b>ESPECIFICACIONES HARDWARE</b>		
<b>ESTÁNDARES:</b>	IEEE 802.3 (10Base-T) IEEE 802.3u (100Base-TX) IEEE 802.3az IEEE 802.11b IEEE 802.11g	<b>CONDICIONES OPERACION:</b> (0°C ~ 40 °C) (32°F ~ 104 °F) Humedad: 10% ~ 95% max
<b>PUERTO WAN:</b>	1x10/100Mbps Auto-MDIX WAN puerto(Internet)	<b>DIMENSIONES:</b> 158x109x34mm
<b>PUERTO LAN:</b>	4x 10/100Mbps Auto-MDIX LAN puerto	<b>ANTENA:</b> 1x2dBi fixed Antena dipolo
<b>LEDS INDICADORAS:</b>	Alimentación, Estado, LAN1- LAN4, WAN, WLAN	<b>PESO:</b> 204g (7.2 oz)
<b>ALIMENTACIÓN:</b>	5VDC, Adaptador externo 1A A 110VAC	

Para el determinado caso se utilizara para poder conectar dispositivos como el PC, PLC, y el Panel Touch.

Ya sea que se desee configurar una red inalámbrica hay que tener pequeñas consideraciones al momento de configurar por primera vez el dispositivo como:

**ESSID:** Es un parámetro que otorga el nombre de la red inalámbrica a crear que generalmente viene por defecto de fabrica y es asignado según la casa comercial a la que pertenece.

**HideSSID:** Otorga un valor true o false en la primera fase de la instalación se pueda asignar a false, para poder ver el nombre de la red inalámbrica cuando se configure los ordenadores en la red LAN. Un aspecto muy importante es el tipo de política, autorización y forma de encriptación de la red inalámbrica, para evitar que usuarios no deseados se conecten a la misma.

Entre las más comunes esta (Ninguna, WEP, WPA o MAC), se elegirá la opción WEP ya que es un estándar de política a 128 bits en la cual se puede ingresar varios dígitos para cifrar una clave segura y además con la cual soportan la mayoría de dispositivos que se conectaría a la red Wi-Fi, la configuración detallada con los respectivos elementos se explicara en los capítulos posteriores.

### 3.2.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC SIEMENS S7-1200)

Un PLC es un controlador lógico programable es un dispositivo que es utilizado para controlar basándose en una lógica de programación a través de un determinado software mediante una PC, y como todo dispositivo para su funcionamiento necesita una fuente de alimentación, CPU (Unidad Central de Procesos), y mediante la CPU es donde se realiza todas las operaciones y funciones cuando se leen datos de las interfaces de entrada y aplicar una ejecución en los respectivos módulos de salida.

Por sus características especiales de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso y las posibilidades reales de trabajo se enfoca en todo lugar donde sea necesario un proceso de maniobra, control, señalización, abarcando desde procesos de fabricaciones industriales de cualquier tipo por su facilidad de montaje sus reducidas dimensiones y prestaciones que puede aportar. Ver figura 3.8.



Figura. 3.8. PLC SIEMENS S7-1200

Las ventajas de usar un PLC es el de reemplazar a lo mayor posible la lógica cableada en un tablero o de alguna tarjeta eléctrico/electrónica.

- Es un dispositivo Modular pues si se requiere expansión de lectura variables captadas por medio de sensores, se puede expandir mediante slots de entradas digitales o analógicas.

- Ahorra el espacio y además permite ahorrar el tiempo de trabajo por las características misma de scan en un proceso a la hora de la puesta en marcha y en el ajuste del sistema.

- Altas velocidades de transmisión de datos, especialmente en las condiciones de trabajo del tipo industrial.

- Permite administrar dispositivos de forma remota ahorrando tiempo e identificando los problemas antes de que los usuarios se vean afectados.

- Para el caso específico el controlador Simatic S7-1200 dispone de una interfaz Profinet integrada para simple conectividad en red y comunicación entre diversos sistemas de ingeniería, controladores y HMI, esto debido a su potente procesador y una alta memoria que puede repartirse flexiblemente entre datos de programa y de aplicaciones a ejecutarse.

En la siguiente tabla se expresan las características principales del PLC mencionado con las distintas opciones a las que se puede tomar en cuenta para su trabajo.

Tabla. 3.3 Características PLC SIEMENS S7-1200

<b>CPU: 1214C</b>	<b>ENTRADAS/SALIDAS</b>	<b>CAP. DE AMPLIACIÓN</b>
<b>VERSION: AC/DC/RELE</b>	Entradas Digitales (DI) 14 DI a 24VDC	Hasta 8 Módulos de Señales Hasta 3 Módulos de Comunicación
<b>MEMORIA DE TRABAJO</b> <b>M.TRABAJO:50KB</b> <b>M.CARGA: 2MB</b> <b>M.REMANENTE: 2KB</b>	Salidas Digitales (DO) 10 DO Tipo Relé	<b>FUNCIONALIDAD</b> Hasta 16 Lazos PID Contadores Rápidos Integrados: Fase Simple, Fase Doble, Salida de Pulsos 2@ 1 Hz
	Entradas Análogas (AI) 2AI (Voltaje)	
<b>MODULOS COMUNICACION</b>	<b>PROFINET / INDUSTRIAL ETHERNET</b>	
16 Conexiones en Total	Integrado Profinet Controller: Hasta 8 dispositivos	

### 3.2.4 ELEMENTO CALEFACTOR

Los calderos requieren un elemento que proporcione la energía necesaria para lograr la generación de vapor a partir del aumento de la entalpia del agua en el interior del caldero. Este dispositivo hace relación a una resistencia eléctrica que transforma la energía eléctrica calórica debido al efecto Joule. Este principio enuncia que la energía calórica generada es proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente y a la resistencia eléctrica es decir:

$$Q = I^2 * R \quad \text{Ecuacion (3.4)}$$

Q: Energía calórica generada

I: Intensidad de corriente eléctrica

R: Resistencia (resistividad) eléctrica



**Figura. 3.9. Resistencia eléctrica industrial.**

Para el dimensionamiento de nuestro sistema hay que considerar que siendo un caldero de 5HP (1HP = 746 Watts) transformando la potencia queda aproximadamente a 3735Watts = 3,74Kw de tal forma la potencia de la resistencias de cobre a dimensionar para el caldero deberán ser de un mínimo de 3KW (watts).

Al ser un elemento calefactor debe estar elaborado de materiales conductores como el cobre y aleaciones similares para poder disipar energía calórica, sin embargo en aplicaciones donde se requiere mayor potencia generada es conveniente que este elemento tenga un recubrimiento especial que podría ser de acero inoxidable, además este componente deberá resistir las temperaturas generadas, posibles choques térmicos y otras condiciones de operación.

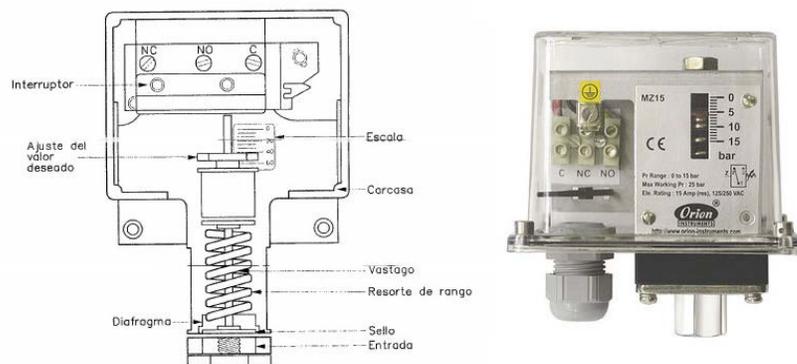
Las potencias más comunes oscilan entre los 1,5Kw, 3Kw, 4,5Kw y 5,5Kw tanto para 110v, 220v y 440v o de mayor valor dependiendo del material usado, tamaño y para el voltaje de conexión. Se recomienda que estos elementos calefactores no deban generar más allá de 75 watts por pulgada cuadrada, pues puede comprometer los materiales de la resistencia.

### **3.2.5 CONTROLADOR DE PRESIÓN**

Generalmente en los calderos de Vapor, la presión del vapor de salida es la variable controlada. Esta actúa directamente sobre la operación del mecanismo que

proporciona la energía, accionando dispositivos de parada o arranque dependiendo si la presiones de operación han sido o no satisfechas

El controlador de presión puede ser un presostato del tipo proporcional o proporcional mas flotación reset, y si no se podría optar por un sensor de presión. En el caso de que el caldero opere a presiones bajas y tenga una capacidad de almacenamiento considerable de agua y vapor podría emplearse uno de posición proporcional, en este controlador el movimiento es directamente proporcional al cambio de presión (entre los limites alto y bajo). Un controlador proporcional más flotación se utiliza en calderos de presión alta y una pequeña capacidad. Estos dispositivos están compuestos por un diafragma, un mecanismo de transmisión de movimiento y contactos eléctricos que pueden ser platinos o bulbos de mercurio. El diafragma es un elemento que censa la presión y produce una deformación que se escala y se transmite por un resorte o un mecanismo de barras al elemento que produce el contacto eléctrico.



**Figura. 3.10. Controlador de presión.**

Los presostatos tienen puntos definidos para conectar (cut in) y desconectar (cut out), están ajustados para iniciar su acción cuando la presión se reduce a un valor mínimo preestablecido en el control y termina su acción cuando la presión aumenta hasta un valor máximo determinado. La diferencia de valores de conexión y desconexión se lo conoce como diferencial y depende en cada caso de caldera.

Adicionalmente posee un rango el cual está asociado a conectar y desconectar por ejemplo si el sistema esta calibrado para conectarse a una presión de 70 psi y desconectarse a 90 psi , el diferencial seria 20 psi(90 psi- 70 psi) y el rango seria entre 70 a 90 psi.

Por condiciones y normativas junto con los presostatos se debe considerar manómetros y válvulas de seguridad calculadas según la capacidad de generación de vapor del caldero y dimensionadas para permitir un rápido desfogue de presiones en situaciones críticas de superar los límites permitidos.

**CUT IN:** Escala para ajustar el accionamiento o puesta en marcha de un actuador y se activa cuando la presión sube por encima del valor ajustado en CUT-IN.

**DIFF:** Escala para ajustar el diferencial. La presión de parada que genera señal a para desactivar algún actuador.

$$\textit{Presion de parada LP} = \textit{CUT IN} - \textit{DIFF}$$

**CUT OUT:** Escala para ajustar la presión de parada del elemento a activar (actuador). Cuando la presión aumente por encima del valor ajustado en CUT OUT se detendrá.

**DIFF:** El diferencial en el lado de la alta presión es fijo y tiene un valor constante dependiendo del fabricante y los requerimientos.

$$\textit{Presion de arranque HP} = \textit{CUT OUT} - \textit{DIFF}$$

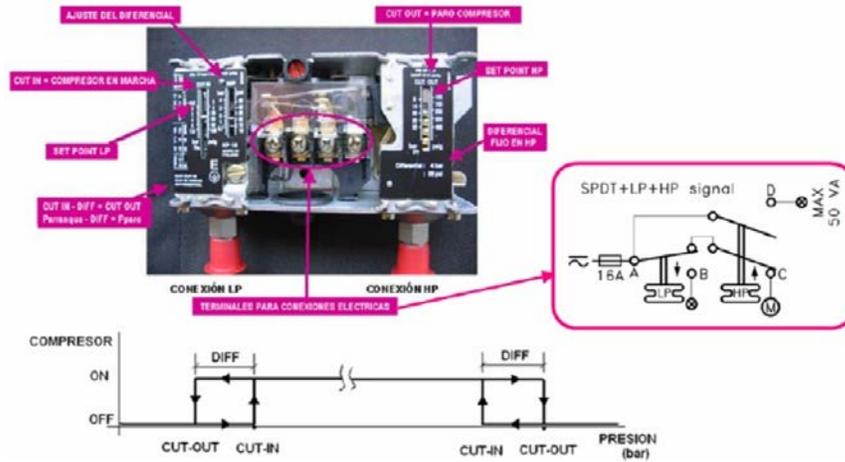


Figura. 3.11. Controlador de presión Dual.

### 3.2.6 VALVULAS DE SEGURIDAD

El proyecto en la parte mecánica está regido por la norma ASME la cual define que una válvula de seguridad es un elemento automático de alivio de presiones activado por la presión estática del fluido y caracterizado por una acción de abertura total de la válvula. Para el diseño del presente caldero la válvula de seguridad estará configurada a un valor de 100 PSI. Como se puede observar en la figura 3.12, la cual muestra la forma mecánica de la válvula.



Figura. 3.12. Válvula de seguridad.

La operación de la válvula de seguridad está basada en las leyes naturales de los gases y la mecánica de los fluidos estos son:

- Líquidos son relativamente incompresibles
- Gases y vapores son compresibles y pueden ser expandibles
- La mayoría de líquidos y gases se expanden en presencia de calor
- Un cambio de fase (sólido, líquido o gas) puede ocurrir dependiendo de las condiciones de temperatura y presión.

La operación de la válvula de seguridad se realiza por la propiedad de compresión del vapor, este medio ejerce una fuerza contra el disco de la válvula, la cual resiste por la acción de un resorte, la presión requerida para vencer la fuerza del resorte se conoce como punto de operación (SET POINT).

Cuando la presión del medio alcanza el punto de operación se levanta el disco y expone un área mayor a la presión, lo cual esfuerza a la apertura de la válvula. La capacidad de la válvula de seguridad está dada en flujo de masa por hora, debiendo dimensionarse de acuerdo con la presión de trabajo y no debe ser mayor que el 6% de la presión máxima de trabajo.

### **3.2.7 CONTROL DE NIVEL DE AGUA**

En los calderos, el nivel del líquido debe permanecer en un valor fijado (Set Point) para garantizar una operación segura y evitar condiciones peligrosas, por lo tanto es indispensable la instalación de un control que permita ejecutar múltiples acciones bajo la dependencia de una sola variable, el nivel del agua. Dentro de las distintas técnicas de control de nivel de agua se podría mencionar estos:

- Desplazamiento (flotador).
- Presión Diferencial.
- Por Sensores (Capacitivo, Inductivo, Ultrasonido).
- Conductivímetro.
- Por electrodos.

**Flotador:** Este tipo de control de nivel de agua tiene en su interior una boya la cual se desplazara en función del aumento o disminución del líquido y puede ser de dos tipos por accionamiento mecánico y de accionamiento magnético.

**Accionamiento Mecánico:** Este tipo de control de nivel de agua permite el cambio de la posición de dos interruptores de mercurio, los cuales activan o desactivan la alimentación de agua y enciende o interrumpen la operación del elemento calefactor. Un controlador de nivel de este tipo más comúnmente conocido es el control "McDonnell" el cual consiste en un flotador, el cual actúa sobre un interruptor eléctrico que da un estado de activación o no, adicionalmente todas las unidades van provistas de una válvula de purga para desalojar los sedimentos.

El controlador McDonnell va conectado al indicador de nivel que permite la observación visual de la cantidad de agua que contiene la caldera los cuales están dotados de válvulas de cierre, superior e inferior, como se indica en la figura 3.13.

El controlador McDonnell impedirá la activación de las resistencias eléctricas mientras no exista suficiente agua en la caldera.



**Figura. 3.13. Sensor de Nivel (Mc-Donnell)**

**Accionamiento Magnético:** El principio de operación de este control involucra 3 factores un imán permanente, campo magnético y un pistón de acero inoxidable, los cuales se mueven libremente dentro de un tubo no magnético.

En la posición de nivel normal el pistón magnético es accionado por el flotador hasta ubicarlo dentro del campo magnético del imán permanente, esta posición permite al bulbo de mercurio permanecer en su posición de no accionar la alimentación de agua, si el nivel del líquido disminuye el pistón magnético bajara lentamente por la acción del flotador. A una determinada posición de bajo nivel de líquido el pistón quedara libre de la acción del campo magnético. Esto libera al imán permanente y mediante la acción del resorte permite al bulbo de mercurio el contactor del actuador. El control de nivel por electrodos utiliza la conductividad eléctrica del líquido, la resistividad del agua utilizada en la generación de vapor oscila entre los  $7000 \Omega$  y  $20000\Omega$ , tres electrodos ubicados en la columna de agua para verificación de nivel y uno ubicado en el interior del tanque sirven para accionar el control de encendido del elemento calefactor y la bomba de alimentación de agua. En el caso de un caldero vacío con el nivel de agua por debajo de los extremos inferiores de los electrodos de control, la bomba de alimentación de agua se encenderá automáticamente ya que no existe el cortocircuito requerido entre los electrodos de apagado de la bomba. El nivel de agua subirá hasta alcanzar el electrodo de nivel optimo, entonces el cortocircuito se establecerá y será detenida la bomba de agua, y si no existiese en un principio el nivel de agua mínimo requerido no hay conducción en los extremos de los electrodos más largos y la operación del elemento calefactor no es permitida, y cuando el nivel de agua establece contacto el elemento calefactor puede iniciar su operación. El control de nivel de agua por electrodos sumergidos requiere para su operación de la existencia de minerales en disolución para obtener características conductivas. Cuando los requerimientos de calidad de agua son estrictos la aplicación de este tipo de control no es recomendable.

### **3.2.8 BOMBA DE AGUA**

El suministro de agua al caldero se realiza con una bomba de agua de alimentación. El caldero se alimenta ya sea de forma continua o intermitente, de tal manera que el nivel se conserve relativamente constante. Su flujo será regulado

automáticamente de manera que la cantidad de ingreso al caldero sea igual a la cantidad de vapor producido más el flujo de agua de purga en un determinado tiempo.

Hay que considerar la presión de diseño de la bomba de agua de alimentación tiene que ser ligeramente superior a la máxima presión de vapor que podría alcanzar el caldero en condiciones extremas es decir que sea superior a la presión de accionamiento de la válvula de seguridad y del disparo automático del caldero por alta presión de vapor.

Es indispensable en el arranque del caldero mantener de forma constante el nivel de agua durante los periodos de arranque, producción de vapor y parada hasta cuando el caldero se enfríe.

