



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“DISEÑO DE UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE
FALLAS DE UN CALDERO PIROTUBULAR
UTILIZANDO EL PROGRAMA LabVIEW”**

ÁNGEL DANIEL LARREA MOREANO.

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACION DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: *LARREA MOREANO ÁNGEL DANIEL*

TÍTULO DE LA TESIS: "DISEÑO DE UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE FALLAS DE UN CALDERO PIROTUBULAR UTILIZANDO EL PROGRAMA *labVIEW*".

Fecha de Examinación:

Noviembre 14 de 2012

RESULTADO DE LA EXAMINACION:

COMITÉ DE EXAMINACION	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Hernán Samaniego S. (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)	<i>L</i>		
Ing. Pablo Montalvo J. (DIRECTOR DE TESIS)	<i>EV</i>		
Ing. Ángel Ramírez A. (ASESOR)	<i>f/</i>		

Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

CONTENIDO

Pág.

1. GENERALIDADES	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Justificación.....	6
1.3 Objetivos	6
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Generador de Vapor.	7
2.1.1 <i>Principio de funcionamiento de un caldero pirotubular</i>	8
2.1.2 <i>Características de un a caldera pirotubular</i>	9
2.1.3 <i>Partes de una caldera pirotubular</i>	9
2.2 Accesorios de control de una caldera pirotubular.	10
2.2.1 <i>Controles límites de seguridad</i>	11
2.2.1.1 <i>Válvulas de seguridad</i>	12
2.2.1.2 <i>Manómetro de presión de vapor</i>	15
2.2.2 <i>Control de nivel de agua</i>	16
2.2.3 <i>Control de presión</i>	17
2.2.4 <i>Control de combustión</i>	20
2.2.4.1 <i>Sistema de control ON/OFF</i>	21
2.2.4.2 <i>Sistema de control de modulación</i>	21
2.2.4.3 <i>Sistema de seguridad de flama</i>	22
2.2.4.4 <i>Operación del sistema de seguridad de llama</i>	24
2.2.4.5 <i>Scanner de llama</i>	25

2.3	Equipos auxiliares.	27
2.3.1	<i>Equipos para la combustión</i>	27
2.3.1.1	<i>Tipos de quemadores</i>	27
2.3.1.2	<i>Bombas para combustibles líquidos</i>	28
2.3.1.3	<i>Ventiladores de aire para la combustión</i>	28
2.3.1.4	<i>Complementos auxiliares</i>	29
2.3.2	<i>Sistema de abastecimiento de agua</i>	29
2.3.2.1	<i>Reserva mínima</i>	30
2.3.2.2	<i>Equipo de bombeo y control del sistema</i>	30
2.3.3	<i>Tratamiento químico del agua</i>	31
2.3.4	<i>Parámetros tratamiento de agua</i>	31
2.3.5	<i>Ablandadores</i>	32
2.4	Operación de un caldero con el módulo RM7800.....	34
2.4.1	<i>Pre-purga normal de arranque</i>	37
2.4.2	<i>Pruebas de ignición</i>	38
2.4.3	<i>Run (operación)</i>	38
2.4.4	<i>Postpurga</i>	39
2.5	Principales fallas en calderospirotubulares	40
2.6	LabVIEW.	44
2.6.1	<i>¿Qué es LabVIEW?</i>	44
2.6.2	<i>Aplicaciones de LabVIEW</i>	45
2.7	Programación en LabVIEW.	45
2.7.1	<i>Panel frontal</i>	46
2.7.2	<i>Diagrama de bloques</i>	47
2.7.3	<i>Variables que maneja LabVIEW</i>	48

3. DESARROLLO DE UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE FALLAS DE UN CALDERO PIROTUBULAR.....49

3.1	Software.	49
3.2	Software BOILERSOFT.	50

3.3	Simulación del principio de funcionamiento de un caldero	52
3.3.1	<i>Establecimiento de variables de programación del software.</i>	52
3.3.2	<i>Parámetros de inicio.</i>	54
3.3.3	<i>Secuencia de funcionamiento.</i>	73
3.4	Simulación de fallas de un caldero pirotublar	81
3.4.1	<i>El quemador no enciende (Falla 1)</i>	83
3.4.2	<i>No hay ignición (Falla 2).</i>	86
3.4.3	<i>Hay llama piloto pero no principal (Falla 3).</i>	89
3.4.4	<i>El motor funciona pero no hay chispa (Falla 4).</i>	93
3.4.5	<i>El motor funciona el encendido ocurre, el combustible no enciende (Falla 5) ...</i>	95
3.4.6	<i>La llama piloto no se detecta (Falla 6).</i>	98
3.4.7	<i>Bajo nivel de agua (Falla 7).</i>	101
3.4.8	<i>Falla presuretrol de operación (Falla 8)</i>	104
3.5	SubVI's auxiliares de BOILERSOFT	109
4	DESARROLLO DE GUÍAS PRÁCTICAS PARA E ESTUDIANTE.....	111
4.1	Práctica N° 1	111
4.2	Práctica N° 2	115
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
5.1	Conclusiones	120
5.2	Recomendaciones.....	120
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
	BIBLIOGRAFÍA.....	121

LISTA DE TABLAS

Pág.

1	Reacciones químicas del agua con el ablandador.....	32
2	Terminales en el programador.....	33
3	Causas y acciones a ejecutar ante ciertas fallas I.....	38
4	Causas y acciones a ejecutar ante ciertas fallas II.....	39
5	Causas y acciones a ejecutar ante ciertas fallas III.....	40
6	Causas y acciones a ejecutar ante ciertas fallas IV.....	41
7	Variables que maneja LabVIEW.....	46

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Principio de Funcionamiento caldero Piro tubular.....	5
2 Caldero piro tubular.....	8
3 Tren de válvulas.....	10
4 Válvula de seguridad.....	11
5 Principio de funcionamiento de la válvula de seguridad.....	12
6 Ubicación manómetro.....	13
7 Condiciones de instalación del manómetro.....	13
8 Control de nivel de agua.....	14
9 Control de nivel de agua por medio de válvulas.....	15
10 Controles de presión.....	15
11 Instalación del control de presión.....	16
12 Tipos de controles de presión.....	16
13 Presuretrol de operación.....	17
14 Presuretrol de alto límite.....	18
15 Interruptor límite de aire.....	19
16 Modulador.....	20
17 Programador.....	21
18 Secuencia del programador.....	21
19 Focelda.....	24
20 Quemadores.....	25
21 Bombas de combustible para calderos.....	26
22 Sistema de abastecimiento de agua.....	27
23 Equipo de bombeo.....	28
24 Ablandador.....	31
25 Diagrama electrónico del programador.....	34
26 Panel frontal de BOILERSOFT.....	44

27	Parte del diagrama de bloques de BOILERSOFT.....	45
28	Jerarquía de programas.....	47
29	Menú BOILERSOFT.....	48
30	Menú BOILERSOFT D.B.....	49
31	Programador y energizado de sistema.....	50
32	VARIABLES en el programa.....	51
33	Parámetros de inicio de secuencia.....	52
34	Diagrama de bloques de los parámetros de inicio.....	53
35	Parámetros completos.....	54
36	Presuretroles y encendido del sistema.....	54
37	Energizar sistema.....	55
38	Nivel de agua en el caldero.....	55
39	Nivel de agua en el caldero panel frontal.....	56
40	Llenado tanque de condensados.....	57
41	Consumo tanque de condensados.....	58
42	Llenado agua caldero I.....	59
43	Llenado agua caldero II.....	60
44	Consumo de agua en el caldero.....	61
45	Manómetro.....	62
46	Generación y consumo de vapor.....	63
47	Presuretrol cambio de fuego.....	64
48	Presuretrol cambio de fuego P.F.....	64
49	P.C.F- D.B.....	65
50	Indicadores de presión.....	65
51	Presuretrol de operación P.F.....	66
52	Presuretrol de operación D.B.....	67
53	Presuretrol de alto limite P.F.....	67
54	Presuretrol de alto limite D.B.....	68
55	Nivel de combustible.....	69
56	Llenado tanque de combustible.....	69
57	Consumo tanque de combustible.....	70

58	Secuencia general del funcionamiento del sistema de generación de vapor.....	71
59	Secuencia de inicio.....	72
60	Secuencia de prepurga.....	73
61	Secuencia de ignición.....	74
62	Secuencia de generación de vapor hasta cambio de fuego.....	75
63	Secuencia de establecimiento de llama principal.....	76
64	Secuencia de establecimiento de presión de trabajo.....	77
65	Secuencia de postpurga.....	78
66	Menú de fallas.....	79
67	Programación del menú de fallas.....	80
68	Secuencia de encendido F1.....	81
69	Secuencia de falla 1.....	82
70	Selección múltiple F1 P.F.....	83
71	Selección múltiple F1 D.B.....	84
72	Secuencia encendido F2.....	85
73	Secuencia falla 2.....	85
74	Selección múltiple F2 P.F.....	86
75	Selección múltiple F2 D.B.....	86
76	Secuencia encendido F3.....	87
77	Secuencia de ignición F3.....	88
78	Secuencia de generación F3.....	89
79	Secuencia de postpurga y falla 3.....	89
80	Selección múltiple F3 P.F.....	90
81	Secuencia encendido F4.....	91
82	Secuencia falla 4.....	92
83	Selección Múltiple F4 P.F.....	92
84	Secuencia encendido F5.....	93
85	Secuencia falla 5 (1).....	94
86	Secuencia falla 5 (2).....	94
87	Selección múltiple F5 P.F.....	95
88	Secuencia encendido F6.....	96

89	Secuencia falla 6 (1)	97
90	Secuencia falla 6 (2)	98
91	Selección múltiple F6 P.F.	98
92	Secuencia encendido F7	99
93	Secuencia falla 7 (1)	100
94	Secuencia falla 7 (2)	101
95	Selección múltiple F7 P.F.	102
96	Secuencia encendido F8	102
97	Secuencia ignición F8	103
98	Secuencia de cambio de fuego F8	104
99	Secuencia de falla 8 (1)	104
100	Secuencia falla 8 (2)	105
101	Selección múltiple F8 P.F.	106
102	SubVI tutorial	107
103	SubVI acerca de BOILERSOFT	108
104	Menú BOILERSOFT	109
105	Botón parámetros de inicio	110
106	Ventana de parámetros de inicio	110
107	Selector para energizar el sistema	110
108	Presuretroles	111
109	Niveles	111
110	Parámetros de inicio completos	111
111	Pulsador de encendido del caldero	112
112	Pulsador de consumo de vapor	112
113	Menú BOILERSOFT	113
114	Selector para energizar el sistema	114
115	Programador indica falla 1	114
116	Pulsador para revisar fallas	115
117	Ventana de causas de falla 1	115
118	Ventana de acciones a ejecutar de falla 1	116
119	Resetear programador	116

LISTA DE ABREVIACIONES

LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench.
CSD-1	Controles y Dispositivos de seguridad para calderas de comb.Automática.
NFPA	Asociación Nacional Contra Incendios.
NPSH	Carga Neta de Succión Positiva.
PELPi	Periodo de establecimiento de llama piloto.
PELP_r	Periodo de establecimiento de llama principal.
VI	Instrumento Virtual.
P.F	Panel Frontal.
D.B	Diagrama de bloques.
P.C.F	Presuretrol de cambio de fuego.
P.O	Presuretrol de Operación.
P.A.L	Presuretrol de alto límite.
F1	Falla 1
F2	Falla 2
F3	Falla 3
F4	Falla 4
F5	Falla 5
F6	Falla 6
F7	Falla 7
F8	Falla 8

RESUMEN

La tesis titulada "Diseño de un Software de Simulación de Fallas de un Caldero Pirotubular Utilizando el Programa LabVIEW, se realizó con el fin de aportar a los estudiantes de la Facultad de Mecánica un instrumento que permita su óptima formación técnico-tecnológica en el proceso de generación de vapor.

El desarrollo del software se llevó a cabo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la ciudad de Riobamba. La metodología utilizada en el desarrollo de la tesis estuvo basada en la observación, investigación, análisis, síntesis y aplicación de conocimientos. El método que se aplicó fue el método lógico, éste se basa en la experiencia, observación y en los hechos. Las técnicas aplicadas en la investigación fueron: la técnica documental que permite la recopilación de la información necesaria en el sustento de procesos, así como la técnica de campo que permite el contacto directo con el objeto de estudio. Los parámetros de evaluación que se utilizaron fueron: similitud con sistemas reales, Fiabilidad y Disponibilidad. La investigación proporcionó los siguientes resultados: Un software de simulación del principio de funcionamiento y simulación de fallas de un caldero. Se puede entonces concluir que el entorno es de alta fiabilidad, aplicable a sistemas similares reales, su diseño virtual permitirá la formación adecuada y económica de técnicos conocedores de sistemas de generación de vapor y además a la vanguardia de los sistemas de Monitoreo.

Se recomienda el estudio de boilersoft el software desarrollado con el fin de comprender los sistemas de generación de vapor.

ABSTRACT

The present research is a "Failure Simulation software design of a Pirotubular boiler using LabVIEW Software", it was carried out in order to contribute to the School of Mechanical students a tool allowing an optimum technical Technological training in the steam generator process.

The software development was carried out at The Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Higher Education) from Riobamba city. The approach used in the present paper was based in the observation, research, analysis, synthesis and knowledge application. It was used the logic method, it is based in the experience, observation and the facts. The techniques were: The documental technique allows collecting the necessary information to the process support as well as the field technique allowing the direct contact with the study object. The evaluation parameters were.

Similarity with real systems, reliability, and availability. The research provided the following results: An operating principle simulation software and a boiler failure simulation. It is concluded that the environment has a high reliability, applicable as a real systems, its virtual design will allow the adequate - economic training of steam generator experts technicians and besides to the point technology in monitoring systems.

It is recommended that the software developed be studied in order to understand the steam generator systems.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En la actualidad la industria cuenta con software de monitoreo y control muy avanzados, los cuales permiten la interacción operario-sistema sin la necesidad de estar en contacto directo con dichos sistemas, dentro de los diferentes procesos industriales.

Es tan grande el desarrollo de éstos software que permiten incluso la adquisición de datos como también simular procesos. La generación de vapor es uno de los más importantes para la elaboración de productos de diferente índole a nivel industrial como también es utilizado para el confort humano.

En la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo existe un generador de vapor, cuyo propósito es el de ofrecer un conocimiento tangible acerca de estos equipos a los alumnos de las diferentes escuelas, si bien es cierto, gracias a este equipo se puede conocer las partes de un caldero y sus equipos auxiliares, pero además es necesario conocer el principio de funcionamiento y los diferentes tipos de fallas que podrían darse en estos equipos; para ello se necesita un alto grado de conocimiento de sus

componentes, controles que gobiernan su funcionamiento y los modos de falla que en estos equipos se dan.

1.2 Justificación

Teniendo en cuenta el desarrollo acelerado de la tecnología actual, es importante conocer el funcionamiento de los programas que simulan las fallas de los equipos, sin necesidad de conocer a los mismos; esto permitirá tener una visión general de los equipos en los diferentes procesos de los que formen parte.

En conocimiento de la capacidad del programa LabVIEW, permite diseñar el software BOILERSOFT con lo que se contribuirá a fortalecer los recursos tecnológicos con los que cuenta la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

Es por todo esto que al haber detectado la necesidad de un software que proporcione el conocimiento interactivo del principio de funcionamiento como también los modos de falla en los generadores de vapor, se ha dado la solución mediante la creación de este software con la ayuda del programa LabVIEW.

Mediante este software el estudiante tendrá un mejor conocimiento acerca de estos equipos, como se mencionó anteriormente, son vitales dentro de procesos donde se necesita el vapor como medio de transporte de energía.

Con el desarrollo de este software se permitirá a los estudiantes, futuros Ingenieros, conocer los tipos de fallas y de esta manera evitarlos, obteniendo así un sistema eficiente con lo cual se elevará la fiabilidad y disponibilidad de estos equipos, generando menores perdidas para las diferentes empresas.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar un software de simulación de fallas de un Caldero Pirotubular utilizando el programa LabVIEW.

1.3.2 *Objetivos específicos.*

Profundizar los conocimientos sobre Calderos Pirotubulares.

Comprender el funcionamiento de cada uno de los controles que integran estos equipos.

Determinar los modos de falla que se dan en los calderos Pirotubulares.

Profundizar los conocimientos en Labview incluidos en el trabajo.

Diseñar un software amigable que ayude al estudiante a comprender como funciona un caldero.

Dotar del conocimiento necesario a los estudiantes para identificar los tipos de fallas en un caldero.

CAPÍTULO II

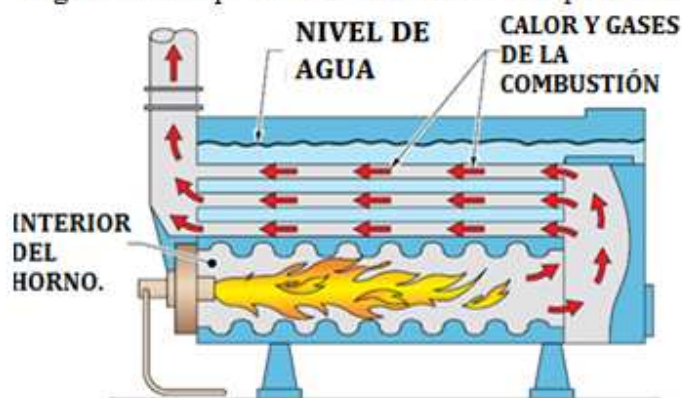
2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generador de vapor

Un caldero es un recipiente cerrado, en donde el agua es llevada a su punto de ebullición para producir vapor a diferentes presiones y temperaturas mediante la aplicación de una fuente de calor.

Un caldero es una maquina térmica, que transforma la energía química en energía térmica aprovechando los tres métodos de transferencia de calor: Radiación, Conducción y convección.

Figura 1. Principio de funcionamiento caldero pirotubular



Fuente: Low Pressure Boilers

2.1.1 Principio de funcionamiento de un caldero pirotubular. El principio de funcionamiento de estos equipos se podría describir de la siguiente manera:

La generación de vapor parte de un recipiente con una masa de agua en su interior, esto se evidencia según la capacidad de la caldera, a la cual se le aplica una fuente de calor, esta fuente de calor se obtiene de la combustión de los combustibles en estado gaseoso. La misma que tiene lugar en el hogar del caldero.

Desde este punto se evidencia la transferencia de calor en sus tres formas conocidas:

- Radiación:

Como sabemos la combustión libera la energía interna almacenada de los combustibles en forma de calor. El calor de la flama es transferido en forma de ondas caloríficas hacia las paredes del hogar.

- Conducción:

Cuando las paredes del hogar reciben el calor radiante de la llama producto de la combustión se va calentado progresivamente, el calor se transfiere por contacto directo de las moléculas del metal y por la diferencia de temperatura entre ellas.

- Convección:

Una vez transferido el calor en las paredes del hogar, los tubos y los espejos estos empiezan a transmitir calor a las moléculas de fluido que están en contacto con ellos, estas cambian su densidad y se difunden en el fluido por diferencia de densidades, generándose las corrientes convectoras que se encargan de elevar la temperatura del fluido hasta los parámetros de calibración.

La transferencia de calor se da continuamente en todas las áreas de transferencia del caldero: hogar, tubos y espejos. Los gases de la combustión circulan por estas superficies y van transfiriendo su elevada temperatura hacia el agua y el vapor, obteniéndose un continuo calentamiento del agua y el vapor en el interior del caldero con una alta eficiencia térmica.

El fluido (agua) por acción del calor incrementa su presión interna, cuando esta presión a superado la presión ejercida sobre la superficie del fluido, sus moléculas líquidas rompen en vapor en el seno mismo del fluido, produciéndose la ebullición con la generación del vapor a gran escala, el cual se va almacenando en la cámara de vapor del caldero, dándose lugar a la disminución del nivel de agua dentro del caldero.

Es por esto que el caldero necesita agua de reposición, que es suministrada por los equipos del sistema de alimentación de agua a la caldera. Agua que previamente debe ser tratada para eliminar los elementos negativos disueltos en ella, por medio de ablandadores, desmineralizadores, osmosis inversa, tratamiento químico y otros tratamientos que sean necesarios, dependiendo del análisis químico del agua de suministro.

2.1.2 Características de una caldera pirotubular. Las calderas Pirotubulares son las más utilizadas en procesos de calentamiento industriales y tienen las siguientes características:

- Bajas y medias presiones.
- Vapor para procesos de calentamiento.
- Moderadas cantidades de Vapor (hasta 21000 Kg/h de Vapor).

Estas calderas presentan ciertas ventajas y desventajas como son:

Ventajas:

- Bajo Coste.
- Bajo mantenimiento.
- Capacidad de soportar fluctuaciones de carga grandes y bruscas, y variaciones de presión.
- Simplicidad de instalación.

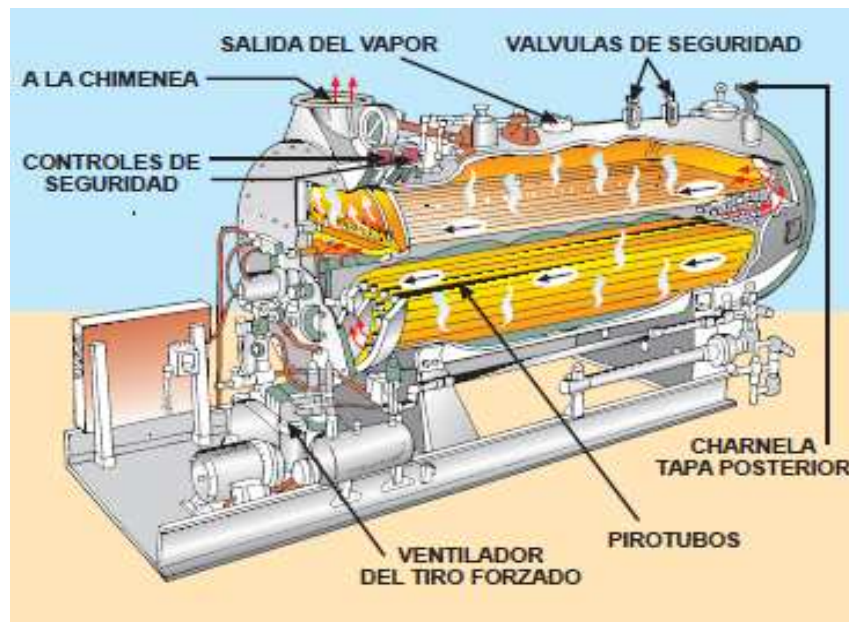
Desventajas:

- Su acceso requiere mucho tiempo, así como de mano de obra y costos considerables.

2.1.3 Partes de un sistema de generación de vapor. Los Sistemas de Generación de Vapor están compuestos por:

- a) Cuerpo de la caldera
- b) Quemador.
- c) Equipos auxiliares.
- d) Accesorios de control
- e) Accesorios de seguridad.

Figura 2. Caldero piro-tubular



Fuente: Ramírez Angel. Curso Vapor

2.2 Accesorios de control de una caldera piro-tubular

Los accesorios de control en una caldera se encargan de controlar cada acción funcional en la generación de vapor, y estos son los siguientes:

- Control límite de seguridad
- Control de nivel de agua
- Control de presión
- Control de Combustión.
- Control primario o programador.

2.2.1 Controles límite de seguridad [1]. Controles límites DE SEGURIDAD se entiende, a aquellos controles que están destinados a suspender el funcionamiento del quemador. Los controles de seguridad previenen los siguientes riesgos:

1. **Sobrepresión**, fundamentalmente contra explosiones del lado de agua o vapor.
2. **Sobrecalentamiento de partes metálicas**, que posiblemente conlleven una explosión de combustible en la caldera (por bajo nivel o circulación pobre de agua).
3. **Explosiones del lado de fuego**. (explosiones del hogar) debido a mezclas incontroladas de combustible en la zona del hogar (o conductos de gases).

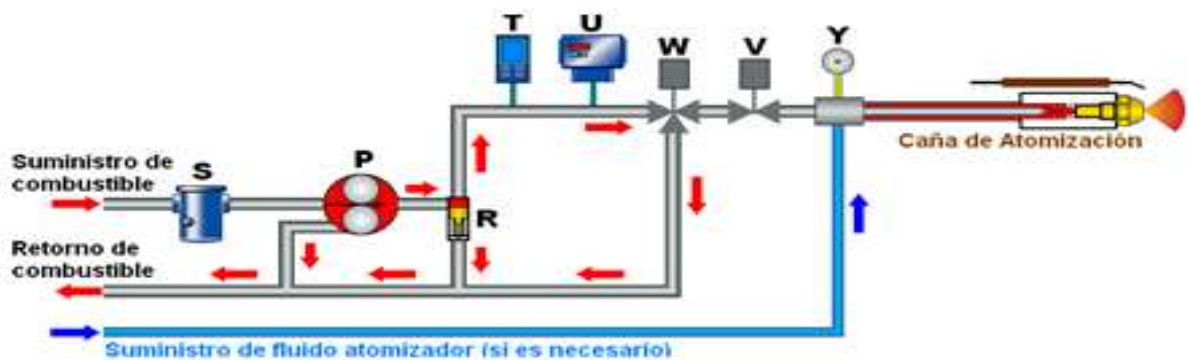
Otras fuentes potenciales de accidentes son las grietas y ampollas locales en el metal, por sobrecalentamiento debido a depósitos, deformaciones, tales como el abombamiento de tubos o pandeo, disminución o pérdida de espesores en partes vitales sometidas a presión que pueden conducir a una rotura local o agrietamiento; fallos, contracción y expansión produciendo rotura de partes metálicas.

La norma ANSI/ASME CSD-1 (Controles y dispositivos de seguridad para calderas de combustión automática) se aplica a calderas no residenciales y para consumos de combustibles de hasta 3.150.000 kcal/hora. Entre los controles de seguridad recomendados se encuentran los siguientes:

- Dos dispositivos de corte de combustible por bajo nivel de agua con dispositivo de reposición manual.
- Dispositivo de corte por presión de trabajo.
- Dispositivo de corte automático por límite superior de presión con dispositivo de reposición manual.
- Controles de seguridad por fallo de llama (fotocelda) para unidades que tengan combustibles líquidos o gaseosos. Tren de válvulas de combustible recomendado por la NFPA (Asociación Nacional contra incendios).
- Conjunto de válvulas de seguridad del tamaño apropiado situadas en o por debajo de la presión de trabajo media de la caldera.

- Ninguna válvula de corte entre la caldera y el dispositivo presostático de límite de presión de vapor.
- Todo el cableado y controles eléctricos deben cumplir el Código Nacional de Electricidad para el circuito operativo eléctrico esperado y, como mínimo debe estar a prueba de humedad y protegido bajo tubos

Figura 3. Tren de válvulas



S: Filtro de combustible
P: Bomba de combustible
R: Válvula de corte y/o Válvula de seguridad de presión.
T: Termostato o dispositivo de interacción de temperatura de combustible (cuando se necesite).

U: Presostato o dispositivo de Interacción de presión de combustible (cuando se necesite).
V: Válvula de seguridad.
W: Válvula de seguridad (puede ser de tres vías para recirculación).
Y: Suministro medio auxiliar de presión mediante pulverización donde se precise)

Fuente: Manual de Calderos. Mc Graw Hill

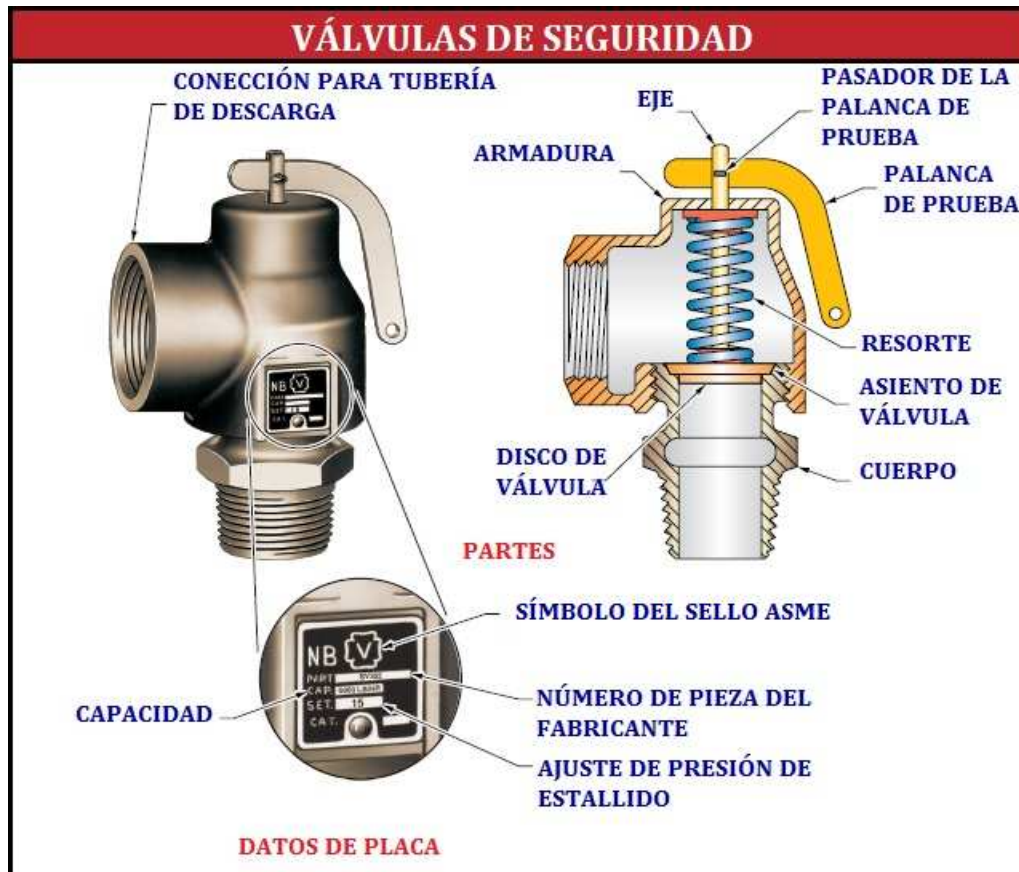
2.2.1.1 Válvulas de seguridad [2]. Se puede mencionar que las válvulas de seguridad son el dispositivo más importante en la caldera. Mientras no se lo considere como otro control en el sentido normal, son la última medida de seguridad contra una explosión importante, ya que previene que la caldera sobrepase la presión máxima de trabajo.

a. Condiciones de ubicación de la válvula de seguridad:

- La válvula de seguridad debe estar ubicada en la parte más alta de la caldera y conectada directamente al cilindro de la misma.

- No debe haber ninguna válvula localizada entre la válvula de seguridad y la caldera o entre la válvula de seguridad y el punto de descarga.

Figura 4. Válvula de seguridad



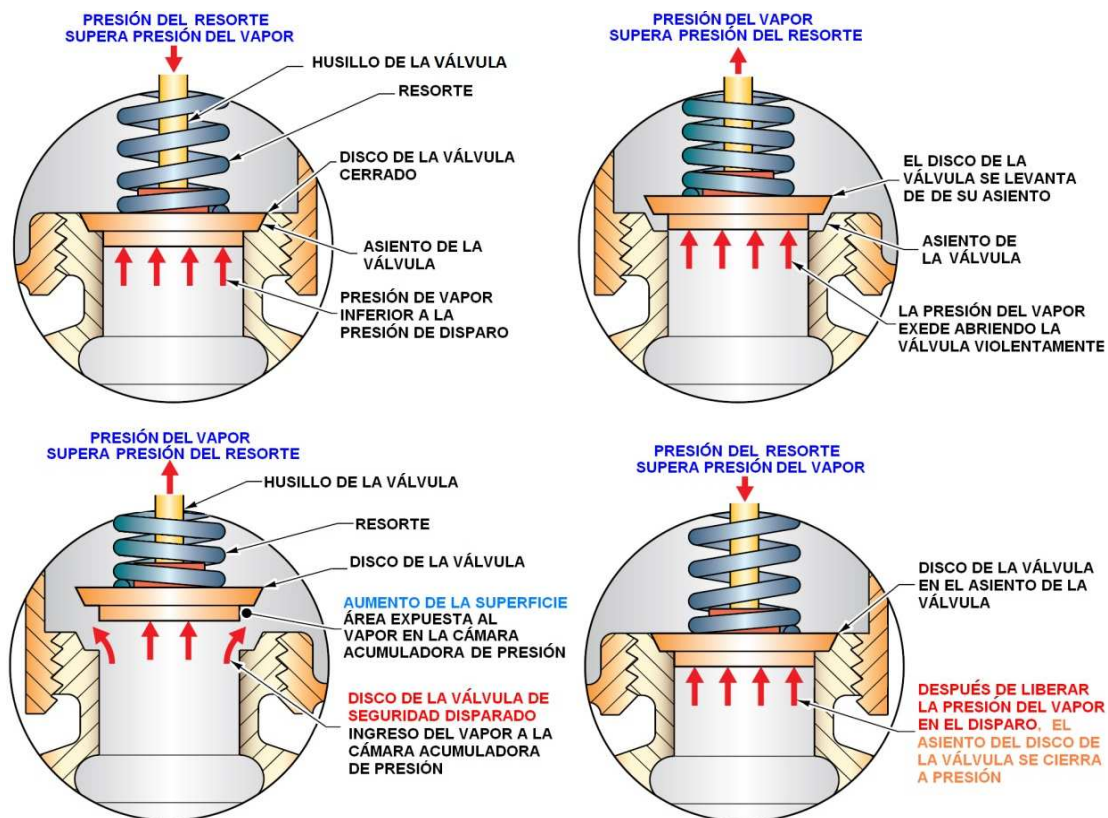
Fuente: Low Pressure Boilers.

b. Principio de funcionamiento:

El disco de la válvula se levanta del asiento cuando la fuerza ejercida por la presión de vapor desde la caldera es más alta que la presión del resorte.

