

1.1 GENERACIÓN DE VAPOR.

DEFINICIONES

- **Generador de vapor:** es el conjunto o sistema formado por una caldera y sus equipos complementarios, destinados a transformar agua de estado líquido en estado gaseoso a temperaturas y presiones diferentes de la atmosférica.
- **Caldera de vapor:** recipiente metálico en el que se genera vapor a presión mediante la acción de calor.

OBJETIVOS

Las calderas o generadores de vapor son equipos cuyo objetivo es:

- Generar agua caliente para calefacción y uso general.
- Generar vapor para industrias.
- Accionar turbinas de equipos mecánicos.
- Suministrar calor para procesos industriales.
- Producción de energía eléctrica mediante turbinas a vapor.

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

1.1.1 TIPOS DE CALDERAS.

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

Según su movilidad:

- Fija o estacionaria.
- Móvil o portátil.

Según la presión de trabajo:

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

Según su generación:

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

Según el ingreso de agua a la caldera:

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

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

- Piro tubulares o de tubos de humo.
- Acuotubulares o de tubos de agua.¹

¹ Ref. 1.1

CALDERAS PIROTUBULARES O DE TUBOS DE HUMO.

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

Está formada por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor, el hogar y los tubos están completamente rodeados de agua, la llama se forma en el hogar pasando los humos por el interior de los tubos de los pasos siguientes para finalmente ser conducidos hacia la chimenea, una de sus desventajas es que presentan una elevada pérdida de carga en los humos.

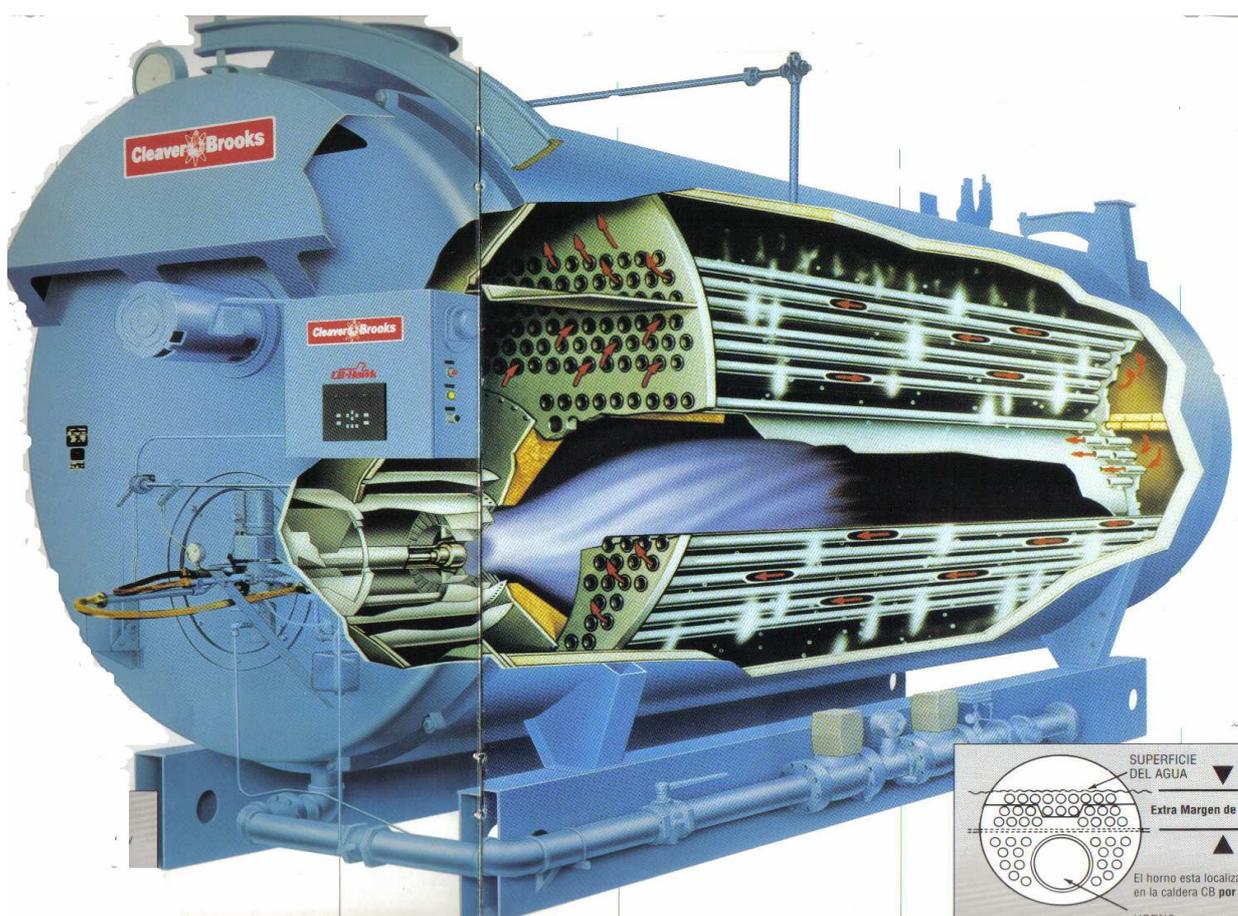


Figura 1.1 Calderas pirorubulares.

Características:

- Sencillez en su construcción.
- Facilidad en su inspección, reparación y limpieza.
- Gran peso.
- La puesta en marcha es lenta.
- Gran peligro en caso de explosión o ruptura.¹

CALDERAS ACUOTUBULARES O DE TUBOS DE AGUA.

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

La llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión. Soporta mayores presiones, pero es más cara, tiene problemas de suciedad en el lado del agua, y menor inercia térmica.

Las calderas acuotubulares eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor.

Características:

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

¹ Ref. 1.2

- El tiempo de arranque para la producción de vapor a su presión de trabajo es mínimo.
- El vapor que produce una caldera de tubos de agua es un vapor seco, por lo que en los sistemas de transmisión de calor existe un mayor aprovechamiento.¹

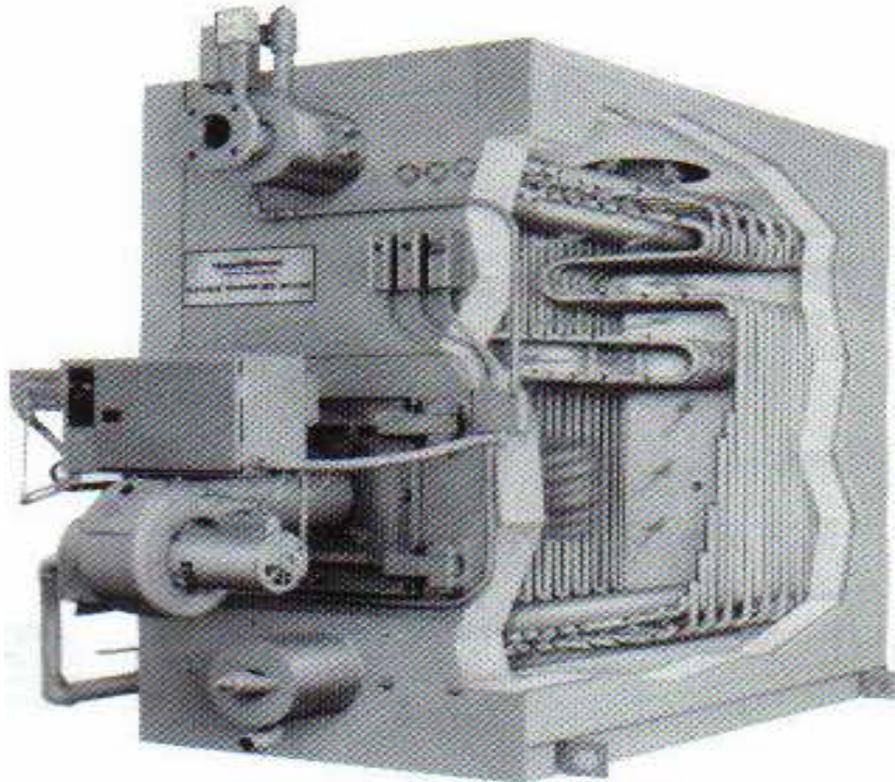


Figura 1.2 Calderas acuotubulares.

1.1.2 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS DE AGUA Y COMBUSTIBLE

Estos sistemas son muy importantes ya que tanto el agua como el combustible líquido requieren un tratamiento especial antes de ingresar a la caldera, esto se lo realiza con el fin de aumentar la eficiencia y alargar la vida útil de la misma.

¹ Ref. 1.2

1.1.2.1 Circuito de alimentación de combustible.

El sistema de alimentación de combustible hacia la caldera es vital en el proceso de generación de vapor, las calderas pueden utilizar diferentes tipos de combustibles como los siguientes:

- **Combustibles sólidos:** madera, carbones fósiles, antracita, hulla, lignito, turba, residuos orgánicos, carbón vegetal o leña. Su alimentación hacia la caldera puede ser manual o mediante bandas transportadoras.
- **Combustibles Líquidos:** Los combustibles líquidos presentan, en general mejores condiciones que los sólidos para entrar en combustión y son sustancias que se las obtienen por destilación, ya sea del petróleo crudo o de la hulla y son los siguientes: nafta, kerosén, Diesel-oil, fuel-oil, alquitrán de hulla, alquitrán de lignito.

Hay que tomar en cuenta que para la utilización de algunos de estos combustibles como por ejemplo el fuel oil (bunker) debe ser previamente precalentado debido a su viscosidad, el calentamiento se lo puede hacer con un sistema de resistencias eléctricas y posteriormente con un sistema de calentamiento basado en la utilización del vapor de agua que genera la propia caldera.

- **Combustibles gaseosos:** Los combustibles gaseosos son los que mejores condiciones tienen para entrar en combustión.

A continuación citaremos algunos tipos de combustibles gaseosos: gas natural, gas de alumbrado, acetileno, gas de agua, gas de aire, gas pobre o mixto, gas de alto horno.¹

1.1.2.2 Circuito de alimentación de agua.

La alimentación de agua hacia las calderas se las hace de diferentes maneras entre estas están:

¹ Ref. 1.3

- Red de abastecimiento (circuitos abiertos).
- Bombas impulsoras.
- Por termosifón (diferencia de densidades del agua caliente y fría).

Hay que considerar que el agua viene con impurezas sólidas e impurezas diluidas como es el caso de sales y minerales que le da la característica de dureza al agua y son perjudiciales ya que estas sales producen las denominadas incrustaciones en el interior de la caldera o en las mismas tuberías y las corroen disminuyendo su vida útil.

Debido a esto se debe hacer un tratamiento del agua antes que ingrese a la caldera, cabe destacar que no existe ningún procedimiento simplista ni producto químico apropiado para el tratamiento de todas las clases de aguas. Cada caso se debe considerar individualmente, los tratamientos más conocidos son los siguientes: filtrado, separación de lodos, calentamiento, vaporización o destilación, desaireación, tratamiento con cal apagada, tratamiento con carbonato sódico, tratamiento con hidróxidos cálcico, con fosfato trisódico y coagulantes.¹

1.2 PLANTA FERRERO DEL ECUADOR

FERRERO llega al Ecuador en 1975 y establece una pequeña oficina comercial que luego se convirtió en una pequeña fábrica, en el año 1993 da un gran salto y construye una fábrica totalmente equipada para la producción de TIC TAC, FERRERO NOGGY, FERRERO ROCHER, y HANUTA.

FERRERO siempre se ha caracterizado por su calidad e innovación de productos esta exitosa fórmula le ha permitido convertirse en una empresa líder en lo que se refiere a confitería.

¹ Ref. 1.4

La planta de FERRERO se divide en tres grandes zonas:

- Área Tic Tac.
- Área Chocolates.
- Plásticos.

En cada una de estas áreas existen procesos en los cuales se requiere una gran demanda de vapor y serán descritos a continuación.

1.2.1 ÁREA TIC TAC.

Bassinas: Se tiene un sistema para calentar el aire proveniente del accionador de la bassinas, el objetivo es hacer circular aire alrededor de un serpentín por cuyo interior circula vapor, este aire caliente ingresa a las bassinas y entra en contacto con el producto.

Granuladora Lodige y Ciberc: Tiene el mismo sistema de calentamiento de aire que el de las bassinas, este aire caliente se utiliza para hacer un secado del producto.

Tanque de agua caliente: El agua es precalentada por un serpentín en cuyo interior circula vapor, es utilizada para la limpieza de las máquinas y del área en general.

1.2.2 ÁREA CHOCOLATES.

Tanques de almacenamiento: Existen seis tanques de almacenamiento de chocolate que son calentados por circulación de agua a $60^{\circ}C$ el proceso de calentamiento del agua lo hace un equipo que utiliza el vapor como medio de calentamiento.

Tanque de agua caliente: El agua es precalentada por un serpentín en cuyo interior circula vapor, esta agua es utilizada para la limpieza de las máquinas y del área en general.

En los otros dos procesos en los que se utiliza agua caliente son las denominadas concas y en el bassinado noggy en este último se calienta el aire deshumificado que ingresa a la bassina.

1.2.3 ÁREA DE PLÁSTICOS.

En el área de plásticos se encuentran el sistema de generación de vapor el cual calienta el tanque de bunker de uso diario, el tanque de bunker de almacenamiento así como también el tanque de agua de ingreso a las calderas con su propio vapor.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR EN LA PLANTA DE FERRERO.

Ferrero del Ecuador para cubrir sus requerimientos de calentamiento en sus procesos tiene en sus instalaciones tres generadores de vapor dos de ellos con una potencia de 100 BHP cada uno y el tercero de 250 BHP de potencia con una producción total nominal de 15.269 lb/hr (libras por hora) a 100 [PSIG].

Debido a la altura sobre el nivel del mar a la que está ubicada la planta de Ferrero del Ecuador, la capacidad de los generadores de vapor (calderas) se reduce en aproximadamente un 20 % de la nominal a nivel del mar presentada por el fabricante, por ello su máxima capacidad de generación de vapor es de 12.215[lb./h].

No	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS		
		KEWANEE	KEWANEE	KEWANEE
1	MARCA	KEWANEE	KEWANEE	KEWANEE
2	TIPO DE CALDERO	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR
3	POTENCIA, [BHP] a NIVEL DEL MAR	100	100	250
4	POTENCIA EST., [BHP] a NIVEL DE TUMBACO	80	80	200
5	VAPOR GENERADO, [lb/h], NOMINAL	3.450	3.450	8.369
6	CONSUMO DE COMBUSTIBLE, BUNKER C, GPH	27,9	27,9	64.4
7	SUPERFICIE DE CALENTAMIENTO, [PIES ² /BHP]	5	5	5

Tabla 1.1 Características generales de las calderas.

Para suplir la demanda de vapor que actualmente requiere la planta se tiene un modo de funcionamiento que es el siguiente, lo dos calderas de 100 BHP cada uno trabajan conjuntamente absorbiendo toda la carga mientras que el tercero permanece apagado, al encender el tercer caldero este puede suplir los requerimientos de la planta sin la necesidad que los dos de menor potencia estén encendidos.

