



## **UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL  
DEL PROCESO DE GENERACIÓN  
Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR  
DE LA SALA DE CALDERAS DE  
LABORATORIOS ELMOR S.A.  
PLANTA GUACARA  
EDO. CARABOBO.**

**Autor:**  
Hernández, Daniel  
CI.:26.338.231

Urb. Yuma II, calle Nª 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master)



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL  
DEL PROCESO DE GENERACIÓN  
Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR  
DE LA SALA DE CALDERAS DE  
LABORATORIOS ELMOR S.A.  
PLANTA GUACARA  
EDO. CARABOBO.**

**EMPRESA: LABORATORIOS ELMOR S.A.**

**Informe de Pasantías presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO ELECTRONICO**

**Autor:**  
Hernández, Daniel  
CI.:26.338.231  
**Tutor:** Ing. Gerson Sánchez



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
INGENIERÍA ELECTRONICA

### APROBACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, ingeniero Gerson Sánchez titular de la cedula de identidad N° 7.143.386, en mi carácter de tutor del informe de pasantías presentado por el (los) ciudadano(s) Daniel Hernández, portador(es) de la cedula de identidad 26.338.231, titulado "SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DEL PROCESO DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DE LA SALA DE CALDERAS DE LABORATORIOS ELMOR S.A. PLANTA GUACARA EDO. CARABOBO.", presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe

En San Diego, a los seis días de marzo del año dos mil veinte (2020).

Ing. Gerson Sánchez  
C.I. 7.143.386



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES  
INGENIERÍA ELECTRONICA

SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL  
DEL PROCESO DE GENERACIÓN  
Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR  
DE LA SALA DE CALDERAS DE  
LABORATORIOS ELMOR S.A.  
PLANTA GUACARA  
EDO. CARABOBO.

CONSTANCIA DE APROBACION

TUTOR EMPRESARIAL

Ing. Francisco Ramos  
C.I. 9.570.945

TUTOR ACADEMICO

Ing. Gerson Sánchez  
C.I. 7.143.386

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
INTRODUCCIÓN .....	1
LA EMPRESA.....	3
1.1. Ubicación .....	3
1.2. Descripción de la Empresa.....	3
1.3. Misión .....	3
1.4. Visión .....	3
1.5. Valores .....	4
1.6. Objetivos Generales .....	4
1.7. Política.....	5
1.8. Organigrama de la Empresa .....	5
1.8.1. Organigrama General .....	5
EL PROBLEMA.....	7
2.1. Planteamiento del problema.....	7
2.3. Objetivos de la Investigación .....	11
2.3.1. Objetivo General .....	11
2.3.2. Objetivos específicos.....	11
2.4. Justificación de la Investigación .....	11
2.5. Alcance.....	11
2.6. Limitaciones .....	12
MARCO TEORICO.....	13
3.1. Antecedentes de la investigación .....	13
3.2. Bases Teóricas.....	15
3.2.1. Automatización.....	15
3.2.1.1 Tipos de Automatización .....	15
3.2.2. Sistemas de Control.....	17

3.2.2.1. Componentes de un sistema de control.....	18
3.2.3. Controladores lógicos programables (PLC) .....	19
3.2.3.1. Características de los PLC. ....	19
3.2.3.2. Interfaz HMI de los PLC.....	20
3.2.4. PLC Siemens .....	22
3.2.4.1. Programación de PLC .....	22
3.2.4.1.1. Lenguajes de alto nivel .....	22
3.2.5. Calderas Piro tubulares.....	23
3.2.5.1. Triángulo de Fuego.....	25
3.2.5.2. Control de Flama.....	26
3.2.5.3. Control de Nivel de Agua .....	27
3.2.5.4. Dureza y oxígeno en el agua en una caldera.....	29
3.3. Definición de términos .....	30
MARCO METODOLÓGICO.....	32
4.1. Tipo de Investigación .....	32
4.2. Nivel de la Investigación.....	32
4.3. Diseño de la Investigación. ....	33
4.4. Población y Muestra.....	34
4.4.1. Población.....	34
4.4.2. Muestra. ....	34
4.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. ....	34
4.5.1. Técnicas de recolección de datos.....	34
4.5.1.1. Revisión Documental. ....	34
4.5.1.2. Observación Directa.....	35
4.5.2. Instrumentos de recolección de datos. ....	35
4.5.2.1. Entrevista no estructurada. ....	35
4.5.2.2. Carpeta de registros.....	36
4.5.2.3. Lista de Cotejo .....	36
4.6. Fases de la Investigación.....	36
RESULTADOS.....	38

5.1.	Fase I: Diagnostico de la situación actual del proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara. ....	38
5.1.1.	Parámetros de trabajo y esquemas físicos generales.....	38
5.1.2.	Caldera 1 .....	44
5.1.3.	Caldera 2 .....	46
5.1.4.	Caldera 3 .....	49
5.1.5.	Sistemas de alarma.....	51
5.2.	Fase II: Identificación de las fallas y puntos críticos del proceso de generación de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara. ....	52
5.2.1.	Lista de cotejo. ....	52
5.2.2.	Puntos críticos:.....	52
5.2.2.1.	Temperatura .....	52
5.2.2.2.	Presión de vapor .....	53
5.2.2.3.	Nivel de agua.....	53
5.2.2.4.	Monitorización y alarmas .....	53
5.2.2.5.	Mantenimiento .....	54
5.2.3.	Fallas en el área.....	54
5.3.	Fase III: Diseño del sistema de supervisión y control del proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara.	55
5.3.1.	Diseño conceptual.....	55
5.3.2.	Equipos e instrumentos requeridos. ....	59
5.3.2.1.	PLC s7-300.....	59
5.3.2.2.	HMI KTP 600.....	60
5.3.2.3.	Sensor de temperatura .....	61
5.3.2.4.	Sensor de presión .....	62
5.3.2.5.	Electroválvula.....	63
5.3.3.	Diseño del programa y HMI .....	63
5.3.3.1.	Entradas y salidas Físicas del PLC.....	63
5.3.3.2.	Descripción del programa. ....	64
5.3.3.3.	Descripción del HMI.....	65

5.3.4. Esquema eléctrico .....	67
5.3.4.1. Control de gas y flama .....	68
5.3.4.2. Control de nivel de la caldera y la caldera des-aireadora.....	69
5.3.4.3. Plano completo - Esquema de conexiones .....	69
5.4. Fase IV: Estudio de factibilidad operativa, económica, social y ambiental del sistema de supervisión y control propuesto.....	70
5.4.1. Factibilidad operativa.....	70
5.4.2. Factibilidad económica. ....	71
5.4.2.1. Presupuesto inicial.....	71
5.4.2.2. Beneficios tangibles .....	73
5.4.2.3. Beneficios Intangibles .....	73
5.4.3. Factibilidad social. ....	74
5.4.4. Factibilidad ambiental.....	74
CONCLUSIONES .....	75
RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS.....	77

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Clasificación del agua según su dureza .....	30
Cuadro 2. Check List o lista de cotejo .....	36
Cuadro 3. Lista de cotejo - Resultados.....	52
Cuadro 4. Tabla de características de los HMI .....	60
Cuadro 5. E/S digitales y analógicas hacia el PLC .....	64
Cuadro 6. Presupuesto de equipos y componentes .....	72
Cuadro 7. Presupuesto del personal .....	72
Cuadro 8. Horas/Hombres ahorradas. ....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
Fig. 1 Organigrama General de Laboratorios Elmor, S.A. ....	6
Fig. 2 Sala de calderas (enfoque caldera 1).....	8
Fig. 3 Manifold principal. ....	10
Fig. 4 Diagrama del control manual.....	16
Fig. 5 Diagrama del control automático.....	17
Fig. 6 Esquema básico de un sistema de control.....	18
Fig. 7 Controlador lógico programable. ....	19
Fig. 8 Interfaz HMI. ....	21
Fig. 9 Diagrama de bloques de un TP. ....	22
Fig. 10 Diagrama Ladder o escalera. ....	23
Fig. 11 Caldera Piro tubular. ....	24
Fig. 12 Triangulo de Fuego.....	25
Fig. 13 Descripción del listado de componentes del control de flama.....	26
Fig. 14 Diagrama de conexión física del control de flama NFPA. ....	27
Fig. 15 Ejemplo de control de nivel de agua todo o nada. ....	27
Fig. 16 Primer control de nivel automático o principal ....	28
Fig. 17 Control de Nivel de agua completo ....	29
Fig. 18 Proceso de desoxigenación del agua en las calderas ....	40
Fig. 19 Diagrama de flujo (arranque y control de parámetros de las calderas 1 y 2) .	41
Fig. 20 Diagrama PI&D - Caldera - General ....	42
Fig. 21 Distribución de vapor - Laboratorios ELMOR.....	43
Fig. 22 Distribución de vapor - Manifolds y válvulas manuales ....	44
Fig. 23 Caldera 1 (estado actual).....	44
Fig. 24 Tablero de control de la caldera 2 (en la caldera 1).....	45
Fig. 25 Diseño del futuro control de gas y flama de la caldera 1.....	46
Fig. 26 Caldera 2.....	47
Fig. 27 Tuberías internas de la caldera 2.....	48

Fig. 28 Tablero de control de la caldera 1 (en la caldera 2).....	48
Fig. 29 Caldera 3 durante operación .....	49
Fig. 30 Tablero de control de la caldera 3.....	50
Fig. 31 alarma de las calderas 1 y 2 .....	51
Fig. 32 Diagrama de flujo del proceso a diseñar.....	57
Fig. 33 Esquema individual de una caldera del proceso diseñar.....	58
Fig. 34 Esquema del proceso a diseñar .....	59
Fig. 35 PLC S7-300 .....	60
Fig. 36 HMI KTP 600 .....	61
Fig. 37 Transmisor de temperatura Sitrans TS500.....	62
Fig. 38 Transmisor de presión Sitrans P200 .....	62
Fig. 39 Válvula solenoide para vapor ASCO.....	63
Fig. 40 HMI Pantalla Principal .....	66
Fig. 41 HMI Pantalla de la caldera 3 - 150 HP .....	67
Fig. 42 Esquema de conexiones - Circuito eléctrico Gas y Flama (Diseño).....	68
Fig. 43 Circuito eléctrico y de control del nivel de agua (Diseño) .....	69
Fig. 44 Esquema de conexiones - Sistema y Controlador S7-300.....	70
Fig. 45 HMI Pantalla Caldera 3 - simulación de fallas .....	71

## INTRODUCCIÓN

En el margen industrial actual, la automatización de un proceso se ha vuelto relativamente vital para una empresa. Desde la reducción de costos por reducir la mano de obra humana como al mismo tiempo depender de personal más capacitado para mantener un sistema operando, en la reducción de costos y aumento en el control de calidad de productos, facilitar el manejo de procesos altamente complejos con interfaces capaces de dar a conocer todo el estado actual del sistema, auto corregibles. De igual manera la automatización y monitorización de un proceso reduce en gran medida el tiempo de respuesta de un sistema en caso de falla.

Dicho sea además, debido al perfeccionamiento en las técnicas de comunicación inalámbricas y el alto avance tecnológico que han obtenido, han permitido que el control de un sistema sea altamente eficiente sin sacrificar velocidad de trabajo.

Por la presente, el informe actual pretende proponer el diseño de un sistema para mejorar la automatización del proceso de generación de vapor de la sala de calderas Laboratorios ELMOR S.A. en la medida de lo posible, monitorizar el sistema de control de flama, nivel de agua de las calderas, así como las variables y parámetros de funcionamiento de las misma, avisar e intervenir en el proceso en caso de falla, así como diseñar un control para accionar las distintas válvulas que distribuyen de vapor a la planta en general.

Este trabajo está estructurado en 5 (cinco) capítulos de la siguiente manera:

**Capítulo I:** en el cual se realiza una breve descripción sobre la empresa, su historia, misión, visión entre otros.

**Capítulo II:** en el cual se realiza el planteamiento del problema, los objetivos y se señala la justificación, alcance y limitaciones.

**Capítulo III:** está comprendido por las bases teóricas en las cuales se sustenta la investigación, y reúne los elementos conceptuales que define el objeto de estudio.

**Capítulo IV:** se describe la metodología necesaria para desarrollar la investigación. Describe las fases metodológicas características de la investigación efectuada, especificando el tipo y diseño de investigación.

**Capítulo V:** presenta los recursos necesarios para la ejecución de las fases planteadas en el capítulo IV.

Y finalmente se incluyen referencias bibliográficas que dan soporte a la presente investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **LA EMPRESA**

### **1.1. Ubicación**

La empresa Laboratorios ELMOR, S.A.RIF: J-00219195-3, empresa ubicada en la Urbanización Industrial El Nepe, Calle 2 c / transversal 2, Apartado 134, 2015-A. Guacara, Estado Carabobo – Venezuela

### **1.2. Descripción de la Empresa**

Laboratorios ELMOR nace en abril del año 1959, como una pequeña casa de representaciones de marcas tales como TACHIPIRIN, PEREBRON, TANTUM, las cuales la acompañaron desde los inicios de este proyecto y que aún hoy en día ocupan posiciones de liderazgo en la industria. A lo largo de la trayectoria de Laboratorios ELMOR, se pueden mencionar importantes casos de éxito, desarrollo de formulaciones únicas e innovadoras y un gran profesionalismo que ha posicionado a la empresa en un sitio de liderazgo. Por más de 50 años, Elmor ha ocupado el ranking N°1 en recetas, convirtiéndose en el Laboratorio más prescrito del país, lo que se traduce en que el gremio médico confía y recomienda los productos del portafolio ELMOR. Por ello su compromiso es y seguirá siendo cumplir su misión en brindar calidad de vida a todos los venezolanos.

### **1.3. Misión**

Satisfacer las necesidades del mercado nacional, mediante procesos de manufactura y distribución de productos de alta calidad, a través de la constante incorporación de tecnología de punta que garantizará efectividad y seguridad al consumidor.

### **1.4. Visión**

Fortalecer a lo largo de los años la cartera de productos farmacéuticos con nuevos lanzamientos adaptándose a los cambios para alcanzar la excelencia, es por ello que actualmente se encuentra en un proceso de reinvención de los pilares estratégicos a partir de departamentos, identificando nuevas áreas que garanticen el

desarrollo continuo de productos innovadores, avalando así el crecimiento sostenido de la empresa.

### **1.5. Valores**

Los valores son cualidades, principios o creencias que la empresa posee y nos permiten guiar u orientar las decisiones, acciones y conductas de los trabajadores en función de éstos y así, hacerles saber qué deben priorizar al momento de tomar una decisión, crear un producto o tratar con un cliente. Pero además de ello permite darle una identidad y personalidad, cimentar las bases para su cultura, inspirar y motivar a los trabajadores, y proyectar una imagen positiva ante los trabajadores, proveedores, público y comunidad.

- Liderazgo: Motivar e impulsa a cumplir con nuestras funciones.
- Excelencia: Organizar, gestionar y hacer las cosas de la mejor manera logrando resultados integrales excelentemente planificados.
- Integridad: Implica rectitud, bondad, honradez e intocabilidad. Es hacer lo correcto, de la manera correcta, por las razones correctas.
- Colaboración: con la empresa, con la labor, con la calidad de cada uno de sus productos y de los procesos que involucran su manufactura.
- Respeto: Tratar a las personas con educación y cordura.

### **1.6. Objetivos Generales**

En el convencimiento de que sus mayores activos lo constituyen sus clientes satisfechos y sus trabajadores capaces y motivados, Laboratorios ELMOR S.A. fundamenta el logro de su Política de la Calidad sobre los siguientes objetivos generales:

1. Dedicarse a la manufactura, comercialización y mercado de productos químicos farmacéuticos de alta calidad, para el consumo humano.
2. Ofrecer a los clientes productos y servicios de gran calidad y libre de error, para la plena satisfacción del cliente y a la vez cubrir todo el mercado de dichos productos.
3. Orientar la planeación administrativa de la empresa hacia el crecimiento de dichos productos.

4. Definir una estructura eficaz que permita la asignación de responsabilidades que faciliten la toma de decisiones.

### **1.7. Política**

Se basa en las Buenas Prácticas de Manufactura la cual es una herramienta básica para la obtención de productos seguros para el consumo humano, que se centralizan en la higiene y la forma de manipulación.

- § Contribuyen al aseguramiento de una producción de alimentos seguros, saludables e ino cuos para el consumo humano.
- § Son útiles para el diseño y funcionamiento de los establecimientos, y para el desarrollo de procesos y productos relacionados con la alimentación.
- § Son indispensable para la aplicación del Sistema HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control), de un programa de Gestión de Calidad Total (TQM) o de un Sistema de Calidad como ISO 9001.
- § Se asocian con el Control a través de inspecciones del establecimiento.

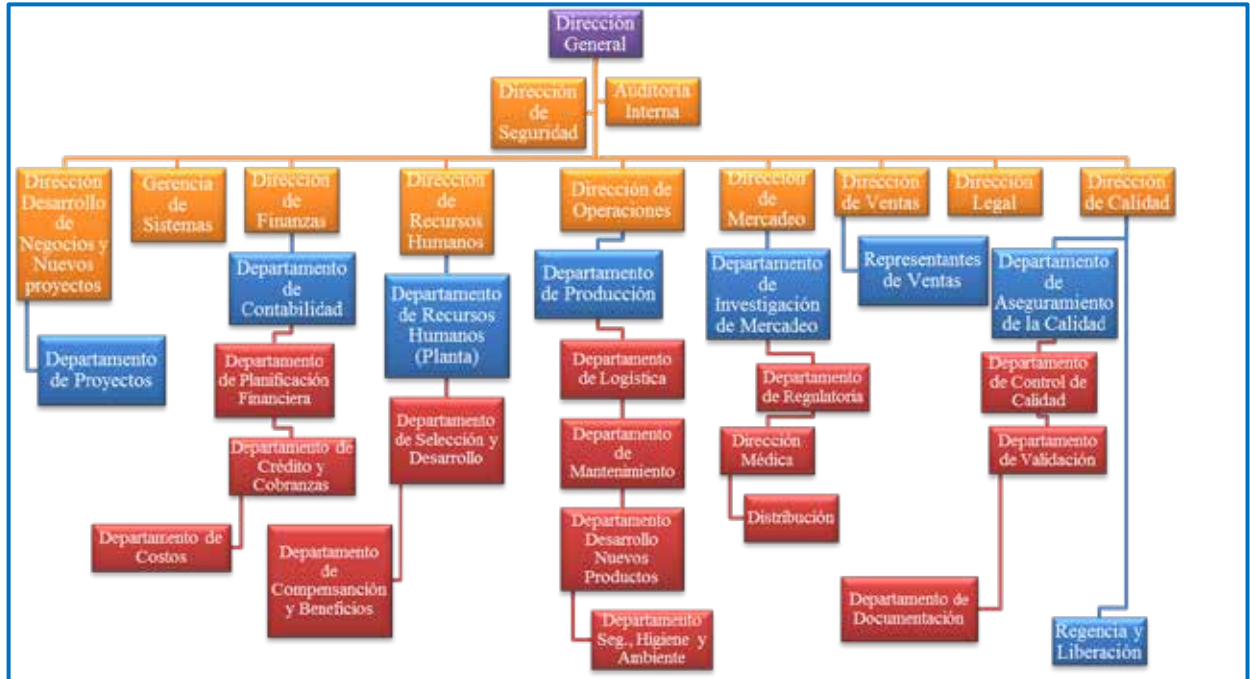
Las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) se aplican en todos los procesos de elaboración y manipulación de alimentos y son una herramienta fundamental para la obtención de productos ino cuos. Constituyen un conjunto de principios básicos con el objetivo de garantizar que los productos se fabriquen en condiciones sanitarias adecuadas y se disminuyan los riesgos inherentes a la producción y distribución.

### **1.8. Organigrama de la Empresa**

#### **1.8.1. Organigrama General**

La estructura organizacional viene dada por un Director de operaciones, quien es el responsable de velar por el buen funcionamiento del laboratorio, Gerente General, Gerentes de distintos departamentos, quienes reportan al Gerente General y tienen distintas responsabilidades como la comercialización y fuerza de ventas de productos, en el caso de Gerentes de Divisiones, las finanzas en el caso del Gerente de Administración y Finanzas; Gerente de Asuntos Regulatorios; Director Médico y Gerente de Operaciones, el cual tiene bajo su responsabilidad el buen funcionamiento de la planta a través del Gerente de Planta, quien se encarga de manera directa de la producción, mantenimiento y logística de insumos de la planta. Gerentes de distintas

áreas que deben responder ante el Gerente de Planta y posteriormente ingenieros y especialistas del área de empaque. (Ver Figura N° 1)



**Fig. 1 Organigrama General de Laboratorios Elmor, S.A.**

**Fuente:** Departamento de recursos humanos de Laboratorios Elmor, S.A.

## **CAPITULO II**

### **EL PROBLEMA**

#### **2.1. Planteamiento del problema**

Desde el principio de la era industrial todas las empresas productoras tenían por objetivo maximizar ganancias, reducir costos y mantener calidad con el menor personal posible, esto se derivaba en un complejo estudio de todas las ciencias y procesos relacionados a fin de obtener los objetivos buscados. Hoy en día los grandes avances en todas las áreas de ingeniería han permitido que una gran cantidad de procesos busquen ser automatizados para mantener la competencia comercial entre industrias (relación calidad-costos). Puede que un proceso automatizado sea costoso pero las ventajas que ofrece al control, supervisión y reducción de problemas con la menor intervención humana son numerosas.