Las válvulas de seguridad están diseñadas para una apertura rápida, cuando la presión de la caldera excede el set point, una vez que se abre la válvula, ésta queda abierta hasta que libera el suficiente vapor contenido en la caldera.

Figura 5. Principio de funcionamiento de la válvula de seguridad.



Fuente: Low Pressure Boilers.

c. Capacidad de la válvula de seguridad:

La capacidad de la válvula de seguridad está marcada por la cantidad de vapor en libras por hora que es capaz de descargar a la velocidad de la misma. Esta no debe permitir que la caldera sobrepase de un 6 % de la presión máxima de trabajo.

d. Pruebas en las válvulas de seguridad:

Estas válvulas se deben someter a pruebas de disparo, para determinar el estado en que se encuentran, esto es necesario para evitar un siniestro. Y así verificar el punto de disparo a la presión según la cual fue seleccionada.

2.2.1.2 Manómetro de presión de vapor. Muestra la cantidad de presión en lb/plg² dentro de la caldera, en estas unidades el manómetro permite al operador evidenciar los cambios de presión en el interior del equipo y controlar la presión de operación.

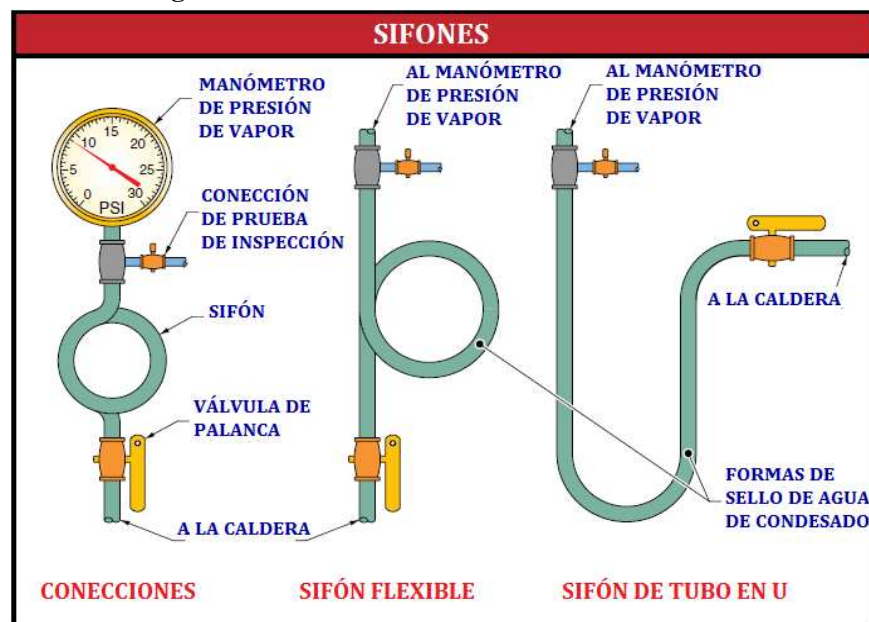
Figura 6. Ubicación manómetro



Fuente: Cemento Chimborazo.

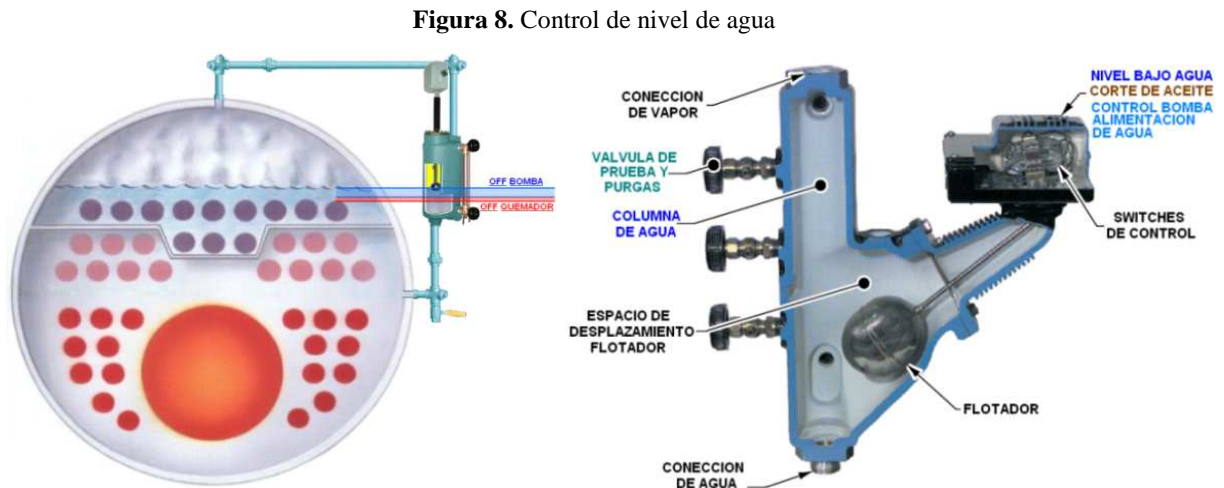
El manómetro de dial grande, está ubicado en la parte más alta de la caldera y debe estar posicionado de forma tal que permita una fácil visualización al operador.

Figura 7. Condiciones de instalación del manómetro



Fuente: Low pressure Boilers.

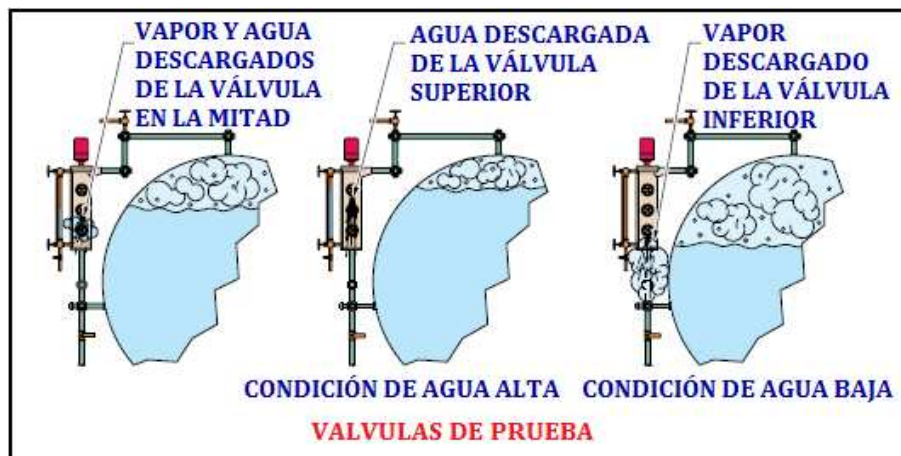
2.2.2 Control de nivel de agua. Como su nombre lo indica este dispositivo se encarga de controlar el nivel del agua dentro del caldero, además cumple otras funciones como son:



Fuente: Ramírez Angel. Curso Vapor

- a) Suministrar agua de reposición.- Ya que posee interruptores que están interconectados con el accionamiento del equipo auxiliar de bombeo necesario para el abastecimiento de agua al caldero.
- b) Interruptor de seguridad de bajo nivel.- En el momento que el nivel de agua haya descendido y por diferentes razones, no se activó el suministro de agua y el consumo de ésta va avanzado hasta llegar a un nivel crítico, el control de nivel apaga el quemador directamente evitando una catástrofe.
- c) Válvulas de prueba y purga.- Usados para determinar el nivel de agua en la caldera en caso de que en el vidrio no se evidencia o por falta del mismo, se considera otro método de control de nivel de agua por medio de estas válvulas.

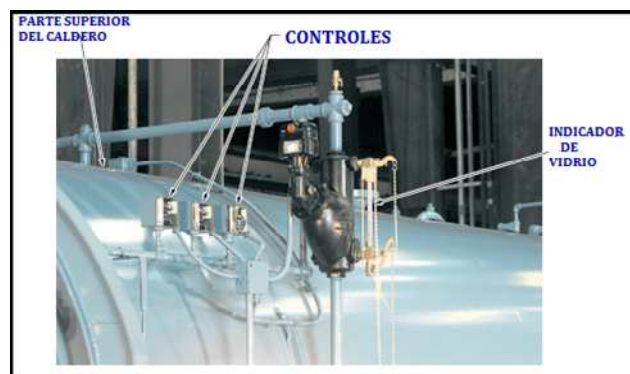
Figura 9. Control de nivel de agua por medio de válvulas



Fuente: Low Pressure Boilers.

2.2.3 Control de presión [3]. Los controles de presión son interruptores que cumplen diferentes funciones:

Figura 10. Controles de presión



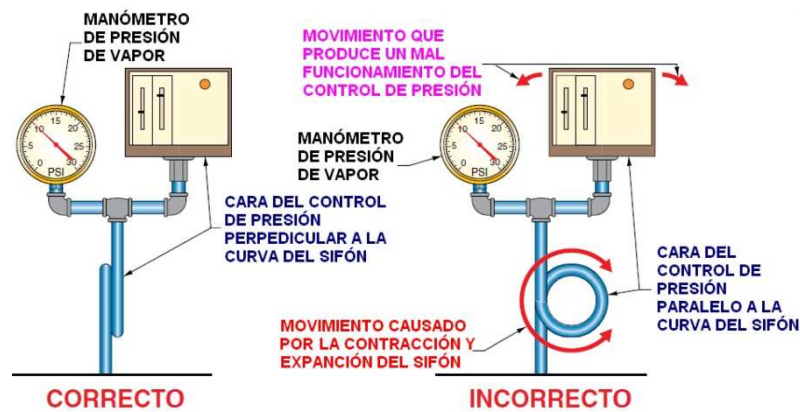
Fuente: Low Pressure Boilers.

- Enciende el quemador,
- Controla la cantidad y frecuencia del fuego en el quemador,
- Apaga el quemador según la presión de vapor registrada en la caldera.

I. *Condiciones de instalación de los controles de presión.* Los controles de presión se encuentran en la parte más alta del caldero cerca al indicador de presión del equipo (manómetros), además cabe resaltar que estos controles deben estar protegidos del vapor producido por medio de sifones.

Estos controles deben estar instalados en una posición perpendicular para funcionar correctamente, en adición a esto las caras de los controles deben estar montadas perpendicularmente al siphon. Si el control de presión está instalado incorrectamente, la expansión y la contracción del siphon podría causar que éste se mueva y presentar un inadecuado funcionamiento.

Figura 11. Instalación del control de presión



Fuente: Low Pressure Boilers.

II. *Operación del control de presión.* El control de presión determina el rango de operación de la caldera.

Figura 12. Tipos de controles de presión



Fuente: Low Pressure Boilers.

1) Presóstato de operación. Es aquel que censa la presión de vapor y automáticamente envía señales para encender el quemador cuando la demanda ha descendido.

El control de operación está determinado para iniciar solo en fuego bajo. **Fuego bajo** es la velocidad de fuego en el quemador cuando, la mínima cantidad de combustible es quemado en el horno.

El control de operación se ajusta para fuego bajo y fuego alto según los requerimientos dentro del rango establecido.

Figura 13. Presuretrol de operación.



Fuente: Low Pressure Boilers.

2) Presóstato de alto límite. Es el control de presión que censa presiones superiores a la de operación y automáticamente apaga el quemador si el control presuretrol de operación ha fallado.

El control de alto límite deberá estar calibrado a un 3% sobre el Presuretrol de operación; debe estar montado en la misma línea de vapor que el control de operación y el control de modulación.

Figura 14. Presuretrol de alto límite.



Fuente: Low Pressure Boilers.

3) Control de Modulación. Este control trabaja con el control de operación para regular la cantidad de fuego en el quemador, el mismo que varía entre fuego bajo y fuego alto.

Fuego alto es cuando la máxima cantidad de combustible es quemado en el horno y la velocidad de fuego es alta. El control de operación inicia o apaga el quemador para satisfacer la demanda presión de vapor.

La velocidad de fuego es incrementada o disminuida accionando el vínculo (motor) en respuesta a la presión de vapor en la caldera que es censada por el control de modulación.

Un quemador deberá siempre iniciar en fuego bajo y apagarse en fuego bajo para evitar daños a los materiales por cambios bruscos de temperatura.

2.2.4 Control de combustión. La combustión produce calor y gases residuos de la misma, el control de combustión es el encargado de regular:

- Alimentación de combustible,
- Alimentación de aire
- Relación aire-combustible
- Eliminación de gases de la combustión en la caldera

Aproximadamente de 14 lba 15 lb de aire son necesarios para quemar una libra de combustible.

Para el encendido, el aire debe estar presente en el hogar previamente, este aire es controlado por un interruptor límite de aire.

Figura 15. Interruptor límite de aire.



Fuente: Low Pressure Boilers.

2.2.4.1 Sistema de control ON/OFF. Controla la cantidad de vapor producida al encender y apagar el quemador. Este sistema se utiliza en calderas pequeñas y en donde la carga de vapor permite al quemador iniciar y detener según sea necesario.

Este sistema opera al quemador por la presión en la caldera. Cuando la presión de vapor en la caldera baja hasta cierta presión el quemador se enciende y cuando la presión de vapor llega presión de trabajo el quemador se apaga.

Este sistema controla el suministro de aire. Existen dos tipos de aire necesarios para quemar combustible.

El aire primario controla la cantidad de combustible capaz de ser quemado, el aire secundario controla la eficiencia de combustión y generalmente se introduce en el horno debajo del quemador.

2.2.4.2 Sistema de control de modulación. Controla la cantidad de vapor producida mediante el cambio de la cantidad o intensidad de llama en el quemador.

Este sistema regula la cantidad o intensidad de fuego; de fuego bajo a fuego alto controlando el modulador conectado al equipo de control de combustión vinculado.

Figura 16. Modulador



Fuente: Low Pressure Boilers.

2.2.4.3 Sistema de seguridad de flama. Es el equipo de control del quemador, el cual monitorea la secuencia de inicio del quemador y la llama principal durante la operación normal, como también la secuencia de apagado. A la vez este sistema incluye un programador que controla la secuencia de operación del quemador.

El programador es el cerebro central del sistema el cual establece todos los parámetros operacionales del caldero, él recibe señales de todos los controles, los analiza y ejecuta una operación acorde a la señal recibida.

Los programadores son típicamente electrónicos o computacionales. Los programadores mecánicos antiguos utilizan levas giratorias que accionan contactos eléctricos para controlar el ciclo de fuego durante la operación de la caldera.

Un programador de seguridad de llama funciona con la secuencia del quemador en un orden establecido, incluyendo las siguientes funciones:

- Pre purga. (30-60-120 segundos.)
- Periodo de Ignición.
- Periodo de establecimiento de llama piloto.
- Periodo de establecimiento de llama principal en el quemador. (10, 15 o 30 seg.)
- Periodo de Operación.
- Post Purga.(15-25 seg.)

Figura 17. Programador



Fuente: Honeywell

Figura 18. Secuencia del programador



Fuente: Low Pressure Boilers

2.2.4.4 Operación del sistema de seguridad de llama.

1. El Switch del quemador está en la posición ON o el control de operación cerrado, si los controles límites están cerrados, el motor del ventilador arranca y la secuencia automática comienza.
2. El programador arranca el modulador y lo lleva a la posición de máxima apertura y purga la caldera por un periodo de tiempo. El combustible no entra a las boquillas porque las válvulas permanecen cerradas.
3. Después de que el ciclo de purga se ha completado, el programador lleva al modulador y al dámper de ingreso de aire hacia atrás a la posición de fuego bajo.
4. El transformador de ignición es energizado y la válvula solenoide se abre. La llama piloto se enciende.
5. En la prueba de ignición, Si se ha encendido el piloto y la llama piloto está presente, el programador continúa al siguiente paso. Si la llama piloto no está presente para el periodo de ignición, el programador cierra la válvula solenoide piloto, se apaga el transformador de ignición, se bloquea y suena la alarma.
6. Si la llama piloto está presente, el programador después de un intervalo de tiempo, energiza la válvula de combustible de la llama principal y la llama principal es iniciada con la cantidad mínima de combustible (Fuego Bajo).
7. Después de un periodo de tiempo la llama principal se establece, el piloto no es apagado hasta que la llama principal no se haya establecido. Si en este punto no han operado adecuadamente las válvulas principales de combustible, las válvulas de gas de la llama piloto son cerradas y pasa a purgar con aire, termina este ciclo, se bloquea y suena la alarma.
8. El programador continúa monitoreando la llama principal mientras el quemador sigue modulando automáticamente, incrementando o disminuyendo la cantidad de fuego hasta satisfacer la demanda de vapor.
9. Si el control de operación de presión abre el circuito debido a una creciente presión de vapor el programador cierra las válvulas de combustible y permite al ventilador la postpurga del horno y entonces se apaga el ventilador OFF.

10. El ciclo del programador pasa a STAND BY y ahora está listo para reiniciar un nuevo ciclo.

2.2.4.5 Scanner de llama. Es un dispositivo de seguridad que censa si la llama piloto o llama principal están encendidas, además permiten el inicio de ciclo en la combustión dando lugar a la modulación. Estos sensores previenen las explosiones del horno causadas por el encendido repentino de combustible acumulado en el hogar a causa de fallas producidas por deficiencias en el proceso de encendido u operación incorrecta de la llama principal.

Funciones del Scanner de llama.

- El scanner de llama permite probar la llama principal cuando el combustible es alimentado al quemador y combustionado.
- Cierra el circuito de control para permitir el control automático de combustión para completar el resto del ciclo de fuego.
- Si el Scanner de llama detecta el flujo de combustible del quemador en cualquier momento es una falla de llama.
- Transforma las emisiones de la llama en señales de bajo voltaje.

Existen diferentes tipos de sensores de llama que dependen de la aplicación y características de la caldera. Como se sabe la llama emite diferentes tipos de señales que son:

- Emisiones Ultravioleta.
- Emisiones de Luz.
- Emisiones de Rayos Infrarrojos.
- Emisiones de Calor.

Un sensor de flama en sus diferentes características detecta una de las diferentes emisiones de la flama y la transforma en señales eléctricas de bajo voltaje, la misma que es amplificada al voltaje que sustenta el funcionamiento del relé del programador, quien se encarga de emitir la señal para la función mecánica para la modulación de la llama.

Junto con el sensor van instalados electrodos, el uno suministra corriente alterna y el otro esta conectado a tierra. Estos son los que generan la chispa para el encendido de la llama en el quemador, el sensor de llama trabaja con corriente directa al ser un sensor.

Figura 19. Fococelda



Fuente: Ramírez Angel. Curso Vapor

Sensores de llama:

- *Fococelda:* Detecta la luminosidad visible en el quemador y hogar.
- *Sensor ultravioleta:* es un sensor de flama que detecta las frecuencias de luz que son mayores a las visibles al ojo humano. Este sensor responde a emisiones ultravioletas que son emitidas por cargas eléctricas.
- *Sensor infrarrojo:* detecta frecuencias de luz que son menores a las visibles al ojo humano.

El Escáner de flama es comúnmente probado para una operación apropiada usando los siguientes pasos:

- a) Remueva el escáner de flama con el quemador funcionando para simular una falla en la llama. Entonces la válvula principal de combustible se cierra inmediatamente y la alarma suena a la falta de llama. El control del quemador comenzará el ciclo de post-purga para remover cualquier residuo de combustible en el horno.
- b) Reinstale el escáner de flama.
- c) Resetee el programador y verifique la operación apropiada.

2.3 Equipos auxiliares

Son los que complementa a las calderas permitiendo su correcto funcionamiento, generalmente van cerca a la caldera. Según lo diferentes tipos de calderas cuentan con variedad de equipos auxiliares necesarios para el funcionamiento adecuado de la caldera en la generación de vapor.

Entre los más importantes tenemos:

- Equipos para la combustión.
- Sistema de alimentación de agua.
- Tratamiento químico del agua.

2.3.1 Equipos para la combustión: Son el conjunto de elementos necesarios para generar la llama en el interior del hogar de las calderas en forma regulada y segura.

El proceso de la combustión, es la reacción exotérmica de los combustibles utilizados con el oxígeno del aire atmosférico.

2.3.1.1 Tipos de quemadores. Los quemadores, son los encargados de proporcionar la fuente de calor para la generación de vapor y teniendo en cuenta la forma de manejar los combustibles y configurar la llama, los quemadores se pueden clasificar en:

- De pulverización mecánica, o por presión

Figura 20. Quemadores

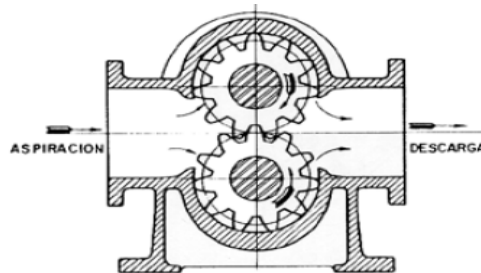


Fuente: Ramírez Angel. Curso Vapor

- De pulverización asistida, o por inyección de fluido auxiliar
- Rotativos, de pulverización centrífuga
- De flujo paralelo, con mezcla por turbulencia

2.3.1.2 Bombas para combustibles líquidos. Para la circulación de los combustibles líquidos, entre los depósitos de almacenamiento y los quemadores, es necesario utilizar bombas que lo impulsen a través de las tuberías.

Figura 21. Bombas de combustible para calderos



Fuente: Ramírez Angel. Curso Vapor

Se deberán usar, preferentemente, bombas de impulsión del fluido por medio de engranajes que ofrecen las siguientes ventajas, respecto de las centrífugas:

- Son más robustas
- Son más estables y trabajan de modo más uniforme.
- El propio combustible, al ser un producto derivado del petróleo, actúa como lubricante de los engranajes, siendo su vida útil más larga.

2.3.1.3 Ventiladores de aire para la combustión. Son los elementos destinados para proporcionar el aire comburente al hogar, en el que está alojado el quemador.

En las instalaciones industriales el ventilador siempre se instala separadamente del quemador y, preferentemente, se aloja en unacámara situada en la parte frontal de la caldera, para amortiguar ruidos (el ventilador es el elemento más ruidoso de una central industrial), y para emplear menos espacio.

2.3.1.4 Complementos auxiliares. Además de las bombas y ventiladores, existen otros elementos que complementan los equipos para combustión, permitiendo su correcto funcionamiento y seguridad, los mismos que son diseñados dependiendo del tipo de combustible empleado.

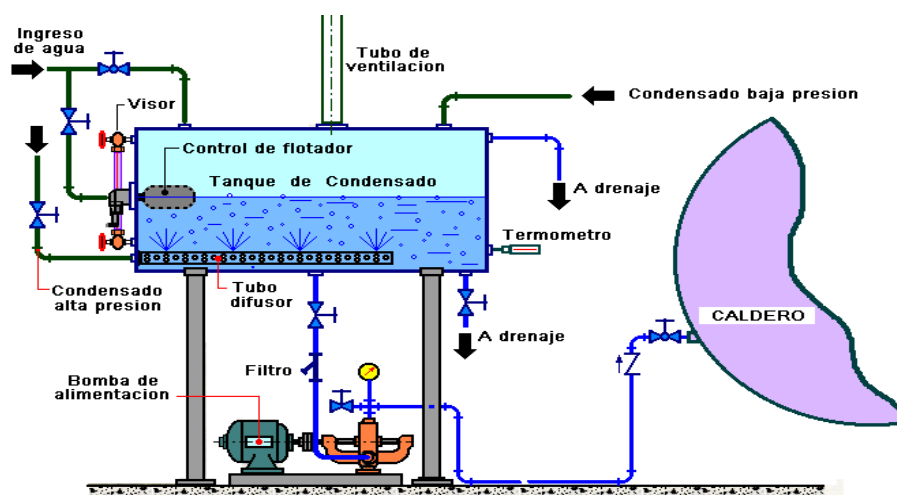
- Quemador para combustibles líquidos
 - Aceites livianos N° 2 (Diesel)
 - Aceites pesados N° 6 (Bunquer)
- Quemador para combustibles gaseosos.

2.3.2 Sistema de abastecimiento de agua. Uno de los factores principales para la operación óptima de una caldera es el de contar con un sistema de suministro de agua el cual sea adecuado para cada caso en particular. Esto es debido a que es indispensable mantener un nivel de agua constante en el interior de la caldera para que no ocurra un siniestro o falla de alguna de sus partes.

Todo sistema efectivo de alimentación de agua a calderas debe contar con:

- Tanque de Reserva mínima de agua.
- Tanque de condensado.
- Equipo de bombeo y control del sistema.

Figura 22. Sistema de abastecimiento de agua



Fuente:Ramírez Angel. Curso Vapor

2.3.2.1 Reserva mínima. La cantidad de agua que se alimenta a una caldera es prácticamente la cantidad de vapor que se produce, por lo tanto la reserva de agua necesaria va en proporción a la capacidad de la caldera.

Un criterio recomendable para obtener la cantidad de agua de reserva y la capacidad del tanque es el de almacenar una cantidad mínima de agua suficiente para sostener la evaporación de la caldera por lo menos durante 20 minutos.

2.3.2.2 Equipo de bombeo y control del sistema. Existen cinco criterios de diseño que deben ser considerados antes de que una bomba de alimentación de agua sea seleccionada:

- 1) Operación continua o intermitente
- 2) Temperatura del agua manejada inicialmente
- 3) Capacidad
- 4) Presión de descarga
- 5) Carga neta de succión positiva requerida (NPSH).

Las principales características para la selección de estas bombas son: el caudal y la presión en donde se conoce que:

La **presión** de suministro de agua de la bomba debe estar por lo menos sobre la presión máxima de trabajo y el **caudal** debe ser dependiendo de la capacidad de evaporación de caldera.

Figura 23. Equipo de bombeo



Fuente: Low Pressure Boilers

2.3.3 Tratamiento químico del agua. El tratamiento del agua de una caldera de vapor o agua caliente es fundamental para asegurar una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y accidentes.

El objetivo principal del tratamiento de agua es evitar problemas de corrosión e incrustaciones, asegurando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera.

El aseguramiento de la calidad del agua de alimentación y agua de la caldera se consigue cumpliendo con los requerimientos de las normas, que definen los límites recomendados para los parámetros involucrados en el tratamiento del agua.

2.3.4 Parámetros tratamiento de agua. Los principales parámetros involucrados en el tratamiento del agua de una caldera, son los siguientes:

- **pH.** El pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).
- **Dureza.** La dureza del agua cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, los que favorecen la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera.
- **Oxígeno.** El oxígeno presente en el agua favorece la corrosión de los componentes metálicos de una caldera. La presión y temperatura aumentan la velocidad con que se produce la corrosión.
- **Hierro y cobre.** El hierro y el cobre forman depósitos que deterioran la transferencia de calor. Se deben utilizar filtros para remover estas sustancias.
- **Dióxido de carbono.** El dióxido de carbono, al igual que el oxígeno, favorecen la corrosión. Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de ranuras y no de tubérculos como los resultantes de la corrosión por oxígeno.

- La corrosión en las líneas de retorno de condensado generalmente es causada por el dióxido de carbono. El CO₂ se disuelve en agua (condensado), produciendo ácido carbónico. La corrosión causada por el ácido carbónico ocurrirá bajo el nivel del agua y puede ser identificada por las ranuras o canales que se forman en el metal.
- **Aceite.** El aceite favorece a la formación de espuma y como consecuencia el arrastre por el vapor.
- **Fosfato.** El fosfato se utiliza para controlar el pH y dar protección contra la dureza.
- **Sólidos disueltos.** Los sólidos disueltos la cantidad de sólidos (impurezas) disueltas en al agua.
- **Sólidos en suspensión.** Los sólidos en suspensión representan la cantidad de sólidos (impurezas) presentes en suspensión (no disueltas) en el agua.
- **Secuestrantes de oxígeno.** Los Secuestrantes de oxígeno corresponden a productos químicos (sulfitos, hidrazina, hidroquinona, etc.) utilizados para remover el oxígeno residual del agua.
- **Sílice.** La sílice presente en el agua de alimentación puede formar incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).
- **Alcalinidad.** Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.
- **Conductividad.** La conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua.

2.3.5 Ablandadores. La función de los ablandadores es eliminar los iones de Ca y Mg, que conforman la dureza del agua y favorecen la formación de incrustaciones en una caldera.

Figura 24. Ablandador



Fuente: Ramírez Angel. Curso Vapor

El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en un proceso llamado “intercambio iónico”, que consiste en la sustitución de iones por sodio (Na) para obtener agua tratada y ser utilizada en calderas.

Los ablandadores están compuestos por resinas, que poseen una capacidad de intercambio de iones de calcio y magnesio por sodio.

Tabla 1. Reacciones químicas del agua con el ablandador

AGUA DURA	RESINA	AGUA BLANDA
Ca(HCO ₃) ₂		
Mg(HCO ₃) ₂		
CaSO ₄		NaHCO ₃
MgSO ₄	(+)R – Na →	Na ₂ SO ₄
CaCl ₂		NaCl
MgCl ₂		
NaCl		

En el caso de que la capacidad de entrega de agua blanda de estos equipos se vea disminuida es necesario llevar a cabo una regeneración para recuperar la capacidad de intercambio de las resinas.

La regeneración es realizada con sal sódica (NaCl) de calidad técnica con una concentración de 150 a 250 gr/l de resina.