**Tabla 3.4 Bomba de Alimentación de Agua**

BOMBA DE AGUA 2HP/220V	
Características Principales	Caudal hasta 160l/min, temperatura máxima de funcionamiento con agua hasta 90°C
Alimentación Eléctrica:	220V/11A Potencia (1500W)
Norma:	Protección IP44, Aislamiento Clase F
Constitución Mecánica:	Eje de motor en acero inoxidable, motores clase IE2 (Alto rendimiento), Sellos de grafito cerámico

De igual forma hay que tener una especial atención con el tratamiento del agua ya no que no podría cumplir un caldero su función si en las superficies de transferencia de calor existen depósitos o incrustaciones y se permite la presencia de elementos corrosivos, al ser alimentados por la bomba de agua de alto rendimiento como la mostrada en la figura 3.14.



**Figura. 3.14. Bomba de agua.**

- Agua Cruda
- Condensados del vapor de procesos o turbinas
- Agua del Caldero

Cumpliendo estas condiciones se evitaría así la formación de depósitos en las superficies internas controlando la corrosión no haya la formación de espuma y el arrastre con el vapor de los sólidos presentes en el agua del caldero.

Puede haber ya sea sólidos suspendidos como arena, arcilla, material coloidal y óxidos metálicos que pueden ser eliminados por decantación, filtración o clarificación.

Así como otros disueltos que están en solución y no pueden ser removidos tan fácilmente como son el sílice, hierro, calcio, magnesio y sodio.

Las incrustaciones producidas por el calcio y el magnesio en el agua (agua dura) precipitan y se adhieren a las superficies internas. Estos compuestos son menos solubles cuando se incrementa la temperatura y producen un decrecimiento en el intercambio de calor provocando daños y averías en el equipo.

Es por eso necesario considerar un análisis de la composición del agua a ser utilizada dependiendo del tipo de caldero y su presión de operación.

### 3.3 NORMAS DE INSTALACIÓN Y SEGURIDAD

Los tableros, también llamados cuadros, gabinetes, paneles, consolas o armarios eléctricos de baja y media tensión, principales, de distribución, de protección o de control que alojen elementos o aparatos de potencia eléctrica de 24 V o más o sean de uso exclusivo para este propósito, usados en las instalaciones objeto del presente reglamento, deben cumplir los siguientes requisitos:

Para baja tensión son adaptados de las normas UL 67, UL 508, NTC 3475, NTC 3278, NTC-IEC 60439- 3, NTC 2050, y su cumplimiento será comprobado mediante Certificado de Conformidad.<sup>7</sup>

a. Tanto el cofre como la tapa de un tablero general de acometidas auto soportado (tipo armario), deben ser construidos en lámina de acero, cuyo espesor y acabado debe resistir los esfuerzos mecánicos, eléctricos y térmicos, así como los efectos de la humedad y la corrosión, verificados mediante pruebas bajo condiciones de rayado en ambiente salino, durante al menos 400 horas, sin que la progresión de la corrosión en la raya sea mayor a 2 mm. El tablero puede tener instrumentos de medida de corriente para cada una de las fases, de tensión entre fases o entre fase y neutro (con o sin selector), así como lámparas de indicación de funcionamiento del sistema (normal o emergencia).

b. El tablero de distribución, es decir, el gabinete o panel de empotrar o sobreponer, accesible sólo desde el frente; debe construirse en lámina de acero de espesor mínimo 0,9 mm para tableros hasta de 12 circuitos y en lámina de acero de espesor mínimo 1,2 mm para tableros desde 13 hasta 42 circuitos.

---

<sup>7</sup> [http://www.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/archivos/200907/ET\\_Lic\\_33.pdf](http://www.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/archivos/200907/ET_Lic_33.pdf)

- c. Los encerramientos de estos tableros deben resistir los efectos de la humedad y la corrosión, verificados mediante pruebas bajo condiciones de rayado en ambiente salino, durante al menos 400 horas, sin que la progresión de la corrosión en la raya sea mayor a 2 mm, conforme a la NTC 1156 o la ASTM 117.
  
- d. Se admite la construcción de encerramientos plásticos o una combinación metal-plástico para los tableros de distribución, siempre que sean auto extingüibles (soportar la prueba del hilo a 650 °C durante 30 segundos) sin sostener la llama cuando se retire el hilo.
  
- e. Los tableros deben ser resistentes al impacto contra choques mecánicos mínimo grado IK 05 y tener un grado de protección contra sólidos no mayores de 12,5 mm, líquidos de acuerdo al lugar de operación y contacto directo, mínimo IP 2XC o su equivalente NEMA.
  
- f. Los compuestos químicos utilizados en la elaboración de las pinturas para aplicarse en los tableros, no deben contener TGIC (Isocianurato de Triglicidilo).
  
- g. Todo tablero debe tener su respectivo diagrama unifilar actualizado.

Las partes conductoras de los tableros deberán cumplir los siguientes requisitos, que deberán ser tomados en cuenta:

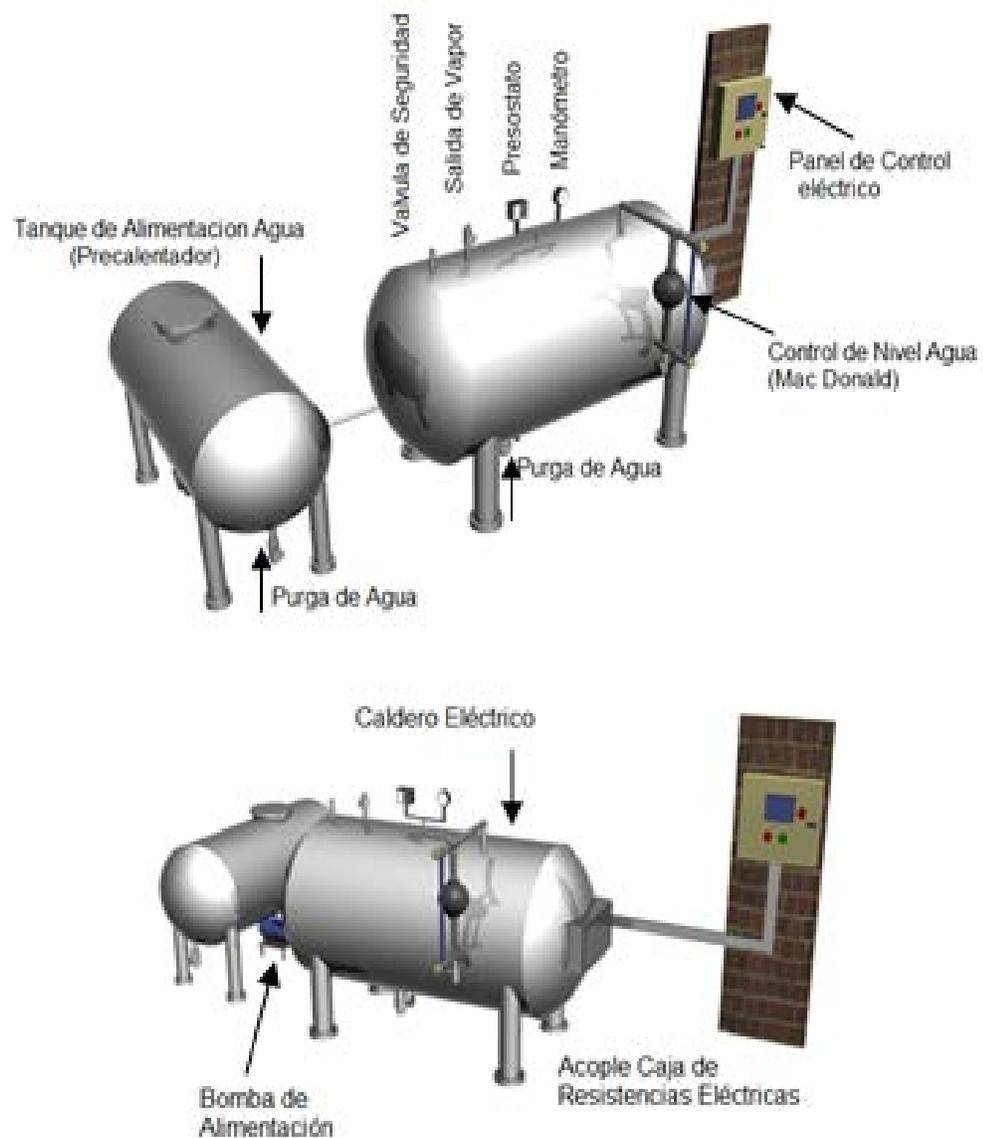
- a. Toda parte conductora de corriente debe ser rígida y construida en plata, una aleación de plata, cobre, aleación de cobre, aluminio, u otro metal que se haya comprobado útil para esta aplicación. No se debe utilizar el hierro o el acero en una parte que debe conducir corriente.

- b. Para asegurar los conectores a presión y los barrajes se deben utilizar tornillos de acero, tuercas y clavijas de conexión. El cobre y el latón no son aceptables para recubrir tornillos de soporte, tuercas y terminales de clavija de conexión, pero se acepta un revestimiento de cadmio, cinc, estaño o plata. Todo terminal debe llevar tornillos de soporte de acero en conexión con una placa terminal no ferrosa.
- c. La capacidad de corriente de los barrajes de fase no debe ser menor que la proyectada para los conductores del alimentador del tablero. Todos los barrajes, incluido el del neutro y el de tierra se deben montar sobre aisladores.
- d. La disposición de las fases de los barrajes en los tableros trifásicos, debe ser A, B, C, tomada desde el frente hasta la parte posterior; de la parte superior a la inferior, o de izquierda a derecha, vista desde el frente del tablero.
- e. Todas las partes externas del panel deben ser puestas sólidamente a tierra mediante conductores de protección y sus terminales se deben identificar con el símbolo de puesta a tierra.
- f. Todos los elementos internos que soportan equipos eléctricos deben estar en condiciones de resistir los esfuerzos electrodinámicos producidos por las corrientes de falla del sistema. Las dimensiones, encerramientos y barreras deben permitir espacio suficiente para alojamiento de los terminales y curvaturas de los cables.
- g. Las partes fabricadas con materiales aislantes serán resistentes al calor, al fuego y a la aparición de caminos de fuga. La puerta o barrera que cubre los interruptores automáticos debe permitir su desmonte dejando puntos eléctricos al alcance (contacto directo) solamente mediante el uso de una herramienta.

Los terminales de alambrado de los tableros deben cumplir los siguientes requisitos mencionados:

- a. Un terminal, tal como un conector de alambre a presión o un tornillo de sujeción, debe encargarse de la conexión de cada conductor diseñado para instalarse en el tablero en campo y debe ser del mismo tipo al utilizado durante los ensayos de cortocircuito.
- b. Cada circuito de derivación debe disponer de un terminal de salida para la conexión de los conductores de neutro o tierra requeridos.
- c. El fabricante debe indicar las características físicas, eléctricas y mecánicas correspondientes del tablero de acuerdo con el uso recomendado.
- d. Debe indicarse la tensión de trabajo del tablero y la capacidad de corriente de los barrajes de las fases, el neutro y la tierra.
- e. Debe proveerse un barraje aislado para los conductores neutros del circuito alimentador y los circuitos derivados.
- f. No se permite la unión de varios terminales eléctricos mediante cable o alambres para simular barrajes en aplicaciones tanto de fuerza como de control. Sin embargo, para el caso de circuitos de control estas conexiones equipotenciales se podrán lograr mediante barrajes del tipo “peine”.
- g. El tablero debe tener un barraje para conexión a tierra del alimentador, con suficientes terminales de salida para los circuitos derivados.
- h. La instalación del tablero debe tener en cuenta el código de colores establecido en el presente Reglamento e identificar cada uno de los circuitos.

### 3.4 IDENTIFICACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL DEL CALDERO.



**Figura. 3.15. Identificación de Componentes.**

El análisis de los parámetros y diseño de la caldera puede fijarse por varias condiciones como por ejemplo en función de la calidad-cantidad del vapor a obtener, generalmente las condiciones de presión que oscilan en una caldera van desde  $5 \text{ kg/cm}^2 \approx 71 \text{ psi}$  hasta  $200 \text{ kg/cm}^2 \approx 2840 \text{ psi}$  con una fluctuación de temperatura desde los  $100^\circ\text{C}$  hasta los  $540^\circ\text{C}$  con vapor recalentado.

$$\bullet 14,2 \text{ psi} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \text{PSI}$$

En lo referente al modelo estructural del caldero como primera parte se debe considerar un material que se resistente a la corrosión, desgaste y presión generada por el vapor, para el modelo del caldero se usara acero inoxidable según el modelo la disposición física de forma cilíndrica horizontal del caldero es necesario considerar propiedades físicas de presión de acuerdo al espesor mínimo en milímetros del material.

### PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL ACERO INOXIDABLE

TIPO DE ACERO		403	405	409	410	416 *
ANALISIS - % VALOR QUIMICO MAXIMO EXCEPTO DONDE MUESTRA EL MINIMO	Cromo	11.5-13.0	11.5-14.5	10.5-11.75	11.5-13.5	12-14
	Niquel	--	--	--	--	--
	Carbón	.15	.08	.08	.15	.15
	Manganeso	1.0 Min	1.0	1.0	1.0	1.25
	Silicio	.5	1.0	1.0	1.0	1.0
	Fósforo	.040	.040	.040	.040	.060
	Azufre	.30	.30	.30	.30	*
Otros	--	Al .1 - .3	Ti 6xC Min 0.75 Max	--	Mo .60 (OPT)	
PROPIEDADES MECANICAS (TEMPLADO):	Esfuerzo de fluencia psi (0,2% Compensación)	40.000	40.000	35.000	45.000	83.000
	Esfuerzo último psi	75.000	65.000	65.000	70.000	105.000
	Elongación % 2" (100mm)	35	25	25	25	20
	Dureza: Brinell BHN	153	150	150	150	225
	Rockwell B	82	75	75	80	97
	Impacto Izod. Ft. - lbs	90	20	20	90	25
PROPIEDAD ELECTRICAS	Creep - 1% flujo en 10.000 hrs	12.000	8.000	10.500	12.000	9.000
	Módulo elasticidad en tensión psi x10 6	29	29	29	29	29
RESISTENCIA TERMICA	Resistividad eléctrica en microhm a 68 ° F	57	60	59	57	57
	Permeabilidad magnética a 200H	--	--	--	--	--
EXPASION TERMICA	Max. temperatura de operac. servicio intermitente* F	1450	1450	1425	1450	1400
	Servicio continuo * F	1300	1400	1400	1300	1250
CONDUCTIVIDAD TERMICA	(In./In./"F x 10 ) 32 - 212 °F	5.5	6.0	6.5	5.5	5.5
	32 - 1200 ° F	6.5	7.0	7.2	6.5	6.5
CONDUCTIVIDAD TERMICA	(B.T.U./Ft. /Hr./" F/ft.) y 212 °F	14.4	14.6	14.4	14.4	14.4
	932 ° F	16.6	16.4	16.6	16.6	16.6

Figura 3.16 Acero Inoxidable propiedades físicas

De acuerdo a la figura 3.16 que hace relación de los valores característicos del acero inoxidable en cuanto a las propiedades físicas al ser una aleación de Cromo,

Carbón y Silicio para la gama 403 de acero inoxidable, muestra límites de operación de resistencia térmica de  $1300^{\circ}\text{F} \approx 704^{\circ}\text{C}$ , y una máxima elongación de 2" cuando ha soportado un esfuerzo de fluencia (ductibilidad) que es la tendencia a la deformación antes de presentar una ruptura cuando haya alcanzado una presión que tienda a los  $40000 \text{ psi} = 2817 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

### 3.5 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS DEL CALDERO

La tabla 3.5 ilustra las especificaciones requeridas para la construcción del caldero.

Tabla 3.5 Especificaciones requeridas del caldero

<b>Potencia:</b>	5 hp (50kw)
<b>Presión nominal de trabajo:</b>	70 psi
<b>Presión Máxima de Trabajo:</b>	90 psi
<b>Presión mínima de Trabajo:</b>	60 psi
<b>Presión de alivio de seguridad:</b>	90 psi
<b>Capacidad de almacenamiento del tanque:</b>	160 libras/hora
<b>Tipo de Control:</b>	automático PLC
<b>Tipo de generación:</b>	vapor saturado
<b>Nivel Máximo del líquido:</b>	80% del volumen total del tanque
<b>Nivel mínimo del líquido:</b>	70 % del volumen total del tanque
<b>Nivel crítico del líquido:</b>	60% del volumen total del tanque

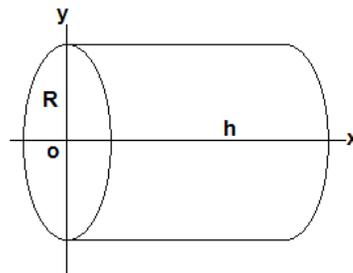
### 3.6 CALCULO DE VOLUMEN ÚTIL DE TRABAJO DEL CALDERO ELÉCTRICO

Tomando en cuenta que la forma del caldero es un cilindro, el mismo tendrá un radio  $R$  y una altura  $h$ , engendrado por el área de un rectángulo de lados  $R$  y  $h$  cuando ésta rota alrededor del eje que contiene al lado  $h$ . Considerado el rectángulo en la posición de la figura, la función que barre el área es ahora la recta horizontal  $y = R$ , por lo que el volumen resulta de inmediato:

$$V_{cilindro} = \pi \int_0^h y^2 dx = \pi R^2 \int_0^h dx = \pi R^2 \cdot x \Big|_0^h = \pi R^2 h$$

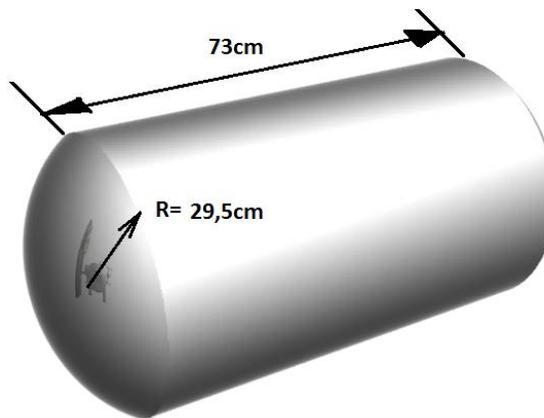
$$V_{cilindro} = \pi R^2 h$$

*Ecuacion (3.5)*



**Figura. 3.17. Forma geométrica del caldero.**

Para el caso particular el caldero que se pretende construir de 5HP consta de las siguientes dimensiones especificadas en la grafica. Se tiene principalmente el volumen útil donde ira agua y estará el elemento calefactor (Resistencias) como el área sombreada.