En la actualidad se ha vuelto tendencia automatizar, supervisar y o controlar de ser posibles todos los procesos que requieran demasiado del factor humano o que se desee mantener valores de un determinado proceso en condiciones estables. Algunos procesos para muchas industrias son vitales para su competencia industrial, como ejemplo para una empresa petrolera puede ser la refinación del crudo obtenido, para una empresa alimenticia, el flujo de materia prima que se usa para tratar algún alimento.

Otro proceso indispensable en muchas industrias es la generación y distribución de vapor en ya que es un variable de proceso vital que se usa por ejemplo para el tratamiento de materia prima, esterilización de instrumentos, funcionamiento de equipos y este es el caso de Laboratorios ELMOR. Siendo una empresa de fabricación y distribución de productos farmacológicos, hace uso del vapor para diversos procesos en distintas áreas de todo el complejo, que van desde el área de tratado de sólidos en producción, hasta los complejos de comedores para la limpieza de instrumentos de cocina.

La sala de calderas, el área desde donde se distribuye de vapor a todas las zonas que hacen uso de el en Laboratorios ELMOR actualmente consta de 3 calderas Piro tubulares, en orden de instalación: la primera, una caldera de 60HP, la segunda, de 50 HP (actualmente fuera de funcionamiento) y la tercera, la más recientemente instalada de unos 150HP. En un principio la caldera 1 y 2 bastaban para dotar de vapor a toda la planta al estar operativas todo el día, pero debido a una falla en el sensor y control de nivel de agua interno de la caldera y debido a fallas operativas y técnicas por parte del supervisor en turno la caldera 2, sufrió una implosión debido a un choque térmico al abrir las válvulas que suministran agua a la caldera de forma manual, al estar está totalmente vacía de esta y poseer una temperatura interna sobre elevada tanto las tuberías como el material de la caldera quedaron dañados. Caso que llevo a la empresa a la elección de disponer de una nueva caldera o reacondicionar la actual caldera inoperativa.



**Fig. 2 Sala de calderas (enfoque caldera 1).**

Fuente: Hernández (2019)

Al respecto, la instrumentación existente presenta condiciones inoperantes lo cual se manifiesta en un grave problema en cuantos al control de las variables de presión y temperatura; el análisis de fallas y revisión de los sensores, componentes y actuadores relacionados al control de nivel de agua y el control de flama es un procedimiento dificultoso al encontrarse el lazo de control bajo el que trabajan en serie, sin contar el alto conocimiento del proceso que se ha de tener para diagnosticar y aislar una posible falla, al estar funcionando en condiciones óptimas todos los sensores, en caso de falla el sistema entra en “OFF” , donde no debería ser capaz de operar hasta solucionar el problema.

A partir de cada caldera, el vapor se distribuye de estas hacia el manifold principal, actualmente esta zona carece de alarma en caso de que haya falla por baja presión, y desde ahí hacia las distintas áreas de la empresa y los distintos manifold secundarios. En el caso de las áreas a las cuales el vapor llega directamente de la sala de calderas se abre una válvula manual para permitir el paso y la distribución hacia dichas zona, pero por otro lado en el caso de los manifold secundarios (que distribuyen de vapor al área de producción internamente), una vez abierta la válvula en la sala de calderas, es necesario abrir manualmente las válvulas de distribución en los manifold secundarios para permitir el paso de vapor ya sea para el área de líquidos, sólidos, comedores y adyacentes. Debido a la propia seguridad de la planta y los empleados, los manifold secundarios se encuentran ubicados en el área de Mezzanina (segundo piso del área de producción, ubicadas las tuberías de vapor de que atraviesan la planta, el control de maquinaria pesada, como motores, bombas de vacíos, breakers y tableros principales de todos los equipos de producción y gran parte de los de planta en general).



**Fig. 3 Manifold principal.**  
Fuente: Hernández (2019).

Dicho lo anterior, el área de Mezzanina y el acceso hacia los manifold ubicados en ella, requieren de equipos de protección ya que es una zona de riesgo de altura, de riesgo de aire caliente, accidentes en general por la alta concentración de tuberías en general de agua, vapor y cables para todos los procesos en plantas, por lo que es un riesgo humano el ingreso de personal para abrir las válvulas ubicadas en ellas.

De no haber producción de vapor adecuada para suplir a toda la planta, una gran variedad de procesos de producción y de maquinaria general se ven afectados, desde control de calidad donde usan una presión estándar 100psi para varios equipos y determinadas pruebas a los medicamentos, equipos electro neumáticas para envasar distintos medicamentos como Brugesic dentro de la empresa donde los actuadores neumáticos hacen uso del vapor para funcionar, a distintas bombas de vacío en el área de mezzanina. En definitiva siendo una problemática que lleva a detenerse una gran parte del proceso operativo en planta ocasionando pérdidas en tiempo, medicamentos que fallan el control de calidad por no ser capaz de cumplir los estándares de las pruebas, desecho de materia prima, donde todo se reduce a pérdidas económicas, siendo esta última situación recurrente ya que al carecer de un sistema de alarma y

monitorización adecuado el proceso de generación al verse interrumpido por alguna falla en el área de calderas solo es capaz de reanudarse con la intervención directa del operador, el cual solo entra en conocimiento del problema al ser avisado desde el área de producción de la pérdida de vapor en el sistema, que una vez llegado a ese punto reiniciar la generación de vapor ya ocasiono pérdidas significativas.

## **2.2. Formulación del Problema**

¿De qué manera se puede mejorar el proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas de vapor de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara?

## **2.3. Objetivos de la Investigación**

### **2.3.1. Objetivo General**

Proponer un sistema de supervisión y control del proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas de Los Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara Edo. Carabobo.

### **2.3.2. Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual del proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara.
- Identificar las fallas y puntos críticos del proceso de generación de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara
- Diseñar un sistema de supervisión y control del proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara
- Realizar un estudio de factibilidad operativa, económica, social y ambiental del sistema de supervisión y control propuesto.

## **2.4. Justificación de la Investigación**

La presente investigación se justifica en la base bajo la cual la empresa está dispuesta a mejorar el sistema actual de medición, control y previsión de fallas para hacer de dicho proceso, un proceso eficiente.

## **2.5. Alcance**

Con esta propuesta se pretende llegar al diseño del sistema automatizado del proceso de generación de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A.,

incluyendo todo lo que tiene que ver con el manejo, control y monitorización de los sistemas de suministro de agua, combustible, de la temperatura y presión de trabajo además de los sensores que involucran dicho proceso, dicho además, de la supervisión y el control de la presión de vapor con la que se suministra la red principal en la sala de calderas; la ejecución de la actual propuesta es decisión plena de Laboratorios ELMOR S.A.

## **2.6. Limitaciones**

Para este proyecto se considera que son limitaciones las siguientes a plantearse:

- Los obstáculos relativos a las previsiones de seguridad de los laboratorios ELMOR para proporcionar información acerca de su estructura de costo, en aspectos de salud de los operarios y seguridad industrial.
- Difícil acceso a la información por restricciones (patentes) sobre los materiales y equipos a utilizar.
- El diseño y construcción de un sistema de automatización para un trabajo industrial de este calibre es un procedimiento que lleva alrededor de 6 meses a 1 año, entre el estudio de mercado y opciones disponibles, además de la instalación y programación del sistema en general.

## **CAPITULO III**

### **MARCO TEORICO**

A continuación, se presentan varios proyectos y tesis integradoras efectuadas en los últimos años, tomando así varios aportes valiosos para la investigación de los que se pueda obtener de cada uno de ellos.

#### **3.1. Antecedentes de la investigación**

Ortiz, O (2019) en su proyecto de investigación titulado “**Propuesta de automatización para el monitoreo y control del cuarto climatizado de los laboratorios ELMOR s.a. planta Guácará**”. Presentado ante la Universidad José Antonio Páez para optar por el título en Ingeniería Electrónica. En dicho proyecto busca realizar una propuesta de automatización para el monitoreo y control del cuarto climatizado de los laboratorios ELMOR s.a. planta Guacará. El proyecto pretende la simulación y control climático en el interior de un cuarto, así manipular las variables mediante un sistema de control de la Temperatura y humedad. En dicho informe se hace uso de un PLC LOGO SIEMENS con el uso del programa de simulación TIA Portal Step 7 para manejar y controlar la interfaz Humano-Maquina del sistema diseñado

El proyecto se vincula con el actual en función, de la selección del programa de simulación TIA Portal Step 7, o en su defecto, su homólogo siendo el programa de simulación Step 7 junto con WinCC. La elección correcta del programa para la realización del proyecto es esencial, ya que a través de ella se realiza el control y se maneja la interfaz HMI y por ello es necesario considerar toda la información disponible y herramientas empleadas que sean los más actualizados posibles.

Franco, I (2018) en el proyecto de investigación titulado “**Propuesta de mejora del proceso de distribución de agua mediante la implementación de un sistema automatizado para la empresa colgate-palmolive company**”.

Proyecto presentado ante la Universidad José Antonio Páez para optar por el título en Ingeniería Electrónica. Proyecto planteado para realizar la optimización del bombeo de agua utilizando un sistema automático para mejorar el rendimiento y la eficiencia a la hora de tener que surtir del vital líquido a toda esta área de la ya antes mencionada empresa. Puesto que el sistema no es automático y este presentaba un deterioro bastante notable y muy obsoleto, por lo tanto se propone la implementación de un PLC Siemens s7-300 usando el software especialmente desarrollado para las aplicaciones de programación de controladores lógicos TIA Portal Step 7, con el desarrollo de su respectivo diagrama de escalera y aunado a esto los módulos necesarios para el uso correcto de este sofisticado aparato.

El proyecto se vincula con el actual en función, de la selección del PLC Siemens S7-300 para poder monitorizar y controlar el proceso completo, así como en la selección del programa de simulación TIA Portal Step 7 (o en este caso el Step 7 junto a WinCC).

Gañan, L y Castañeda, J (2016) en su trabajo de grado: “**Diseño e implementación de un sistema Scada para una estación multivariable didáctica**”. Trabajo de grado presentado para optar por el título de ingeniero en mecatronica, proyecto en el que buscan monitorear y controlar mediante un SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) intouch de la compañía Wonderware, una estación multivariable la cual maneja de forma independiente o conjunta las 4 variables básicas de todo proceso industrial: caudal, temperatura, nivel y presión que permitirá realizar de forma segura un análisis y estudio de los diferentes procesos para un control optimo y eficiente antes de ir a un proceso real en la industria.

La finalidad de este proyecto se relaciona con la presente en la necesidad de la implementación de un sistema de monitorización y control para para variables industriales como lo son, presión, nivel y temperatura en procesos industriales, así como la metodología correcta para la adecuada implementación de un sistema Scada y la conexión de un sistema HMI.

En conjunto con el proyecto anterior es posible tener gran cantidad de referencias informativas sobre el diseño y uso tanto del programa como de la

correcta selección del PLC adecuado para un proceso, sin necesidad de sobre dimensionar un proyecto.

## **3.2. Bases Teóricas**

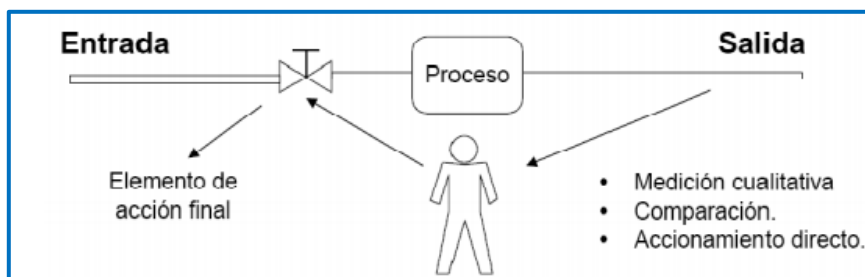
### **3.2.1. Automatización**

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- **Parte de Mando:** suele ser un autómatas programable (tecnología programada), aunque hasta hace poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado. Actualmente ELMOR está en vías de optimizar procesos industriales que siguen siendo obsoletos hacia la fecha actual
- **Parte Operativa:** es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera o sensores de cruce de cualquier tipo.

#### **3.2.1.1 Tipos de Automatización**

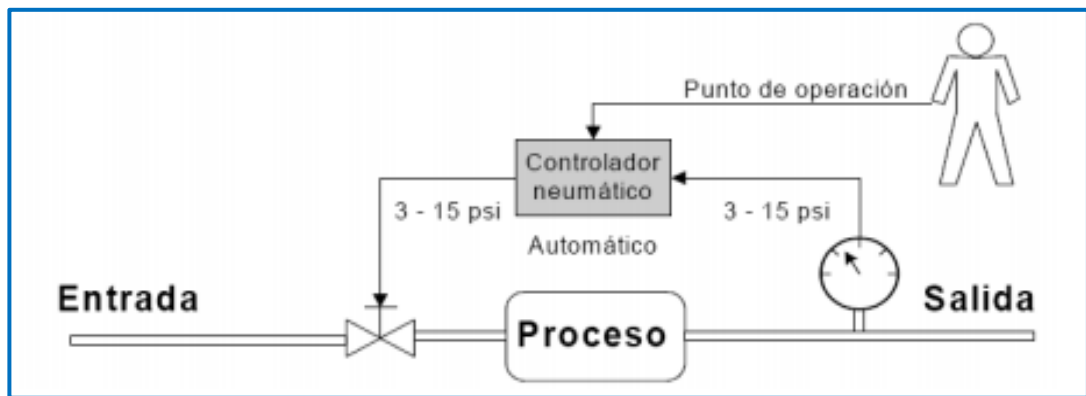
- **Control Manual:** un sistema de control manual es cuando interviene el hombre sobre el elemento de control, la acción del hombre es la que actúa siempre sobre el sistema por ejemplo: el frenado de un auto, el encendido y apagado de las luces de una habitación o el control del agua de una canilla. El control posee las siguientes características:
  - ü Excesiva intervención humana.
  - ü Operación riesgosa.
  - ü Baja calidad.
  - ü Sólo para procesos simples.



**Fig. 4 Diagrama del control manual.**

**Fuente:** <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/6522/1/20Luis%20Boscan.pdf>

- **Control semiautomático:** se emplea principalmente para facilitar las maniobras de mando y dar flexibilidad a las maniobras de control de aquellas instalaciones en las que el control manual no es posible. Este tipo de control requiere un operador que inicie cualquier cambio en la posición o condición de funcionamiento de la máquina.
- **Control Automático:** este control se basa en la realimentación o feedback (medición tomada desde el proceso que entrega información del estado actual de la variable que se desea controlar) cuya característica especial es la de mantener al controlador central informado del estado de las variables para generar acciones correctivas cuando así sea necesario. Este mismo principio se aplica en campos tan diversos como el control de procesos químicos, control de hornos en la fabricación del acero, control de máquinas herramientas, control de variables a nivel médico e incluso en el control de trayectoria de un proyectil militar. El control posee las siguientes características:
  - Û Intervención humana moderada.
  - Û Poca capacidad de adaptación
  - Û Lazos locales de control.
  - Û Alto mantenimiento.
  - Û Poca capacidad de supervisión central.



**Fig. 5 Diagrama del control automático.**

**Fuente:** <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/6522/1/20Luis%20Boscan.pdf>

### 3.2.2. Sistemas de Control

En un sistema de generación de vapor la función primordial de los controles es mantener las condiciones de funcionamiento de una manera determinada, ósea, el nivel de agua dentro de una caldera en unos valores de set point tal que nunca se vacié mientras la flama dentro de ella este encendida, este control varía dependiendo del tipo de caldera, puesto que en el caso de una caldera piro tubular, el control de algunas variables se hace manera indirecta (Presión del vapor y del gas para la flama, así como la temperatura dentro de la caldera) tomando en consideración que el sistema frecuentemente opera en todo momento a excepción de cuando se hace mantenimiento, se ha de tomar en cuenta que cada caldera dispone de un propio sistema de control, algunos más actualizados que otros por lo que se pretende a diseñar un sistema que integre el control de todas las calderas.

Todo sistema de control tiene 3 partes indispensables: operador, sistema de control y planta. El operador indica los parámetros deseados al sistema de control, con comandos que se transmiten a actuadores que realizan la acción solicitada, es decir, lleva al sistema a los parámetros deseados. El sistema retroalimenta información sobre su estado mediante sensores, con el fin de notificar el valor actual y definir si es necesario corregir algún parámetro o, por el contrario, indicar que se encuentra en el valor deseado. Por último dicha información es mostrada al operador mediante una HMI.



Fig. 6 Esquema básico de un sistema de control.

Fuente: <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/6522/1/20Luis%20Boscan.pdf>

### 3.2.2.1. Componentes de un sistema de control

Cada sistema de control tiene los siguientes componentes:

- **Variable controlada:** condición como la temperatura o humedad que deberá ser controlada.
- **Controlador:** consistente de dos partes básicas, el elemento sensor que recibe la señal externa y el elemento de control o transmisor que compara el valor de la variable controlada con el valor deseado y genera una acción al componente controlado para hacer el ajuste correspondiente.
- **Fuente de energía:** medio de potencia para la transmisión de la acción del controlador, puede ser aire comprimido, energía eléctrica, etc.
- **Componente controlado:** elemento que recibe la acción del controlador como válvulas, compuertas, actuadores en general
- **Agente de control:** medio que regula el componente controlado, como agua circulando por la válvula, aire a través de una compuerta, corriente eléctrica de un motor.
- **Equipo de control:** la regulación del agente de control cambia sus condiciones de operación, como el ventilador, el compresor.

Para el ajuste continuo de la variable controlada, el sistema deberá responder continuamente a la señal de retroalimentación.

### 3.2.3. Controladores lógicos programables (PLC)

Un PLC (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo electrónico de estado sólido que puede controlar un proceso o una máquina y que tiene la capacidad de ser programado o reprogramado rápidamente según la demanda de la aplicación. Fue inventado para reemplazar los circuitos secuenciales basados en relés que eran necesarios para el control de las máquinas. El PLC funciona monitoreando sus entradas, y dependiendo de su estado, activando y desactivando sus salidas. El usuario introduce al PLC un programa, usualmente vía Software, lo que ocasiona que el PLC se comporte de la manera deseada.



Fig. 7 Controlador lógico programable.

Fuente: <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/6522/1/20Luis%20Boscan.pdf>

Los PLC son usados en muchas aplicaciones: Maquinado de piezas, Embaladoras, Manipulación de materiales, ensamblado automático, y en general cualquier tipo de aplicación que requiera de controles eléctricos puede usar más bien un PLC.

#### 3.2.3.1. Características de los PLC.

- **Poseen memoria volátil y no volátil:** tanto el programa de aplicación escrito por el usuario como los datos internos del PLC, normalmente es guardado en una RAM (memoria volátil), lo que le permite tener un acceso más veloz a las instrucciones de programa y a los datos internos de registros, contadores, temporizadores, bits internos, etc. También, una vez que se ha depurado el programa de aplicación, los PLC permiten la opción de salvaguardar el programa en memorias tipo EEPROM (no volátiles) para así recuperar el

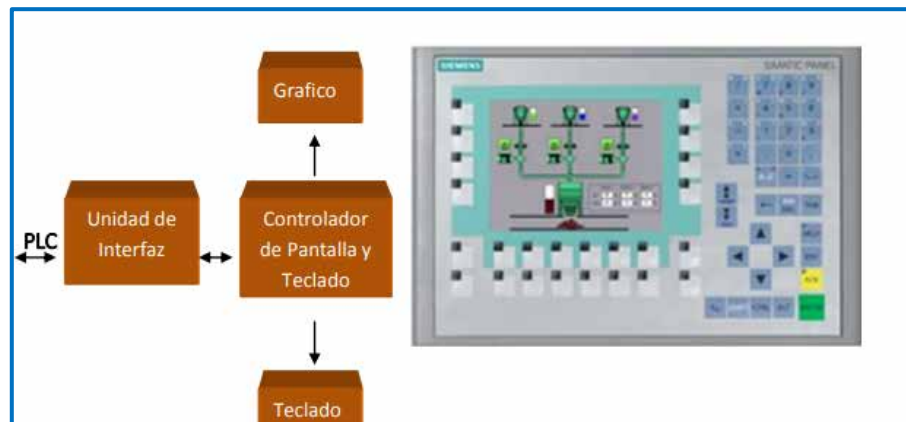
mismo en caso de un corte muy prolongado de energía que ocasiona una pérdida de datos de la RAM.

