

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de
la Producción**

"AUTOMATIZACIÓN DE UNA CALDERA A GAS PARA LA
ELABORACIÓN DE LECHE DE SOYA"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Jordán Xavier Solís Guaygua
Jonathan Fabricio Flores vega

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

Dedico este proyecto primero a DIOS porque ÉL lo ha permitido así y siempre me sostiene de su mano.

A mis padres por sus consejos oportunos, esfuerzo, dedicación, cariño, apoyo y amor incondicional imprescindibles para mi formación personal y académica.

A Elizabeth por su amor incondicional, su comprensión y compañía durante mis estudios.

A aquellos insignes maestros que de una otra manera son parte de mi formación académica y profesional.

Jordán Solís

El presente proyecto lo dedico a Dios porque todo lo que soy se lo debo a Él.

A mi madre por su constante apoyo, crianza y los consejos que han sido oportunos para seguir adelante.

A los profesores que han sido parte de mi formación personal y académica.

A mis hermanos que han sido un ejemplo de vida e inspiración para terminar este proyecto.

A mi padre por el apoyo incondicional en el hogar y en mi carrera universitaria.

Jonathan Flores

AGRADECIMIENTOS

De nuestra parte el más sincero agradecimiento.

A nuestro tutor de tesis, MSc. Víctor Guadalupe Echeverri, por su apoyo, atención y sabia orientación.

A la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, por su excelente formación y colaboración.

A todos nuestros docentes, amigos y familiares por formar parte de este gran logro. Siendo incondicionales para nosotros.

Jonathan Flores Vega
Jordan Solís Guaygua

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jordan Xavier Solís Guaygua y Jonathan Fabricio Flores y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Jonathan Fabricio Vega



Jordan Solís Guaygua

EVALUADORES



Handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rodolfo Paz'.

Nombre del Profesor
MSc. Rodolfo Ezequiel Paz Mora



Handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Victor Guadalupe Echeverria'.

Nombre del Profesor
MSc. Víctor Guadalupe Echeverría

RESUMEN

Se automatizó una caldera a gas implementando un control de nivel de agua bajo Norma ASME BPVC SECTION I y un control de combustión bajo Norma NFPA 8502; para ello se realizó la selección de estos controladores mediante una investigación de campo en el mercado local de los diferentes productos semejantes, basándose en criterios como: seguridad, economía, eficiencia y disponibilidad en el mercado. Después de lo cual, se escogió para el control de nivel el módulo C-FAR1 y para el control de combustión se seleccionó módulo electrónico para calefón; luego se realizaron diferentes adaptaciones mecánicas y eléctricas para poner en funcionamiento los sistemas de control implementados en la caldera.

Los resultados obtenidos debido a la automatización desarrollada se reflejaron en la disminución de tiempo, en el proceso de calentamiento de la leche de soya, pasando de 35 minutos a 25 minutos. Luego, mediante un análisis de costos se calculó que la inversión total de los sistemas instalados es de \$267 dólares; además, asumiendo que la caldera opera 6 horas al día, y el costo por litro de leche de soya es de 50 ctvs. a una tasa de interés del 10% se estimó el respectivo flujo de caja en tres años; con lo cual se obtuvo un VAN \$1.3516,79 y TIR 1.121% lo que demostró la excelente rentabilidad y viabilidad económica del proyecto.

Palabras Clave: control, adaptación, caldera, viabilidad.

ABSTRACT

A gas boiler was automated by implementing a water level control under the ASME BPVC SECTION I Standard and a combustion control under the NFPA 8502 Standard; for which the selection of these controllers was carried out through a field investigation in the local market of the different similar products, based on criteria such as: security, economy, efficiency and availability in the market.

After that, the module C-FAR1 was chosen for the level control and for the combustion control, an electronic module for heating was selected; then different mechanical and electrical adaptations were made to put into operation the control systems implemented in the boiler.

The results obtained due to the automation developed were reflected in the reduction of time, in the heating process of soy milk, from 35 minutes to 25 minutes. Then, through a cost analysis it was calculated that the total investment of the installed systems is \$ 267 dollars; In addition, assuming that the boiler operates 6 hours a day, and the cost per liter of soy milk is 50 ctvs. at an interest rate of 10%, the respective cash flow was estimated in three years; with which a VAN \$ 13516.79 and TIR 1121% were obtained, which demonstrated the excellent profitability and economic viability of the project.

Keywords: control, adaptation, boiler, viability.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Caldera de Vapor	4
1.4.2 Definición.....	4
1.4.3 Clasificación de la caldera.....	4
1.4.4 Tipos de caldera.....	10
1.4.5 Gas licuado de petróleo (GLP)	14
1.4.6 Control e instrumentación de calderas	16
1.4.7 Instrumentación y control del agua de alimentación.....	18
1.4.8 Instrumentación y control de la combustión	23
CAPÍTULO 2	32
2. Metodología, requerimientos y diseño de forma	32

2.1	Metodología	32
2.2	Requerimientos de diseño	33
2.2.1	Control de nivel	33
2.2.2	Control de combustión.....	33
2.3	Alternativas de diseño.....	34
2.4	Selección de mejor decisión	35
2.4.1	Comparación por pares entre criterios	35
2.4.2	Matriz de ponderación	36
2.4.3	Matriz de decisión	38
2.5	Consideraciones generales para el proceso de diseño	41
2.5.1	Valoración actual de la instrumentación y el control de la caldera	42
2.5.2	Control de nivel	42
2.5.3	Control de combustión.....	43
2.6	Diseño de forma.....	44
CAPÍTULO 3		46
3.	Resultados y Análisis	46
3.1	Resultados	46
3.1.1	Control de nivel de agua.....	46
3.1.2	Control de combustión.....	47
3.2	Análisis de costos	50
CAPÍTULO 4		54
4.	Conclusiones y recomendaciones	54
4.1	Conclusiones	54
4.2	Recomendaciones	55
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICE		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	Sociedad Americana para Ensayos de Materiales
BMS	Sistema de Gestión de Quemadores
HWL	Nivel alto de agua
LWL	Nivel bajo de agua
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros mecánicos
BPVC	Código de recipiente de presión de caldera
ABMA	Asociación Americana de Fabricantes de Calderas
ANSI	Instituto Nacional Americana de Estándares
BPCS	Sistema de Control Básico de Proceso
ISA	Sociedad Internacional de Automatización
NFPA	Asociación Nacional de Protección Contra Incendios
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	Controlador lógico programable
SIF	Función Integrada de seguridad
SIL	Nivel Integrado de Seguridad
SIS	Sistemas Instrumentado de Seguridad
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
Kg	Kilogramo
pH	Potencial de Hidrógeno
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Kv	Kilovoltio
Hz	Hertz
GLP	Gas Licuado del Petróleo
Btu	Unidad térmica británica
MBh	Movimiento de Bases Hayist
Psi	Libra por Pulgada Cuadrada
HRT	Tubular de Retorno Horizontal
PVC	Policloruro de Vinilo
PPM	Parte por millón
IDLH	Nivel Inmediatamente Peligroso Para La Salud y la Vida
Kcal	Kilocalorías

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Balance energético de una caldera de vapor [McGraw-Hill,1961].....	4
Figura 1.2 Partes de una caldera pirotubular [McGraw-Hill,1961]	12
Figura 1.3 Calderas de tubos rectos [McGraw-Hill,1961]	13
Figura 1.4 Caldera de tubos doblados [McGraw-Hill,1961]	14
Figura 1.5 Diagrama de bloques simplificado de una caldera	17
Figura 1.6 Esquema del control básico de una caldera.....	17
Figura 1.7 Flotador con contacto magnético [Maq. Henriques]	21
Figura 1.8 Sensor de nivel conductivo [Calser, 2018]	21
Figura 1.9 Sensor de nivel capacitivo [Calser, 2018].....	22
Figura 1.10 Controlador Warrick [Calser, 2018]	22
Figura 1.11 Controlador de nivel Camsco [Calser 2018].....	23
Figura 1.12 Diagrama de bloque del control de la combustión. [Ortiz,2000]	24
Figura 1.13 Encendido auxiliar [MALONEY, TIMOTHY, 2006].....	26
Figura 1.14 Quemador doble etapa. [Ortiz, 2000]	27
Figura 1.15 Sistema de posición mecánica. [Gilman, 2005].....	28
Figura 1.16 Controlador de llama para diésel. [Espol, 2018].....	29
Figura 1.17Controlador de llama para GLP. [Calser, 2018].....	29
Figura 1.18 Detector de llama QRB [M. Henríquez, 2018]	30
Figura 1.19 Varilla de Kanthal [Calser, 2018]	31
Figura 2.1 Diagrama del controlador de nivel [JNG, 2018].....	43
Figura 2.2 Diagrama del controlador de Combustión [Megagenuinos, 2018 cuenca] ..	44
Figura 2.3 Esquema general de funcionamiento	45
Figura 3.1 Control de nivel diseñado	46
Figura 3.2 Sensores conductivos	47
Figura 3.3 Tanque de agua con boya de nivel.....	47
Figura 3.4 Válvula gas/agua	47
Figura 3.5 Base de electrodos y módulo electrónico	48
Figura 3.6 Diagrama de conexiones del controlador de combustión	48
Figura 3.7 Diagrama de conexiones del controlador de nivel.....	49
Figura 3.8 Componentes del panel de control.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Componentes peligrosos [PAMPILLAS.A,2006].....	14
Tabla 1.2 Control de exposición [PAMPILLAS S.A, 2006].....	15
Tabla 1.3 Propiedades físicas y químicas [PAMPILLAS S.A, 2006].....	16
Tabla 1.4 Tiempos muertos recomendados	18
Tabla 1.5 Precios de controladores de nivel en el mercado	23
Tabla 1.6 Tipos de detectores y su aplicación.....	30
Tabla 2.1 Tabla morfológica	35
Tabla 2.2 Comparación por pares entre criterio	35
Tabla 2.3 Frecuencia de cada criterio de selección.....	37
Tabla 2.4 Importancia relativa entre cada criterio	37
Tabla 2.5 Notas para la calificación del proyecto	38
Tabla 2.6 Matriz de selección para el sensor de nivel	38
Tabla 2.7 Matriz de selección para el controlador de nivel	38
Tabla 2.8 Matriz de selección para el control de presión.....	39
Tabla 2.9 Matriz de selección para el actuador del control de combustión	39
Tabla 2.10 Matriz de selección para el sistema de ignición.....	40
Tabla 2.11 Matriz de selección para el Controlador de combustión	40
Tabla 2.12 Mejor solución.....	41
Tabla 3.1 Costos de componentes de sistemas de control típico.....	50
Tabla 3.2 Detalle de costos de los sistemas de control implementados.....	51
Tabla 3.3 Costos de los sistemas de control alternativos implementados.....	52
Tabla 3.4 Análisis de beneficios y viabilidad del proyecto	53

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador la mayoría de industrias poseen calderas las cuales generan vapor con el fin de transferir energía. Así mismo el vapor es utilizado para la cocción de los alimentos y fabricación de productos ya sea en el campo textil, farmacéutico, petroquímico, entre otros. Sin duda esto lo convierte en el componente más costoso e indispensable en los procesos de fabricación.

En nuestro país existen varias marcas de calderas como: Cleaver Brooks, Kewanee, York shipley, Superior, Fulton, entre otras; cada una exhibe su respectivo diseño, forma, capacidad y tecnología tanto en instrumentación como en control, dándole diferencias en la operación y seguridad en las mismas.

Una caldera debe trabajar bajo las normas de operación y seguridad, por lo cual necesita un técnico con conocimiento apropiado para el control de todos los parámetros con sus respectivos ajustes. También puede ser operada por una persona que reciba un entrenamiento técnico, esto permitirá disminuir futuros accidentes en la operación de la misma.

Una máquina debe estar en constante modernización sobre todo en la instrumentación, control, operación y seguridad, por lo ello con este trabajo de investigación se pretende obtener las bases teóricas para mejorar dichas variables.

El capítulo I presenta información teórica de las principales variables que se involucran en el proceso de generación vapor. Algunas variables son: combustible, aire, llama, tipo de caldera, tipo de controlador, sensores y actuadores. También se presenta los objetivos generales, objetivos específicos y planteamiento del problema.

El capítulo II detalla y describe el tipo de control e instrumentación de las variables nombradas anteriormente. Por ello se realizó una tabla morfológica, que brinda las posibles soluciones posibles para la adquisición de los módulos electrónicos y

actuadores que realizaran las funciones requeridas para el control de la caldera, bajo los criterios de selección propuestos.

El capítulo III hace una descripción de las características del circuito electrónico y la forma de implementar el diseño de control. También se realiza paso a paso el proceso para poner en marcha la operación de la caldera.

1.1 Descripción del problema

En la elaboración para la leche de soya se ha adquirido calderas eléctricas y a gas las cuales trabajan manualmente, esto representa un peligro para los operarios, pudiéndose producir riesgos en la integridad física, en los equipos y en la infraestructura.

Dentro de las variables más importantes en la caldera se tiene el nivel de agua, la presión de operación y la combustión. Por esta razón, en este proyecto se pretende diseñar los sistemas de control necesarios para el funcionamiento adecuado de la caldera a gas, tomando como criterios la economía, la seguridad y la eficiencia.