2.4 Operación de un caldero con el módulo RM7800 [4]

Para comprender la secuencia de operación de un caldero y las acciones que realiza el programador, debemos conocer el diagrama interno electrónico del programador, sus terminales y conexiones, es así que tenemos:

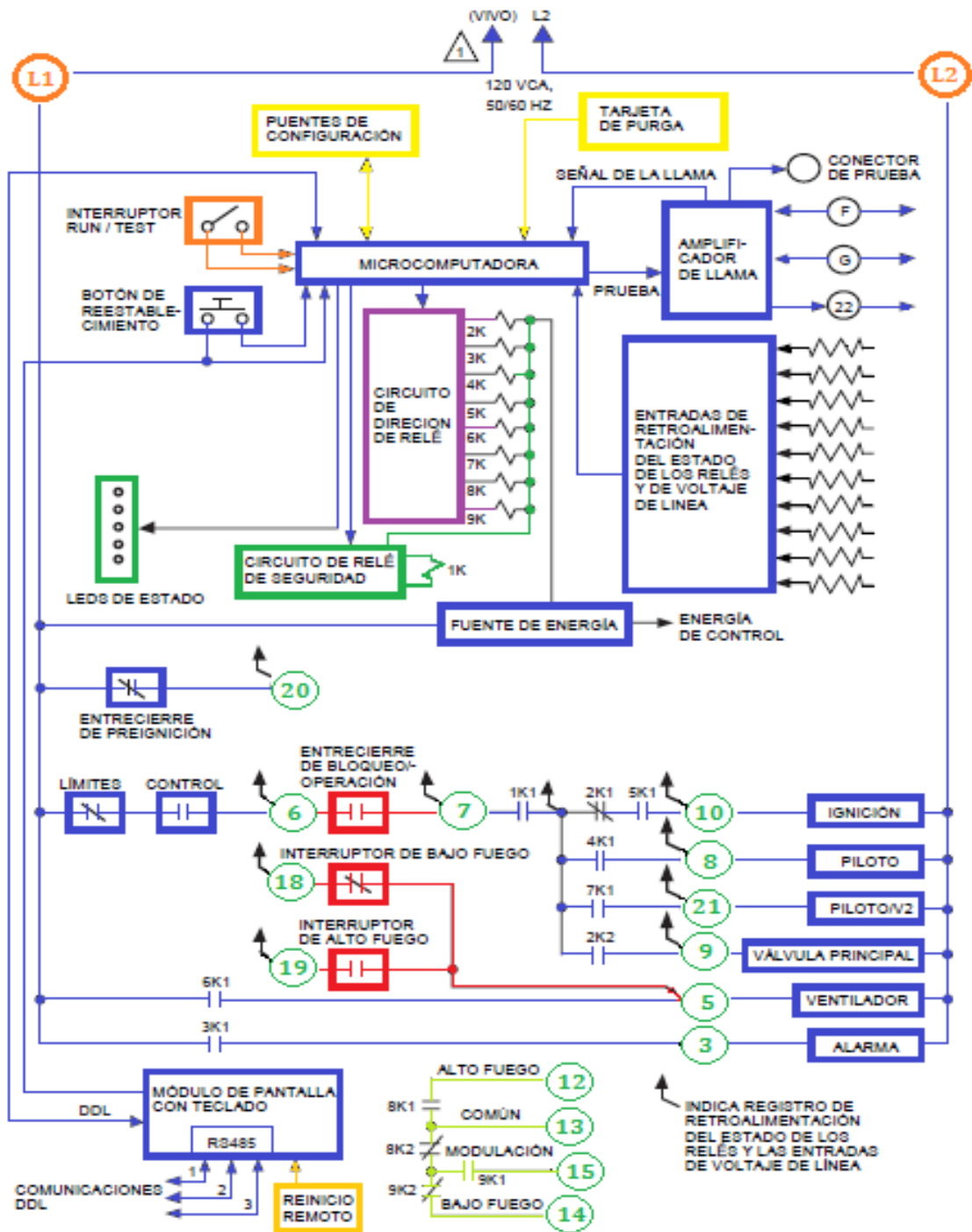
Tabla 2. Terminales en el programador

No. de Terminal	Descripción	Rangos
-----------------	-------------	--------

G	Tierra del Sensor de Llama	.
Tierra G	Tierra Física	.
L2(N)	Línea Común de Voltaje	.
3	Alarma	120 Vca, 1A Pilot Duty.
4	Línea de Alimentación de Voltaje (L1)	120 Vca (+10 / -15%), 50 ó 60 Hz (± 10%).b,d
5	Motor del Quemador (Ventilador)	120 Vca, 9.8 AFL, 58.8 ALR (corriente de arranque)
6	Control y Límites del Quemador	120 Vca, 1 mA.
7	Entrecierre de Bloqueo/Operación	120 Vca, 8A, 43A corriente de arranque.
8	Válvula Piloto/ Ignición	120 Vcac
9	Válvula Principal	120 Vcac
10	Ignición	120 Vcac
F(11)	Sensor de la Llama	De 60 a 220 Vca, limitado por corriente.
12	Alto Fuego (Modulación)	120 Vca, 75 VA servicio del piloto.
13	Común (Modulación)	120 Vca, 75 VA servicio del piloto.
14	Bajo Fuego (Modulación)	120 Vca, 75 VA servicio del piloto.
15	Modulación	120 Vca, 75 VA servicio del piloto.
16	No se Utiliza	.
17	No se Utiliza	.
18	Entrada del Interruptor de Bajo Fuego	120 Vca, 1 mA.
19	Entrada del Interruptor de Alto Fuego	120 Vca, 1 mA.
20	Entrada del Entrecierre de Pre-ignición	120 Vca, 1 mA.
21	Válvula Piloto Interrumpida / Intermitente / Válvula de Diesel de Primera Etapa	120 Vcac
22	Obturador (Shutter)	120 Vca, 0.5 A

Fuente: Honeywell

Figura 25. Diagrama electrónico del programador



Fuente: Honeywell

2.4.1 Pre-purga normal de arranque. El RM7800 proporciona un tiempo de PREPURGE (pre-purga) que se selecciona entre dos segundos y treinta minutos con la energía aplicada y el control indicando una llamada de calor.

a. Los Entrecierres de Operación, los Entrecierres de Pre-ignición, el Interruptor del Quemador, el Interruptor Run / Test, el Entrecierre de Bloqueo y todos los circuitos monitoreados deben estar en el estado correcto de operación.

b. La salida del motor del ventilador, terminal 5, es energizada para iniciar la secuencia PREPURGE (prepurga), El motor de modulación es conducido a la posición de alto fuego. El tiempo de PREPURGE (prepurga) para el RM7800 no inicia hasta que los Entrecierres de Bloqueo y el Interruptor de Alto Fuego se encuentren cerrados. El motor del ventilador no se energiza hasta que el Interruptor de Alto Fuego se cierra.

c. El Entrecierre de Pre ignición debe permanecer cerrado durante la PREPURGE (prepurga); de lo contrario el control regresa al estado de STANDBY (espera) y se mantiene (30 segundos) para el RM7800 ocurre un apagado de seguridad para el RM7800.

d. Las entradas del Entrecierre de Bloqueo o del entrecierre de Operación (circuito de entrecierre incluyendo el Interruptor del Flujo de Aire) se deben cerrar dentro de los diez segundos de la PREPURGE (prepurga); de otra forma, ocurrirá un reciclado hasta el inicio de la PREPURGE (prepurga) en el caso del RM7800 U ocurrirá un apagado de seguridad para el RM7800.

e. Una vez que el tiempo de PREPURGE (prepurga) se concluye, el motor de modulación se dirigirá a la posición de bajo fuego, para el RM7800

f. Cuando el motor de modulación alcanza la posición de bajo fuego, la entrada del Interruptor de Bajo Fuego, terminal 18, se deberá energizar antes de entrar en el estado de Pruebas de Ignición.

2.4.2 Pruebas de ignición.

1. Período de Estabilización de Llama del Piloto (PELPi):

- a. Con el motor de modulación en la posición de bajo fuego:
 - (1) Se energizan la válvula piloto y el transformador de ignición, terminales 8, 10, y 21.
 - (2) Durante el periodo de estabilización de la llama piloto, el interruptor de bajo fuego debe permanecer cerrado. SI SE ABRE OCURRE UN APAGADO DE SEGURIDAD.
 - (3) Durante el estado de pruebas de ignición se ignora la entrada del entrecierre de Pre-ignición
- b. La llama debe ser comprobada durante 10 segundos, del periodo de estabilización de llama para permitir que la secuencia continúe. SI NO SE HA COMPROBADO LA LLAMA AL FINAL DEL PELPi OCURRE UN APAGADO DE SEGURIDAD.
- c. Al final de 5 segundos, la ignición, terminal 10, se desenergiza para una terminación rápida de chispa.

2. Periodo de estabilización de llama principal (PELPr)

- a. Se energiza el terminal 9 cuando se verifica la presencia de la llama al final de los 10 segundos del PELPi.
- b. La terminal 8 se desenergiza 10 segundos después de energizar la terminal 9.
- c. La terminal 21 se desenergiza 15 segundos después que la terminal 9 se energiza.
- d. La terminal 21 se desenergiza 15 segundos después de que la terminal 9 sea energizada en los dispositivos.

2.4.3 RUN (operación).

1. Ocurre un periodo de estabilización de 10 segundos al principio del periodo RUN (Operación).
2. El motor de modulación se libera a “modulación”. El motor de compuerta se energiza.
3. El programador se encuentra ahora en RUN y permanece en Run hasta que la entrada del control, terminal 6, se abre, indicando que la demanda está completa o que se ha abierto un límite.

2.4.4 Postpurga. Proporciona un período de quince segundos una vez completado el período RUN (operación) o que se ha producido un apagado manual o se ha activado un límite de seguridad. El motor del ventilador continúa funcionando durante este tiempo para conducir todos los productos de la combustión así como cualquier cantidad de combustible no quemado fuera de la cámara de combustión. También proporciona aire de combustión para quemar el combustible sobrante que proviene de las líneas de combustible después de las válvulas de alivio.

1. La válvula principal de combustible y la válvula piloto intermitente, terminales 9 y 21, se energizan y se da el comando al motor de modulación para pasar a la posición de bajo fuego e iniciar el período de POSTPURGE (postpurga).
2. Se cierra el Entrecierre de Pre ignición dentro de los primeros cinco segundos de la POSTPURGE (postpurga).
3. Después de quince segundos se concluye el período de POSTPURGE (postpurga), el programador regresa a STANDBY (espera).

2.5 Principales fallas en calderos piro tubulares

Cuando un Caldero falla, se debe investigar la causa de la falla y tomar las acciones necesarias para corregir el problema.

A continuación se presentan algunas de las fallas que se presentan en un caldero y las acciones a ejecutar para remediar el fallo.

Tabla 3. Causas y acciones a ejecutar ante ciertas fallas I

CAUSAS PROBABLES	ACCIONES A EJECUTAR
EL QUEMADOR NO ENCIENDE	
Hay una falta de voltaje en las terminales de energía del relevador de programación.	<ul style="list-style-type: none"> • El interruptor de separación principal está abierto. • El fusible del circuito de control está quemado. • La conexión eléctrica está floja o quebrada.
El circuito limitador no está completo no hay voltaje en el extremo de la termina del circuito limitador de relevador de programación.	<ul style="list-style-type: none"> • La presión o la temperatura es mayor que el ajuste del control de operación. (La luz de la demanda de carga no se enciende). • El agua está debajo del nivel requerido. La luz de bajo nivel del agua y alarma deben indicar esta condición. Verifique que el botón de restablecimiento manual, de proveerse, en el control de bajo nivel de agua. • La presión de combustible debe estar dentro de los ajustes de los interruptores de baja y alta presión. • Unidad alimentada con aceite - el inyector del quemador debe estar completamente hacia adelante para cerrar el interruptor de la cámara de aceite. • Unidad alimentación con aceite pesado - la temperatura del aceite es menor que el ajuste mínimo.
El interruptor de seguridad del relevador de programación está desactivado.	<ul style="list-style-type: none"> • Restablecer el interruptor de seguridad del relevador del programación.
El circuito de entrecierre de la válvula de combustible no está completo	<ul style="list-style-type: none"> • El interruptor auxiliar de la válvula de combustible no está cerrado.

Tabla 4. Causas y acciones a ejecutar ante ciertas fallas II

CAUSAS PROBABLES	ACCIONES A EJECUTAR
NO HAY IGNICIÓN	
Hay falta de chispa.	<ul style="list-style-type: none"> • El electrodo está conectado a la tierra o la porcelana está quebrada. • El ajuste del electrodo está incorrecto. • El terminal está flojo en el cable de la ignición; el cable tiene cortocircuito. • El transformador de la ignición no funciona. • Hay poco o cero voltaje en la terminal del circuito de la ignición del piloto.
Hay chispa pero no hay llama.	<ul style="list-style-type: none"> • Hay una falta de combustible - no hay presión de gas, la válvula está cerrada, el tanque vacío, la línea rota, etc. • El solenoide del piloto no funciona. • Hay poco o cero voltaje en la terminal del circuito de la ignición del piloto.
El interruptor de baja presión está abierto en el circuito de la ignición del piloto.	<ul style="list-style-type: none"> • El actuador de compuerta no está cerrado, la leva está deslizada, el interruptor está defectuoso. • La compuerta de aire está trabada o la conexión está enlazada.
El circuito de la interconexión del funcionamiento no está completo	<ul style="list-style-type: none"> • Los interruptores de prueba de aire atomizado o de combustión están defectuosos o no están ajustados adecuadamente. • El contacto de entrecierre del arranque del motor no está cerrado.
El detector de llama está defectuoso, el tubo de observación está obstruido, o los lentes están sucios.	<ul style="list-style-type: none"> • Revise y compruebe el detector de llama. • Retire el detector de llama y limpie el tubo de observación. • Saque el detector de llama y limpie el lente.
HAY LLAMA EN EL PILOTO PERO NO HAY LLAMA PRINCIPAL.	
No hay suficiente llama piloto.	<ul style="list-style-type: none"> • Revise la alimentación de combustible al piloto. • Compruebe si la presión de combustible del piloto es la suficiente.
No hay suficiente llama piloto, Unidad alimentada con gas.	<ul style="list-style-type: none"> • La llave del cierre manual del gas está cerrada. • La válvula principal del gas no funciona. • El regulador de presión del gas no funciona.
No hay suficiente llama piloto, Unidad alimentada con aceite.	<ul style="list-style-type: none"> • El suministro de aceite está interrumpida por obstrucción, la válvula está cerrada, o hay una falta de succión. • La bomba de alimentación no funciona. • No hay combustible. • La válvula principal de aceite no funciona. • Inspeccione la boquilla del aceite, inyector y líneas.

Hay poco o cero voltaje en la terminal del circuito de la válvula principal del combustible.	<ul style="list-style-type: none"> • Revise el cableado desde la válvula, hasta la regleta que no haya secciones sin aislamiento. • Revise el voltaje en la regleta.
El detector de la llama está defectuoso, el tubo de observación está obstruido o los lentes están sucios.	<ul style="list-style-type: none"> • Revise y compruebe el detector de llama. • Saque el detector de llama y limpie el lente. • Retire el detector de llama y limpie el tubo de observación.

Tabla 5. Causas y acciones a ejecutar ante ciertas fallas III

CAUSAS PROBABLES	ACCIONES A EJECUTAR
EL QUEMADOR PERMANECE EN LLAMA BAJA	
La presión o temperatura están arriba del ajuste del control de modulación.	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique la calibración del modulador, de ser necesario corríjalo. • Verifique la calibración del Presuretrol de cambio de fuego alto a fuego alto.
El interruptor automático-manual está en la posición incorrecta.	<ul style="list-style-type: none"> • Revise el interruptor manual-automático póngalo en la posición correcta.
El motor de modulación no funciona.	<ul style="list-style-type: none"> • Revise las interconexiones si están flojas ajústelas. • Revise las conexiones eléctricas. • Cambie el modulador.
El control de modulación está defectuoso.	<ul style="list-style-type: none"> • Destape el modulador y revise la ubicación de las levas que controlan las condicione de fuego, • Compruebe si están funcionando adecuadamente los microswitch del modulador.
La interconexión, las levas, los tornillos de ajuste, etc., están entrelazados o flojos.	<ul style="list-style-type: none"> • Revise el sistema de varillaje que están acopladas al modulador. • Reajuste los pernos de sujeción de las varillas, de las levas.
OCURRE UN PARO DURANTE EL ENCENDIDO.	
Si el interruptor de entrecierre del programador no se a desenganchado, inspeccione el circuito limitador por si hay un control de seguridad activado.	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccione las líneas de combustible y las válvulas. • Inspeccione el detector de llama. • Verifique si hay un corto circuito de entrecierre de funcionamiento. • La luz de falla se activa por falla en la ignición, falla en llama principal, señal de llama inadecuada, o control abierto en circuito de entrecierre de funcionamiento.
Hay una relación de aire-combustible inadecuada (fuego pobre)	<ul style="list-style-type: none"> • La interconexión está deslizante.
	<ul style="list-style-type: none"> • La compuerta de aire está trabada (abierta)

	<ul style="list-style-type: none"> • El suministro de combustible está fluctuante. (Hay una obstrucción temporal en la línea de combustible. Hay una caída temporal en la presión del gas. La válvula de compuerta tipo orificio se abrió accidentalmente.
EL MOTOR DE MODULACIÓN NO FUNCIONA	
La interconexión está floja o trabada.	<ul style="list-style-type: none"> • Revise la conexión para ver si ésta trabada. • Ajuste las varillas de conexión.
El motor no enciende o se apaga durante la prepurga o no se activa cuando el quemador se apaga.	<ul style="list-style-type: none"> • El motor está defectuoso. • La conexión eléctrica está floja. • El transformador del actuador de compuerta está defectuoso.
El motor no funciona cuando se necesita.	<ul style="list-style-type: none"> • El interruptor manual-automático está en la posición incorrecta. • El control de modulación está ajustado inadecuadamente o no funciona. • El motor está defectuoso. • La conexión eléctrica está floja. • El transformador del actuador de compuerta está defectuoso.

Tabla 6. Causas y acciones a ejecutar ante ciertas fallas IV

EL MOTOR FUNCIONA, PERO LA CHISPA DE ENCENDIDO NO OCURRE.	
El cable de encendido está suelto o conectado a tierra.	<ul style="list-style-type: none"> • Chequee y asegúrese que el cable de encendido está colocado firmemente en el electrodo. • Remueva y chequee grietas en el aislador del electrodo.
El transformador de encendido del piloto esta defectuoso.	<ul style="list-style-type: none"> • Chequee el terminal del panel del transformador de encendido para 120V. • Remplace el transformador si es necesario.
Seguridad de la llama defectuosa.	<ul style="list-style-type: none"> • Chequee el voltaje en el termina de encendido. • Remplace la seguridad de la llama si es necesario.
Cabello de carbón en electrodo de encendido conectado a tierra.	<ul style="list-style-type: none"> • Remueva cuidadosamente la montura del piloto y chequee los carbones. • Remueva, limpie la montura del piloto para una inclinación del quemador piloto.
EL MOTOR FUNCIONA, EL ENCENDIDO OCURRE, PERO EL GAS NO ENCIENDE.	
No está suministrando gas al piloto.	<ul style="list-style-type: none"> • Chequee la válvula de gas piloto para asegurar que está abierta. • Asegúrese que la línea de gas está purgada. • Limpie y tape el orificio del piloto. • Cierre el regulador piloto de gas. Chequee la entrada de presión del suministro de gas.
Válvula de gas piloto no se abre.	<ul style="list-style-type: none"> • Chequee la bobina para 120V.

	<ul style="list-style-type: none"> • Chequee la acción de la válvula por sonido y tacto.
	<ul style="list-style-type: none"> • Remplace la bobina o el cuerpo de la válvula si es necesario.
EL MOTOR FUNCIONA, EL GAS SE ESTABLECE, LA LLAMA PILOTO NO SE PRUEBA.	
Inapropiado flujo de gas.	<ul style="list-style-type: none"> • Incremente o baje la presión de gas piloto.
Polvo en el sensor de llama.	<ul style="list-style-type: none"> • Limpie o remplace el sensor.
Sensor de la llama no puede ver el piloto.	<ul style="list-style-type: none"> • Mire hacia abajo por el tubo. • Si es posible la vista del piloto, corrija el problema.
Circuito de tierra inapropiado.	<ul style="list-style-type: none"> • Chequee el voltaje en el cable neutral del tablero de puesta a tierra. El voltaje no debe ser mayor que 5V.
Incorrecto suministro de aire al piloto.	<ul style="list-style-type: none"> • Chequee la presión estática en el tubo recogido de aire piloto. Debería tener una presión mayor de 35" w.C. Abrir más la apertura del aire de fuego bajo.

Fuente: Ramírez Angel. Curso Vapor

2.6 LabVIEW

2.6.1 ¿Qué es LabVIEW? LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control.

LabVIEW es una herramienta de programación gráfica y modular utilizada para crear instrumentación virtual. Los programas creados mediante LabVIEW son los “instrumentos virtuales” o VI (virtual Instrument) dispone de un panel frontal y un diagrama de bloques. La interface del usuario del instrumento se realiza en la ventana del **panel frontal** y la funcionalidad del instrumento se programa en la ventana de **diagrama de bloques**. A través del panel frontal el usuario interactúa con el instrumento virtual mediante interruptores, controles deslizantes, gráficos y otros tipos de controles e indicadores proporcionados por LabVIEW. Este software utiliza un lenguaje de programación gráfica, el lenguaje G, basado en bloques funcionales que se transfieren datos de distintos tipos. Los bloques se seleccionan de un menú tipo paleta, con funciones que van desde las aritméticas a funciones avanzadas de adquisición, control y rutinas de análisis. Incluye también herramientas de depuración, ayuda, ejecución resaltada, paso a paso, probetas y puntos de

ruptura para trazar y supervisar la ejecución del flujo de datos. LabVIEW permite la creación de aplicaciones profesionales con un mínimo de programación. Las tarjetas de adquisición de datos suelen traer, además de los drivers, instrumentos virtuales para LabVIEW que permiten hacer de interface con el hardware.

2.6.2 Aplicaciones de LabVIEW. Labview tiene su mayor aplicación en:

- **Sistemas de medición**, como monitoreo de procesos.
- **Aplicaciones de control**, un ejemplo de esto pueden ser:
 - Sistemas de monitoreo en transportación,
 - Laboratorios para clases en universidades,
 - Procesos de control industrial.

Labview es muy utilizado en procesamiento digital de señales (wavelets, FFT, Total DistorsionHarmonic TDH), procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras, etc.

2.7 Programación en LabVIEW

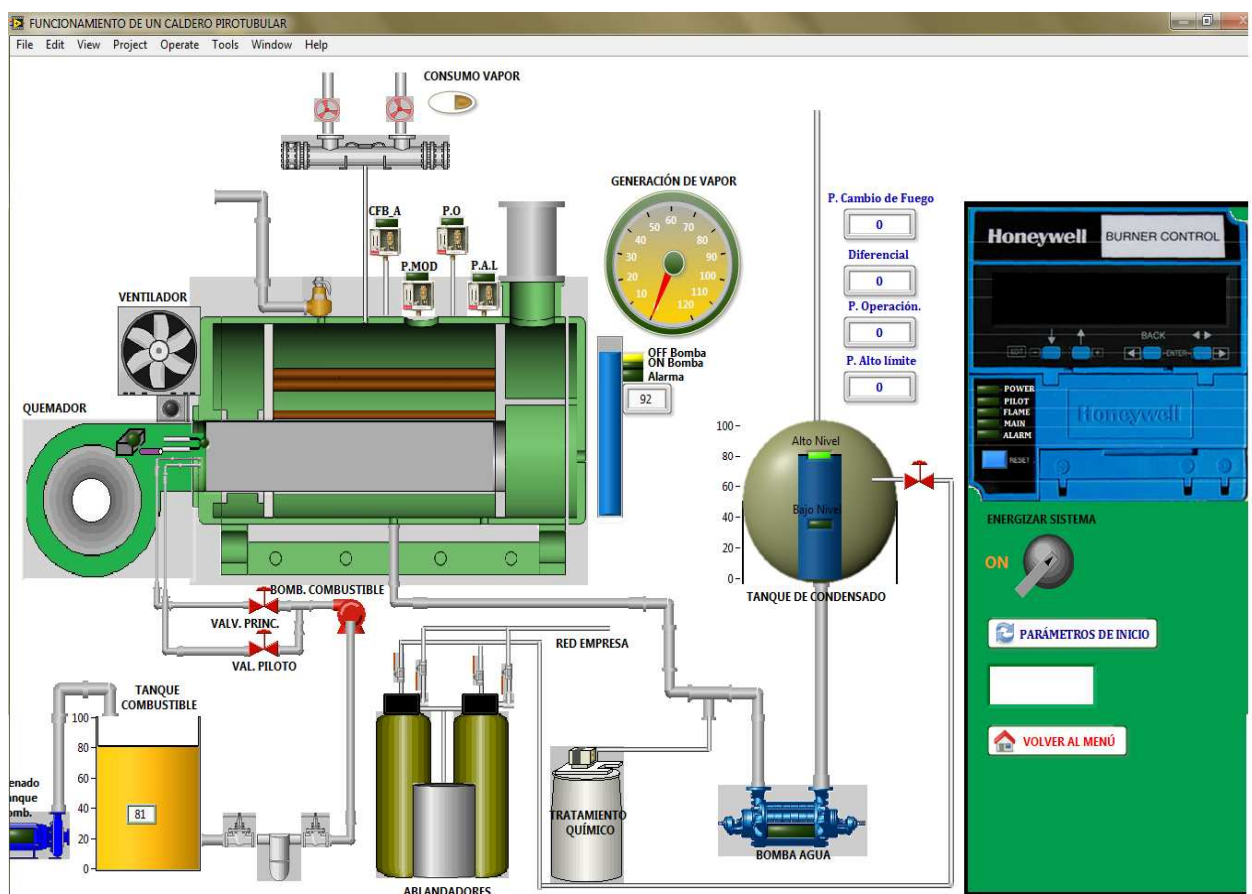
Como se mencionó anteriormente, los programas desarrollados en este software se denominan instrumentos virtuales (VI's), están conformados de dos partes, la primera que es interactiva con el usuario del programa la misma en que se diseña el instrumento virtual y la segunda parte que es el código fuente del instrumento, en donde se programa el instrumento la misma que da los parámetros de funcionamiento del instrumento que se quiere programar.

Para esto el programa necesita de un panel frontal (primera parte) y un diagrama e bloques (segunda parte).

2.7.1 Panel frontal. Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc.

Cada uno de ellos puede estar definido como un control o un indicador. Los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación.

Figura 26. Panel frontal de BOILERSOFT



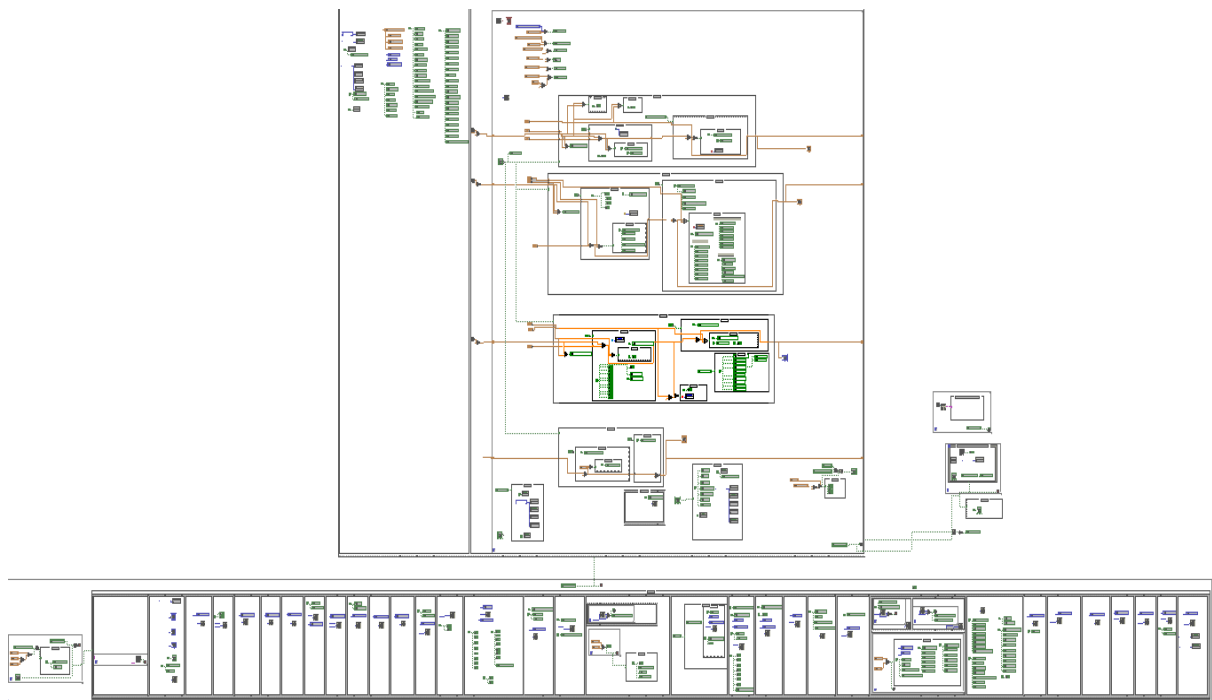
Fuente: Autor.

2.7.2 Diagrama de bloques. El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa (VI) para controlar o realizar cualquier proceso en las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora LabVIEW. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales. Son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales.

Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales.




















Figura 27. Parte del Diagrama de bloques de BOILERSOFT



Fuente: Autor.

2.7.3 Variables que maneja LabVIEW.

Tabla 7. Variables que maneja LabVIEW.

CONTROL	INDICADOR	TIPO DE DATO	COLOR
		Single-precision floating-point numeric	Orange
		Double-precision floating-point numeric	Orange
		Extended-precision floating-point numeric	Orange
		Complex single-precision floating-point numeric	Orange
		Complex Double-precision floating-point numeric	Orange
		Complex Extended-precision floating-point numeric	Orange
		8-bit signed integer numeric	Blue
		16-bit signed integer numeric	Blue
		32-bit signed integer numeric	Blue
		8-bit unsigned integer numeric	Blue
		16-bit unsigned integer numeric	Blue
		32-bit unsigned integer numeric	Blue
		Boolean	Green
		String	Pink
 	 	Cluster –Abarca muchos tipos de datos, los datos del cluster pueden ser cafés si son elementos numéricos, rosados si son datos diferentes.	Brown or Pink
		Dynamic	Blue
		Waveform –Estos llevan no sólo datos, si no también tiempo y un Δt de la waveform.	Brown
		Digital Waveform	Dark Green
		Digital Data	Dark Green
		I/O name –Datos procedentes de algún dispositivo de adquisición de datos	Purple
		Picture	Blue

Fuente: National Instruments

CAPÍTULO III

3 DESARROLLO DE UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE FALLAS DE UN CALDERO PIROTUBULAR

3.1 Software

Software es un conjunto de componentes y secuencias lógicas de circuitos desarrollados, que hacen posible la realización de tareas específicas. Para el presente software, la programación se dividió en dos partes esenciales que son:

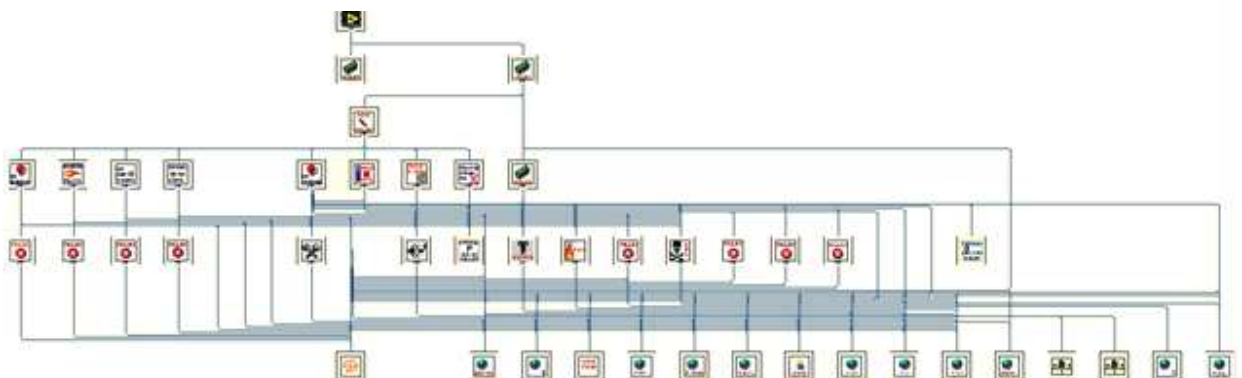
- a) Simulación del principio Funcionamiento de un caldero.
- b) Simulación de fallas de Un Caldero Piro tubular.

El software denominado BOILERSOFT es un programa diseñado para simular el funcionamiento adecuado de un caldero, como también el simular la reacción del sistema ante una falla, indicando las causas de estas fallas y sus soluciones.

Dentro del software se ha programado la simulación de ocho fallas, siendo estas, las de mayor importancia en un sistema de generación de vapor.

Se iniciará diciendo que BOILERSOFT es un conjunto de programas que cuentan con una jerarquía, los mismos que responden a diferentes situaciones y acciones por parte del usuario del software.

Figura 28. Jerarquía de programas



Fuente: Autor.

En la figura 28. Se puede observar todos los VI's y subVI's que forman parte del software BOILERSOFT y así está establecida su jerarquía, que se refiere a la ubicación de cada subprograma y su importancia en el software.

3.2 Software BOILERSOFT

El programa cuenta con una carátula que contiene contraseña para acceder al programa y aplicaciones, esto es programado mediante comparaciones aritméticas de texto, en donde al ingresar la palabra correcta, el software seguirá su curso.

Después de ingresar la contraseña, el programa le lleva a un menú de inicio, en donde se puede escoger entre la simulación del principio de funcionamiento del caldero o la simulación de fallas.

Figura 29. Menú BOILERSOFT

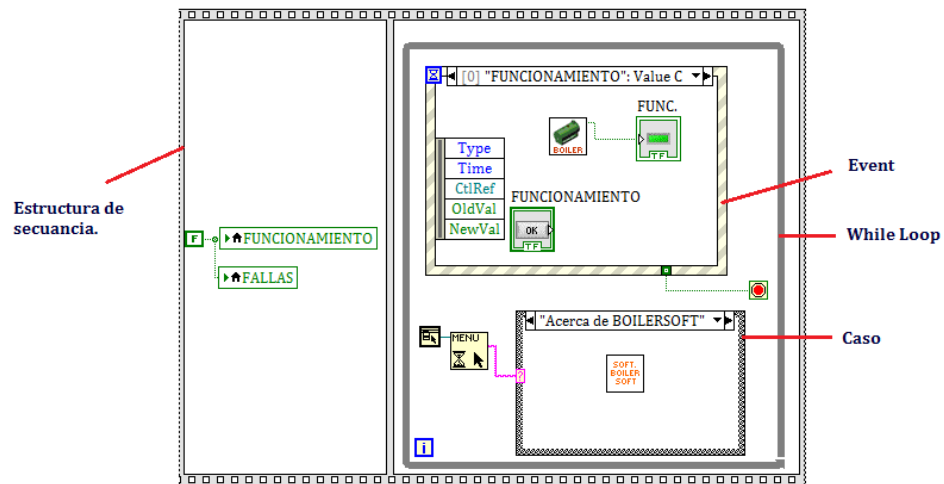


Fuente: Autor.

Este VI es considerado como la ventana principal del programa, ya que es el encargado de llamar a los demás VI's para ejecutar sus subprogramas; el menú, se compone principalmente de una estructura de secuencia, un While Loop, una estructura de eventos y

otra de caso; además, los íconos mostrados en el menú son modificaciones de controles booleanos mediante adquisición de imágenes.

Figura 30. Menú BOILERSOFT D.B.



Fuente: Autor.

Como podemos ver en la figura anterior, el programa inicia con una secuencia de establecimiento de variables, en donde ingresa el estado de falso a los botones del menú a continuación de esa secuencia. El menú se pondrá en espera a la ocurrencia de un evento el mismo que podrá ser entre dos opciones: la simulación de funcionamiento o la simulación de fallas, dentro de la estructura event, se encuentra una programación de cada evento que en el caso mostrado llamará a un subVI.

Del subVI indicado en la figura 30, el control booleano FUNCIONAMIENTO, nos llevará a la simulación normal del sistema de generación de vapor, es así que esta estructura se ha diseñado para la total interacción entre el usuario del programa y la programación.

La estructura While Loop, es la encargada de finalizar con el menú y la estructura de caso, esta, se encuentra en espera de una acción por parte del usuario en el menú diseñado para el programa.

Para la programación del software, se inicia por explicar cómo se diseñó la simulación del principio de funcionamiento del caldero.

3.3 Simulación del principio de funcionamiento de un caldero

3.3.1 Establecimiento de variables de programación del software. Dentro del software se denota la instalación del sistema de generación de vapor; como se conoce, el generador de vapor cuenta con el tablero de mando que contiene el programador, básicamente, es el encargado de monitorear que las variables necesarias satisfagan los requerimientos del caldero.