**Figura. 3.18. Forma del caldero.**

El volumen efectivo del caldero constituirá el volumen que será abarcado por las medidas presentes en la figura 2,5 menos un 20% que constituirá espacio donde se dará el cambio de estado de líquido a gaseoso del agua..

$$V_{cilindroTOTAL} = \pi \int_0^h R^2 dx \quad \text{Ecuacion (3.6)}$$

$$V_{cilindroTOTAL} = \pi R^2 \int_0^{73} dx = \pi R^2 \cdot x|_0^{73}$$

$$V_{cilindroTOTAL} = \pi(29,5cm)^2(73cm)$$

$$V_{cilindroTOTAL} = 0,199m^3 = 199,53litros$$

Ahora se debe considerar que el caldero eléctrico si bien tiene una capacidad de operación de 199 litros de agua trabajara de forma común en un 80% de su capacidad total de operación esto por cuestión de seguridad y debido a que nunca estará lleno ni copado a su nivel máximo en este caso de liquido(agua).

$$V_{Efectivo} = V_{cilindroUTIL} * 80\% \quad \text{Ecuacion (3.7)}$$

$$V_{Efectivo} = 199,53 \text{ litros} * 0.8$$

$$V_{Efectivo} = 159litros$$

En los requerimientos del caldero se expresa que la potencia de salida sea igual a los 5 hp, por lo tanto si tenemos la siguiente relación:

$$1 \text{ hp} = 747 \text{ watts. Entonces;}$$

$$5 \text{ hp} = 3735 \text{ watts} = 3,74 \text{ Kw.}$$

El costo de producción de vapor ha sido determinado en base a la energía eléctrica (Kwh) requerido para la producción de una libra de vapor, partiendo de una temperatura de agua de alimentación a los 60 [°C], y considerando una presión promedio de vapor generado de 84,7[psig]. El calor promedio requerido para producir una libra de vapor es de 1.200 [Btu]. Si consideramos una eficiencia del caldero del

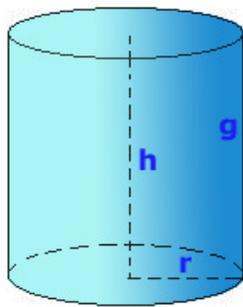
80 %, requeriremos 1.440 [BTU/lb] Si el costo de Kilowatt/Hora es de 0.09USD/Hora, entonces el costo de producción es el siguiente:

$$\frac{1440 \text{ BTU}}{1 \text{ libra vapor}} \times \frac{6 \text{ Kw/hora}}{150000 \text{ BTU}} \times \frac{0,52\$}{6 \text{ Kw/hora}} = 0,004992\$ \text{ libra de vapor}$$

### 3.6.1 DIMENSIONES PRECALENTADOR ELÉCTRICO

Físicamente el pre calentador es un cilindro con disposición horizontal y las tapas poseen una pequeña curvatura por condiciones mecánica.

Las medidas presentes son las siguientes:



$$\pi * r^2 * h \quad \text{Ecuacion (3.8)}$$

$$h = 83 \text{ cm}$$

$$r = 19,50 \text{ cm}$$

$$V = \pi * (19,50 \text{ cm})^2 * 83 \text{ cm}$$

$$V = 99151,02 \text{ cm}^3 \Rightarrow \text{Esto pasado a litros}$$

$$\frac{99151,02 \text{ cm-cubico}}{1000 \text{ cm-cubicos}}$$

$$\frac{1 \text{ litro}}{1000 \text{ cm-cubicos}}$$

$$1000 \text{ cm-cubicos}$$

$$V = 99,151 \text{ litros}$$

Multiplicando por un factor de 0,8 que es el porcentaje util.

$$V = 99,151 * 0,8$$

$$V = 79,34 \text{ litros}$$

Elemento calefactor (precalentador):

- Resistencias eléctricas 5kw
- Configuración utilizada sistemas 210 VAC/2φ
- Características eléctricas con configuración (210 /3φ

-  $P=3845,6\text{Watt}$   $I=18,4$  (A)

Elemento calefactor (caldero eléctrico):

- Resistencias eléctricas 5kw
- Configuración utilizada sistemas 210 vac/3 $\phi$ /y
- Características eléctricas en configuración (210 /3 $\phi$ /y)

### 3.7 SIMULACIÓN GRÁFICA DEL CALDERO SEGÚN CRITERIOS DE DISEÑO.

Al tomar en cuenta los criterios de diseño relacionados con la optimización del espacio, materiales y un alto grado de eficiencia energética, a continuación se mostrara una simulación en tres dimensiones del caldero a construir. En la figura 3.19 mostrada se puede ver la idea global del caldero.

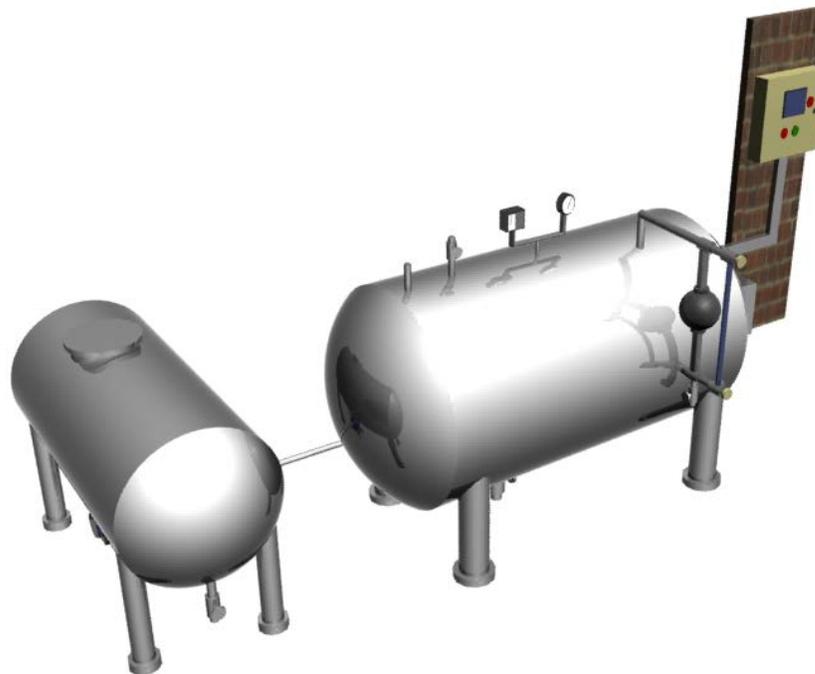
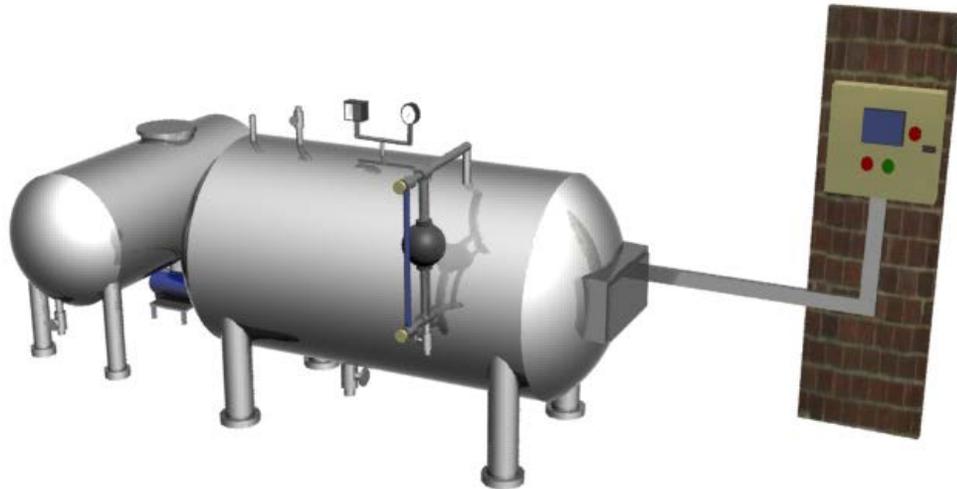


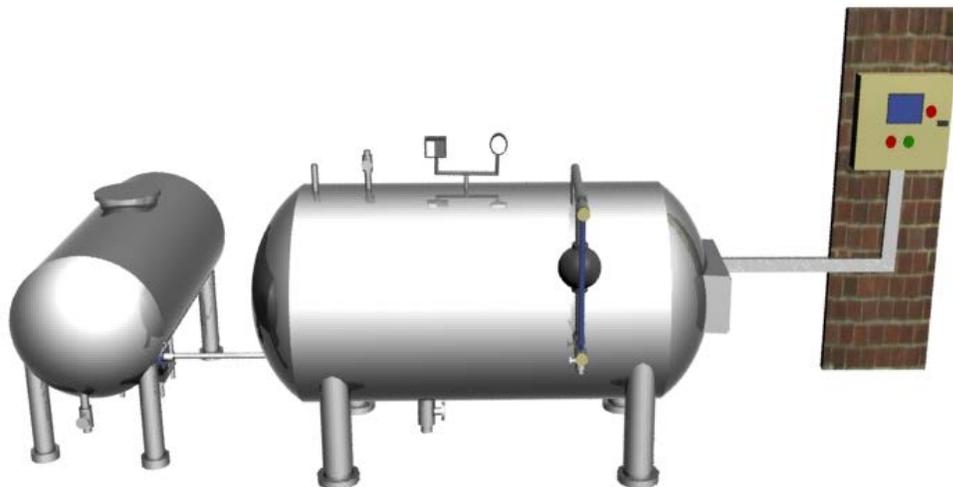
Figura. 3.19. Modelo 3D del Caldero.

Se tiene que tomar en cuenta que los diferentes componentes electrónicos del sistema estarán conectados en un tablero de control empotrado en la pared y alejado del caldero por motivos de diseño y seguridad. En la figura 3.20, se observara desde una perspectiva isométrica de lado opuesto los diferentes componentes.



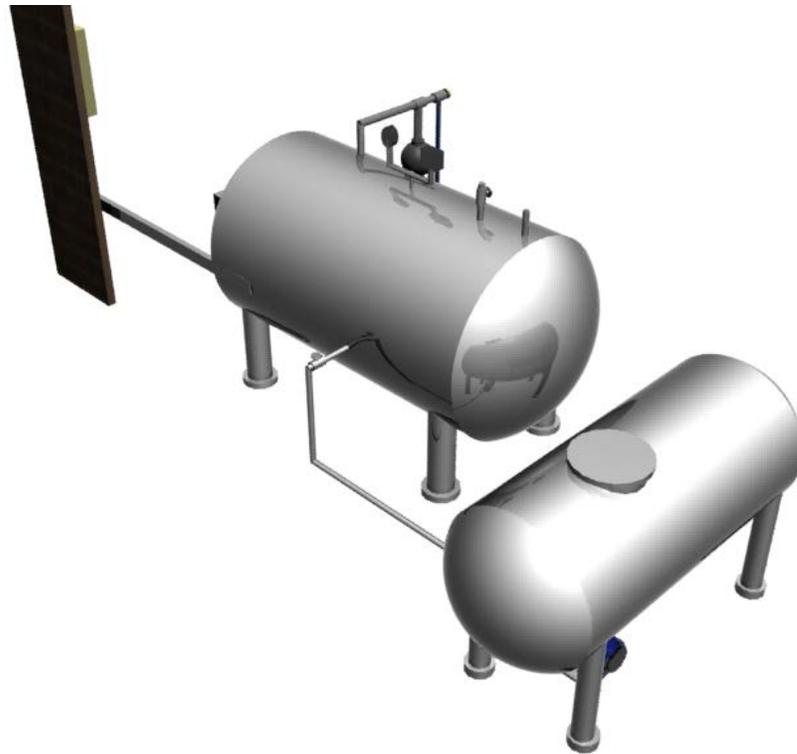
**Figura. 3.20. Caldero y Tablero control.**

A continuación en la figura 3.21 se puede ver de forma frontal al caldero.



**Figura. 3.21. Vista frontal Caldero.**

A continuación en la figura 3.22 se aprecia una vista posterior al caldero.



**Figura. 3.22. Vista posterior caldero.**

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DE SOFTWARE**

#### **4.1 DIAGRAMA DE FLUJO**

Una óptima programación se da cuando se tiene el total conocimiento del proceso a controlar, por lo cual a continuación se tiene el diagrama de flujo de operación.

En la figura 4.1 se muestra como es la manera en que se tiene que realizar la programación, en base a la secuencia del proceso. La misma que empieza con la activación del caldero, luego se tiene que realizar una etapa de comprobación del nivel de agua para saber si es el adecuado, si existe un faltante de agua se enciende a la bomba de agua para llevar a un nivel de agua establecido por el sensor de nivel. Luego se tiene que realizar una lectura de la presión actual del caldero, la misma que para este caso, si es menor a 70 PSI activa a las resistencias eléctricas con lo cual empieza la transferencia térmica gracias a la cual obtenemos vapor. Por último se tiene que verificar si la temperatura del pre calentador es la adecuada, por medio del sensor de temperatura, el cual activa a la resistencia eléctrica que está ubicada dentro del pre calentador hasta llegar a la temperatura establecida. No se tiene que olvidar que todo este proceso se encuentra en lazo cerrado, para garantizar su funcionamiento continuo.

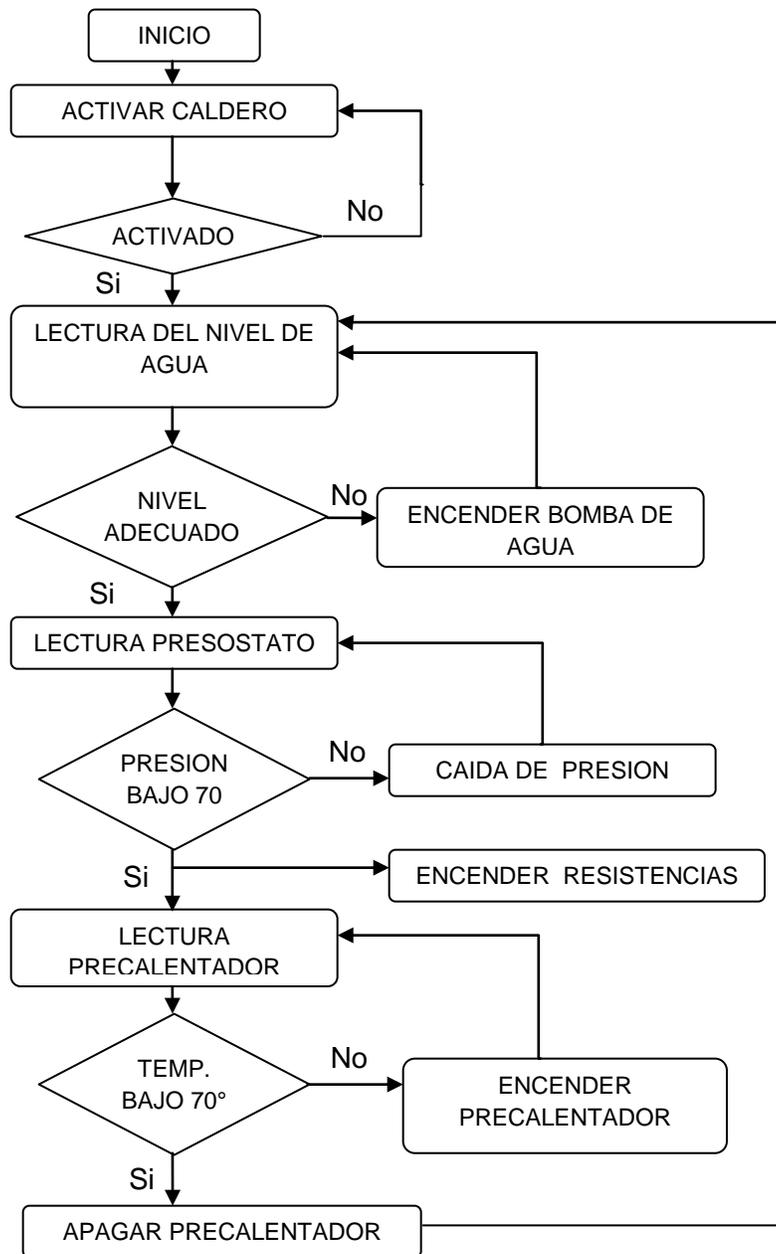


Figura. 4.1. Diagrama de Flujo

## 4.2 DISEÑO DEL PROGRAMA DEL PLC

El tipo de control utilizado para esta aplicación es un control on-off con un lazo de histéresis ya que por tratarse de presión, debe manejarse dentro de rangos establecidos y con un diferencial de 10 PSI, en el Anexo 4 se puede visualizar de mejor manera este tipo de programación de manera más detallada.

Para el diseño del programa del PLC el software que se utilizará es TIA (Total integrated automatization) Portal versión número 11, el mismo que es la plataforma para la línea de PLCs de Siemens, este programa soporta la línea Simatic S7-300; S7-400; S7-1200 y Simatic ET200 PLC, en lo referente a Paneles Simatic Touch soporta paneles HMI en versiones básicas monocromáticas y a color para pantallas de 3",4",6",10" y 15" de la línea KP300, KTP 400, KTP600 Y KTP 1000 y Sistemas PC entre los que soporta PC siemens generales, Simatic Box PC, Simatic Panel PC, Simatic Rack PC con las respectivas aplicaciones de usuario, las cuales permiten una total integración, administración y comunicación industrial de forma segura, el sistema de automatización y control del caldero consta de un PLC Siemens modelo CPU1214 AC/DC/RLY y un panel de visualización SIMATIC TOUCH KTP600 Basic color de 5,7", conectados mediante un controlador Router y una PC desde la cual se programara todas las instrucciones. En la tabla 4.1 se muestra el direccionamiento IP.