1.2 Justificación del proyecto

La realización de este proyecto nace primordialmente del campo social, puesto que se buscó ayudar a personas de escasos recursos, quienes primitivamente operaban una caldera artesanal a gas, la cual no poseía ningún tipo de lazo de control y seguridad a excepción de una válvula de alivio. Esto provocó numerosos accidentes físicos en las personas que operan la caldera, y elevadas pérdidas económicas. Es por ello, que se retiró esta caldera, dejando de intervenir en el proceso de elaboración de leche de soya para muchos niños y niñas de la calle.

Además, nace del campo económico, con la finalidad de reducir los costos que se requieren para automatizar pequeñas y medianas calderas que se aproximan normalmente a \$3.000. Po consiguiente, alternativas de sistemas

de control para estas calderas, que minimizaron este costo a una décima parte; sobre todo, cumplen con las normas ASME lo que hace que sean factibles y viables para su posterior uso.

Por otra parte, este proyecto profundizó en utilizar diferentes campos de la carrera de ingeniería mecánica, como: diseño mecánico, termodinámica, Instrumentación, sistemas de control, electricidad, electrónica y principalmente la resolución de problemas de carácter ingenieril, todo esto con la finalidad de llevar a buen término el presente proyecto.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Automatizar una caldera a gas como parte del proceso de elaboración de leche de soya.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Selección y diseño de un sistema de control de nivel de agua y cumplir con norma ASME BPVC SECTION I.
- Selección y diseño de un sistema de control de combustión según norma NFPA 8502.

1.4 Marco teórico

Con el fin de unificar los criterios, se definen conceptos de funcionamiento y características de las variables principales que están involucradas en la caldera para la generación de vapor.

1.4.1 Caldera de Vapor

La caldera tiene como propósito producir vapor mediante la combustión de un combustible, por lo que, habrá un peligro durante toda su operación. Por ello, es necesario tener el suficiente conocimiento de la misma.

1.4.2 Definición

El término “caldera” aplica a una máquina para generar (1) vapor para energía (2) agua caliente para calefacción o suministro de agua caliente. Por simplicidad, es costumbre considerar a la caldera como un productor de vapor.

La caldera de vapor es una máquina donde se alimenta agua para producir vapor requerido, por el intercambio de calor entre gases producto de la combustión.

El diagrama de bloques en la Figura 1.1, nos muestra el balance energético elemental de una caldera de vapor, en la cual tenemos como variables de entrada el combustible, agua y aire; y como variables de salida tenemos el vapor de agua y las pérdidas tales como: gases de combustión, emisión de calor por radiación, purgas y hollín.

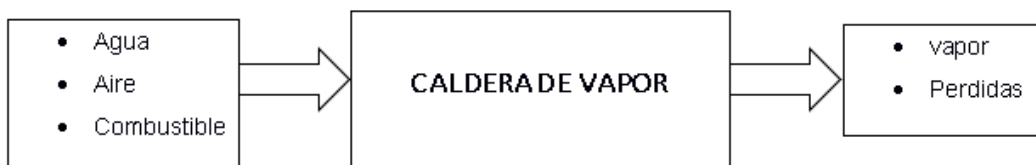


Figura 1.1 Balance energético de una caldera de vapor [McGraw-Hill,1961]

1.4.3 Clasificación de la caldera

Las calderas pueden clasificarse en función de cualquiera de las siguientes características:

- **USO.** -Desde la simple caldera de carcasa cilíndrica, se han desarrollado tipos variados de unidades generadoras de calor. Algunos

han sido diseñados para fines generales de energía o calefacción, otros para funciones más especializadas. Sus características varían según la naturaleza del servicio que se realizará. Habitualmente, las calderas se llaman estacionarias (tierra) o móviles (marinas y locomotoras). Las calderas estacionarias pueden servir para la calefacción de edificios, para calefacción de distrito (estación central), para vapor de proceso de planta, para vapor de energía de planta, para plantas de utilidad de estación central o para fines especializados. Las calderas portátiles, incluyen el tipo de locomotora utilizada en los campos petrolíferos y las serrerías, el generador de vapor en miniatura y la máquina de vapor familiar para los trabajos de construcción.

- **PRESIÓN**

Calderas estacionarias. Para proporcionar un control de seguridad sobre las características de la construcción, todas las calderas estacionarias inseguras (por requerimiento de la ley en la mayoría de los estados y municipios) deben construirse de acuerdo con el Código de Calderas y Recipientes a Presión de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos, conocido como Código de caldera ASME. Este código diferencia a las calderas por las siguientes características:

- Calderas de calefacción de baja presión: todas las calderas de vapor para operar no deben exceder 15 psi de presión, y todas las calderas de agua caliente para operación a presiones, no deben exceder los 160 psi y tampoco deben exceder temperaturas 250 ° F.
- Calderas eléctricas: todas las calderas con condiciones de funcionamiento que exceden las especificadas anteriormente.
- Calderas en miniatura: todos los recipientes a presión que no exceden los siguientes límites: (a) 16 pulgadas; diámetro interior del caparazón; (b) volumen bruto de 5 pies cúbicos, excluyendo el revestimiento y el aislamiento; (c) superficie de calentamiento de

agua de 20 pies cuadrados; y (d) presión máxima de trabajo permisible de 100 psi.

Calderas de locomotoras. Las calderas móviles para locomotoras ferroviarias también se construyen de acuerdo con el Código de calderas ASME (Sec. III).

Calderas marinas. Las calderas marinas se construyen de acuerdo con las "Regulaciones de Ingeniería Marina y Especificaciones de Materiales de la Guardia Costera de los EE. UU." o las "Especificaciones Generales para Maquinaria de la Marina de los EE. UU.", aquí hay ciertas excepciones enumeradas en todos estos códigos.

- **MATERIALES.** - La selección de materiales de construcción está controlada por la Sección II del Código de calderas de ASME ("Especificaciones del material").

Las calderas de potencia generalmente están construidas con aceros especiales. Las calderas en miniatura pueden estar construidas de metales tales como cobre, acero inoxidable y similares.

Las calderas de calefacción de baja presión generalmente están construidas de hierro fundido o acero, aunque algunas calderas residenciales a gas están construidas con tubos de cobre.

Las calderas de hierro fundido, el producto de las fundiciones de hierro gris; se componen de varias secciones conectadas por boquillas de presión o conectadas individualmente a colectores externos.

Las calderas de acero y el producto de las plantas de fabricación de placas de acero, están hechas de placas de acero y tubos de calderas. Las placas se unen por remachado o soldadura (generalmente el remachado ha sido reemplazado por soldadura). Los tubos se insertan en el tambor, el cabezal o la lámina del tubo y se expanden, enrollan o sueldan a la fuerza para formar una junta hermética.

- **TAMAÑO.** - El comercio reconoce los códigos de calificación del Instituto de Calderas de Acero (SBI) y el Instituto de Fabricantes de Calderas y Radiadores (IBR).

Calderas de acero. El "Código de clasificación de calderas de acero" del Instituto de calderas de acero oficializa el tamaño y clasificación de las calderas de estufas de acero, las calderas escocesas, las calderas de calefacción (excepto las verticales con una presión de más de 15 lb) de la siguiente manera:

1. Calderas comerciales: las clasificaciones se basan solo en la superficie de calentamiento. Los veintidós tamaños varían de 129 a 3.571 pies cuadrados de superficie de calentamiento (648 a 18.000 MBh 'de producción bruta).
2. Calderas residenciales: las clasificaciones se basan en la superficie de calentamiento verificada por la prueba de rendimiento. Los diecisiete tamaños varían de 16 a 294 pies cuadrados de superficie de calefacción (hasta 1.800 MBh de producción bruta) 1 MBh equivale a 1.000 Btu por hora.
3. Las calderas alimentadas con aceite y calderas-quemadores con clasificaciones basadas únicamente en la prueba de rendimiento. Los catorce tamaños tienen un rendimiento bruto de hasta 1.800 MBh.

calderas de hierro fundido. El "Código de Pruebas y Evaluación de baja presión de las calderas de calefacción" IBR estandariza clasificaciones de calefacción de la caldera de hierro fundido (hasta la presión de 15 psig) en treinta y tres tamaños (hasta 6.930 libras de vapor por hora).

- **EL CONTENIDO DEL TUBO**

Además del tipo de caldera de concha común, hay dos clasificaciones generales de la caldera de acero, la caldera de tubo de fuego y la caldera de tubo de agua.

- Caldera piro-tubular. Estas calderas de arco con tubos rectos están rodeadas de agua y atraviesan los productos de la combustión. Los tubos generalmente se instalan dentro de la parte inferior de un solo tambor o caparazón debajo de la línea de flotación.
- Calderas acuotubular. Estas son calderas en las que los propios tubos contienen vapor o agua, y el calor se aplica a la superficie exterior. Los tubos generalmente se conectan a dos o más tambores colocados en paralelo, o cruzándola, o en la línea central. Los tambores generalmente se colocan horizontalmente.
- **FORMA Y POSICIÓN DEL TUBO. –**
La superficie de calentamiento tubular se puede clasificar (1) por forma, ya sea recta, curvada o sinuosa: o (2) por inclinación horizontal, inclinada o vertical.
- **ENCENDIDO.** - La caldera puede ser un recipiente a presión o un recipiente a presión sin fuego. En calderas quemadas, el calor aplicado es un producto de la combustión del combustible. Una caldera no encendida tiene una fuente de calor distinta de la combustión.
- **FUENTE DE CALOR.** - El calor puede derivarse de (1) la combustión de combustible (sólido, líquido o gaseoso); (2) los gases residuales calientes de otras reacciones químicas; (3) la aplicación de energía eléctrica; o (4) la utilización de energía nuclear.
- **COMBUSTIBLE.** -Las calderas a menudo se designan con respecto al combustible quemado, por ejemplo, carbón bituminoso, carbón de antracita, carbón pulverizado, gas, petróleo, madera y bagazo u otros productos de desecho.

- **FLUIDO.** -El concepto general de una caldera es el de un recipiente para retener el vapor. La gran mayoría de las calderas residenciales y muchos tipos más grandes. Sin embargo, son para el propósito de calentar agua caliente. Algunas calderas de proceso se usan para calentar productos químicos especiales, como algunas plantas de servicios públicos han instalado calderas de mercurio.

- **CIRCULACIÓN.** - La mayoría de Calderas opera con circulación natural. Algunos utilizan circulación positiva, en la que el fluido operativo puede ser forzado una vez o controlado con recirculación parcial.

- **POSICIÓN DEL HORNO.** - La caldera es un dispositivo de combustión externa en el que la combustión se desplaza fuera de la región de agua hirviendo. Todo el calor debe transferirse a través de la superficie de calentamiento para llegar al agua. La ubicación relativa del horno a la caldera se indica por la descripción de que el horno está en combustión interna o externa:
 1. El horno está encendido internamente, si la zona del horno está completamente rodeada por superficies refrigeradas por agua, como en una caldera escocesas o una caldera de cámara de combustión portátil.
 2. El horno está encendido externamente si el horno es auxiliar al colector o construido bajo la caldera.

La configuración de la caldera incluye refractarios, cubiertas aisladas, trabajos de ladrillos y soportes.

- **FORMA GENERAL.** - Durante la evolución de la caldera como productor de calor, han aparecido muchas formas y diseños nuevos. Algunas de esas calderas se han popularizado y son ampliamente reconocidas en el comercio, incluidas las siguientes:

1. Calderas pirotubular de retorno horizontal: cámara de combustión corta, compacta, locomotora, tubo vertical, tipo escocés.
2. Calderas acuotubulares: tubos rectos horizontales y unidades de tubos curvos. La caldera de tubo recto horizontal puede tener un cabezal de tipo caja hecho de chapa de acero, o un revestimiento seccional cada una de las cuales conecta los tubos en una sola fila vertical. La caldera de tubo doblada puede tener de uno a cuatro tambores. Si el tambor es paralelo a los tubos, la caldera es un tambor longitudinal largo; si cruza los tubos, es un tambor cruzado. Si el horno se cierra con superficies refrigeradas por agua, se trata de un horno de pared de agua (refrigerado por agua).

1.4.4 Tipos de caldera

Existen variaciones, tales como la caldera de tubo en tubo, la caldera de cocción superior y similares. Una caldera de destello tiene una capacidad de agua relativamente pequeña y una alta tasa de disparo.

El disparo diferencial y el disparo tangencial son términos descriptivos para la colocación y el funcionamiento de los quemadores.

Las calderas generalmente se clasifican de la siguiente manera:

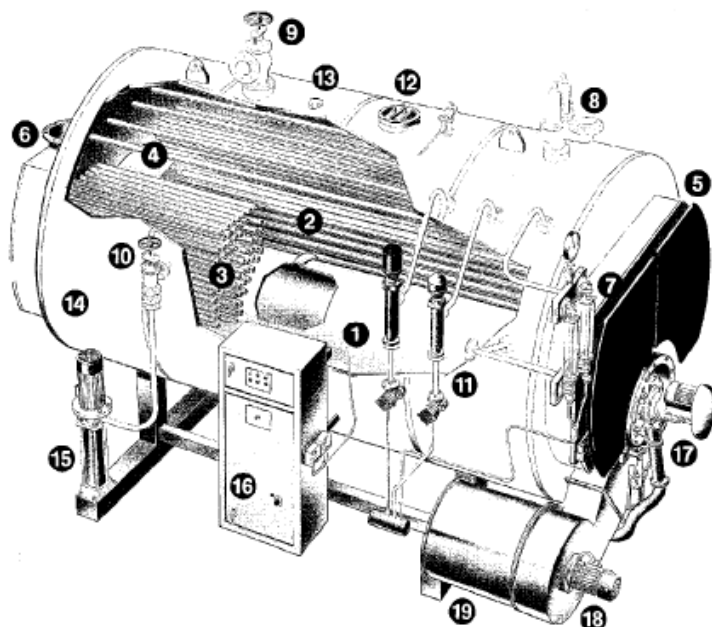
1. Calderas de acero
 - A. Tipo pirotubular.
 - B. Tipo acuotubular.
 1. Tubo recto horizontal.
 2. Tubo doblado.
 - a. Circulación natural.
 - b. Circulación positiva.
 - C. Tipo de concha.
2. Calderas de hierro fundido.
3. Calderas de diseño especial.
4. Nuclear reactores.