En la interfaz del usuario podemos observar el programador (Figura 31) y el lugar donde se establece las variables de una manera automática simulando el funcionamiento correcto del sistema.

Figura 31. Programador y energizado de sistema



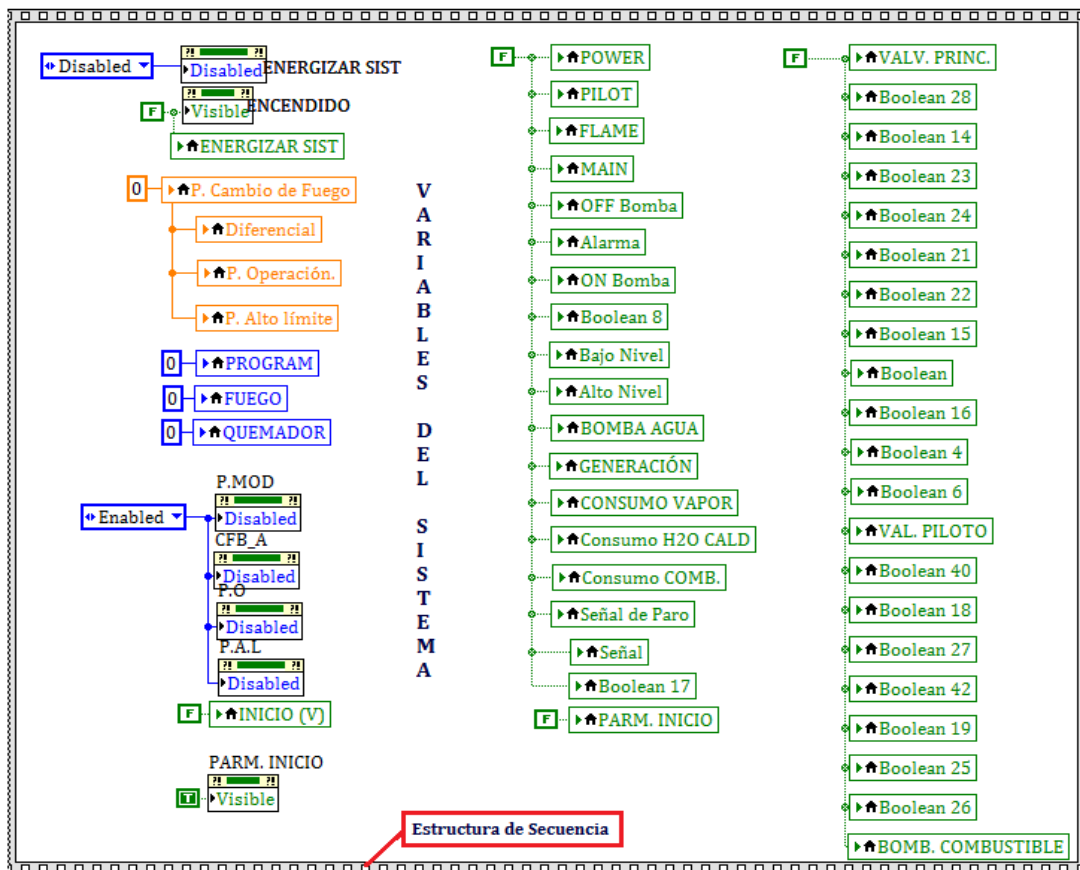
Fuente: Autor.

El programador será el encargado de indicar las etapas que se están ejecutando en el sistema, esto se programó mediante un Pict Ring, función que permite el control de imágenes, además el programador cuenta con Led's que son representados por medio de indicadores booleanos y el botón reset representado por otro control booleano.

En el tablero de control se cuenta con un selector para energizar el sistema que se encuentra en estado deshabilitado, obligando a revisar primero los parámetros de inicio, además ofrece la posibilidad de observar la hora en tiempo real.

En el diagrama de bloques, Las variables de inicio se establecen dentro de una estructura de secuencia (Figura 32) permitiendo que, en el momento que se ejecute el programa las variables se reseteen independientemente del valor o dato que estén en su interior.

Figura 32. Variables en el programa



Fuente: Autor.

Las variables están establecidas por medio de variables locales de booleanos y propiedades de diferentes controles e indicadores, este tipo de variables nos permiten manipular los datos en un mismo programa.

Una vez que se establecen las variables, el programa deberá estar listo para acceder al subVI de los parámetros de inicio los cuales se han programado dentro de ventanas auxiliares.

3.3.2 Parámetros de inicio. Para el encendido, se debe seguir algunos pasos y cumplir con ciertos aspectos, como el establecimiento de diversos parámetros (presiones, nivel de agua, combustible, energía) necesarios para que el sistema funcione. Es así que para la simulación se debe revisar los parámetros de inicio, ubicados en un subVI, en el cual se verificará que las variables se cumplan, (esto podemos observar en la figura 33) ya que los demás controles se encontrarán en estado deshabilitado hasta la revisión de parámetros.

Figura 33. Parámetros de inicio de secuencia



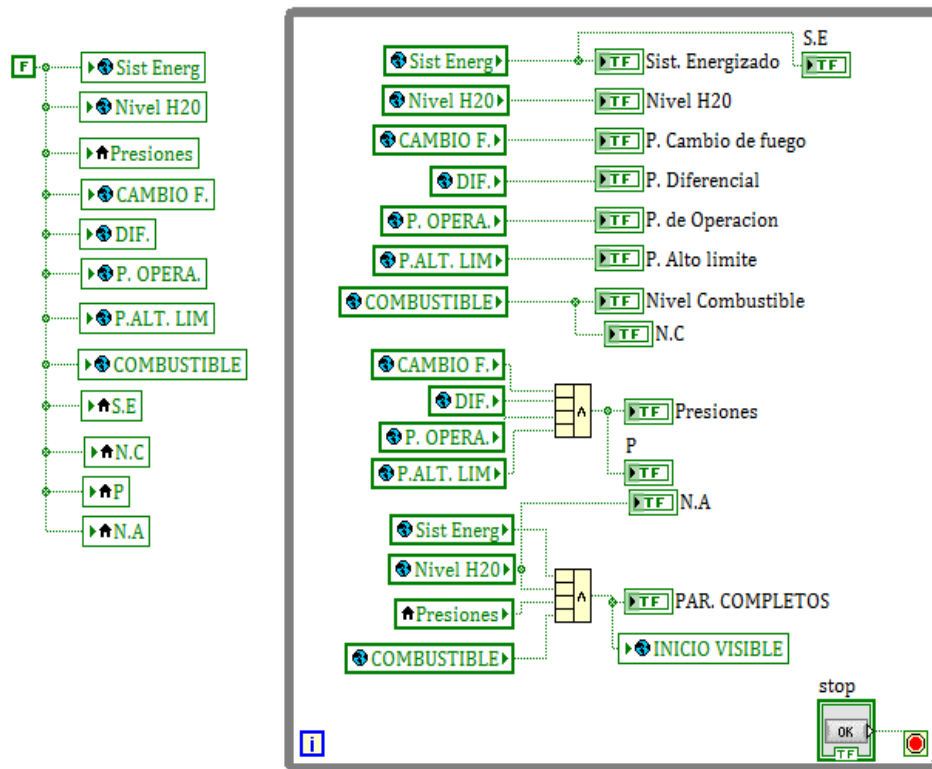
Fuente: Autor.

Dentro de estos parámetros se observa las necesidades del sistema para operar de forma correcta.

Parámetros de inicio es un subVI que funciona únicamente con variables globales; es decir, variables que se pueden utilizar en diferentes programas de LabVIEW, éstas son controladas por medio de datos numéricos o booleanos.

Dentro de este subVI se monitorea que en la interfaz del usuario se vaya cumpliendo con los parámetros mostrados en la figura anterior, su diagrama de bloques se ilustra a continuación.

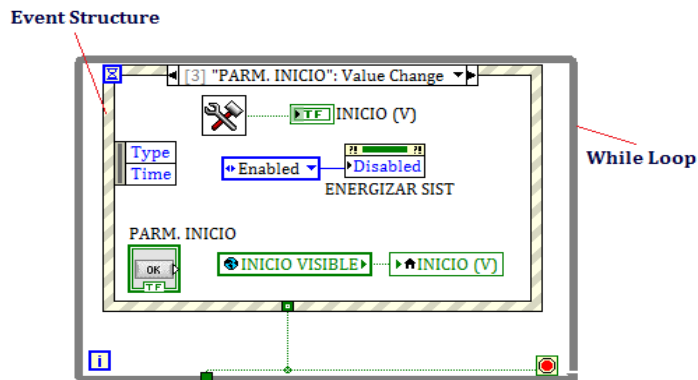
Figura 34. Diagrama de bloques de los parámetros de inicio



Fuente: Autor.

En este diagrama de bloques se va estableciendo datos, los mismos que son parte de una operación lógica para poder activar el botón de inicio en la interfaz principal del programa, una vez que se establecen los parámetros completos, se activa un indicador booleano dentro del programa ubicado en una estructura event, con esta estructura se puede interactuar de manera que el software espera hasta que suceda un evento para responder con una acción programada dentro de la misma; así tenemos la activación del indicador INICIO (V).

Figura 35. Parámetros completos



Fuente: Autor.

Al activarse INICIO (V) este transmitirá una señal de verdadero para que aparezca en el panel frontal el icono de inicio, a la vez desaparecerá el botón de parámetros de inicio, además cambiará el estado de enabled a disabled a los botones que representan a los presuretroles presentes en la caldera y habilitará al Switch para energizar el sistema. Todo esto se obtiene mediante la programación y establecimiento de propiedades de cada control.

Figura 36. Presuretroles y encendido del sistema



Fuente: Autor.

a. Sistema energizado:

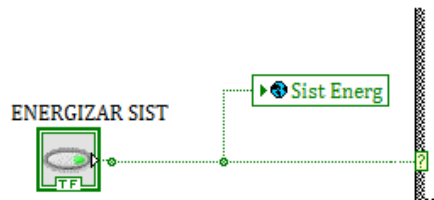
El botón de ENERGIZAR SISTEMA activará automática y progresivamente las variables globales de:

- Sistema Energizado.
- Nivel de Agua en el Caldero adecuado.
- Nivel de combustible adecuado.

El selector de Sistema Energizado, es un control booleano que está conectado a estructuras de caso, las cuales responden según el estado del control, es decir, true o false.

Al activar el botón se activará el led y la casilla del subVI Parámetros de Inicio.

Figura 37. Energizar sistema

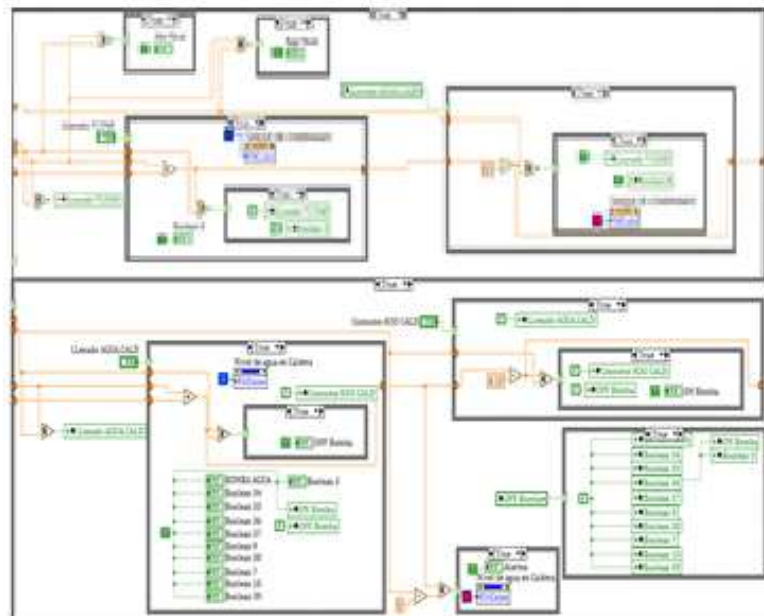


Fuente: Autor.

b. Nivel de agua en el caldero adecuado.

Como se explicaba, al activar el botón de Energizar sistema, se activará la variable global de nivel, ya que al interactuar con el selector activaremos la programación del incremento de nivel dentro del caldero.

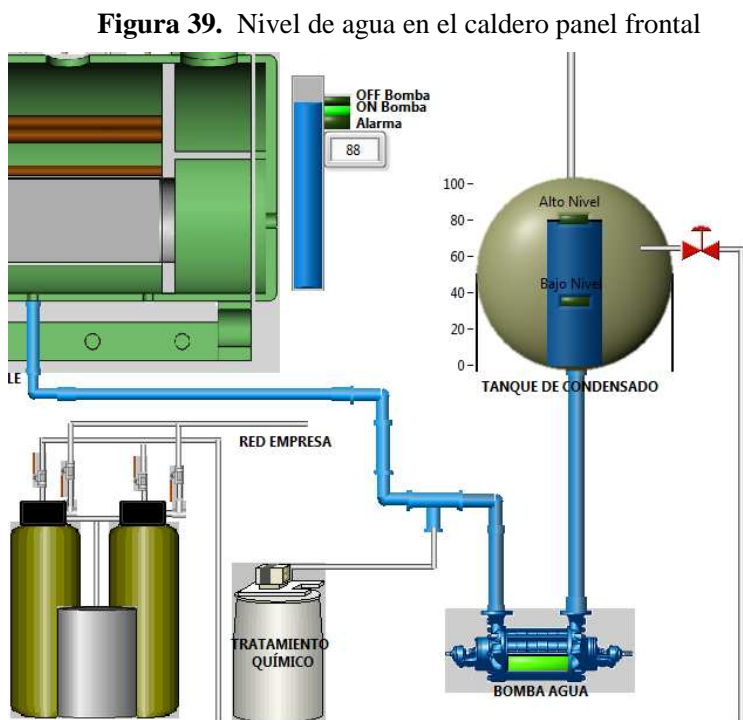
Figura 38. Nivel de agua en el caldero



Fuente: Autor.

En la figura anterior se puede observar la programación para el suministro de agua al caldero, para ello, sabemos que el suministro de agua es un proceso compuesto por diferentes equipos auxiliares del sistema, entre estos está la bomba de alimentación, que transporta el agua desde el tanque de condensado. Esta agua debe ser tratada por equipos específicos de tratamiento químico y ablandamiento.

Para representar el tratamiento y dosificación de químicos del agua que ingresa al equipo se utilizó tubería que puede ser controlada como booleana indicando su activación o paso de fluido por su interior, así, se simulara la alimentación, además de la adición de un led en la bomba de alimentación, indicando la activación del equipo de bombeo, de este modo observaremos en la siguiente figura.



Fuente: Autor.

Ahora veremos como responde el programa a la necesidad de suministrar agua al caldero según la programación mostrada en la Figura 38.

b.1 Tanque de condensado.

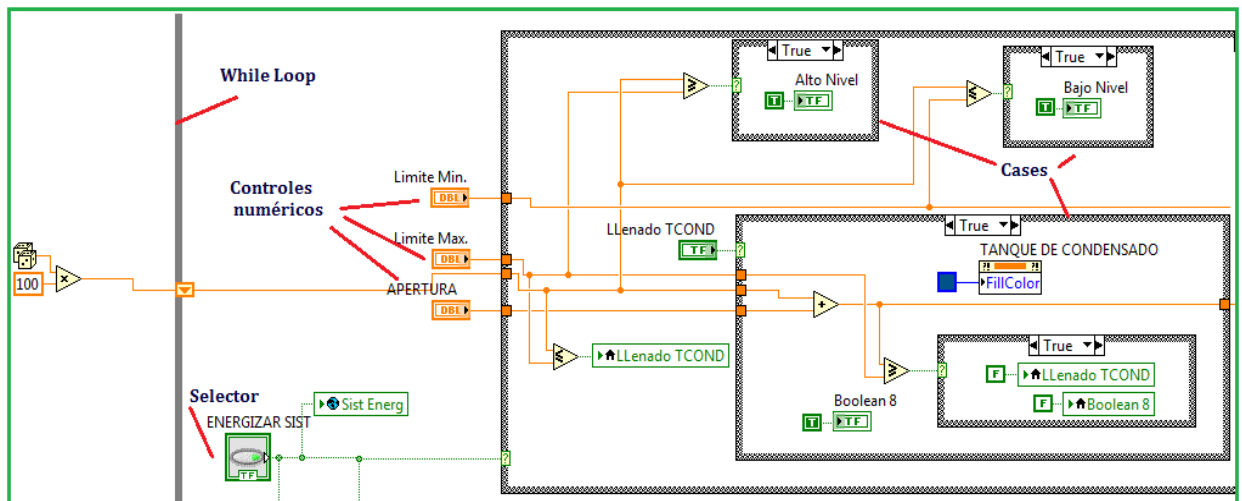
Al momento en que el software inicia su funcionamiento lanza un número al azar entre 0 y 100, éste valor es observado en el nivel de agua en el tanque de condensado, al momento que ingresa el número, pasa por una estructura While Loop en donde es registrado por un shift register.

Este valor ingresa a la estructura de caso, la misma que es activada por el selector Energizar sistema, al momento de energizar el sistema se activa el control de **“llenado tanque de condensado”**, dentro de la estructura caso se suma un número programado por un control numérico, se mantiene sumando hasta que cumple con un límite máximo programado y necesario para evitar el llenado inadecuado del tanque de condensados.

Se ha colocado un nodo de propiedad para poder indicar de forma clara los niveles adecuados con los que funcionará el sistema, estos estarán demarcados por los límites de nivel.

Para el nivel se ha utilizado dos Led's ubicados en la parte superior e inferior del tanque de condensados, los mismos que representan el visor de nivel, que es un tubo de vidrio. Estos niveles indicarán cuando se apaga el llenado del tanque.

Figura 40. Llenado tanque de condensados



Fuente: Autor.

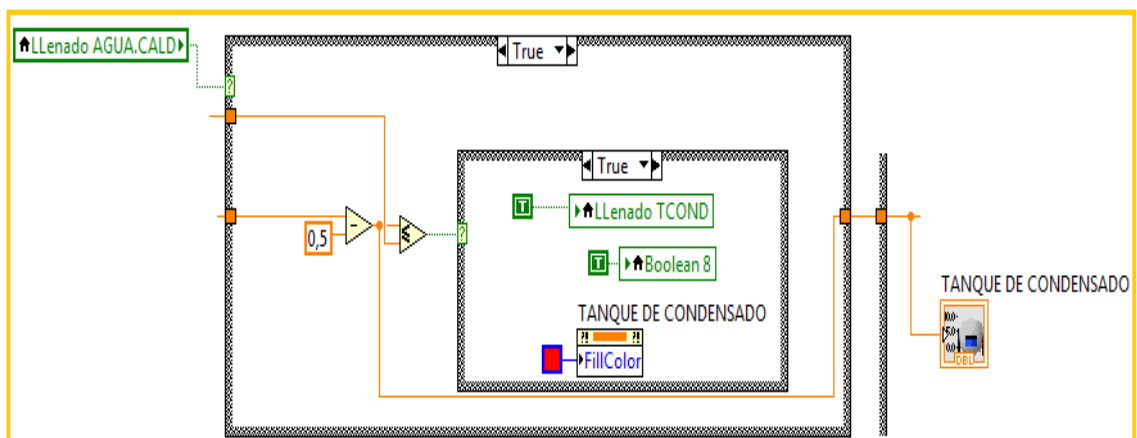
Ahora, hablaremos de la programación que activa el **consumo** de agua del tanque de condensados, cuando se activa la bomba de alimentación de agua al caldero debe consumir el agua de algún recipiente, pues bien, el sensor de nivel de agua del caldero es el encargado de activar el consumo en la programación del software.

Una vez que se activa ON Bomba, del sensor de nivel de la columna de agua en el caldero, lo que hace el programa es restar 0.5 al valor con el que se encuentra el recipiente, en este caso el tanque de condensados, al momento del consumo además se deberá desactivar el llenado, razón por la cual se utilizan variables locales para cambiar el estado del control de llenado de true a false.

Además, el sistema cuenta con una condición matemática, que evita que el tanque baje su nivel más de lo programado por el límite mínimo, el límite mínimo es representado por un color diferente al del llenado ya que indicará una condición de nivel inadecuada, razón por la cual activará automáticamente el llenado del recipiente, esto con el fin de evitar que el caldero se quede sin agua de alimentación, la misma que proviene del recipiente de condensados.

En caso de que lo mencionado anteriormente pasara, se ha colocado una abertura de la válvula suficientemente aceptable para abastecer el nivel de agua sin perjudicar el suministro de fluido al caldero.

Figura 41. Consumo tanque de condensados

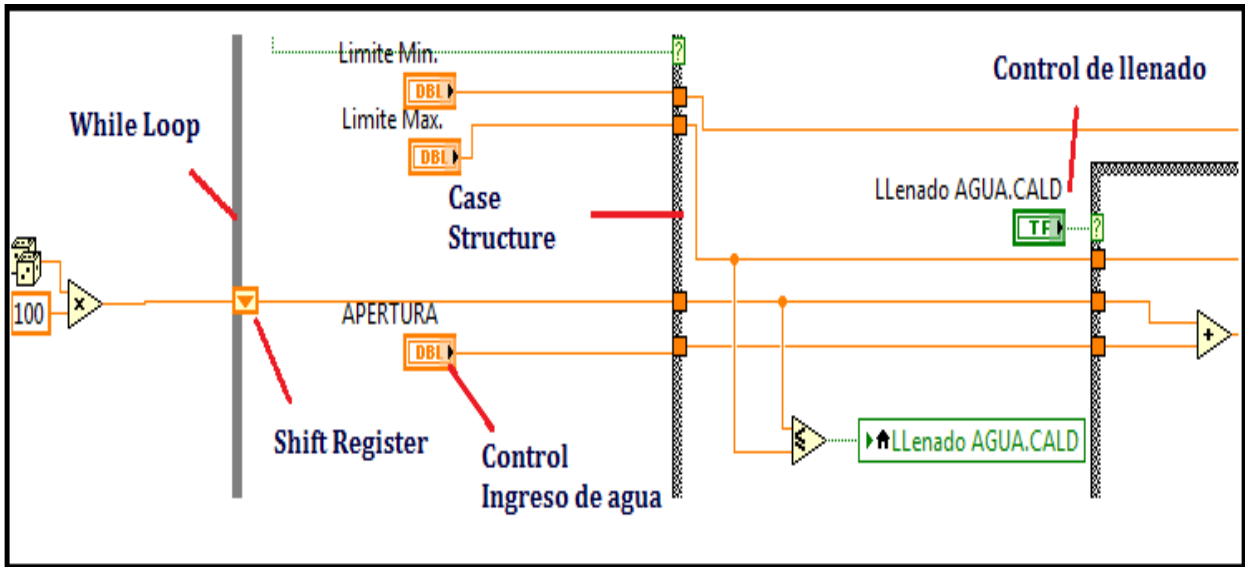


Fuente: Autor.

b.2 Nivel de agua en el caldero

Para el llenado de agua al caldero se utilizó el mismo principio que en el tanque de condensados.

Figura 42. Llenado agua caldero I



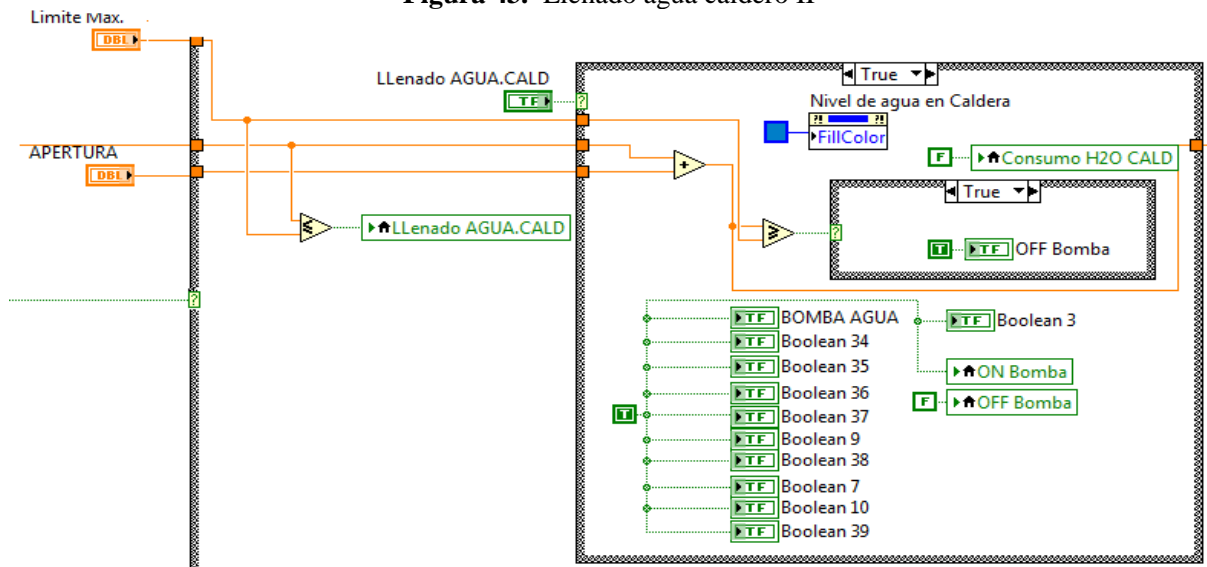
Fuente: Autor.

Primero, se genera el valor al azar el mismo que pasa por las estructuras: While Loop y Case. El valor una vez que se muestra en el indicador de alimentación del caldero, se va incrementando según el control numérico denominado “apertura”, el cual suma un valor previamente asignado al valor que salió al azar. El caldero tiene establecido un rango permisible del nivel de agua para el correcto funcionamiento, es por eso que se establecieron límites mínimos y máximos en la programación, como se puede observar en la figura anterior, representados por controles numéricos.

Es así que se controla el nivel exacto dentro del caldero, el mismo que cuenta con los sensores de nivel como son el McDonnell de flotador y/o de electrodos o el Level Master, que es el control más avanzado en la actualidad, estos detectores de nivel son

representados en el software por Led's que indican los puntos en los cuales deben encender o apagar la bomba de alimentación de agua.

Figura 43. Llenado agua caldero II



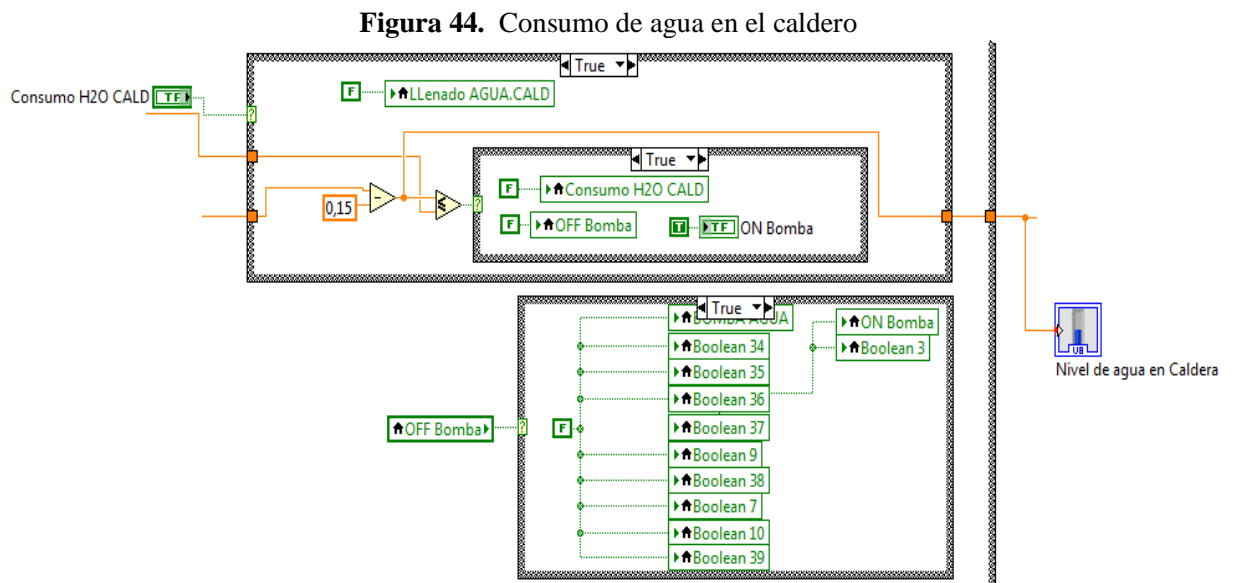
Fuente: Autor.

En la figura podemos observar el **llenado de agua al caldero** que además del incremento de la cantidad de agua, también se activan controles booleanos que representan a las tuberías que forman parte del sistema de abastecimiento del fluido.

Se denota además un nodo de propiedad de color, éste permite pintar el nivel de agua del color adecuado, representando el incremento de nivel en el rango adecuado de cantidad de fluido en el interior del equipo.

Dentro de la programación se encuentran símbolos de comparación, que permiten la activación de los indicadores del nivel en el caldero, además de variables locales que cambian los valores de controles.

El consumo de agua se simula restando la cantidad de 0.15 que es lanzado al azar al inicio, del programa, el consumo tiene lugar por la generación de vapor, razón por la cual se activa según la secuencia de funcionamiento del caldero.



En la figura anterior se puede observar la programación para el consumo de agua según la generación de vapor, además dentro del mismo case se encuentra una variable local, la cual desactiva a la tubería cuando se ha llenado el caldero, también podemos observar el indicador de agua del caldero en donde se realizan todas las operaciones programadas y explicadas anteriormente.

c. Establecimiento de presiones. La generación de vapor:

La generación de vapor es una programación a parte de las necesidades del sistema, pero es necesaria para evidenciar el incremento de presión en el manómetro.

Para la simulación de aumento de presión se utiliza el mismo principio de niveles, pues es un incremento de vapor que se indica en magnitud de presión, razón por la cual se

representa en un manómetro ubicado en la parte superior derecha del caldero dentro de software.

Figura 45. Manómetro

GENERACIÓN DE VAPOR



Fuente: Autor.

Al momento que el programa se ejecuta, el número 0 entra en la estructura While Loop, para ser registrado por el shift register, al momento del incremento se va añadiendo 0.35 al valor en el manómetro, así se evidenciará el incremento de presión en la caldera.

Como en el abastecimiento de agua o combustible se contaba con niveles máximos y mínimos, en la generación de vapor esos límites se controlarán en los presuretroles de cambio de fuego, de operación y alto límite que se programarán más adelante.

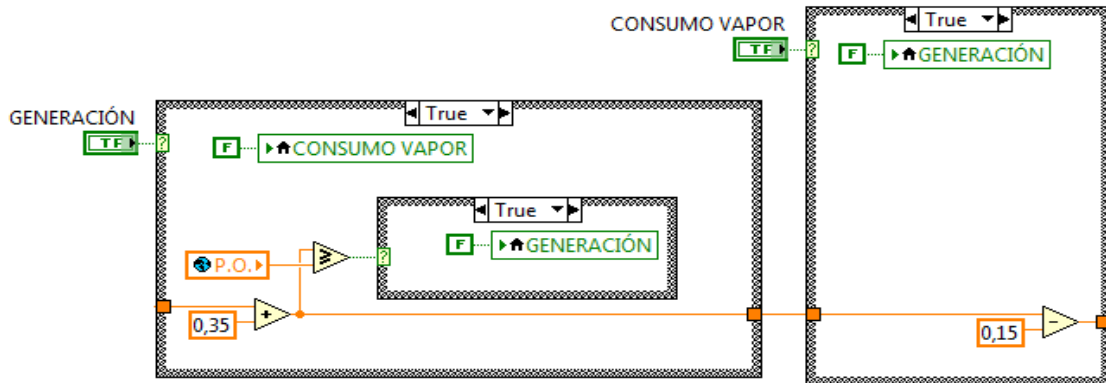
Es así que si llegan a esos límites, el software responde con activación o desactivación de controles e indicadores booleanos.

La programación para el vapor consta de estructuras case, variables locales y globales además de operaciones matemáticas que simulan el proceso de generación y consumo de vapor.

Para el consumo se evidencia un decremento de 0.15 al valor que se encuentre en el manómetro, para simular el uso del vapor generado.

Para utilizar el vapor generado, se deberá pulsar el botón ubicado en la parte superior junto al distribuidor de vapor.

Figura 46. Generación y consumo de vapor



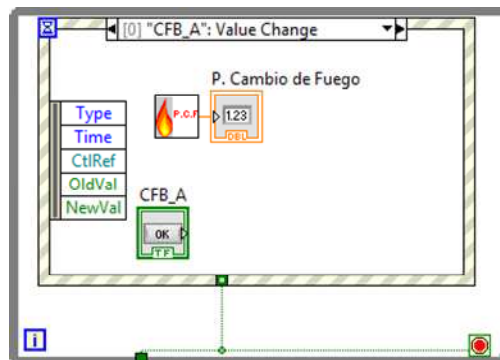
Fuente: Autor.

El establecer las presiones consiste en dar los valores adecuados para cada Presuretrol, de modo que el software reconozca los datos de presión ingresados y opere según los mismos, como sabemos deberán ingresar datos para:

- Presuretrol de cambio de fuego bajo a fuego alto; que está programado según el rango al cual se sujeta un caldero.
- Presuretrol de modulación; al ser un parámetro muy importante en la calibración de ingreso de aire, el software está ya programado de modo que se visualice su activación y represente el funcionamiento del modulador y evidencie el trabajo del dámper.
- Presuretrol de Operación; en este Presuretrol se deberán introducir dos variables, una para el diferencial y la otra para indicar a que presión trabajará el equipo y especificar el arranque por consumo de vapor.
- Presuretrol de alto límite; en el cual se deberá tener en cuenta el parámetro del porcentaje que debe ser mayor al valor de Presuretrol de trabajo.