La presión promedio de operación es de 100 [PSIG], pero la de diseño es de 150 [PSIG] de cada una de las calderas.

En el anexo 1.2 se encuentra dibujado el área de plásticos que contienen los sistemas de generación de aire comprimido y de generación de vapor.

1.3.1 EQUIPOS COMPLEMENTARIOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR.

El sistema de Generación de vapor incluye los siguientes equipos y su P&ID se encuentra dibujado en el anexo 1.1.

- Sistema de ablandamiento de agua para abastecimiento de las calderas.
- Tanque de condensado.
- Tanque de combustible para consumo diario.
- Bombas de alimentación de agua.
- Bombas de suministro de combustible.
- Sistema de aire para atomización.

1.3.1.1 Sistema de ablandamiento de agua

El agua de lluvia al caer puede absorber oxígeno, CO₂, nitrógeno, polvo y otras impurezas contenidas en el aire y también disolver sustancias minerales de la tierra. Esta contaminación puede acrecentarse además con ácidos procedentes de la descomposición de materias orgánicas, residuos industriales y aguas sépticas descargadas en lagos y ríos.

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

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

El sistema de generación de vapor en la planta FERRERO cuenta con un equipo de ablandamiento de aguas para el abastecimiento a las calderas, el tratamiento que se da consiste en filtrar el agua para después tratarla químicamente con lo cual disminuimos su dureza¹.

¹ Ref. 1.5

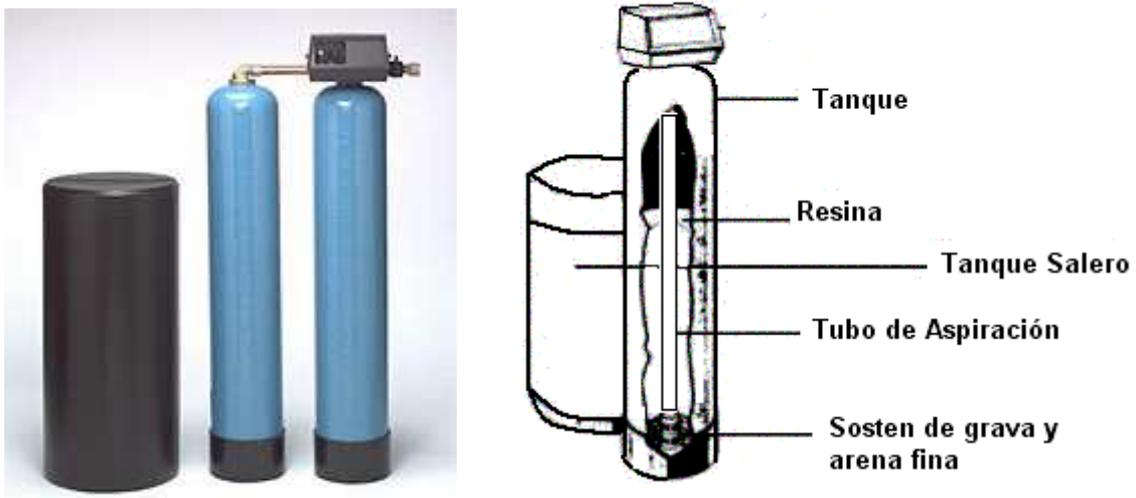


Figura 1.3 Sistema de ablandamiento de aguas.

1.3.1.2 Sistema de distribución de vapor y retorno de condensado.

El vapor generado por las tres calderas se distribuye a través de un “manifold” (cabezal), a las áreas de chocolate y tic tac, reduciendo su presión a 50 [psi] y 60 [psi] respectivamente.

Para el área de chocolate se tiene un sistema automático de reducción de presión, mientras que para el área de tic tac, existe un sistema fijo. El vapor que se genera es utilizado en las diferentes máquinas que forman parte de los procesos existentes en la fábrica.

Se tiene además una línea de retorno de condensado, que permite su recolección en un tanque de almacenamiento que alimenta nuevamente a las calderas. En este tanque el agua se encuentra aproximadamente a $75^{\circ}C$ es decir que la caldera no sufre un choque térmico cuando se restituye el agua que se ha evaporado.

1.3.1.3 Sistema de aire para atomización.

Pese a que cada caldera tiene su propio sistema de generación de aire de atomización formado por un compresor este no se lo utiliza ya que el aire requerido se lo toma del sistema de aire comprimido lo cual ayuda a un ahorro de energía eléctrica.

En el anexo 1.3 se encuentra el diagrama de tuberías, de bunker, de agua y aire comprimido para cada caldera.

1.3.2 CALDERAS KEWANEE DE FERRERO DEL ECUADOR

Desde 1920 Kewanee Boiler Company fue la constructora de calderas pirotubulares más grande en el mundo y en la actualidad es sinónimo de calidad y seguridad.

Los diferentes sensores incluidos en su construcción permiten una operación continua y segura para el operario y a sus alrededores.

A continuación describiremos las partes constitutivas y las características de las calderas que fueron automatizadas en el desarrollo de este proyecto.

1.3.2.1 Especificaciones de la caldera Kewanee

Descripción de las partes constitutivas de la caldera KEWANEE.

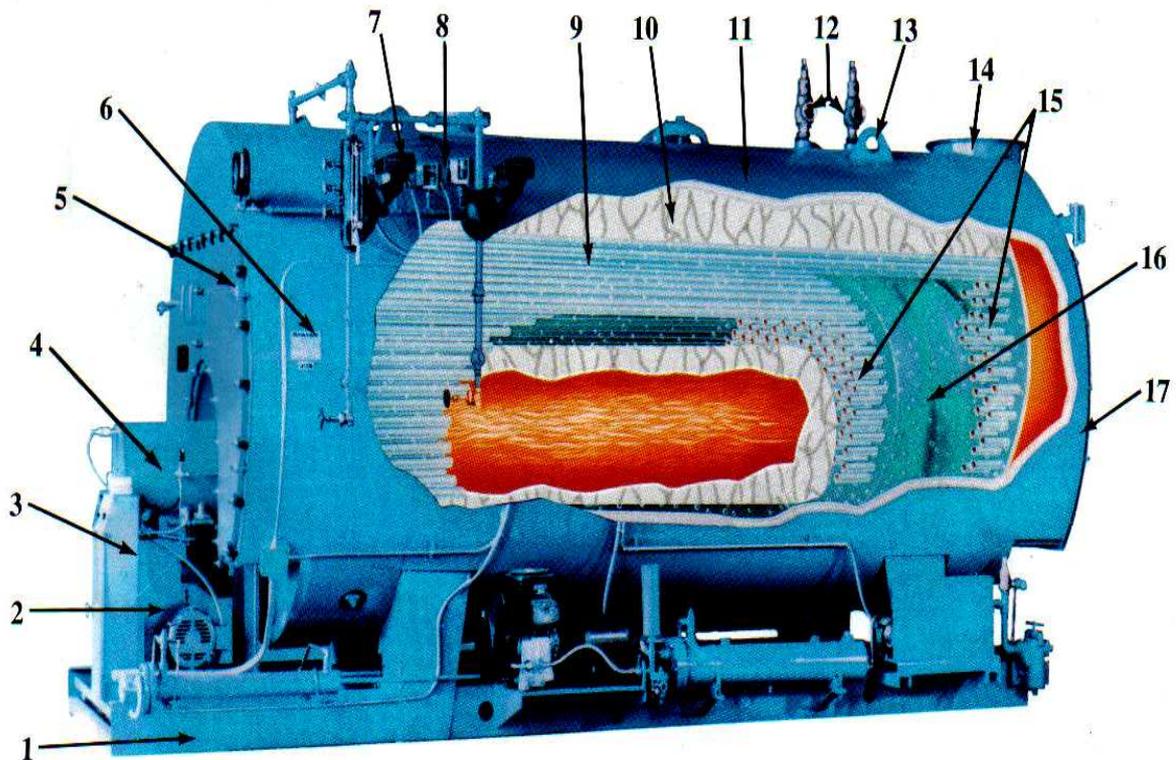


Figura 1.4 Caldera Kewanee

1.3.2.2 Partes

- 1.- La base de la caldera esta hecha de acero y tiene rodillos que facilita su traslado y ayuda a la distribución equilibrada de peso.
- 2.- El quemador fue montado en una pestaña de la base lo cual la hace compacta.
- 3.- Consta de un tablero que en la actualidad contiene las borneras en donde se distribuyen tanto las señales de los sensores de campo ubicados en las calderas como las señales de salidas y entradas del PLC y los voltajes de alimentación (110v, 24 vdc).
- 4.- Kewanee tiene un quemador de fuel oil #6 (bunker) y este fue construido para que funcione de la manera más óptima en conjunto con la caldera.

- 5.- La puerta delantera es aislada y con bisagras que permiten la inspección y limpieza de manera fácil.

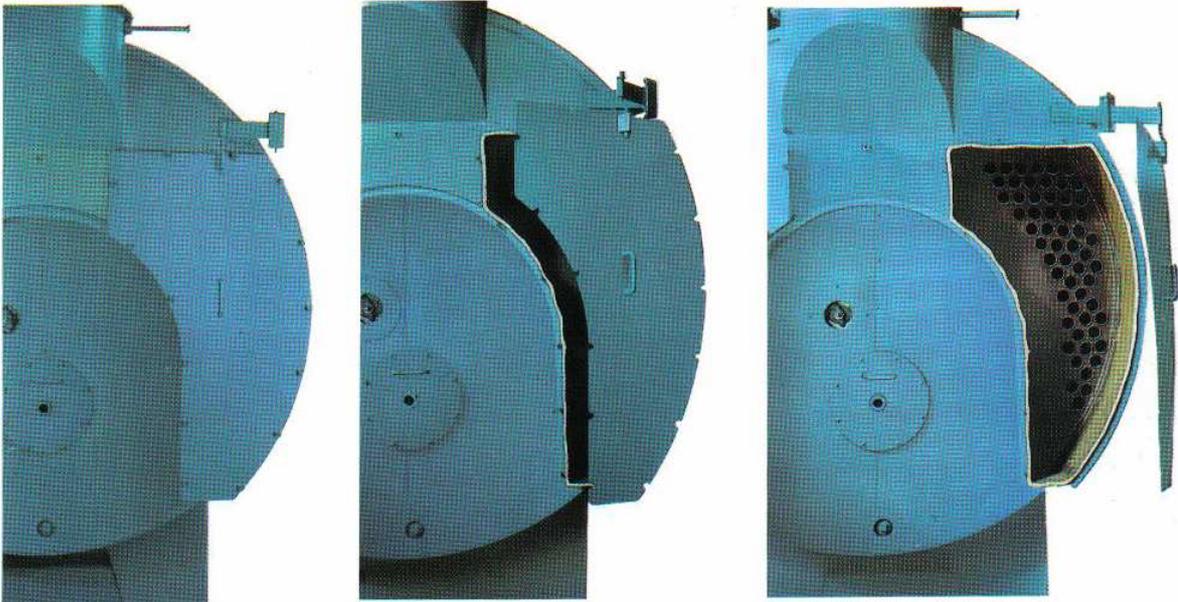


Figura 1.5 Apertura de caldera

- 6.- Placa de características de la caldera.
- 7.- La caldera tiene la protección combinada tanto del mando o accionamiento de la bomba por nivel de agua y del corte por bajo nivel de agua, estos sensores evitan que la caldera funcionen sin agua.
- 8.- Cuenta con sensores disparadores y moduladores de presión que permiten una eficiente utilización del combustible y la operación segura de la caldera.
- 9.- Los tubos que componen el paquete multitubular en el interior la caldera son de acero de 2 pulgadas.
- 10.- En el interior de la caldera tiene una amplia área que asegura la calidad de vapor seco.
- 11.- Kewanee fue construida con 22 chaquetas de acero a la medida con el aislamiento de fibra mineral para aumentar la eficacia del combustible.
- 12.- Cuenta con dos válvulas de seguridad de vapor o válvulas de alivio de agua.
- 13.- Dos agarraderas de acero que permiten el fácil levantamiento de la caldera y posterior instalación.

- 14.- Los humos residuales que queda se dirige hacia la parte de atrás para su fácil evacuación por medio de una compuerta rectangular que los llevan hacia la chimenea.
- 15.- La caldera es de tres pasos en cada una existen paquetes de tubos y cada paso esta separado por láminas para evitar tensiones peligrosas.

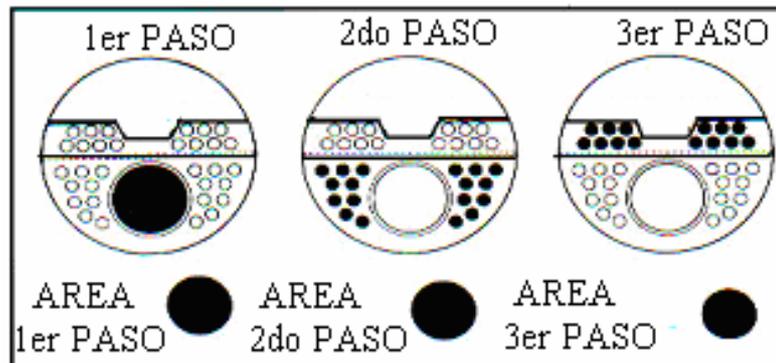


Figura 1.6 Pasos de la Caldera

- 16.- El agua que en su mayoría se aloja en la parte trasera de la caldera permite el mayor intercambio de calor aumentando la eficiencia de la misma.
- 17.- Tiene una puerta trasera totalmente refractaria.¹

1.3.2.3 Data sheet Kewanee.²

CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN DE LAS CALDERAS			
	Caldera 3	Caldera 2	Caldera 1
Presión máxima de trabajo permitida	150 psig (1034 kPA)	150 psig (1034 kPA)	150 psig (1034 kPA)
Presión de prueba hidrostática	225 psig (1551kPA)	225 psig (1551kPA)	225 psig (1551kPA)

¹ Ref. 1.6 página 2, 5

² Ref. 1.7 páginas 1, 2, 3, 4

Aislamiento puerta delantera	1.5 " de espejo pyrolite	1.5 " de espejo pyrolite	1.5 " de espejo pyrolite
Empaquetadura de puerta delantera	1" de diámetro de empaquetadura de fibra cerámica	1" de diámetro de empaquetadura de fibra cerámica	1" de diámetro de empaquetadura de fibra cerámica
Aislamiento de puerta trasera	No requerida	No requerida	No requerida
Empaquetadura de puerta trasera	0.5" de diámetro de empaquetadura de fibra cerámica	0.5" de diámetro de empaquetadura de fibra cerámica	0.5" de diámetro de empaquetadura de fibra cerámica
Aislamiento exterior	2.0" de manta de fibra mineral	2.0" de manta de fibra mineral	2.0" de manta de fibra mineral
Chaqueta de aislamiento	22 chaquetas de acero	22 chaquetas de acero	22 chaquetas de acero
Capa protectora exterior	Esmalte azul	Esmalte azul	Esmalte azul

Tabla 1.2 Características de las calderas

PESO Y VOLUMEN DE LA CALDERA #3	
	Caldera 3
Peso sin agua aproximado	16.600 lbs.
Peso con agua aproximado	28.672 lbs.
Espacio para vapor ,con nivel normal de agua	34.9 (cu ft.) (pies cúbicos)
Cantidad de agua en el nivel normal	1.188 galones
Cantidad de agua con la caldera inundada	1.448 galones

Tabla 1.3 Peso y volumen de la caldera #3.