1.4.4.1 Calderas pirotubulares de acero

Las calderas pirotubulares de acero se diseñan alrededor de sus pases de horno y tubo. Muchos arreglos se han desarrollado. Los tubos se han colocado en posición horizontal, inclinada y vertical, con uno o más pasos. La caldera se designa como tubo pasante o tubo de retorno de acuerdo con la dirección del flujo de gas caliente. Las calderas pirotubulares de acero se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Horno externo.
 - a. Tubular de retorno horizontal (HRT).
 - b. Caja de combustión corta.
 - c. Compacto.
2. Horno interno.
 - a. Tubular horizontal.
 - (1) Locomotora.
 - (2) Caja de combustión corta.
 - (3) Compacta.
 - (4) Escocesa.
 - (a) Parte seca (espalda seca).
 - (b) Parte trasera húmeda (marina escocesa).
 - (c) Parte superior mojada.
 - (5) Paquete Scotch.
 - (a) Espalda seca, espalda mojada y superior mojada.
 - (b) Dos, tres y cuatro pasadas.
 - b. Tubular vertical.
 - (1) Cabezal de vapor, cabeza plana o sumergida.
 - (a) Concha recta.
 - (b) Aterrizaje.
 - (c) Cónico.
 - c. Residencial.

A continuación, en la Figura 1.2. podemos ver las partes esenciales de una caldera pirotubular.



- 1 Hogar.
- 2 Tubos (2do paso).
- 3 Tubos (3er paso).
- 4 Cámara de combustión.
- 5 Caja de humos frontal.
- 6 Caja de salida posterior.
- 7 Visor.
- 8 Válvula de seguridad.
- 9 Válvula de salida de vapor.
- 10 Válvula de retención de agua.
- 11 Controles de nivel.
- 12 Entrada de hombre.
- 13 Conexión de repuesto.
- 14 Carcaza.
- 15 Bomba agua.
- 16 Panel de control.
- 17 Quemador
- 18 Ventilador
- 19 Silenciador ventilador

Figura 1.2 Partes de una caldera pirotubular [McGraw-Hill,1961]

1.4.4.2 Calderas acuotubulares de acero

Las calderas de tubos de acero se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Tubo recto horizontal- (a) cabezal de caja o cabezal seccional; (b) tambor longitudinal o tambor cruzado; y (c) caja de combustión portátil.
2. Tubo doblado- (a) cuatro tambores; (b) tentáculo; (c) tres tambores de cabeza bajan; (d) dos tambores, tubo vertical; (e) dos tambores, tubo inclinado; (f) tres tambores "A"; (g) largo y corto, dos tambores; y (h) dos tambores.

Para presiones superiores a 150 psi y capacidades superiores a 15.000 lb de vapor por hora, la caldera de tubos de agua de acero se utiliza casi exclusivamente. Algunas calderas acuotubulares se encuentran en baja presión (15 psi).

Las calderas acuotubulares se vuelven limitadas a medida que aumentan los requisitos de capacidad y presión. Los diámetros de cubierta más grandes requieren placas más gruesas para resistir los diferenciales de temperatura y temperatura de la presión en la estación central. crean altas tensiones de inestabilidad indeterminada. Estas tensiones, combinadas con los efectos de muchas explosiones de calderas, precipitaciones y otros depósitos, tienen sus componentes más pequeños y la aceitadora de acero es mucho más adecuada para la caldera acuotubular. Acomodar la expansión, las inhalaciones y las altas presiones a través de la seguridad inherente de su diseño.

A continuación, en la Figura 1.3. se observa calderas de tubos de agua recto (a) tipo calderín horizontal y (b) tipo calderín transversal.

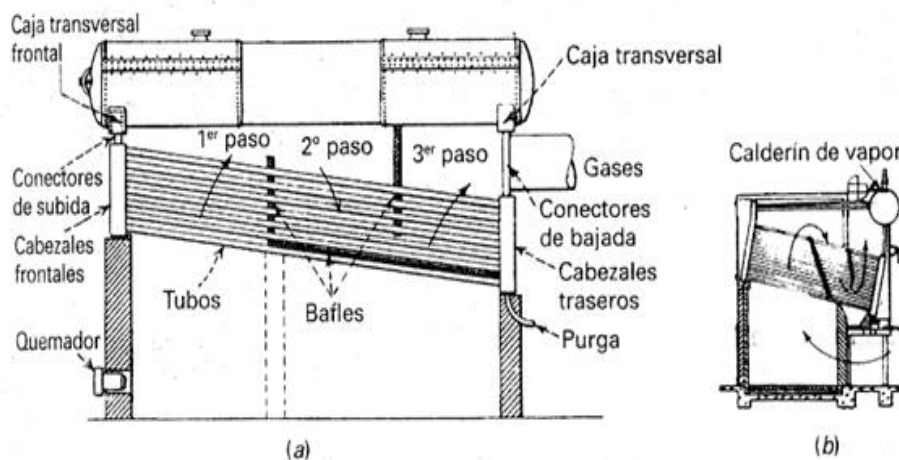


Figura 1.3 Calderas de tubos rectos [McGraw-Hill,1961]

Un mayor desarrollo de la caldera acuotubular fue la caldera de tubos doblados, como se observa en la Figura 1.4. Ésta trabaja con el principio de la temperatura y densidad del agua.

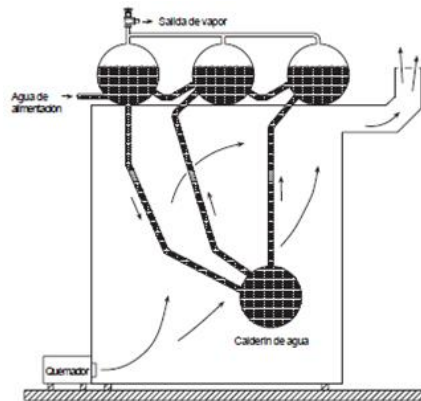


Figura 1.4 Caldera de tubos doblados [McGraw-Hill,1961]

1.4.5 Gas licuado de petróleo (GLP)

El Gas Licuado de Petróleo tiene una combinación compleja de hidrocarburos producida por destilación del petróleo crudo. Compuesta de hidrocarburos con un número de carbonos dentro del intervalo de C_3 a C_5 , en su mayor parte de C_3 a C_4 .

1.4.5.1 Composición general

A continuación, en la tabla 1.1 se muestran los componentes peligrosos del GLP, la cual fue proporcionada de la ficha de seguridad del producto.

Tabla 1.1 Componentes peligrosos [PAMPILLAS.A,2006]

Componentes peligrosos	Rangos %	Clasificación	
		R	S
Hidrocarburos, ricos en C_{3-4} , destilado del petróleo; Gases de petróleo. (1,3-butadieno<0.1%)	>99	F+; R12	S (2)-9-16-33

1.4.5.2 Estabilidad, reactividad y control

El GLP es estable en condiciones normales, pero debe evitar condiciones como: Exposición llamas, chispas, calor y electricidad

estática, exposición al aire. Ya que este producto es extremadamente inflamable por lo que es un combustible. También el producto es incompatible con oxidantes fuertes, porque estos hacen que se libere el producto en el exterior causando daños ya sean materiales o a personas. En la tabla 1.2. podemos ver un abstracto de la ficha de seguridad en donde nos orienta sobre los equipos de seguridad personal y como debemos manipular el producto, para que el personal no tenga accidentes o pérdidas materiales.

Tabla 1.2 Control de exposición [PAMPILLAS S.A, 2006]

<p>Equipos de protección personal:</p> <p>Protección respiratoria: Máscara de protección respiratoria en presencia de vapores o altas concentraciones.</p> <p>Protección cutánea: Guantes de PVC, calzado de seguridad antiestático resistente a productos químicos.</p> <p>Protección ocular: Gafas de seguridad cerradas, lavaojos.</p>
<p>Precauciones generales: Evitar el contacto con el producto licuado y la inhalación del gas. Las ropas contaminadas de gas licuado deben ser mojadas rápidamente para evitar las irritaciones y el riesgo de inflamación, y ser retiradas si no están adheridas a la piel</p>
<p>Prácticas higiénicas en el trabajo: No fumar, comer ni beber en zonas donde se manipule o almacene gas licuado. Seguir las medidas de cuidado e higiene de la piel, lavado con agua y jabón frecuente y aplicación de cremas protectoras.</p>
<p>Controles de exposición: Son poco detectables por el olor en el aire, cuando no están odorizados.</p> <p>Butano:</p> <p>TLV/TWA(ACGIH):1.000ppm.</p> <p>REL/TWA(NIOSH): 800 ppm.</p> <p>MAK: 1000 ppm.</p> <p>Propano:</p> <p>TLV/TWA(ACGIH):1.000ppm.</p> <p>REL/TWA(NIOSH): 1.000 ppm.</p> <p>PEL/TWA(OSHA): 1.000 ppm.</p> <p>MAK: 1.000 ppm.</p>

1.4.5.3 Propiedades físicas y químicas

A continuación, en la tabla 1.3 donde se encuentra las propiedades físicas y químicas del producto (GLP).

Tabla 1.3 Propiedades físicas y químicas [PAMPILLAS S.A, 2006]

Aspecto: Gas licuado Color: Incoloro	pH: NP Olor: Característica, reforzados por derivados sulfurados
Punto de ebullición: (-42.1°C) -(3.7°C)	Punto de fusión: NP
Punto de inflamación: (-107.5°C) -(-101.6°C)	Autoinflamabilidad: >400°C
Propiedades explosivas: Lim. Inferiores explosivos: 1.87-2.10% Lim. Superior explosivos: 9.38-10.05%	Propiedades comburentes: NP
Presión de vapor: 10-14 kg/cm ² a 37.8°C	Densidad: 0.535 g/cm ³ a 15°C (ASTMD1657)
Tensión superficial: 16 dinas/cm a -47 °C	Viscosidad: NP
Densidad de vapor: 1.5(aire:1) a 0°C	Coef. Reparto(n-octanal/agua): Log kow:2.36
Hidrosolubilidad: 0.0047% vol/vol	Solubilidad: (a 100°C) 10,5-11,5cSt (ASTMD-445)
Otros datos: Azufre total:150 ppm máx. Poder calorífico Neto: -10830 Kcal/Kg Olefinas totales: 58%(ASTMD2163) Residuo volátil (T^a evaporación 95% vol.): 2.2°Cmáx.	

1.4.6 Control e instrumentación de calderas

Para realizar un buen trabajo de automatización es necesario conocer en detalle los instrumentos y controles que se requieren para el correcto funcionamiento de la caldera pirotubular a automatiza, ya que de ellos depende una operación segura, confiable y eficiente. En la Figura 1.5, se presenta un diagrama simplificado de cómo se relacionan los sistemas de control, la caldera y las variables de la caldera, las cuales son censadas y luego transmitidas al sistema de control donde se comparan con los valores de referencia hasta obtener una caldera en condiciones de operación óptima.

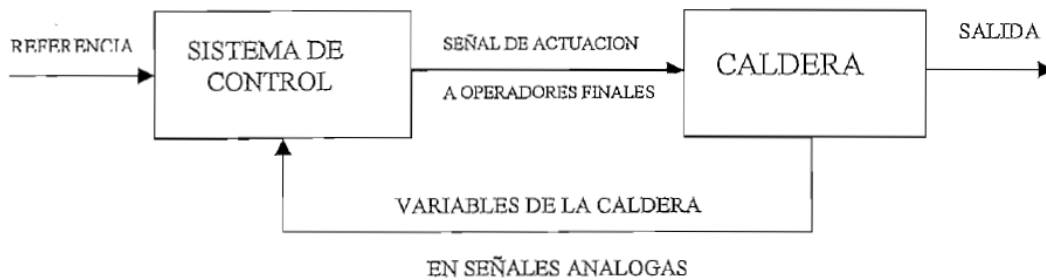


Figura 1.5 Diagrama de bloques simplificado de una caldera

Básicamente, el sistema de control de la caldera busca equilibrar la masa y la energía para responder ante las variaciones de demanda de los consumidores de vapor. La estructura del control de la caldera consta de varios subsistemas y de variables que se interrelacionan entre sí, dentro de la más importantes son: el aire, combustible y agua en la caldera, para lo cual se requiere instrumentación analógica, digital y las acciones de control. A continuación, se observa en la Figura 1.6 un esquema de control básico de la caldera.