**Tabla. 4.1. Tabla de Direcciones IP para red PROFINET.**

DIRECCION IP : RED 192.168.0.X		
CPU PLC SIEMENS S7-1200 (CPU 1214)	MODULO HMI SIMATIC TOUCH PANEL	DISPOSITVO TERMINAL PC
IP:192.168.0.1 Mascara Red:255.255.255.0	IP: 192.168.0.7 Mascara Red: 255.255.255.0	IP: 192.168.0.X (No: .10) Mascara Red: 255.255.255.0
ROUTER TRENDNET: 192.168.0.10 (Es la dirección mediante la cual se ingresara vía http para poder configurar los parámetros de las redes LAN, WAN y configuraciones iniciales)		

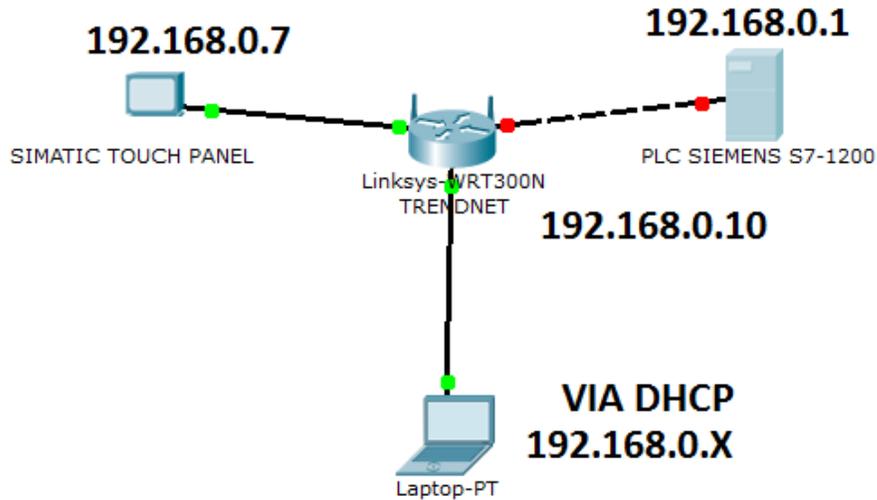


Figura. 4.2. Esquema de Red PROFINET PLC-TOUCH PANEL -PC

En la presente sección se describe como inicializar un proyecto de control en la plataforma TIA Portal.

- a) En la figura 4.3 se muestra las distintas opciones de configuración, se escoge la opción de dispositivos y redes para seleccionar el modelo del PLC y el modelo del Simatic Touch Panel

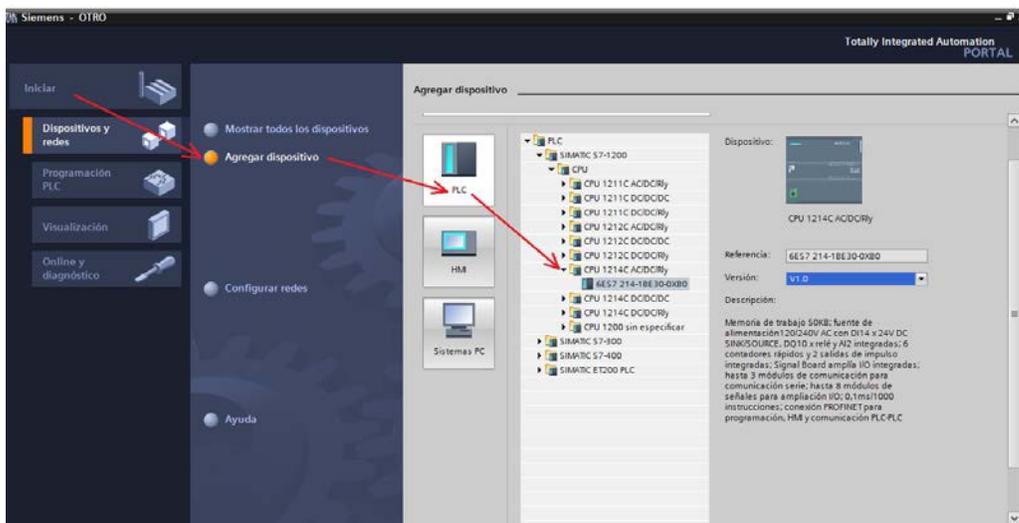


Figura. 4.3. Inicialización Nuevo Proyecto

Los modelos seleccionados para desarrollar el proyecto son los siguientes:

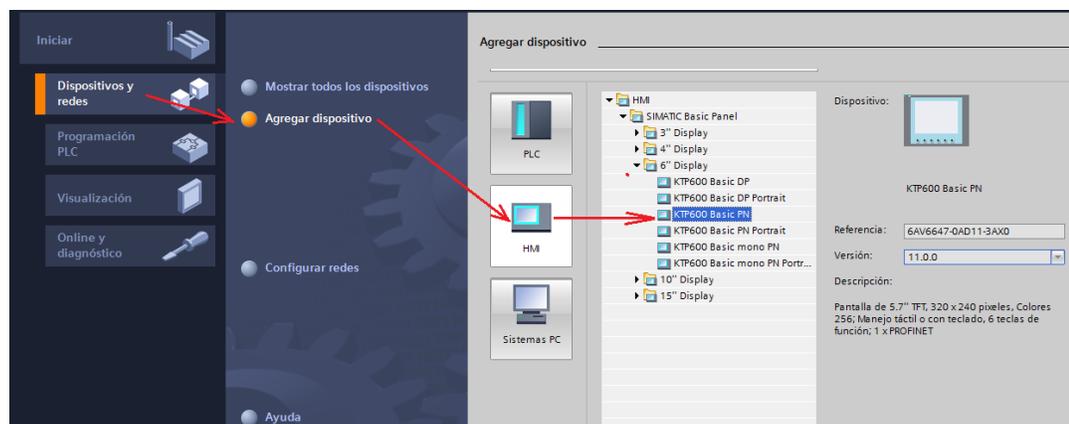
- PLC SIEMENS S7-1200 (CPU 1214 AC/DC/Rly)

Memoria de trabajo 50KB; fuente de alimentación 120/240V AC con DI14 x 24V DC SINK/SOURCE, DQ10 x relé y AI2 integradas; 6 contadores rápidos y 2 salidas de impulso integradas; Signal Board amplia I/O integradas; hasta 3 módulos de comunicación para comunicación serie; hasta 8 módulos de señales para ampliación I/O; conexión PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC

- SIMATIC TOUCH PANEL (KTP600 BASIC PN)

Pantalla de 5.7" TFT, 320 x 240 pixeles, Colores 256; Manejo táctil o con teclado, 6 teclas de función; 1 x PROFINET

Como se eligió el modelo del PLC de igual formar se debe proceder para escoger la versión y modelo de HMI. Como se muestra en la figura 4.4.



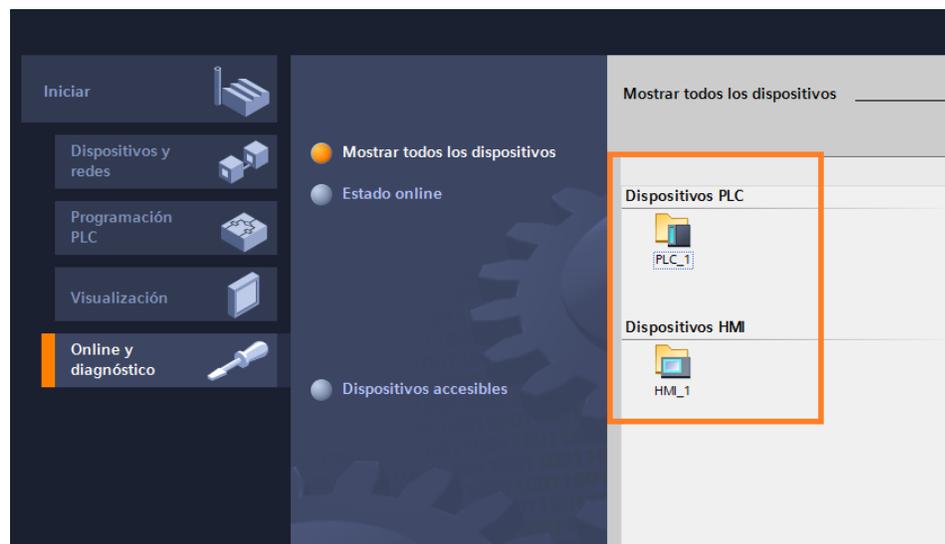
**Figura. 4.4. Selección Módulo HMI**

Los ítems presentados debajo de la opción de Dispositivos y Redes son: Programación PLC (este módulo permite agregar el bloque de datos y los bloques de funciones) el módulo, Visualización (Este módulo describe de forma grafica

características de detalle de cada uno de los slots presentes en la configuración actual de proyecto).

Al escoger la Pestana de Dispositivos Accesibles en la columna derecha se mostraran hasta el momento los dispositivos ya agregados en el proyecto (PLC, SIMATIC TOUCH) para empezar a programar cambiamos la opción VISTA de portal a Vista de Proyecto y se enlaza a cada uno de los componentes: PLC y Touch Panel a su tarjeta Ethernet para configurar las direcciones IP dentro de la misma red PROFINET.

La conectividad de módulos se muestra en la figura 4.5.



**Figura. 4.5. Selección Conectividad de Módulos**

Al ubicarse en la sección inferior izquierda del proyecto se encuentra la opción para seleccionar el cambio de vista de portal a vista de proyecto la cual constituye propiamente el área de trabajo donde se ejecuta las instrucciones del PLC y del panel TOUCH, como señala la figura 4.6.



Figura. 4.6. Cambio de Vista de Portal a Vista de Proyecto

Cuando se despliega la vista de Proyecto se tiene dos secciones, una columna izquierda donde se encuentran los dispositivos agregados y una vista detallada por componente de lo que se encuentra presente en el mismo, para este caso escogemos PLC\_1 (CPU 1214C AC/DC/RLy), al dar click en el ítem configuración y dispositivos a la derecha en la sección de área de trabajo, se despliega la vista física del dispositivo y al hacer click en la imagen en el puerto Ethernet se activara en la parte inferior la interfaz Ethernet del PLC, es ahí donde se configura la dirección IP del proyecto y la respectiva mascara de subred. Como se muestra en la figura 4.7.

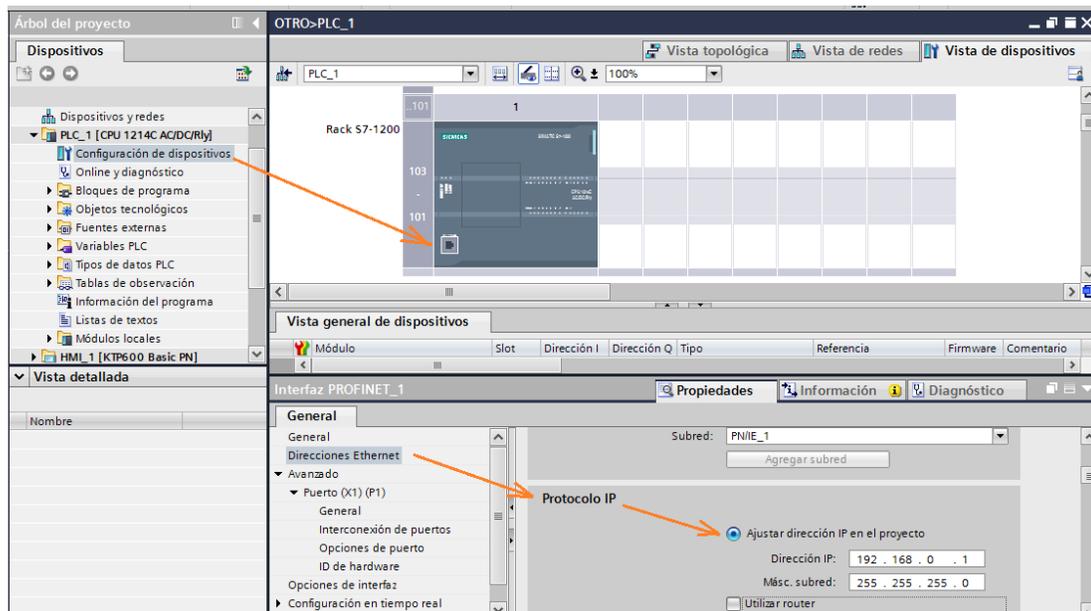
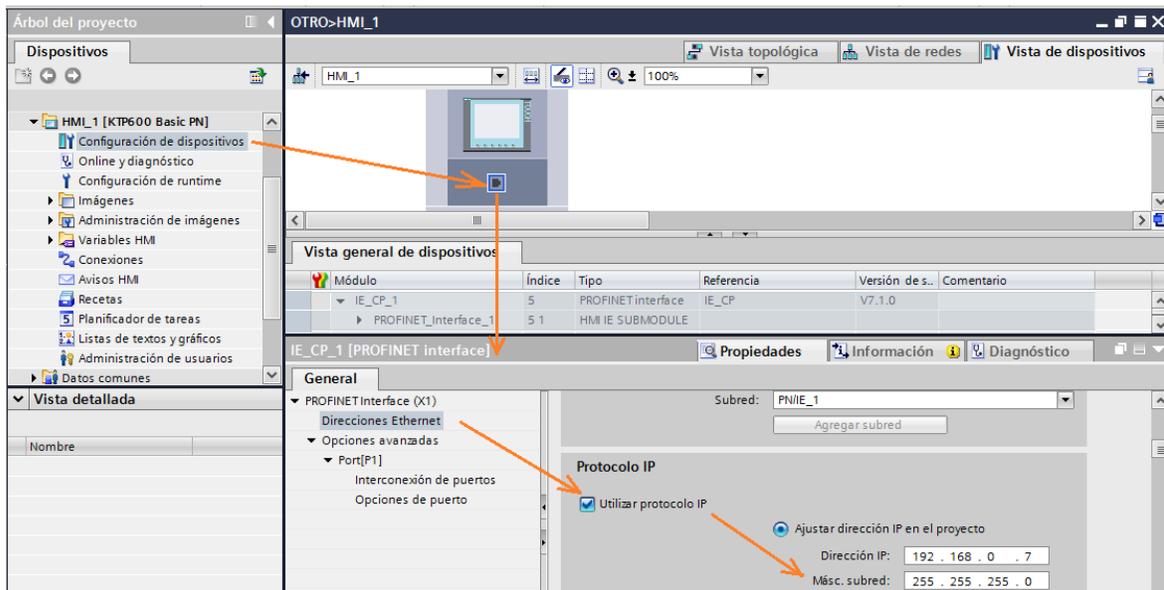


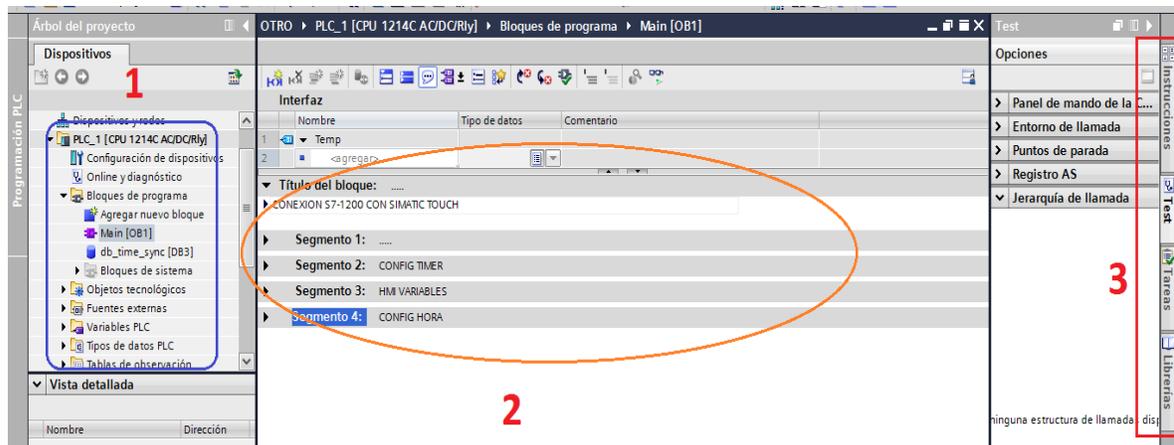
Figura 4.7 Asignación de Dirección IP del PLC.

Ubicados en la vista de Proyecto, en la columna izquierda donde se encuentran los dispositivos agregados, se procede a ubicar la HMI\_1(KTP600 Basic PN), dando click en la parte inferior en configuración de dispositivos a la derecha en la sección de área de trabajo se despliega la vista física del dispositivo y al hacer click en la imagen en el puerto Ethernet se activa en la parte inferior la interfaz Ethernet del SIMATIC Touch, es ahí donde se configura la dirección IP del proyecto y la respectiva mascara de la subred. Tal como se muestra en la figura 4.8.



**Figura. 4.8. Asignación de Dirección IP del Touch Panel**

Ya asignadas las direcciones IP de cada uno de los componentes se debe agregar los bloques de programación de el proyecto para el ejemplo se programa en lenguaje LADDER(Escalera), como primer paso en la columna izquierda (1) regresando al dispositivo PLC SIEMENS S7-1200 (CPU 1214 AC/DC/Rly). Tal como se muestra en la figura 4.9.



**Figura. 4.9. Inicialización de un Bloque Principal de Programación**

Se dará click en la opción Bloques de Programa es ahí donde se tiene cada una de las distintas opciones para agregar DB(Bloque de Datos), FB(Bloque de funciones), OB(Bloque de Organizaciones), para iniciar el proyecto se puede empezar a trabajar al presionar en la opción MAIN[OB] que es el punto de partida inicial que constituye el bloque del medio número (2), es ahí donde se agregara cada uno de los set de instrucciones Básicas, Avanzadas, Comunicación, Bloques, etc. Que servirán para ejecutar comparaciones, ejecutar contadores, temporizadores, configurar parámetros de bloques de entrada de hora, configurar bloques de entradas análogas en fin toda lo que respecta a la lógica de programación para el funcionamiento del caldero eléctrico.