CONDICIONES TÍPICAS DE OPERACIÓN DE LA CALDERA			
	Caldera 3	Caldera 2	Caldera 1
Superficie del hogar a ser calentado	1250 (sq ft) pies cuadrados	500 (sq ft) pies cuadrados	500 (sq ft) pies cuadrados
Potencia de caldera, rango máximo de Salida	250 BHP (horse power boiler)	100 BHP (horse power boiler)	100 BHP (horse power boiler)
Presión típica de operación	110 psi (758 kPa)	110 psi (758 kPa)	110 psi (758kPa)
Eficiencia del combustible fuel oil #6 (Bunker)	86,57%	86,57%	86,57%
Rangos de vapor generado en condiciones nominales	8.369lb/hr (libras por hora)	3.450 lb/hr (libras por hora)	3.450 lb/hr (libras por hora)
Tamaño de la boquilla de vapor	6 “	-----	-----
Velocidad de salida de vapor	2.791 ft/min (pies por minuto)	-----	-----
Capacidad máxima de vaporización	9.763 lb/hr con una presión de saturación de 150 PSI	-----	-----
ESPECIFICACIONES Y RANGOS DEL QUEMADOR			
	Caldera 3	Caldera 2	Caldera 1
Número del modelo del quemador	PHX-250-O6	-----	-----
Tipo de combustible	Fuel oil # 6	Fuel oil # 6	Fuel oil # 6

	(bunker)	(bunker)	(bunker)
Poder calorífico del combustible	150.000 Btu/galón	150.000 Btu/galón	150.000 Btu/galón
Máximo rango de salida del combustible por la boquilla inyectora	64.4 gal /hr (galones por hora)	-----	-----
Potencia del motor de ventilador	10 HP	10 HP	10 HP
Potencia del motor de la bomba de combustible #1	½ HP	No existen	No existen
Potencia del motor de la bomba de combustible #2	¼ HP	½ HP	½ HP
Potencia del motor de aire de compresión	10 HP	5 HP	5 HP
Calentador eléctrico del combustible	6.0 Kw	6.0 Kw	6.0 Kw
SENSORES DE NIVEL DE AGUA, INDICADORES, ALARMAS Y CONTROLADORES			
	Caldera 3	Caldera 2	Caldera 1
Localización del visualizador de la columna de agua	Situado a la derecha de la caldera	Situado a la derecha de la caldera	Situado a la derecha de la caldera
Válvula de desfogue de la columna de agua	Válvula de compuerta, diámetro 1", hecha de bronce	-----	-----

Tipo de control de nivel de agua	Control ON-OFF de la bomba de alimentación de agua	Control ON-OFF de la bomba de alimentación de agua	Control ON-OFF de la bomba de alimentación de agua
Mando sobre el control del nivel de agua	Switch de control de la bomba en dispositivo 157S	Switch de control de la bomba en dispositivo 157S	Switch de control de la bomba en dispositivo 157S
1er switch de corte por bajo nivel de agua	Switch de alarma en dispositivo 157S	Switch de alarma en dispositivo 157S	Switch de alarma en dispositivo 157S
2do control de corte por bajo nivel de agua con reset manual	Dispositivo M&M 750-MT-120 y sensor de nivel remoto RS-1-BR-1	Dispositivo M&M 750-MT-120 y sensor de nivel remoto RS-1-BR-1	Dispositivo M&M 750-MT-120 y sensor de nivel remoto RS-1-BR-1
Localización del 2do control de corte por bajo nivel de agua con reset manual	Situado a la derecha de la caldera	Situado a la derecha de la caldera	Situado a la derecha de la caldera
Indicador de vidrio de nivel de agua	Ubicado en dispositivo 157S indicador de vidrio de 5/8" de diámetro	Ubicado en dispositivo 157S indicador de vidrio	Ubicado en dispositivo 157S indicador de vidrio

Tabla 1.4 Sensores y controladores de agua en las calderas.

INDICADORES DE PRESIÓN DE VAPOR, ALARMAS Y CONTROLADORES			
	Caldera 3	Caldera 2	Caldera 1
Indicador de presión de vapor	0- 300 psi (2068 kPa),6" de diámetro	0- 300 psi (2068 kPa),6" de diámetro	0- 300 psi (2068 kPa),6" de diámetro
Presostato de control de operación	Dispositivo L404A de 10-150 psi (69-1034kPa)	Dispositivo L404A de 10-150 psi (69-1034kPa)	Dispositivo L404A de 10-150 psi (69-1034kPa)
Presostato de modulación	Dispositivo L91B 135ohm. 5-150 psi	Dispositivo L91B 135ohm. 5-150 psi	Dispositivo L91B 135ohm. 5-150 psi
Presostato de control de límite máximo	Dispositivo L404C MR 10-150 psi	Dispositivo L404C MR 10-150 PSI	Dispositivo L404C MR 10-150 PSI
Válvula de seguridad #1	Conbraco 19-602-35 150 PSI	Conbraco 19-602-35 150 PSI	Conbraco 19-602-35 150 PSI
Capacidad de liberación de la válvula de seguridad #1	6593 lb/hr	5341 lb/hr	5341 lb/hr
Válvula de seguridad #2	Conbraco 19-502-35 150 PSI	Conbraco 19-502-35 150 PSI	Conbraco 19-502-35 150 PSI
Capacidad de liberación de la válvula de seguridad #2	4215 lb/hr	3464 lb/hr	3464 lb/hr
Capacidad total de liberación de todas las válvulas de seguridad	10846 lb/hr	8805 lb/hr	8805 lb/hr

Tabla 1.5 Sensores de las calderas.¹

¹ Ref. 1.7 páginas 1, 2, 3, 4

1.4 ANÁLISIS DE CONSUMO DE VAPOR EN LA PLANTA DE FERRERO

1.4.1 DEMANDA BASE DE VAPOR

Los datos obtenidos de la demanda base fueron proporcionados por los técnicos de la planta y fueron determinados durante los días de fin de semana que es cuando la planta trabaja a su menor capacidad obteniendo el siguiente resultado:

Demanda Base de Vapor **1.550 [lb. /h]**

1.4.1.1 Demanda actual de vapor.¹

La demanda actual máxima de vapor se ha calculado tomando en cuenta los consumos a plena carga de todos y cada uno de los equipos que utilizan vapor. La figura 1.7 y la tabla 1-6 muestra los consumos de vapor de cada equipo en las zonas de: calderas, chocolate y tic tac.

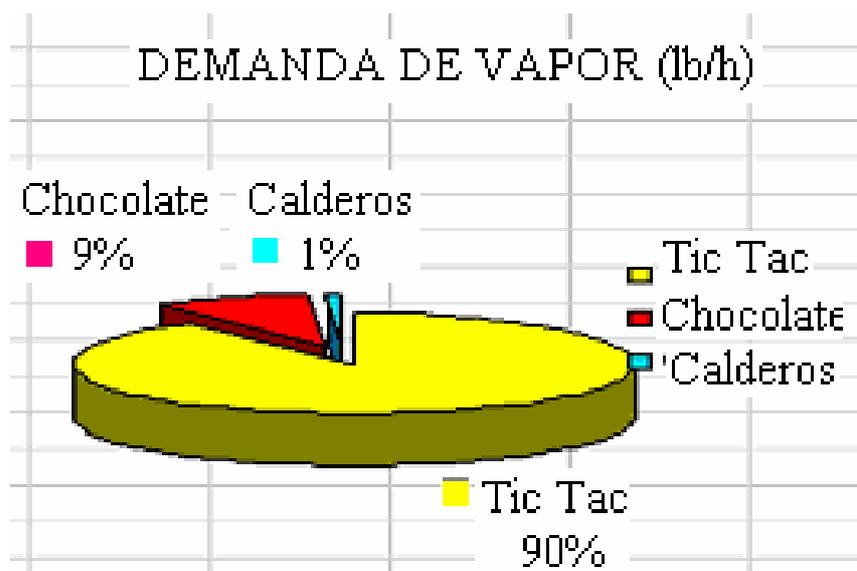


Figura 1.7 Demanda de vapor.

¹ Ref. 1.8

SECCIÓN	SERVICIO	[lb/h]
CALDEROS	Calentamiento tanque búnker 6.000 gls	15
	Calentamiento tanque búnker 4.000 gls	10
	Calentamiento tanque búnker uso diario	5
SUBTOTAL		30
CHOCOLATE	Calentador de agua 60 grados	120
	Calentador de agua 50 grados	160
	Plataforma prepar. jarabe y calentamiento tubería jarabe	300
	Calentador de agua limpieza	160
SUBTOTAL		740
TIC TAC	Calentador de agua limpieza CIBEC y LODIGE	150
	Equipo de climatización para sala de estampado	600
	Granulador CIBEC No 1	600
	Granulador CIBEC No 2	600
	Secador de lecho fluido	80
	Plataforma prepar. jarabe y calentamiento tubería jarabe Bassinas línea B	550
	Bassinas línea B	1,200
	Plataforma prepar. jarabe y calentamiento tubería jarabe Bassinas línea A	350
	Bassinas línea A	840
	Equipo deshumidificación para Bassinas líneas A y B	600
SUBTOTAL		5,570
TOTAL		6,340
CAPACIDAD NOMINAL DE GENERACIÓN A LA ALTITUD DE TUMBACO		12420 Lb/h

Tabla 1.6 Demanda de vapor.

Cabe destacar que de lo observado en el transcurso del tiempo en el cual se hizo la automatización de las calderas se desprende las siguientes aclaraciones.

- Cuando las dos calderas de 100 BHP de potencia funcionan al mismo tiempo abastecen de manera suficiente la demanda de vapor de la planta.

- El tercer caldero de 250 BHP puede abastecer a la demanda de vapor por si solo.

De estas dos observaciones concluimos que la demanda de vapor normal de la planta esta por debajo de la demanda nominal que pueden entregar las tres calderas encendidas a la vez.

Esta operación alternada de funcionamiento permite el mantenimiento continuo de las mismas con lo cual se alarga su vida útil y permite asegurar el abastecimiento continuo de vapor en el caso de producirse alguna falla o daño en alguna caldera cuya reparación no sea a corto plazo.

1.4.1.2 Costo de producción de vapor.

El costo de producción de vapor ha sido determinado en base al combustible requerido para la producción de una libra de vapor, partiendo de una temperatura de agua de alimentación a los calderas de 70 [°C], y considerando una presión promedio de vapor generado de 85 [psig].

El calor promedio requerido para producir una libra de vapor es de 1.200 [btu].

Si consideramos una eficiencia del caldero del 80 %, requeriremos 1.440 [BTU/lb]

Si el costo de fuel oil # 6 es de 0.52 USD/galón.

$$\frac{1440.BTU}{1.libra} * \frac{1galón}{150000BTU} * \frac{0,52\$}{1.galón} = 0,004992.\$/libra$$

El costo de combustible para producción de una libra de vapor, será de USD. 0.005, y si consideramos que el 80 % del costo total de generación de vapor es el combustible y el 20 % los gastos operacionales, el costo total de generación de vapor será de 5USD/1000lb de vapor.

1.5 CONTROL ANTIGUO

Cada una de las tres calderas contaba con un dispositivo de control independiente ubicado en su correspondiente tablero y la operación del sistema la hacía el operador trasladándose a cada sitio lo cual le impedía tener una visión en conjunto del sistema y dificultaba el monitoreo continuo de las tres calderas.

El dispositivo encargado de realizar el control de los calderos es el denominado E110 FIREYE FLAME de la marca fireeye.



1.5.1 CONTROLADOR E110 FIREYE FLAME MONITOR.

El sistema de Fireeye® E110 FLAME-MONITOR es un sistema de control basado



en un microprocesador el cual era el encargado de realizar una óptima secuencia de encendido del quemador, esto se lograba controlando la ignición, monitoreo de la llama y la mezcla aire-combustible.

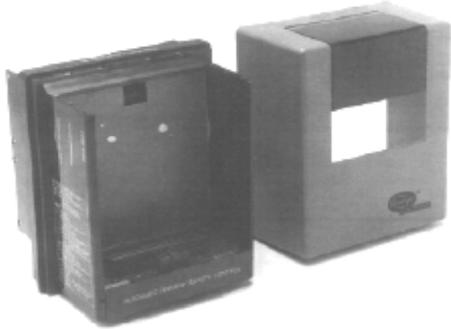
Este controlador comandaba las válvulas de gas y de combustible para obtener una operación apropiada y segura de la caldera.

Figura 2.1 Fireeye® E110 FLAME-MONITOR.

Las partes con las que contaba este controlador eran las siguientes:

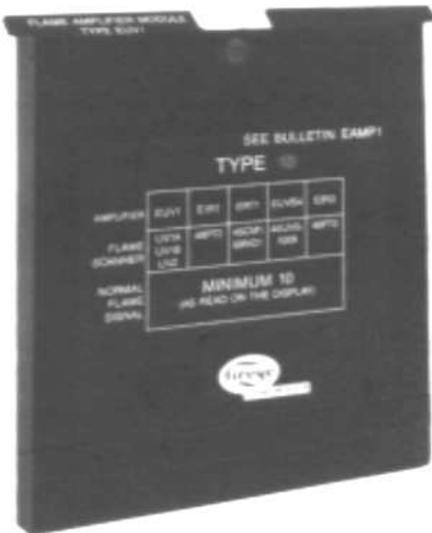
- Chasis E110.
- Módulo programado.
- Módulo amplificador.
- Base para el cableado.

1.5.1.1 Chasis E110 .



En este chasis se colocaban todas las partes que constituían el controlador y que a continuación describiremos.

1.5.1.2 Módulo amplificador.



El módulo FIREYE E1R1 se lo usaba en conjunto con el sistema FIREYE FLAME-MONITOR y era el encargado de detectar llama en el interior de la caldera usando el sensor infrarrojo de escaneo.

El sensor infrarrojo que se utilizaba para este módulo era el IR48 PT2 9000 scanner



1.5.1.3 Módulos programado EP160.



El módulo EP160 proporcionaba el arranque del programa y el chequeo de: sensores bajo fuego, la válvula de combustible, presión de aire, presión de combustible, seguidamente proporcionaba los tiempos de prepurga y postpurga tanto baja como alta, tenía programado los tiempos de encendido de llama y manejaba al motor modulador. Estaba diseñado para que cuando uno de estos sensores falle inicie un cierre de seguridad del quemador.