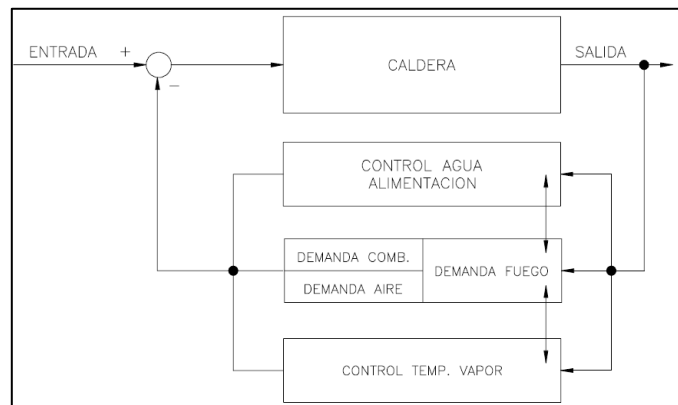


Figura 1.6 Esquema del control básico de una caldera

Por lo tanto, en el control de la caldera se tiene estos subsistemas que pueden ser de lazos simples independientes o un sistema multivariable como el control de combustión donde se regulan la cantidad de aire y de combustible para generar una demanda de fuego deseada, es decir, un sistema con dos entradas y una salida. Además, el sistema de control debe

tener definidos sus tiempos muertos como se observa en la tabla 1.4; ésta tiene que contar con un sistema de filtrado, de manera que el ruido y la interferencia no afecten la mediciones de las variables; por último un circuito de compensación es necesario, de forma que un cambio en la variable no afecte el proceso, por ejemplo, dependiendo del tipo de combustible que se use debería de existir un tipo de compensación de manera que no sea afectado la cantidad de combustible que se inyecta en el hogar.

Tabla 1.4 Tiempos muertos recomendados

Medición	Tiempo muerto
Caudal	Segundos
Caída de Presión	Segundos
Nivel	Segundos a minutos
Aumentado de presión	Minutos
Temperatura	Minutos
Presión en líquidos	Milisegundos a segundos

Existen cuatro subsistemas en el sistema de control de la caldera:

- Instrumentación y Control del agua de alimentación.
- Instrumentación y Control de la combustión.
- Instrumentación y Control del vapor.
- Instrumentación y Control de las pérdidas.

1.4.7 Instrumentación y control del agua de alimentación

El agua es utilizada en la caldera para absorber el calor de la superficie metálica de los tubos para luego convertirse en vapor utilizable para la industria, es por ello que es recomendable que el nivel de agua se mantenga dentro de un rango. Por consiguiente, si el nivel de agua es muy bajo, la temperatura aumentaría quedando tubos expuestos a un calor excesivo y las condiciones de operación (presión y temperatura) del caldero serían peligrosas, pudiendo provocar incluso la destrucción de la caldera.

Por otro lado, un nivel muy alto a lo aconsejado induciría un decremento en la capacidad de generación de vapor de la caldera. Por ello, es necesario un suministro de agua que coincida con la tasa de evaporación y este nivel se mantenga en un rango adecuado.

Dentro de los objetivos que debe cumplir el sistema de control de nivel son:

1. Mantener el nivel en el valor adecuado.
2. Reducir la interacción con el control de combustión; por ejemplo: cuando existe un suministro desigual del agua de alimentación se producen cambios en la presión de vapor y a su vez esto conlleva a modificar la demanda de fuego sin existir variación real en la demanda de vapor.
3. Crear suaves cambios en el agua almacenada ante los cambios de carga en la demanda.
4. Equilibrar adecuadamente la salida de vapor con la entrada de agua.
5. Compensar las variaciones de presión del agua de alimentación sin perturbar el proceso ni modificar el punto de operación.

1.4.7.1 Propiedades físicas y químicas del agua de alimentación

Adicionalmente, las propiedades físicas y químicas del agua de alimentación son importantes para un buen rendimiento, alargar la vida útil y evitar ciertas fallas. Entre los principales problemas que produce el agua no tratada debido a impurezas se tiene: la formación de incrustaciones y depósitos, corrosión, arrastre, entre otros.

1.4.7.2 Control de Nivel de agua

El nivel de agua debe mantenerse en el rango recomendado por el fabricante de la caldera, para que exista la transferencia de calor hacia el agua y evitar situaciones peligrosas de operación. Básicamente, el sistema de control de nivel está conformado por los sensores de nivel de agua y el controlador de nivel.

Los sensores de nivel mandan una señal al controlador dependiendo a que nivel se encuentra el agua, y el controlador realiza las siguientes acciones:

1. Encendido y apagado de la bomba de alimentación de agua.
2. El apagado del quemador por el nivel bajo de agua.

Esta segunda acción se encuentra en el código ASME sección I, el cual indica que se debe instalar un control automático de bajo nivel, aparte del control de nivel, y este debe bloquear la operación del quemador antes de que el agua caiga al nivel más bajo en el visor de nivel, con la finalidad que los tubos superiores de la caldera no queden expuestos al calor excesivo y así se reduzca la posibilidad que se deformen e incluso que se rompan estos tubos.

1.4.7.3 Sensores de nivel de agua

Este es el encargado de mandar la señal de nivel al controlador, para que éste tome las acciones de control antes mencionadas. En el mercado existen diferentes tipos de sensores de nivel, entre los cuales se tiene:

1. **Flotador con contacto:** Está compuesto por una boya flotante y un contacto que se abre o cierra en función de que la boya flote o no. Pueden ser magnéticos o mecánicos, estos últimos tienen un tiempo de retardo mayor que los magnéticos, se muestra en la Figura 1.7 un ejemplo de flotador con contacto.



Figura 1.7 Flotador con contacto magnético [Maq. Henriques]

2. **Conductivo:** Utiliza el principio de conductividad eléctrica, sirve para líquidos conductores como el agua no destilada existente en la caldera, en otras palabras, éste consta de dos conductores situados a distinta altura, que cuando el líquido cubre uno de los dos puntos (alto o bajo), se establece una corriente entre ellos que conmuta una salida. En la Figura 1.8 se muestra un sensor conductivo.



Figura 1.8 Sensor de nivel conductivo [Calser, 2018]

3. **Capacitivo:** Este accesorio utiliza el principio de la capacitancia y sirve para detectar la presencia de agua con una constante dieléctrica definida. Por lo tanto, si el líquido cubre el sensor, éste lo detecta. En la Figura 1.9 se observa un ejemplo de sensor capacitivo.



Figura 1.9 Sensor de nivel capacitivo [Calser, 2018]

1.4.7.4 Controladores de nivel

En el mercado local de Guayaquil existen diversos proveedores de estos controladores como La llave, Calser, Maquinarias Henriques, JNG del Ecuador, entre otros. A continuación, se presentan los siguientes controladores de nivel previamente cotizados.

En la Figura 1.10 se observa el controlador de nivel de agua marca Warrick.



Figura 1.10 Controlador Warrick [Calser, 2018]

En la Figura 1.11 se observa el controlador de nivel marca Camsco.



Figura 1.11 Controlador de nivel Camsco [Calser 2018]

A continuación, se presenta en la tabla 1.5 los costos de los diferentes controladores de nivel cotizados en el mercado local.

Tabla 1.5 Precios de controladores de nivel en el mercado

Marca del controlador de nivel	Warrick	Camsco	telemecanic
Costos	\$130	\$75	\$70

1.4.8 Instrumentación y control de la combustión

La combustión es un proceso importante en la producción de vapor, puesto que es la encargada de entregar al sistema la energía requerida para alcanzar un objetivo deseado. Seguidamente, se presenta el diagrama de bloque de lazo cerrado del control de la combustión, éste controla el flujo aire-combustible dentro del hogar de la caldera, con el objetivo de mantener una temperatura o presión definida en el domo a un caudal de vapor deseado, como se observa en la Figura 1.12.

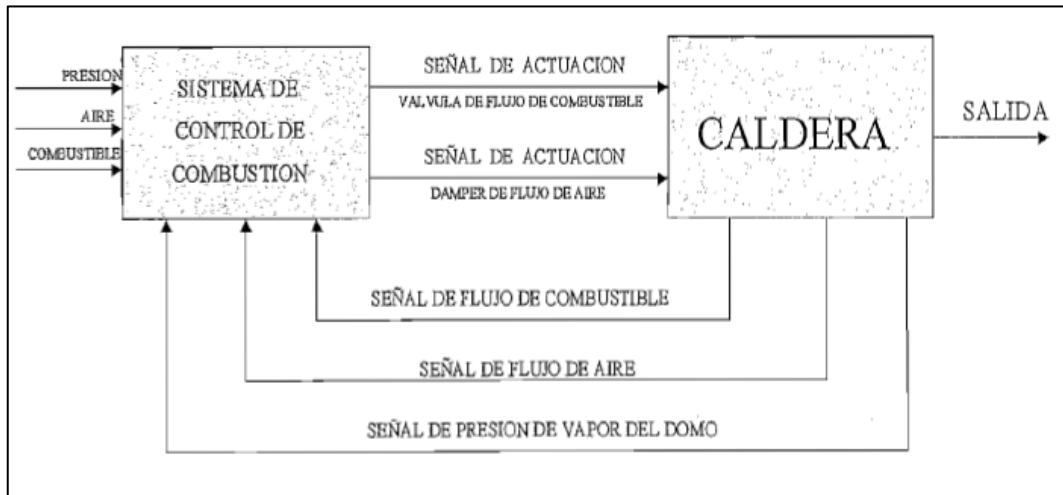


Figura 1.12 Diagrama de bloque del control de la combustión. [Ortiz,2000]

En la Figura 1.12, se identifica como el aire y el combustible son variables controladas, que permiten una combustión completa dependiendo la condición de trabajo requerida, ésta puede ser: presión, temperatura y caudal de vapor deseado. Adicionalmente, una mala regulación del aire-combustible puede provocar paradas imprevistas en la caldera e incluso una explosión. las principales causas son:

- Una interrupción en el suministro de aire-combustible.
- Una fuga de combustible y el encendido resultante por medio de una chispa o fuente externa.
- Repetidos intentos de encendido sin una purga de aire adecuada.

De manera general, en un control de combustión se busca: una eficiencia máxima de combustión, seguridad y continuidad en su operación. Por ello, la selección de un control de combustión se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Especificaciones y tipo de combustible.
2. Seguridad y eficiencia del control del sistema.
3. Especificaciones establecidas por el usuario.

Un sistema de control de combustión según la NFPA 8502 debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- El control de combustión debe mantener la relación de aire-combustible de manera que se asegure una combustión continua y una llama estable en todas las condiciones de operación.
- Cuando se queman múltiples combustibles, se totalizarán basándose en sus poderes caloríficos.
- La demanda de combustible no debe incrementar el caudal de combustible por encima del aire y nunca exceder la capacidad de los ventiladores en servicio.
- La aportación de calor de un quemador no debe exceder los límites especificados.

Por lo tanto, los objetivos técnicos para un sistema de control son los siguientes:

1. Mantener los caudales de aire-combustible dependiendo de la demanda de carga de la caldera.
2. La relación aire-combustible debe ser de tal forma, que asegure el abastecimiento suficiente de oxígeno, para que realice la combustión completa y segura. Por ende, existirá un exceso de aire, que se debe reducir al mínimo para que exista la mayor eficacia posible.
3. Mantener las demandas de los distintos quemadores dentro del límite de su capacidad de operación.

1.4.8.1 Control de Encendido

El encendido se realiza de dos formas:

Encendido auxiliar. – Se lo realiza a través de la llama piloto o por encendedor eléctrico. Es efectivo cuando no existe llama y se lo utiliza para que ésta se establezca. En caso de ser por encendedor eléctrico, es necesario el electrodo y el transformador de ignición, el cual suministra la corriente de alto voltaje, que para combustibles líquidos es

de 12.000 voltios y para gaseosos de 8.500 voltios. Éste se observa en la Figura 1.13.

Encendido inherente. - Es una retroalimentación de parte del calor generado por la llama principal y es efectivo después del encendido auxiliar. Éste se observa en la Figura 1.13.

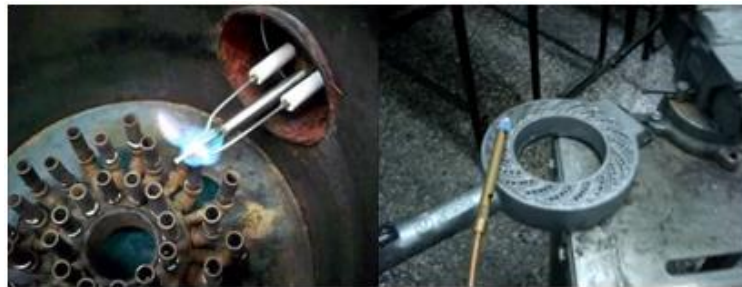


Figura 1.13 Encendido auxiliar [MALONEY, TIMOTHY, 2006]

1.4.8.2 Métodos para controlar la combustión

La caldera debe trabajar el mayor tiempo posible sin detener su funcionamiento, para evitar los peligros de arranque y parada. De igual manera, el control de la combustión debe trabajar sin interrupciones, de manera segura y eficiente. La combustión requiere un conjunto de elementos y controles que operen de forma combinada y sincronizada. Varios constructores, ubican los elementos y componentes sobre la caldera, mientras otros construyen una unidad que integra todos estos elementos denominada quemador. Las funciones del quemador son:

- Abastecer de combustible al hogar.
- Relación de la mezcla aire-combustible.
- Encendido de la mezcla.