### 4.3 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN

Como primera instancia se configurara parámetros de configuración de hora entre el PLC y el panel TOUCH el cual servirá para poder sincronizar la hora entre los dispositivos por que de manera general queda guardado con el tiempo de fabricación de los dispositivos mostrando fechas y horas erróneas. Tal como se muestra en la figura 4.10.

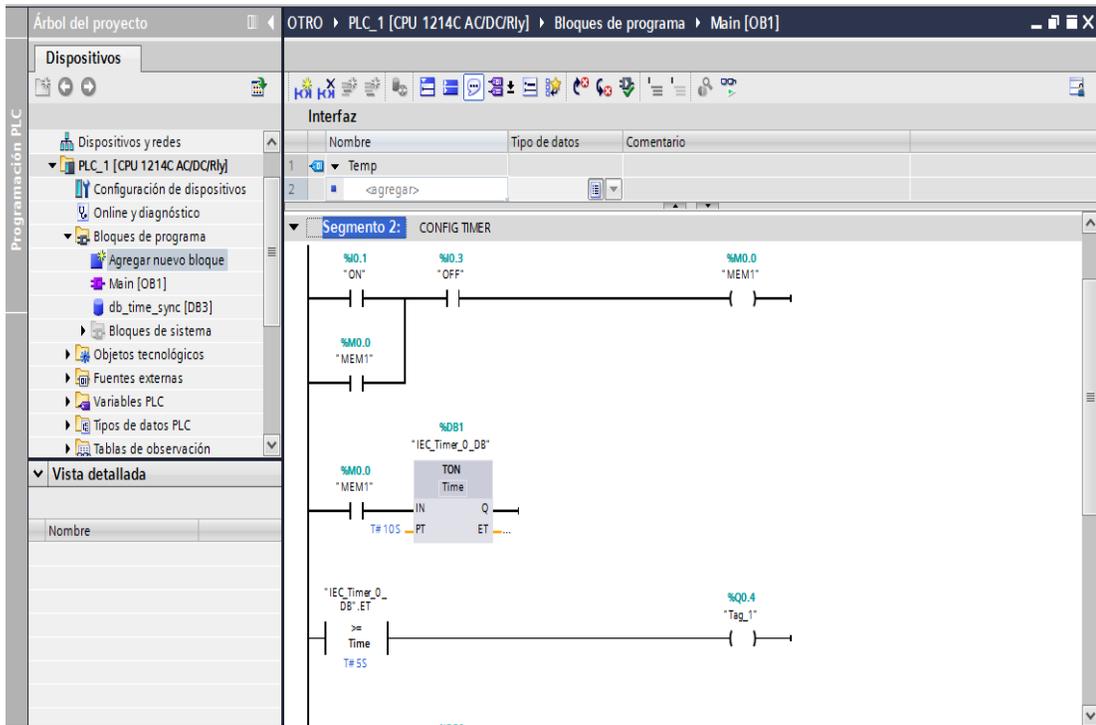


Figura. 4.10. Sincronización Hora PLC/TOUCH PANEL

Lectura de Datos Señal de entrada análoga. Tal como se muestra en la figura 4.11.

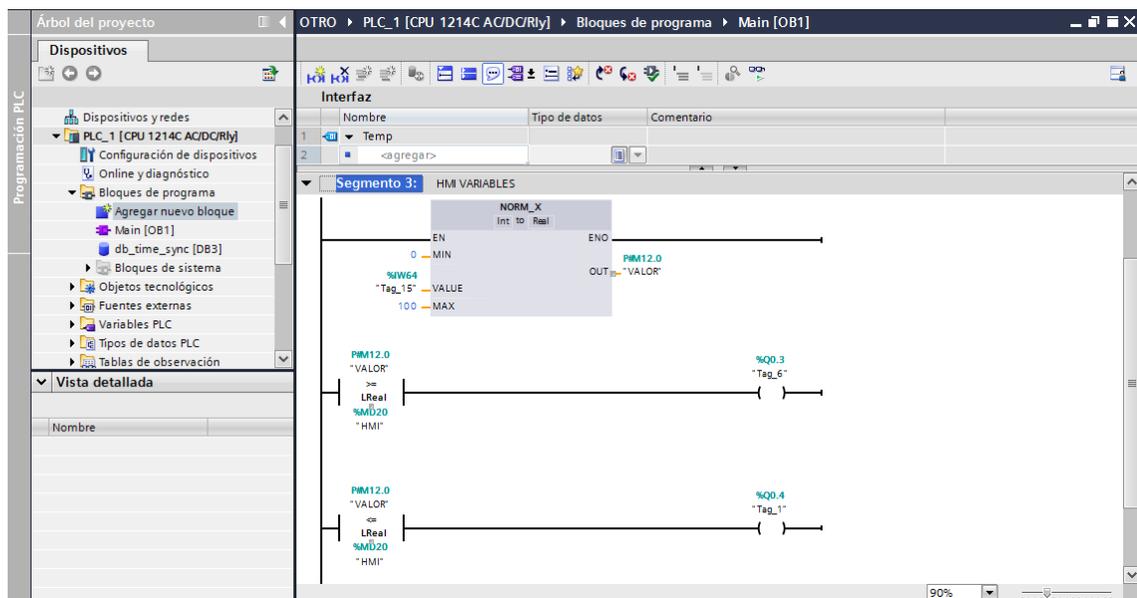


Figura. 4.11. Lectura de Datos de Entrada Análoga



elegir una de las opciones, y realizar la opción escogida. La ley de Hick se aplica al tercer paso. Hay que indicar que la ley de Hick se aplica en la toma de decisiones sencilla (habitualmente se asocia un evento con una posible acción correctiva).

La ley de Hick se expresa

$$RT = a + b * (\log_2(n)) \quad \text{Ecuación (4.0)}$$

Siendo:

- RT: tiempo de respuesta
- a: tiempo total que no está implicado en la toma de decisión
- b: constante empírica basada en el tiempo de procesado cognitivo para cada opción (0,155 s para los seres humanos)
- n: número de alternativas posibles

Por ejemplo, imaginemos que un operario tarda 2 s en detectar una alarma y reconocer su significado. Imaginemos también que al pulsar uno de los 5 botones se solucionará el problema. El tiempo en responder según la ley de Hick indica un cierto retardo, con lo que RT tiene un valor de 2,36 s.

$$RT = 2 + (0,155) * (\log_2(5)) = 2,36s \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

¿Cómo aplicar la ley de Hick en el diseño de sistemas? La ley de Hick puede aplicarse en el diseño de sistemas que impliquen decisiones basadas en diversas opciones. Si se diseñan tareas en las que el tiempo de respuesta ante eventos es decisivo, se recomienda minimizar el número de opciones implicadas. Cuando el diseño requiere interacciones complejas, la ley de Hick no puede aplicarse y es conveniente realizar estudios etnográficos con usuarios y situaciones reales. Sería el caso, por ejemplo, de la tarea de un controlador aéreo en el seguimiento de aviones, el cual ante una situación de alarma debe realizar tareas más elaboradas como la discusión del caso con los compañeros de la sala de control, y la consulta de los

procedimientos a seguir en caso de emergencia (en forma de menú de ayuda en pantalla, o bien mediante manual de consulta).

Un detalle que conviene resaltar es la presencia de presión temporal en la decisión. Si a ello se añade que el operario maneja un sistema complejo, la presencia de error humano ante un gran número de alternativas a escoger puede ser elevada, de ahí que la reducción del número de opciones por parte del diseñador es una idea a considerar.

#### **4.5 DISEÑO HMI**

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Maquina. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una ventana de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI o de monitoreo y control de supervisión. Se habla de dos tipos de HMI principalmente; los desarrollos a medida y paquetes enlatados HMI.

Tienen herramientas para crear bases de datos dinámicas. Permiten crear y animar pantallas en forma sencilla. Incluyen gran cantidad de librerías de objetos para representar dispositivos de uso en la industria como: motores, tanques, indicadores, interruptores, etc.

El panel más sencillo es el más fácil de utilizar, y la idea principal es que su manejo no requiera entrenamiento del operario. Por lo tanto en el diseño de la interfaz hombre maquina se usara solamente lo estrictamente necesario para una total visualización del proceso. En la figura 4.12 se tiene la ventana de programación grafica del panel táctil (KTP 600). Se puede apreciar a la derecha la barra de herramientas que contiene todos los objetos básicos como líneas, rectángulos, texto y gráficos. En la mitad todos los indicadores y elementos de control como son los botones, barras cilíndricas, interruptores e indicadores de fecha. Además controles de proceso como son los históricos y el control de accesos de usuarios.

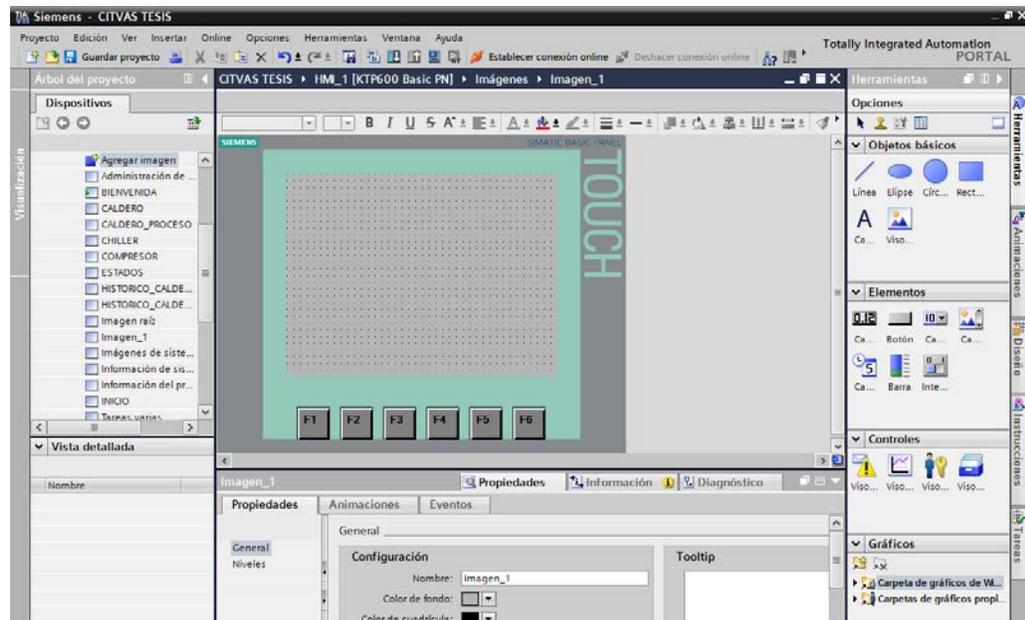


Figura. 4.12. Pantalla diseño HMI.

El modo de programación gráfico resulta muy útil ya que solo se tiene que seleccionar el elemento requerido y ubicarlo en el sitio estratégico dentro del panel, y luego de ubicarlo, se puede modificar sus propiedades en la barra inferior, además si necesitamos animar o programar un evento solo se tiene que cambiar de pestaña en la barra de propiedades del elemento. En la figura 4.13 se tiene un ejemplo de la utilización del cuadro de texto y de la selección de un botón.

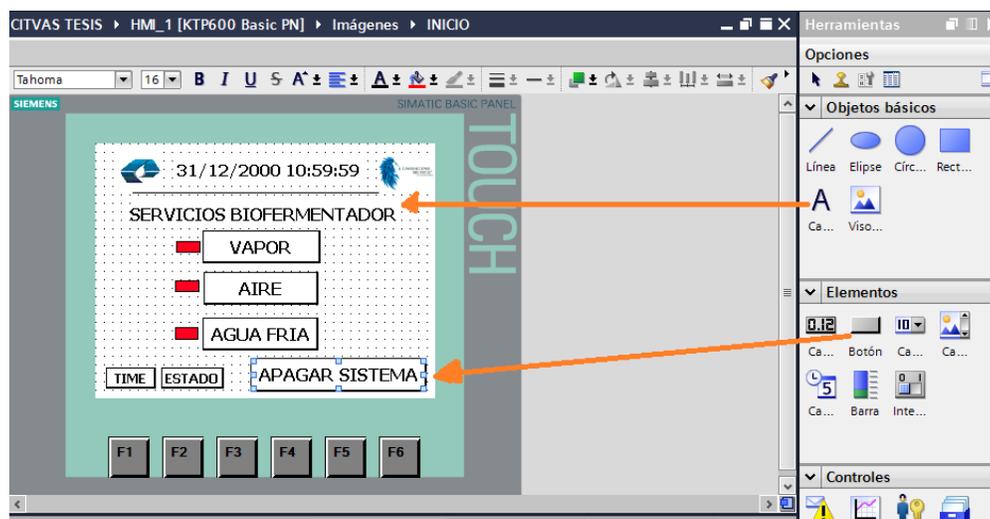


Figura. 4.13. Diseño HMI.

En la figura 4.14 se continua con el ejemplo de la ubicación de elementos, y en este caso se ubica en la parte superior la fecha y hora del sistema y además de dos imágenes, un rectángulo que nos indica el estado del servicio, siendo este de color rojo cuando esta desactivado y de color verde cuando el proceso esta activado.

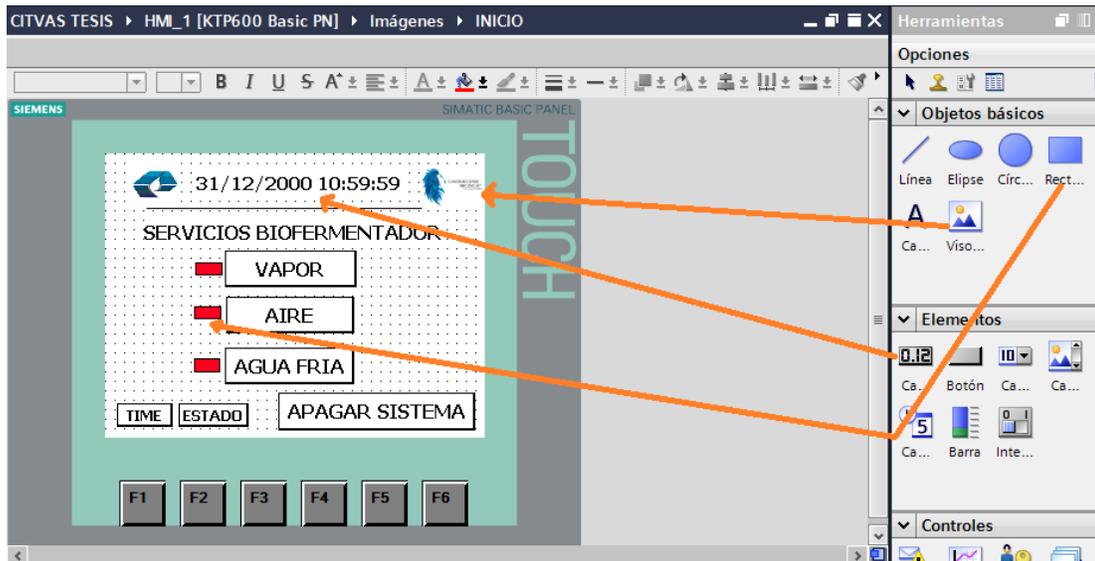


Figura. 4.14. Diseño HMI.

De este modo se inicia con una ventana de bienvenida, como muestra la figura 4.15.

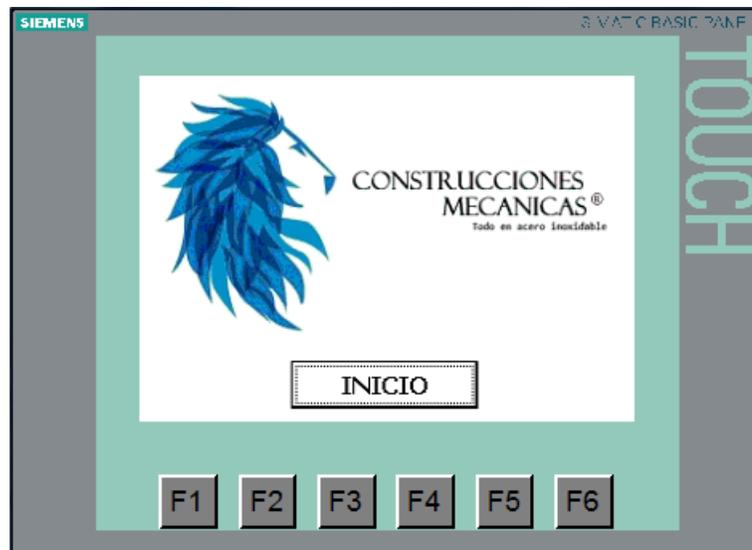


Figura. 4.15. Ventana de bienvenida.

Luego de presionar el botón de inicio en la primera ventana, aparecerá la ventana principal, tal como se muestra en la figura 4.16, en la cual existen cinco botones, tres describen al tipo de servicio y su estado, y en la parte inferior tres opciones principales, siendo estas:

- la configuración del reloj
- el estado del sistema
- el botón de apagado del sistema.