El cableado y la secuencia de encendido que esta programado en la tarjeta EP160 esta representado en los siguientes gráficos.¹

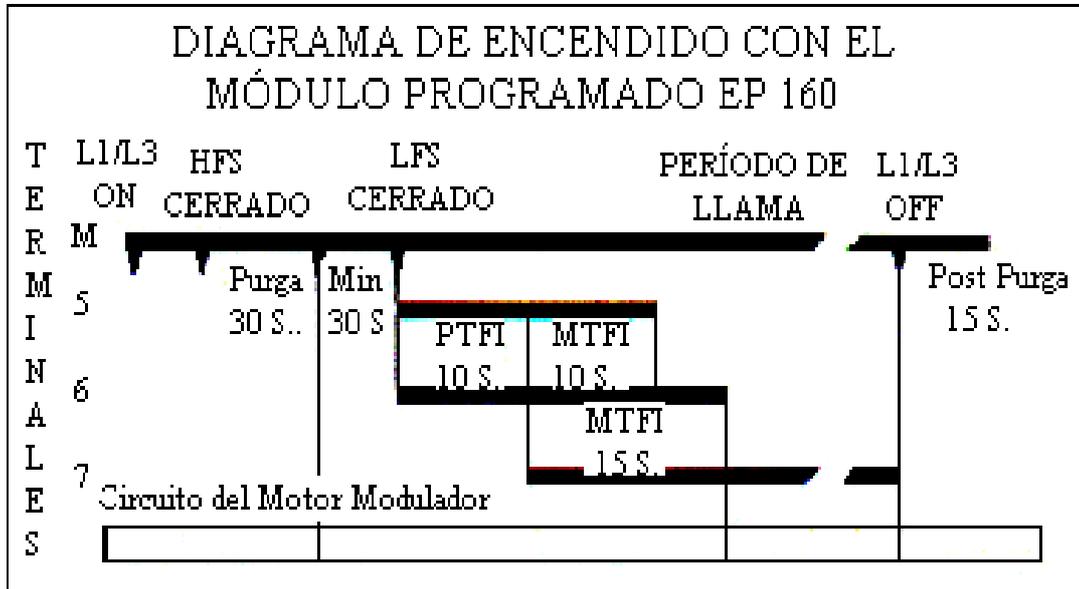


Figura 2.2 Secuencia de encendido normal.

HFS= Hight Fire Switch.

LFS= Low Fire Switch.

PTFI= Pilot Trial for Ignition.

MTFI= Main Trial for Ignition.

1.6 SENSORES Y ACTUADORES EXISTENTES.

Los sensores que fueron incluidos en la construcción original de las calderas y que fueron usados en el proyecto actual se dividen en tres grandes grupos:

- Sensores de presión de vapor.
- Sensores de nivel de agua.
- Sensores de temperatura.

Dentro de los sensores de presión se encuentran los siguientes:

¹ Ref. 2.1 páginas 6, 7, 11

- Presostato de control de operación L404A.
- Presostato de seguridad (alto límite) L404C.
- Presostato de modulación L91B.

Dentro de los sensores de nivel de agua se encuentran los siguientes:

- Series 157 McDonnell & Miller.
- Series 750 “Guard Dog”

Dentro de los sensores de temperatura se encuentran los siguientes:

- Detector de llama Honeywell.
- Calentadores del fuel-oil (precalentadores).

1.6.1 SENSORES DE PRESIÓN DE VAPOR, ALARMAS Y CONTROLADORES.

Los sensores de presión que permiten una operación segura de la caldera y una eficiente utilización del combustible, son tres presostatos y a continuación se describirá sus principales características y modos de operación.

1.6.1.1 Presostato de control de operación L404A.



En este presostato se setea el valor máximo al que puede llegar la presión en el interior de la caldera, los rangos de seteo están entre los 10 y los 150 psig.

Características:

- Puede ser usado con vapor de agua, aire y gases que no sean de combustibles o fluidos no

Figura 2.3 Presostato L404A.

corrosivos, también se permite el uso con el amoníaco, oxígeno, agua destilada, y medios similares.

- Tiene dos tornillos de ajuste para el seteo tanto de la presión principal como de la diferencial.
- Las platinas indicadoras tiene marcada las unidades tanto en (psi) como en (kg/cm^2).
- En el interior del presostato existe un bulbo que tiene un movimiento de sube y baja que actúa de acuerdo a las presiones en el interior de la caldera.
- La tapa de plástico transparente permite observar la calibración de la presión tanto de la escala principal como de la escala substractiva o diferencial y permite ver los movimientos del bulbo cuando se presentan cambios de presión.¹

Para observar las dimensiones y partes del presostato L404A remítase al anexo 2.1 Fig. 2.1.1 y 2.1.2

Número de modelo	Rango de operación		Escala substractiva diferencial		Máximo pico de presión		Interruptor
	psi	kg/cm^2	psi	kg/cm^2	psi	kg/cm^2	
L404A	10	0,66	8	0,56	225	15,8	Acción de subida de presión
	a	a	a	a			Rotura, apertura del switch
	150	10,6	16	1,10			

Tabla 2.1 Capacidad de medición del presostato L404A

¹ Ref. 2.2 páginas 1, 2, 3, 4

1.6.1.2 Presostato de seguridad (alto límite) L404C.

La forma de funcionamiento del presostato de seguridad L404C es la misma que la del presostato L404A, actúa en caso que el presostato de operación no haya detectado que el valor de presión seteado ha sido sobrepasado.

La única diferencia entre el presostato L404A y el L404C radica en que cuando el presostato de seguridad actúa los contactos no regresa a su estado original hasta que se cumplan dos condiciones:

- La presión en el interior de la caldera descienda por debajo de los valores seteados.
- Y que la barra ubicada en la parte superior del sensor haya sido presionada y soltada, de esta manera el presostato se resetea.

Para observar las dimensiones y partes del presostato L404C remítase al anexo 2.1 Fig. 2.1.3 y 2.1.4

Se debe tomar en cuenta que el valor seteado en el presostato L404A es inferior al seteado en el presostato L404C como su nombre lo indica este es un dispositivo de seguridad y actúa solamente en caso que el presostato de trabajo sufra alguna avería.¹

1.6.1.3 Presostato de modulación L91B.

Este presostato tiene una tarea muy importante, es el encargado de enviar la señal de control hacia el motor modulador el cual actúa tanto sobre la válvula de bunker como sobre los dampers que permiten el ingreso de aire al interior de la caldera.

¹ Ref. 2.3 páginas 1, 2, 3, 4

Con esto se logra hacer que ingrese mayor o menor cantidad de la mezcla aire combustible haciendo que la presión aumente o disminuya.

Características:

- El Presostato L91B esta disponible para los sistemas de presión de hasta 300 psi [2068 kPa].
- Puede ser usado con vapor, aire, fluidos no corrosivos al latón o bronce, o con gases de combustibles.
- El valor de la resistencia del potenciómetro se mueve en respuesta a cambios de presión situados alrededor del valor seteado en la escala principal.
- El presostato del modelo L91B, tienen un tornillo de ajuste que permite la selección en su escala principal de la presión deseada.
- Cuenta con una tapa plástica transparente que permite ver la acción del potenciómetro ante cambios de presión¹.

Para observar las dimensiones y partes del presostato L91B remítase al anexo 2.1 Fig. 2.1.5 y 2.1.6

Número de modelo	Rango de operación		Potenciómetro No	Ajustable	Rango proporcional		Máximo pico de presión	
	psi	kPa			Psi	kPa	psi	kPa
L91B	5	0,03	23176CB (135 OHM)	SI	5	35	225	1551
	a 150	a 1034			a 23	a 160		

Tabla 2.2 Capacidad de medición del presostato L91B.

¹ Ref. 2.4 páginas 1, 2

Funcionamiento del presostato L91B.

El potenciómetro del controlador L91B y el potenciómetro de realimentación del motor modulador forman un puente eléctrico y su desequilibrio produce una circulación de corriente que actúa directamente sobre un relé equilibrador.

Los cambios de presión hacen que los terminales encargados de barrer la bobina del potenciómetro se muevan, esto varía la resistencia entre R & B y entre R & W.

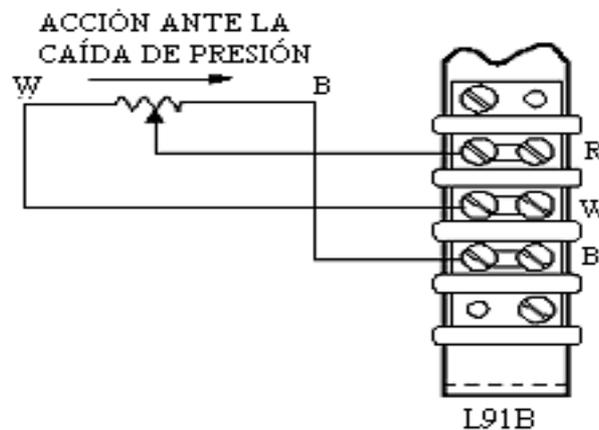


Figura 2.4 Bornera presostato L91B.

Si la presión del interior de la caldera sube el pin R en el presostato se mueve hacia W. este desbalance del circuito produce una corriente que fluye a través de un lado del relé equilibrador, los contactos del mismo se cierran causando que el motor modulador gire y el pin que barre el potenciómetro de realimentación en el interior del motor modulador se mueve también en la dirección en que se balancea el circuito nuevamente. Cuando el circuito se encuentre balanceado el relé equilibrador abre sus contactos y el motor modulador se detiene. La válvula de bunker y los dampers conectados al motor modulador deberían cerrarse reduciendo el fuego y bajando la presión.

De manera similar si la presión del interior de la caldera cae el pin que barre el potenciómetro del presostato L91B se mueve hacia B y los contactos del relé se cierran causando que el motor modulador envíe a la caldera hacia alto fuego mientras que el circuito logre el balance. Al abrirse la válvula de bunker y los

dampers el fuego se incrementa y con esto se incrementa la presión en el interior de la caldera. A este proceso se lo llama modulación.¹

1.6.1.4 Ubicación de los sensores de presión.

Los tres presostatos descritos anteriormente (L404A, L404C, L91B) son los encargados de una eficiente utilización del combustible y una operación segura de las calderas.

La manera como están montados en la parte superior derecha de cada una de las calderas se muestra a continuación.

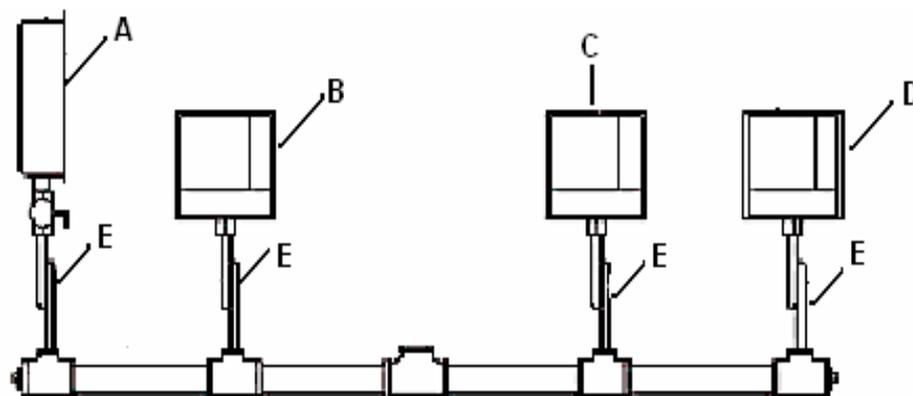


Figura 2.5 Ubicación de sensores de presión.

- a.- Indicador de presión general (WIKA) tiene un rango desde 10 a 200 psi.
- b.- Presostato de control de operación L404A.
- c.- Presostato de seguridad (alto limite) L404C.
- d.- Presostato de modulación L91B.
- e.- Trampa de vapor de agua (aisla al sensor de la alta temperatura y de la humedad).

¹ Ref. 2.4 páginas 7, 8

1.6.1.5 Motor modulador “Modutrol Serie 90 M9174”.

Este motor controla la apertura de la válvula de ingreso de bunker hacia el quemador y de igual manera controla la apertura de los dampers que permiten el ingreso del aire hacia al interior de la caldera.

Si se eleva la presión los contactos que barren la bobina del potenciómetro del presostato L91B se acerca a W esto desequilibra el circuito formado por el potenciómetro del controlador L91B y el potenciómetro de realimentación del motor modulador, causando que el motor modulador viaje hacia su posición cerrada, con esta acción la válvula del bunker va cerrándose poco a poco con lo que disminuye su flujo y los dampers también se cierran evitando que ingrese aire para la combustión.

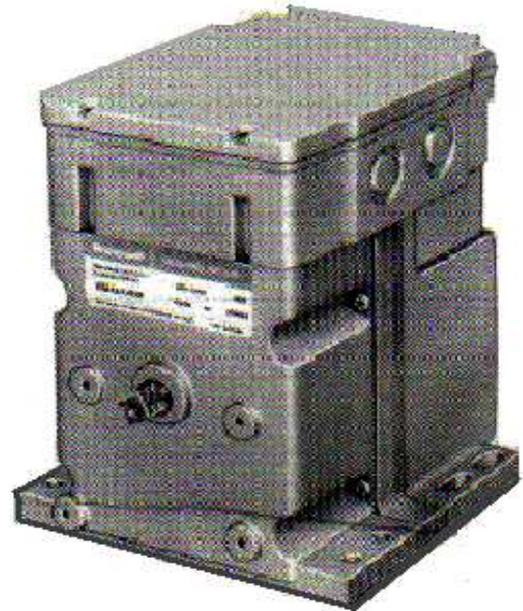


Figura 2.6 Motor modulador.

Cuando el motor modulador se mueve el contacto que barre las bobinas del potenciómetro de realimentación en el interior del motor también se mueve equilibrando el puente con lo cual el motor se detiene.

De igual manera, si la presión cae en el interior de la caldera el contacto que barre la bobina en el potenciómetro del presostato L91B se acerca a B desequilibrando el circuito y con esto el motor viaja hacia su posición alto fuego haciendo que la válvula de bunker y los dampers permitan el paso de mayor cantidad de la mezcla aire-combustible lo cual hace que la caldera aumente la presión.

Cuando disminuya o aumente la demanda de presión de vapor el presostato compensa este desequilibrio haciendo que el motor modulador envíe a la caldera hacia alto fuego o hacia bajo fuego.

Características:

- Fuente de alimentación= 120 vac a 50/60 hz.
- Tiempo de recorrido= 30 segundos.
- Movimiento angular = 90 grados.
- Señal de control= Control proporcional 135 Ohmios.
- Torque/Fuerza= 8.5 Nm. (75 lb-in).
- Switches auxiliares= 2.
- Potencia de consumo= 27 va.
- Peso: 8.04 (lb).
- Rangos de temperatura= -40 a +66[°C] ¹.

Para observar las dimensiones del motor modulador remítase al anexo 2.1 Figura. 2.1.7.

1.6.2 SENSORES DE NIVEL DE AGUA, INDICADORES, ALARMAS Y CONTROLADORES

Los dos dispositivos que serán descritos conforman las seguridades de la caldera en lo que respecta al nivel de agua y son:

- SERIES 157 “McDonnell & Miller”
- SERIES 750 “GUARD DOG”

1.6.2.1 Series 157 McDonnell & Miller.

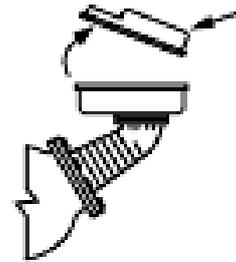
El control de corte por bajo nivel de agua de tipo flotador de la serie 157 está diseñado para aplicaciones de las calderas de hasta 150 psi.