Cuando en el software se presiona un botón de los presuretroles, estos desencadenan un evento, los mismos que son contenidos y programados en una estructura event.

Figura 47. Presuretrol cambio de fuego



Fuente: Autor.

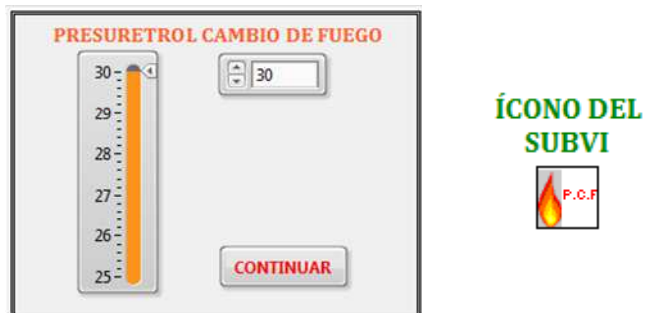
En la figura anterior observamos la programación dentro de la estructura event, como indica en su interior, se visualiza el icono del subVI que llamará y pertenece al Presuretrol de cambio de fuego.

En la estructura event, se programará todos los subVI's que deberán ser llamados para ingresar los datos necesarios para establecer los valores de presión adecuados. Cada Presuretrol tendrá su icono como subVI.

c.1 Presuretrol de cambio de fuego bajo a fuego alto.

Observemos en la Figura 48. el manejo de los datos ingresados en el programa, para entender como funcionan.

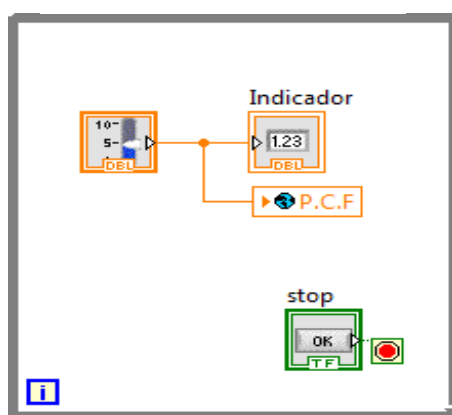
Figura 48. Presuretrol cambio de fuego P.F



Fuente: Autor.

Podemos observar que el denominado P.C.F (Presuretrol de cambio de fuego) es un subVI que funciona con un control,calibrado entre los rangos máximos y mínimos a los que funciona este Presuretrol, por defecto está programado para 30 psi, pero como se observa se puede variar entre 25-30 psi, al lado derecho tenemos un control digital que permite ver la cantidad exacta que se ingresa en el programa.

Figura 49. P.C.F- D.B.



Fuente: Autor.

En la figura 49.El dato ingresado en el control es almacenado en una variable global, la misma que lleva ese valor al software de funcionamiento para registrar el dato y es mostrado en el panel frontal del caldero, en los indicadores ubicados cerca al programador.

Figura 50. Indicadores de presión

P. Cambio de Fuego

0

Diferencial

0

P. Operación.

0

P. Alto límite

0

Fuente: Autor.

Con estos Display se observará cada dato de presión programado y se evidenciará de mejor manera, como va respondiendo el sistema a las diferentes presiones programadas.

Mostrando por ejemplo, el momento cuando supera la presión de fuego e inicia la transformación de la llama baja hasta dar forma a la llama principal.

c.2 Presuretrol de operación.

Al Presuretrol se deberán ingresar dos datos, los cuales son muy importantes para el establecimiento de la operación de trabajo del caldero, indicando la presión a la que se trabajará y el diferencial que servirá para activar el sistema después de que haya existido el consumo de vapor.

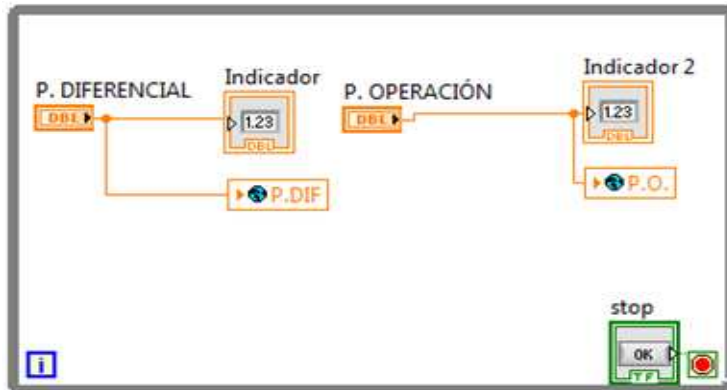
Figura 51. Presuretrol de operación PF



Fuente: Autor.

En el panel frontal del presuretrol se observa la figura anterior, este también es un subVI y al igual que el presuretrol de cambio de fuego, se activa al presionar el botón del presuretrol de operación ubicado en la parte superior del caldero.

Figura 52. Presuretrol de operación DB



Fuente: Autor.

En la figura de arriba podemos ver los controles e indicadores numéricos que se utilizan para la programación de los presuretroles, además se pueden observar las variables globales, las cuales llevan esos datos numéricos al caldero.

Una vez que se ha terminado la introducción de esos datos solo deberán salir del programa con el botón continuar, ya que es el encargado de cerrar y salir de la estructura While Loop.

c.3 Presuretrol de alto límite.

El presuretrol de alto límite se encuentra a un lado del presuretrol de operación y al igual que los anteriores se debe acceder a su subVI para poder ingresar los datos del mismo.

Figura 53. Presuretrol de alto limite PF

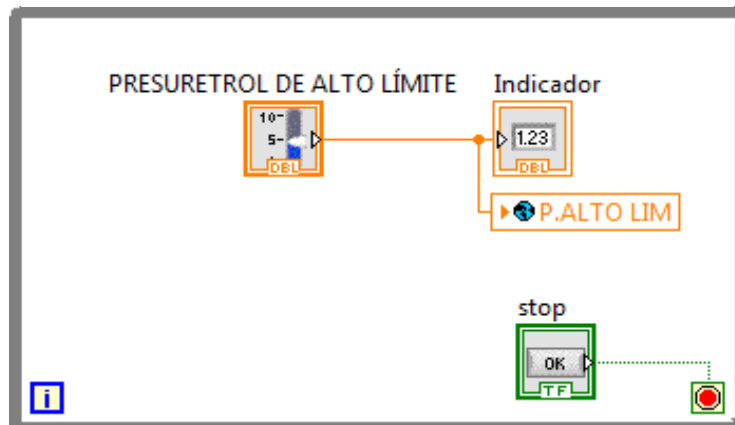


**ÍCONO DEL
SUBVI**
P.A.L.

Fuente: Autor.

Al ejecutar el subVI del presuretrol éste inicia a una presión establecida, pero de igual manera es variable, lo cual permite calibrarlo adecuadamente según la presión de operación.

Figura 54. Presuretrol de alto limite DB



Fuente: Autor.

En la figura anterior se observa la programación del presuretrol de alto límite, la misma que es similar a las anteriores, pero cada uno tiene su lugar específico en la generación de vapor, para el control automático.

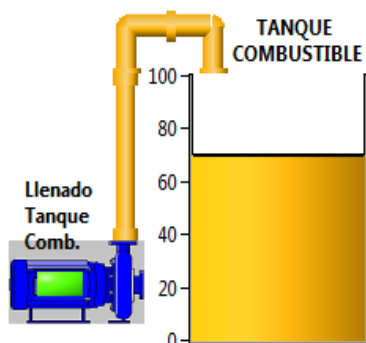
Ingresados todos los datos de presión según lo que pide la ventana de parámetros de inicio, el led de la sección de establecimiento de presiones se encenderá. En caso de que una de las casillas de las presiones no se marque, puede ser que algún dato no esté ingresado correctamente o no se ha introducido valor alguno.

Con esto estarán activos tres de los cuatro Led's que requiere el programa.

d. Nivel de combustible adecuado.

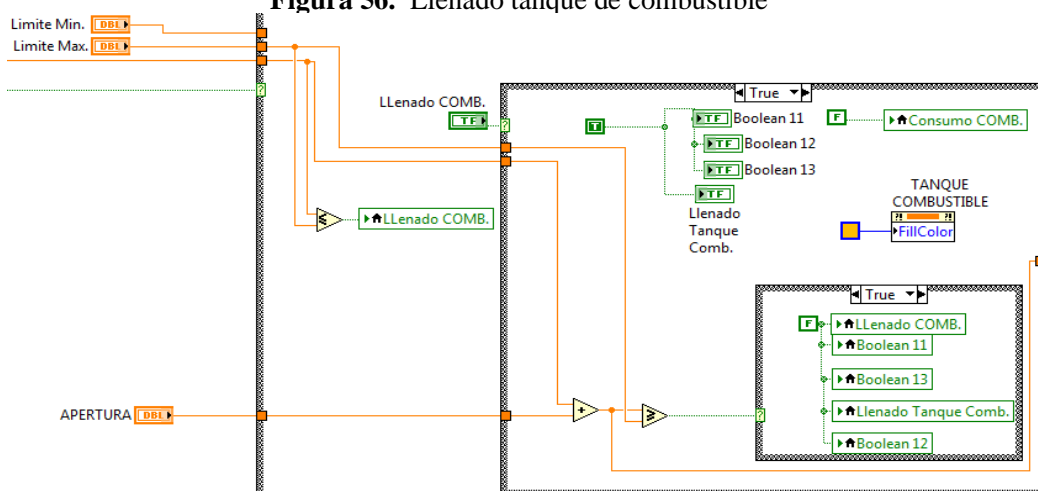
Para establecer un nivel adecuado, utilizamos la programación similar para niveles de agua, como de el tanque de condensados, básicamente el nivel de combustible se incrementará de forma automática una vez que se energice el sistema.

Figura 55. Nivel de combustible



Fuente: Autor.

Figura 56. Llenado tanque de combustible



Fuente: Autor.

Como se observa en la figura anterior, para poder evidenciar el abastecimiento de combustible se utiliza controles e indicadores booleanos, además el recipiente es un indicador que va incrementando su nivel a medida que se abastece el combustible, para poder evidenciar el trabajo de la bomba se ha introducido un led, así veremos cuando se alimenta al tanque.

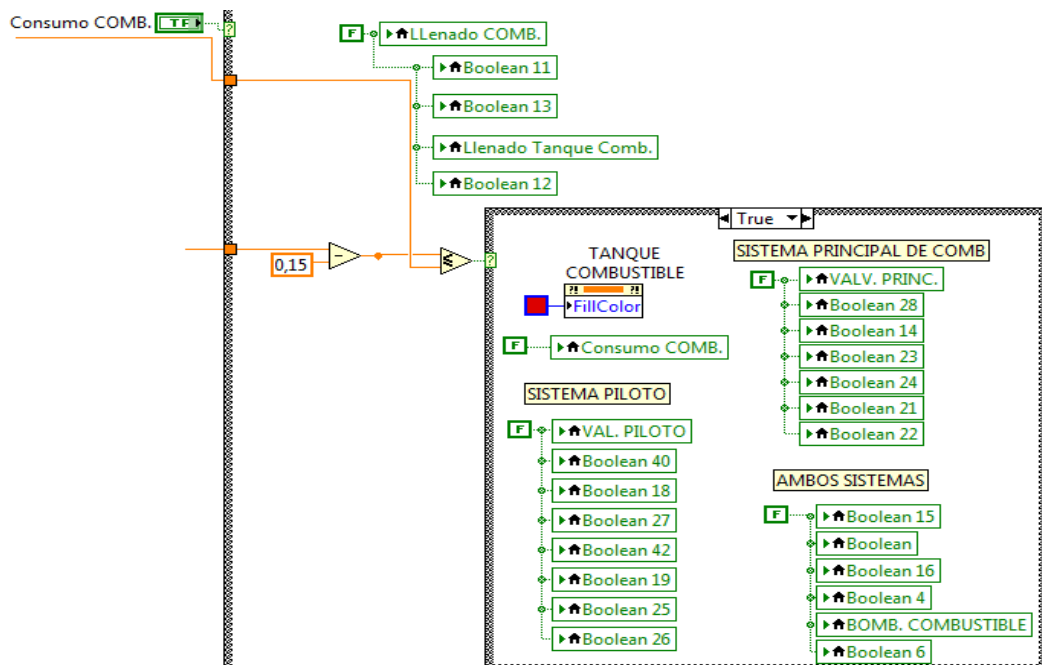
Para el suministro de combustible, se lanza un valor al azar entre 0 y 100, el mismo que es tomado por la estructura While Loop, y registrado a su ingreso, una vez adentro va incrementándose según el valor introducido en el control numérico “apertura”, así

incrementa su nivel, al momento que se activa el control llenado COMB. Se activan las tuberías booleanas y cambia el color de llenado con un nodo de propiedad.

Dentro de la programación cuenta con límites los cuales son los necesarios para evitar derramamiento de combustible, es por eso que se ha colocado controles numéricos que indican los niveles del tanque, al momento que se llene el recipiente las tuberías y la bomba cambiarán su estado de true a false, simulando la desactivación del abastecimiento de combustible.

Para la simulación del consumo del combustible se ha utilizado operaciones matemáticas de igual manera, así cuando el número al azar introducido y el control de llenado está desactivado, pero el consumo está encendido, este número se va restando 0.15, y de esta manera se evidencia un consumo progresivo del combustible, de igual manera al momento que se consume el combustible se encenderán tuberías que llevan el combustible hacia el caldero, se ha añadido todos los elementos necesarios por los cuales pasa el combustible para llegar a las boquillas sin impurezas considerablemente grandes.

Figura 57. Consumo tanque de combustible



Fuente: Autor.

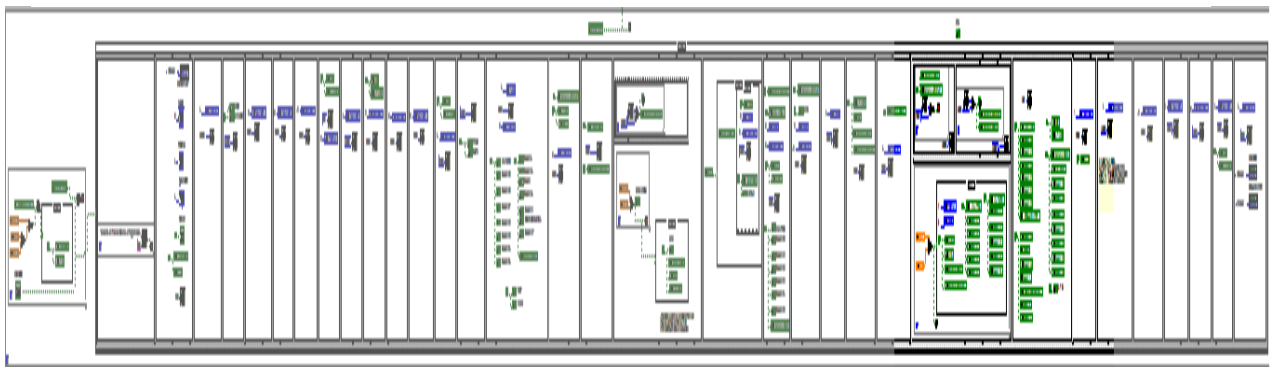
Al igual que en el llenado, el consumo tiene su límite mínimo el cual para denotarlo cambia de color el fluido en su interior por un nodo de propiedad, como se muestra, hay varios indicadores booleanos y variables locales.

Una vez establecidos los niveles y presiones que presenta la ventana de parámetros de inicio, todos los Led's se encenderán y darán paso a la aparición del botón de inicio de secuencia de funcionamiento del caldero.

Es de este modo que se ha programado todo lo que concierne a niveles, estos se visualizaran de mejor manera en la ejecución del software.

3.3.3 Secuencia de funcionamiento. Para determinar como funciona el caldero paso a paso, de manera general podemos observar en la Figura 58. La programación de todas las secuencias que se utilizan para la simulación de la operación del sistema.

Figura 58. Secuencia general del funcionamiento del sistema de generación de vapor



Fuente: Autor.

En el capítulo anterior se dio la secuencia exacta del funcionamiento del sistema de generación de vapor.

Se explicó como se programó todo lo referente a niveles (agua, combustible y vapor). Ahora observaremos como en la operación del caldero. Cabe recalcar que la programación de la secuencia de funcionamiento está dentro de una estructura While Loop.

a. Encendido.

Una vez establecidos los parámetros de inicio, aparecerá un pulsador que iniciará la secuencia de funcionamiento, conduciendo al programa al estado de Stand By, en el cual se revisará que todas las condiciones que necesita el sistema estén ya definidas.

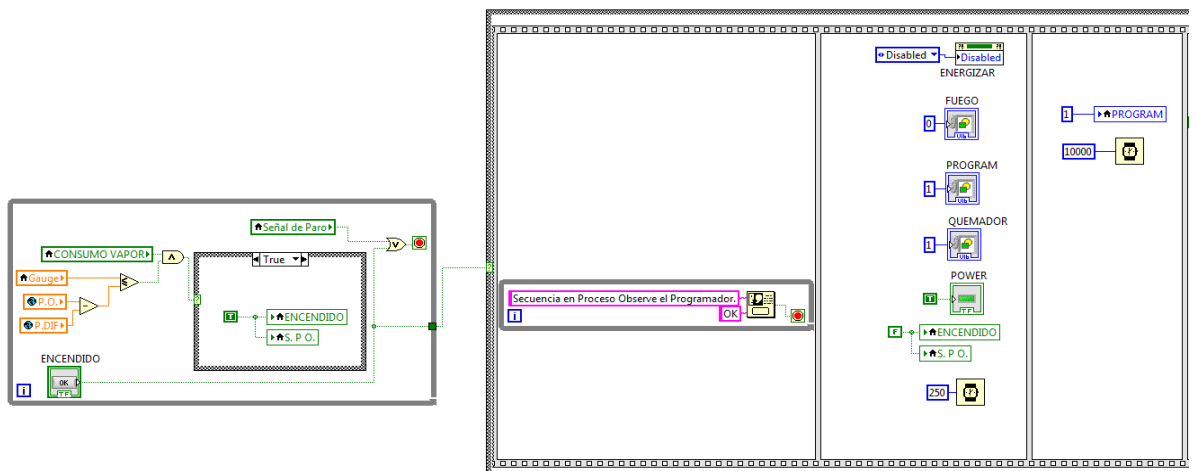
Dentro de la programación, se observa en la figura 59, se inicia con una estructura While Loop, esta estructura contiene al pulsador de inicio y las variables globales necesarias para la reactivación del sistema.

Hay operaciones de comparación de valores ya que las variables programadas serán las encargadas de iniciar la secuencia, una vez que se haya dado el consumo del vapor generado.

Una vez pulsado INICIO inicia la secuencia con un mensaje, éste mensaje una vez que se da OK, continua a la siguiente secuencia, la cual coloca al fuego, al quemador y al display del programador en las condiciones iniciales, además da una señal de que el programador está encendido. En la siguiente secuencia, el display del programador se colocará en Stand by, como se mencionó anteriormente, para monitorear todas las variables del sistema.

Para continuar con la programación se ha colocado una estructura de caso, activando la secuencia en el estado true.

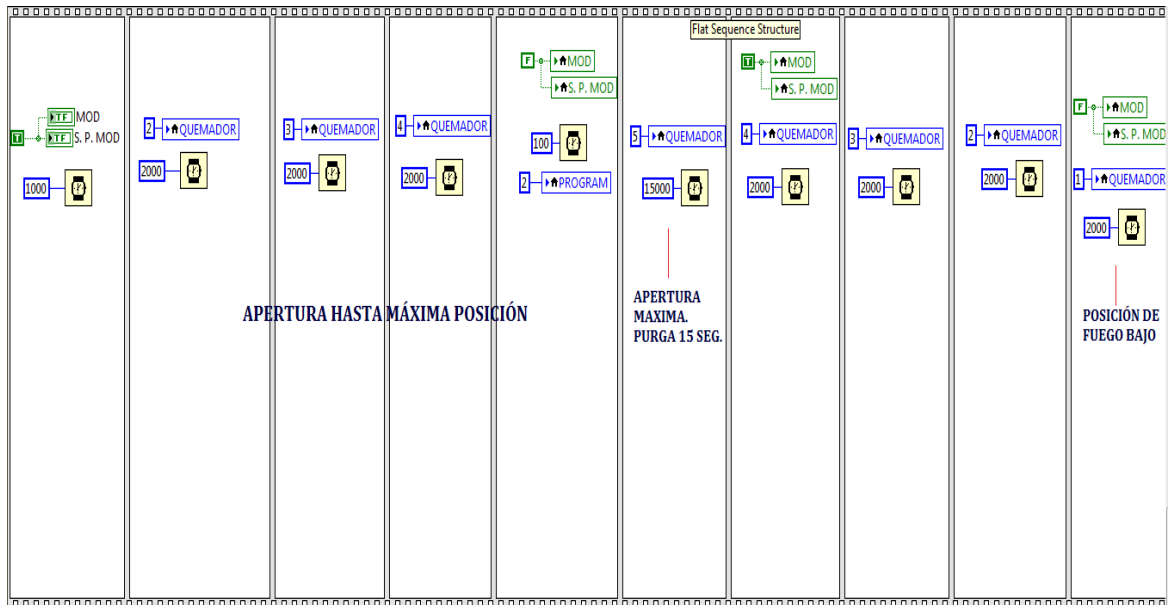
Figura 59. Secuencia de inicio



Fuente: Autor.

b. Prepurga

Figura 60. Secuencia de prepurga



Fuente: Autor.

La prepurga estará controlada por el encendido del modulador y el indicador de activación colocado en el presuretrol de modulación, además se podrá evidenciar el trabajo del modulador, en la apertura y cierre del dámper en el quemador.

Gracias al control de imagen en el software se evidenciará el trabajo del ventilador, simulando de la mejor manera el proceso de prepurga. Cada apertura del quemador será controlado por un Pict Ring, permitiendo la visualización de cada acción del modulador.

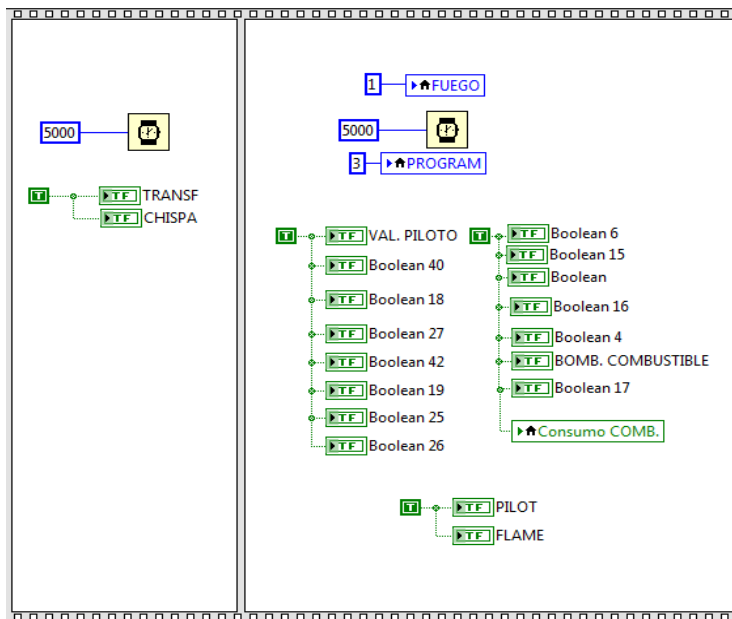
Se tomarán tiempos adecuados para la visualización de cada apertura del dámper, dirigiéndose a la apertura máxima del mismo. Una vez que se llegue a la apertura máxima el programa esperará 15 segundos hasta simular la purga del equipo, agotado el tiempo el modulador se activará de nuevo para posicionar el dámper en el punto de fuego bajo, esperando el proceso de ignición y así desactivar al modulador en espera del cambio de fuego.

c. Ignición

Para la ignición se necesita energizar el transformador, para ello se ha colocado en representación de esa energización un led. A la vez aparecerá la chispa, razón por la cual se evidenciará con otro led de un color apreciable, esta primera etapa de energización durará 5 segundos. Cada elemento del quemador está representado esquemáticamente de modo que se entienda los elementos importantes en el quemador.

En la siguiente secuencia se observará la aparición de la llama piloto, simulada por el control de imagen y el encendido y cambio de estado de los indicadores booleanos del suministro de combustible, se notará el consumo del combustible en el descenso de nivel activando las estructuras explicadas anteriormente.

Figura 61. Secuencia de ignición

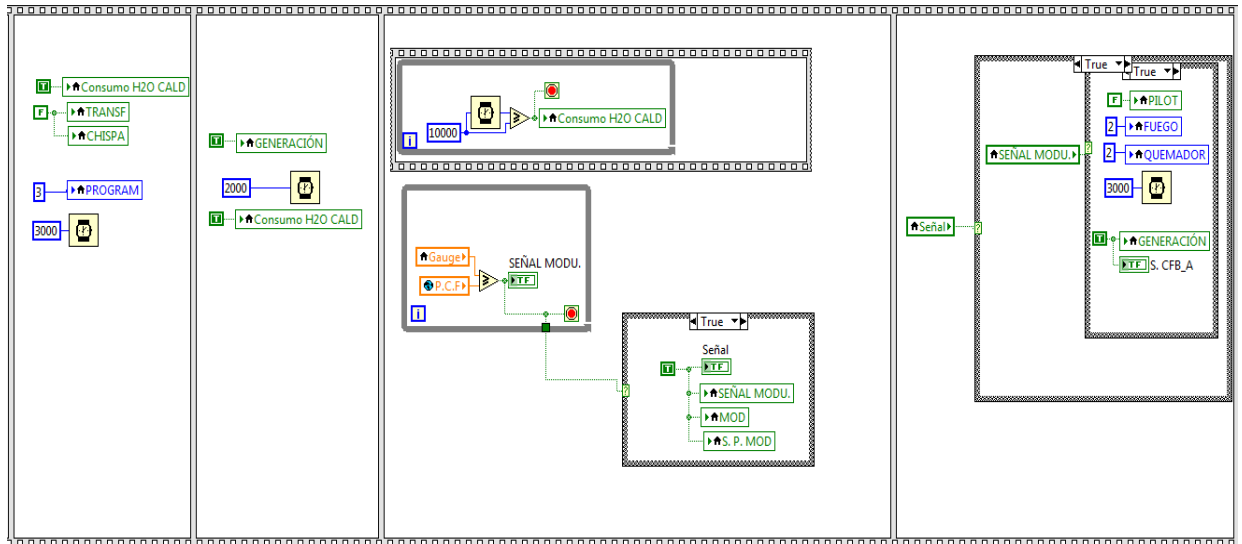


Fuente: Autor.

Para cada secuencia se ha tomado el tiempo adecuado de ejecución, pues cada paso se controla dentro del programador, es así que esta secuencia se evidenciará en el display como piloto, además se encenderán los Led's de piloto y también el de flama, indicando la aparición de flama en el quemador.

d. Generación de vapor hasta el cambio de fuego.

Figura 62. Secuencia de generación de vapor hasta cambio de fuego



Fuente: Autor.

En la Figura 62. Observamos en el primer tramo de la secuencia, el cambio de estado de los indicadores del transformador y la chispa, esto durante un tiempo de 3 segundos. Una vez que el piloto se ha establecido, debe haber un consumo de agua, es por eso que se activa el consumo de agua en el caldero con una variable local.

En el segundo tramo se da paso a la generación simulando la transformación de ese consumo de agua en vapor, a la vez generando la presión evidenciada en el manómetro.

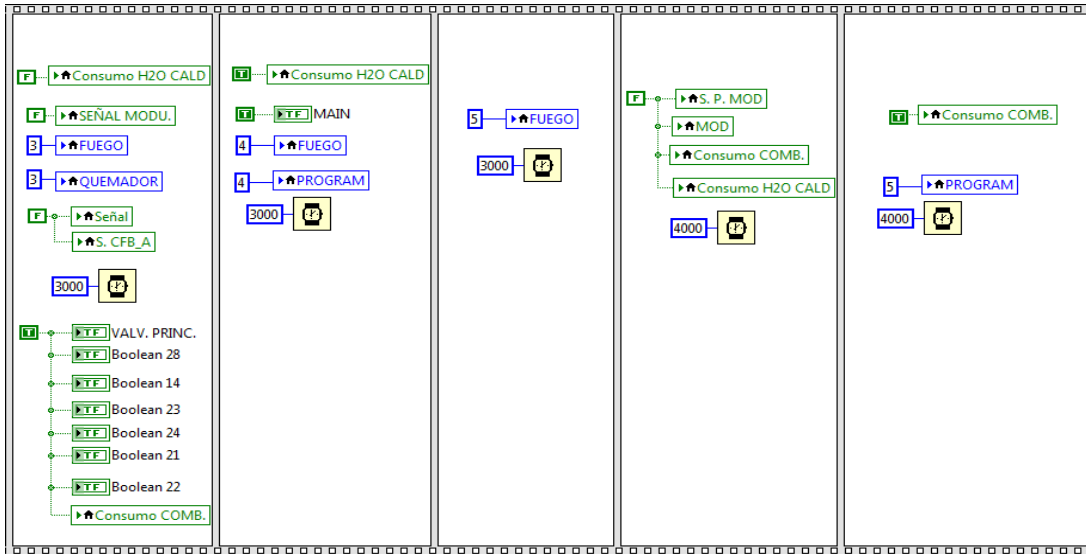
En el tercer tramo de la estructura de secuencia observamos estructura While Loop, pues bien, dentro de la secuencia While Loop ubicada en el entro, se encuentra la programación que detiene a toda la secuencia hasta que se haya generado la presión adecuada para el cambio de fuego, esta presión debe ser igual o mayor a la presión marcada en el presuretrol de cambio de fuego, de igual manera se evidencia el consumo de agua dentro del sistema.

Una vez que se ha llegado a esta presión de cambio de fuego se activa la señal de modulación que activa los indicadores del presuretrol de cambio de fuego, el modulador y

del presuretrol de modulación. Una vez activados estos indicadores, la señal de piloto se apaga, el quemador inicia la apertura del dámper para calibrar la llama, la misma que inicia una conversión aumentando su tamaño.

e. Establecimiento de llama principal.

Figura 63. Secuencia de establecimiento de llama principal.



Fuente: Autor.

Continúa con la conversión progresiva de la llama hasta colocarse en la adecuada mezcla de aire y combustible.

En el primer tramo de la secuencia de la Figura 63. Se observa que el fuego avanza una etapa más en su conversión, se enciende además la válvula solenoide principal y con ella la tubería en representación a la apertura de la válvula y circulación del combustible, esto se da en un tiempo de tres segundos.

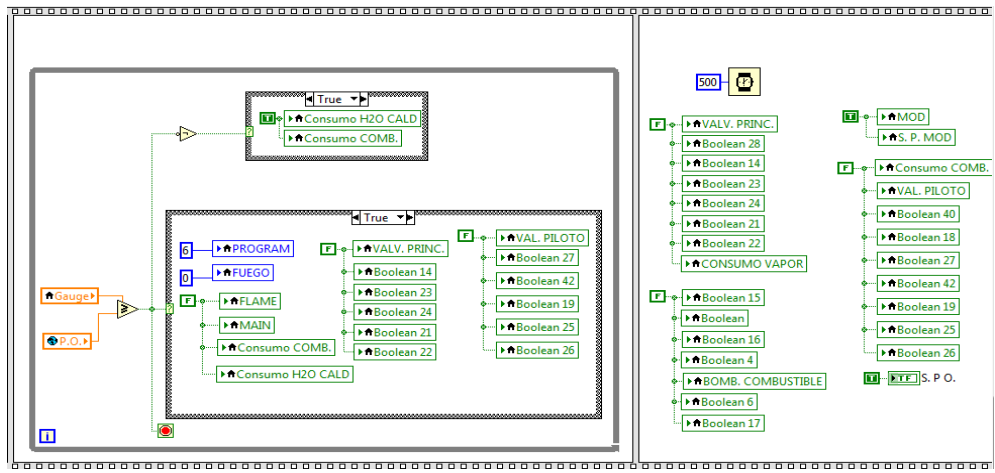
En el siguiente tramo se da el encendido del led en el programador de la llama principal, el fuego continua creciendo y el programador cambia su mensaje a Main indicando la llama principal ya establecida, en la secuencia que sigue, el fuego ha crecido en su totalidad y la calibración aire combustible se ha completado.

En el siguiente tramo, se demuestra que el modulador ha cumplido su función y por tanto se desactiva, como se ha venido observando el consumo de combustible y agua ha seguido

progresando y reabasteciendo automáticamente. Finalmente el programador da la señal en la cual el caldero se encuentra trabajando y generando vapor en su operación normal.

f. Generación de vapor hasta presión de operación establecida.

Figura 64. Secuencia de establecimiento de presión de trabajo



Fuente: Autor.

Cuando se ha establecido la llama principal, la generación de vapor se da de mejor manera y con un consumo de combustible adecuado.