- **Capacidad modular de entradas-salidas:** esto permite la combinación de distintos niveles y tipos de señal de entrada, así como también el manejo de salidas para distintos tipos de carga. Igualmente si la aplicación crece, y se requiere mayor número de entradas / salidas, casi sin ningún problema los PLC pueden adecuarse al nuevo requerimiento.
- **Auto diagnóstico:** el PLC monitorea el funcionamiento de su CPU, Memoria y circuito de interfases de entrada y de salida, e igualmente funcionamiento del pro medio de led en su cara frontal el estado respectivo. Obviamente esta capacidad es de gran utilidad para efectos de mantenimiento y corrección de fallas.
- **Programación de la lógica de control:** esto permite la fácil adaptación a los cambios en la lógica de operación de las máquinas y procesos.
- **Capacidad para generar reportes y comunicarse con otros sistemas:** con esta facilidad se pueden integrar interfaces de explotación Hombre-Máquina, sacándole al sistema mayor cantidad de información. Igualmente los PLC pueden participar en redes de datos comunicándose con otros PLC para formar sistemas de control distribuidos, o integrándose a las redes administrativas de la producción.

### 3.2.3.2. Interfaz HMI de los PLC

El concepto de visualización surge cuando se comienzan a fabricar máquinas electromecánicas que reciben órdenes de un operador y utilizan interruptores o pulsadores para controlar válvulas lógicas y potenciómetros. Para visualizar variables analógicas se empleaban galvanómetros y para las variables digitales se utilizaban lámparas incandescentes que fueron sustituidas en 1960 por Led. La finalidad de los sistemas de visualización es ver lo que pasa en un proceso, facilitando la extracción de información y el entendimiento de los procesos. Para presentar al operador de una forma amigable y simple los valores de las variables, se implementa una codificación

gráfica conocida como HMI, con ellas se pueden realizar varias tareas como monitoreo, supervisión, alarmas, control, históricos.

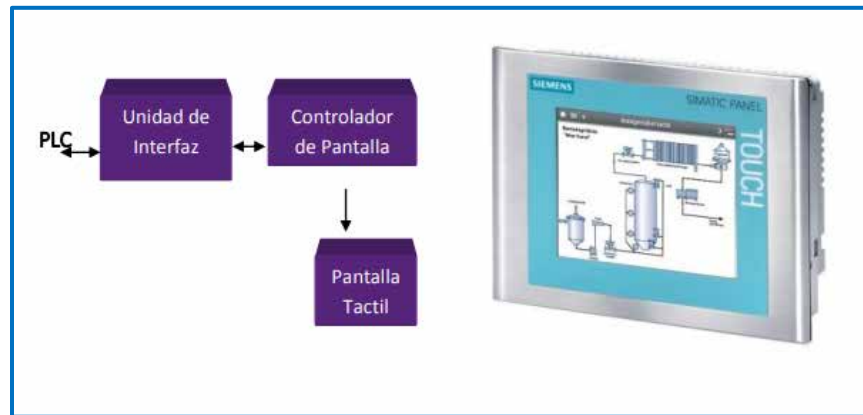


**Fig. 8 Interfaz HMI.**

**Fuente:** <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/6522/1/20Luis%20Boscan.pdf>

Los equipos que pueden visualizar y controlar un proceso industrial se conocen como Interfaz Hombre Maquina, su utilización se ha vuelto necesaria cuando se requiere modificar parámetros del programa de control y dar órdenes a actuadores, recibir información del estado de las variables, y detectar fallos. Hoy en día contamos con varias formas de realizar un HMI, aquí hablaremos de 2: el panel de operación y la pantalla táctil. Los paneles de operación OP (Operation Panel) está formado por una pantalla gráfica, un teclado de pulsadores de membrana, este par de elementos están gobernados por un procesador (controlador de pantalla y teclado) capaz de acoplarse con un PLC mediante un interfaz, en la figura 9 se puede observar el diagrama de bloques de un OP y una imagen de un OP277B de SIEMENS.

Las pantallas táctiles TP (Touch Panel) cuentan con una pantalla gráfica con sensores sensibles al tacto, por lo que la pantalla tiene la función tanto de entrada como de salida y tiene un controlador de pantalla para manejar dicha dualidad, en la figura 8 se puede observar el diagrama de bloques de un touch panel y una imagen de un TP 177<sup>a</sup> de SIEMENS.



**Fig. 9 Diagrama de bloques de un TP.**

**Fuente:** <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/6522/1/20Luis%20Boscan.pdf>

### **3.2.4. PLC Siemens**

El uso de controladores de PLC se ha incrementado en la industria, ayudando a la automatización de procesos cada vez más complejos, y con una mínima cantidad de errores. SIEMENS ha desarrollado varias familias de autómatas programables, los primeros fueron la serie S5-100, le siguió la serie S7-200, S7-300, S7-1200 por último la serie S7-400

#### **3.2.4.1. Programación de PLC**

La norma IEC 1131-3 fue aprobada como estándar internacional para los lenguajes de programación de PLC. Establece como lenguaje de programación de PLC:

- LD: Diagrama a contactos o de escalera (Ladder Diagram).
- IL: Lista de instrucciones.
- FBD: Diagrama de Bloques Funcionales (Function Block Diagram)
- ST: Texto Estructurado
- SFC: Carta de Funciones Secuenciales.

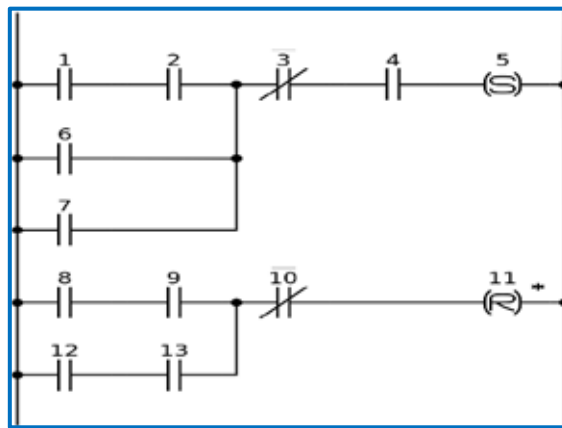
En la programación de los PLC SIEMENS se realiza con STEP7 y se pueden utilizar varios tipos de datos dependiendo de lo que se esté programando.

##### **3.2.4.1.1. Lenguajes de alto nivel**

En esta clase se encuentran los lenguajes gráficos, estos utilizan una interfaz de símbolos para declarar las instrucciones de control, una de las desventajas de estos

lenguajes visuales es que la programación está limitada a los símbolos que se proporcionan.

- **Diagrama escalera o Ladder:** Este lenguaje fue uno de los pioneros ya que fue uno de los primeros en ser utilizados, ya que se asemeja mucho a los diagramas con relevadores. Se le llama de escalera porque es muy similar a la estructura de una escalera, ya que contiene dos rieles verticales, y varios rieles horizontales (en este caso serían los escalones). Este tipo de diagrama se puede observar en la figura 8.



**Fig. 10 Diagrama Ladder o escalera.**

Fuente: <http://dia-installer.de/shapes/Contact/images/Contact.png>

- **Diagrama de bloques:** en este tipo de programación se utilizan bloques de símbolo lógicos. Las salidas no se requieren incorporar a una bobina de salida, porque la salida está asignada en las salidas de los bloques lógicos. Estos diagramas en su mayoría son preferidos por personas acostumbrados a trabajar con circuitos de compuertas lógicas, ya que la simbología utilizada es equivalente. Este tipo de diagrama se puede observar en la figura 9.

### 3.2.5. Calderas Piro tubulares

Este tipo particular de caldera se caracteriza en que los gases de la combustión circulan por el interior de los tubos y el líquido se encuentra en un recipiente atravesado por dichos tubos. Son de aplicación principalmente cuando la presión de trabajo es inferior a 22bar.

Por su diseño, tienen un gran volumen de agua, por lo que suelen estar clasificadas en la clase segunda de acuerdo con lo indicado en el reglamento de equipos a presión en su instrucción técnica complementaria ITC EP-1 Capítulo II Artículo 3. De igual modo debido al alto volumen de agua esto les permite adaptarse mejor a las variaciones de la instalación para diferentes procesos que otros tipos de calderas.

La medición de potencia empleada en calderas varía entre los distintos países, reglamentos y fabricantes, pero para la situación actual se puede explicar que un 1 HP (Horse Power), en términos de producción de caldera equivalen aproximadamente a 15.64Kg/h de vapor saturado desde 100

- b) El encendido, corresponder al periodo de tiempo que comprende entre el momento que se libera el combustible del quemador y cuando se origina la señal de la llama indicada por el dispositivo que se encarga de detectarla.
- c) Post-encendido, o denominado intervalo de tiempo que transcurre entre la primera vez que se detecta la llama y cuando se produce la desconexión en del dispositivo.

### 3.2.5.1. Triángulo de Fuego

El triángulo del fuego representa los elementos necesarios para que se produzca la combustión. Es necesario que se encuentren presentes los tres lados del triángulo para que un combustible comience a arder. Este se compone por 3 componentes (ver Figura 11):

- El combustible: se trata del elemento principal de la combustión, puede encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso, para el caso de las calderas en ELMOR, se hace uso de gas natural suministrado directamente por tubería.
- El comburente: el comburente principal en la mayoría de los casos es el oxígeno.
- La energía de activación: es la energía necesaria para iniciar la combustión, puede ser una chispa, una fuente de calor, una corriente eléctrica, etc.

Y ocurre que al eliminar físicamente alguno de los 3 componentes el fuego se extinguirá por carecer de materia para combustión, esto es de vital importancia para el funcionamiento del control de flama.



Fig. 12 Triangulo de Fuego.

Fuente: <http://www.expower.es/imagen/triangulo-tetraedro-fuego/triangulo-fuego-incendio.jpg>

### 3.2.5.2. Control de Flama

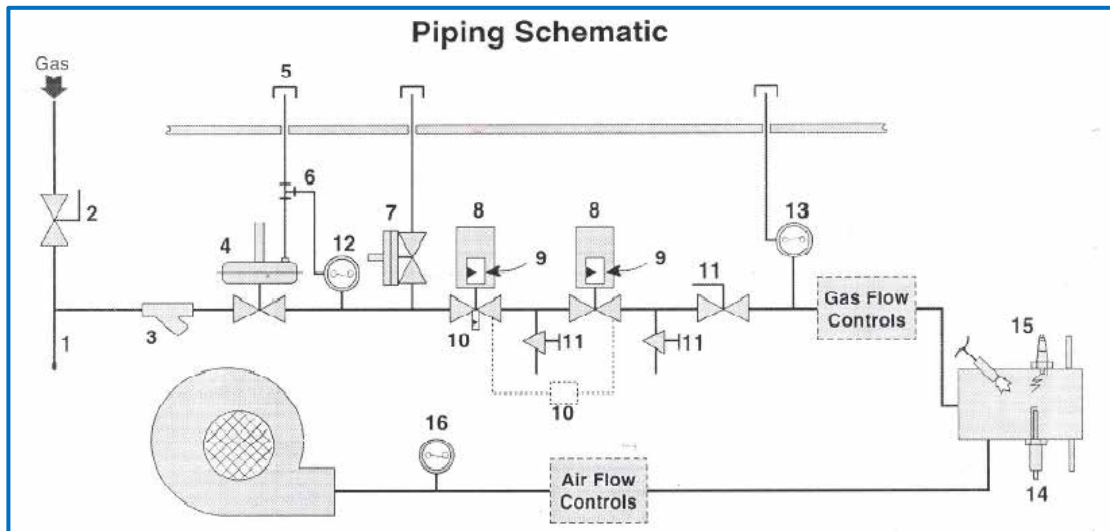
Las Calderas en Laboratorios ELMOR fueron construidas con un control de flama que se rige por las normas de la NFPA (National Fire Protection Association), la cual especifican que el sistema de control de flama mínimo para el óptimo y seguro funcionamiento de una caldera del tipo piro tubular debe ser tal que:

Item	Description	Reference Paragraph
1	Facility to install drip leg or sediment trap for each fuel supply line. Must be a minimum of 3" long.	6.2.5.3
2	Individual manual shutoff valve to each piece of equipment. 1/4 turn valves recommended.	6.2.5.1
3	Filter or strainer to protect downstream safety shutoff valves.	6.2.5.3.3
4	Pressure regulator required wherever plant supply pressure exceeds level required for proper burner function or is subject to excessive fluctuations.	6.2.5.4
5	Regulator vent to safe location outside the building with water protection & bug screen. • Vent piping not required for listed regulator/vent limiter combination. Vent piping not required for ratio regulator/zero governor.	6.2.5.4
6	Gas pressure switches may be vented to regulator vent lines if backloading won't occur.	6.2.5.4.8
7	Over pressure protection required if gas pressure at regulator inlet exceeds rating of any downstream part.	7.7.1.8
8	Two listed* safety shutoff valves required for each main and pilot gas burner system. A single valve can be used for explosion resistant radiant tube systems.	7.7.2.1
9	Visual position indication required on safety shutoff valves to burners or pilots in excess of 150,000 Btu/hr (44 kW).	7.7.1.9
10	Proof of closure switch or valve proving system required for capacities over 400,000 Btu/hr (117 kW).	7.7.2.2
11	Permanent and ready means for checking leak tightness of safety shutoff valves.	7.7.2.3
12	Listed* low gas pressure switch (normally open, makes on pressure rise).	7.8.1
13	Listed* high gas pressure switch (normally closed, breaks on pressure rise).	7.8.2
14	Flame Supervision: • Piloted burners - <i>Continuous pilot</i> : Two flame sensors must be used, one for the pilot flame and one for the main burner flame. - <i>Intermittent pilot</i> : Can use a single flame sensor for self-piloted burners (from same port as main, or has a common flame base and has a common flame envelope with the main flame). - <i>Interrupted pilot</i> : A single flame sensor is allowed. • Line, Pipe, Radiant burners - If the burners are adjacent and light safely and reliably from burner to burner, then a single sensor is allowed if it is located at the farthest end from the source of ignition.	7.9.2 7.9.2.1  7.9.2.2
15	Spark Ignition: • Except for explosion resistant radiant tube systems, direct spark igniters must be shut off after main burner trial-for-ignition. • If a burner must be ignited at reduced input (forced low fire start), an ignition interlock must be provided to prove control valve position. • Trial-for-ignition of the pilot or main must not exceed 15 seconds. An exception is allowed where fuel accumulation in the heating chamber can not exceed 25% of the lower explosive limit and the authority having jurisdiction approves a written request for extended time.	7.4.2.4  7.15 7.4.2
16	Listed* combustion air flow or pressure proving switch (normally open, makes on pressure rise).	7.6.2

**Fig. 13 Descripción del listado de componentes del control de flama.**

Fuente: NFPA Requirements for gas burner Systems, 2003 Edition

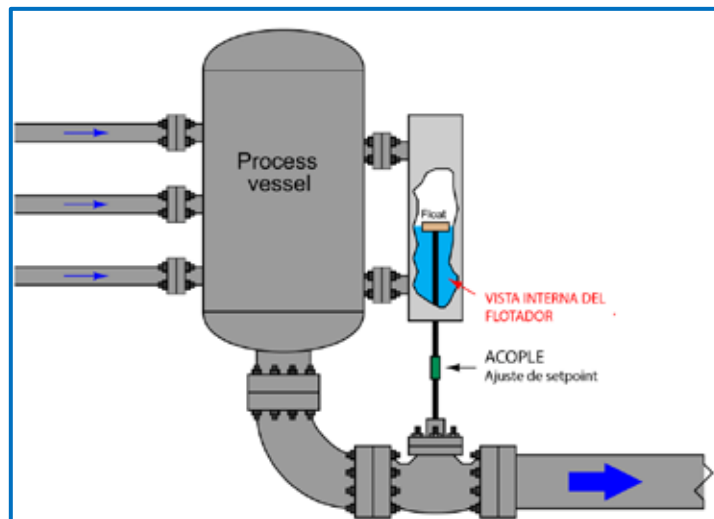
En la figura 13 y 14 se puede apreciar los requisitos mínimos de un control de flama óptimo, válvulas manuales, válvulas de seguridad, sensores y reguladores de presión, un controlador electrónico de flama para constante vigilancia del sistema, entre otros.



**Fig. 14 Diagrama de conexión física del control de flama NFPA.**  
Fuente: NFPA Requieriments for gas burner Systems, 2003 Edition

### 3.2.5.3. Control de Nivel de Agua

Para procesos actuales idealmente el control de nivel de agua para calderas piro tubulares ocurren en 3 fases, cada una para suplantar a la otra en caso de falla.



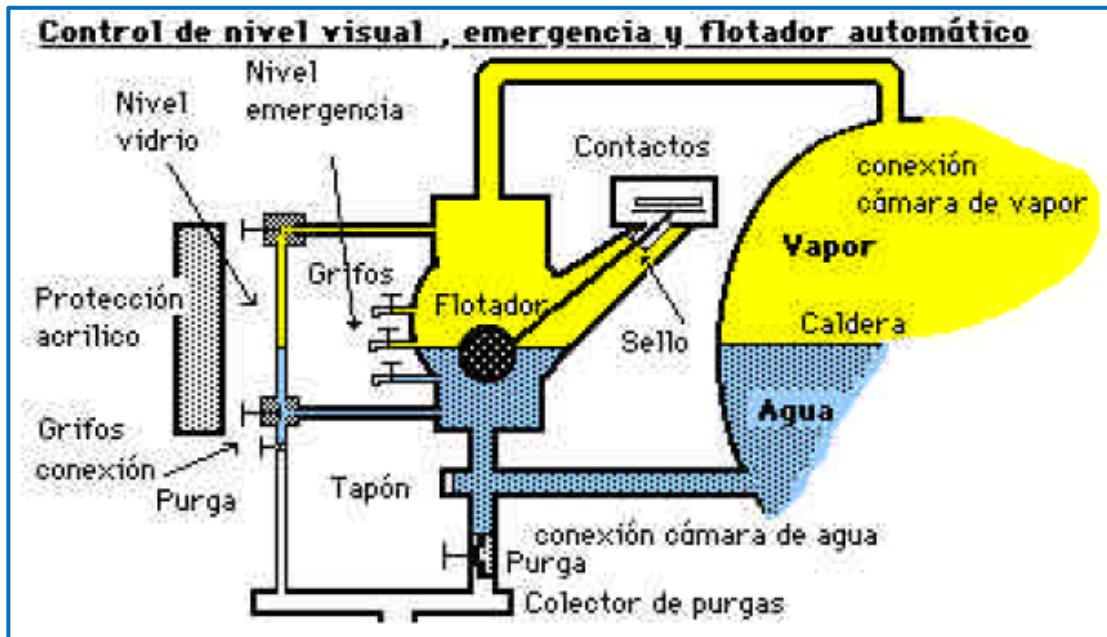
**Fig. 15 Ejemplo de control de nivel de agua todo o nada.**

Fuente: <https://instrumentacionycontrol.net/wp-content/uploads/2011/05/1.-Vessel-control.png>

- Primer control de nivel automático o principal

Su función es controlar que el nivel del agua se encuentre en una zona determinada por encima de los tubos superiores de las calderas, controlando la operación de las bombas de alimentación (usando controles como McDonnell o

similares). Si el nivel de agua llegara a bajar por debajo de su mínimo establecido, el controlador deberá apagar el quemador, activar la alarma necesaria y mantener el quemador apagado hasta que el agua vuelva a su punto de consigna nominal sin necesidad de la intervención del operador. Usualmente las calderas con rango de trabajo de hasta 1000kg/h o de 65HP, poseen nada más este único control de nivel



**Fig. 16 Primer control de nivel automático o principal**

Fuente: Thomasset C., Controles de nivel de calderas humo-tubulares (2011)

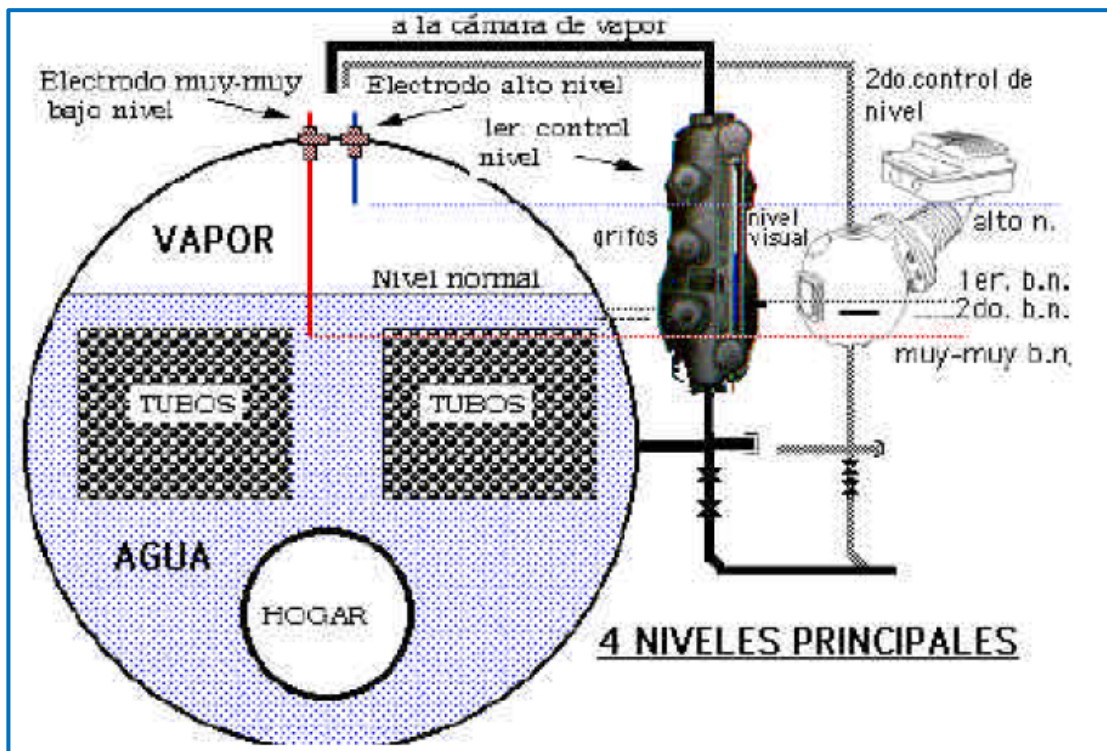
- Segundo control de nivel o respaldo

La función de este segundo control es actuar en caso de que falle el corte por bajo nivel del primer control de nivel, si el nivel de agua baja por debajo del control del primer nivel (en un punto específico), se apaga el quemador, la única diferencia con respecto al primero es que al entrar en funcionamiento de este control el quemador no vuelve a encender hasta que el operador inicie un reset en el sistema. Esta acción permite al operador inspeccionar la razón de la falla del sistema. Este control no actúa en la operación de la bomba de alimentación.