1.4.8.3 Método del control On-off

Consiste básicamente de un contactor, el cual se cierra o apaga dependiendo de que llegue al punto de operación deseado en la caldera. El flujo de combustible es controlado por válvula solenoide y se ajusta a

la presión en el regulador, de acuerdo con el flujo de combustible deseado, el cual depende de la demanda. El aire requerido para que la llama adquiera una coloración apropiada, se lo obtiene por medio de la calibración del regulador de aire (dámper).

De igual manera, funcionan los quemadores de doble etapa, con la diferencia que ésta se da después de la primera etapa (conocida como fuego bajo). Como requisito necesario, se debe ingresar más aire por medio de un motor o pistón hidráulico y simultáneamente se debe ingresar mayor cantidad de combustible a la tobera por medio de una conexión directa (bypass) en el retorno del combustible, permitiendo una mayor intensidad de fuego en la tobera. En la Figura 1.14 se especifican las diversas partes del quemador de doble etapa.

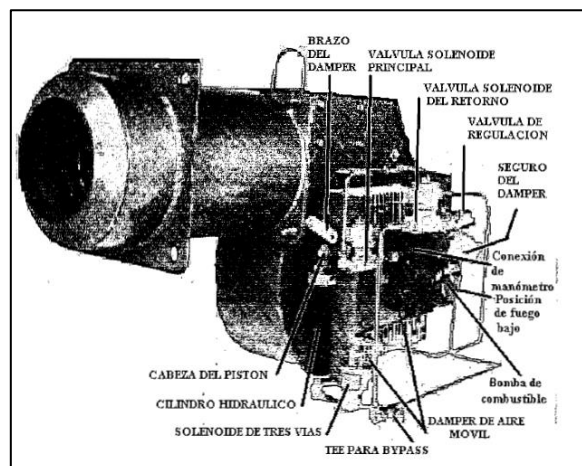


Figura 1.14 Quemador doble etapa. [Ortiz, 2000]

1.4.8.4 Control por posicionamiento

Este es un control de lazo abierto, puesto que no existen medidas del caudal de combustible ni de aire, para mantener dichas variables en valores requeridos, sino que se hacen ajustes para fijar la posición de acuerdo con una demanda definida. Éste consiste en un regulador master que, rota sobre un eje, controla la apertura de la válvula del combustible y los álabes del ventilador a los que está unido

mecánicamente. A continuación, en Figura 1.15 se muestra un sistema de control por posicionamiento.

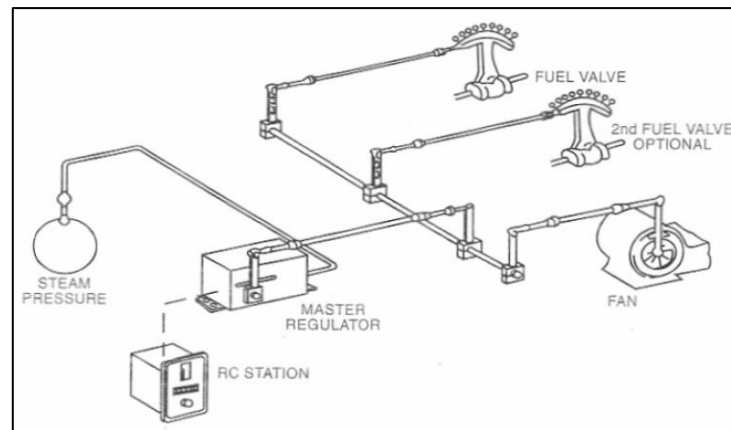


Figura 1.15 Sistema de posición mecánica. [Gilman, 2005]

1.4.8.5 Método de control por modulación

Es un sistema realimentado, proviene del control por posicionamiento y posee un motor que por medio de la posición de rotación se regula la presión y flujo de combustible a la tobera y el aire. Adicionalmente, tiene incorporado un potenciómetro que está ubicado en el control proporcional de presión, el cual varía su resistencia al cambiar la presión, esta resistencia variable está conectada al motor modulante quien cambia la posición de su eje para compensar el desequilibrio.

A continuación, en las Figuras 1.16 y 1.17 se presentan los controladores de llama cotizados para diésel y GLP respectivamente.



Figura 1.16 Controlador de llama para diésel. [Espol, 2018]



Figura 1.17 Controlador de llama para GLP. [Calser, 2018]

1.4.8.6 Tipos de detectores de llama

El proceso de combustión donde se presencia una llama, es un fenómeno físico-químico, que presenta diferentes características, donde las principales son:

- Emisión de radiaciones electromagnéticas (Infrarrojo, QRB, ultravioleta).
- Producción de calor (Infrarrojo).
- Expansión de gases.
- Ionización de la atmósfera dentro y alrededor de la llama (Varilla de Kantal).
- Producción de material residuo.

Los detectores de llama utilizan estas características y reaccionan rápidamente a la presencia de llama. En la tabla 1.6, se presenta los tipos de detectores, que existen en el mercado local y que son usados dependiendo del tipo de combustible.

Tabla 1.6 Tipos de detectores y su aplicación.

Tipos de detectores de llama			
Combustible	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Diesel	QRB (foto resistivo)	Infrarrojo	Sulfuro de Cadmio
GLP	varilla de kantal	Ultravioleta	

En las Figuras 1.18 y 1.19 se observan los detectores de llama foto resistivo y de ionización respectivamente.



Figura 1.18 Detector de llama QRB [M. Henríquez, 2018]



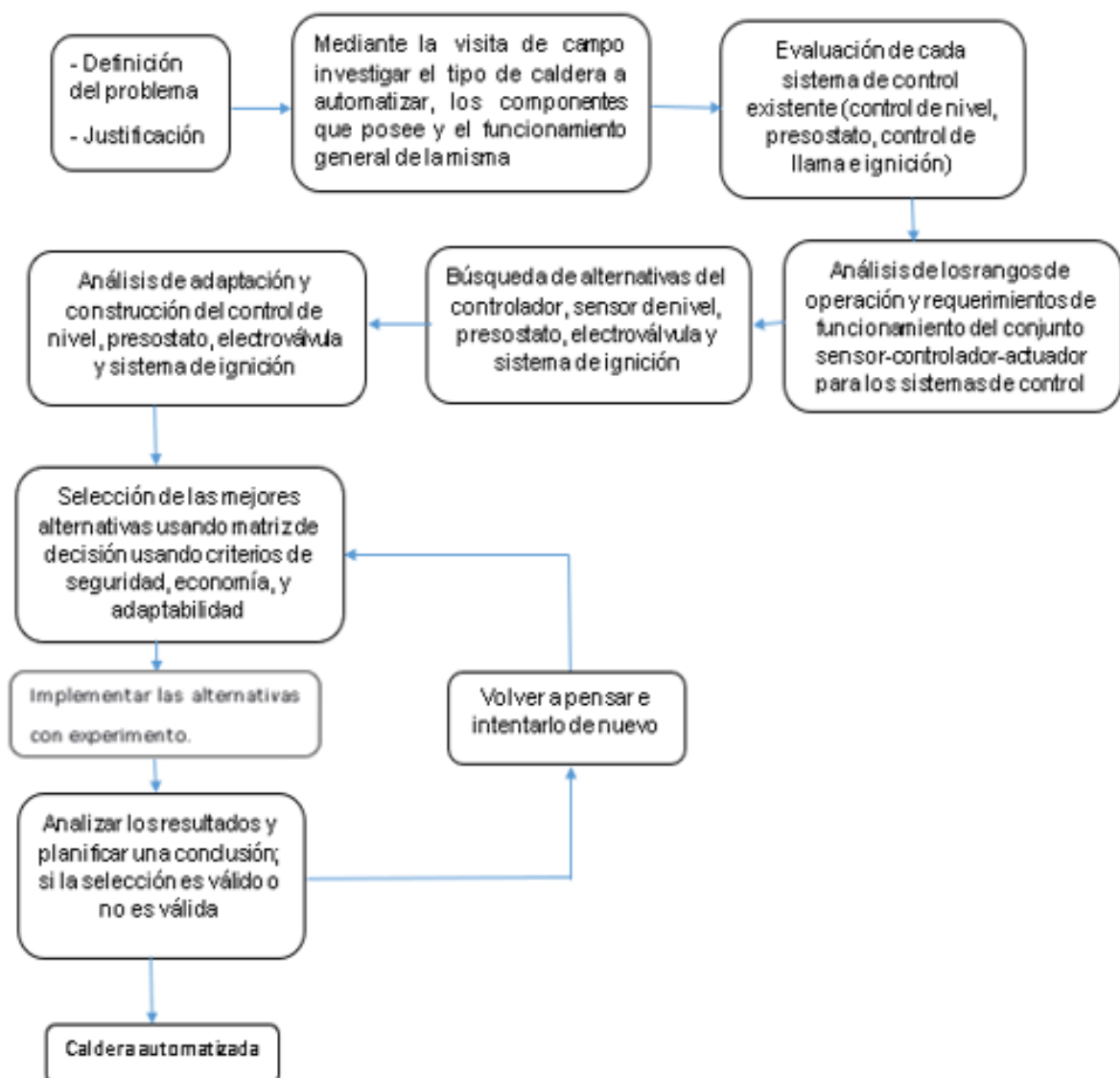
Figura 1.19 Varilla de Kanthal [Calser, 2018]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA, REQUERIMIENTOS Y DISEÑO DE FORMA

2.1 Metodología

A continuación, se presenta la metodología seguida para la realización de este proyecto.



2.2 Requerimientos de diseño

Para obtener las alternativas de solución es necesario establecer los requerimientos necesarios de operación para cada componente a implementar.

2.2.1 Control de nivel

2.2.1.1 Controlador de nivel

El controlador de nivel debe procesar la señal de salida enviada por el sensor de nivel.

El controlador como mínimo debe mantener el nivel de agua entre dos posiciones de referencia (punto alto y punto bajo) y según la Norma ASME Código de recipiente de calderas a presión (BPVC) sección I indica que, cuando el agua caiga por debajo de un nivel seguro de operación, el control envíe una señal para apagar el quemador.

2.2.1.2 Sensor de nivel

Se necesita que éste mida un líquido a un rango de temperatura 100-120°C con un rango de presión de trabajo entre 0-2.5 Kg/cm².

Es recomendable usar un sensor en contacto con el agua.

Se puede implementar nivel de puntos o medición continua.

La distancia entre el nivel bajo y el alto no debe ser mayor a 20 cm entre ambos puntos.

La señal de salida debe ser compatible y procesada por el controlador seleccionado.

2.2.2 Control de combustión

2.2.2.1 Controlador de flama

Debe soportar una capacidad de producción de vapor del caldero de $\frac{1}{2}$ Hp.

El combustible de trabajo debe ser GLP.

El controlador debe enviar la señal al actuador y recibir la señal del termostato.

La Presión de trabajo debe ser entre 0-2.5Kg/cm².

2.2.2.2 Sensor de temperatura

La medición se debe de hacer en forma directa en contacto con el vapor.

El rango de temperatura es de 0-130°C.

La presión de trabajo debe estar entre 0-2.5Kg/cm².

El sensor debe ser roscable.

El voltaje de salida debe ser de 0-5v.

No es necesario un sensor modulante debido al elevado costo.

2.2.2.3 Actuador

Debe cerrar el paso de combustible al quemador.

Debe recibir la señal del controlador para abrir o cerrar el paso de combustible.

2.2.2.4 Sistema de Ignición

La producción de chispa en el quemador debe ser mediante electrodos.

Debe ser regulado por el controlador de flama.

2.3 Alternativas de diseño

Esta parte es muy importante debido a que se presentarán las posibles soluciones para la automatización de la caldera. En la tabla 2.1, se detalla cada uno de los sistemas con su respectivas funciones y medios que se requieren para la automatización.

Tabla 2.1 Tabla morfológica

Sistemas	Funciones	Medios			
control por nivel	Sensor de nivel	On-Off Flotador	Elect. Capacitivo H73	conductor	
	Controlador de nivel	controlador cansco	controlador telemecanic	Control. Waren	floatless relay type C-AFR1
Control por Temperatura	Sensor de temperatura	termostato por ajuste	Presostato modulante		
	Actuador	Electroválvula gas/agua	Válvula manual		
Sistema de ignición	Producción de chispa	Electrodo para Calefón	elect. y transf. de cocina	bobina y bujía de carro	
Controlador De combustión	Controlador	Controlador de flama Landys	PLC	Módulo electrónico para calefón	Control. Flama para GLP

2.4 Selección de mejor decisión

2.4.1 Comparación por pares entre criterios

En esta parte se procedió a escoger la mejor solución para el proyecto.

Primero se debe hacer una comparación por pares de los criterios, para darle los pesos que debe tener cada criterio de una manera correcta. Cabe recalcar, que primero se hizo un estudio en el mercado local de todos los productos existentes y también se tomó en cuenta los criterios dado por el profesor a cargo del proyecto, éstos son: económico, seguridad, disponibilidad del mercado, facilidad de adaptación, eficiencia y facilidad de mantenimiento.

A continuación, se en la tabla 2.2 se realiza la comparación por pares.