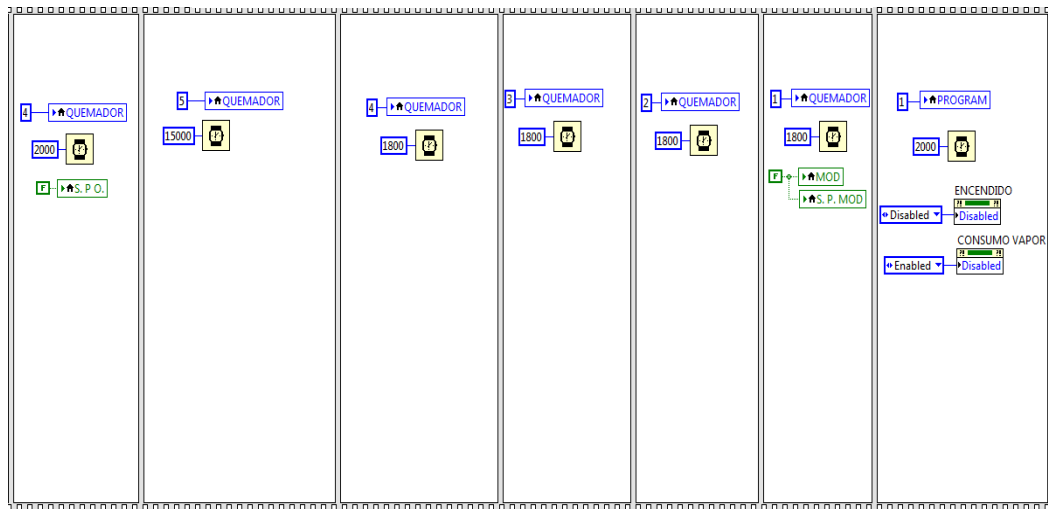
En la figura 64. Se observa que no hay ninguna acción más, hasta que la presión censada en el manómetro llegue a lo marcado en el presuretrol de operación, es por eso que se ha colocado la comparación entre el manómetro y el valor ingresado en el presuretrol de trabajo.

Una vez que la comparación es verdadera el presuretrol de operación se activará, representado por un led, esto quiere decir que se ha cumplido con la presión programada razón por la cual, el suministro de combustible se detiene, el programador marca la siguiente etapa que es la postpurga.

En esta etapa se encenderá el modulador y el dámper iniciará la secuencia para la postpurga.

g. Postpurga.

Figura 65. Secuencia de postpurga



Fuente: Autor.

Al iniciar la etapa de postpurga, en el primer tramo el dampier empieza su apertura a una secci3n mas grande, ademas se apaga la señal del presuretrol de operaci3n. En el segundo tramo el dampier se ha abierto hasta su maxima capacidad y es el momento de la postpurga durante quince segundos, a partir de la posici3n mas alta. Una vez pasado el tiempo programado de purga, el modulador continúa con su trabajo, llevando al dampier a su posici3n inicial, es decir a la posici3n de bajo fuego es ahı que la señal del modulador desaparece, el motor del ventilador se detiene, dejando al sistema en espera del siguiente encendido.

Para simular el uso del vapor en el area de producci3n se ha colocado el distribuidor de vapor, el cual al activarlo, la presi3n marcada en el man3metro va disminuyendo, al llegar a la presi3n calibrada en el diferencial, la secuencia se iniciaría de nuevo para generar el vapor y restablecer la presi3n de trabajo.

De este modo, se ha simulado el principio de funcionamiento del sistema de generaci3n de vapor. La segunda parte del software, que es el objetivo del trabajo orientado a la simulaci3n de fallas y la reacci3n del sistema.

3.4 Simulación de fallas de un caldero pirotubular

Para la simulación de fallas se ha añadido al software un menú, el cual indicará las principales fallas, presentadas en 8 subVI's.

En el menú principal del software, teníamos dos opciones, en esta sección veremos como se programó BOILERSOFT para la simulación de fallas en el sistema de generación de vapor. Al seleccionar la segunda opción del menú principal, se desplegará un menú secundario. En el cual se muestra las diferentes fallas que el software simulará, de modo que da una facilidad en la distinción de fallas del sistema.

Para ayudar en el aprendizaje de los estudiantes, el cómo solucionar las fallas que se presenten, se ha integrado una ventana de selección múltiple para cada falla, en ella se deberá escoger las respuestas correctas, de modo que se solucione el problema, en caso de que no señalen las respuestas correctas notarán el error y lo corregirán, esto gracias a un aviso que el software da, cuando se escogen respuestas erróneas. Este menú se diseñó mediante controles booleanos, que permiten acceder a diferentes subVI's, se pueden modificar los controles con la paleta de tools, de modo que se dé el aspecto que se desee, es así que se ha modificado cada control.

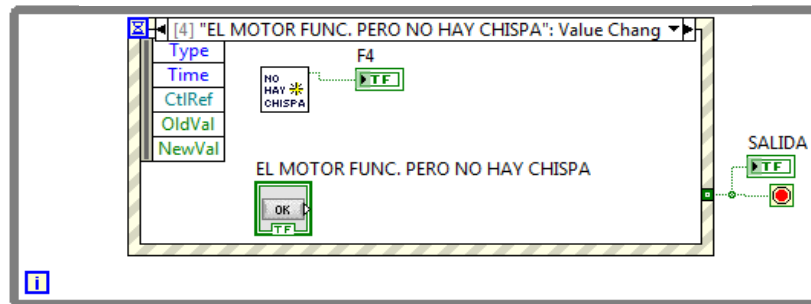
Figura 66. Menú de fallas



Fuente: Autor.

Cuenta con una imagen central que distingue, que las fallas son en torno al equipo presentado.

Figura 67. Programación del menú de fallas



Fuente: Autor.

En la figura 67. Se muestra la programación del menú de fallas, en el cual se observa que se ha diseñado dentro de una estructura event, con esta estructura aseguramos la ejecución del subVI adecuado en respuesta a la selección de la falla por parte del usuario del software.

Como se ve en la figura, la estructura está ubicada con el evento número cuatro, y pertenece a la falla "El motor funciona pero no hay chispa"; de esta manera se programará para cada falla.

Ahora veremos como se programó la simulación de cada falla, sabiendo ya la programación base del software, perteneciente a la simulación del funcionamiento normal de sistema de generación de vapor.

Describiremos las siguientes fallas, que se denominarán según el orden de falla indicado:

- El quemador no enciende (Falla 1).
- No hay ignición. (Falla 2)
- Hay llama piloto pero no hay llama principal (Falla 3).
- El motor funciona pero no hay chispa (Falla 4).
- El motor funciona el encendido ocurre, pero el combustible no enciende (Falla 5).
- La llama piloto no se prueba (Falla 6).
- Bajo nivel de agua (Falla 7).
- Falla presuretrol de operación (Falla 8).

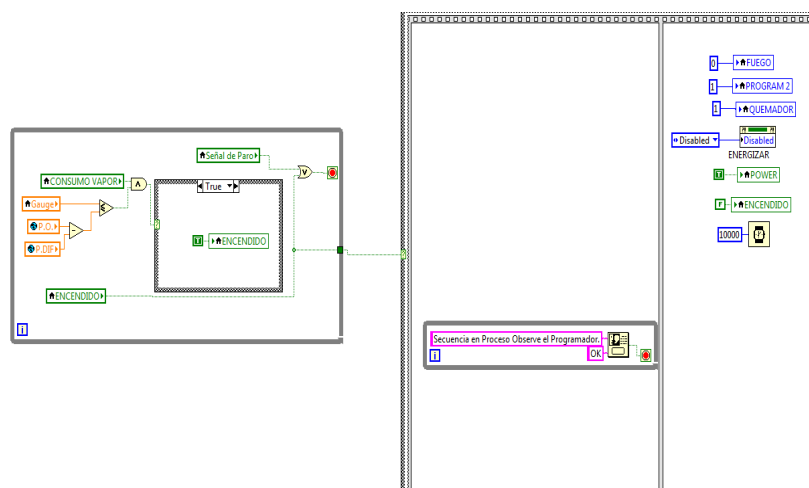
3.4.1 El quemador no enciende (Falla 1). Tomado la programación base del funcionamiento normal del sistema de generación de vapor, se ha modificado en la secuencia de funcionamiento la activación y desactivación de una falla, es así que la secuencia del sistema que nos lleva a la falla denominada, “El quemador no enciende”.

En la sección anterior “simulación del principio de funcionamiento de un caldero” ya se describió como funcionaba cada parte del sistema como: El abastecimiento de agua al tanque de condensados, el abastecimiento de agua al caldero y el abastecimiento de combustible.

Una modificación que el software presenta es la adición de una estructura de caso, al inicio de la secuencia del funcionamiento del sistema, ya que con ella se tendrá por default la secuencia de falla y una vez que se resuelva el problema, la estructura tomará la secuencia adecuada para el funcionamiento apropiado del sistema.

Una vez que se ha seleccionado la falla a tratar, el programa arroja los datos al azar como ya se mencionó, para poner el sistema en funcionamiento se deben hacer los mismos pasos para encenderlo, es decir, se debe revisar los parámetros de inicio y poner a punto el sistema con los datos que necesita, una vez que el pulsador de inicio aparece la secuencia dará inicio.

Figura 68. Secuencia de encendido F1.

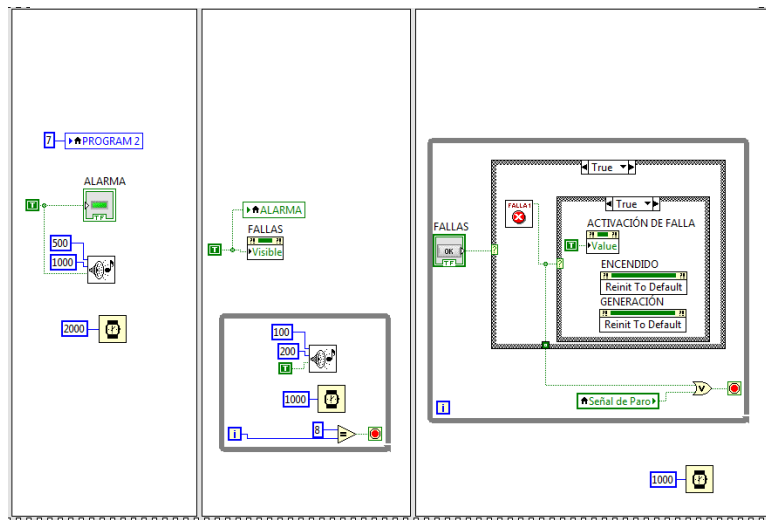


Fuente: Autor.

a. Inicio.

El inicio de secuencia es el mismo para la simulación de fallas, el programa espera a que el pulsador de inicio sea activado, aparecerá a continuación el mensaje de inicio y el display del programador mostrará la etapa de stand by, pero tanto el modulador como el ventilador no se activarán, es de este modo que pasaremos a la falla.

Figura 69. Secuencia de falla 1



Fuente: Autor.

b. Falla 1 y solución.

Una vez que se ha dado el inicio y ha pasado el tiempo programado para la revisión de las variables del equipo, la secuencia nos lleva a la falla, en donde el programador muestra:

- En el display: la falla que se ha dado,
- Se activa: la alarma y su señal.

Al presentarse estas características en el programador, se activará un botón denominado “Revisar Falla”, el mismo que nos permitirá reconocer a que tipo de falla corresponde.

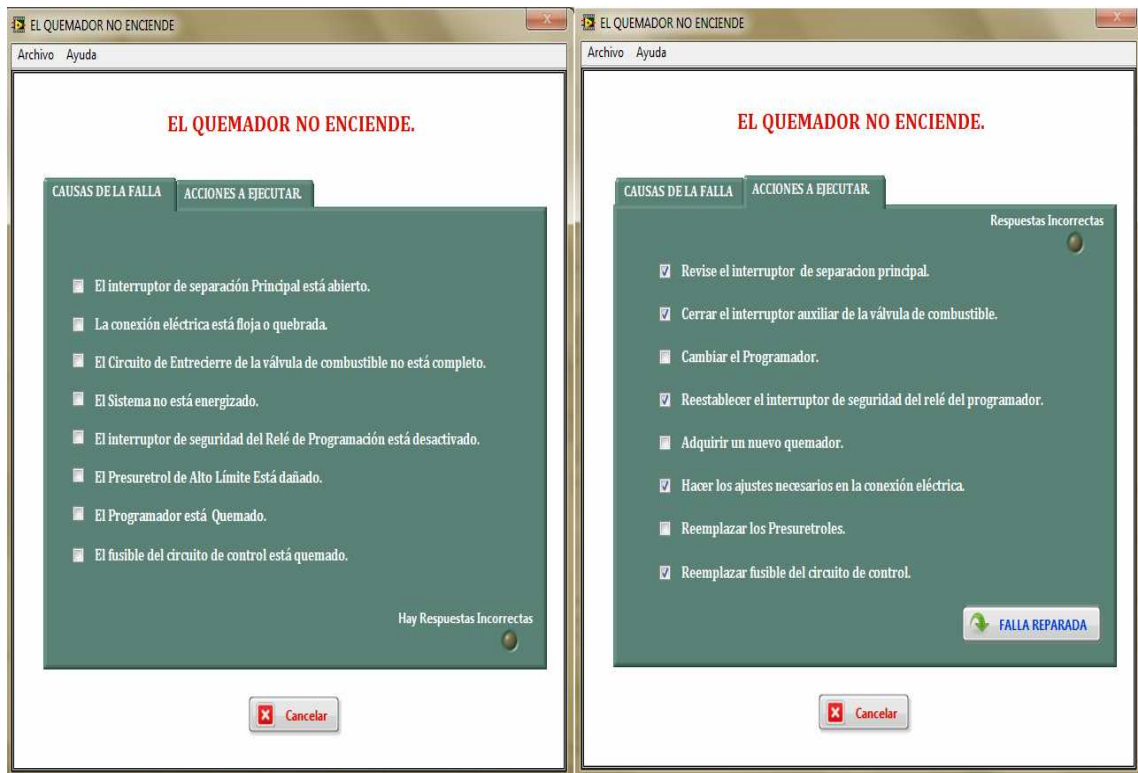
Pulsando el botón mencionado, nos llevará a un subVI, en el cual se observará las causas de la falla. En esta ventana se mostrará en primer plano las causas de la falla, una vez que

el usuario seleccione las causas correctas, la ventana de soluciones se mostrará, para que se pueda dar las soluciones a la falla que se ha presentado.

De igual forma, una vez que se han contestado las soluciones, el problema se habrá resuelto y dará paso a la aparición de un pulsador que aplicará todas las respuestas al sistema y se retornará a la simulación, en donde, no se podrá ejecutar ninguna acción a menos que se resetee el programador, que es la principal acción que se debe hacer ante una falla marcada en el mencionado dispositivo, de este modo todas las variables reingresarán y el sistema funcionará con normalidad, ahora veremos la programación de la ventana de selección múltiple.

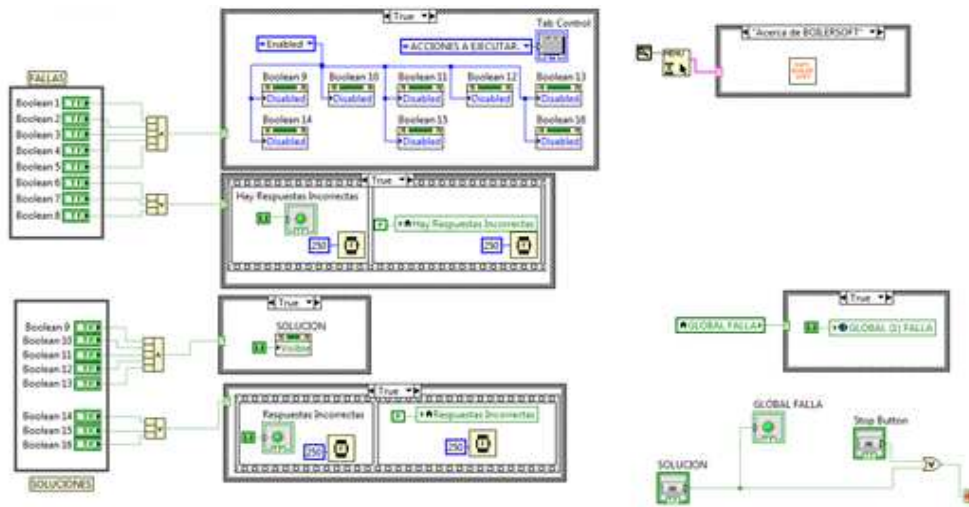
En la figura 70. Se observa las ventanas de selección múltiple, además se evidencia la aparición del pulsador en donde señala la reparación de la falla.

Figura 70. Selección múltiple F1 PF



Fuente: Autor.

Figura 71. Selección múltiple F1 DB.



Fuente: Autor.

Básicamente, la programación de la ventana auxiliar para la selección de causas y soluciones está diseñada por controles booleanos, símbolos lógicos, estructuras de caso y secuencia, las mismas que proporcionarán las acciones adecuadas según las respuestas elegidas por el usuario del software.

Al presionar el botón de reparación, el sistema podrá funcionar de nuevo según su ciclo de operación normal, con las secuencias adecuadas y generación apropiada, de esta manera se ha simulado la aparición y reparación de la falla categorizada como Falla 1 (El quemador no enciende).

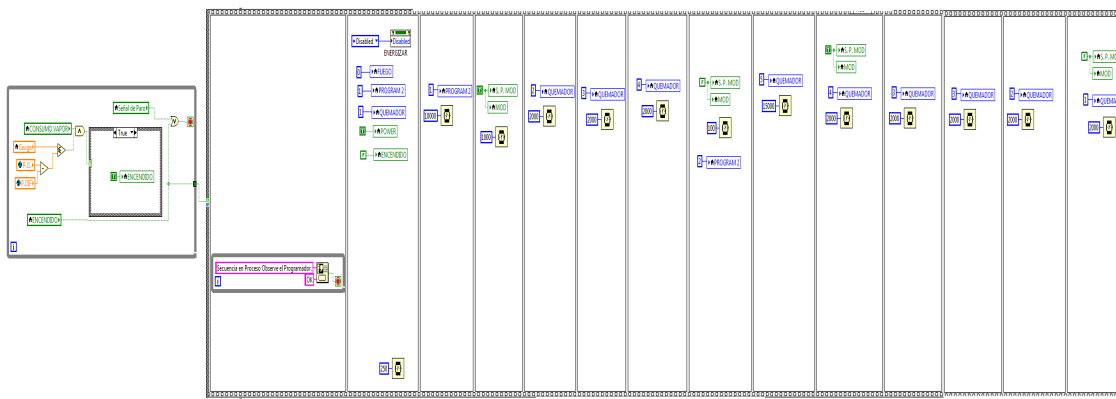
3.4.2 No hay ignición (Falla 2). Cuando seleccionamos la falla: “No hay ignición”, en el menú de fallas, se deberán establecer los parámetros de inicio como es lo normal para el arranque del sistema.

En la ejecución de la simulación se observará que aparentemente se dan los pasos adecuados para la ignición, pero repentinamente el programador marca una falla, es cuando aparecerá el pulsador de revisión e identificaremos la falla, sus posibles causas y soluciones. El software lleva a la falla de ignición.

a. Inicio.

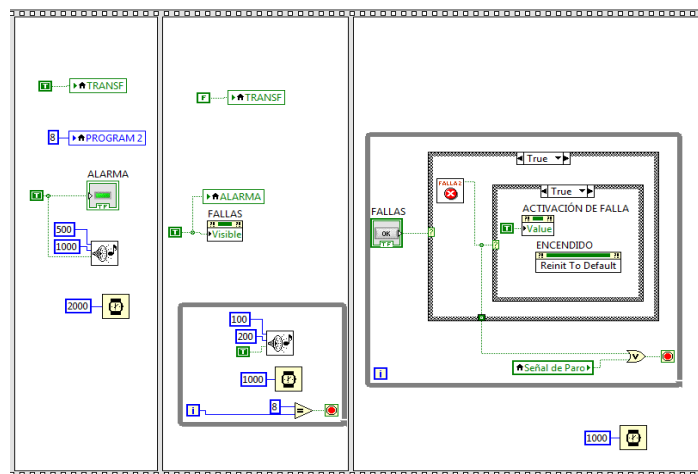
Se dan los pasos adecuados para el encendido del equipo, se da la señal de inicio, el programador revisa las condiciones del sistema para empezar, una vez revisadas todas las variables, inicia el proceso de prepurga y se da la secuencia adecuada; desde la activación del modulador, la apertura adecuada del dámper, los tiempos de purga hasta el cierre del dámper, después la purga, preparándose para la ignición.

Figura 72. Secuencia encendidoF2



Fuente: Autor.

Figura 73. Secuencia falla 2



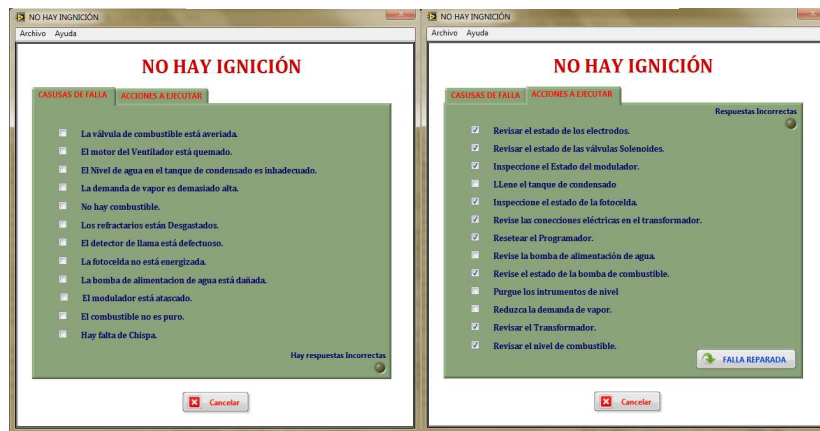
Fuente: Autor.

b. Falla 2 y solución.

Una vez que se ha dado todo el proceso para la purga, el display del programador muestra una advertencia de falla, se enciende la alarma del programador con su sonido particular.

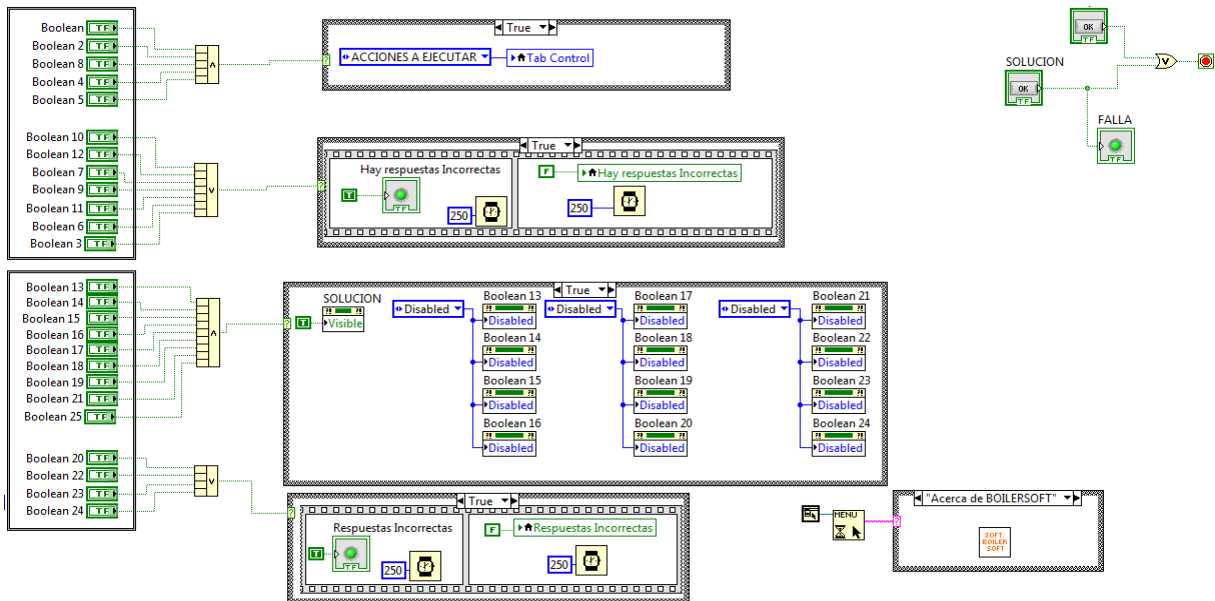
Una vez dada la alarma, aparece el pulsador para revisar la falla, este da paso a la ventana (Figura 74.) de causas, cuando se haya dado el tiempo adecuado para que la alarma se apague.

Figura 74. Selección múltiple F2 P.F



Fuente: Autor.

Figura 75. Selección múltiple F2 D.B.



Fuente: Autor.

En la figura anterior se muestra las ventanas que se deben llenar para reparar la falla, a continuación se indica la programación de esta ventana que es similar a la falla 1.

Se denota la similitud con la estructura del diagrama de bloques presentado para la programación de la falla 1, de la misma manera se ha programado las siguientes fallas, razón por la cual será sobre entendida para las siguientes fallas, lo único que cambiará serán las respuestas.

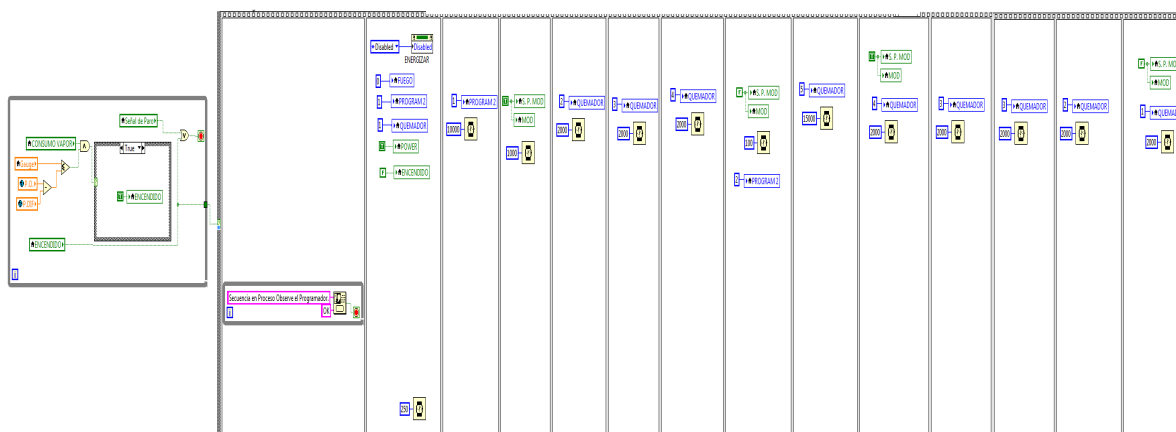
3.4.3 Hay llama piloto pero no principal (Falla 3). Para la falla número tres se consideran los mismos parámetros base, para el encendido y funcionamiento del sistema de generación de vapor, como se ha mencionado lo que se torna diferente para el usuario es reconocer paso a paso la secuencia del funcionamiento del sistema y distinguir la etapa hasta la que avanza en la simulación del proceso de generación de vapor.

En este caso la secuencia nos llevará hasta la detección de llama piloto e incluso la generación de vapor hasta alcanzar la presión de lo configurado en el presuretrol de cambio de fuego, ya que la falla se encuentra entre el lapso de cambio de fuego.

La secuencia en el diagrama de bloques para entender junto con el programa, hasta donde nos lleva el software.

a. Inicio.

Figura 76. Secuencia encendido F3



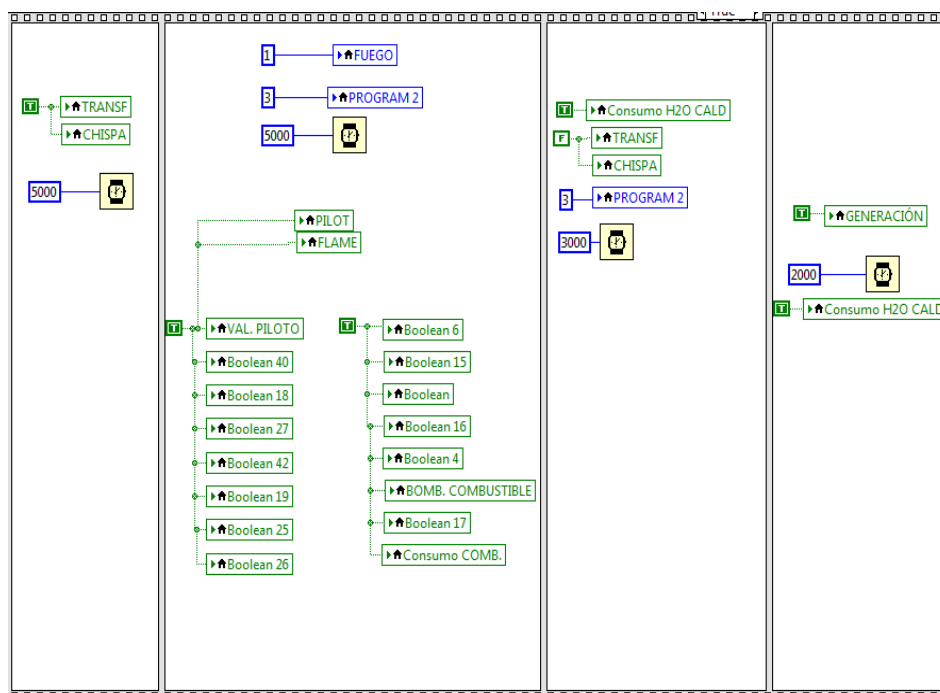
Fuente: Autor.

El inicio lo conocemos, ya que es el proceso de análisis de variables y secuencia de purga que el sistema hace para el encendido apropiado del equipo, podemos observar la secuencia paso a paso y denotar el encendido del modulador, la apertura del dámper y el encendido del ventilador, la activaci3n de estos elementos son fundamentales en el inicio del encendido.

b. Secuencia de ignici3n.

Una vez que el quemador se ha colocado en posici3n de fuego bajo, se da la señal para iniciar con la ignici3n, en esta parte (figura.77) observamos el encendido del transformador acompañado de la señal de chispa, cuando ha pasado el tiempo necesario se da la aparici3n del combustible y la generaci3n de la llama piloto, pasado esta etapa inicia la generaci3n de vapor.

Figura 77. Secuencia de ignici3n F3

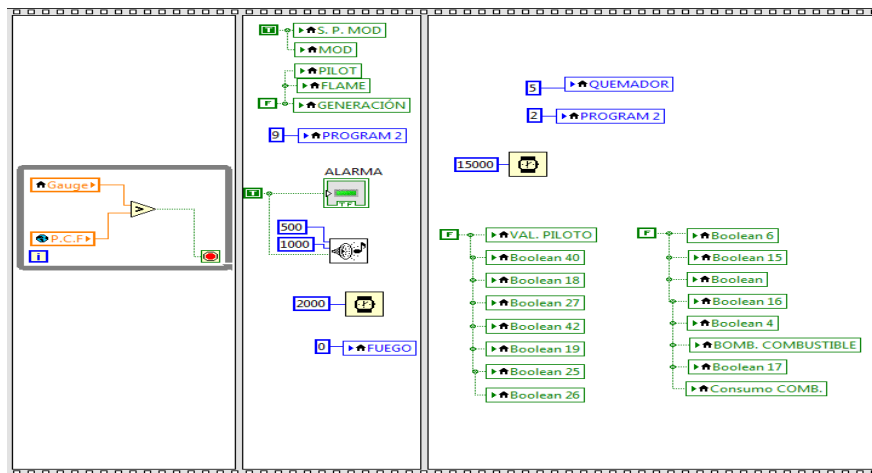


Fuente: Autor.

c. Generación de vapor con llama piloto, falla 3.

En la figura 78, al inicio de la sección distinguimos una secuencia While Loop, la cual inicia con la generación y mantiene al sistema en estado de bajo fuego, hasta alcanzar el valor de presión, marcado en el presuretrol de cambio fuego bajo a fuego alto. Cuando se da la señal para el cambio de fuego, repentinamente, aparece un mensaje en el display del programador anunciando una falla, razón por la cual se activa la alarma del programador, se quita la alimentación de combustible al quemador, para evitar condiciones anormales de funcionamiento de equipo.

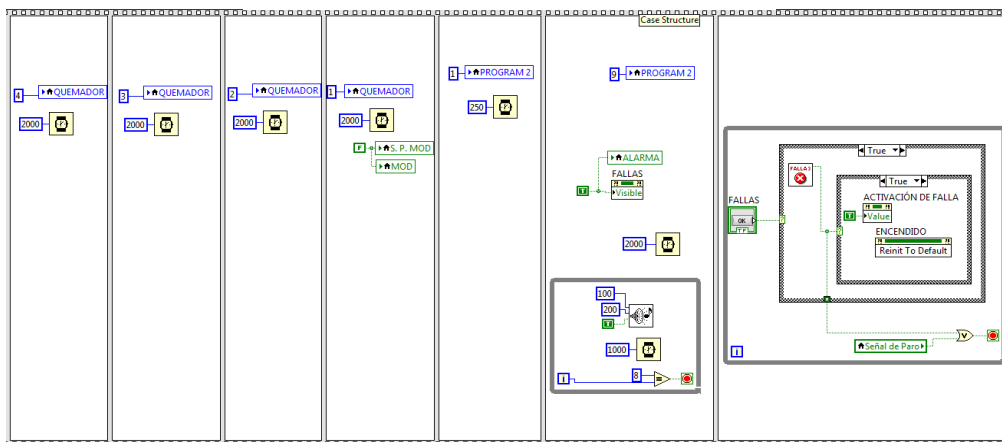
Figura 78. Secuencia de generación F3



Fuente: Autor.

d. Postpurga, falla 3 y solución.