¹ Ref. 2.5 páginas 1, 2, 3, 4

Las aplicaciones para las cuales es utilizado son las siguientes:

- Controlador de la bomba primaria de abastecimiento de agua.
- Corte por bajo nivel de agua.

Al remover la tapa superior del McDonnell & Miller tenemos el sensor compuesto de dos bulbos de vidrio templado en cuyo interior tienen mercurio.



El funcionamiento consiste en que el bulbo tiene un movimiento de sube y baja este movimiento es gobernado por una boya en el interior del cuerpo metálico del McDonnell & Miller que detecta los cambios de nivel de agua, cuando el bulbo se mueve el mercurio circula de un extremo al otro cortocircuitando dos terminales, de los cuales salen dos alambres que posteriormente irán conectados a la bornera que se encuentra dibujada en la figura 2.7 y permite el encendido de la bomba de agua.¹

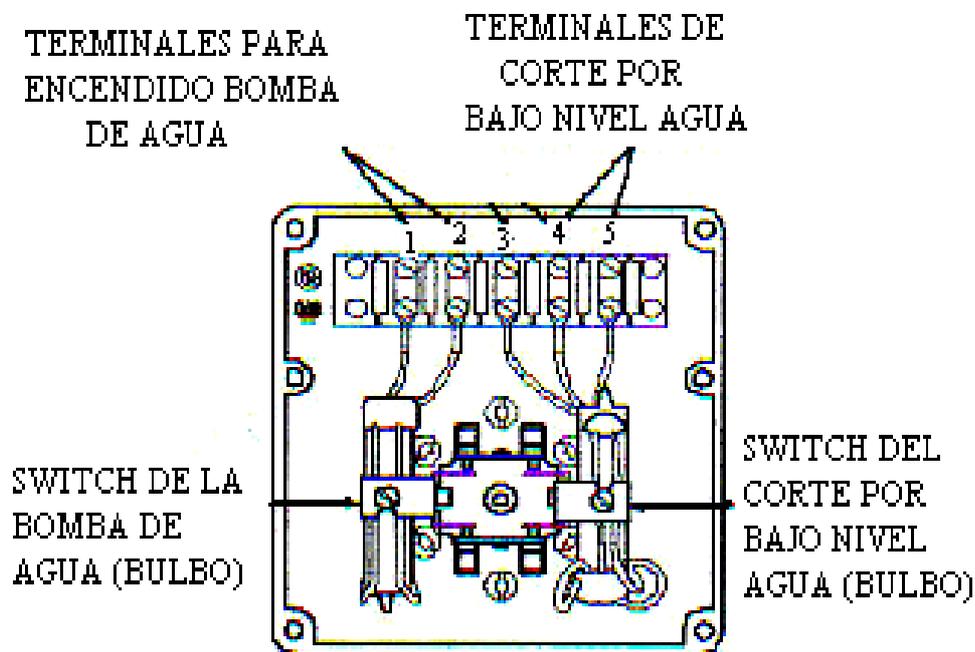


Figura 2.7 Partes del McDonnell & Miller.

¹ Ref. 2.6 página 7

El funcionamiento del segundo bulbo en cuyo interior están los contactos que corresponden a los terminales de corte por bajo nivel de agua es similar, con la diferencia que el bulbo de arranque de la bomba de agua actúa primero que el bulbo que da la señal de bajo nivel de agua.

Voltaje	Bomba o válvula motorizada	
	Capacidad de contactos en amperios	
	A plena carga	Rotor bloqueado
120 Vac	7.4	44.4
240 Vac	3.7	22.2

Capacidad de los contactores para la alarma en amperios	
Voltaje	Amperios
120 Vac	1
240 Vac	1/2

Tabla 2.3 Rangos operación sensor McDonnell & Miller.¹

Presiones	Estado de la bomba de agua	Distancia aproximada antes de la línea de referencia en (mm)	Diferencia en (mm)
0 (PSI o kg/cm²)	Bomba apagada	24	8
	Bomba encendido	16	
	Caldera encendida	16	10
	Caldera apagada	6.4	
150 (PSI o kg/cm²)	Bomba apagada	35	19
	Bomba encendido	16	
	Caldera encendida	22	22
	Caldera apagada	0	

Tabla 2.4 Estado de la caldera y de la bomba de agua.¹

¹ Ref. 2.6 página 2

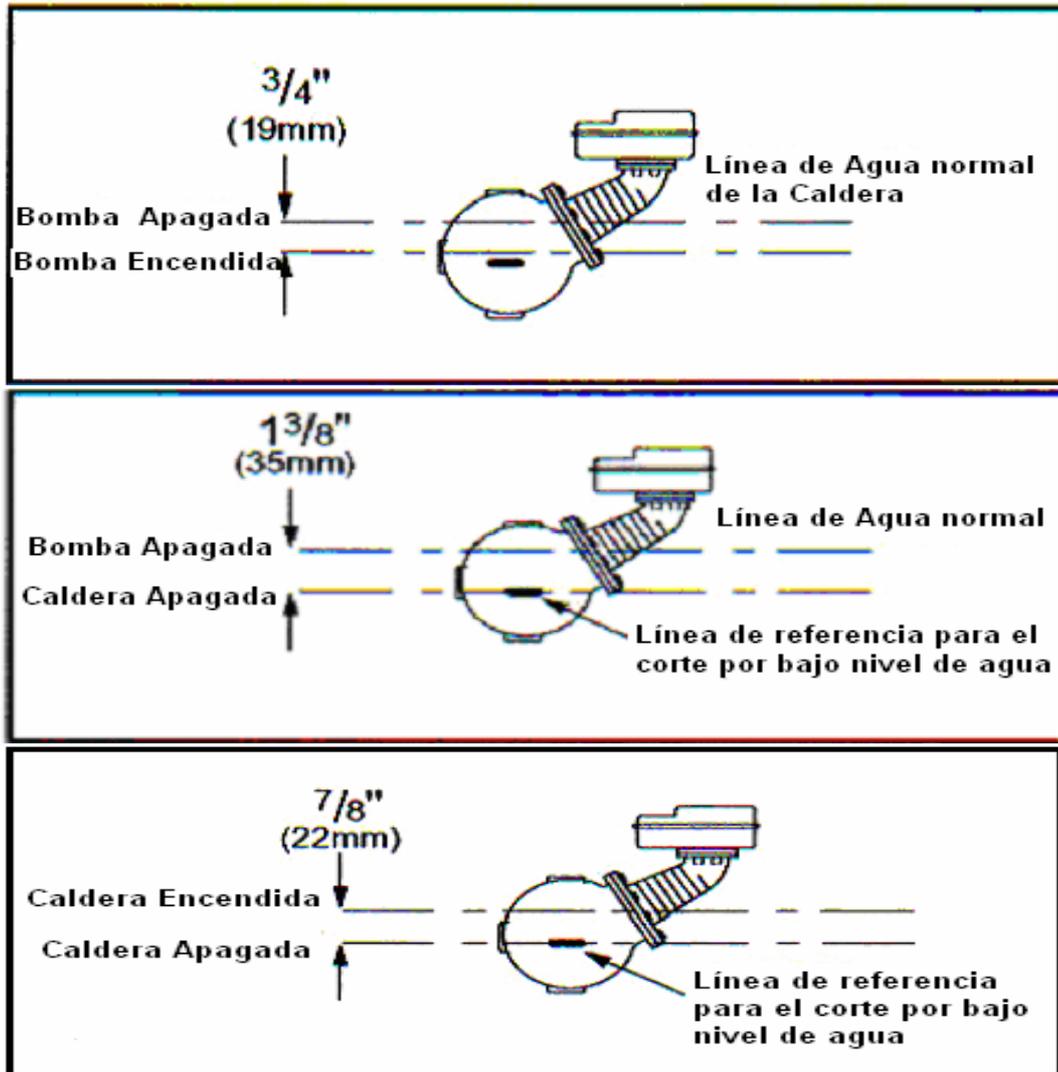


Figura 2.8 Estado de la caldera y de la bomba de agua.²

OPERACION DE LOS SWITCH

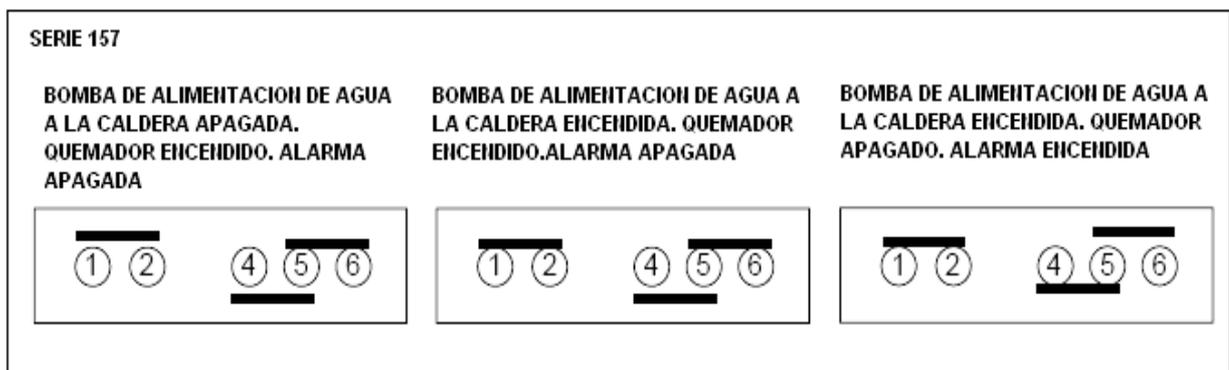


Figura. 2.9 Operación de la switch McDonnell & Millar.¹

¹ Ref. 2.6 página 3

² Ref. 2.6 páginas 2, 6

1.6.2.2 Series 750 “GUARD DOG”

La Serie 750 esta compuesta de la unidad de control Guard Dog y del sensor remoto RS-1-BR-1, estos dos componentes forman parte de la segunda seguridad contra el bajo nivel de agua.

Cuando el nivel de agua desciende por debajo de la sonda “sensor remoto RS-1-BR-1” la unidad de control “serie 750” detecta esta anomalía y abre un contacto interno que es utilizado para llevar una señal de 24 vdc a la entrada correspondiente a esta variable en el PLC, si este contacto se abre el PLC apaga la caldera por bajo nivel de agua.

Para que se restablezca el funcionamiento normal se debe cumplir con dos condiciones:

- 1.- Que el agua retorne a su nivel normal es decir que este sobre la sonda “sensor remoto RS-1-BR-1”.
- 2.- Que se presione el botón de reset ubicado en la parte superior de la unidad de control.

Algo muy importante es que cuando la unidad de control se queda sin energía por el contacto interno se abre con lo cual se apaga la caldera.¹

Características:

- **Sensor Guard Dog**

Voltajes: 110 vac.

Funcionamiento= 0°C a 75°C.

Humedad= 85% (no-condensada).



Figura 2.10 Sensor Guard Dog.

¹ Ref. 2.7 páginas 1, 2

- **Sensor Remoto RS-1-BR1**

Presión de vapor máxima= 250 psi (17.6 kg/cm²).

Presión de agua máxima= 250 psi (17.6 kg/cm²).

Temperatura de agua máxima= 406°F (208°C).



Figura 2.11 Sensor remoto RS-1-BR-1.

1.6.2.3 Ubicación de los sensores de nivel de agua

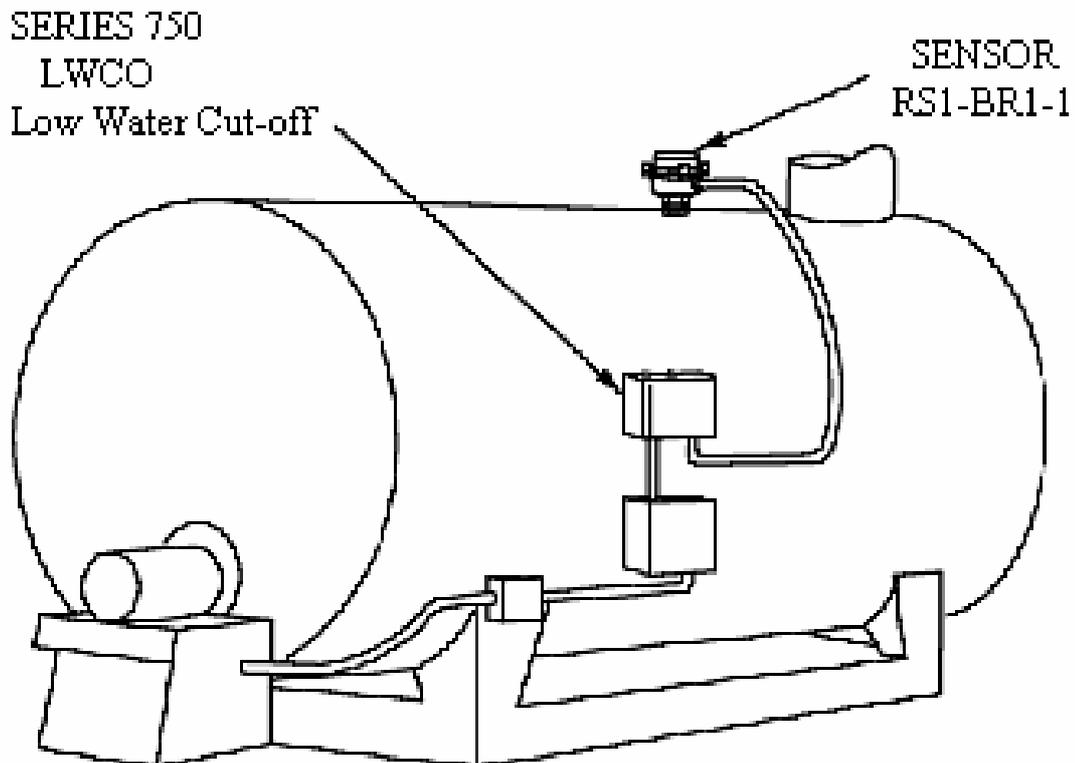


Figura 2.12 Ubicación de los sensores de nivel de agua.