Tabla 2.2 Comparación por pares entre criterio

Criterios	¿Cuál es el más importante?	Decisión
Económico	1 económico vs 2 seguridad	Seguridad
	1 económico vs 2 disponibilidad en el mercado	Económico
	1 económico vs 2 facilidad de adaptación	Económico
	1 económico vs 2 eficiencia	Económico
	1 económico vs 2 facilidad de mantenimiento	Económico

	1 económico vs 2 servicio post venta	Económico
Seguridad	1 seguridad vs 2 disponibilidad en el mercado 1 seguridad vs 2 facilidad de adaptación 1 seguridad vs 2 eficiencia 1 seguridad vs 2 facilidad de mantenimiento 1 seguridad vs 2 servicio post venta	Disponibilidad en el mercado Seguridad Eficiencia Seguridad seguridad
Disponibilidad en el mercado	1 disponibilidad en el mercado vs 2 facilidad de adaptación 1 disponibilidad en el mercado vs 2 eficiencia 1 disponibilidad en el mercado vs 2 facilidad de mantenimiento 1 disponibilidad en el mercado vs 2 servicio post venta	disponibilidad en el mercado eficiencia disponibilidad en el mercado disponibilidad en el mercado
Facilidad de adaptación	1 facilidad de adaptación vs 2 eficiencia 1 facilidad de adaptación vs 2 facilidad de mantenimiento 1 facilidad de adaptación vs 2 servicio post venta	Eficiencia Facilidad de adaptación Facilidad de adaptación
Eficiencia	1 eficiencia vs 2 facilidad de mantenimiento 1 eficiencia vs 2 servicio post venta	Facilidad de mantenimiento Eficiencia
Facilidad de mantenimiento	1 facilidad de mantenimiento vs 2 servicio post venta	Facilidad de mantenimiento

2.4.2 Matriz de ponderación

En la tabla 2.3 se presenta las frecuencias, eso quiere decir que se contaron las respuestas dadas en cada decisión de las comparaciones y se tabuló en una respectiva tabla. Esta tabulación permitirá dar un peso en porcentaje a cada criterio.

Tabla 2.3 Frecuencia de cada criterio de selección

Criterios	Frecuencia
Económico	5
Seguridad	4
Disponibilidad en el mercado	4
Facilidad de adaptación	2
Eficiencia	4
Facilidad de mantenimiento	2
Total	21

En la tabla 2.4 se calcula los pesos (valor relativo) en porcentajes, el cual se lo hace con la siguiente ecuación 2.1:

$$\text{Valor relativo} = \frac{\text{frecuencia}}{\text{Total de comparaciones}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Tabla 2.4 Importancia relativa entre cada criterio

Criterio	Valor relativo (%)
Económico	23.8
Seguridad	19
Disponibilidad en el mercado	19
Facilidad de adaptación	9.60
Eficiencia	19
Facilidad de mantenimiento	9.60
Servicio post venta	0

Ahora una vez calculado los pesos relativos, se debe establecer los tipos de calificaciones. Para el proyecto se eligieron tres números los cuales constan en la tabla 2.5 con su respectiva calificación.

Tabla 2.5 Notas para la calificación del proyecto

Nota	Representación
1	Bajo
3	Medio
9	Alto

2.4.3 Matriz de decisión

En esta sección se procede a realizar las respectivas matrices de selección para cada uno de los medios y así proceder a elegir con criterio una solución, dependiendo de la previa investigación de mercado. En cada matriz de decisión se procedió a llenar con las notas asignadas en la tabla 2.5, después se le multiplicó por el peso en porcentaje calculado en la tabla 2.4 y esto nos dio el puntaje total.

Tabla 2.6 Matriz de selección para el sensor de nivel

Criterios	Alternativas		
	On-Off Flotador	Elect. Capacitivo H73	conductor
Económico	1	9	9
Seguridad	3	3	9
Disponibilidad en el mercado	9	3	3
Facilidad de adaptación	3	3	3
Eficiencia	9	9	9
Facilidad de mantenimiento	9	9	9
Puntaje total	5.38	6.14	7.28

En la tabla 2.6, como mejor elección fue hacer el sensor de nivel conductor ya que estos trabajan en la conductividad de líquidos y detectan el nivel por medio de los electrodos colocados en el mismo líquido.

Tabla 2.7 Matriz de selección para el controlador de nivel

Criterios	Alternativas			
	controlador cansco	controlador telemecanic	Control. Waren	floatless relay type C-AFR1
Económico	3	9	1	9

Seguridad	9	9	9	9
Disponibilidad en el mercado	3	9	3	9
Facilidad de adaptación	3	3	3	3
Eficiencia	3	3	9	9
Facilidad de mantenimiento	3	3	3	3
Puntaje total	4.14	6.708	4.80	7.86

Aplicando los criterios de selección en la tabla 2.7, dio como mejor solución el Controlador de nivel floatless relay type C-AFR1 ya que éste cumple con todos los criterios seleccionados.

Tabla 2.8 Matriz de selección para el control de presión

Criterios	Alternativas	
	termostato bimetálico por ajuste	Presostato modulante
Económico	9	3
Seguridad	9	9
Disponibilidad en el mercado	3	3
Facilidad de adaptación	9	9
Eficiencia	3	3
Facilidad de mantenimiento	3	3
Puntaje total	6.14	4.72

Aplicando los criterios de selección en la tabla 2.8, dio como mejor solución el termostato bimetálico por ajuste, para el control de presión.

Tabla 2.9 Matriz de selección para el actuador del control de combustión

Criterios	Alternativas	
	Electroválvula gas/agua	Válvula manual
Económico	9	9
Seguridad	9	9
Disponibilidad en el mercado	9	3

Facilidad de adaptación	9	9
Eficiencia	9	9
Facilidad de mantenimiento	9	3
Puntaje total	9	7.28

Aplicando los criterios de selección en la tabla 2.9, dio como mejor solución una electroválvula gas/agua para el actuador de control de combustión.

Tabla 2.10 Matriz de selección para el sistema de ignición

Criterios	Alternativas		
	Electrodos para calefón	elect. y transf. de cocina	bobina y bujía de carro
Económico	9	9	3
Seguridad	9	9	9
Disponibilidad en el mercado	9	3	3
Facilidad de adaptación	9	9	3
Eficiencia	9	3	9
Facilidad de mantenimiento	3	3	3
Puntaje total	8.42	6.14	5.28

Aplicando los criterios de selección en la tabla 2.10, da como mejor solución los electrodos para calefón para el sistema de ignición.

Tabla 2.11 Matriz de selección para el Controlador de combustión

Criterios	Alternativas			
	Controlador de flama Landys	PLC	Módulo electrónico para calefón	Control. Flama para GLP
Económico	3	3	9	3
Seguridad	9	9	9	9
Disponibilidad en el mercado	9	9	9	9
Facilidad de adaptación	3	9	9	3

Eficiencia	3	9	3	9
Facilidad de mantenimiento	3	3	3	3
Puntaje total	5.28	7.00	7.28	6.42

Aplicando los criterios de selección en la tabla 2.11, dio como mejor solución el módulo electrónico, para el control de combustión.

Tabla 2.12 Mejor solución

Sistemas	Funciones	Alternativas
Control por nivel	Sensor de nivel	Sensor Conducción
	Controlador de nivel	floatless relay type C-AFR1
Control por presión	Sensor de presión	Termostato bimetálico por ajuste
	Actuador	Electroválvula Gas/agua
Sistema de ignición	Producción de chispa	Electrodo para calefón
Controlador de combustión	Controlador	Módulo electrónico para calefón

En la tabla 2.12, se muestra todas las soluciones que se eligieron por las matrices de decisión.

2.5 Consideraciones generales para el proceso de diseño

En esta parte, se muestra el estado de la instrumentación y del control encontrado en la Caldera "la vaca mecánica". Luego, se presentan los principales motivos para la selección de cada estrategia utilizada para el control y los lazos necesarios en la caldera, los principales son: combustión, presión del hogar, temperatura y nivel de agua. Esto se basa apeándonos a la NORMA ISA-RP12,13, Parte II.

2.5.1 Valoración actual de la instrumentación y el control de la caldera

Antes del diseño se realizó una revisión del estado de la instrumentación y control de la caldera, con la finalidad de determinar todos sus componentes a nivel físico y funcional.

El estado de la caldera fue:

- El tipo de instrumentos que presentó la caldera fueron solo indicadores, como, por ejemplo: un manómetro, un visor de nivel.
- No presentó un lazo de control en el nivel de agua de la caldera.
- Para el control de la presión en la caldera solo tenía una válvula de alivio.
- No presentó un lazo de control de la combustión.
- El actuador (Bomba ½ hp) se enciende conectándolo directamente a un enchufe y actualmente no se encuentra operativa.
- No se cumple con las normas de seguridad en operación de una caldera.

2.5.2 Control de nivel

Para el control del nivel de agua se necesita esencialmente los puntos altos y bajo que indican el apagado y encendido de la bomba. Adicionalmente según la Norma ASME Código de recipiente de calderas a presión (BPVC) sección I indica que, debe existir un tercer punto más bajo el cual mande a apagar el quemador directamente. Sin embargo, en la caldera a automatizar se incluye este punto de control. A pesar que, la caldera presenta otros niveles de seguridad como las válvulas de alivio y termostatos bimetálicos, el cual actúa al sobrepasar la presión de operación de la caldera apagando el quemador.

En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de funcionamiento del controlador de nivel.

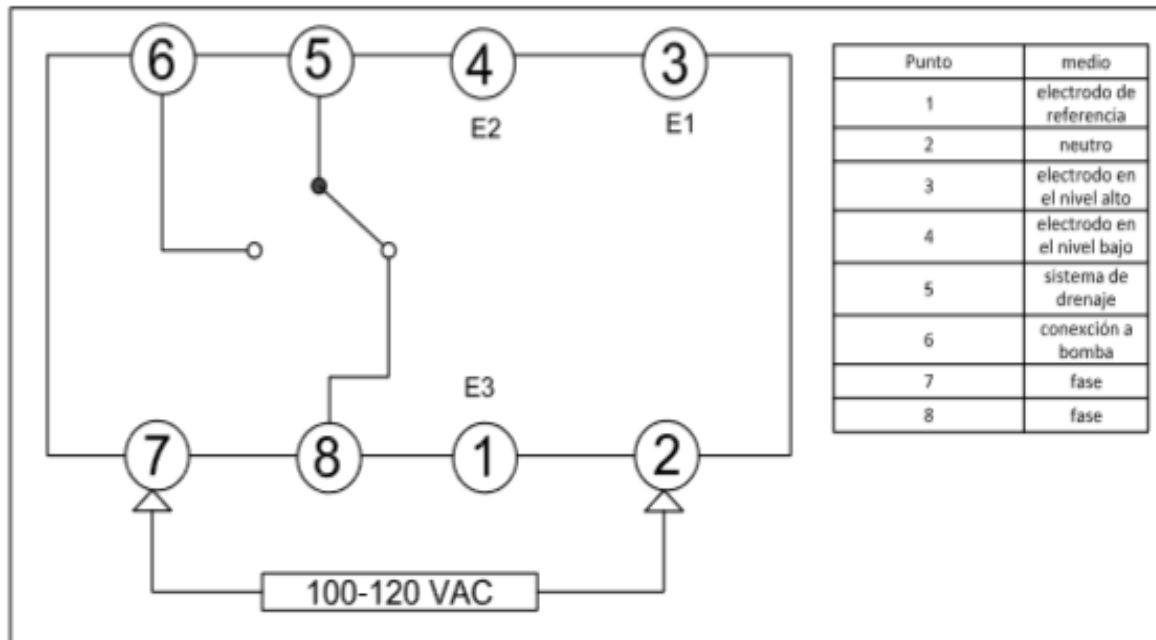


Figura 2.1 Diagrama del controlador de nivel [JNG, 2018]

Para cumplir la estrategia de control de nivel se necesitó:

- Adaptar de forma mecánica otro vaso comunicante en el visor de la caldera, para lo cual se tuvo que realizar diferentes mediciones para comprar e instalar varias uniones, cruces, Niplos, nudos, tapones y acoples en forma de "T", con la finalidad de instalar los sensores de nivel en la caldera.
- Construir e instalar los sensores de nivel conductivo debido a que en el mercado son muy costosos para las condiciones de trabajo requeridas.
- Realizar el mantenimiento correctivo a la bomba para ponerla en operación con el control de nivel.

2.5.3 Control de combustión

En la Figura 2.2 se muestra el diagrama de funcionamiento del controlador de combustión.