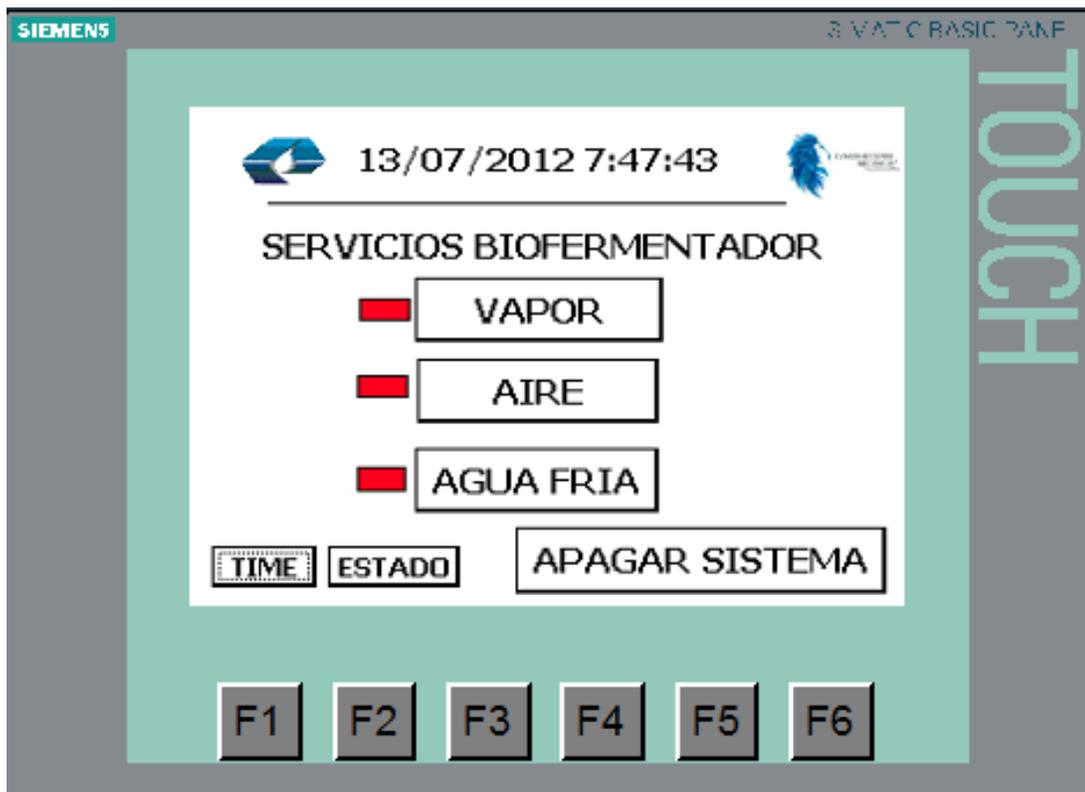


Figura. 4.16. Pantalla inicio.

Al presionar en la opción de vapor aparecerá la ventana de activación del caldero, como se muestra en la figura 4.17, en esta ventana tenemos cuatro botones y un indicador de estado que cuando esta de color rojo indica que esta desactivado, y de color verde indica que esta activado. Al presionar sobre el botón encender, se activa al proceso de generación de vapor, y con el botón apagar se desactiva el mismo.



Figura. 4.17. Pantalla CALDERO.

Al presionar sobre el botón proceso aparecerá la ventana que nos indica el estado de cada uno de los componentes del caldero, tal como se muestra en la figura 4.18, en la cual se tiene un indicador de estado del encendido del caldero, uno del estado del presos-tato, uno del encendido de las resistencias industriales, uno del sensor de nivel de agua del caldero, uno del encendido de la bomba de agua y un indicador del encendido del tanque de precalentamiento de agua. Con el botón regresar, aparece nuevamente la ventana del caldero.



Figura. 4.18. Pantalla de las variables del CALDERO.

Al presionar en el botón aire en la ventana principal, aparecerá la ventana de control del compresor y del secador de aire, con sus respectivas opciones de encendido y apagado, tal como se muestra en la figura 4.19.

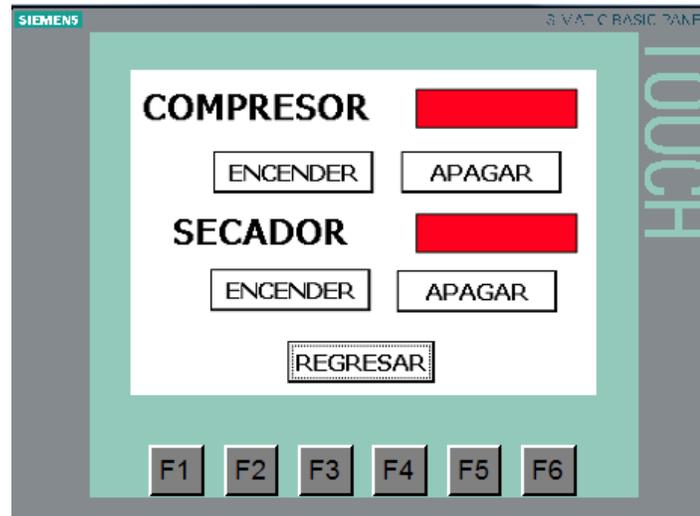


Figura 4.19. Pantalla compresor y secador de aire.

Al presionar en el botón agua fría en la ventana principal, aparecerá la ventana de control del sistema de frío y de la bomba de agua, con sus respectivas opciones de encendido y apagado, tal como se muestra en la figura 4.20.

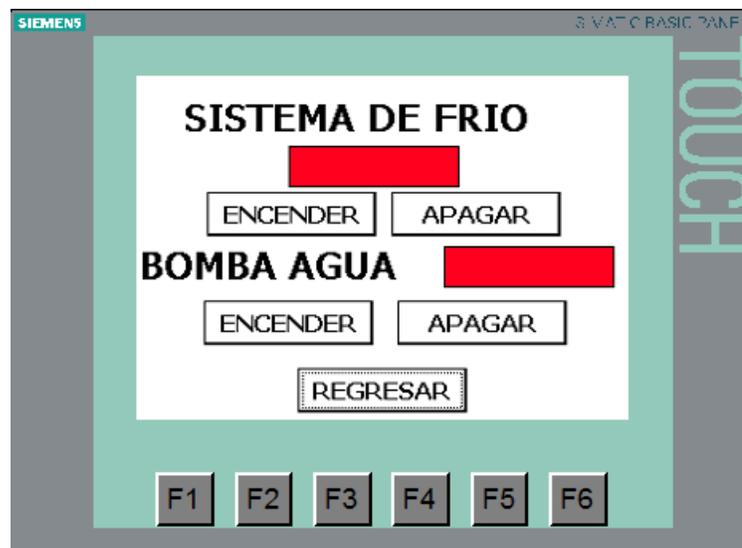


Figura 4.20. Sistema de frío.

Al presionar en el botón estado en la ventana principal, aparecerá la ventana que indica el estado de cada uno de los elementos de sistema, siendo cuatro los principales servicios y además cuatro elementos de vital importancia del proceso, tal como se muestra en la figura 4.21.

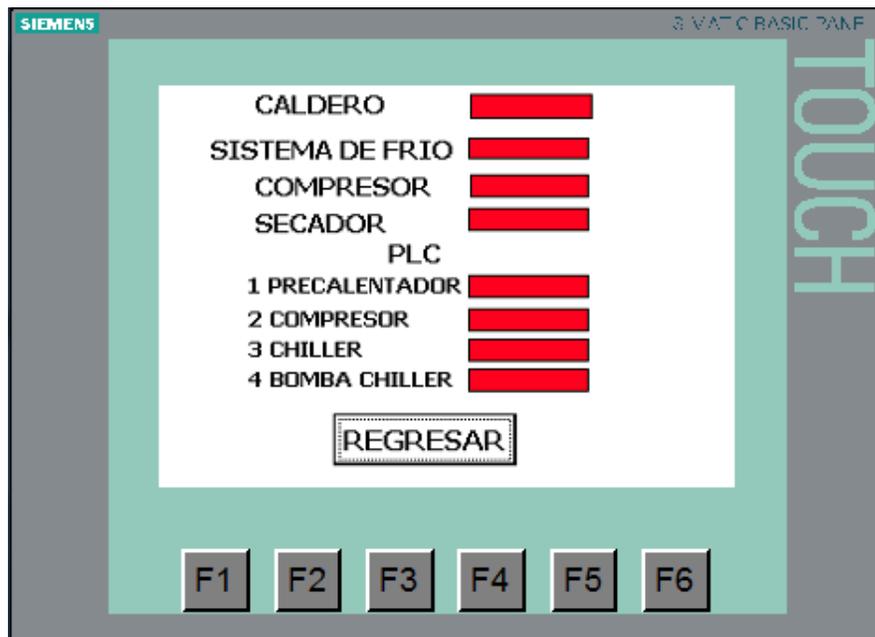


Figura. 4.21. Pantalla de las variables del sistema.

## **CAPÍTULO V**

### **IMPLEMENTACIÓN**

#### **5.1. INSTALACIÓN DE COMPONENTES**

El primer paso en la instalación de los diferentes componentes que componen el sistema, es el obtener una fuente de suministro eléctrico lo más estable y confiable posible con la siguiente descripción: 120/208 VAC Y 4 H 3 $\Phi$ .

Que significa que el voltaje de alimentación por línea tenga 120 voltios en corriente alterna entre fase y neutro, 208 voltios entre fase y fase, con cuatro hilos en total (tres fases más neutro), sistema trifásico en Y. Esta conexión se encuentra en la mayoría de las pequeñas industrias. La mayor parte de la generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica se efectúa por medio de sistemas polifásicos; por razones económicas y operativas los sistemas trifásicos son los más difundidos.

Una fuente trifásica de tensión está constituida por tres fuentes monofásicas de igual

Valor eficaz pero desfasadas  $120^\circ$  entre ellas. La siguiente figura 5.1 ilustra lo expuesto.

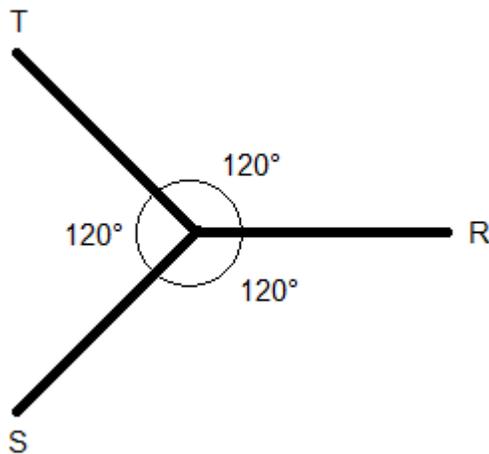


Figura. 5.1. Fuente trifásica con desfase de  $120^\circ$ .

En la figura 5.2 se muestra un diagrama de bloques que trata sobre el consumo de energía de cada uno de los componentes del sistema.

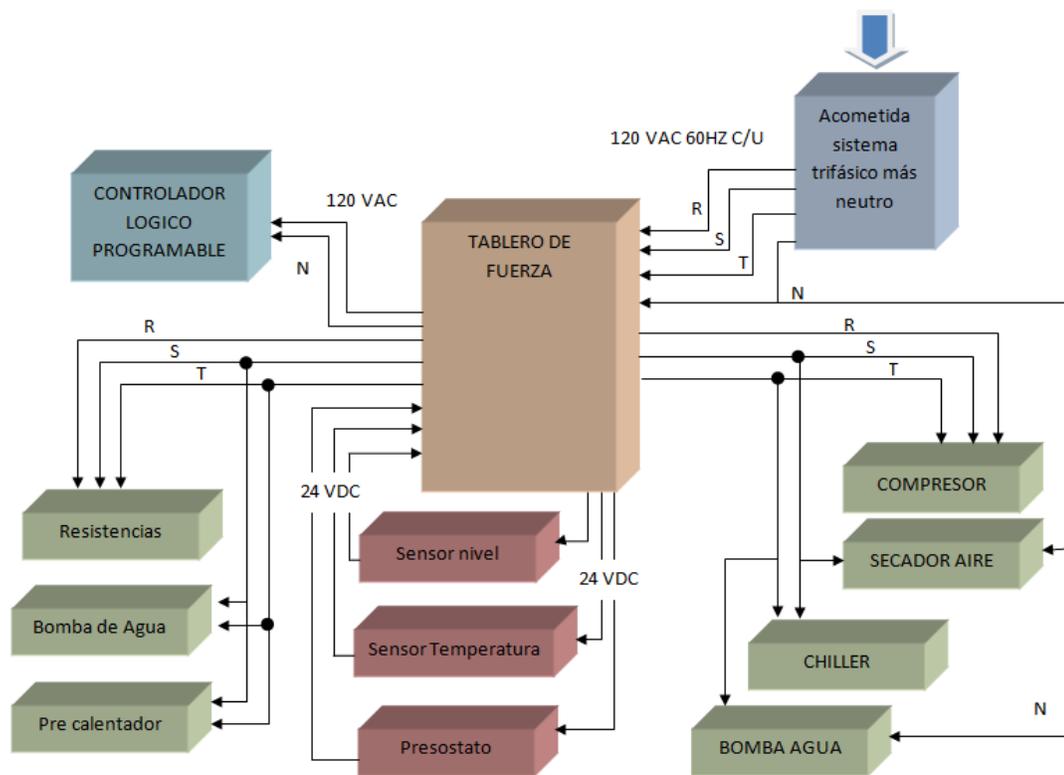


Figura. 5.2. Diagrama de Bloques del consumo energético.

Con la acometida trifásica instalada y lista para se procede a la instalación del caldero en su sitio. Sin olvidar que un sistema de generación de vapor en este caso el caldero tiene además elementos complementarios que abastecen a los servicios básicos, los cuales son:

- Sistema de ablandamiento de agua para abastecimiento de las calderas.
- Tanque de condensado.
- Bomba de alimentación de agua.

La siguiente figura 5.3 ilustra al caldero ya instalado con sus respectivos servicios básicos y sus líneas de salida de vapor.



**Figura 5.3. Caldero y sistema de distribución.**

Luego de la instalación del caldero con todos sus respectivos componentes, se instala el tablero eléctrico de fuerza, en el cual se encuentra el Plc y todos los elementos de control del caldero. La siguiente figura 5.4 ilustra lo expuesto.



**Figura 5.4. Caldero y Tablero de fuerza.**

El tablero de control y fuerza consta de cuatro partes, la primera en la parte superior consta de un amperímetro y de tres luces piloto que identifican a cada una de las líneas del sistema trifásico, la segunda parte consta del switch de encendido del sistema con su respectivo botón de paro de emergencia, la tercera parte consta de cuatro luces piloto, que identifican al estado de cada componente y un indicador de la temperatura en la línea de agua, el sensor está ubicado a la salida del chiller o sistema de frío. La última parte consta de pulsadores para el manejo manual del sistema. La siguiente figura 5.5 ilustra lo expuesto.



**Figura. 5.5. Tablero de fuerza.**

En la parte interior del tablero de control tenemos todos los componentes de protección eléctrica, mencionados en anteriores capítulos, se empieza con la conexión de la acometida hacia el breaker de 100 amperios, desde el cual se subdivide en tres partes, la primera es una conexión trifásica directa hacia el bio-fermentador, la segunda es una conexión de una sola línea y tierra empleada para el

Plc y la fuente de alimentación de 24VDC, y la ultima parte es la conexión trifásica hacia cada uno de los contactores. Tal como se muestra en la figura 5.6.



**Figura. 5.6. Interior del Tablero de fuerza.**

La siguiente figura 5.7 muestra al bio-fermentador en proceso activo. Consumiendo todos los servicios tales como vapor, aire seco y agua fría.



Figura. 5.7. Bio-Fermentador marca Solaris.

## 5.2. PUESTA EN MARCHA

Con todos los componentes del sistema ya instalados, se procede a energizar el sistema desde el tablero de fuerza, ya que este a su vez energiza al tablero de control remoto ubicado en el laboratorio de bio-aumentación. En el tablero de control es donde se puede activar a cada uno de los servicios, cabe recalcar que el caldero tiene la más alta prioridad ya que al tener una secuencia de operación, tiene un grado relativamente más alto de programación, por lo que es el primero en la secuencia de activación. En la figura 5.8 se muestra la pantalla de inicio del sistema, la misma que consta de cuatro partes, la primera es la cabecera con el respectivo logotipo de EP Petroecuador, seguido de la hora actual del sistema y a la derecha contiene el logotipo de la empresa Construcciones Mecánicas. En la segunda parte contiene el título que resume el proyecto. La tercera parte es el botón de acceso a cada uno de los diferentes servicios (vapor, aire seco y agua fría). Y la última parte,

ubicada en la parte inferior, consta de un botón de configuración del reloj, un botón que indica el estado de todas las variables del sistema y un botón de apagado del sistema.



Figura. 5.8. Pantalla de inicio.

En la figura 5.9 se muestra la pantalla de estado de las variables del caldero.



Figura. 5.9. Pantalla de las variables del sistema.

En la figura 5.10 se muestra la presión del caldero a 40 PSI luego de dos horas de consumo continuo de vapor.



**Figura. 5.10. Presión de trabajo del caldero.**

## **CAPÍTULO VI**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

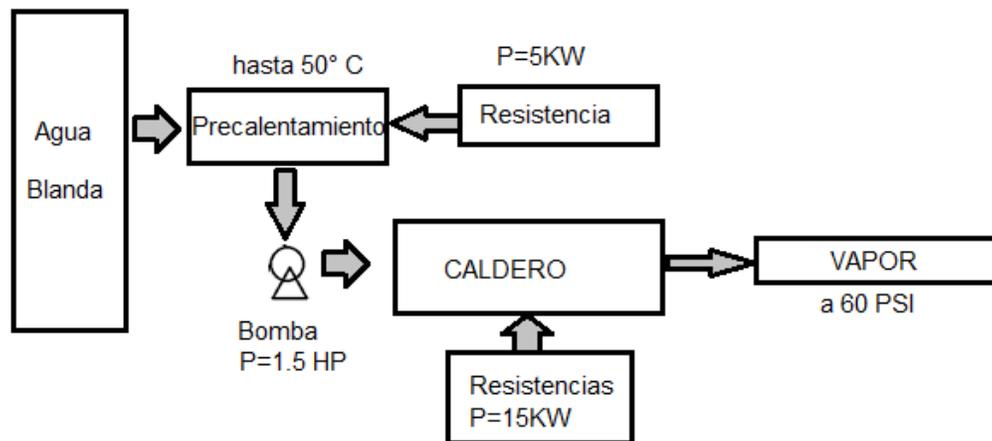
#### **6.1. PRUEBAS**

Las pruebas del caldero no solo se refieren a la producción de vapor, sino que toma en cuenta también los consumos de energía y la óptima programación en base a la secuencia del proceso.

Por lo tanto se empieza con el sistema de pre-calentado del agua, cuyo objetivo específico es permitir el ingreso de agua blanda al caldero eléctrico en una temperatura promedio a los 50°C, de esta forma evitar el ingreso de agua fría de forma directa al caldero evitando varios problemas como el choque térmico que se puede producir en el interior del caldero, además esto permite un ahorro del consumo eléctrico pues al ingresar el agua a una temperatura superior a la promedio no se necesitara un consumo de energía eléctrica extra para obtener vapor y generar las presiones deseadas.