La punta de la sonda o extensión debe instalarse sobre el mínimo nivel de agua, como determina el fabricante de la caldera.¹

¹ Ref. 2.7 página 3

1.6.3 SENSORES DE TEMPERATURA, INDICADORES, ALARMAS Y CONTROLADORES

1.6.3.1 Detector de llama Honeywell.

El dispositivo Honeywell SERIE7800 RM7824A es el encargado de detectar la presencia de llama piloto, la presencia de llama principal o residuos de llama en el interior del hogar en la caldera, cuando una llama es detectada el sensor cierra un contacto auxiliar interno, si por el contrario no hubiese presencia de llama sensor abre su contacto. A cada tipo de detector de llama que existe en el mercado le corresponde su sensor de llama.¹

Características:

- Modelo: RM7824 para las 7800 SERIES.
- Voltaje: 110 V.
- Consumo de Energía: máximo 10W.
- Temperatura: -40°C a +50°C.
- Almacenaje: -49°C a +66°C.
- Humedad: humedad relativa del 85%, sin condensación.
- Vibración: ambiente 0.5G.²

Amplificador de la señal de llama				Detector de llama	
Auto chequeo	Modelo	Respuesta de tiempo ante ausencia de llama	Combustible	Tipo	Modelo
Dinámico con auto chequeo	R7824A	3 segundos	Gas, bunker	ultravioleta	C7824E,F

Tabla 2.5 Características detector de llama

¹ Ref. 2.8 página 1

² Ref. 2.8 página 2



Figura 2.13 Detector de llama SERIE7800 RM7824A.

1.6.3.2 Controlador de temperatura WATLOW serie SD.

Es muy importante que el combustible que abastece al quemador de la caldera en este caso el bunker deba tener una temperatura comprendida entre 80°C y 105°C esto permite que el combustible no sea tan viscoso y su pulverización sea mejor.

Este controlador no vino como parte original de la caldera se lo puso a lo largo del proceso de automatización en las calderas dos y tres.

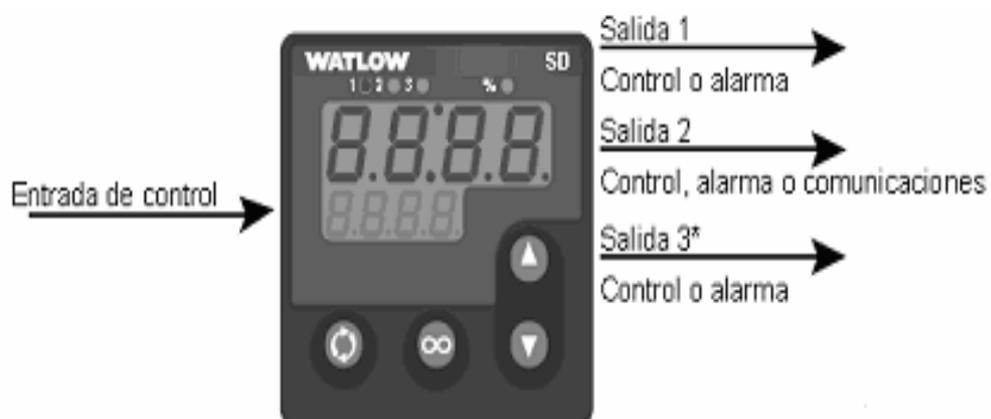


Fig. 2-14 Vista frontal del controlador.

Características:

El controlador watlow serie SD esta basado en un microprocesador, tiene una sola entrada universal que acepta varios tipos de termopares, rtd (dispositivos resistivos de temperatura) o entradas de proceso (0-10VDC, 0-50mVdc, 0-20 mA).

El controlador incluye un tablero frontal dual de cuatro dígitos en rojo o verde, auto ajuste de salidas de calentamiento o enfriamiento, rampa al punto de control, para calentar gradualmente su sistema térmico.¹

Para la programación del WATLOW serie SD remítase al anexo 2.2.

1.6.3.3 Calentadores del fuel-oil (Bunker).

En el funcionamiento de las calderas el bunker debe estar a una temperatura adecuada para asegurarse que la combustión ocurra bajo condiciones óptimas, de este modo se reduce los agentes contaminantes y se aumenta su eficiencia.

Los calentadores eléctricos de fuel- oil de Warren Electric Corporation's (precalentadores) son dispositivos de seguridad y evitan que el combustible llegue frío hacia el quemador de la caldera.

En su interior está dotado de un termostato en el que se colocan la temperatura a la cual se desea que llegue el bunker, cuando esto sucede activa un contactor el cual es utilizado para indicar al PLC que el bunker tiene la temperatura deseada, este termostato se encuentra solamente en la caldera # 1 pero los precalentadores están en las tres calderas.²

¹ Ref. 2.9

² Ref. 2.10



Figura 2.15 Precalentadores Warren Electric.

1.6.4 ESQUEMÁTICO DE CIRCULACIÓN DE FUEL OIL “BUNKER”.

Este esquema ayuda a entender la manera como circula el bunker desde los tanques hasta que se pulveriza en la boquilla y finalmente se realiza la combustión.

Para efectos de la explicación dividiremos en tres partes el esquemático:

- Bombeo y calentamiento de bunker.
- Circulación del bunker por el quemador.
- Alimentación del aire de atomización.

Para mayor información de los elementos más importantes que forman parte del esquemático de circulación de combustible se hallan descritos en el anexo 2.3 dando su funcionamiento y características.

.El esquema completo esta presentado en el anexo 2.4

1.6.4.1 Bombeo y calentamiento de bunker.

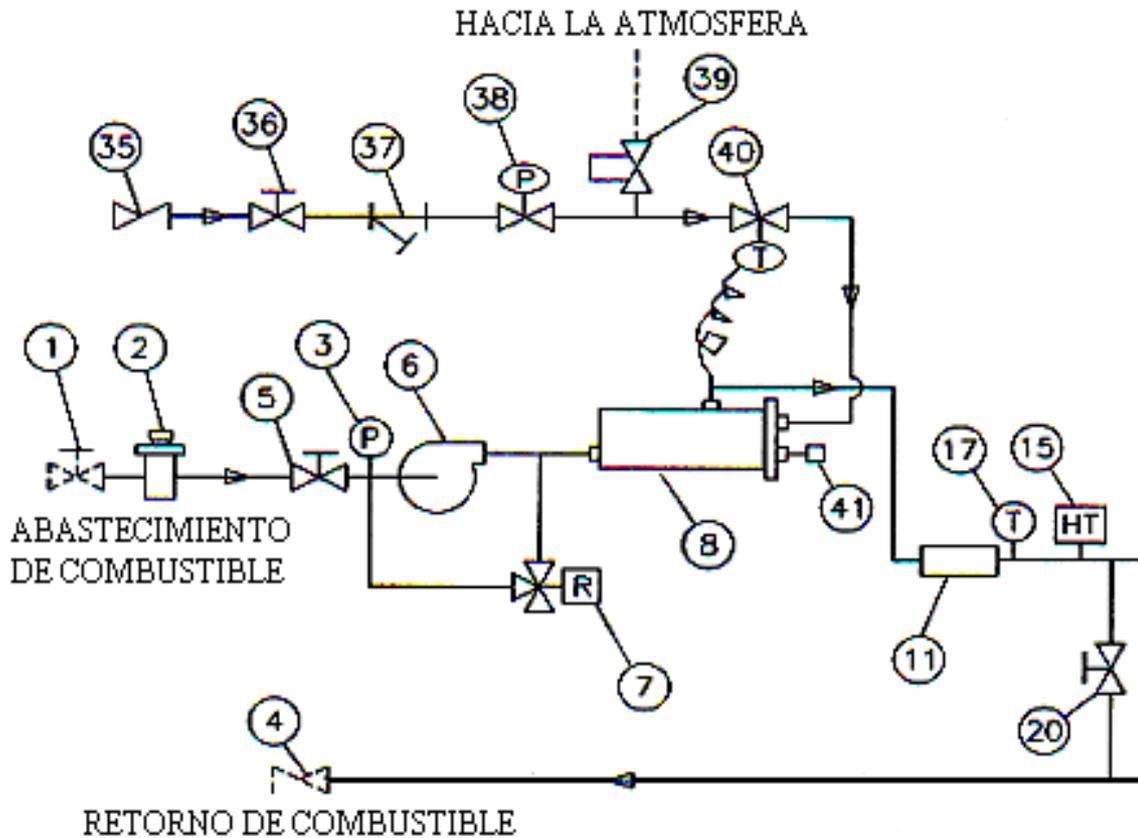


Figura 2.16 Esquema de bombeo y calentamiento de bunker.

1. Válvula de compuerta de abastecimiento de combustible.
2. Filtro de combustible.
3. Indicador de presión diferencial.
4. Válvula check de retorno de combustible.
5. Válvula de entrada a la bomba de combustible.
6. Bomba de bunker.
7. Válvula reguladora de presión de combustible.
8. Calentador de combustible mediante vapor de agua.
11. Calentador eléctrico de combustible.
15. Sensor de alta temperatura de combustible.
17. Indicador de la temperatura de combustible.
20. Válvula de compuerta de inicio de enfriamiento.
35. Válvula check de suministro de vapor.
36. Válvula de compuerta de suministro de vapor.

- 37. Filtro de vapor.
- 38. Regulador de presión de vapor.
- 39. Válvula de seguridad (alivio de la presión de vapor).
- 40. Válvula reguladora de temperatura.
- 41. Trampa de vapor.

1.6.4.2 Esquemático de la circulación del bunker en el quemador.

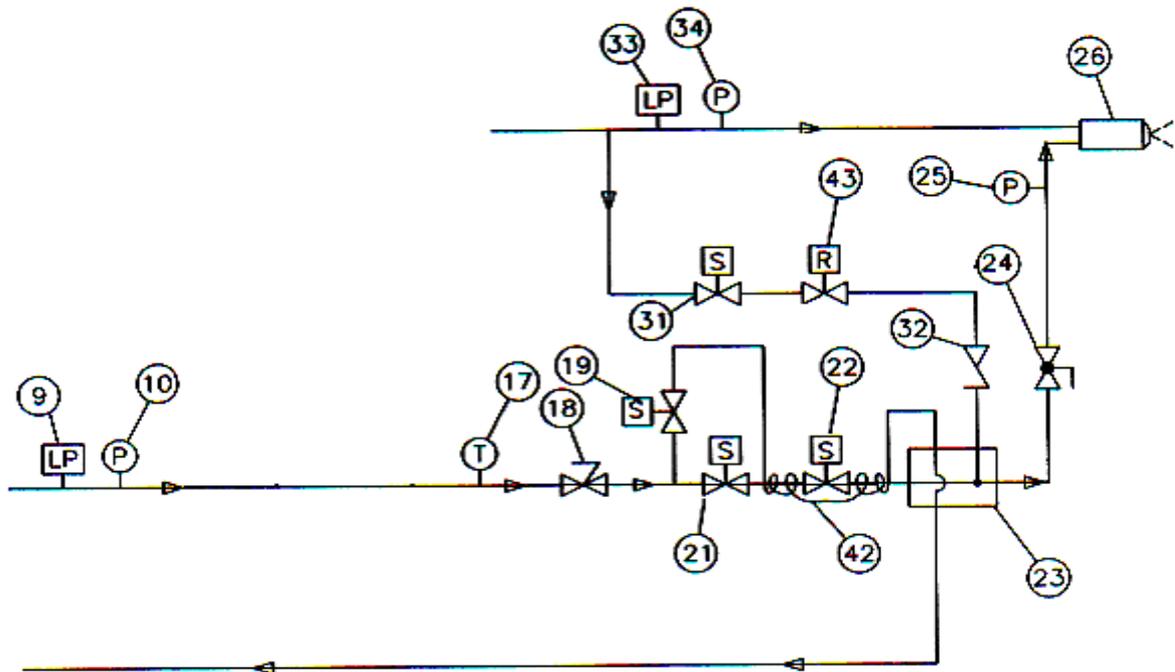


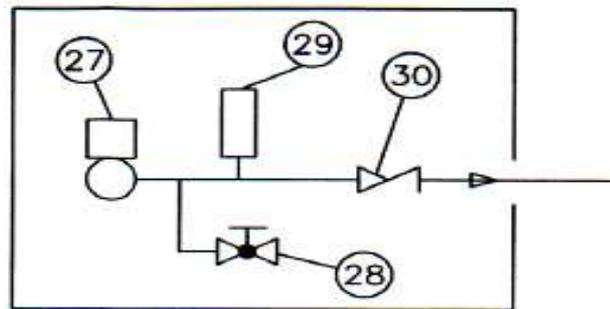
Figura 2.17 Esquemático del Bunker

- 9.- Sensor de baja presión de combustible.
- 10.- Indicador de presión de combustible.
- 17.- Indicador de temperatura de combustible.
- 18.- Válvula de apertura de combustible.
- 19.- Válvula de recirculación de combustible, normalmente abierta.
- 21.- Válvula Principal de combustible, normalmente cerrada.
- 22.- Válvula de Seguridad de combustible, normalmente cerrada.
- 23.- Bloque para la purgar la línea de alimentación a la boquilla.
- 24.- Válvula de cierre de combustible.
- 25.- Indicador de presión de combustible.
- 26.- Boquilla para la atomización y salida del combustible.
- 31.- Válvula solenoide para el aire de purga, normalmente abierta.

- 32.- Válvula check para el aire de purga.
- 33.- Sensor de la presión del aire de atomización.
- 34.- Indicador de la presión del aire de atomización.
- 42.- Tubería de realimentación del bunker.
- 43.- Regulador de la presión del aire de purga.

Las Válvulas que son controladas por el PLC son las siguientes: La válvula de circulación (normalmente abierta), la válvula principal (normalmente cerrada), la válvula de seguridad (normalmente cerrada) y la válvula de la purga de aire (normalmente abierta).

1.6.4.3 Esquemático de la Circulación del aire desde el Compresor



- 27.- Compresor.
- 28.- Válvula de sangrado de aire.
- 29.- Tanque de condensación del compresor.
- 30.- Válvula Check del aire.

1.7 NUEVO SISTEMA DE CONTROL DE CALDERAS.

La filosofía del nuevo sistema es tener una visión general de la operación de todo el sistema de generación de vapor desde un solo punto, esto se logra centralizado el control de las tres calderas.

Esta filosofía se describe en tres objetivos alcanzados y son los siguientes:

- Tiene un tablero de control general centralizado.
- Cuenta con un PLC que realiza el arranque, funcionamiento normal y parada de las tres calderas.
- Dispone de un sistema de visualización centralizado.

1.7.1 TABLERO DE CONTROL GENERAL CENTRALIZADO.

La sala de generación de vapor cuenta con un tablero general en cuyo interior se encuentra todo el nuevo sistema de control, alejado de cada una de las calderas para evitar que la vibración, las altas temperaturas y los posibles derrames de bunker dañen los accesorios y dispositivos de control, en el tablero se instaló un ventilador que evita el sobrecalentamiento de los dispositivos que están localizados en su interior.

El operador cuenta con dos switches para cada caldera los mismos que le permiten encender y apagar manualmente las calderas y las bombas de bunker.

De igual forma cuenta con un selector que le permite elegir cual de los dos PLC asumirá el control total del funcionamiento de las calderas, hay que destacar que en ningún momento pueden funcionar los dos PLC's a la vez, esta restricción está hecha mediante software en cada PLC.

1.7.2 CONTROL DEL ARRANQUE PARADA Y OPERACIÓN NORMAL DE LAS TRES CALDERAS.

En la actualidad las calderas pueden ser controladas por cualquiera de los dos PLC's que se encuentran en el nuevo tablero general, el objetivo de poner dos controladores es disminuir el tiempo de parada del sistema de generación de vapor debido a la falla o daño en uno de los PLC's.