- Control de seguridad por muy bajo nivel

Este control, por lo general en base a un electrodo en contacto directo con el agua de la caldera, detecta el agua por conductividad. La función de este control en caso de accionarse apaga todo el tablero de comando de la caldera, frente a la

posibilidad de que no hayan actuado los controles normales y el quemador permanezca encendido, apaga el quemador y al apagar la bomba de alimentación evita el choque térmico entre el agua de alimentación y los primeros tubos de la caldera. Para esta situación el operador tiene que arrancar manualmente el sistema. Cabe destacar que no todas las calderas piro tubulares poseen este último sistema de control de nivel, usualmente lo poseen calderas piro tubulares de alto valor o calderas acuotubulares.



**Fig. 17 Control de Nivel de agua completo**

Fuente: Thomasset C., Controles de nivel de calderas humo-tubulares (2011).

#### **3.2.5.4. Dureza y oxígeno en el agua en una caldera.**

Para el caso de calderas industriales la dureza en el agua es un parámetro vital para la larga vida y operación de la misma; la presencia de calcio y magnesio, así como otros minerales de naturaleza similar los cuales son menos solubles al calor que al frío, o la presencia de muy alta concentración de sílice en relación a la alcalinidad del agua en la caldera ocasiona incrustaciones en las tuberías y paredes de la misma, reduciendo enormemente su vida útil, razón por la cual se tiene por norma

general que el agua que ingresa a una caldera debe estar clasificada como agua blanda o suave (Ver Cuadro 1).

Las operaciones de eliminación de dureza se denominan ablandamiento o suavizado de aguas y se llevan a cabo con un descalcificador. La dureza puede ser eliminada utilizando el carbonato de sodio (o de potasio) y cal. Estas sustancias causan la precipitación del Ca como carbonato y del Mg como hidróxido.

Otro proceso para la eliminación de la dureza del agua es la descalcificación de ésta mediante resinas de intercambio iónico. Lo más habitual es utilizar resinas de intercambio catiónico que intercambian los iones calcio y magnesio presentes en el agua por iones sodio u otras que los intercambian por iones hidrógeno.

Cuadro 1. Clasificación del agua según su dureza

<b>Tipos de agua</b>	<b>mg/l</b>	<b>°fH</b>	<b>°dH</b>	<b>°eH</b>
<b>Agua blanda</b>				
<b>Agua levemente dura</b>				
<b>Agua moderadamente dura</b>				
<b>Agua dura</b>				
<b>Agua muy dura</b>	>180	>18,0	>10,05	>12,59

Por otro lado la presencia de oxígeno en el agua es igualmente perjudicial para la vida útil de las calderas, pudiendo ocasionar problemas y averías tales como corrosión en las tuberías y paredes de la caldera esto debido a que a temperaturas elevadas, el oxígeno es altamente corrosivo para los metales.

La prevención de la corrosión por oxígeno se consigue mediante una adecuada desgasificación del agua de alimentación y la mantención de un exceso de secuestrantes de oxígeno en el agua del caldero.

### 3.3. Definición de términos

**Automatizar:** Automático o mecanizado nuestros movimientos y acciones, el trabajo y la producción en general.

**Controladores:** Dispositivos electrónicos con fin de lograr que una máquina o dispositivo funcione mediante mandos.

**Interfaz:** Es el mecanismo o herramienta que posibilita esta comunicación mediante la representación de un conjunto de objetos, iconos y elementos gráficos que vienen a funcionar como metáforas o símbolos de las acciones o tareas que el usuario puede realizar en la computadora.

**PLC:** Controladores lógicos programables.

**Proceso:** Conjunto de fases sucesivas de un fenómeno o hecho complejo.

**Programación:** la programación refiere a la acción de crear programas o aplicaciones, a través del desarrollo de un código fuente, el cual se basa en el conjunto de instrucciones que sigue el ordenador para ejecutar un programa.

**Sistema:** Conjunto de cosas ordenadas y relacionadas entre sí. Método o grupo de órganos que regulan una función.

**Software:** está compuesto por un conjunto de programas que son diseñados para cumplir una determinada función dentro de un sistema, ya sean estos realizados por parte de los usuarios o por las mismas corporaciones dedicadas a la informática.

**Dureza (agua):** La dureza del agua se expresa normalmente como cantidad equivalente de carbonato de calcio (aunque propiamente esta sal no se encuentre en el agua) y se calcula, genéricamente, a partir de la suma de las concentraciones de calcio y magnesio existentes (miligramos) por cada litro de agua; que puede expresarse en concentración de  $\text{CaCO}_3$ .

## **CAPITULO IV**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **4.1. Tipo de Investigación**

La presente investigación, está enfocada en la elaboración de una propuesta de “Proyecto Factible” cuya finalidad es arrojar una solución al problema que se desea solventar en Laboratorios ELMOR. De esta manera, el “Proyecto Factible” consiste en la formulación de un programa, método y/o proceso que permita llevar a cabo la resolución del problema obtenido por el diagnóstico previo; no obstante, para su realización se requieren no solo fundamentos teóricos sino también un conjunto de recursos, análisis y conclusiones para conocer su viabilidad, mientras que en investigaciones más amplias, además de lo expuesto anteriormente, se pretende ejecutar la propuesta así como evaluar el proceso y sus resultados (Universidad Pedagógica Experimental Libertador [UPEL], 2016).

#### **4.2. Nivel de la Investigación**

La presente investigación es un modelo orientado hacia una investigación de carácter descriptiva dado que para su realización se debe tomar en cuenta los conocimientos del proceso que se desea controlar, por ejemplo, el funcionamiento en conjunto de las calderas, con la finalidad de estar instruidos para interactuar en su sistema de forma eficiente. En definitiva, para Arias (2012):

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (p.24)

De esta forma, el enfoque se refleja en la investigación proyectiva, dando a conocer que la investigación se lleva a cabo mediante el desarrollo de una propuesta que de alguna u otra forma arroje la futura solvencia de la necesidad o problema. De hecho, Hurtado (2010) plantea que la misma consiste en:

Diseñar o crear propuestas dirigidas a resolver determinadas situaciones. Los proyectos de ingeniería, el diseño de maquinarias, el diseño de programas de estudio, los inventos, la elaboración de programas informáticos, entre otros, siempre que estén sustentados a la hora de una investigación y son ejemplos de investigación proyectiva. (p.133).

### **4.3. Diseño de la Investigación.**

Por lo que se refiere al diseño de investigación, se define como una estrategia que permite al investigador responder al problema planteado en la investigación (Palella y Martins, 2012) a través de un procedimiento general fundamental que garantiza el abordaje eficiente del estudio. De este modo, en base a su contenido y enfoque, el presente trabajo se desarrolla como una investigación tanto de campo como documental, esta última puntualizada por Arias (2012) como:

A fin de solventar la situación del problema planteado en la presente investigación, es necesario adoptar una estrategia general que ayude a dicho propósito, para esto es necesario definir el diseño del proyecto actual, el cual en base a su contenido y el enfoque que se desea sería de campo y documental, citando a Arias (2012) la investigación documental se define:

La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (p.27)

Mientras que la de tipo campo puede explicarse, según el autor anterior, de la siguiente manera:

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (p.27)

Esto incurre en el hecho de que la investigación será efectuada directamente en el área de estudio, en este caso, la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Así

mismo, se recurrirá al apoyo de cualquier material adicional o investigación previa necesaria para responder al problema planteado.

Para lograr dicha investigación, se debe tomar en cuenta el desarrollo de las fases de la investigación.

#### **4.4. Población y Muestra.**

##### **4.4.1. Población.**

Según Arias, F (2012) la población se describe como:

En términos más precisos, la población objetivo es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio. (p.81)

Para la presente investigación, tomando en cuenta lo planteado anteriormente, la población a tomar en cuenta será la sala de calderas, también llamada área o sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A.

##### **4.4.2. Muestra.**

Por otro lado, la muestra es todo aquel subconjunto del que se hace estudio en una determinada población, al cual se le desea aplicar técnicas de recolección de datos. De esta forma, teniendo en cuenta la población definida anteriormente, la muestra actual (del tipo censal), es de igual manera, el conjunto completo de las 3 calderas de la sala de calderas de la Empresa Laboratorios ELMOR S.A.

#### **4.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.**

##### **4.5.1. Técnicas de recolección de datos.**

Para la realización de este trabajo, se hará necesario el uso de técnicas de recolección de datos, las cuales son entendidas como cualquier recurso, tanto digital como en papel, que permita obtener información sobre la problemática a abordar (Arias, 2012).

##### **4.5.1.1. Revisión Documental.**

En relación a la revisión documental, es conocida como la recopilación de información sobre textos e investigaciones generados por otros investigadores que

tienen relación directa o indirecta con la problemática que es razón de estudio. Por ende, Hurtado (2007) define este concepto como:

Una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros como texto en sí mismo constituyen los eventos de estudio. (p.427)

#### **4.5.1.2. Observación Directa.**

La observación directa es un método por el cual el investigador se vale para obtener, tal y como lo dice su nombre, la información directa del análisis que se desea desarrollar. Por esta razón, es concebida como: “La observación directa y natural de los hechos es el punto de partida del método del empirismo. Según Bacon esta observación debe hacerse dejando de lado los prejuicios, a los que este autor llamó idola” (Hurtado, 2010; 112).

De manera que el presente estudio, se vale de la observación directa, específicamente de la situación actual de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR, para obtener ágilmente la información requerida con el deseo de lograr el objetivo de la investigación.

#### **4.5.2. Instrumentos de recolección de datos.**

Arias (2012; 64) define a los instrumentos de recolección de datos como: “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”.

##### **4.5.2.1. Entrevista no estructurada.**

La Torre (2007), asegura que:

La entrevista no estructurada, no requiere menos tiempo de preparación, porque no necesita tener por anticipado las palabras precisas de las preguntas. Analizar las respuestas después de la entrevista lleva más tiempo que con la entrevista estructurada. El mayor costo radica en la preparación, administración y análisis de las entrevistas estructuradas para preguntas cerradas. (p. 26)

Como seguimiento de lo planteado anteriormente, se aplicaran entrevistas no estructuradas al personal que labora en el área, particularmente a los técnicos, ayudantes y supervisores; las cuales serán llevadas a cabo mediante reuniones

autónomas con la finalidad de indagar sobre los métodos utilizados para el control del área y las medidas tomadas en su momento.

#### 4.5.2.2. Carpeta de registros.

Se hará uso de una carpeta de anotación a fin de archivar para posteriormente almacenar toda la información recolectada a un posterior formato digital, o en su defecto para tener acceso a toda la información requerida para su estudio y análisis.

#### 4.5.2.3. Lista de Cotejo

Para evaluar el estado de la sala de calderas, se hará uso de una Checklist o lista de cotejo, instrumento en el que se indica la presencia o ausencia de un aspecto o conducta a ser observada (Arias, 2012), orientada a evaluar la condición del sistema de control, supervisión y alarmado con el propósito de registrar la presencia o ausencia de cualquier comportamiento o aspecto que sea necesario para el análisis y el estudio a futuro del área.

Cuadro 2. Check List o lista de cotejo

N°	Items	Existe	Adecuar	Añadir
1	Control de gas y flama			
2	Control de Nivel de agua			
3	Control por temperatura de la caldera			
4	Control por presión			
5	Sistema de monitorización de las calderas			
6	Sistemas de alarma			
7	Descalcificación y desoxigenación del agua			

Fuente: Hernández (2019)

#### 4.6. Fases de la Investigación.

**Fase I:** “Diagnostico de la situación actual del proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara”.

Actividades:

- Se realizarán la evaluación y observación directa en los puntos de interés relacionados al proceso de generación de vapor de las calderas.

- Estudio de la situación actual de cada caldera, relacionado a su control de flama y de nivel de agua, estado de alarma, tablero de control, supervisión del operario, entre otros.
- Se hará un análisis de la seguridad actual del sistema y el control de distribución.

**Fase II:** “Identificación de las fallas y puntos críticos del proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara”.

Actividades:

Una vez estudiada la situación de la sala de calderas, tanto a nivel de generación como de distribución de vapor se procederá a identificar cuáles son los puntos críticos que pueden afectar al proceso así como las fallas que pueden venir ocasionadas de estos.

**Fase III:** “Diseño del sistema de supervisión y control del proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara”.

Actividades:

- Se realizará investigación mediante la web, tomando referencias e información acerca de los tipos de PLC e HMI, así como los protocolos de comunicación que pueden establecerse entre estos de manera inalámbrica.
- Se tomaran en cuenta las posibles elecciones y se hará un diseño del sistema en base a los equipos que suplan de manera más eficiente la problemática.

**Fase IV:** “Estudio de factibilidad operativa, económica, social y ambiental del sistema de supervisión y control propuesto”.

Actividades:

En esta fase de la investigación, se determinará si el proyecto es factible y viable analizando todos los componentes que beneficien, o bien perjudiquen de algún modo el proyecto, tomando en cuenta el enfoque técnico, operativo y económico.

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS**

#### **5.1. Fase I: Diagnostico de la situación actual del proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara.**

La sala de calderas de los laboratorios ELMOR, se ve compuesto del conjunto de 3 calderas pirotubulares, cada una con su respectivo tanque des-aireador, también llamado “calderin” (caldera especial para tratar el agua que ingresa en las calderas principales, a fin de eliminar en medida de lo posible el oxígeno).

A continuación se precisa la situación general y específica del área de caldera, más precisamente de las 3 calderas, sus tableros de control y alarmas:

##### **5.1.1. Parámetros de trabajo y esquemas físicos generales.**

- Tuberías: cada salida de vapor independiente de las calderas son distribuidas hacia el manifold principal (Figura 3), y desde ella hacia el resto de procesos y manifolds secundarios ubicados en planta y producción, por lo que bajo el principio de Pascal, todas las áreas deberían operar bajo la misma presión de trabajo.
- El agua que ingresa en las calderas, después de un previo tratamiento para eliminar la dureza y el oxígeno en medida de lo posible, pasa a un caldero des-aireador único para cada caldera, misma cual ingresa de forma independiente hacia cada caldera.
- El gas que usa el quemador para iniciar la llama en las calderas es distribuido directamente por una red de tuberías desde PDVSA GAS (ubicada en la misma zona industrial de Laboratorios ELMOR), que llegan al área de calderas, donde ingresan de manera independiente cada lazo de control de cada caldera, por propósitos de seguridad.

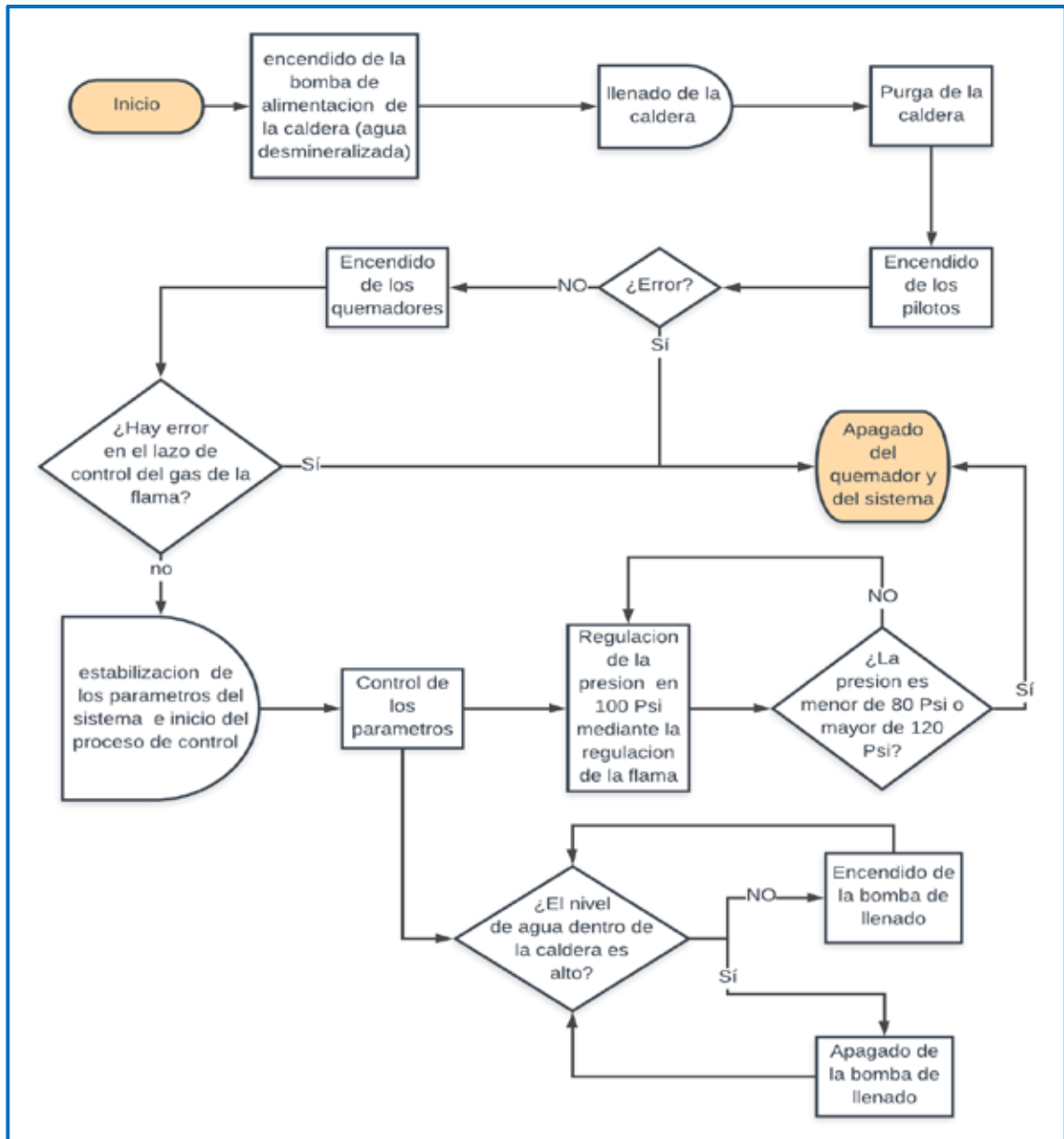
- Presión: la línea general de distribución de vapor en el área de caldera hacia cualquier proceso en planta debe mantener una presión constante entre 80Psi - 120Psi, idealmente de 100Psi.
- Temperatura: la temperatura a la que debe ser distribuido el vapor debe rondar los 100 C, variando hasta 150 C-200 C dependiendo del trabajo de las calderas. Con respecto a las calderas mismas la temperatura interna no es un parámetro que perjudique el sistema a menos que las tuberías sean directamente expuestas al calor sin estar en presencia de agua; en términos de procesos y para los parámetros de consumo de la planta la temperatura máxima interna que debería alcanzar una caldera es a lo sumo 300 C (temperatura que alcanzada sin estas estar provistas de agua ocasiona de manera irreversible daños en la estructura del sistema).
- Nivel de agua: el nivel de agua en cada caldera es controlado por un controlador McDonnell electrónico de alto y bajo, que requiere mantenimiento cada 5 años y reemplazo cada 15 años.
- Dureza del agua: actualmente la medición de la dureza es realizada mediante un kit de medición química, que determina la proporción de calcio y magnesio presente en una muestra. Por otro lado, el proceso de descalcificación se está realizando primeramente, mediante la utilización de sustancias o sales que causen la precipitación del calcio y el magnesio; y en segunda instancia también se hace uso de resinas de intercambio iónico (en este caso boro).
- Oxígeno en el agua: el tratamiento del oxígeno en el área se realiza en 2 fases: la primera, el agua ingresa en un tanque des-aireador a fin de facilitar la liberación de gases disueltos y su posterior eliminación a través de un venteo; la segunda, después de haber ingresado en el tanque des-aireador el agua pasa a unas bombas de tamaño compacto que hacen circular a través del agua secuestradores de oxígeno (Ver Fig. 18); completadas estas 2 fases el agua ingresa mediante la bomba de alimentación hacia la caldera, este proceso actualmente solo ocurre en la caldera 3, ya que es la única habilitada con los secuestradores de oxígeno.