#### **6.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA PRUEBAS PRELIMINARES**

La figura 6.1 ilustra un diagrama de flujo que señala el método de las pruebas realizadas.



**Figura. 6.1. Arquitectura de pruebas del caldero.**

Cabe recalcar que al momento de realizar las pruebas del sistema, se tiene que verificar elemento por elemento el correcto funcionamiento, y además, verificar la óptima respuesta de los sensores de temperatura y presión. En cuanto a las resistencias solo se verifica el consumo de energía, el mismo que se lo realiza mediante una medición en uno de los cables de alimentación con la pinza amperimétrica de preferencia en una escala alta. El amperaje debe estar entre los 20 a 24 amperios, dependiendo de la red eléctrica.

En el momento de ingresar los volúmenes de agua, las mediciones respectivas indicaron una temperatura del agua de 15°C mediante un termómetro, lo cual indica que para llegar a los 50°C, que es la temperatura óptima del agua para ingresar a la cámara del caldero, se tiene que precalentar aproximadamente 7 minutos con 30 segundos, según las pruebas realizadas en la ciudad de Quito, ya que el punto de ebullición del agua depende de la altura actual con respecto al mar.

En la tabla 6.1 se ilustra los detalles de la prueba del pre-calentador.

Tabla. 6.1 Prueba Pre calentador.

<b>- MEDIDAS PRECALENTADOR</b>		
<b>INGRESO PRIMER VOLUMEN DE AGUA</b>		
A	- 18h55 PM	- 15°C
B	- 19h15 PM	- 28°C
C	- 19h20 PM	- 29°C
D	- 19H30 PM	- 32°C
19H32PM	- <i>ENCENDIDO BOMBA DE AGUA INGRESO DE PRIMER VOLUMEN DE AGUA (79,34 litros) AL CALDERO ELECTRICO</i>	
<b>INGRESO SEGUNDO VOLUMEN DE AGUA</b>		
E	- 19h40 PM	- 15°C
F	- 19H45 PM	- 25°C
G	- 20H05PM	- 35°C
20H10 PM	- <i>ENCENDIDO BOMBA DE AGUA INGRESO DE SEGUNDO VOLUMEN DE AGUA (79,34 litros) AL CALDERO ELECTRICO</i>	
<b>INGRESO TERCER VOLUMEN DE AGUA</b>		
H	- 20H10 PM	- 15°C
I	- 20H20 PM	- 20°C
J	- 20H30 PM	- 26°C
K	- 20H35 PM	- 30°C
20H35 PM	- <i>ENCENDIDO BOMBA DE AGUA INGRESO DE TERCER VOLUMEN DE AGUA (79,34 litros) AL CALDERO ELECTRICO</i>	
20H35PM	- <b>ENCENDIDO CALDERO ELECTRICO</b>	

En la presente grafica se ha tomado valores de tiempo y temperatura alcanzada en la primera carga ya que es en el cual el sistema al iniciar demorara un cierto

intervalo más de tiempo y para la cual se debe considerar los números obtenidos. Tal como se muestra en la figura 6.2.

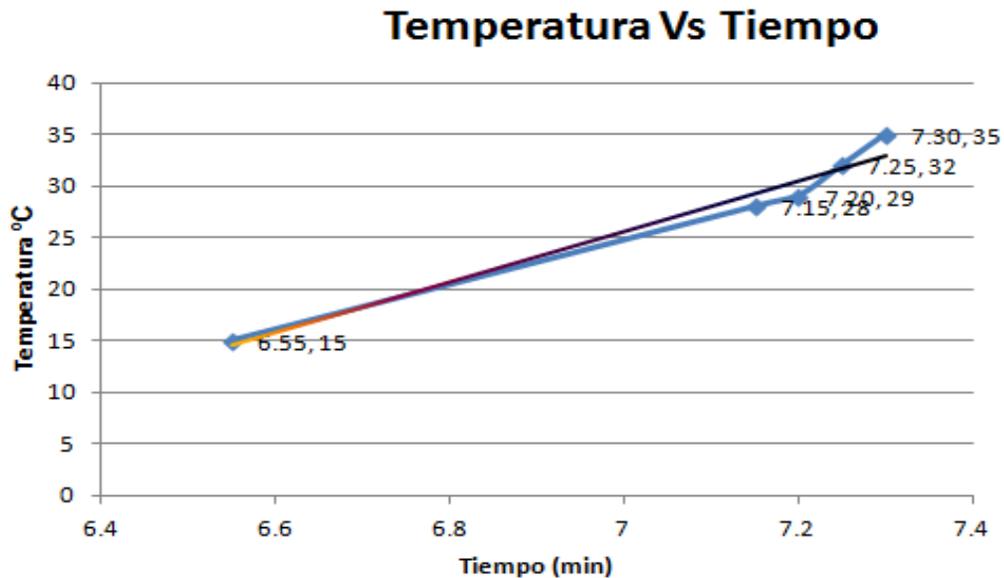


Figura. 6.2. Temperatura vs Tiempo del pre-calentador.

## 6.2. RESULTADOS

El éxito del proyecto empieza con el desmineralizador de agua el cual tiene la capacidad de distribuir al sistema agua blanda con solamente 2 ppm, a diferencia del agua potable del sector, la misma que esta cercana a los 54 ppm. Con este tipo de agua (con la total semejanza al agua destilada) se puede garantizar una constante vida activa de los equipos.

A continuacion en la figura 6.3 se muestra el sistema de desmineralizacion del agua.



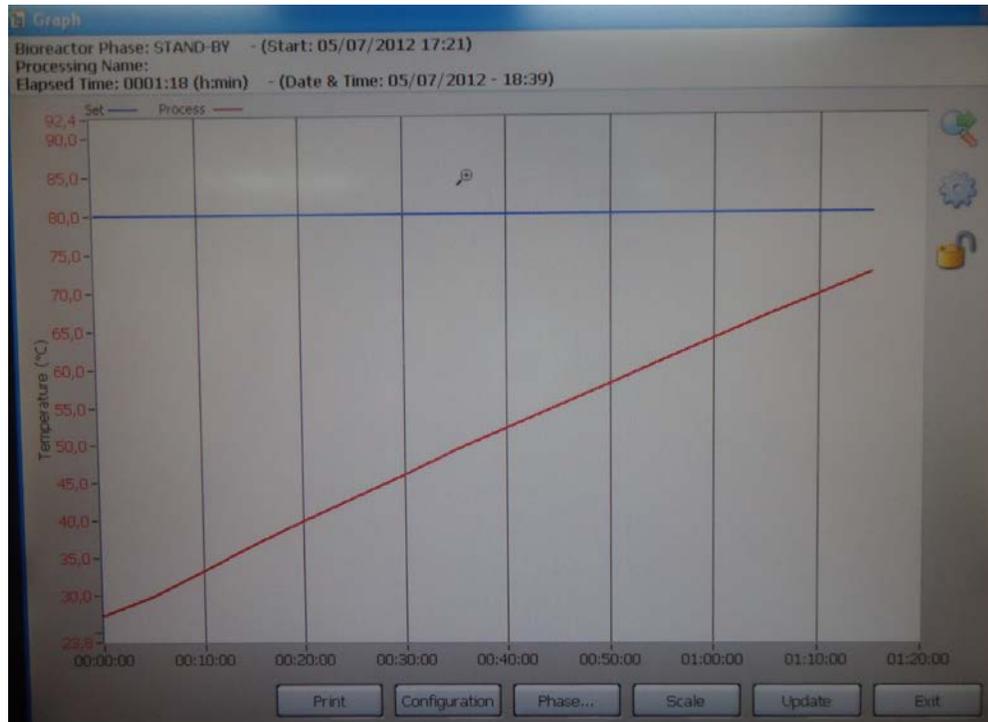
**Figura. 6.3. Desmineralizador.**

La producción de vapor por parte del caldero se la ve reflejada directamente en las valvulas reguladoras de presión. Y el constante uso se lo ve reflejado en la pantalla del bio-fermentador, en donde se puede ver que el vapor consumido es utilizado para un proceso de esterilización, es decir, la cámara del bio-reactor tiene que llegar hasta una temperatura de  $120^{\circ}\text{C}$  y a continuación bajar alrededor de  $40^{\circ}\text{C}$  por medio del sistema de frío. A continuación en la figura 6.4 se muestra la presión de los manómetros conectados a la salida del distribuidor del caldero.



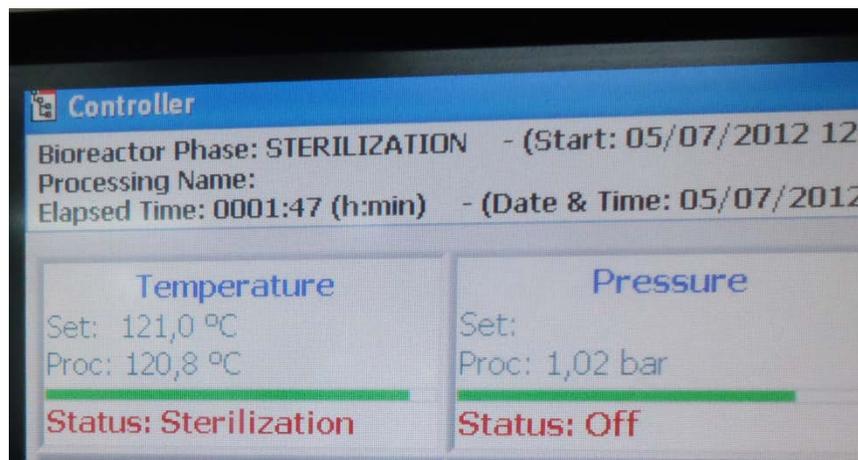
**Figura. 6.4. Manómetros Caldero.**

El trabajo del caldero se ve reflejado en la siguiente figura 6.5 la cual muestra la temperatura (línea de color azul) configurada en 80° C y la temperatura ganada gracias al vapor (línea de color rojo), y como se observa, el tiempo transcurrido para este efecto es de una hora con veinte minutos.



**Figura. 6.5. Temperatura del Reactor por medio del vapor del Caldero.**

A continuación en la figura 6.6 se muestra la temperatura final obtenida y la presión actual de trabajo.



**Figura. 6.6. Temperatura y presión del Reactor.**

A continuación en la figura 6.7 se muestra la pantalla de inicio del Bio-fermentador. En la cual se observan y se manejan todos los componentes de este equipo.

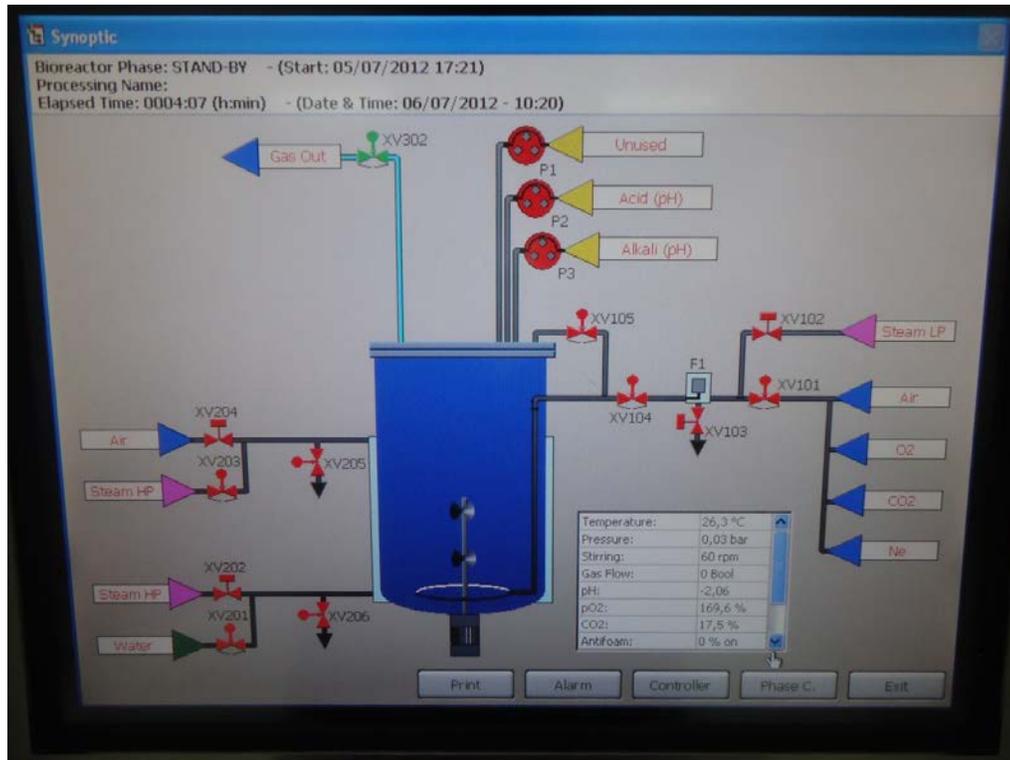


Figura 6.7 HMI del Bio-Fermentador.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1. CONCLUSIONES**

- Se logro realizar un sistema remoto de monitorización y control del suministro de vapor saturado para el normal funcionamiento de un Bio-fermentador industrial bajo los requerimientos deseados, además del accionamiento de un compresor y de un chiller (sistema de frio).
- Se evaluó el desempeño del sistema y se logro realizar en línea (sin parar el proceso) los cambios de programación requeridos para la óptima operación del Bio-Fermentador.
- Se logro realizar una secuencia de activación de las resistencias del caldero que hacen que la mayor parte de la energía calórica se transfiera al medio líquido, logrando así una eficiencia energética que satisface la inversión técnica y económica del proyecto.

- Se logro implementar un sistema de monitoreo y control remoto de fácil acceso y de muy intuitivo manejo, sin que el operador tenga conocimientos previos acerca del proceso de generación del vapor.

- Se logro generar vapor a alta presión bajo normas de seguridad para un proceso biológico industrial.

## 7.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el dimensionamiento de los dispositivos de protección deben ser un 20% más a lo habitual, según la corriente nominal y de igual forma calcular los relés térmicos de los contactores de acuerdo a las cargas que van a manejar.

- Se recomienda tener mucha precaución al momento de realizar las pruebas del caldero ya que se manejan temperaturas y corrientes altas, lo cual tiene su alto grado de riesgo de accidentes involuntarios.

- Se recomienda realizar las respectivas pruebas de potencia con la finalidad de confirmar la respuesta de los elementos de seguridad.

- Es necesario tener en cuenta que al trabajar en un sistema trifásico y al activar mediante distintas condiciones y secuencias de tiempo distintos tipos de cargas ya sea resistivas (elementos calefactores como resistencias eléctricas) y cada una de distintas potencias, de igual forma elementos inductivos como motores, bombas, etc. es indispensable realizar un balance de carga en las líneas del sistema para evitar bruscas variaciones e alteraciones en el normal desempeño del sistema al verse alteradas por picos de corriente y voltaje generados por estos factores.

- La acometida eléctrica del sistema por condiciones físicas debe ser lo más cercano al sistema apegados a las normas procurando continuidad de servicio y calidad de energía, esto es para evitar caídas de voltaje y tener referencias de tierra reales que permita trabajar de forma segura, ya que los servicios que generan un sistema alimentan a distintos subprocesos que son muy sensibles a estas variaciones eléctricas.

- .• Siempre tener en cuenta la norma IEC 60204-1 que establece códigos y colores para luces piloto e indicadores del funcionamiento de un sistema, de igual forma en la distribución de los elementos y dispositivos eléctricos de baja tensión (Interruptores, luces piloto, equipos de medición), y de elementos que realizan fuerza (contactores, seccionadores, disyuntores, etc).