El PLC que asuma el mando de las calderas esta encargado de realizar las siguientes tareas:

- Comandar el arranque, operación normal y parada de todas las calderas.
- Encargarse de llevar a las calderas a un estado seguro (apagado) en el caso de existir una falla en el funcionamiento de las mismas.
- Enviar los mensajes hacia la pantalla visualizadora para que el operador pueda saber el estado en el que se encuentra cada caldera.
- Alertar tanto visual como auditivamente en el caso de producirse una falla en el sistema de generación de vapor

1.7.3 Sistema de visualización centralizado.

En la parte frontal del tablero el nuevo sistema cuenta con dos pantallas de visualización denominada magelis una por cada PLC, dependiendo de cual es el PLC que esté funcionando su correspondiente pantalla despliega los mensajes que sirven para que el operador conozca el estado de las calderas, los mensajes pueden clasificarse en:

- Mensajes de operación:
 - Mensajes de estado.
 - Mensajes de falla.
- Mensajes de información.

En el caso que el operador no se encuentre en la sala de generación de vapor una alarma auditiva colocada en la parte lateral de tablero lo alertará de alguna falla producida en el sistema.

1.7.3.1 Mensajes de operación

Los mensajes de operación se alternan periódicamente en la pantalla de visualización, estos muestran el estado de cada caldera,

Estos mensajes pueden dividirse en dos subgrupos: de estado y de fallas.

Mensajes de estado.

Estos son los mensajes que normalmente se despliegan en la pantalla de visualización, muestran la etapa de trabajo de cada caldera y se alternan periódicamente permitiendo al operador conocer el estado de funcionamiento de todas las calderas.

Mensajes de fallas.

Muestran las fallas de cada caldera y se alternan periódicamente permitiendo al operador conocer los motivos por los cuales la caldera se ha apagado.

1.7.3.2 Mensajes de información.

Los mensajes de información permiten acceder a los datos almacenados en el PLC. A través de estos mensajes de información se pueden observar los registros de tiempo de funcionamiento de los calderos y las fallas registradas por el sistema.

1.8 REQUERIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN DE LAS CALDERAS.

Para realizar el programa de control de las calderas se debe conocer la secuencia mediante la cual la caldera inicia su proceso de encendido, la forma en que abastece la demanda de vapor y en que condiciones la caldera debe pasar a su proceso de apagado.

En el anexo 3.1 se presenta el diagrama de tiempos para el arranque y funcionamiento de la caldera y cuales son los sensores que deben activarse para iniciar el proceso de encendido así como cuales deben estar desactivados para iniciar el proceso de apagado.

Requerimientos de operación:

- 1.- La caldera debe seguir una secuencia para su arranque, operación normal y proceso de apagado.
- 2.- El PLC debe activar las salidas que comandan las válvulas, motores y el motor modulador que permiten el funcionamiento de la caldera de acuerdo al paso en la que esta encuentre.
- 3.-El estado en el que se encuentra la caldera o las fallas que se produzcan deben ser registradas para que posteriormente puedan ser visualizadas.
- 4.- Cuando se produce una falla en cualquiera de las tres calderas el evento debe almacenarse en un registro para poder llevar un histórico de alarmas.
- 5.- Se deben alternar los mensajes de operación y de información en la pantalla de visualización de tal manera que el operador sepa en que condiciones de funcionamiento se encuentra cualquiera de las calderas

6- Al producirse una falla el PLC debe alertar al operador de una manera auditiva. El diagrama sintetizado del nuevo sistema de control se encuentra en el anexo 3.5

1.9 ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA.

1.9.1 VARIABLES DE ENTRADA.

Las entradas que son utilizadas por el programa del PLC fueron determinadas tomando en cuenta el funcionamiento del control antiguo y cuales eran las variables que éste utilizaba, los sensores existentes en cada una de las calderas proporcionan la mayoría de las señales que son necesarias conocer para poder realizar un buen control sobre la caldera y son las siguientes:

CALDERA #1

1. - SELECTOR DE PLC'S
2. - SW "CALDERA 1 ON-OFF"
3. - SW "BOMBA DE BUNKER 1 ON-OFF"
4. - DETECTOR DE LLAMA
5. - SENSOR "BAJA TEMPERATURA BUNKER"
6. - SENSOR "BAJO NIVEL DE AGUA"
7. - SENSOR "ALTA PRESIÓN DE VAPOR"
8. - SENSOR "PRESIÓN AIRE DE ATOMIZACIÓN"
9. - SENSOR "PRESIÓN AIRE DE COMBUSTIÓN"
10. - MICRO "MODULADOR BAJO FUEGO"
11. - SENSORES "BAJA PRESIÓN Y ALTA TEMPERATURA DE BUNKER"
12. - MICRO "MODULADOR EN ALTO FUEGO"
- 13.- CALLAR SIRENA

CALDERA #2

1. - SELECTOR DE PLC'S
2. - SW "CALDERA 2 ON-OFF"
3. - SW "BOMBA DE BUNKER 2 ON- OFF"
4. - DETECTOR DE LLAMA
5. - SENSOR "BAJA TEMPERATURA BUNKER"
6. - SENSOR "BAJO NIVEL DE AGUA"
7. - SENSOR "ALTA PRESIÓN DE VAPOR"
8. - SENSOR "PRESIÓN AIRE DE ATOMIZACIÓN"
9. - SENSOR "PRESIÓN AIRE DE COMBUSTIÓN"
10. - MICRO "MODULADOR BAJO FUEGO"
11. - SENSORES "BAJA PRESIÓN Y ALTA TEMPERATURA DE BUNKER"
12. - MICRO "MODULADOR EN ALTO FUEGO"

CALDERA #3

1. - SELECTOR DE PLC'S
2. - SW "CALDERA 3 ON-OFF"
3. - SW "BOMBA DE BUNKER 3 ON- OFF"
4. - DETECTOR DE LLAMA
5. - SENSOR "BAJA TEMPERATURA BUNKER"
6. - SENSOR "BAJO NIVEL DE AGUA"
7. - SENSOR "ALTA PRESIÓN DE VAPOR"
8. - SENSOR "PRESIÓN AIRE DE ATOMIZACIÓN"
9. - SENSOR "PRESIÓN AIRE DE COMBUSTIÓN"
10. - MICRO "MODULADOR BAJO FUEGO"
11. - SENSORES "BAJA PRESIÓN Y ALTA TEMPERATURA DE BUNKER"
12. - MICRO "MODULADOR EN ALTO FUEGO"

1.9.2 SALIDAS A CONTROLAR.

Las salidas que maneja el PLC' son las siguientes:

CALDERA # 1

- 1.- LLAMA PILOTO (Caldera1)
- 2.- LLAMA PRINCIPAL (Caldera1)
- 3.- MOTOR BOMBA DE BUNKER (Caldera1)
- 4.- MOTORES VENTILADOR Y COMPRESOR (Caldera1)
- 5.- MODULADOR A ALTO FUEGO (Caldera1)
- 6.- MODULADOR A AUTO FUEGO (Caldera1)
- 7.- INDICADOR FALLA

CALDERA # 2

- 1.- LLAMA PILOTO (Caldera2)
- 2.- LLAMA PRINCIPAL (Caldera2)
- 3.- MOTOR BOMBA DE BUNKER (Caldera2)
- 4.- MOTORES VENTILADOR Y COMPRESOR (Caldera2)
- 5.- MODULADOR A ALTO FUEGO (Caldera2)
- 6.- MODULADOR A AUTO FUEGO (Caldera2)

CALDERA # 3

- 1.- LLAMA PILOTO (Caldera3)
- 2.- LLAMA PRINCIPAL (Caldera3)
- 3.- MOTOR BOMBA DE BUNKER (Caldera3)
- 4.- MOTORES VENTILADOR Y COMPRESOR (Caldera3)
- 5.- MODULADOR A ALTO FUEGO (Caldera3)
- 6.- MODULADOR A AUTO FUEGO (Caldera3)

Todas las señales de entrada y de salida son discretas de 24 vdc.

1.10 SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL.

Uno de los requerimientos para la implementación del proyecto fue que se procure utilizar los sensores, actuadores y demás implementos de control existentes. Es por esta razón que para los PLC's se utilizaron las unidades disponibles de la línea de Modicon y Telemecanique, marcas distribuidas por SCHNEIDER Electric, líder mundial en equipos de automatización y control.

Los software en los cuales se ha programado los dos PLC's respectivamente son muy conocidos y la experiencia de haber trabajado antes con estos programas garantiza rapidez.

Después de realizar el diagrama de flujo del programa, se determinó que el PLC en el cual se iba a realizar la programación debía tener como mínimo un espacio de memoria de 256 K sram.

La velocidad estándar del procesador debe estar entre los 25 y 50 MHz. esto es debido a que se ha tenido al experiencia de trabajar con CPU's que tienen esta velocidad los cuales no han causado ningún problema.

Como en el proyecto incluye una pantalla de visualización los PLC's deben tener la capacidad de manejar vía de comunicación ya sea por medio de módulos o puertos incorporados, la comunicación que se manejó es Modbus.

Son 19 las salidas que el PLC maneja, todas estas son discretas de 24 vdc debido a esto se utilizó dos módulos de 16 salidas discretas.

Los PLC's manejan 37 entradas digitales de 24vdc a través de tres módulos de 16 vías, a cada módulo le llegan las señales de una caldera.

Las pantallas de visualización deben tener por lo menos dos líneas de caracteres retroalimentados ya que se quiere que se puedan visualizar en la oscuridad, también debe tener los botones necesarios para maniobras desde la pantalla, ya que se utilizó esta interfaz para poder reconocer las falla y navegar a través de los menús con los que cuenta el presente proyecto.

1.10.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PLC'S UTILIZADOS.

1.10.1.1 Plc Compact.

El PLC Compact pertenece a la línea de SCHNEIDER Electric denominada Modicon, que ofrece versatilidad, eficiencia, tanto en procesamiento de datos como en comunicaciones y compatibilidad de programación de la familia 984.

La funcionalidad de comunicación estándar modbus y las funcionalidades de comunicación opcionales modbus plus permiten al controlador comunicarse con los equipos de programación, herramientas de diagnóstico portátiles y otros dispositivos de control y visualización.

La configuración, asignación de E/S y programación de los controladores Compact fue hecha con el software concept V2.5.¹

1.10.1.1.1 Cpu plc compact.

Los controladores Compact son unidades modulares, de pequeño tamaño y consistente con la arquitectura 984, son fáciles de instalar y ocupan poco espacio.

¹ Ref. 3-1

Características del cpu utilizado en el proyecto.

La cpu E984-275, con dos puertos de comunicación modbus y una interface con red modbus plus, tiene una flash ram de 1 Mb, 512K de sram, 8 K. palabras de memoria de aplicación, 16 K. palabras de memoria de señal, 128 K. palabras de registros y procesador de 25 MHz.



Figura 3.1 Cpu E984-265 Compact

La descripción de cada una de las partes que conforman el panel frontal del PLC son detalladas a continuación:

- **MICRO SWITCH:** En la parte frontal de la CPU se encuentran dos conmutadores deslizantes de tres posiciones.

El conmutador superior se utiliza de la manera siguiente: en la posición superior protege la memoria, en la posición central no protege la memoria, en la posición inferior permite intercambiar la tarjeta PCMCIA.

El conmutador deslizante de tres posiciones de la parte inferior se utiliza para seleccionar la configuración del parámetro de comunicación para el puerto modbus 1 (RJ45).

- **Conmutadores rotativos:** Para la configuración modbus plus y las direcciones del puerto modbus se utilizan dos conmutadores rotativos.
- **Sincronización Horaria del PLC**

En la parte frontal de la CPU se encuentra un conector que se utiliza para conectar el receptor 470 GPS 001 00 para la sincronización de fecha/hora del reloj con otros PLC remotos.

- **Indicadores LED**

La siguiente tabla describe los indicadores led y su función¹.

Indicador LED	Significado
Ready (verde)	El led está encendido siempre que el estado de funcionamiento sea válido es decir que ha superado el diagnóstico de arranque. El led está apagado cuando los diagnósticos detectan condiciones de error.
Run (verde)	El controlador se ha iniciado y está resolviendo la lógica.
low Battery (rojo)	Es preciso cambiar la batería. La batería tiene 10 días de autonomía a partir del primer aviso.
Modbus 1 (verde)	Las comunicaciones están activas en el puerto Modbus 1. Esto se aplica también a los led's de los puertos Modbus 2 y Modbus plus.

Tabla 3.1 Leds indicadores.

¹ Ref. 3-2

1.10.1.1.2 Módulos de entradas y salidas plc Compact.

ENTRADAS.

Todos los módulos de entradas utilizados son de tipo digitales y su código es el AS-BDEO-216. En el proyecto se utilizó tres módulos de entradas, un módulo para el grupo de señales de cada caldera.



Figura 3.2 Módulo DEO 216.

El DEO 216 es un módulo de 16 puntos de entradas binarias de 24 vdc. Este módulo detecta señales de entrada de dispositivos de detección de campo, tales como botones, pulsadores y otras fuentes de entradas de 24 vdc y convierte estas señales en niveles de tensión lógicos.

Las señales son cableadas en campos de dos grupos, ocho señales por grupo.

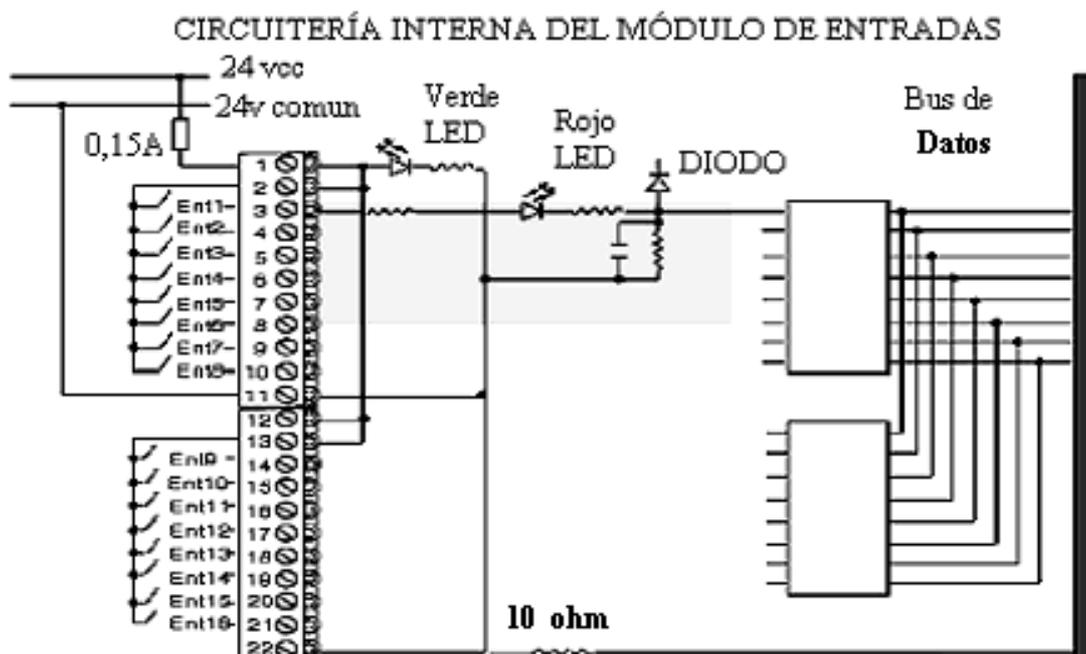


Figura 3.3 Circuito interno módulo DEO 216.