Figura 79. Secuencia de postpurga y falla

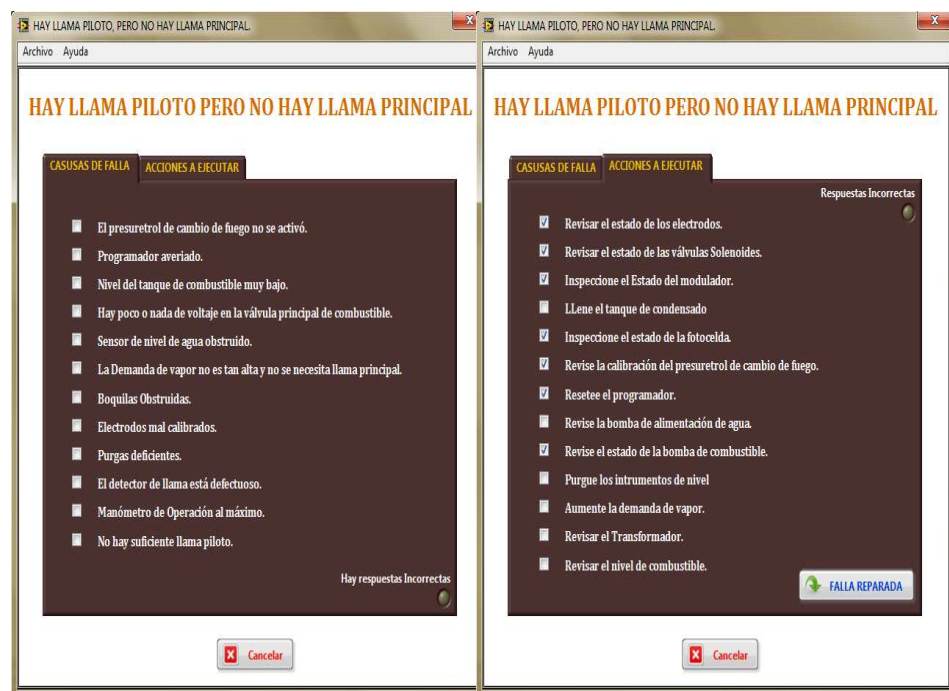


Fuente: Autor.

Cuando se ha dado la falla 3, en donde no se detecta la llama principal, al cortar el suministro de combustible, debe obligatoriamente iniciar la secuencia de postpurga, para eliminar la mayor cantidad de gases residuales presentes en el hogar.

En la figura 79, se ilustra toda la secuencia que dirige a la postpurga, hasta la secuencia que lleva a la revisión de la falla que se ha presentado en el sistema, al hacer clic en el botón de “Revisar Falla” no dirigiremos a la siguiente ventana:

Figura 80. Selección múltiple F3 PF



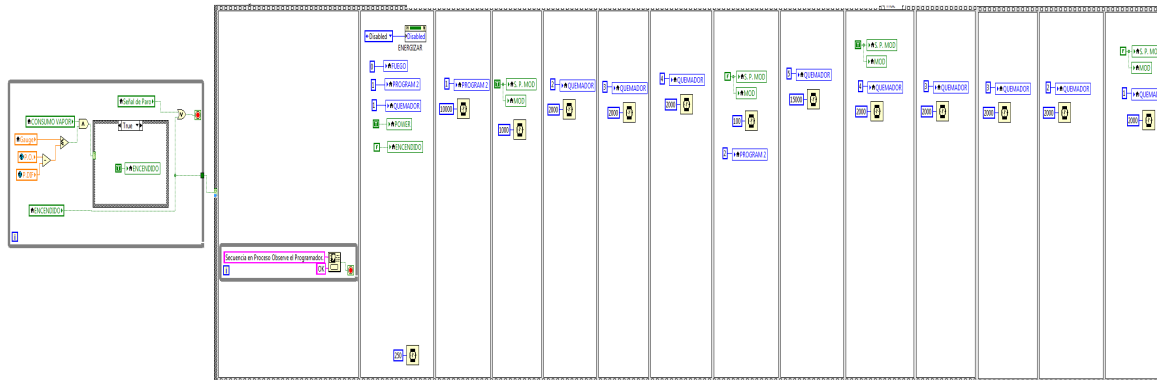
Fuente: Autor.

La figura 80, indica las diferentes causas que pueden haber ocasionado la falla que se presentó, según la simulación, una vez seleccionadas las respuestas correctas, nos dirigimos a seleccionar las soluciones que se deben ejecutar, de modo que se solucione la falla.

La programación de esta ventana es la misma de las ventanas de selección múltiples anteriores, de modo que se sobre entiende su programación.

3.4.4 El motor funciona pero no hay chispa (Falla 4). Para esta falla se presentada una similitud con la falla 2, pero al simular este problema debemos distinguir las diferencias. Para distinguir detalles específicos debemos conocer paso a paso la secuencia de encendido del equipo, con el fin de poder identificarlos.

Figura 81. Secuencia encendido F4



Fuente: Autor.

a. Inicio

Como en las otras simulaciones, el proceso de verificación de variable y el proceso de purgado se deben dar para el correcto y seguro encendido del equipo.

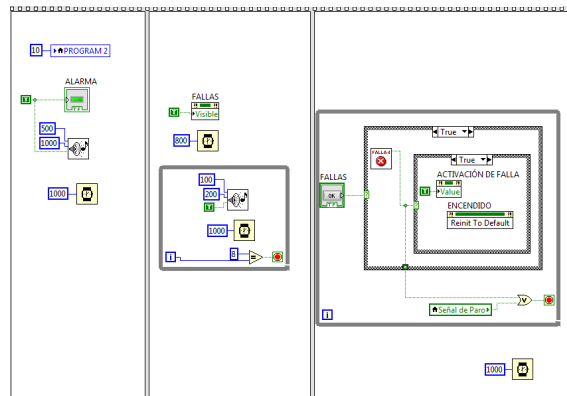
En la secuencia de arriba observamos claramente el proceso de inicio, seguido del mensaje de alerta y a continuación la revisión de variables. Seguido del establecimiento de variables, se da el proceso de purgado que podemos observar seguidamente. Se distingue la secuencia en donde el dámper se va abriendo hasta llegar su capacidad máxima, así como la activación del modulador, presuretrol de modulación y el motor del ventilador. Para poder identificar la falla observaremos la siguiente etapa.

b. Falla 4 y solución.

En la siguiente secuencia, la etapa del encendido del transformador no se da, por lo tanto no hay chispa. Motivo por el cual el display del programador presenta la falla categorizada como falla 4.

Una vez que se ha dado la falla, el programa suena la alarma y muestra el pulsador necesario para revisar la causa y las soluciones a la falla que se ha dado.

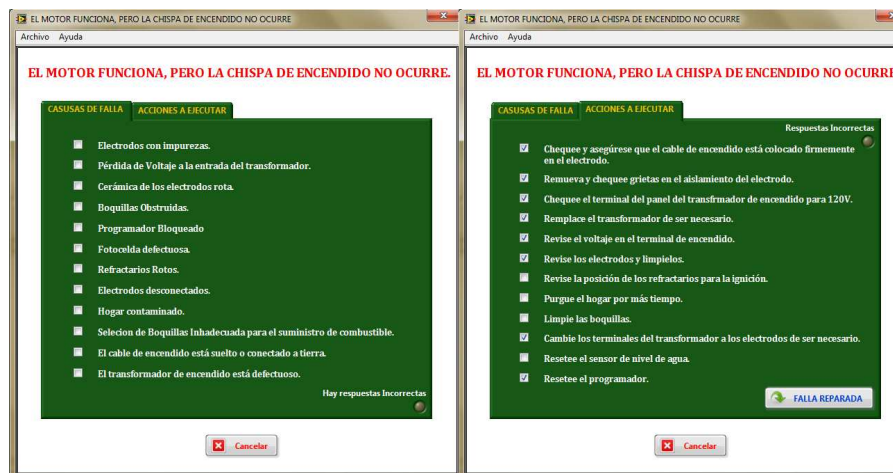
Figura 82. Secuencia falla 4



Fuente: Autor.

Cuando el tiempo programado para que suene la alarma ha pasado, se activará el pulsador de “Revisar Falla”, para que se puedan observar las causas de la falla junto con sus soluciones y restablecer el sistema.

Figura 83. Selección múltiple F4 PF



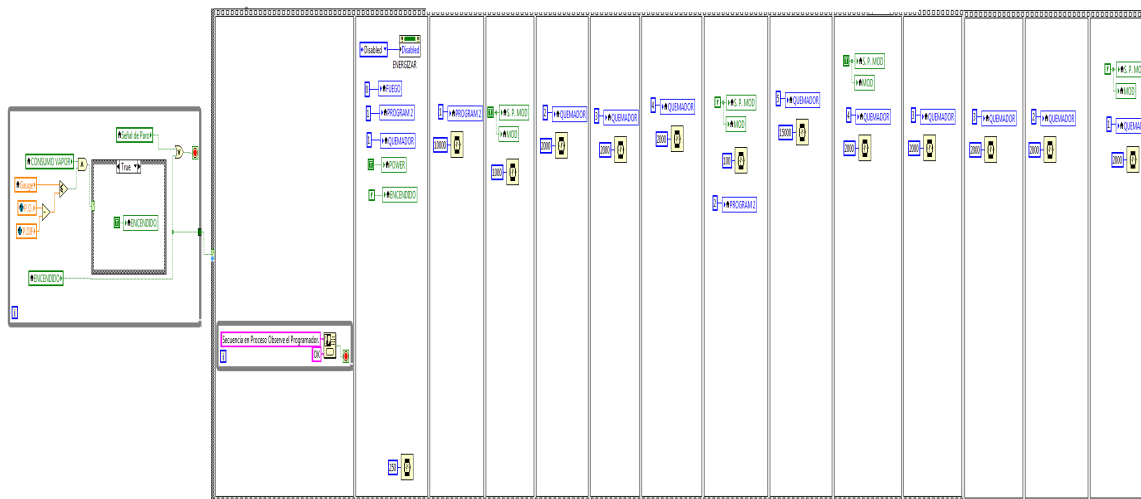
Fuente: Autor.

En la figura 83. Se indica, la ventana de selección múltiple para solucionar el problema presentado en el sistema.

Una vez resuelto se deberá resetear el programador e interactuar con el sistema ya reparado, lo importante es distinguir los pasos de encendido e identificar las causas.

3.4.5 *El motor funciona el encendido ocurre, el combustible no enciende(Falla5).* En esta ocasión simularemos una falla que no se distingue con facilidad, en primer lugar se debe seleccionar del menú de fallas “El motor funciona, el encendido ocurre, pero el combustible no enciende”, con este subVI observaremos la ejecución de la falla antes mencionada.

Figura 84. Secuencia encendido F5



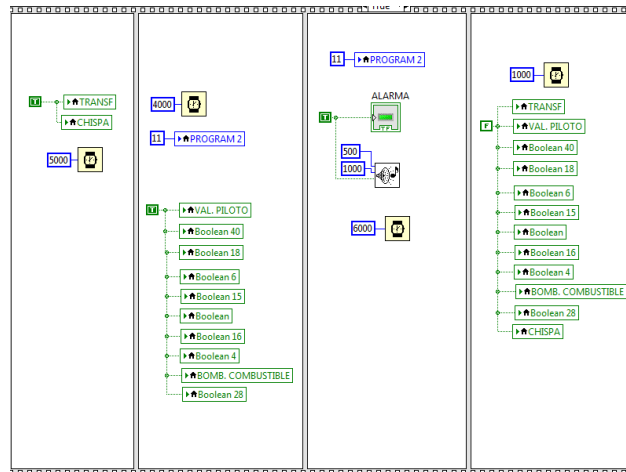
Fuente: Autor.

a. Inicio

Como es lógico, la secuencia de encendido mediante el pulso de inicio, da lugar a la aparición del mensaje, la activación del presuretrol de modulación, el modulador, el motor del ventilador lo cual nos permite evidenciar la apertura y cierre del dámper durante la ejecución de revisión de variables y la posterior Prepurga de equipo para el inicio de su secuencia de activación.

En la figura 85, el encendido del transformador y la aparición de la chispa se dan, es momento para la apertura de las válvulas solenoides, pero existe alguna condición anormal en el sistema, se activa la alarma del programador y se observa que el ventilador presenta momentáneamente una condición anormal de funcionamiento.

Figura 85. Secuencia falla 5 (1)

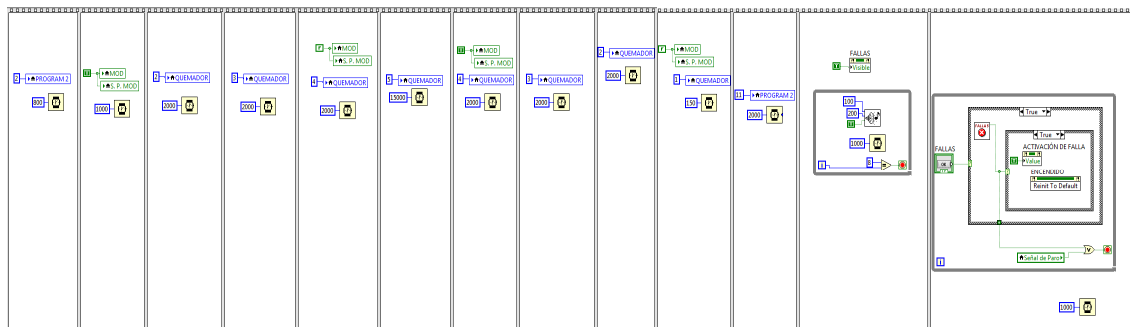


Fuente: Autor.

Ante esto se debe recurrir a la prepurga por condiciones de seguridad, con el fin de evitar cualquier accidente en el encendido posterior a la reparación de la falla.

b. Falla 5 y solución

Figura 86. Secuencia falla 5 (2)



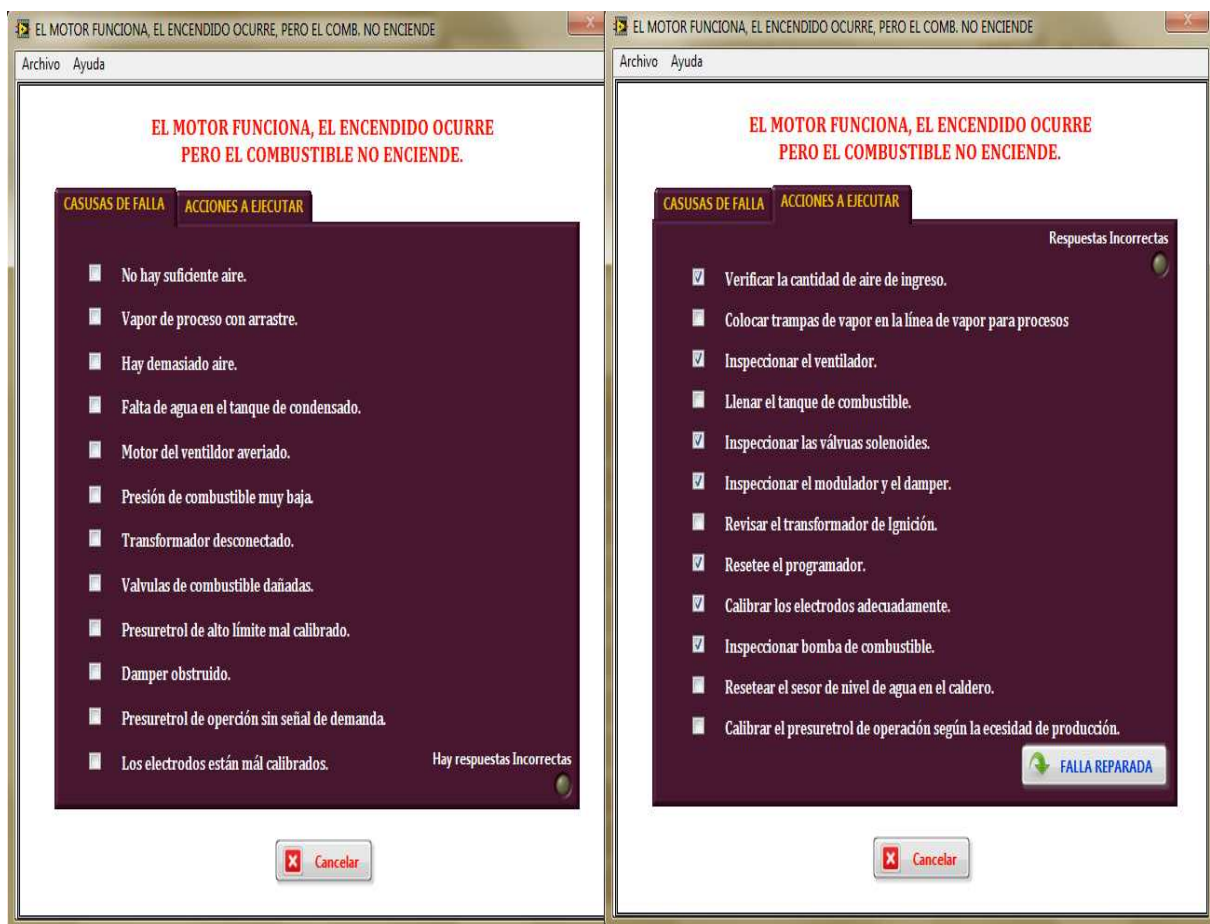
Fuente: Autor.

En la figura 86, se ilustra la continuación de la secuencia hacia la falla 5, en este caso podemos mirar al inicio la secuencia de activación del modulador y el proceso de la

postpurga en el penúltimo frame observamos la activación continua de la alarma y seguidamente la aparición del pulsador para revisar la falla.

En la figura anterior observamos cuales son las causas y soluciones que nos permitirán rehabilitar el sistema en su correcto funcionamiento, de igual manera una vez contestadas las ventanas de selección múltiple, como regla general debemos resetear el programador, caso contrario la falla no se arreglará y el sistema no funcionará adecuadamente.

Figura 87. Selección múltiple F5 PF



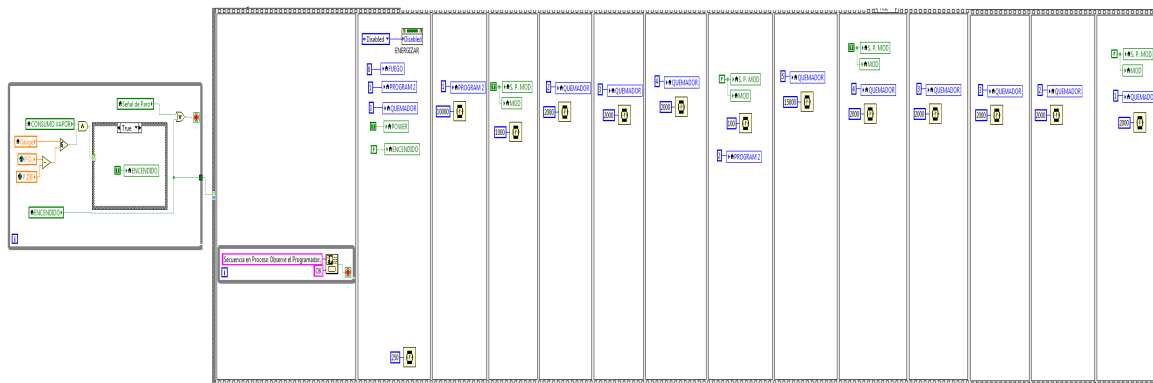
Fuente: Autor.

3.4.6 La llama piloto no se detecta (Falla 6). En el menú de fallas podemos observar un botón que dice: “la llama piloto no se detecta” lo equivalente a no se prueba, una vez seleccionada esta falla nos dirigiremos al subVI o venta principal del sistema.

Al iniciar la simulación, revisando los parámetros de inicio y colocando los valores adecuados de presión en donde corresponde, el sistema estará en condiciones de ejecutarla operación.

a. Inicio

Figura 88. Secuencia encendido F6



Fuente: Autor.

Al comenzar la simulación, en la figura 88. Se muestra la secuencia de inicio común. El software espera hasta que el botón de inicio se encuentre en estado true, una vez activado este pulsador aparecerá el mensaje que alerta el inicio de secuencia para el encendido.

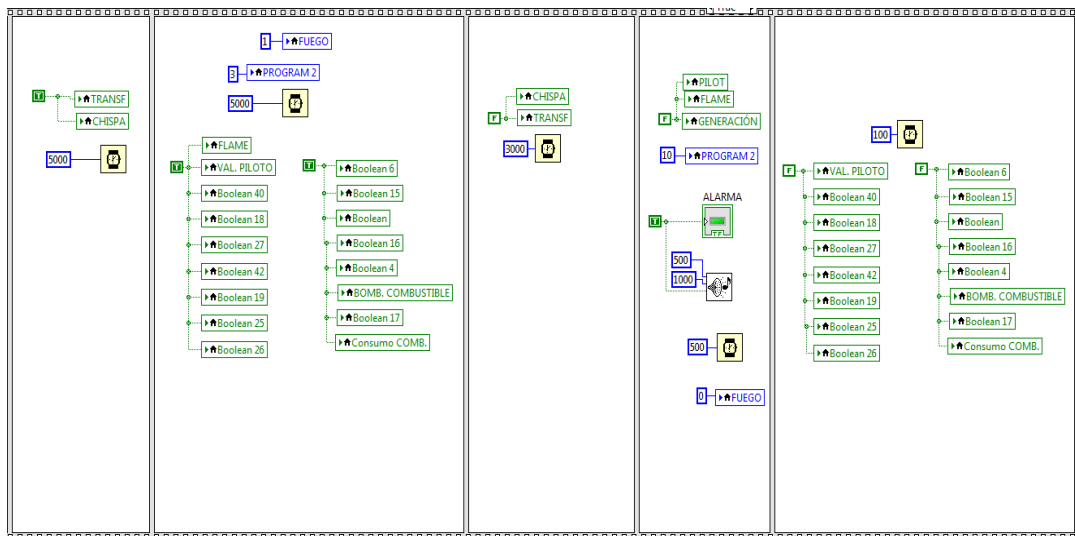
Desde este punto evidenciamos el periodo de revisión de variables programado por el tiempo prescrito, observamos encendido del presuretrol de modulación, la activación del modulador, el encendido del motor del ventilador para iniciar el proceso correspondiente y el trabajo más importante que es la apertura del dámper cumpliendo con su tarea en la purga del equipo, preparando al sistema para la secuencia de ignición.

Desde el primer frame se distingue el encendido del transformador que conlleva la aparición de chispa en los electrodos. A continuación se evidencia el encendido de la

tubería de combustible por el recorrido del piloto, a la aparición del combustible el transformador se desactiva y desaparece la chispa.

Se ha establecido la llama piloto pero, por alguna razón el programador anuncia una falla (categorizada como Falla 6), en ese instante se enciende la alarma del programador y se corta el suministro de combustible al hogar del equipo, eso se evidencia en el apagado inmediato de la red de combustible.

Figura 89. Secuencia falla 6 (1)



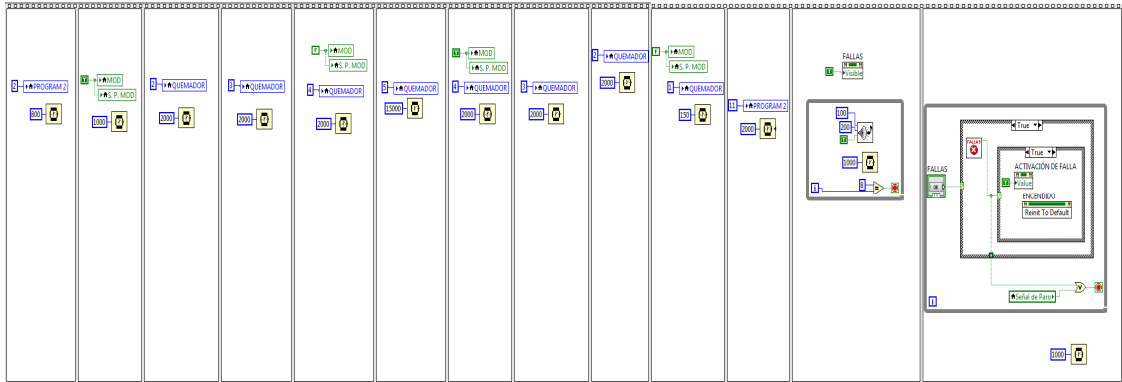
Fuente: Autor.

b. Falla 6 y solución

Una vez que se ha cortado el suministro de combustible al hogar del equipo se debe iniciar con el proceso de postpurga, con el fin que ya se ha mencionado, de este modo se previene cualquier condición peligrosa en el siguiente encendido.

La siguiente secuencia nos muestra el ciclo de purga, iniciando con la activación del presuretrol de modulación, se observa además la activación y desactivación del modulador en la secuencia adecuada, representado por el trabajo del dámper en la apertura y cierre del mismo proporcionando la cantidad de aire necesaria para este trabajo.

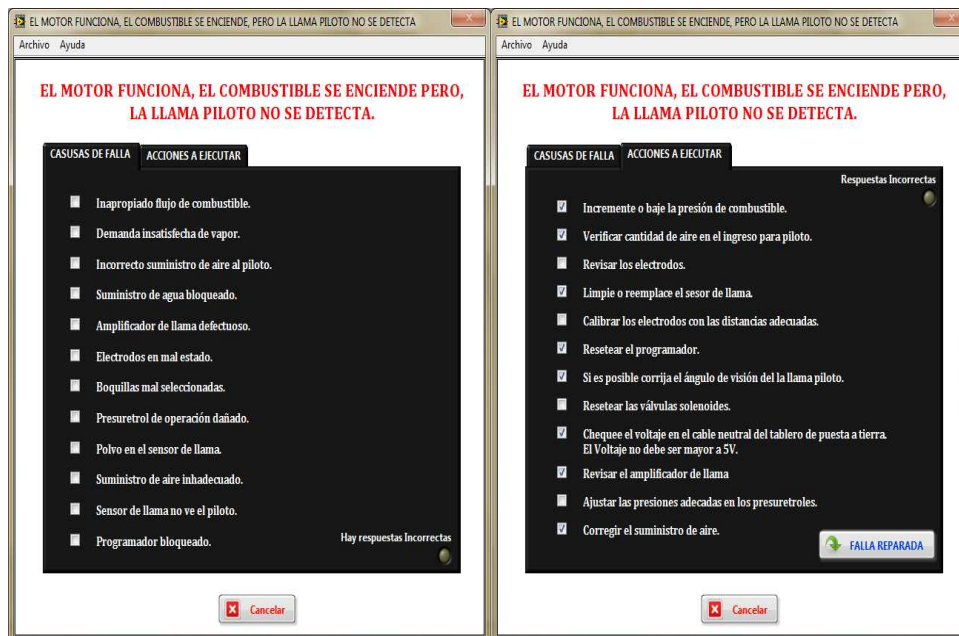
Figura 90. Secuencia falla 6 (2)



Fuente: Autor.

Cuando se ha purgado el equipo, el programa conduce a la falla en el display, acompañado por el pulsador de revisión de la falla, el mismo que nos llevará a la ventana respectiva para constatar la misma solucionarla de inmediato.

Figura 91. Selección múltiple F6 PF



Fuente: Autor.

Como observamos en la figura de arriba, es la ventana de selección múltiple la que permitirá conocer las causas de la aparición de la falla y al mismo tiempo permitirá solucionarla y restituir al sistema para el correcto funcionamiento de mismo.

Es así que esta falla se ha detectado y reparado, cabe recalcar la importancia de conocer la secuencia adecuada del equipo e identificar las diferentes causas que conllevan a esta falla.

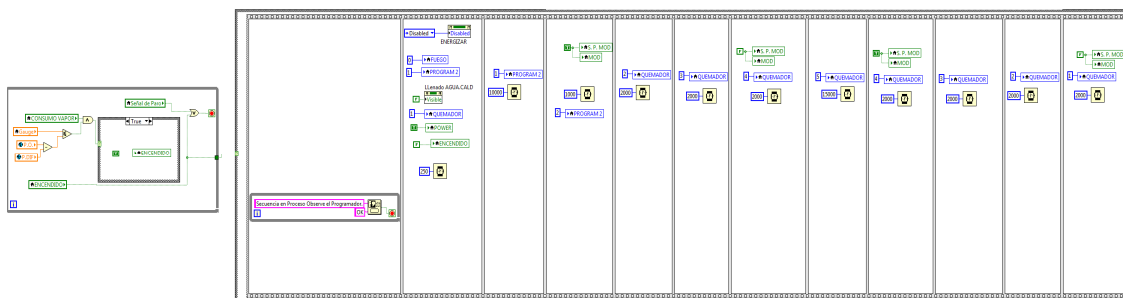
3.4.7 Bajo nivel de agua (Falla 7). Dentro del menú de fallas, éste cuenta con dos fallas que podrían conducir a una explosión del equipo y por tanto es muy importante reconocer los eventos que suceden y llevan a estas fallas, por ser un software de simulación observaremos como se produce esta falla sin magnificarla hasta la explosión.

En primer lugar, tenemos la falla por bajo nivel de agua, en este caso nos preguntamos que falla, para esto prestemos atención a la simulación y daremos respuesta a las condiciones que llevan a esta falla categorizada como Falla 7.

a. Inicio.

Como es normal iniciamos la simulación con la revisión de los parámetros de inicio, en donde se ingresan los datos respectivos para la operación del sistema.

Figura 92. Secuencia encendido F7



Fuente: Autor.

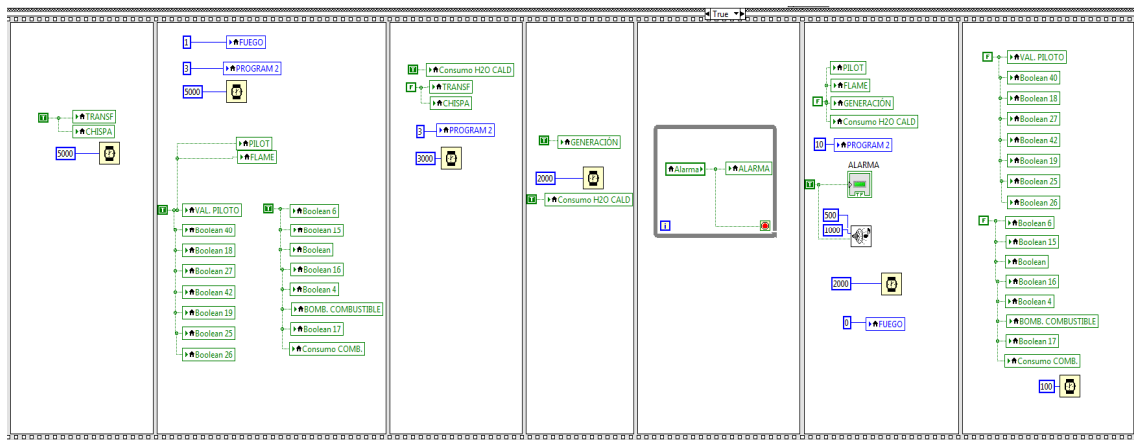
Cuando revisamos los parámetros de inicio y energizamos el sistema, normalmente el nivel de agua dentro del caldero se establece automáticamente pero, para fines de esta simulación en especial, se ha colocado un interruptor que simula al pulsador de activación de la bomba en el tablero de mando de este equipo auxiliar, es por eso que el llenado de agua se deberá

hacer manualmente, el pulsador estará ubicado a un lado de la bomba de alimentación como es lógico.

Al activar el llenado se observará que cuando iniciemos la simulación el pulsador desaparecerá, ya que cuando el equipo opera, no siempre el operario está alado del sistema para solucionar el problema manualmente, tal vez por confianza o por desconocimiento. En este caso la simulación nos conducirá a la falla y no se producirá la explosión, pero se observará que hace el sistema ante esto según su programación y que tal vez no se cumpla por la condición de explosión del sistema.

Una vez que pulsamos el botón de inicio, se evidencia la aparición del mensaje de inicio de secuencia, denotando un normal funcionamiento, se revisan las variables y se da el proceso de purga, con el mando del presuretrol de modulación, el modulador, el ventilador y la apertura del dámper, todo según el correcto funcionamiento del sistema.

Figura 93. Secuencia falla 7 (1)



Fuente: Autor.

En la figura 93. Se observa, la secuencia donde se da la ignición, representado por el encendido del transformador, la aparición de la chispa, el encendido de la tubería y la bomba de combustible, que son indicadores booleanos.