## BIBLIOGRAFÍA

- SHIELD CARL, Calderas: Tipos, Características y sus funciones, 1era edición, Editorial Continental, Madrid España, 1997.
- KOHAN, AL, Manual de Calderas, McGraw-Hill, Madrid, 2000.
- HONEYWELL C. A. , Calderas I “ Controles para Calderas “ , Centro de Entrenamiento , valencia / España , 1980.
- INCROPERA FRANK P. , Fundamentos de transferencia de Calor , Cuarta Edición , Editorial Prentice – Hall , México 1999.
- [1]<http://www.elmercurio.com.ec/223068-centro-de-investigaciones-de-petroecuador-sera-inaugurado-en-diciembre.html> Centro de Investigaciones Tecnológicas.
- [2] <http://www.sistemascalefaccion.com/calderas/industriales.html> Calderos.
- [3] <http://www.scribd.com/doc/56698312/Anonimo-Historia-de-Los-Inventos-V1-0> Historia de los Calderos.
- [4][http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/1\\_anio/quimigeral/Pto.\\_de\\_Ebullicion5.pdf](http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/1_anio/quimigeral/Pto._de_Ebullicion5.pdf) Propiedades Termodinámicas del Agua.
- [5] <http://www.scribd.com/doc/17302256/DISENO-DE-CALDERAS> Diseño de Calderas

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Maquina de Savery.....	<b>7</b>
<b>Figura. 2.2.</b> Diagrama primeras calderas industriales.....	<b>8</b>
<b>Figura. 2.3.</b> Interior del caldero.....	<b>10</b>
<b>Figura. 2.4.</b> Laboratorio de implementación del caldero.....	<b>13</b>
<b>Figura. 2.5.</b> Sistemas de tratamiento de agua. ....	<b>17</b>
<b>Figura. 2.6.</b> Ciclo de ablandamiento de agua.....	<b>18</b>
<b>Figura. 2.7</b> Sistema común de ablandamiento.....	<b>18</b>
<b>Figura. 2.8</b> Calderas industriales piro tubulares.....	<b>20</b>
<b>Figura 2.9</b> Calderas industriales piro tubulares. ....	<b>22</b>
<b>Figura 2.9.</b> Calderos eléctricos industriales marca Fulton.....	<b>23</b>
<b>Figura. 3.1</b> Arquitectura del Proyecto.....	<b>26</b>
<b>Figura. 3.2.</b> PT100 Tipo B.....	<b>28</b>
<b>Figura. 3.3.</b> Diseño circuito Acondicionamiento PT100.....	<b>29</b>
<b>Figura. 3.4.</b> Grafica característica RTD (PT100) .....	<b>30</b>
<b>Figura. 3.5.</b> Diseño placa Acondicionamiento PT100.....	<b>31</b>
<b>Figura. 3.6.</b> Control de la temperatura con lazo de histéresis.....	<b>32</b>
<b>Figura. 3.7.</b> Bloque esquemático del controlador.....	<b>33</b>
<b>Figura. 3.8.</b> PLC SIEMENS S7-1200.....	<b>35</b>

<b>Figura. 3.9.</b> Resistencia eléctrica industrial. ....	<b>38</b>
<b>Figura. 3.10.</b> Controlador de presión.....	<b>39</b>
<b>Figura. 3.11.</b> Controlador de presión Dual.....	<b>41</b>
<b>Figura. 3.12.</b> Válvula de seguridad.....	<b>41</b>
<b>Figura. 3.13.</b> Sensor de Nivel (Mc-Donnell) .....	<b>43</b>
<b>Figura. 3.14.</b> Bomba de agua. ....	<b>46</b>
<b>Figura 3.15</b> Identificación de Componentes.....	<b>52</b>
<b>Figura 3.16</b> Acero Inoxidable propiedades físicas.....	<b>53</b>
<b>Figura. 3.17.</b> Forma geométrica del caldero.....	<b>55</b>
<b>Figura. 3.18.</b> Forma del caldero. ....	<b>55</b>
<b>Figura. 3.19.</b> Modelo 3D del Caldero. ....	<b>58</b>
<b>Figura 3.20.</b> Caldero y Tablero control. ....	<b>59</b>
<b>Figura. 3.21.</b> Vista frontal Caldero. ....	<b>59</b>
<b>Figura. 3.22.</b> Vista posterior caldero. ....	<b>60</b>
<b>Figura 4.1.</b> Diagrama de Flujo.....	<b>62</b>
<b>Figura. 4.2.</b> Esquema de Red PROFINET PLC-TOUCH PANEL –PC.....	<b>64</b>
<b>Figura 4.3</b> Inicialización Nuevo Proyecto.....	<b>64</b>
<b>Figura 4.4</b> Selección Modulo HMI.....	<b>65</b>
<b>Figura. 4.5.</b> Selección Conectividad de Módulos.....	<b>66</b>
<b>Figura. 4.6.</b> Cambio de Vista de Portal a Vista de Proyecto.....	<b>67</b>
<b>Figura 4.7</b> Asignación de Dirección IP del PLC. ....	<b>67</b>
<b>Figura. 4.8.</b> Asignación de Dirección IP del Touch Panel.....	<b>68</b>
<b>Figura. 4.9.</b> Inicialización de un Bloque Principal de Programación.....	<b>69</b>

<b>Figura. 4.10.</b> Sincronización Hora PLC/TOUCH PANEL.....	<b>70</b>
<b>Figura. 4.11.</b> Lectura de Datos de Entrada Análoga.....	<b>70</b>
<b>Figura. 4.11.</b> Activación Salidas A Relé PLC.....	<b>71</b>
<b>Figura. 4.12.</b> Pantalla diseño HMI. ....	<b>74</b>
<b>Figura. 4.13.</b> Diseño HMI. ....	<b>75</b>
<b>Figura 4.14</b> Diseño HMI. ....	<b>75</b>
<b>Figura. 4.15.</b> Ventana de bienvenida. ....	<b>76</b>
<b>Figura. 4.16.</b> Pantalla inicio.....	<b>77</b>
<b>Figura. 4.17.</b> Pantalla CALDERO.....	<b>77</b>
<b>Figura. 4.18.</b> Pantalla de las variables del CALDERO.....	<b>78</b>
<b>Figura. 4.19.</b> Pantalla compresor y secador de aire.....	<b>79</b>
<b>Figura 4.20.</b> Sistema de frio. ....	<b>79</b>
<b>Figura. 4.21.</b> Pantalla de las variables del sistema.....	<b>80</b>
<b>Figura. 5.1.</b> Fuente trifásica con desfase de 120°.....	<b>82</b>
<b>Figura. 5.2.</b> Diagrama de Bloques del consumo energético. ....	<b>82</b>
<b>Figura 5.3.</b> Caldero y sistema de distribución. ....	<b>83</b>
<b>Figura. 5.4.</b> Caldero y Tablero de fuerza. ....	<b>84</b>
<b>Figura. 5.5.</b> Tablero de fuerza. ....	<b>85</b>
<b>Figura. 5.6.</b> Interior del Tablero de fuerza.. ....	<b>86</b>
<b>Figura. 5.7.</b> Bio-Fermentador marca Solaris. ....	<b>87</b>
<b>Figura. 5.8.</b> Pantalla de inicio.....	<b>88</b>
<b>Figura. 5.9.</b> Pantalla de las variables del sistema. ....	<b>88</b>
<b>Figura. 5.10.</b> Presión de trabajo del caldero. ....	<b>89</b>

<b>Figura. 6.1.</b> Arquitectura de pruebas del caldero.....	<b>91</b>
<b>Figura. 6.2.</b> Temperatura vs Tiempo del pre-calentador.....	<b>93</b>
<b>Figura 6.3</b> Desmineralizador.....	<b>94</b>
<b>Figura 6.4</b> Manómetros Caldero.....	<b>94</b>
<b>Figura. 6.5.</b> Temperatura del Reactor por medio del vapor del Caldero.....	<b>95</b>
<b>Figura. 6.6.</b> Temperatura y presión del Reactor.....	<b>95</b>
<b>Figura 6.7</b> HMI del Bio-Fermentador.....	<b>96</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Vapor Saturado Tabla de Temperaturas.....	<b>15</b>
<b>Tabla 2.2</b> Resumen clasificación general de los Calderos.....	<b>24</b>
<b>Tabla 2.3.</b> Tipos de Calderos Capacidad vs Medio de Combustión.....	<b>25</b>
<b>Tabla 3.1</b> Valores Características RTD según materiales.....	<b>27</b>
<b>Tabla 3.2.</b> Tabla Característica Router Trendnet.....	<b>34</b>
<b>Tabla. 3.3</b> Características PLC SIEMENS S7-1200.....	<b>37</b>
<b>Tabla 3.4</b> Bomba de Alimentación de Agua.....	<b>45</b>
<b>Tabla 3.5</b> Especificaciones requeridas del caldero.....	<b>54</b>
<b>Tabla. 4.1.</b> Tabla de Direcciones IP para red PROFINET.....	<b>63</b>
<b>Tabla 6.1</b> Prueba Pre calentador.....	<b>92</b>

## GLOSARIO

**ASME:** Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos

**ASTM:** Sociedad Americana de Normalización de Materiales

**BHP:** Caballo Fuerza al Frenado

**BTU:** Unidad Térmica Británica

**CITVAS:** Centro de Investigaciones de Tecnologías Ambientales

**CPU:** Unidad Central de Procesos

**CUT-IN:** Presión de Activación

**CUT-OUT:** Presión de Desactivación

**DB:** Diagrama de Bloques

**DI:** Entradas Directas

**DIFF:** Presión Diferencial

**DO:** Salidas Directas

**FB:** Bloque de Funciones

**HMI:** **Interfaz** Humanos-Maquina

**HP:** Caballo Fuerza

**IEC:** Comisión Electrotécnica Internacional

**IEEE:** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

**KTP:** Panel Terminal de operador por Teclado

**KW:** Kilovatios

**LAN:** Red de Área Local

**MAC:** Control de Acceso al Medio

**NEMA:** Asociación de Fabricantes Nacionales Eléctricos

**NTC:** Coeficiente Negativo de Temperatura

**PC:** Computadora

**PLC:** Controlador Lógico Programable

**PSI:** Libra-Fuerza por pulgada Cuadrada

**PT100:** Transmisor de temperatura ( $100\Omega \rightarrow 0^{\circ}\text{C}$ )

**RTD:** Detector de Temperatura Resistivo

**SIGOB:** Sistema de Gestión para la Gobernabilidad

**SP:** Punto de Establecimiento

**WEP:** Privacidad Equivalente al Cable

**WPA:** Acceso Wi-Fi Protegido

# **ANEXOS**

# **ANEXO 1**

**LISTA DE MATERIALES**

## MATERIALES CALDERO

<b>Componente</b>	<b>Características</b>
gabinete eléctrico	80x60x25 cm
PLC	2 entradas análogas, 2 entradas digitales y 4 salidas tipo relé
Panel View HMI	Pantalla no superior a 5,7" a color o monocromático
Bomba de agua	potencia nominal 1 HP
Sensor de nivel	tipo switch o Mcdonall
Sensor de presión	tipo switch o Presostato
Resistencias Industriales	Potencia nominal 3000 Watts
contactor resistencias	3 contactores trifásicos
contactor bomba	1 contactor monofásico
relé térmico resistencias	3 relés térmicos
relé térmico bomba	1 relé térmico
porta fusibles	tripolar
rieles din	35mm 3 metros
luces piloto	color verde, rojo y azul
pulsadores	2 pulsadores
Pulsador de emergencia	pulsador tipo hongo
Sensor de Presión	Rango de 0-100 psi , 4-20mA
Sensor de Temperatura	Rango de 0-150°C , 4-20mA
cables	de fuerza y control dimensionados según corriente nominal

# **ANEXO 2**

**CONFIGURACIÓN ROUTER**

## CONFIGURACIÓN ROUTER



Figura 1. Router Inalámbrico TRENDNET

Entre los requisitos de de instalación para poder establecer la comunicación entre los 3 dispositivos (PC, PLC, PANEL TOUCH) primero se debe configurar los parámetros básicos del enrutador, los cuales se describirán a continuación:

a) Primero se debe conectar el Router con la respectiva alimentación (5VDC) y en cualquiera de los puertos LAN disponibles en la parte posterior conectarlos hacia una PC en la cual se programara las líneas de código que se descargara hacia el PLC

b) Abrir el navegador de Internet ya se Internet Explorer / Google Chrome, ahí se introducirá la siguiente dirección IP `http://192.168.10.1` en la barra de direcciones y luego se pulsara la tecla enter (Intro)

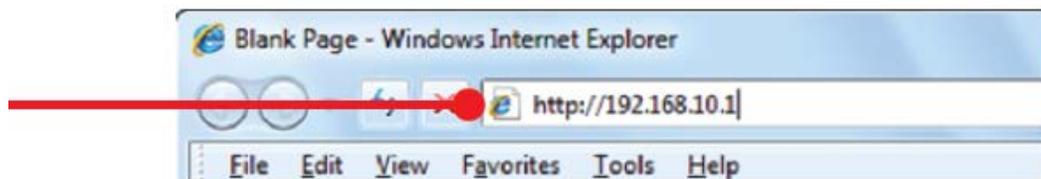


Figura 2 Dirección IP router.

c) De manera seguida aparecerá una ventana en la cual se podrá configurar las opciones de nombre de usuario y contraseña (admin/admin), la primera vez la clave por defecto es la indicada y después ingresada al panel se podrá cambiarlas, las cuales permitirán solo a usuarios registrados acceder al cuadro principal de configuraciones del Router.

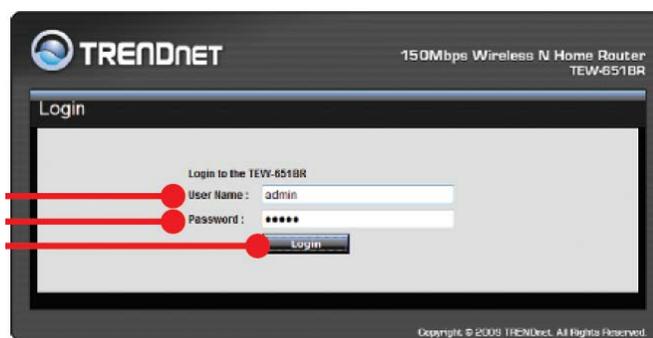


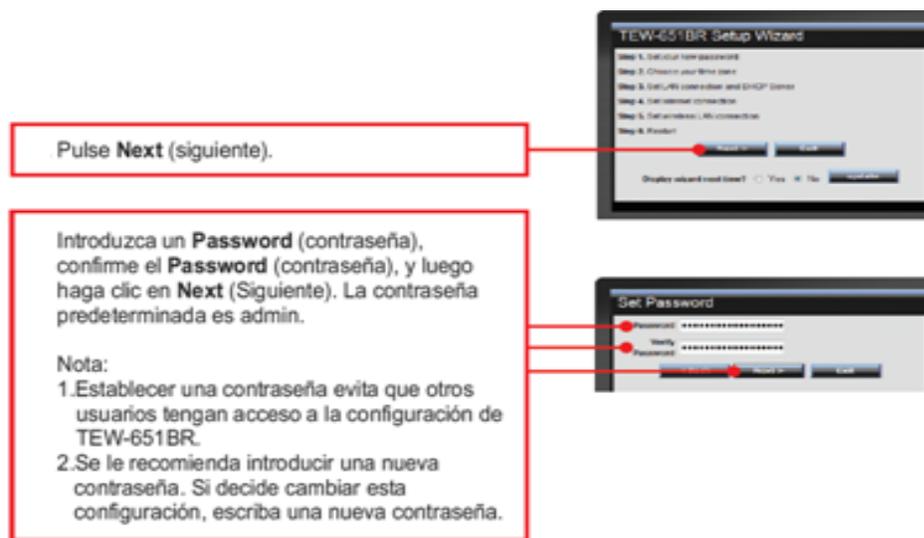
Figura 3. Login Menú Opciones Router Trendnet

d) El asistente de configuración de Router aparecerá donde se podrá modificar opciones LAN&DHCP Server, Wireless, Status, Routing, Access, Management, Tools, Wizard (Asistente Inteligente), para configurar de forma rápida las opciones se seguirá la ayuda del asistente Wizard pulsando la opción indicada.



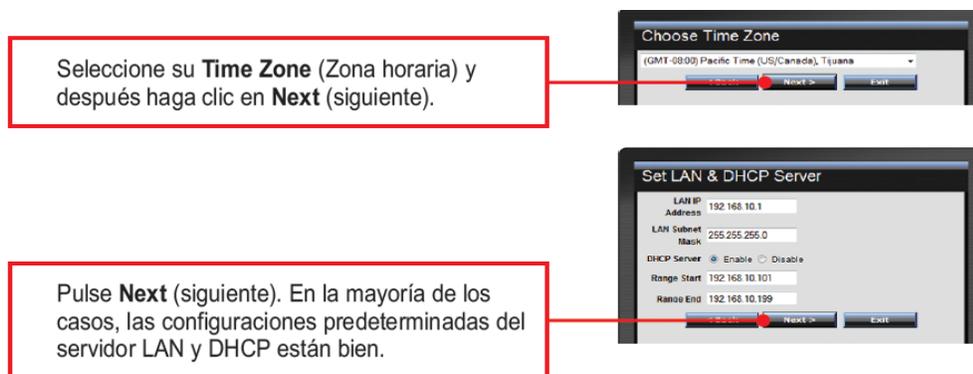
**Figura 4. Panel Principal Menú TRENDNET**

e) Las principales opciones que se permitirá configurar es el nuevo password, escoger la zona horaria, configurar opciones de configuración LAN o servidor DHCP, Configuración De Conexión de Internet, etc procedimiento posterior se procederá a resetear el controlador para que se guarde los cambios y se aplique los cambios aplicados.



**Figura 5. Acceso al router.**

En el gráfico mostrada se escoge las opciones de nueva contraseña la cual tendrá acceso el administrador o usuario que modificara las opciones del Router, así como establecer parámetros de Zona Horaria y por último y uno de los más útiles para el proyecto configuración de Red LAN & DHCP en LAN IP address se escogerá una dirección y un rango de números IP en la cual todos los dispositivos como PLC, PC y Panel Touch estarán trabajando dentro del determinado segmento de Red.



**Figura 6. Configuración router.**

Realizados estos procedimientos las configuraciones ya aplicadas se puede trabajar en Red con todos los dispositivos.

# **ANEXO 3**

**PLANOS ELÉCTRICOS**

# **ANEXO 4**

**PROGRAMA PLC**

# **ANEXO 5**

**CONFIGURACIÓN TIA PORTAL V11**

## FECHA DE ENTREGA

El día 23 de Agosto de 2012, en la ciudad de Sangolquí, firman en constancia de la entrega del presente Proyecto de Grado Titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UN CALDERO DE VAPOR SATURADO PARA CONSTRUCCIONES MECANICAS S.A.”. En calidad de Autores los Señores Roberto Felipe Proaño Guevara y Christian Paul Lugmaña Raimundo estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Automatización y Control, y recibe por parte del Departamento de Eléctrica y Electrónica el director de Carrera de Automatización y Control, el Señor Ingeniero Víctor Proaño.

---

Roberto Felipe Proaño Guevara  
172193772-8

---

Christian Paul Lugmaña Raimundo  
171819853-2

---

Ing. Víctor Proaño  
Director de Carrera de Automatización y Control.

*Declaración de Responsabilidad*

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y**  
**CONTROL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**ROBERTO FELIPE PROAÑO GUEVARA**  
**CHRISTIAN PAUL LUGMAÑA RAIMUNDO**

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UN CALDERO DE VAPOR SATURADO PARA CONSTRUCCIONES MECANICAS S.A.”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 23 de Agosto del 2011

---

Roberto Felipe Proaño Guevara  
172193772-8

---

Christian Paul Lugmaña Raimundo  
171819853-2

*Autorización de publicación*

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, ROBERTO FELIPE PROAÑO GUEVARA y  
CHRISTIAN PAUL LUGMAÑA RAIMUNDO

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución el trabajo denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UN CALDERO DE VAPOR SATURADO PARA CONSTRUCCIONES MECANICAS S.A.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría

Sangolquí, 23 de Agosto del 2011

---

Roberto Felipe Proaño Guevara  
172193772-8

---

Christian Paul Lugmaña Raimundo  
171819853-2