**Fig. 18 Proceso de desoxigenación del agua en las calderas**  
Fuente: Hernández (2019).

- En el estudio de la zona se determinó que el proceso de encendido y control de parámetros de las calderas 1 y 2 es el mínimo necesario para la operación y el arranque de estas (Ver Fig. 19); el proceso inicia con el llenado de la caldera con agua previamente descalcificada y desoxigenada, acto seguido inicia la purga interna de las tuberías por las que circula la flama mediante el encendido del ventilador regulador de flama, a fin de retirar cualquier posible residuo de combustible de algún funcionamiento previo; se enciende la flama piloto y el sistema de control de flama (Ver Fig. 14), verifica que no haya ninguna falla, si el proceso ocurre sin percances se enciende el quemador principal y arranca el motor-ventilador regulador; nuevamente en caso de haber problema el control de flama apagara el sistema y el quemador, reiniciando todo el proceso hasta que el operador haga su inspección; se estabiliza la producción de vapor en la línea principal (mediante un conjunto de medidores de presión el sistema controla el consumo y la flama dentro de la caldera) entrando el sistema en bucle que en caso de detectarse que la presión en la línea se salga de los parámetros de presión establecidos (120 Psi máximo y 80 Psi mínimo) apagara todo el proceso; el control de nivel de agua es controlador por un medido de nivel McDonnell de alto y bajo, si el nivel es

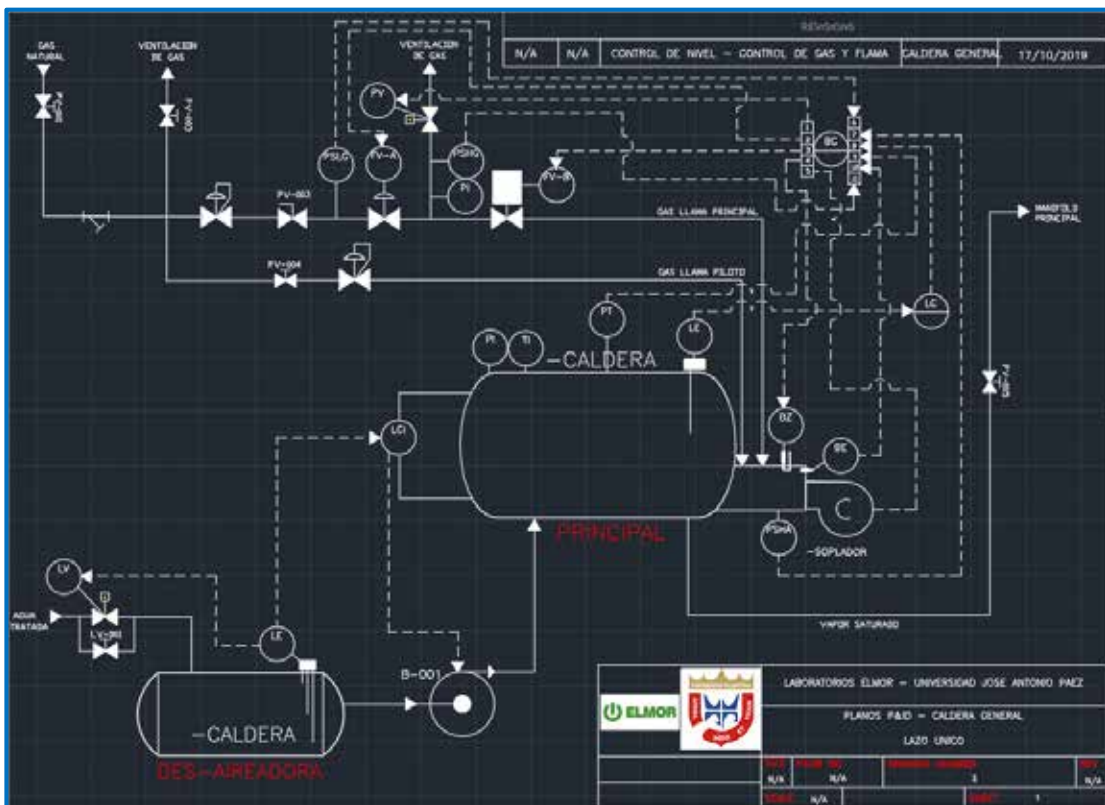
se apagara la bomba de alimentación; si es bajo se encenderá la bomba de alimentación; mientras la caldera esté funcionando dicho proceso ocurrirá indefinidamente. La única diferencia con respecto a la caldera 3 es que dicha caldera cuenta con un control de nivel de 3 pasos, por lo que en caso de fallar el control principal se apagara el quemador hasta que el operador atienda la falla.



**Fig. 19 Diagrama de flujo (arranque y control de parámetros de las calderas 1 y 2)**

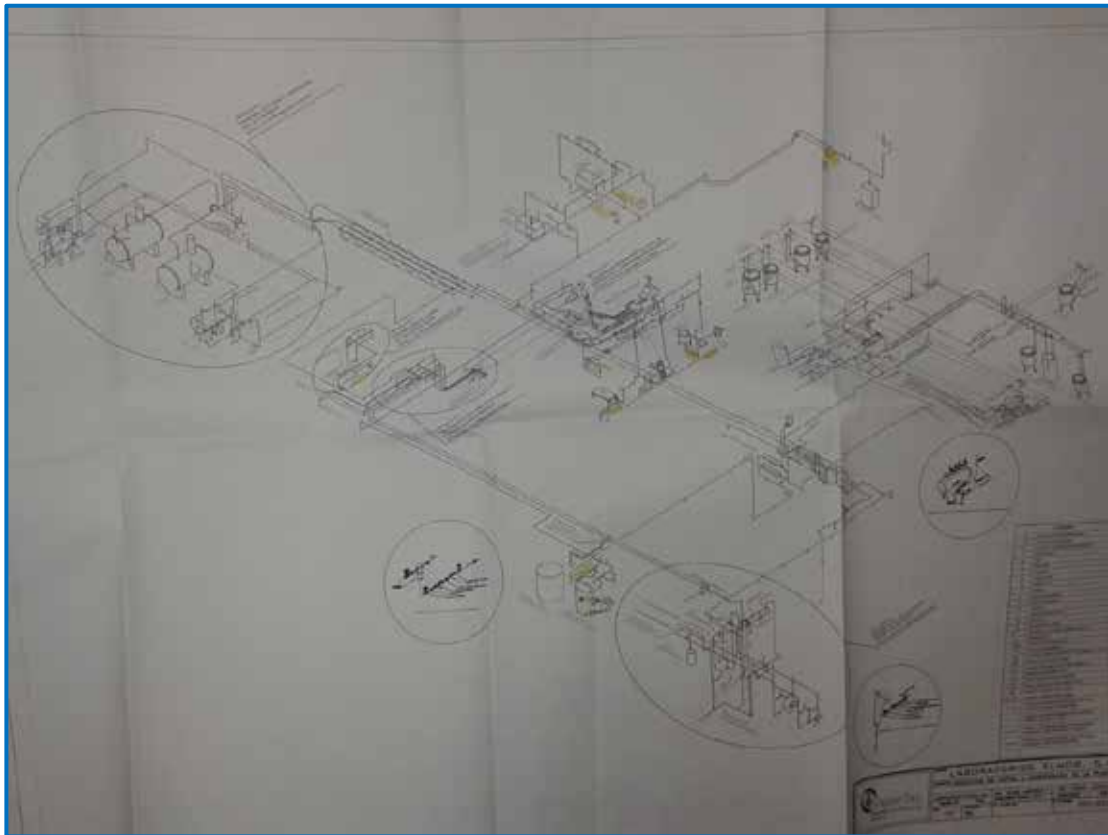
Fuente: Hernández (2019).

- El control de nivel de cada caldera es impediendo del quemador o la temperatura de la caldera principal. La bomba de alimentación es controlada de forma tal que esta depende del nivel del “calderin”.
- El “calderin”, posee 3 sensores de conductividad de alto, medio y bajo nivel de agua, además de una electroválvula de llenado que actúa dependiendo del nivel de agua de esta. En el nivel alto mientras el sensor de conductividad permanezca “conduciendo” se mantendrá cerrada la electroválvula y se habilitara el encendido de la bomba de alimentación; en el nivel medio se habilita la electroválvula; en el nivel bajo, mientras el sensor siga conduciendo el sistema seguirá operando igual, pero en caso contrario de dejar por debajo del mínimo de este sensor se apagará automáticamente el calentador y se deshabilitara el encendido de la bomba independientemente de la señal de control del McDonnell.



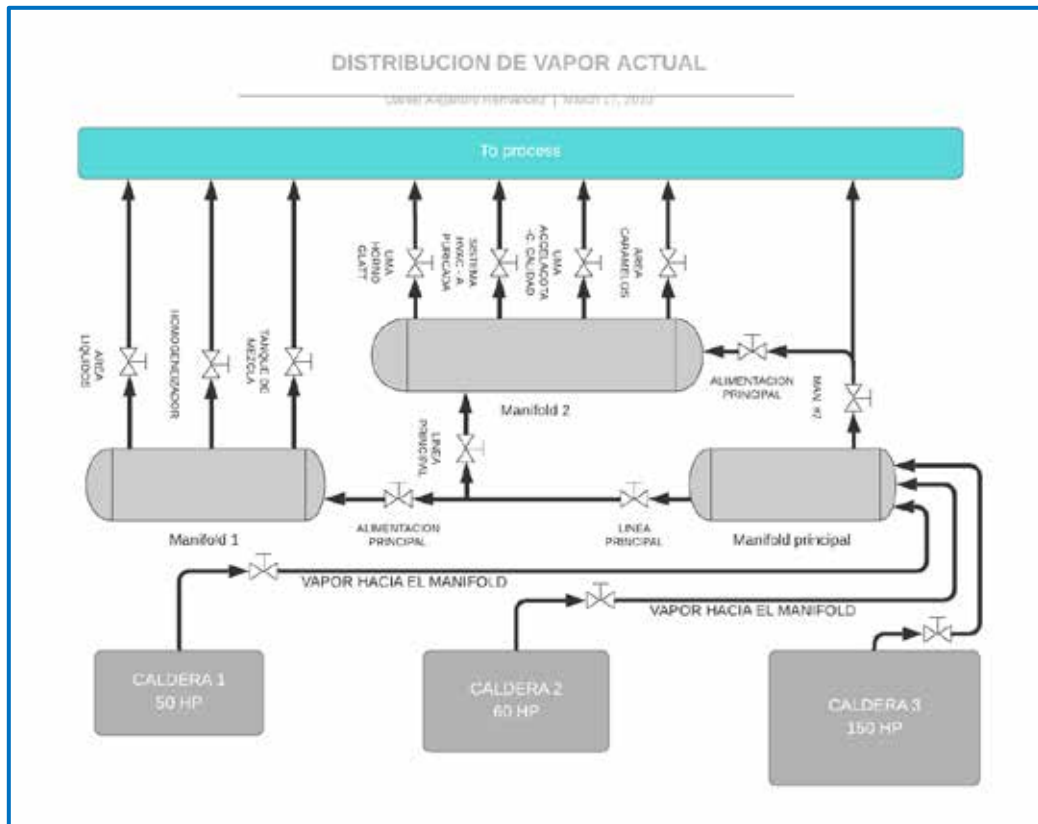
**Fig. 20 Diagrama PI&D - Caldera - General**  
Fuente: Hernández (2020).

- Durante el Diagnóstico y el estudio de la sala de calderas se determinaron los parámetros de operación durante funcionamiento, en el caso de las calderas 1 y 2 el rango promedio de funcionamiento respecto a la temperatura en la chimenea de la caldera es de 150 C; la caldera 3 tiene un promedio de 220 C - 250 C y para la presión interna todas están parametrizadas en 100Psi.
- La distribución de vapor se inicia directamente en la sala de calderas donde la salida de cada caldera desemboca en el manifold principal ubicado en la misma sala, desde ahí se distribuye hacia 2 manifolds (ambos ubicados en el segundo piso de planta – Mezzanina, zona restringida) que proveen de vapor a todos los procesos en planta. En la Fig. 21 se detallan todas las terminaciones y tuberías de vapor que circulan en Laboratorios ELMOR, dichas tuberías pueden verse resumidas en la Fig.22 donde se resaltan aquellas que poseen válvulas manuales y que área de la empresa alimentan.



**Fig. 21 Distribución de vapor - Laboratorios ELMOR**

Fuente: Laboratorios ELMOR



**Fig. 22 Distribución de vapor - Manifolds y válvulas manuales**  
 Fuente: Hernández (2020).

**5.1.2. Caldera 1.**



**Fig. 23 Caldera 1 (estado actual).**  
 Fuente: Hernández (2019).

En la figura 18 se ilustra una caldera pirotubular de 50 HP (que en términos de producción de vapor serían unos 780 kg/h), con una fecha de instalación aproximada de 1960-1980, siendo la primer caldera en ser instalada en laboratorios ELMOR dicha caldera contaba con un control de nivel, gas y flama obsoleto para aplicaciones de seguridad y control actuales.

Actualmente la caldera 1 consta del tablero de control de la caldera 2, además de varias tuberías de la misma, así como los presurestroles (Preostato de nivel bajo y alto) y partes del sistema de control de flama de la caldera 2, de igual forma el medidor McDonnell también fue reemplazado. Todo debido a la obsolescencia del sistema de la caldera, estado actual (inoperativo) de la caldera 2, y el estado de inoperatividad previo de la caldera 1, causa del tablero de control fuera de servicio.

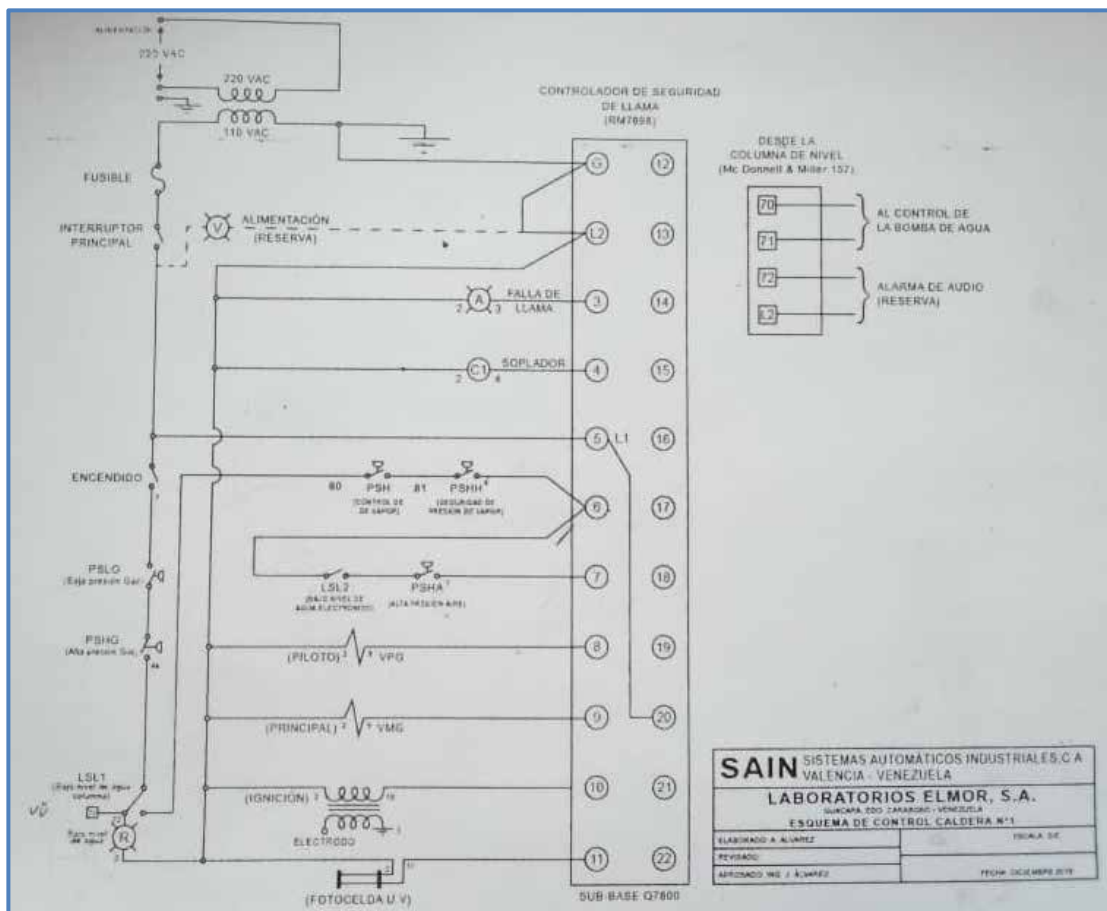
El tablero que actualmente posee la caldera está en pos de remodelación, cambiando todo el sistema de control electrónico de flama, Nivel y presión. El proceso de arranque de la caldera 2 era plenamente controlado por un sistema electro-mecánico, de ejes rotatorios temporizados que daba medida a todo el proceso (Figura 24).



**Fig. 24 Tablero de control de la caldera 2 (en la caldera 1)**

Fuente: Hernández (2019).

En cuanto al sistema de control de gas y flama, el actual cumple con las especificaciones pedidas según la norma NFPA 2013 para un óptimo funcionamiento de calderas, se planea implementar un control por Burner Control Honeywell en conjunto con un Guard Dog McDonnell (controlador electrónico capacitivo por muy bajo nivel de agua), el tablero que se planea implementar se puede apreciar en la Fig. 25. Por otro lado el control de nivel de agua era el mínimo necesario para este tipo de calderas (un solo controlador McDonnell electrónico de nivel de agua, ON-OFF), sin control por muy bajo nivel de agua.



**Fig. 25** Diseño del futuro control de gas y flama de la caldera 1.  
Fuente: Laboratorios ELMOR

### 5.1.3. Caldera 2.

Es una caldera pirotubular de 60 HP (que en términos de producción de vapor serían unos 936 kg/h), con una fecha de instalación aproximada de 1980-1990, adquirida debido a la alta demanda de fármacos y la necesidad de suplir las

exigencias del mercado en pro de expandirse. La caldera des-aireadora destinada a proveerle agua precalentada se encuentra fuera de funcionamiento por estar la caldera misma fuera de servicio hasta su reparación y puesta en marcha.



**Fig. 26 Caldera 2**

Fuente: Hernández (2019).

Conviene destacar que situación que ocasiono la inoperatividad de esta es debido a que dicha caldera solo poseía un controlador McDonnell de nivel, donde el seguro a una falla en el controlador de nivel que ocasionó que ésta se quedara sin agua y el controlador no enviara la señal de apagado al quemador, sobrecalentándose, la caldera, internamente, y alcanzando una temperatura aproximada de 400 C; situación que no pudo ser evitada puesto que ocurrió durante altas horas de la noche, resultando en la ausencia del personal encargado del área de las calderas. Además, las tuberías y el interior de la caldera sufrieron un choque térmico que perjudicó de manera permanente el interior de la caldera, causado por una falla de un operador, quien apagó el sistema permitiendo que el agua ingresara de manera manual.



**Fig. 27 Tuberías internas de la caldera 2**

Fuente: Hernández (2019).

Como se puede apreciar en la figura 21, además de la deformación térmica, se distinguen incrustaciones y corrosión en las paredes metálicas de la tubería. Ante esto, Laboratorios ELMOR se encuentra analizando la reparación y el reacondicionamiento de la caldera.



**Fig. 28 Tablero de control de la caldera 1 (en la caldera 2).**

Fuente: Hernández (2019).

El tablero visible en la figura 22, carece de controlador de nivel de agua, así como controlador de gas o flama, se observa la falta de mantenimiento del mismo, cabe resaltar la inoperatividad actual de este.

#### 5.1.4. Caldera 3.



**Fig. 29 Caldera 3 durante operación**

Fuente: Hernández (2019).

Por último, en la Figura 23, se advierte una caldera de 150 HP (que en términos de producción de vapor serían unos 2340 kg/h), suple de manera relativa la necesidad de producción al tener casi el triple de capacidad en conjunto de las otras dos calderas. La misma, fue instalada a mediados del principio de milenio (2000 - 2005). Posteriormente, debido a que dicha caldera solo poseía el control mínimo de nivel de agua ( un solo controlador McDonnell electrónico simple) y al total vaciado de su tanque des-aireador, la misma se vio totalmente desprovista de agua operando durante un periodo de tiempo prolongado a altas temperaturas sin agua dentro del sistema, sufriendo, una avería de dilatación térmica en la cámara principal interna, deteriorando la mayoría de las tuberías por donde ingresa el fuego (situación similar a la de la caldera 1, solo que, al ser de mayor tamaño y capacidad de producción, el daño fue mayor).