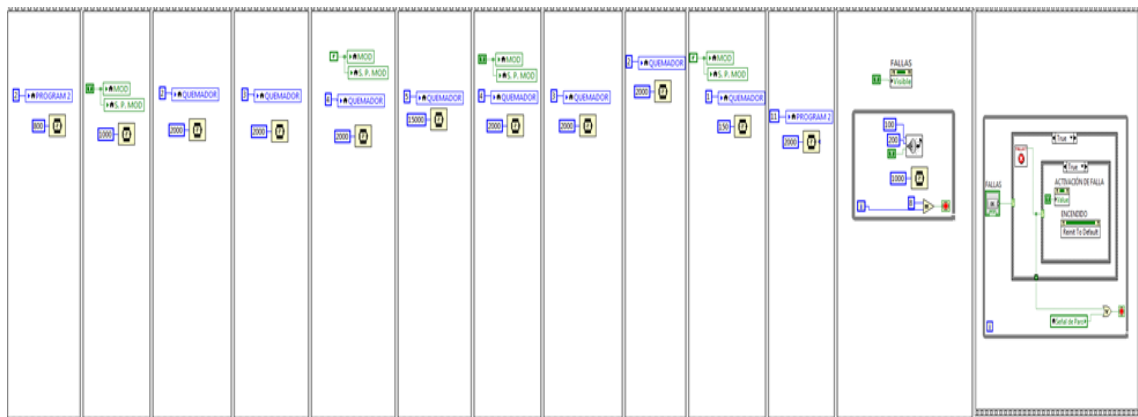
En el tercer frame se distingue la activación del consumo de agua para generar el vapor e intentar alcanzar el valor de presión para el cambio de fuego, pero al pasar el tiempo, la

reposición del agua no se da por alguna razón desconocida; en este caso, como el consumo de agua continúa y el sensor de nivel no se activa, la alarma en el programador se enciende. Lleva a la siguiente secuencia de la programación.

Como observamos en la siguiente secuencia, el programador lleva al proceso de corte inmediato de combustible evitando cualquier condición de peligro que sería inminente, es así que el sistema responderá ante esta falla, pero hay ocasiones en la realidad que el detector de nivel se dañó por completo lo que ocasiona que no haya una señal de alarma por el sensor mismo y el programador continúe con el suministro de combustible sin detectar ninguna condición anormal, lo que conllevaría a la explosión del equipo.

Observamos la secuencia de purga que realiza el sistema, se evidencia la acción del presuretrol de modulación y el dámper, cuando ha pasado la postpurga la alarma sonará y el botón para revisar la falla aparecerá, con el revisaremos las condiciones que conllevan a esta falla, cabe recordar que la ventana que aparece, es un subVI programado de la misma manera para cada caso; ahora observemos la ventana.

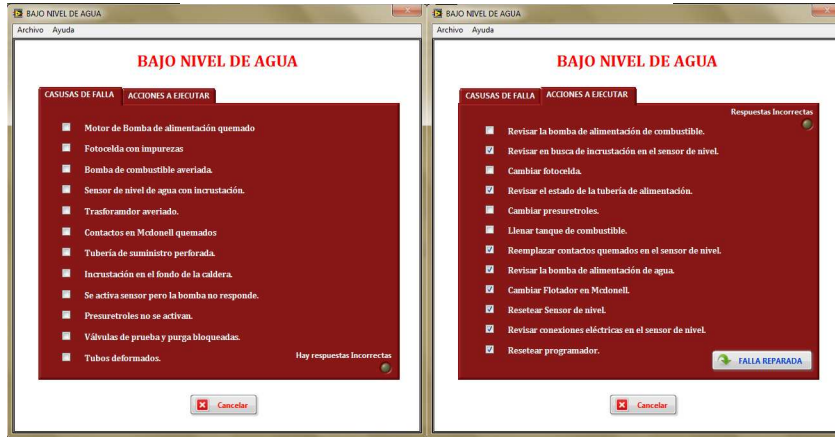
Figura 94. Secuencia falla 7 (2)



Fuente: Autor.

La ventana nos permitirá reconocer la causas y darlas soluciones para evitar este tipo de falla, es así que se ha simulado esta falla, cabe recalcar que se debe resetear el programador para restituir el sistema a su correcto funcionamiento.

Figura 95. Selección múltiple F7 PF

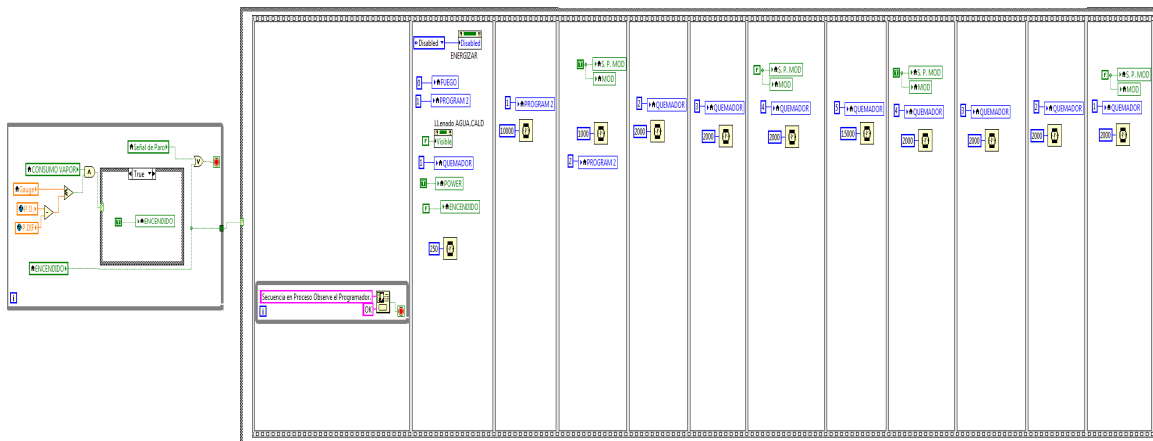


Fuente: Autor.

3.4.8 *Falla presuretrol de operación (Falla 8).* La segunda falla que se debe tener presente y clara para evitar condiciones de explosión es la que tiene que ver con la Falla del presuretrol de operación, Dentro del menú de fallas de BOILERSOFT se observa un botón que lleva a la falla del presuretrol de operación.

Al presionar este botón se ejecuta un subVI que conduce a la simulación de esta falla, observemos la programación de la simulación.

Figura 96. Secuencia encendido F8

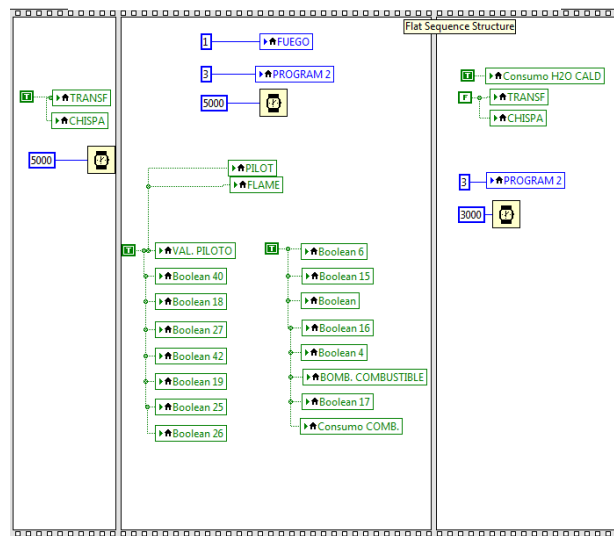


Fuente: Autor.

a. Inicio

En la figura 96. La secuencia de inicio de la simulación es la misma programación, como pasos básicos consta la revisión de los parámetros de inicio y eventualmente la secuencia para el inicio donde consta: la aparición del mensaje de inicio, la revisión de variables del sistema, el encendido del modulador y el proceso de purga con el trabajo del modulador y el dámper.

Figura 97. Secuencia ignición F8



Fuente: Autor.

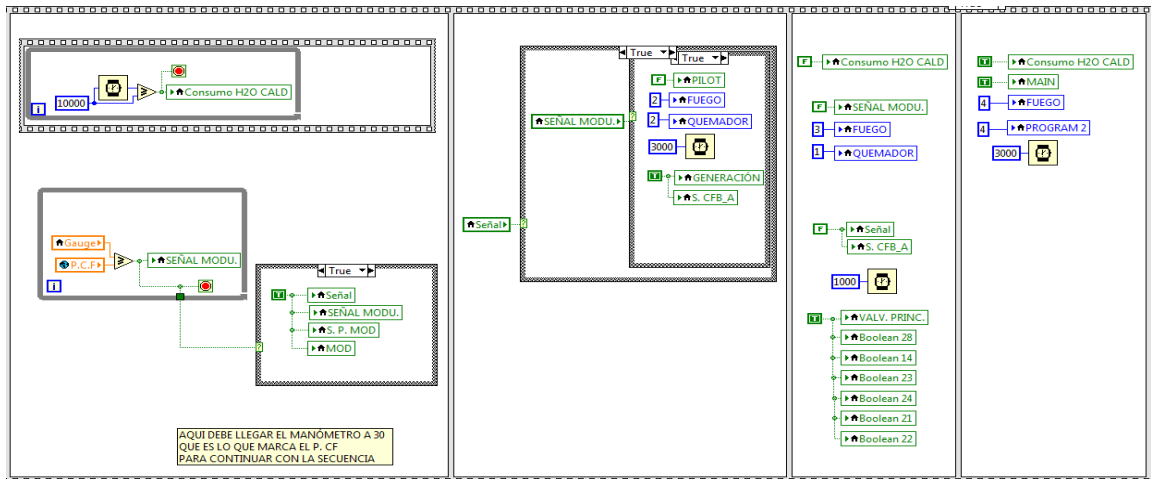
Se evidencia dentro de la figura 97. La secuencia de ignición marcada por la activación del transformador y la aparición de la chispa, además de la distinción de la activación de la tubería de combustible seguido por el consumo de agua, en el proceso de generación de vapor.

Una vez alcanzada la presión suficiente y marcada por el presuretrol de cambio de fuego, este se activa y a la vez se activa el presuretrol de modulación y el modulador, para iniciar el proceso de establecimiento de llama principal dentro de la generación de vapor.

Para denotar este cambio se encuentra el control de imagen referente al cambio de fuego y los Led's ubicados dentro del programador, evidenciando el apagado de la señal de llama

piloto y el encendido de Main; es decir, la llama principal, además esto va acompañado de la apertura de la válvula solenoide y la red de tubería para el suministro de combustible, recordando que estos son indicadores booleanos.

Figura 98. Secuencia de cambio de fuego

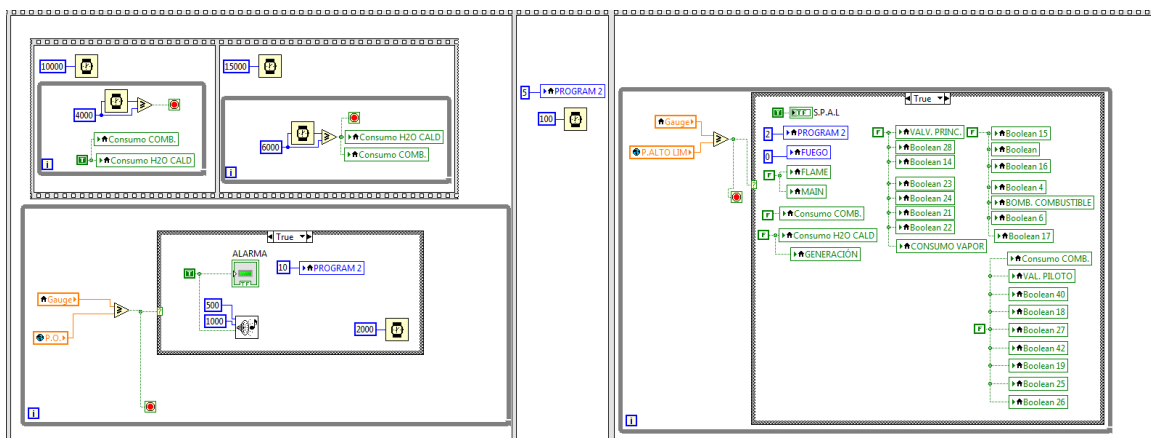


Fuente: Autor.

Una vez que la llama principal se ha establecido, la generación sigue su curso hasta poder alcanzar la presión deseada y marcada en el presuretrol de operación.

Se muestra aquí la programación hasta la generación de vapor según el presuretrol de operación:

Figura 99. Secuencia de falla 8 (1)

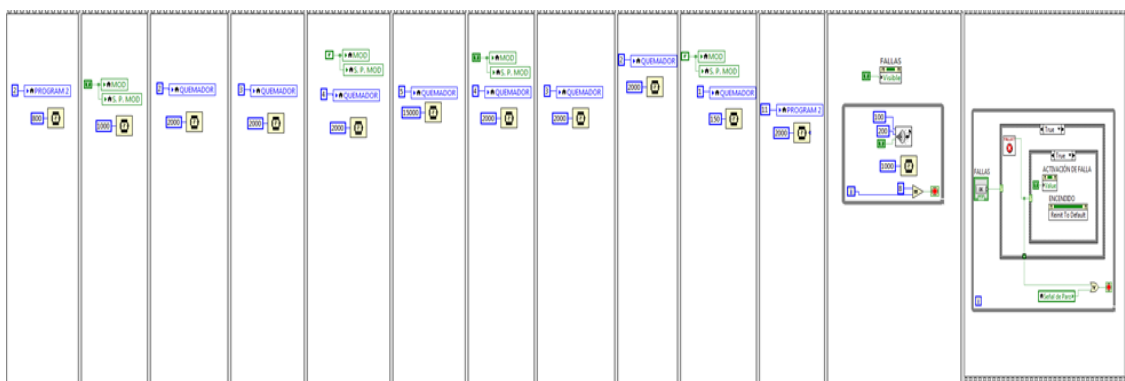


Fuente: Autor.

Una vez generada la cantidad de presión marcada por el presuretrol de operación, en la Figura 99. En el primer frame, se visualiza la comparación de presión entre el manómetro y la variable global del presuretrol de operación, estos dos activarán la siguiente etapa, en donde se enciende la alarma para simular el fallo del presuretrol de operación; en el momento que esto ocurre, se activará la alarma del programador.

El siguiente elemento de seguridad se activará, esto se consigue mediante la comparación entre el manómetro y el presuretrol de alto límite, el cual será el encargado de cortar con el suministro de combustible al hogar y detener el proceso de generación de vapor, se evidencia en el tercer frame, en donde se encenderá un indicador en señal de que se activa el presuretrol de alto límite y a continuación detendrá todo proceso siguiente, llevando al sistema a la etapa de purga.

Figura 100. Secuencia falla 8 (2)

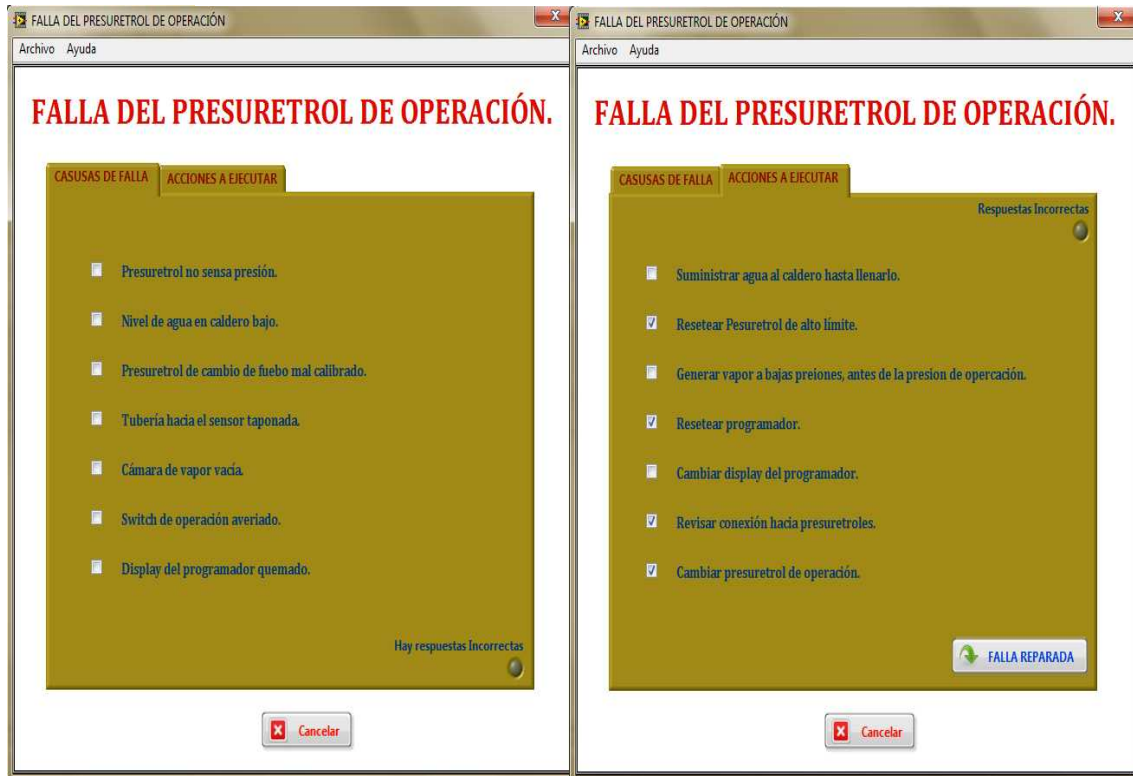


Fuente: Autor.

b. Falla 8 y solución

En la figura 100. El sistema se dirige a la etapa de purga por la aparición de la falla en el presuretrol de operación, al final de la secuencia anterior se puede distinguir el frame en el cual nos lleva a la ventana de solución de la falla, esperando la interacción del usuario del software. Ahora veremos la ventana que nos permite dar solución a las causas de esta falla y las soluciones respectivas.

Figura 101. Selección múltiple F8 PF



Fuente: Autor.

De este modo se presenta la ventana de causas y solución ante la falla 8 “Fallo del presuretrol de Operación”, una vez seleccionadas las respuestas correctas el sistema se repondrá y podrá funcionar correctamente, cabe recordar que para iniciar la simulación al reparar la falla es necesario resetear el programador para iniciar la secuencia nuevamente.

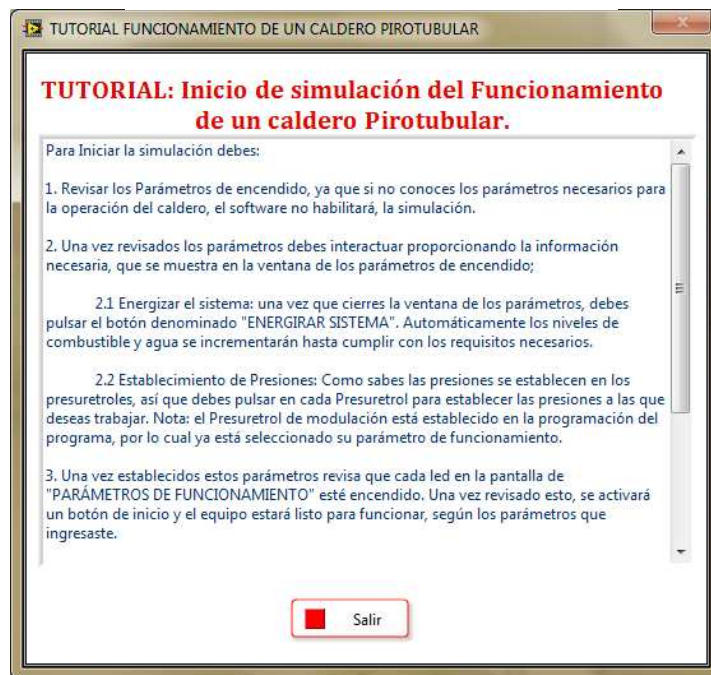
De este modo se ha podido simular las fallas presentadas y descritas paso a paso que presenta el menú de fallas de BOILERSOFT, obteniendo una simulación de acuerdo con los parámetros correctos de operación del sistema de generación de vapor. A más de estos subVI’s diseñados para simular las fallas, BOILERSOFT cuenta con otros VI’s como se ilustró en el uso del software y estos se los verá y explicará en el siguiente punto.

3.5 SubVI's auxiliares de BOILERSOFT

a. Tutoriales

Uno de los subVI's en BOILERSOFT es el de ayuda, el cual presenta la información necesaria para manejar el software de la mejor forma.

Figura 102. SubVI tutorial



Fuente: Autor.

Para este subVI se ha programado un String que presente un texto, representado por una constante, es así que cada que se necesite ayuda este subVI estará para indicar paso a paso el uso del programa y aprovecharlo eficientemente.

Esta ayuda se encuentra dentro del menú contextual de ayuda ubicado en la barra de herramientas de cada ventana, de modo que para cada evento tenga el usuario una ayuda oportuna. Un tipo de ayuda estará dispuesta para la simulación del funcionamiento normal del sistema de generación de vapor y otra estará para la simulación de fallas, ya que se deben ejecutar otros pasos enunciados en esta ayuda y así simular cada falla de modo adecuado.

b. Acerca de BOILERSOFT

Este es otro VI que se ha diseñado para identificar el lugar y el autor del software, este VI cuenta con una imagen en donde se muestra toda la información del software.

Posee también una estructura de secuencia para desactivarlo, es decir, cada que se habrá este VI, permanecerá abierto por 8 segundos, con el fin de mostrar de forma corta y precisa la información del programa.

Figura 103. SubVI acerca de BOILERSOFT



Fuente: Autor.

Estos son los subVI's utilizados a más de los que ya se han referido en los ítems anteriores.

Todos estos VI's y SubVI's son los que dan forma al software de simulación de fallas BOILERSOFT. Mediante el uso de LabVIEW, se ha diseñado una gran herramienta para el aprendizaje acerca del funcionamiento del sistema de generación de vapor utilizado en la industria.

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DE GUÍAS PRÁCTICAS PARA E ESTUDIANTE

4.1 Práctica N° 1

Tema: Simulación de la generación y consumo de Vapor en el software BOILERSOFT.

Objetivo general:

Simular la generación y consumo de vapor.

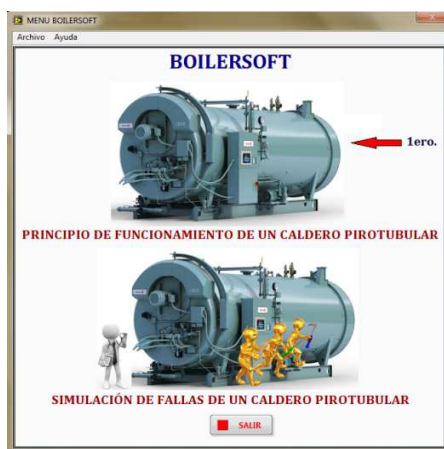
Objetivos específicos:

- Usar el software de simulación BOILERSOFT.
- Aplicar los conocimientos adquiridos en la cátedra de “Vapor y Refrigeración”.
- Reconocer los equipos que forman parte de un sistema de generación de vapor.
- Interactuar con el software y las variables de funcionamiento del caldero.

Procedimiento:

1. Ingrese al menú de BOILERSOFT.
2. En la pantalla del menú ingrese a la primer Opción “Principio de Funcionamiento de un Caldero Pirocubular”.

Figura 104. Menú BOILERSOFT



Fuente: Autor.

3. Busque en la nueva ventana el botón denominado “Parámetros de Inicio” para revisar las necesidades del sistema para su inicio.

Figura 105. Botón parámetros de inicio



Fuente: Autor.

4. Una vez revisadas los parámetros cierre la ventana de Parámetros y vaya estableciendo dichos parámetros uno por uno.

Figura 106. Ventana de parámetros de inicio



Fuente: Autor.

5. Energice el sistema cambiando la posición del selector hacia la posición ON

Figura 107. Selector para energizar el sistema



Fuente: Autor.

- Presione en cada presuretrol, para Introducir el valor de presiones a los cuales va a operar el sistema. Recuerda Ingresar Valores en cada presuretrol a excepción del presuretrol de modulación ya que es una condición de operación programada en el software.

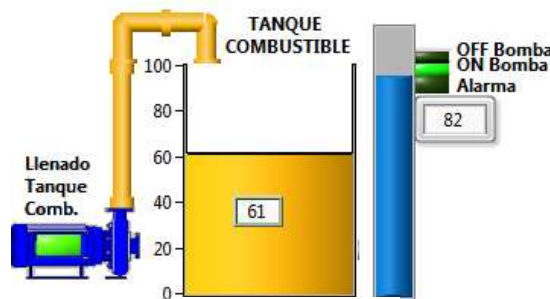
Figura 108. Presuretroles



Fuente: Autor.

- Espere hasta que los niveles de combustible y agua en el caldero estén completos, se observará un indicador que permite observar el nivel en porcentaje de cada recipiente.

Figura 109. Niveles



Fuente: Autor.

- Una vez que se has establecido los niveles y los valores de las presiones han sido introducidos, debemos revisar si los parámetros se han cumplido, si los mismos están denotados por Led's encendidos, quiere decir que se han cumplido con los parámetros de inicio.

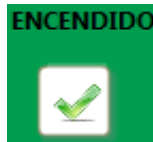
Figura 110. Parámetros de inicio completos



Fuente: Autor.

9. Ahora iniciaremos con la simulación, para esto en la ventana del sistema habrá aparecido un botón indicando “ENECENDIDO”; Presione el botón mencionado y a Observar el funcionamiento y la generación de vapor.

Figura 111. Pulsador de encendido del caldero



Fuente: Autor.

10. Cuando el manómetro ha llegado a la presión de operación asignada, el pulsador para la simulación del consumo se habilitará, y podremos consumir el vapor generado.

Figura 112. Pulsador de consumo de vapor



Fuente: Autor.

4.2 Práctica N° 2

Tema:

Simulación de la Falla 1: “EL QUEMADOR NO ENCIENDE” en el software BOILERSOFT.

Objetivo general:

Simular la falla “El quemador no enciende” y dar solución a la misma.

Objetivos específicos:

- Usar el software de simulación BOILERSOFT.
- Aplicar los conocimientos adquiridos en la cátedra de “Vapor y Refrigeración”.
- Identificar los Síntomas de la Falla.
- Dar Solución a la falla presentada.

Procedimiento:

1. Ingrese al menú de BOILERSOFT.
2. En la pantalla del menú ingrese a la primer Opción “Simulación de Fallas de un Caldero Pirotubular.

Figura 113. Menú BOILERSOFT



Fuente: Autor.

3. Se abrirá Otro menú que nos indicará las fallas que simulará el software, en esta ocasión simularemos la falla EL QUEMADOR NO ENCIENDE pulsador indicado en la imagen, vamos a acceder a esa falla.

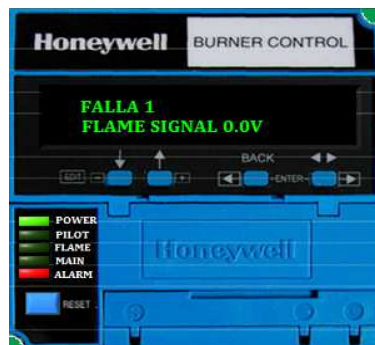
Figura 114. Selector para energizar el sistema



Fuente: Autor.

4. Seleccionado el pulsador indicado anteriormente, procederemos al encendido del sistema como se hizo en la práctica anterior.
5. Al momento en que el sistema está listo para operar, presionamos el pulsador de ENCENDIDO y Observaremos el inicio de la secuencia de operación. Cuando se da la aparición de una falla marcada por el programador.

Figura 115. Programador indica falla 1



Fuente: Autor.

6. Al momento que el sistema se detiene y suena la alarma, aparecerá un botón, que nos permitirá observar la falla que se dio y las soluciones que se deben tomar.

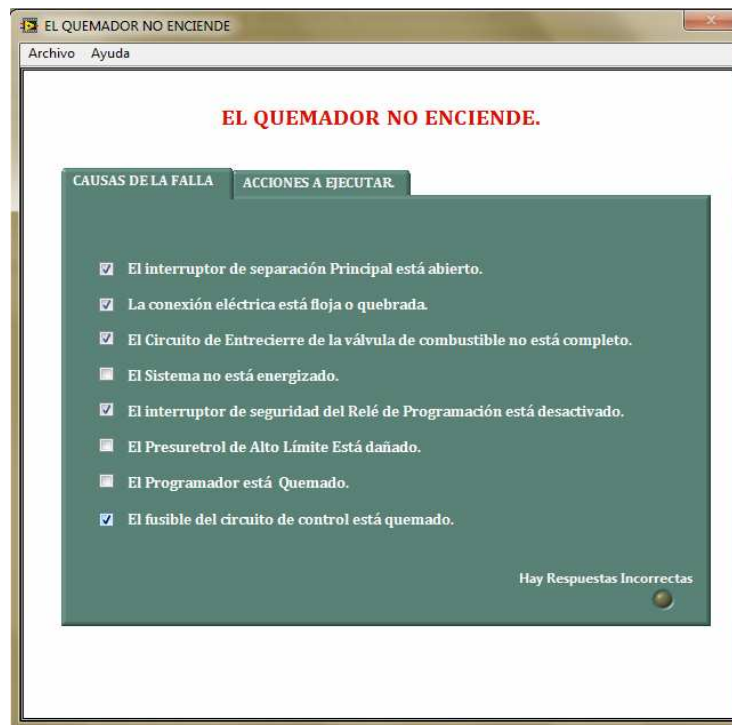
Figura 116. Pulsador para revisar fallas



Fuente: Autor.

7. Instantáneamente accederemos a una ventana que indica las causas de la falla, en esta ventana debemos seleccionar las causas que produjeron la falla basándose en los conocimientos adquiridos en la cátedra de vapor y refrigeración.

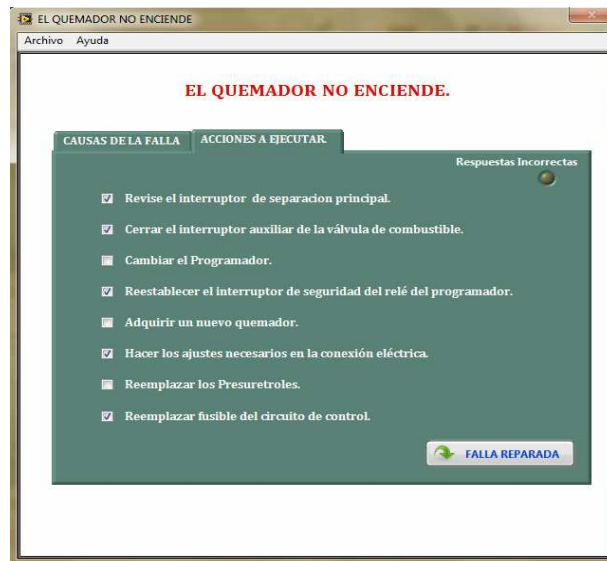
Figura 117. Ventana de causas de falla 1



Fuente: Autor.

8. Cuando se de respuesta a todas las posibles causas el programa nos llevará hacia las soluciones de la falla en el siguiente ítem.

Figura 118. Ventana de acciones a ejecutar de falla 1



Fuente: Autor.

9. Como Observamos en la figura 118. Una vez seleccionadas todas las soluciones aparecerá un pulsador denominado “FALLA REPARADA”. El cual indica que se ha seleccionado las soluciones apropiadas y el sistema puede volver al funcionamiento adecuado.
10. Para poder arrancar con el sistema recuerden que una de las opciones que seleccionaron fue “Restablecer el interruptor de seguridad del relé del programador” dicho en otras palabras, se debe resetear el programador, para esto debemos pulsar el botón reset en el programador.

Figura 119. Resetear programador



Fuente: Autor.

11. Cuando se ha reseteado el programador las variables se restituirán y el sistema estará listo para su operación, ahora el debemos pulsar el botón de ENCENDIDO y observar la operación de sistema evidenciando la reparación de la falla.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con el diseño del software se ha podido evidenciar que BOILERSOFT es un software amigable que presenta una facilidad para el aprendizaje acerca del proceso adecuado de funcionamiento del sistema de generación de vapor y solución a fallas dentro del sistema.

Para comprender la simulación del sistema se debe tener conocimientos sobre Vapor y Refrigeración, de tal modo que se identifiquen las partes del sistema con facilidad.

El software LabVIEW ha demostrado gran capacidad para el desarrollo de programas de simulación, añadiendo así una aplicación más a la diversidad de aplicaciones con que cuenta este software en la industria y centros de educación.

Los sistemas de generación de vapor son de alta consideración ya que siempre necesita un monitoreo constante y operarios capacitados.

Sobre la importancia de los controles que integran el sistema para la correcta operación del mismo.

Con la simulación de fallas, se ha podido observar los parámetros que se deben tener en cuenta ante las condiciones anormales que se dan en el sistema de manera silenciosa es así que se evidencian ciertos modos de fallas que se pueden dar en estos sistemas.

5.2 Recomendaciones

Aplicar el software para incluir más fallas y registros a través de la simulación la reacción del sistema.

Estudiar el software desarrollado para comprender el sistema de generación de vapor.

Recomiendo el uso del software para impulsar trabajos que continúen con este estudio y desarrollo de otro software que complemente esta herramienta de aprendizaje.

Pues es un sistema que eleva la fiabilidad y la disponibilidad de los equipos, al mismo tiempo que disminuye pérdidas, a la vez permite la operación del sistema con la mejor eficiencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mc GRAW HILL, Manual de Calderos, Tomo II, pág.: 450
- [2] STEINGRESS, Frederick M. Low Pressure Boilers, E.E.U.U, 2001, pág. 31.
- [3] STEINGRESS, Frederick M. Low Pressure Boilers, E.E.U.U, 2001, pág. 55.
- [4] HONEYWELL, Módulos de Relé SERIE 7800RM7800E, G, L, M; RM7840E, G, L, M. pág. 11.

BIBLIOGRAFÍA

LAJARA VIZCAINO, José Rafael y PELEGRÍ DEBASTIÁ, José. LabVIEW Entorno Gráfico de programación, España, Alfa omega, 2007.

Manual de Calderos, Mc Graw Hill, Tomo II.

STEINGRESS, Frederick M. Low Pressure Boilers, E.E.U.U, 2001.