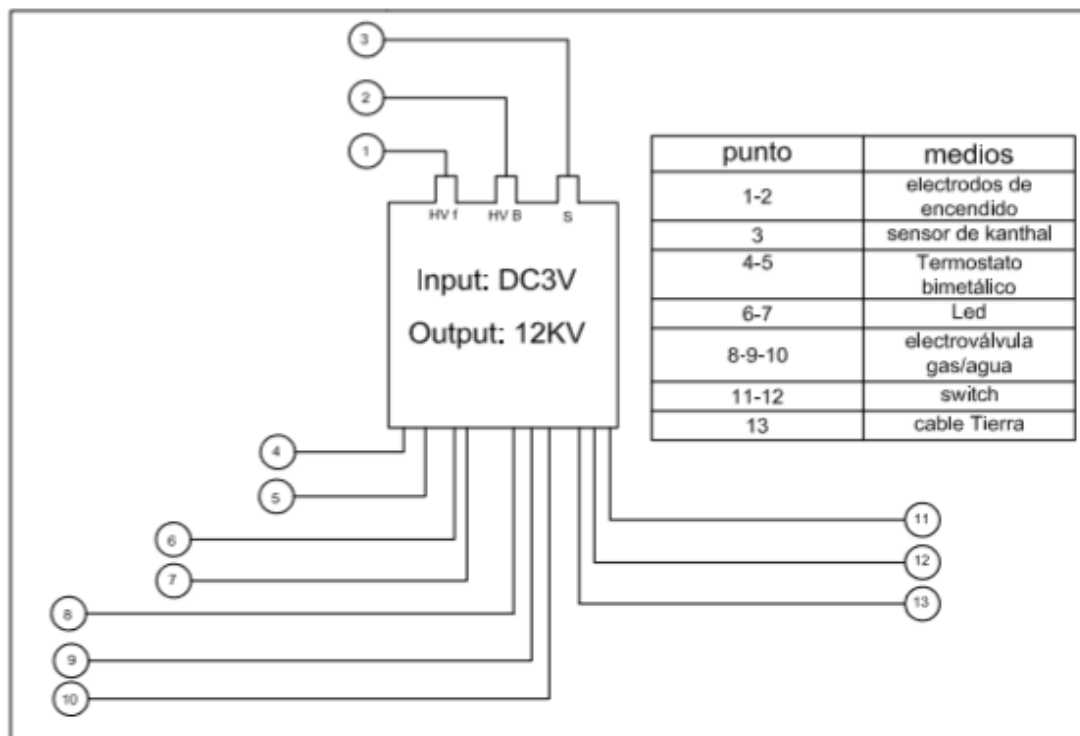


Figura 2.2 Diagrama del controlador de Combustión [Megagenuinos, 2018 cuenca]

Para cumplir la estrategia de control de combustión se necesitó:

- Realizar una adaptación mecánica y eléctrica en la válvula gas/agua, con la finalidad de instalar un switch (botón On/Off) para dar encendido al sistema de combustión.
- Realizar una adaptación en la válvula de gas/agua, con la finalidad de instalar una boquilla roscada, para conectarla con la manguera de gas.
- Diseñar una base para los electrodos de encendido y la varilla de kantal, con la finalidad de dejarlos fijos al quemador.

2.6 Diseño de forma

En esta sección se presentan el esquema general de funcionamiento en donde se presenta los lazos de control establecidos para el sistema de nivel y el sistema de combustión. En la Figura 2.3 se obtiene.

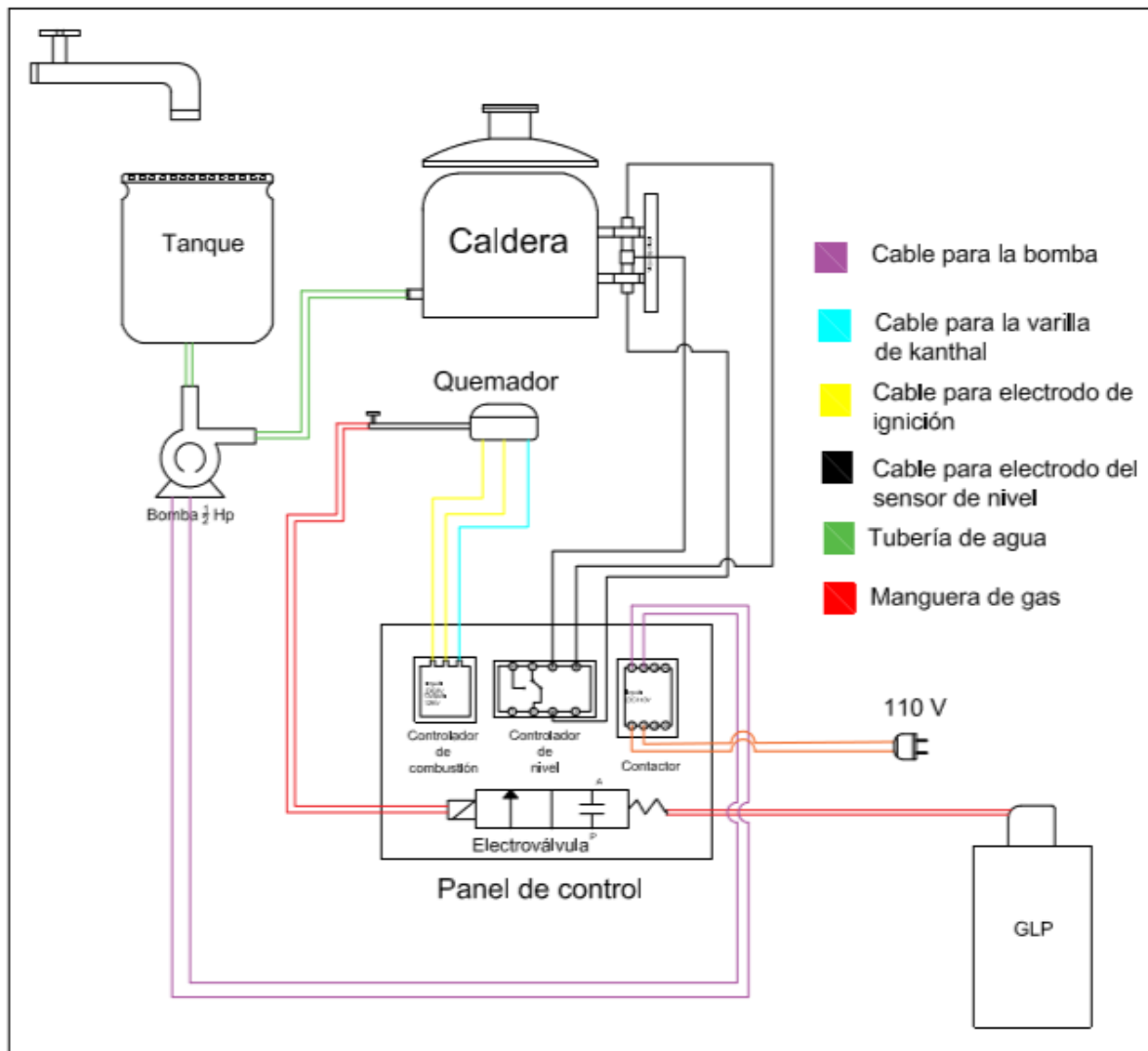


Figura 2.3 Esquema general de funcionamiento

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al implementar las estrategias de control en la caldera pirotubular.

3.1 Resultados

Con el diseño de control basado en las normas ISA, Código de Recipiente de Caldera a Presión (BPVC) sección I y la Asociación Nacional de Protección Contra Incendios (NFPA 8502) da como resultado lo siguiente:

3.1.1 Control de nivel de agua

En la Figura 3.1 se muestra el sistema de nivel de agua diseñado que se implementó en la caldera; el cual constó de tres sensores conductivos para el encendido y apagado de la bomba de alimentación de agua mediante el módulo C-AFR1. Adicionalmente, se construyeron estos sensores conductivos observe la ilustracion3.2.



Figura 3.1 Control de nivel diseñado



Figura 3.2 Sensores conductivos

Para el apagado del quemador por nivel bajo de agua, se colocó en el tanque de alimentación una boya de contacto en serie con el controlador de nivel de agua (C-AFR1), como se muestra en la figura 3.2.

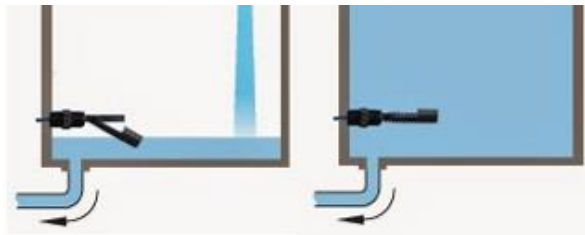


Figura 3.3 Tanque de agua con boya de nivel

3.1.2 Control de combustión

Para el control de combustión se realizó una adaptación a la válvula de gas/agua como se observa en la figura 3.4.



Figura 3.4 Válvula gas/agua

Adicionalmente, se diseñó una base para fijar los electrodos de ignición y la varilla de kanthal en la cocina.



Figura 3.5 Base de electrodos y módulo electrónico

Por último, se realizaron las conexiones necesarias por medio de los siguientes diagramas.

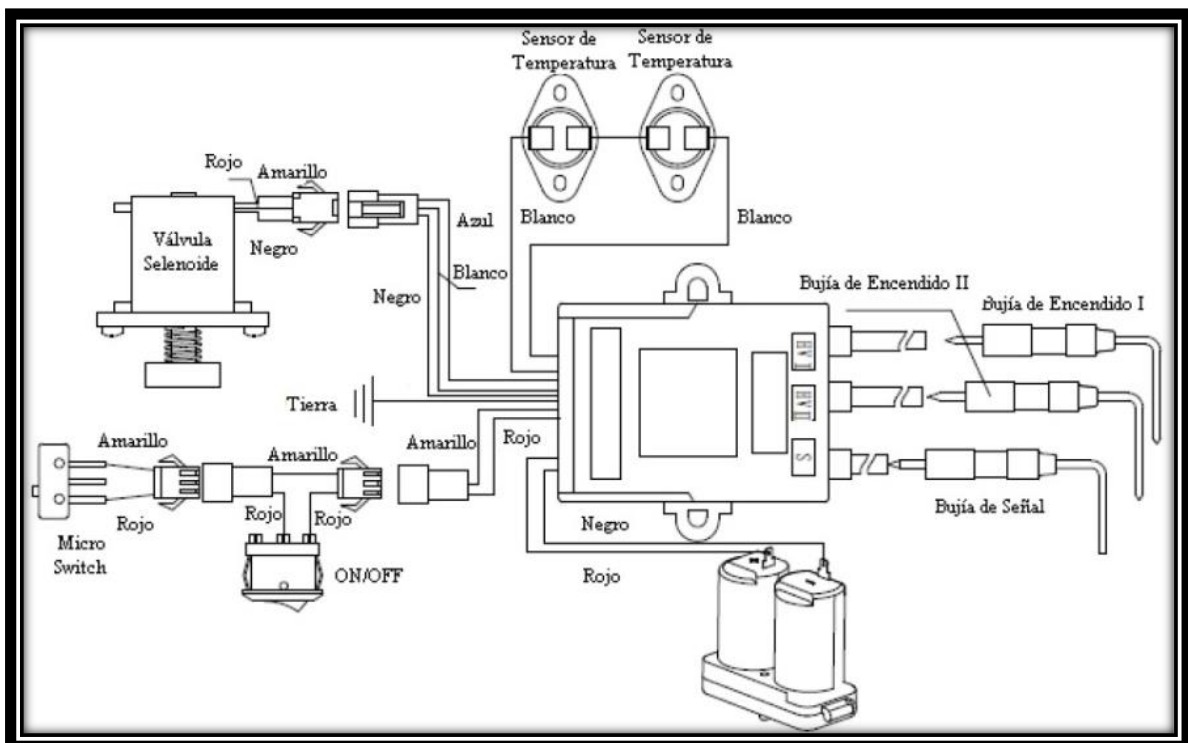


Figura 3.6 Diagrama de conexiones del controlador de combustión

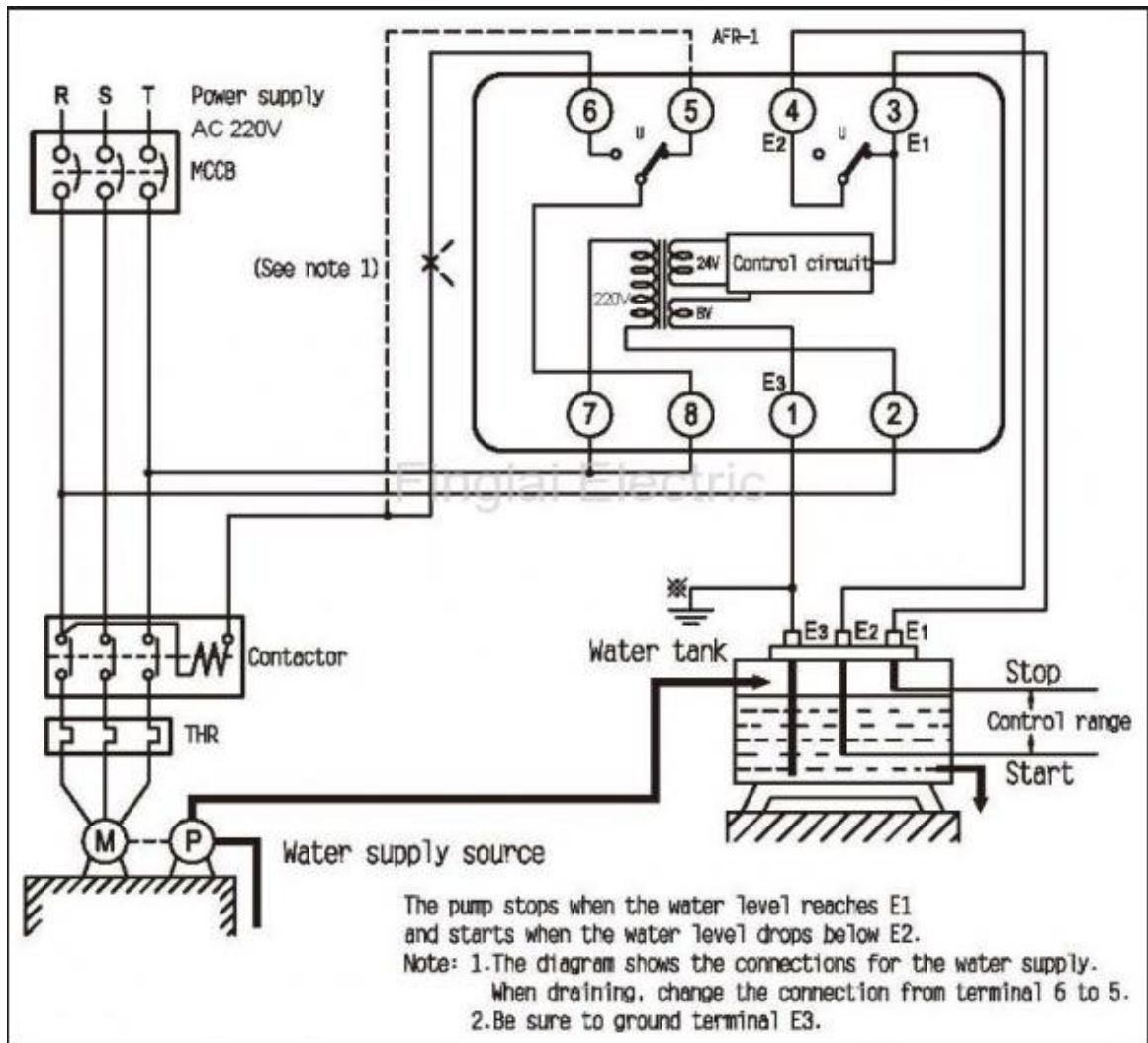


Figura 3.7 Diagrama de conexiones del controlador de nivel

Finalmente, se colocaron todos los componentes en un panel de control, el cual se fijó a la caldera. A continuación, en la figura 3.8 se muestra el panel de control.