Laboratorios ELMOR realizó un análisis de costos entre reparar y reinstalar las calderas 1 y 2 o reacondicionar la caldera 3. Después de la evaluación, la reparación y el reacondicionamiento de la caldera 3 resulto más factible económicamente. Por consiguiente, se instaló un nuevo tanque des-aireador, se cambiaron las tuberías de

vapor, de agua y de gas, asimismo, se instalaron nuevos controlares de flama y nivel, se cambió el tablero de control y se modernizó el proceso de control de flama, nivel y agua de acuerdo a las normas NFPA 2013 (vigentes aun hoy en día).



**Fig. 30 Tablero de control de la caldera 3**

Fuente: Hernández (2019).

El tablero de control consta de luces pilotos para las distintas alarmas, así como una correcta identificación de los planos y la circuitería relacionada, breaker principal y secundarios, contactares, y un controlador electrónico de nivel McDonnell actualizado al igual que un control quemador marca Honeywell. El Plano de eléctrico con respecto al Burner control es esencialmente el mismo que el que se desea implementar en la caldera 2, la diferencia radica en que esta al ser de mayores prestaciones se toman en cuenta estados de bajo consumo y alto consumo vapor, además de mayores seguros en caso de falla como la implementación de 2 controladores McDonnell de llenado y de seguro por falla del primero; el plano de control de nivel funciona de la misma forma que las caldera 1 y 2, se procederá a detallar este: el control recibe la señal del Mcdonnell y manda a llenar la caldera mientras la caldera des-aireadora posea agua de quererse se puede habilitar el llenado

manual de la misma bajo la misma condición de que la caldera des-aireadora no esté plenamente vacía. Por derechos de privacidad e información no es posible incorporar fotos de los planos eléctricos.

### 5.1.5. Sistemas de alarma.

El área de calderas posee un sistema de alarma de solamente lógica relemática que vigilaba únicamente si la caldera 1 o 2 se alarmaba (fuera cual fuese la causa), y que mediante un presurestrol (Preostato de 2 niveles) y un conjunto de relés temporizados, se activaba si fallaban las calderas o si la línea de suministro hacia la planta excedía los 120Psi o era inferior a los 80Psi. Actualmente no se encuentra en funcionamiento, debido a que la sirena que accionaba sufrió de una avería.



**Fig. 31 alarma de las calderas 1 y 2**

Fuente: Hernández (2019).

El área no dispone de un plano eléctrico o lógico de uso para la alarma actual por lo que se ha dejado totalmente inutilizada en el área.

De la situación general y específica obtenida se hará un estudio para identificar las fallas asociadas a la sala de calderas, además de hallar y remarcar los puntos críticos de control del sistema de generación y distribución de vapor.

**5.2. Fase II: Identificación de las fallas y puntos críticos del proceso de generación de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara.**

**5.2.1. Lista de cotejo.**

En base a los resultados obtenidos en la fase I se identificó una lista cuyos Items guardan relación directa con el estado del área, señalando si dicho Item existe o existía en el área, de existir remarcar la necesidad de adecuar si es necesario y en caso de no existir remarcar si dicho Item requiere ser añadido al sistema de una caldera o al conjunto de las 3 calderas.

Se resalta además que la misma lista es válida para el conjunto de las 3 calderas a excepción del Item N° 2, donde la caldera 3 cumple con el sistema de controlares necesarios para su correcto control nivel, lo que es decir que la adecuación del control de nivel solo es necesaria para las caldera 1 y 2.

Cuadro 3. Lista de cotejo - Resultados.

N°	Items	Existe	Adecuar	Añadir
1	Control de gas y flama	X		
2	Control de Nivel de agua	X	X	
3	Control por temperatura de la caldera			X
4	Control por presión	X		
5	Sistema de monitorización de las calderas			X
6	Sistemas de alarma			X
7	Descalcificación y desoxigenación del agua	X	X	

Fuente: Hernández (2019).

**5.2.2. Puntos críticos:**

**5.2.2.1. Temperatura.**

- Ninguna caldera posee un seguro por sobre-temperatura, aunque ninguna norma especifique que el control tenga que ser regido por este parámetro, el caso de estudio ha demostrado que se requiere una adecuada monitorización de la temperatura de todas las calderas en caso de exceder un punto límite y en que falle cualquier control.

#### **5.2.2.2. Presión de vapor:**

- La presión en la que tiene que mantenerse la línea es idealmente 100Psi, durante el estudio del área se identificó la problemática de que en caso de fallar una caldera y requerir asistencia del operador, si no hay consumo de vapor, la línea de distribución mantiene la presión aunque no esté en funcionamiento ninguna caldera, ocurrencia que provoca la tardía revisión del sistema y la pronta solución de cualquier falla.
- Durante el horario de producción (7:30AM-3:30PM), es de vital importancia mantener la presión de vapor en un promedio de 100Psi, de caso contrario pueden verse afectados procesos en producción, tales como: empaquetamiento, limpieza, tratamiento de materia prima, estudios y análisis en control de calidad de productos. Si durante alguno de estas procesos se ve interrumpido el suministro de vapor, pueden devengarse consecuencias tales como atraso en la línea de producción, pérdida de horas/hombre en trabajo, pérdida de materia prima, pérdida en productos en línea, lo que puede deducirse en una pérdida monetaria para la empresa.

#### **5.2.2.3. Nivel de agua.**

- Los lineamientos generales en cuanto a control del nivel de agua de una caldera no establecen estrictamente que para modelos de relativamente baja producción (como ya se mencionó, inferior a 1000Kg/hr de vapor) se requieran más de un control de nivel, se ve necesario implementar mínimo 2 para cualquier tipo de caldera a fin de evitar las fallas observadas durante la Fase I
- El llenado de la caldera es controlado por el McDonnell más sin embargo el control de nivel es independiente del estado mismo de la caldera. El proceso de llenado depende de 2 variables, primero la señal de llenado del McDonnell y segundo el nivel de agua de la caldera des-aireadora

#### **5.2.2.4. Monitorización y alarmas.**

- Es indispensable un sistema de alarma y aviso, tanto sonoro como visual en caso de fallar u ocurrir alguna problemática relacionada a las calderas.

- Los parámetros de temperatura, presión de vapor, y nivel de agua de las calderas deben ser controlados, medidos y monitorizados en todo momento, sin necesidad de excesiva intervención del operador
- Es indispensable saber qué área de la empresa está siendo distribuida de vapor para evitar pérdidas innecesarias en aquellas zonas que no requieran de suministro en determinados periodos de tiempo.

#### **5.2.2.5. Mantenimiento.**

- A fin de poder solventar fallas en el sistema de cada caldera, es necesario poder identificar que parte del mismo falla, hacer su adecuado análisis y mantenimiento
- Cada caldera debe tener un paro de seguridad, cada 4 horas para verificar el correcto funcionamiento del control de nivel de agua, el quemador de gas y el controlador de flama, proceso requiere una correcta supervisión del sistema.
- Los operadores de la sala deben estar pendientes en todo momento del estado de las calderas des-aireadoras reduciendo su tiempo eficiente en realizar actividades, y el personal nocturno no tiene forma alguna de saber el estado el estado del proceso.
- Actualmente el proceso de descalcificación y desoxigenación del agua es altamente ineficiente, debido a que los tanques des-aireadores producen una enorme pérdida en condensado.

#### **5.2.3. Fallas en el área.**

- Actualmente el área de calderas carece de sistemas de alarmas. La caldera 2 y 3 poseen luces piloto en sus respectivos tableros de control en caso de falla, mas sin embargo, trabajan de forma independiente, situación que ha incurrido en el caso de que al llegar a apagarse alguna caldera por seguridad, cualquier otra caldera operativa mantiene estable la presión en la línea, por lo que en caso de fallar alguna el operador no puede darse cuenta hasta ingresar al área.
- identificar que falla pudo ocurrir en el apagado del sistema de cualquier caldera es un proceso dificultoso y poco eficiente, además, más allá de la propia capacidad del operador en planta designado al área de caldera, el

análisis de fallos es más un proceso más que nada empírico en vez de analítico.

- Se ha registrado que durante el horario nocturno, las calderas han fallado y el operador no se ha percatado hasta que llegado al horario diurno se recibe un aviso en las línea de producción de que no existe presencia de vapor, situación que se traduce que durante el proceso de encendido de las calderas, se retrase enormemente todos los procesos en producción. El tiempo de perdida promedio obtenido durante el estudio fue de aproximadamente 20 minutos mientras arrancaba la caldera y de 1 a 2 horas mientras el sistema estabilizaba la presión en la línea de vapor (cifra obtenida del personal en las calderas).
- Es necesario un control de seguridad para impedir el paso de agua hacia las calderas en caso de sufran una falla por nivel de agua, y estas se sobrecalienten.
- Se carecen de planos de instalación eléctricos y de control de las calderas 1 y 2, por otro lado la caldera 3 carece de diagrama de control o diagrama PI&D. No se dispone de un diagrama de flujo de encendido ni operación de las 3 calderas más allá del realizado durante el estudio del área.

### **5.3. Fase III: Diseño del sistema de supervisión y control del proceso de generación y distribución de vapor de la sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. Planta Guacara.**

#### **5.3.1. Diseño conceptual**

La propuesta de diseño del sistema consiste en la elaboración de un programa de lenguaje de programación del tipo Ladder en Step 7 que permita monitorizar y visualizar desde el HMI la presión de vapor en línea general de distribución; la temperatura interna en cada caldera y en caso de sobrepasar la temperatura consigna máxima apagar el sistema por seguridad e impedir el ingreso de agua dentro de la caldera cerrando una electroválvula en la entrada de agua mientras deshabilita el control manual de la bomba de alimentación; el estado del nivel de agua (alto o bajo) dentro de cada caldera en conjunto con su respectivo controlador de nivel McDonnell así como la acción de emergencia de un Guard Dog McDonnell (el cual trabaja en

conjunto con el burner control); el estado de la flama supervisada por el Burner control en conjunto con los sensores respectivos del lazo de seguridad del sistema de control de gas y flama. El estado del calderin es Vital para saber cuándo se ha vaciado el suministro de agua des-mineralizada del sistema, así como para interactuar de manera eficiente con el control de nivel, por lo cual a través del sistema se monitorizara y controlara en caso de requerirse todo el proceso del control de control de nivel de agua, se controlara haciendo uso de 3 sensores de conductividad de nivel bajo, medio y alto; si se pierde la continuidad en el nivel bajo estará desactivada la bomba y activa la electroválvula, la bomba estará siempre que haya señal de retorno de los sensores y la electroválvula se desactivara en el nivel alto, todo esto implementando la variable de la temperatura interna dentro de la caldera al momento de permitir el flujo de agua desde la bomba hasta la misma caldera.

Desde la HMI se podrá controlar mediante el uso de electroválvulas que zona de la empresa es distribuida con vapor desde el manifold principal y desde el manifold 1 y 2; el llenado de las calderas manualmente; el reinicio del sistema electrónico así como alarmar de manera visual y sonora (con el uso de una sirena) en caso de falla control de nivel de agua, gas, flama y de temperatura.

El proceso de encendido, control y de seguridad de cada caldera será corregido añadiendo un lazo de control de temperatura tanto al proceso de encendido de la caldera como al de apagado de emergencia, asegurando que la misma no sufra daños por variación térmica interna además de avisar al personal en caso de cualquier falla, de igual manera mejorando el control general del sistema (ver Fig. 28).

La supervisión de cada caldera se hará mediante el enlace de un sensor de temperatura con el PLC, así como el uso de los equipos ya pertenecientes al sistema como lo son el controlador de nivel McDonnell además de un controlador Guard Dog McDonnell Miller (controlador que apaga el sistema en caso de bajo nivel de agua extremo) que se hace necesario para cada caldera, aditamento que ya posee la caldera 2; un Burner control para su respectivo lazo de control de gas y flama, específicamente los sensores de presión de bajo nivel, alto nivel de gas y de presión de aire dentro de la caldera.

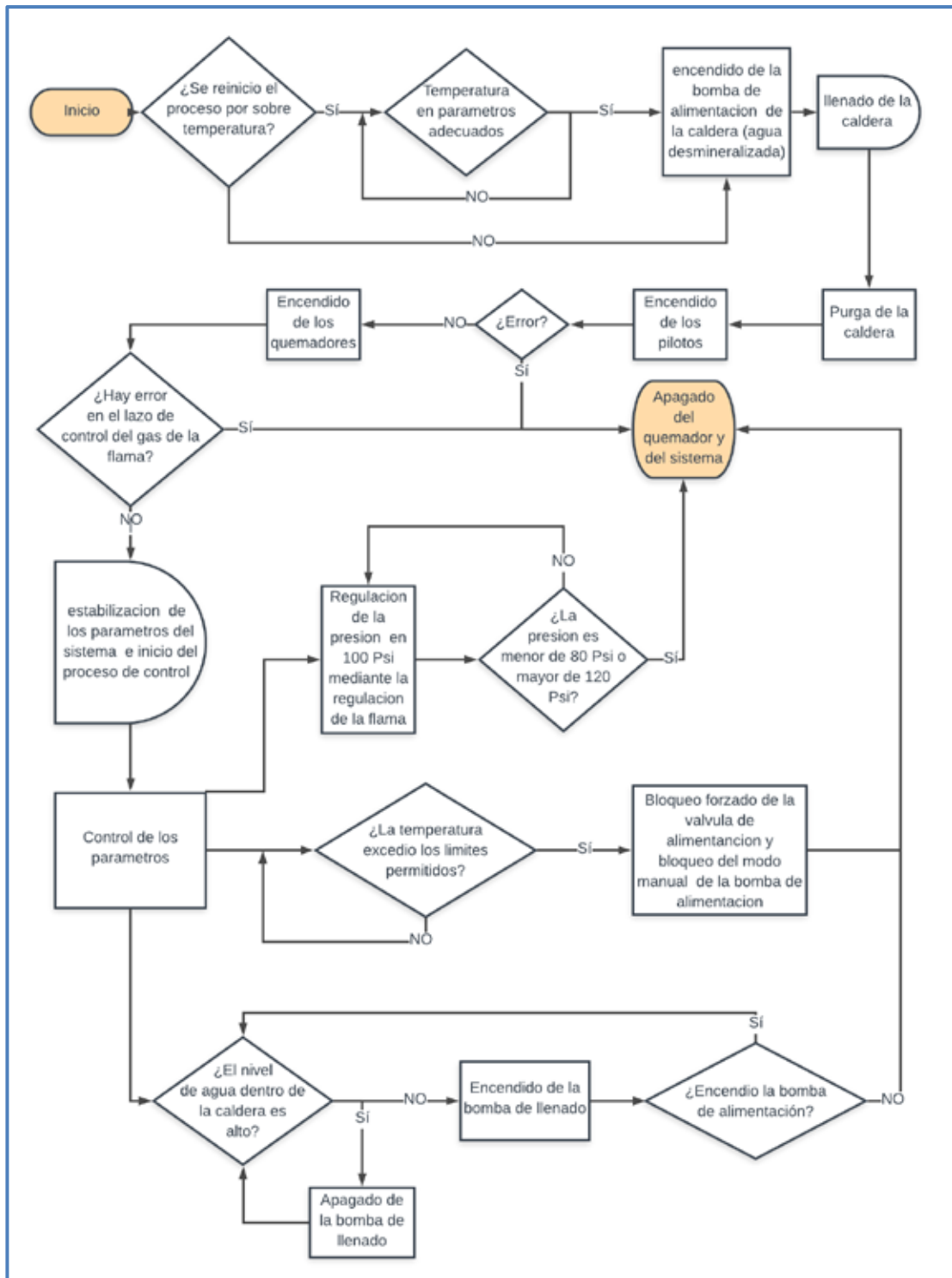
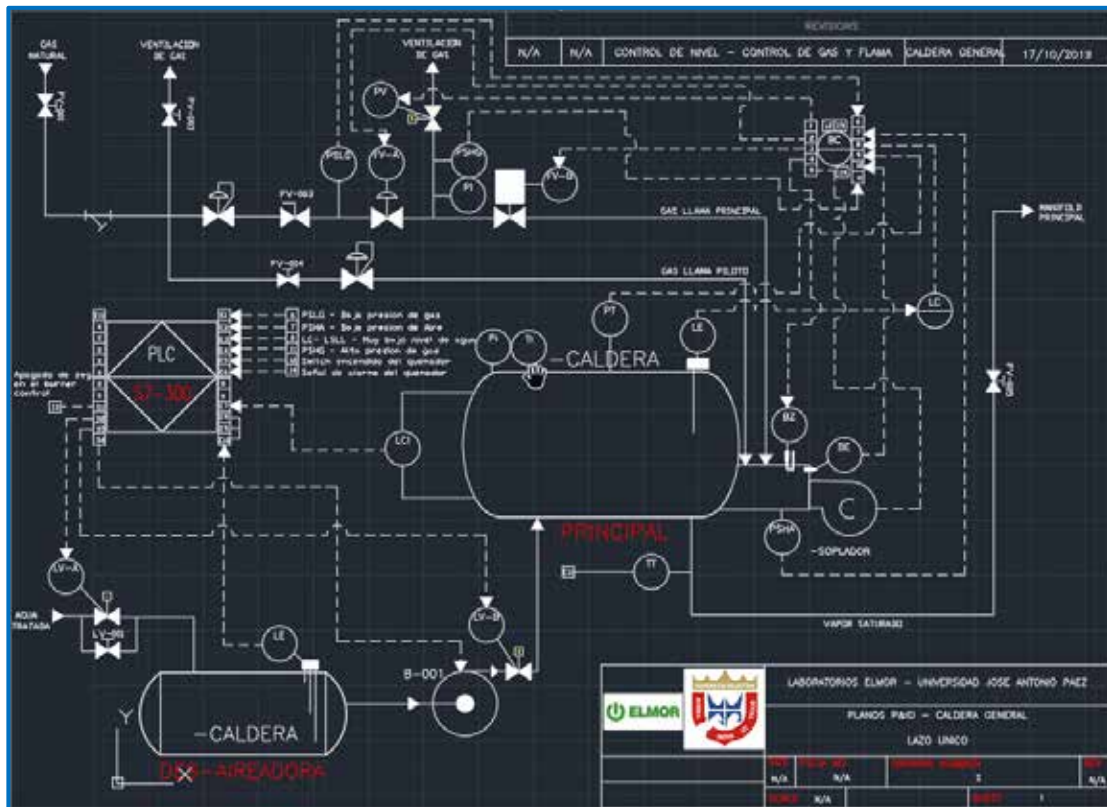


Fig. 32 Diagrama de flujo del proceso a diseñar.  
Fuente: Hernández (2020).

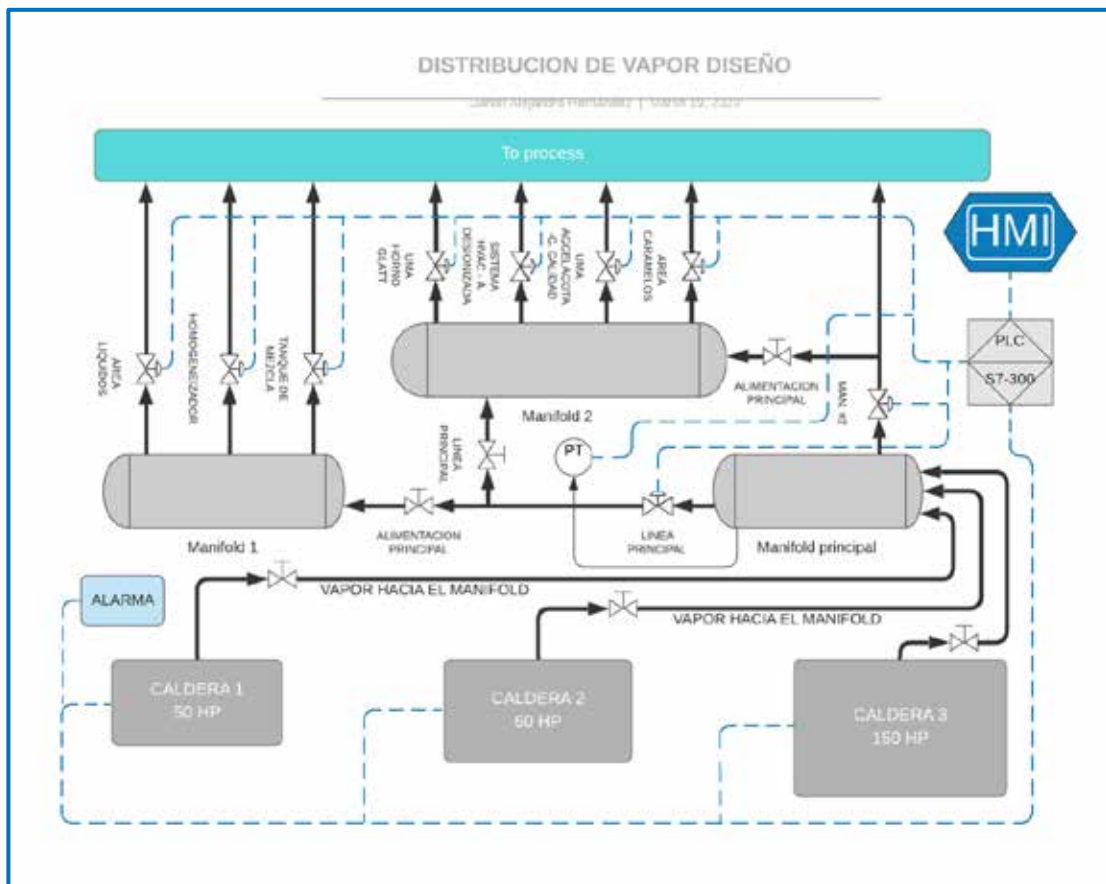


**Fig. 33 Esquema individual de una caldera del proceso diseñar**

Fuente: Hernández (2020).

En la Fig. 33, se diseña un diagrama PI&D (bajo el uso de la norma ISA-S5.4) del sistema individual de control que cada caldera debe poseer, respetando las normas de color para tuberías de líquido (verde-agua), gas natural (amarillo) y vapor (en este caso negro aunque la norma especifique que estas deben ser identificadas de color blanco). Para la supervisión del vapor en línea general de distribución se dispondrá de un Transmisor de presión Siemens electrónico adecuado para el rango de trabajo de hasta unos 420 Psi o 30 Bar para enlazar con el PLC, además toda la monitorización del sistema, el control de las electro-válvulas de distribución de vapor hacia la planta así como su verificación de apertura mediante el uso de preostatos o sensores de presencia de presión similares a los del sistema de control de gas y flama, se controlaran mediante el HMI (ver Fig. 34).

Los equipos e instrumentos a realizar para el diseño, por preferencia facilitadora y en marco realista ya que la empresa Laboratorios ELMOR S.A. trabaja preferiblemente con ellos, serán de la marca Siemens.



**Fig. 34 Esquema del proceso a diseñar**  
Fuente: Hernández (2020).

### 5.3.2. Equipos e instrumentos requeridos.

#### 5.3.2.1. PLC s7-300

Debido a su diseño compacto y de alta flexibilidad los PLC de la gama S7-300 son aptos para todo tipo de aplicaciones de control. Su CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, entradas y salidas digitales y dependiendo del CPU entradas y salidas analógicas.

Un CPU de la Serie 312C incorpora en total 24 entradas y 16 salidas digitales; 15 entradas y 2 salidas analógicas y un módulo de conteo. Por otro lado todos los módulos poseen conector de corriente, conectores para el cableado del usuario, una ranura para memoria Extraíble (del tipo memoria SD), LEDs para el estado de las E/S integradas y un conector PROFINET. Adicionalmente se requerirá de un módulo de 16 E/S digitales 24Vdc adicional.



**Fig. 35 PLC S7-300**

Fuente: <https://masvoltaje.com/simatic-s7-300/1304-simatic-s7-300-cpu-313c-cpu-compacta-con-mpi-24-ed-16-sd-4ea-2sa-1-pt100-4025515079095.html>

### 5.3.2.2. HMI KTP 600

Debido al ambiente de trabajo parcialmente agresivo, como lo es la sala de calderas, un Panel view (interfaces humano-máquina para condiciones de trabajos donde no sea posible instalar un computador) es adecuado para visualizar la información y el control del sistema.

**Cuadro 4. Tabla de características de los HMI**

Característica	HMI 300	HMI 600	HMI 1500
<b>Pantalla</b>	3.7 pulgadas	5.7 pulgadas	5.7 pulgadas
<b>Interfaz Profinet</b>	No disponible	Disponible	Disponible
<b>Panel</b>	Básico	Básico	Avanzado
<b>WinCC</b>	V.11	V.15	V.15
<b>Precio</b>	200\$	300\$	3600\$

Fuente: Delgado (2019).

La empresa Siemens posee una alta variedad de HMI, donde se puede destacar los de la gama Simatic HMI Basic Paneles que varían con respecto a sus capacidades industriales, tamaño de pantalla y aplicaciones a utilizar, el cuadro 3 permite

visualizar una comparación de las características más influyentes en la selección de la pantalla HMI a utilizar.



**Fig. 36 HMI KTP 600**

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/monitor-repair-siemens-hmi-ktp-600-touch-screen-panel-6av6-647-0ad11-3ax0-62048674030.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.595171031NTuYd>

Entre las opciones visualizadas una pantalla HMI KTP 600 es idónea para las aplicaciones de control y supervisión requeridas. Dicho panel puede ser operado en una pantalla analógica resistiva de 6 teclas de función libremente configurables y el mismo posee conexión para fuente de alimentación, interfaz profinet, pantalla táctil, conexión de la tierra funcional, asimismo haciéndolo ideal para un controlador de la gama S7-300.

### **5.3.2.3. Sensor de temperatura**

Sensor/Transmisor de temperatura de resistencia de brida, interfaz Hart antodeflagrante TS500, para procesos de  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $+400^{\circ}\text{C}$ ,  $-196^{\circ}\text{C}$  a  $+600^{\circ}\text{C}$ , Termopar  $-196^{\circ}\text{C}$  a  $+1100^{\circ}\text{C}$  (con la utilización de un SITRANS TSthermowell termopozo protector) con un grado de protección IP54-68 con salida analógica de 4-20ma. Este tipo de transmisor es perfecto para aplicaciones de calderas al no ser invasivo del proceso y el rango de trabajo asegura una amplia seguridad de

medición en el sistema haciéndolo adecuado para enlazar con el PLC seleccionado.



**Fig. 37 Transmisor de temperatura Sitrans TS500**

Fuente: [https://www.equysis.com/producto/sitrans-ts-500\\_141](https://www.equysis.com/producto/sitrans-ts-500_141)

#### **5.3.2.4.Sensor de presión**

Entre los diferentes tipos de sensores de presión que existen, se hallan los de presión absoluta, definida por Creus como la relación entre el cero absoluto de presión. El sensor a utilizar será un Sitrans Siemens transmisor de presión diferencial P200, de 0 -10 V de un rango de trabajo de 1 a 60 Bar (de 15 a 870 Psi) de salida analógica de 4-20ma.



**Fig. 38 Transmisor de presión Sitrans P200**

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/siemens-pressure-transmitter-sitrans-p200-p210-p220-pressure-measurement-1127280724.html>.

### 5.3.2.5. Electroválvula

Válvula controlada por solenoide para aplicaciones de alta temperatura y presiones de entre 1-10Bar, alimentación de 110VAC de acción directa o controlada por servomotor, normalmente cerrada o abierta, de función ON-OFF. Con seguro de explosiones en caso de sobrepresión, adecuada para la distribución de vapor.



**Fig. 39 Válvula solenoide para vapor ASCO**

Fuente: <https://www.venamet.com/producto/v-solenoide-1-vapor-y-agua-caliente-asco-8220g410/>

### 5.3.3. Diseño del programa y HMI

#### 5.3.3.1. Entradas y salidas Físicas del PLC

El PLC tendrá un total de 39 entradas Digitales para la supervisión del nivel de agua y el control de gas y flama; 23 salidas digitales para todo el control diseñado, las alarmas de seguridad necesarias y accionado de las válvulas solenoides para el control de distribución de vapor para los procesos en planta; 4 entradas analógicas necesarias para el control de temperatura y el monitoreo de la presión de vapor general. Dichas E/S conformaran el conexionado Físico del PLC, donde los demás indicadores tanto de nivel como alarma serán visualizadas virtualmente en el HMI. En el cuadro 4 se pueden apreciar las E/S necesarias, así como su función en el sistema de control y su proceso hacia el PLC.

**Cuadro 5. E/S digitales y analógicas hacia el PLC**

<b>Entradas</b>	<b>Tipo</b>	<b>Salidas</b>	<b>Tipo</b>
Guard Dog McDonnell de emergencia X3	Digital	Alarma de emergencia (Sirena)	Digital
Controlador nivel de agua McDonnell X3	Digital	Alarma de emergencia (Luces mariposa)	Digital
Verificación de encendido de la caldera X3	Digital	Señal de apagado por seguridad X3	Digital
Bajo nivel de agua Caldera Des-aireadora X3	Digital	Válvula solenoide de alimentación de agua(NC) X3	Digital
Medio nivel de agua Caldera Des-aireadora X3	Digital	Relé del modo manual de la bomba de alimentación X3	Digital
Alto nivel de agua Caldera Des-aireadora X3	Digital	Electroválvula de suministro de calderin (NC) X3	Digital
Verificación apertura Válvula Manifold 1 X3	Digital	Electroválvula Manifold 1 X3	Digital
Verificación apertura Válvula Manifold 2 X4	Digital	Electroválvula del Manifold 2 X4	Digital
Verificación apertura Válvula Manifold Principal X2	Digital	Electroválvula del Manifold Principal X2	Digital
Baja presión de Gas X3	Digital		
Alta presión de gas X3	Digital		
Baja presión de Aire X3	Digital		
Alarma del Burner control X3	Digital		
Transmisor de temperatura X3	Analógica		
Transmisor de Presión - vapor	Analógica		

Fuente: Hernández (2020)

**5.3.3.2. Descripción del programa.**

El programa de control el cual autónomamente enlazara con el estado actual del sistema, consistirá de un solo OB1 en el entorno de STEP 7 cargado en un PLC Siemens de la gama S7-300 CPU 313C, dicho CPU tiene un función de remanencia que le permite guardar el ultimo estado de las marcas de memoria digitales en caso de

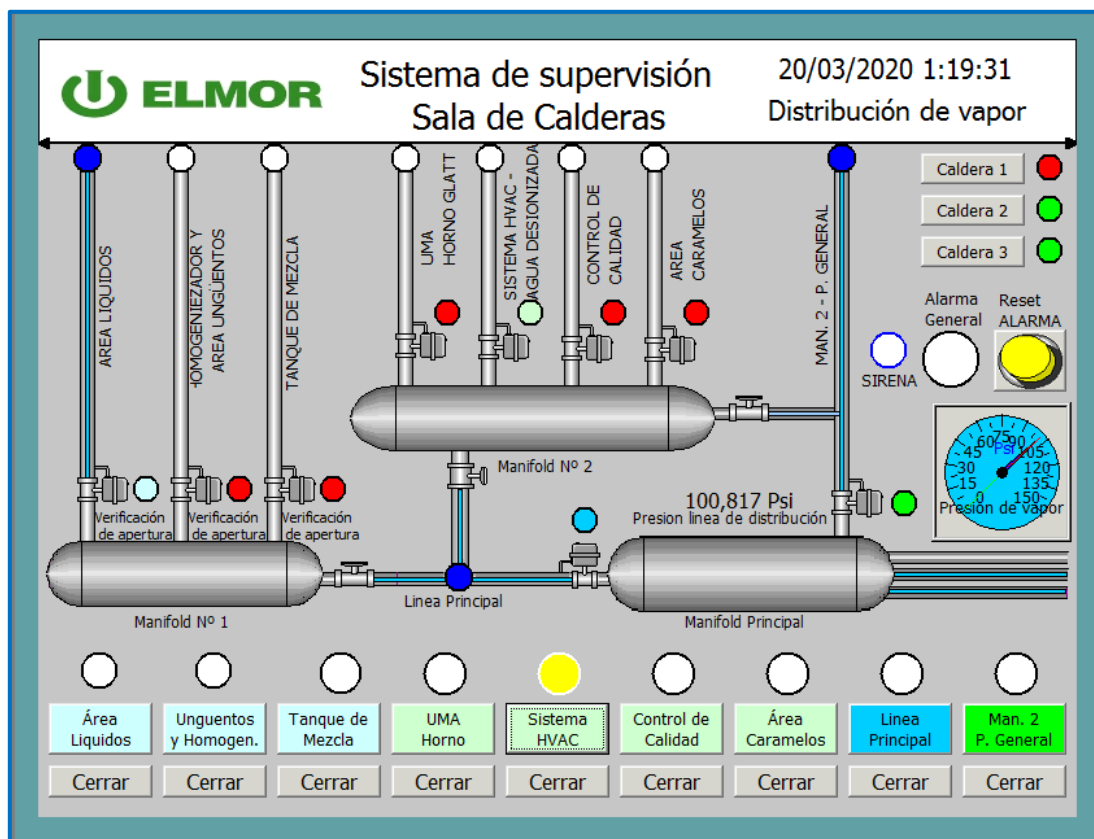
detener el PLC por mantenimiento del sistema o por fallas en las redes eléctricas que suministran energía a Laboratorios ELMOR S.A., las funciones que el PLC cumplirá serán:

- Control de nivel de la caldera des-aireadora: se controlara el llenado de la caldera des-aireadora en base al nivel de la misma mediante el uso de sensores de conductividad y una electroválvula en la red de alimentación de la misma, este proceso en cada caldera.
- Control de nivel de la caldera principal: El PLC enlazara con el McDonnell controlador de nivel y habilitara el llenado de la caldera en base a los permisivos de llenado de la caldera des-aireadora
- Monitorización del estado de los controles de Gas y flama: el sistema vera que cada sensor (a excepción del sensor ultravioleta de flama) y trabajara en conjunto con el Burner Control Honeywell y el McDonnell Guard Dog, para apagar el sistema en caso de falla y que el Burner Control no lo detecte.
- Se controlara toda la distribución de vapor desde la sala hacia la planta y se verificara que dichas áreas estén provistas de vapor.
- Todas las alarmas de la Sala de calderas y fallas asociadas en el sistema serán controladas y avisadas por el PLC.

#### **5.3.3.3. Descripción del HMI**

El HMI consta de 4 pantallas que permite visualizar el control y el estado del manifold y las 3 calderas de la sala de calderas.

En la primera pantalla se controla la apertura de las válvulas que distribuyen vapor a las distintas áreas de la empresa mientras se verifica que dichas válvulas estén efectivamente abiertas y que haya presión en la línea de distribución, se puede visualizar el estado de las alarmas así como el estado de cada caldera, encendidas o apagadas.



**Fig. 40 HMI Pantalla Principal**

Fuente: Hernández (2020).

Cada caldera posee una pantalla individual que señalan los mismos parámetros donde, y por orden: se visualiza si está encendida o apagada y si hay falla en esta caldera; el estado de la sirena de la sala de caldera y la selección de las distintas pantallas del HMI; el estado de la presión de la línea de distribución junto la verificación alarmada si esta propaso los límites permitidos; el control de nivel completo del sistema donde se supervisa el estado de la válvula de la caldera desaireadora el nivel de agua de agua de la misma, el estado de la bomba de alimentación, y su llenado manual desde la interfaz, el estado de la electroválvula de alimentación de caldera principal así como el permisivo de encendido de la bomba; el Reset de la caldera en caso de falla; la señal de llenado del McDonnell y la señal de apagado del Guard Dog de muy bajo nivel; la temperatura interna de la caldera en tiempo real en caso de falla junto a su respectiva alarma; Todo el lazo de control de Gas y Flama que es detectable por el PLC, el estado de baja presión de gas, alta

presión de gas, falta de presencia de aire dentro de la caldera, todas fallas que permitan visualizar y agilizar el proceso de detección de fallas en la caldera.

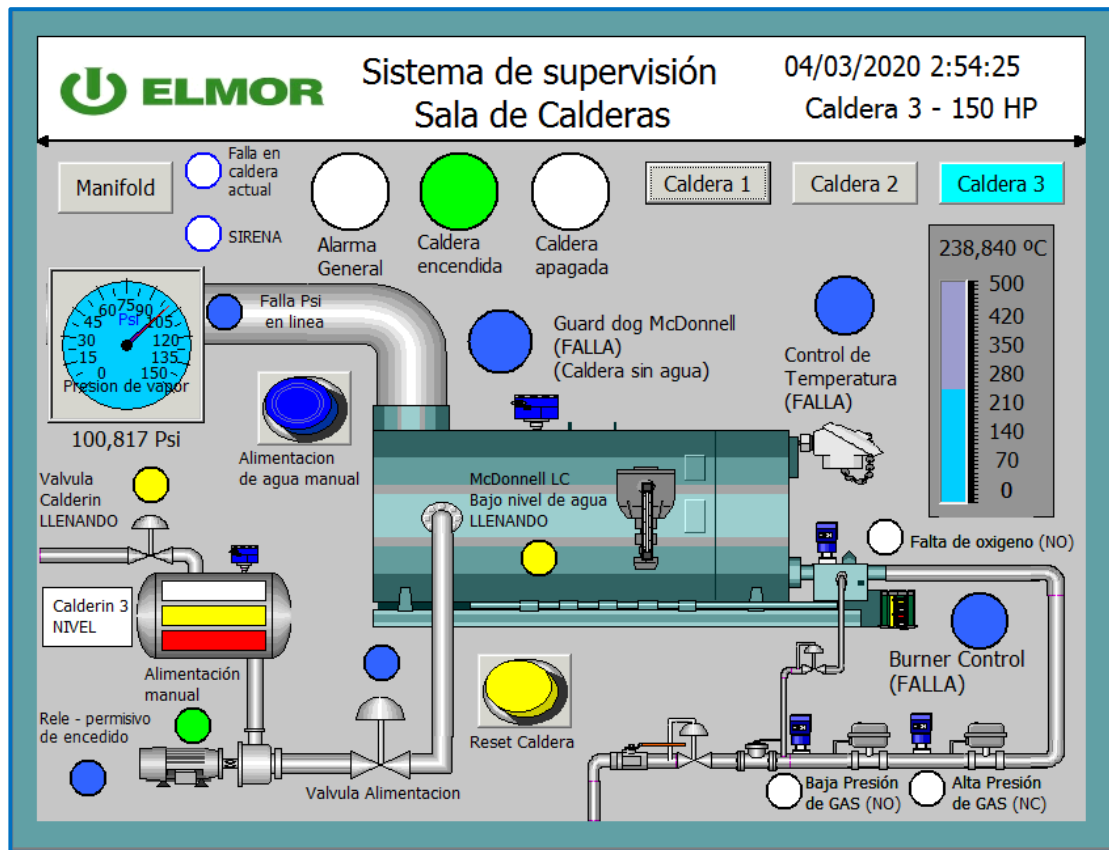


Fig. 41 HMI Pantalla de la caldera 3 - 150 HP

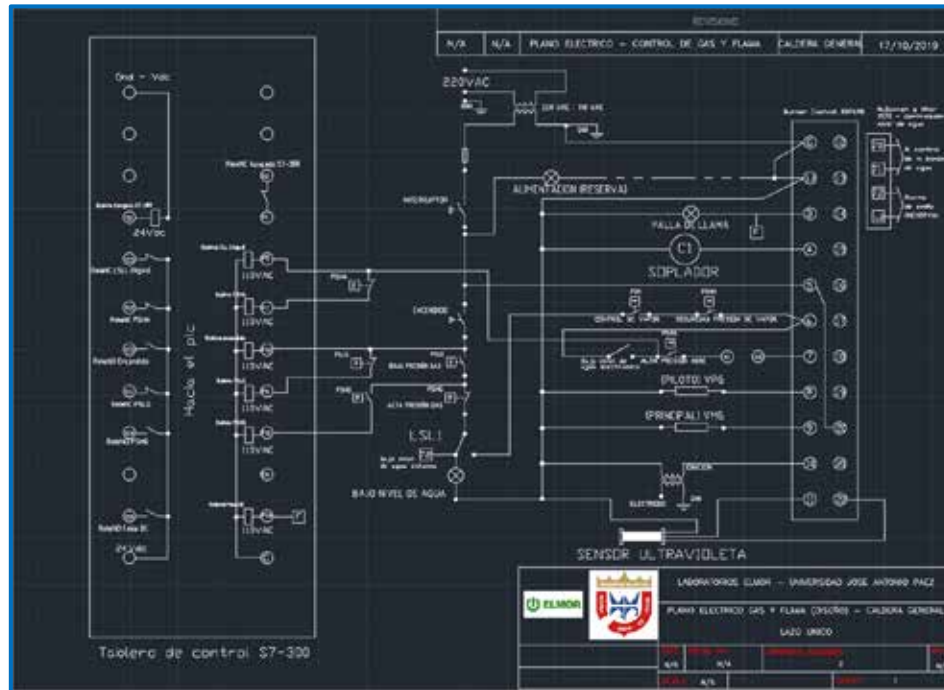
Fuente: Hernández (2020).

### 5.3.4. Esquema eléctrico

El plano integral del sistema se incorpora de 3 partes: el plano de control y eléctrico del sistema de gas y flama, individual para cada caldera cuyo cual solamente se requiere el diseño de un plano único que se implemente para las 3 calderas, mismo basado en el esquema eléctrico de la caldera 2 que Laboratorios ELMOR implementará en un futuro próximo; el plano de control de nivel de la caldera principal y de la caldera des-aireadora, dicho plano estará hecho en base a los equipos que ya existen en el área modificando el control general de llenado y mejorando la seguridad del sistema actual; y finalmente el plano general del sistema de supervisión y control, el esquema eléctrico del sistema de distribución y el conjunto de

conexiones directas del sistema diseñado hacia el Controlador S7-300 y las distintas áreas del proceso.