Figura 3.8 Componentes del panel de control

Una vez puesta en marcha la caldera, el tiempo que demoró en producir vapor fue de 15 minutos, el cual es menor que el tiempo de producción de una caldera operada manualmente sin automatización, ahorrando así 4 minutos para la producción de leche de soya. Además, la caldera opera cumpliendo las normas de seguridad ASME BPVC sección I para el control de nivel de agua y NFPA 8502 para el control de combustión.

3.2 Análisis de costos

Para el análisis de costos, se realizó una investigación de mercado de los distintos proveedores de los componentes necesarios, teniendo en cuenta aspectos económicos y técnicos para la implementación de los sistemas de control instalados y sus respectivas adaptaciones. Se realizó una comparación de costos entre el sistema de control (nivel y combustión) típico para una caldera de ½ HP y el sistema de control alternativo implementado; basándose en las proformas y cotizaciones realizadas. Además, se hizo un análisis de tiempos, producción y reducción de costos con el sistema implementado, con la finalidad de cuantificar los beneficios y calcular el tiempo de retorno de la inversión.

En la tabla 3.1, se presentan los costos de implementación de un sistema de control (combustión y nivel) típico para una caldera de ½ HP.

Tabla 3.1 Costos de componentes de sistemas de control típico

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO (\$)	TOTAL (\$)
Controlador de combustión LMO44	1	371,46	371,46
Electrodos de Ignición	2	15,5	31
Transformador de ignición	1	150	150
Varilla de kantal	1	55	55
Presostato	1	320	320
Controlador de nivel Warrick	1	262	262
Electrodos de nivel	3	59	177
Panel de control	1	30	30
TOTAL			1.396,46

Tabla 3.2 Detalle de costos de los sistemas de control implementados

ACTIVIDAD	MATERIALES	CANTIDAD	COSTO (\$)	TOTAL (\$)
Fabricación de sensores	taponos machos 3/8 cobre	3	1,5	4,5
	termo contraíble por metro	1	0,5	0,5
	pegatanke	1	5	5
	tornillo y tuerca M3X20	3	0,3	0,3
	terminales circulares para cable	3	0,2	0,2
				10,5
Adaptación mecánica en el visor	Neplos	8	2	16
	Nudos	3	5	15
	Cruces	3	5	15
	Tes	2	3,5	7
	Teflón	2	0,5	1
	silicona gris	1	2	2
				56
Adaptación mecánica en la válvula de gas	arandela 3cm	1	0,1	0,1
	broca para acero 2 mm	1	2	2
	tornillo y tuerca M2X20	2	0,1	0,2
	acople bronce manguera a gas	1	2	2
				4,3
Adaptación mecánica a la cocina	ángulo 3cmx3cmx16cm	1	2	2
	broca para acero 12 mm	1	2	2
	soldadura	1	1,5	1,5
	mano de obra	1	5	5
				10,5
Equipos eléctricos y panel de control	módulo para calefón	1	10	10
	Contactador	1	8	8
	controlador de nivel	1	14	14
	base de 8 pines	1	2	2
	interruptor	1	1	1
	válvula de gas	1	20	20
	cables 14 awg Electrocable ISO 11801	3	0,75	2,25
	cable para horno 14 AWG por metro	3	2,5	7,5
	panel de luz 25x 25 cm	1	10	10
	pernos y tuercas	2	2	4
	acordeón eléctrico 1/2" por metro	5	2,5	12,5
	manguera de gas por metro	3	3	9
	scoples de bronce 1/2" a gas	1	5	5
				105,25

En resumen, del detalle anterior los costos del sistema de control de nivel, de combustión y temperatura que se instalaron en la caldera se detalla a continuación en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Costos de los sistemas de control alternativos implementados

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	COSTO (\$)
Adaptación mecánica	Neplos, codos, Tes, nudos, teflón, etc.; acoplados en el visor con la finalidad de instalar los sensores de nivel	56
Adaptación mecánica	Se adaptó un acople de manguera de gas a la válvula de gas	4
Adaptación mecánica	Se realizó una adaptación a la cocina para fijar los electrodos de ignición y sensor de ionización	11
Fabricación de Sensores	Se construyeron 3 sensores de nivel conductivo	11
Equipos eléctricos	Módulo calefón, válvula de gas, control de nivel, contactor, panel	105
Mano de obra	Costos de los trabajos que se hicieron	80
Inversión total		267

Comparando los costos de implementación de ambos sistemas se tiene un costo de \$2.003 en la automatización común del mercado y un costo de \$267 en el sistema de control alternativo implementado en el presente proyecto, dando un ahorro de \$1.736, lo cual representa una reducción en costo del 89,6% en costo. Asimismo, ambos cumplen con la norma ASME BPVC sección I y NFPA 8502.

Esta automatización brinda diversos beneficios como: la optimización del consumo de energía (GLP) materia prima e insumos (agua y soya), el incremento de la productividad de leche de soya, la reducción de costos operativos, el incremento de la seguridad en los procesos, la optimización del recurso humano de la empresa, la reducción de los disparos inesperados, la mejora en el diagnóstico, como también la supervisión y el control de calidad de la producción.

En la producción de leche de soya, se obtenía 14 litros de leche en 35 minutos, operando la caldera manualmente y con el sistema implementado

se redujo este tiempo a 25 minutos. Como la caldera operaba 6 horas al día, se producían 140 litros de leche de soya, ahora con este proyecto se producen 190 litros al día, lo que representa un aumento del 40 % de la producción, además, si cada litro se vende a 0,50 centavos se obtendrá un ingreso extra de \$25 dólares diarios.

A continuación, en la tabla 3.4, se presentan los ahorros e ingresos adicionales estimados, el respectivo flujo de caja, TIR y VAN del proyecto, asume una tasa de interés del 10% anual.

Tabla 3.4 Análisis de beneficios y viabilidad del proyecto

DESCRIPCIÓN	Inversión	Primer año	Segundo año	Tercer año
Ingresos				
Incremento de la producción		\$6.000	\$6.000	\$6.000
Total, de ingresos		\$6.000	\$6.000	\$6.000
Ahorros				
Reducción de costos operativos		\$1.000	\$1.000	\$1.000
Disminución de altos costo por disparos inesperados		\$100	\$100	\$100
Seguridad		\$100	\$100	\$100
Total, de ahorros		\$1.200	\$1.200	\$1.200
TOTAL, DE BENEFICIOS		\$7.200	\$7.200	\$7.200
Egresos				
costos operativos		\$4.200	\$4.200	\$4.200
TOTAL, DE EGRESOS		\$4.200	\$4.200	\$4.200
INVERSIÓN		-\$267	\$0	\$0
FLUJO DE CAJA	-\$267	\$2.733	\$5.733	\$8.733
TIR		1.121%		
VAN		\$1.3516,79		

Por consiguiente, en base a los valores obtenidos en el flujo de caja, en el primer año se recuperó la inversión, obteniendo un flujo de caja de \$2.733 dólares a favor. Además, la tasa de retorno del proyecto es de 1.121%, lo cual es una tasa mucho mayor a la de interés del 10%, finalmente el VAN fue de \$1.3516,79. Por lo tanto el proyecto se lo considera viable económicamente y muy rentable.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se logró automatizar la caldera con instrumentos y equipos económicos.
- Se documentó las diferentes técnicas de control aplicables a la caldera pirotubular.
- Al momento de elegir la estrategia adecuada para el control de combustión, se tuvo en cuenta muchas adaptaciones mecánicas y eléctricas en el sistema de ignición.
- AL momento de seleccionar la estrategia adecuada para el control de nivel, se tuvo que hacer muchas adaptaciones mecánicas en el visor de la caldera con la finalidad ubicar los electrodos de referencia, de nivel bajo y nivel alto.
- Es necesario considerar todos los aspectos del comportamiento real de la caldera teniendo en cuenta el conocimiento y la experiencia directa al trabajar con la caldera.
- Se Aumentó la seguridad y confiabilidad en la operación de la caldera.
- Se disminuyó los peligros y riesgos en el proceso de fabricación de leche de soya. Evitando pérdidas de combustibles, sobrecalentamiento de la caldera, explosiones, daños físicos a los operarios, mezcla de la leche de soya con agua, etc.
- Se pudo reducir los costos en la producción de leche de soya y de mantenimientos en la misma.
- Se redujo 10 minutos en el tiempo de producción de leche de soya de la caldera operada manualmente.
- Se implementaron tres niveles de seguridad en el sistema de regulación y operación de variables.
- se redujo en un 86.6% los costos de una automatización típica para el control de combustión y nivel de agua.

4.2 Recomendaciones

- Las instalaciones de los instrumentos de medición para el control de la caldera deben estar lo más cercano posible, teniendo en cuenta diferentes factores como la vibración, los aumentos de temperatura y la facilidad de mantenimiento.
- Se recomienda el uso de la norma BPVC sección I, para el control de nivel, ya que en esta Norma se estipulan los requisitos específicos para la ubicación de los dispositivos de medición de nivel de agua.
- En caso de que exista pérdida de señal o de alimentación, el sistema de control de la caldera, debe estar diseñado adecuadamente, para guiar el proceso de apagado en forma segura.

BIBLIOGRAFÍA

Dukelow. S. G. (1991) The Control of boilers Instrument Society of America. ISA, 2 edition. España.

L.Kohan Anthony. (1997). Boiler Operator's Guide (4ta edition). Boston, MA: McGraw-Hill/Irwin.

Morales, M.F., & Echeverría M.G. (2011) "Preparación e Instalación de una Planta Procesadora de leche de Soya Saborizada en el Hogar de Huérfanos Inés Chambers", Guayaquil, ESPOL.

National Fire Protection Association. (2004). Boiler and Combustion Systems Hazards Code. USA. NFPA

Sanz A. (2000). Curso de control y seguridades de calderas. Madrid. Fi controles S.A.

Ortiz González Eduardo Marcelino (2000). Estudio del control, operación e instrumentación de calderas de vapor. Quito, Escuela Politécnica Nacional.





The American Society of Mechanical Engineers. (1989). Boiler and pressure vessel code. USA, ASME.







APÉNDICE

APÉNDICE A. PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO REALIZADO

- Se seleccionó en base a la matriz de decisión y luego se compraron los componentes necesarios para la instalación del control de nivel de agua y del control de combustión.
- Se probó y comprobó el funcionamiento correcto de los equipos adquiridos de ambos sistemas de control tanto de nivel como de combustión.
- Se fabricaron tres sensores conductivos que no se pudieron encontrar en el mercado, para lo cual primero se realizó un agujero en un tapón hembra con el objetivo de introducir un perno, el cual a su vez se aisló del tapón usando termo contraíble y se unieron ambos elementos (tapón y perno) con Pegatanke.
- Se instalaron los sensores en la caldera añadiendo codos, Tes, uniones, nudos y Neplos.
- Se fijaron los electrodos de ignición y sensor de ionización en la cocina mediante el diseño de una base la cual se soldó a la cocina.
- Se armó el panel de control donde se colocó la válvula de gas, contactor, controlador de combustión Olymp, controlador de nivel y switch general.
- Por último, se puso en marcha y se hizo el respectivo análisis de falla para posteriores correcciones y recomendaciones

APÉNDICE B. MATERIALES Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL TRABAJO REALIZADO

OBJETO	FIGURA
Pegatanke	
Lima triangular y redonda	
Sierra	
Desarmadores	

Playo	
Taladro	
Llave de tuvo	
Playo de presión	
Teflón	
Silicona gris	
Soldadura	
Soldadora ptk	