### 5.3.4.1. Control de gas y flama

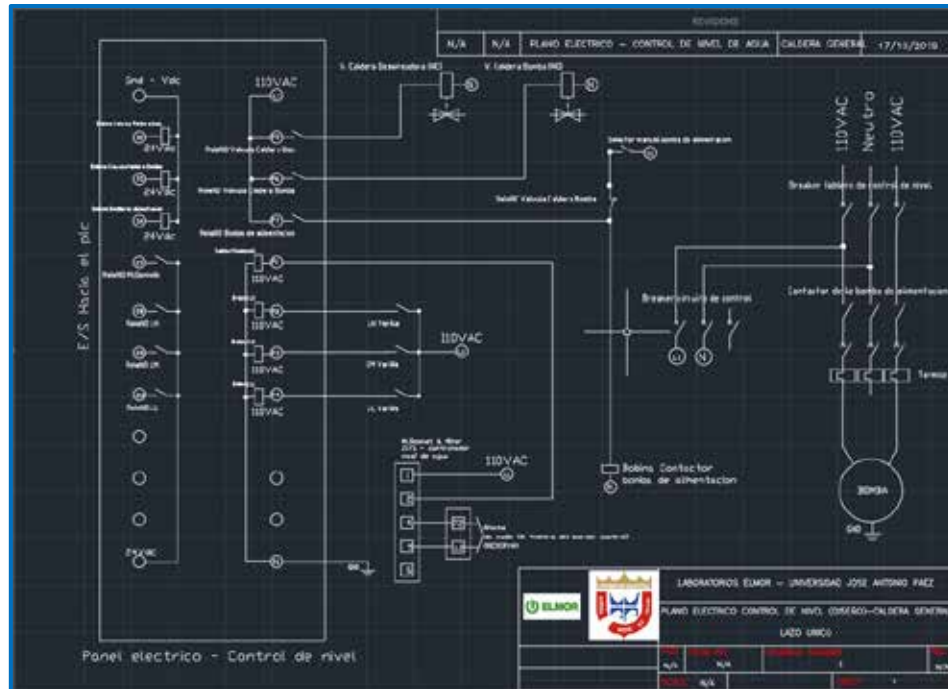


**Fig. 42 Esquema de conexiones - Circuito eléctrico Gas y Flama (Diseño)**

Fuente: Hernández (2020).

Partiendo del diseño de la Fig. 25, se intercede en el apagado del sistema mediante un relé NC accionado por el controlador S7-300 entre la salida del Switch de presencia de aire en el soplador y el Pin 7 del RM7698, junto a eso, haciendo uso de los Pressure Switch cuyos cuales se encuentran conectados en cascada por medida de seguridad, y que poseen 3 conectores (C, NC, NO), se conecta la salida no usada en el control de gas y flama para hacer el enlace de las variables hacia el controlador, enlazando directamente con relés de bobinas de 110VAC para activar las entradas de 24VDC del controlador, dicho conexionado se encuentra totalmente aislado electro-mecánicamente del controlador principal, además del que el propio proceso no se ve interrumpido en caso de errores o fallas sustanciales en el área de control del S7-300.

### 5.3.4.2. Control de nivel de la caldera y la caldera des-aireadora



**Fig. 43 Circuito eléctrico y de control del nivel de agua (Diseño)**

Fuente: Hernández (2020).

El diseño consiste en 4 entradas y 3 salidas aisladas eléctricamente del área de 110VAC y 24 VDC. La señal de encendido de la bomba de alimentación pasa directamente hacia la bobina 110VAC de un relé energizando la entrada del Controlador, dicha acción accionara la bomba de alimentación en base a los parámetros leídos por el Controlador S7-300, como lo son los niveles alto, medio y bajo de la caldera des-aireadora, la temperatura leída por la caldera general y la habilitación de la válvula conectada en la salida de la propia bomba de alimentación. Todas las bombas de la sala de calderas son de 220VAC centrifugas, por lo que el diseño incorpora los contactores y protecciones existentes en los tableros de control de nivel.

### 5.3.4.3. Plano completo - Esquema de conexiones

El plano completo consiste en un Esquema eléctrico de interconexiones entre el conjunto de los diseños del control de nivel y el control de gas y flama. En él se resaltan todas conexiones desde cada caldera (siguiendo la nomenclatura utilizada durante el diseño conceptual) hacia el Controlador S7-300; la cantidad de E/S digitales y analógicas utilizadas del controlador, donde las que no se requirieron durante el diseño se remarcan en azul; las interconexiones entre los relés y la acción de las alarmas de la sala de caldera; las conexiones desde el PLC hasta el Área de

Mezzanina (ubicación de todas las válvulas a excepción de las de línea principal y del manifold 2). Dicho plano fue realizado en base a la experiencia obtenida durante el proceso de pasantías asimismo tomando en cuenta la idea de a llegar implementarse el actual diseño se tenga una idea solida del proceso y la conexión del sistema.

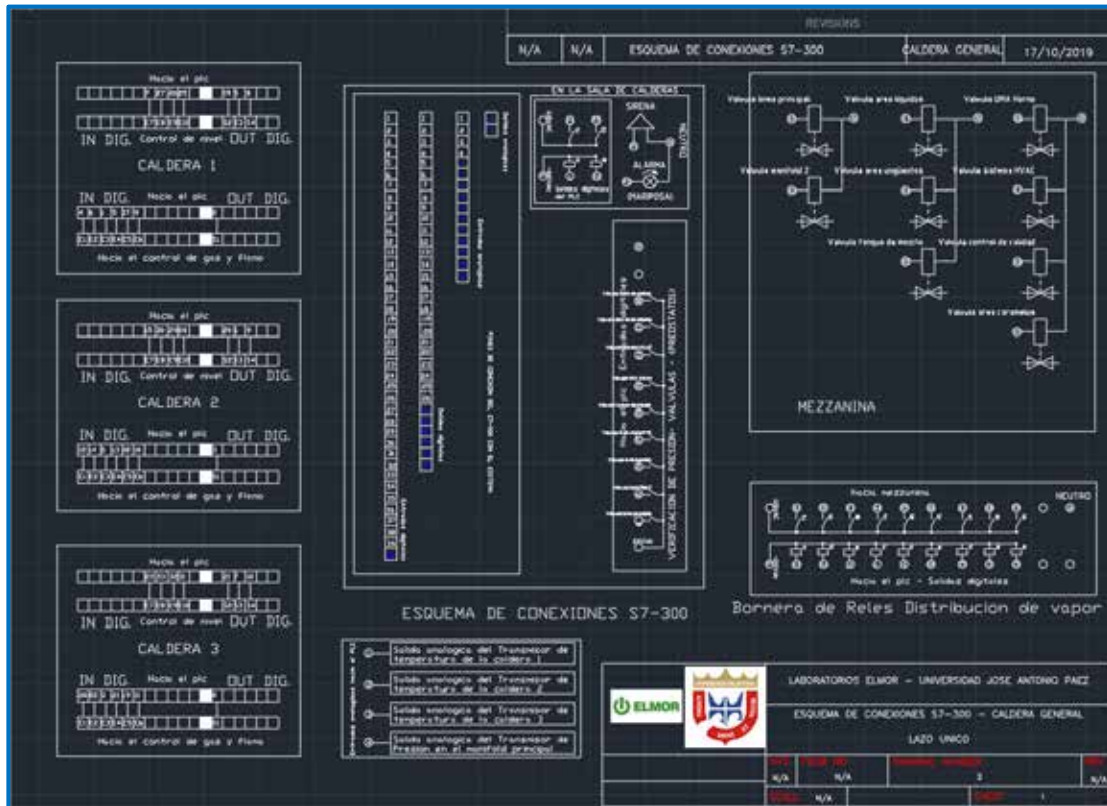


Fig. 44 Esquema de conexiones - Sistema y Controlador S7-300

Fuente: Hernández (2020).

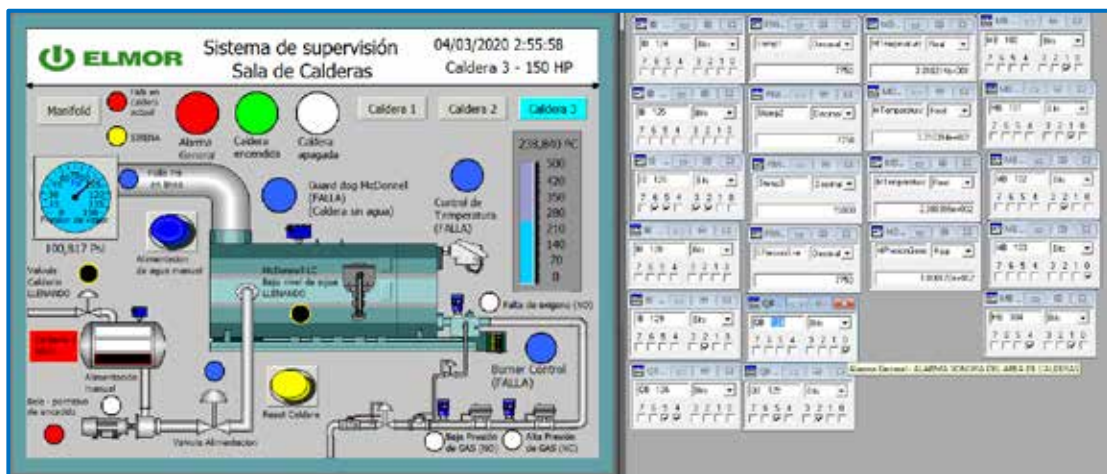
#### 5.4.Fase IV: Estudio de factibilidad operativa, económica, social y ambiental del sistema de supervisión y control propuesto.

##### 5.4.1. Factibilidad operativa

El actual diseño de un Sistema de supervisión y Control del proceso de generación y distribución de vapor de la Sala de calderas de Laboratorios ELMOR S.A. mejorará el tiempo de respuesta tanto del sistema como del personal en caso de fallas en el área, reducirá de manera drástica la dificultad de tratar de analizar el proceso y automatizara de manera más eficiente el control de llenado de cada caldera, garantizando una mejora en la producción y distribución de vapor hacia todos los procesos en planta, contándose con el personal necesario para la implementación del

sistema, de esa manera cumpliendo con los objetivos de viabilidad operativa requeridos para el diseño.

Por otro lado la factibilidad técnica del sistema consiste en el funcionamiento del mismo, atendiendo a sus características tecnológicas y las leyes involucradas al procesos, bajo esta base el presente trabajo es reconocible como viable, ya que consta de un HMI y se ha garantizado su funcionamiento bajo simulación, haciendo el proceso y la supervisión del sistema mucho más eficiente de lo que es actualmente al optimizar el control de nivel de cada caldera, al agregar el parámetro de la temperatura al proceso de seguridad y control y al monitorizar todas las posibles fallas que podrían incursionar en un daño catastrófico del sistema.



**Fig. 45 HMI Pantalla Caldera 3 - simulación de fallas**

Fuente: Hernández (2020).

## 5.4.2. Factibilidad económica.

### 5.4.2.1. Presupuesto inicial.

Se procederá a definir los recursos monetarios, activos tangibles e intangibles necesarios para la implementación y puesta en marcha del sistema diseñado.

En primer lugar se detallaran los recursos y equipos requeridos y su total en divisas extranjeras (ver Cuadro 6), en segundo lugar el personal necesario y el tiempo estimado de duración de instalación del sistema (ver cuadro 7), dichos precios fueron obtenidos mediante un estudio de mercado variado tanto en línea como en distintas empresas proveedoras de instrumentos y equipos electrónicos y de control tomándose

un promedio de ellos, por lo que es posible cierta discrepancia entre cada uno de ellos.

**Cuadro 6. Presupuesto de equipos y componentes**

Items	Equipo/Instrumento	Cant.	Precio	Total
1	PLC Siemens S7-300 CPU 313C	1	1000\$	1000\$
2	Modulo Salidas Digitales 24V-0.5A	1	300\$	300\$
3	Fuente de alimentación PS 307 24V	1	200\$	200\$
4	HMI (Pantalla KTP 600)	1	1000\$	1000\$
5	Transmisor de presión siemens sitrans P200	1	250\$	250\$
6	Transmisor de temperatura SITRANS TS500	3	125\$	375\$
7	Relés 110-220V (bobina 24VDC) Relés 110-220V (bobina 110VAC)	36	8\$	288\$
8	Termopozo de brida SITRANS TSTHERMOWELL	3	80\$	240\$
9	Electro-válvulas 10-30 Bar burkert hasta 160°C	3	45\$	125\$
10	Cajetín-soporte-cables	1	180\$	180\$
11	Electro-válvulas 0-15 Bar ASCO hasta 180°C	9	100\$	900\$
<b>TOTAL:</b>			<b>4158\$</b>	

Fuente: Hernández (2020).

Por el lado del personal necesario, es necesario tomar en cuenta el rediseño de algunas partes del sistema actual y el proceso, así como la necesidad de un especialista capacitado en hacer la instalación de los sensores requeridos.

**Cuadro 7. Presupuesto del personal**

Items	Personal	Cantidad	Horas	Precio	Total
1	Ing. electrónico	1	96	5\$	480\$
2	Asistente técnico	2	48	2\$	480\$
3	Soporte técnico	2	24	2\$	280\$
4	Especialista en calderas	2	72	5\$	720\$
<b>TOTAL:</b>			<b>1960\$</b>		

Fuente: Hernández (2020).

Haciendo un total de 6818\$ de inversión monetaria necesaria para la realización del proyecto.

#### 5.4.2.2. Beneficios tangibles

Durante el estudio de la sala de calderas se determinó que Laboratorios ELMOR ha sufrido aumentos en costos por pérdidas en materia prima y pérdidas en Horas-Hombre de mano laboral en las áreas de sólidos, líquidos, supositorios y control de calidad devengadas de la problemática de la sala de calderas. El tiempo de perdida efectivo en horas-hombre estimado durante el diagnóstico fue de 2 horas en diversas áreas de la empresa, tiempo que evitado se traduce en un ahorro monetario para la empresa al ocupar de manera más eficiente el personal de distintas labores, en el cuadro 8 se detallan las horas en personal ahorradas por falla cada vez que se detiene la producción. Así mismo, al no detenerse el proceso de producción se ahorran perdidas en materias prima y productos terminados.

**Cuadro 8. Horas/Hombres ahorradas.**

Área	Personal	Horas	Total
Área de Sólidos	3	2	6
Área de Líquidos	5	2	10
Control de Calidad	4	2	8
Área de Supositorios	4	2	8
Departamento de Mantenimiento	2	1	2
<b>Total de Horas/Hombres ahorradas por falla: 36Hrs.</b>			

Fuente: Hernández (2020).

De igual manera, después de un estudio de mercado se tiene que el estimado de reparación de una caldera pirotubular de 60HP es de un capital de 20.000\$ - 40.000\$. El diseño actual evita de cualquier manera que las calderas lleguen a sufrir un daño permanente que requiera de un gasto de tal magnitud.

#### 5.4.2.3. Beneficios Intangibles

- Mayor facilidad y seguridad en la detección de fallas
- Mejor tiempo de respuesta del sistema y del personal relacionado a la sala de calderas en general.

#### **5.4.3. Factibilidad social.**

- Acceso rápido a la información actual de las calderas.
- Mejores condiciones de trabajo.
- Reducción de la carga laboral en el personal asociado aumentando la productividad en otras actividades a realizar.
- Aumento en la seguridad del proceso y el personal trabajando

Con estas condiciones se determina que el proyecto es factible ambientalmente.

#### **5.4.4. Factibilidad ambiental.**

Al evitarse la pérdida de materia prima en tratamiento y de productos en control de calidad se evita una posible fuente de desecho ya que estos tipos de materiales no son reutilizables ni reembolsables además de que deben ser almacenados hasta su desecho seguro bajo las normas de la ley de “Manejos de desechos sólidos no peligrosos” y de la ley de “Manejos de desechos sólidos peligrosos” en el caso de materia prima posiblemente contaminante. Encima a ello, al evitarse el daño de una caldera, se evita la materia de origen inorgánico como lo son las tuberías y el hogar de estas como desecho solido esperando su transporte y/o destrucción en un vertedero.

## CONCLUSIONES

Entre los aspectos más resaltantes concluidos durante la realización de este proyecto de investigación, se puede destacar:

- El desarrollo de este informe se enfocó en la utilización y aplicación de la experiencia adquirida durante el proceso de pasantías y los conocimientos obtenidos a lo largo del estudio de la carrera de Ingeniería Electrónica mención control y automatización, como lo son la aplicación de tecnologías de automatización, instrumentación de procesos industriales, accionamientos de sistemas eléctricos y estudios de economía y factibilidad de proyectos industriales.
- El actual informe de pasantías cumple con el objetivo principal de mejorar el proceso de generación y distribución de vapor de sala de calderas de la empresa Laboratorios ELMOR S.A., permitiendo mayor productividad y seguridad en la sala de calderas.
- El acceso a información de diseño de la sala de calderas debido a la falta de información de carácter tecnológico como lo son planos e instrumentación, costes de materia y producción así como perdidas relacionadas, además de la política de privacidad de Laboratorios ELMOR S.A., hicieron realmente dificultoso el ampliar y mejorar la propuesta actual en un sistema más eficiente con mayores prestaciones, utilidad y ganancias para la empresa.

## **RECOMENDACIONES**

- Un sistema de supervisión con HMI integrado es altamente ampliable, permitiendo de necesitarse instalar pantallas dentro de las distintas áreas de la empresa dentro de una Red LAN que permita a todo el personal visualizar y controlar la distribución de vapor hacia su área, en otras palabras la instalación de un Sistema SCADA.
- Se recomienda instalar caudalímetros especificados para vapor a fin de mejorar la eficiencia del consumo de vapor en planta al diseñar un plan de trabajo en base ello y evaluar la necesidad de variar el control de presión de vapor en las calderas para optimizar la producción de vapor con los resultados del estudio.
- Se recomienda mejorar y optimizar las calderas des-aireadoras para reducir gastos en Agua desmineralizada y des-oxigenada
- Se recomienda estudios periódicos del estado de las calderas y mantenimientos constantes a las bombas de alimentación de estas.
- Se recomienda de requerirse y necesitarse adaptar un monitoreo por dispositivos móviles para tener acceso a la información del área en todo momento.

## REFERENCIAS

### **Bibliográficas**

- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica**. 6ta Edición. Caracas: Editorial Episteme.
- Creus, A. (2010). **Instrumentación Industrial**. 8va Edición. México. Alfaomega Grupo Editor.
- Delgado, D. (2019). **Sistema de supervisión y control del proceso de llenado del agua para la preparación de los jarabes en los tanques de mezclado del área de líquidos de la empresa Laboratorios ELMOR S.A.** Tesis de grado para optar al título de ingeniero electrónico. Universidad José Antonio Páez.
- Hurtado, J. (2010). **El proyecto de investigación**. Caracas: Editorial Quirón
- Ortiz, O. (2019). **Propuesta de automatización para el monitoreo y control del cuarto climatizado de los laboratorios ELMOR s.a. planta Guácara**. Tesis de grado para optar al título de ingeniero electrónico. Universidad José Antonio Páez.
- Palella, S. y Martins, F. (2010). **Metodología de la investigación cuantitativa**. Caracas: Editorial Fedupel.
- TechNotes (2003). **NFPA Requeriments for gas burner Systems, Reference: NFPA 86 – Ovens and Furnaces**, 2003 Edition

### **Electrónicas**

- Honeywell. (2010). **Módulos Relé SERIE 7800 - RM7800E, G, L, M; RM7840E, G, L, M 7800 SERIES**. Recuperado en:  
<http://dominion.com.mx/fichas/control-de-flama-honeywell-268.pdf>
- Martínez, J (2013). **Guía básica. Calderas industriales eficientes**. Recuperado en:  
[http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio\\_sin\\_paredes/fac\\_ing/Quimica/cald\\_efi\\_indus.pdf](http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_ing/Quimica/cald_efi_indus.pdf)
- Perez. M. (2012). **Configuración de un PLC**. México. Editorial BMJ.
- Sánchez, A (2015). **Manual de mantenimiento preventivo, predictivo y de operación para una caldera pirotubular de 10 bhp para la empresa calderas y automáticos**. Recuperado en:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7554/1/CamargoAlejandroCaroLeonardo2015.pdf>

Siemens. (2006). **Simatic S7-300 CPU31xC y CPU 31x, Datos técnicos. Manual de producto.** Recuperado en:

[http://www.grupdap.es/descargas-industrias/02-manuales/01-simatic-s57/cpu31xc\\_cpu31x\\_datos\\_tecnicos.pdf](http://www.grupdap.es/descargas-industrias/02-manuales/01-simatic-s57/cpu31xc_cpu31x_datos_tecnicos.pdf)

Siemens. (2012). **SITRANS Temperature sensors SITRANS TS100/TS200/TS500.** Recuperado en:

<http://ucc.colorado.edu/siemens/A5E03920348-02en.pdf>

Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2016). **Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales.** Recuperado de:

<https://es.slideshare.net/mirnalitaguirrez/manual-upel-2016-1pdf>