La tarjeta DEO 216 tiene un led verde correspondiente al borne N.- 1, al estar encendido nos indica la presencia de tensión en el módulo de entrada, también tiene 16 led's rojos correspondientes a las entradas y se las divide en dos grupos, las ocho primeras correspondientes a los bornes 3 a 10 y las ocho siguientes a los bornes 14 al 21, cuando cualquiera de estos led's están encendidos señalan la presencia de tensión en la entrada correspondiente¹.

Características:

Números de entradas	2 grupo de 8
Voltaje de entrada	24 VDC
Aislamiento eléctrica	No aislado eléctricamente del bus de I/O
Status de la corriente de entrada	7mA a 24 VDC – 8,5 mA a 30 VDC
Voltaje de activación	+12.....+30 VDC
Voltaje de desactivación	-2.....+5 VDC
Corriente del bus interno	15mA
Voltaje externo de operación	20...30 VDC

Tabla 3.2 Características de los módulos de entradas².

SALIDAS.

El código del módulo de salida es AS-DAO-216 y de igual forma todos los módulos de salidas son de tipo digitales. En el proyecto se utilizó dos módulos de salida para el control de las tres calderas.

El DAO 216 es un módulo de salidas binarias tipo transistor, con 16 circuitos independientes de 24 vdc no aisladas, puede accionar relés, arrancadores de motor, válvulas, solenoides, lámparas señalizadoras y otras cargas similares.



Figura 3.4 Módulo DAO 216.

¹ Ref. 3-3

² Ref. 3-3

El DAO 216 tiene 17 leds. Un led verde correspondiente al borne N° 1 que señala la presencia de tensión en el módulo de salida. Existen 16 leds correspondientes a los bornes 3 a 10 y 14 a 21, que señalan cuando están encendidos la presencia de 24 vdc en la salida¹.

Características:

Números de entradas	2*8 Tipo transistor
Voltaje de salida	24 VDC
Aislamiento eléctrico	No aislado eléctricamente del bus de I/O
Máxima corriente por salida a 24 VDC	0.5mA
Corriente del bus interno	30mA
Temperatura de operación	060 grados Centígrados

Tabla 3.3 Características de los módulos de salidas.

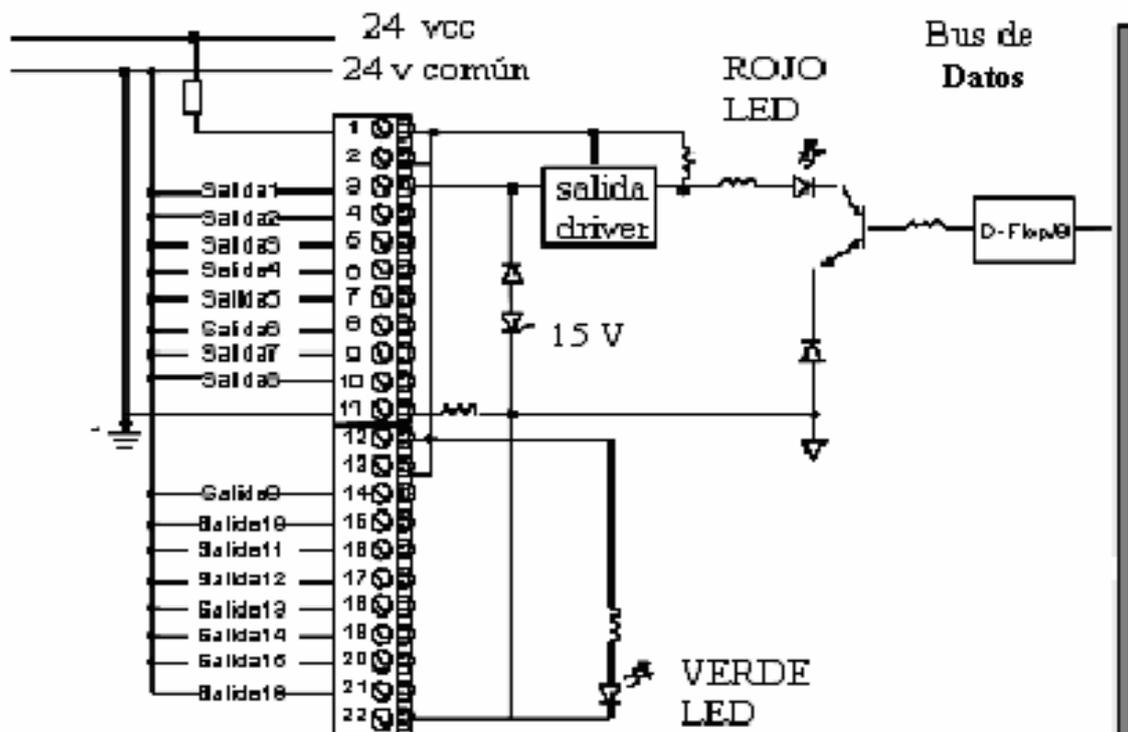


Figura 3.5 Circuito interno módulo DAO 216.

¹ Ref. 3-4

1.10.1.1.3 Rack del plc Compact.

El cpu del PLC Compact así como sus módulos de entrada y salida son conexiados entre si en los denominados backplanes de la serie HDTA. El backplane utilizado es del tipo primario pueden aceptar un cpu y tres módulos de I/O. En el proyecto se utilizó dos backplanes ya que existe un cpu, tres módulos de entrada y dos módulos de salida. A un backplane primario se le puede conectar hasta dos backplane adicionales. Los datos van de un backplane a otro a través de un bus (I/O de 30 pines conector hembra a conector hembra AS-WBXT.201)¹.

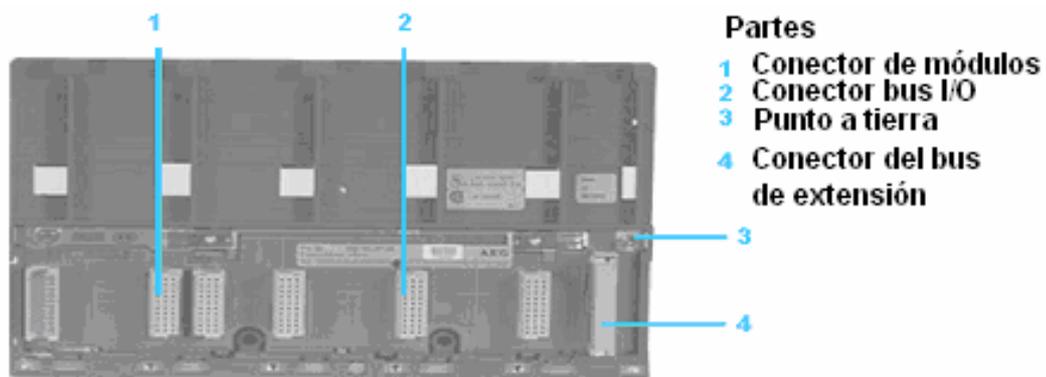


Figura. 3.6 Rack plc Compact.

1.10.1.2 Plc Premium.

El PLC Premium es un autómata modular que permite armar configuraciones a partir de racks, en éste se monta el módulo de alimentación, la cpu, los módulos de entradas/ salidas digitales o analógicas, y los módulos de funciones especiales (contaje, control de ejes, control de motores paso a paso, pesaje y comunicación).

Todos los módulos pueden ocupar cualquier lugar en el rack (excepto la fuente de alimentación y la cpu) que deben ser el lugar 0 y ,1 son hot-swap es decir que pueden ser extraídos con tensión.

¹ Ref. 3-5

1.10.1.2.1 Cpu plc Premium.

Existen diferentes tipos de procesadores, pero para la aplicación se decidió por el procesador TSX P57 153M cuyas características son:

- Para 4 racks ampliables TSX RKY•EX.
- Soporta hasta 512 entradas/salidas digitales.
- Soporta hasta 24 entradas/salidas analógicas.
- Soporta hasta 8 vías de aplicación.
- Una memoria ram interna de seguridad de 32 kwords en donde guarda toda la aplicación y puede ampliarse mediante una tarjeta de memoria pcmcia de 128 kwords (ram o flash eprom).
- Comunicación por terminal (modo unitelway o modo caracteres): posee 2 tomas (TER y AUX) que permiten conectar varios equipos simultáneamente (por ejemplo: un terminal de programación o un terminal de diálogo operador).
- Comunicación por tarjeta pcmcia: este emplazamiento admite algunos tipos de tarjetas de comunicación (fipway, fipio, unitelway, modbus/Jbus, modbus plus, módem, enlaces serie),

PANEL FRONTAL.

(1) Bloque de visualización que incluye 5 indicadores “run”, “err”, “e/s”, “ter” en todos los procesadores y el indicador “fip” para el que posea enlace fipio maestro integrado.

(2) Botón reset que provoca un arranque en frío del autómatas cuando se acciona.

(3) Toma terminal “TER” para conectar un terminal de programación o ajuste, una consola de diálogo operador o una impresora.

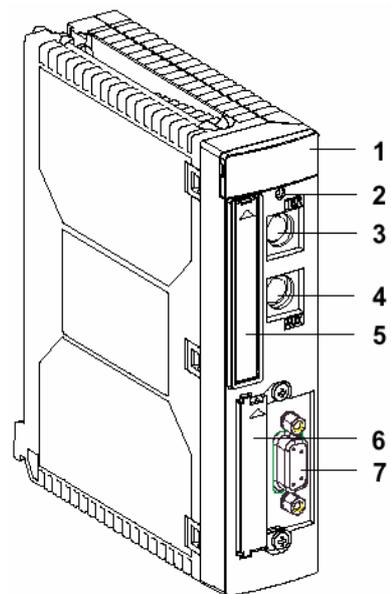


Figura 3.7 Cpu PLC Premium

- (4) Toma de diálogo operador "AUX" que permite conectar un periférico autoalimentado (terminal de programación o ajuste, consola de diálogo operador o una impresora).
- (5) Alojamiento para una tarjeta de memoria de formato pcmcia.
- (6) Alojamiento para tarjeta de comunicación de formato pcmcia para conectar al procesador una vía de comunicación.
- (7) Conector sub DB9 para conectarlo al bus fipio maestro.

Diagnostico a partir de los indicadores de visualización¹.

Los 5 indicadores situados en la parte frontal permite un diagnóstico rápido sobre el estado del autómata:

➤ **RUN** (verde):

- **encendido:** funcionamiento normal.
- **intermitente:** autómata en stop o en estado de fallo de software
- **apagado:** autómata no configurado, aplicación ausente, no válida, incompatible con el tipo de procesador o autómata en error, fallo del procesador o del sistema.

➤ **ERR** (rojo):

- **encendido:** autómata en error, fallo del procesador o fallo del sistema.
- **intermitente:** autómata no configurado, aplicación ausente, no válida o incompatible con el tipo de procesador, fallo de pila de la tarjeta de memoria, fallo del bus X.
- **apagado:** funcionamiento normal.

➤ **E/S** (rojo):

- **encendido:** fallo entradas/salidas, procedente de un módulo o de una vía o fallo de configuración.
- **intermitente:** fallo del bus X.
- **apagado:** funcionamiento normal.

¹ Ref. 3-6

- **TER (amarillo): señala la actividad en la toma terminal**
 - **intermitente:** Comunicación efectuándose en la toma terminal.

- **FIP (amarillo): muestra la actividad del bus FIPIO**
 - **intermitente:** intercambios efectuándose en el bus FIPIO.

1.10.1.2.2 Fuente de poder.



Las fuentes de alimentación son fundamentales para realizar cualquier configuración en Premium, es la encargada de alimentar la electrónica interna del PLC, así como las entradas y/o salidas. Es necesaria además una pila de respaldo de seguridad "TSX PLP 01", encargada de mantener la memoria en caso de corte de energía.

En base a la información de los catálogos de Schneider Electric y la configuración de PLC la fuente que debemos utilizar es la TSX PSY 5500M¹. El cálculo se encuentra en el anexo 3.4

Figura 3.8 TSX PSY 5500M.

1.10.1.2.3 Módulo de comunicación.

El módulo de comunicación que se utilizó es el TSX SCY 21601 y tiene las siguientes características:

- 1.- Conector tipo sub db 25 para la vía integrada RS 485 aislada.

¹ Ref. 3-6

2.- Emplazamiento para tarjeta de comunicación pcmcia que admite:

2.1.- una tarjeta multiprotocolo TSX SCP 111/112/114.

2.2.- una tarjeta Jnet TSX JNP 112/114.

2.3.- una tarjeta fipway TSX FPP 20.

3.- Bloque de visualización con 3 pilotos (leds):

- RUN encendido: módulo funcionando
- ERR encendido: fallo del módulo.
- CH0 encendido: vía integrada enviando o recibiendo datos

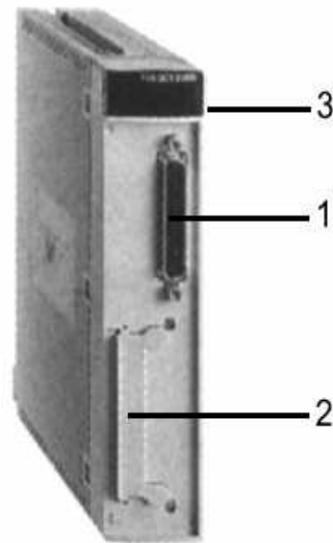


Figura 3.9 TSX SCY 21601.

Este módulo sirve para realizar el enlace entre la pantalla de visualización “magelis” y el PLC Premium, el protocolo que se está utilizando es el unitelway que es un estándar de comunicaciones entre componentes de automatismos (autómatas, terminales de diálogo, supervisores, variadores de velocidad, equipos de pesaje, etc.)¹.

1.10.1.2.4 Módulos de entrada/salida plc Premium.

Los módulos de entradas/salidas de la oferta Premium son módulos de formato estándar (que ocupan una sola posición), equipados con un bloque de terminales de tornillos (TSX BLY 01), para el proyecto se ha utilizado los módulos discretos tanto para las entradas como para las salidas y con terminales de tornillo.

¹ Ref. 3-6

MÓDULO DE ENTRADA TSX DEY 16D2.

El módulo TSX DEY 16D2 es un módulo de entradas de 24 vdc y lógica positiva con un bloque de terminales de 16 vías.

Este módulo está equipado con un bloque de terminales de conexión de tornillos desmontable (TSX BLY 01), que facilita el cableado y permite la conexión de las entradas.



Figura. 3.10 Módulo TSX DEY 16D2.

Valores nominales de entrada	Tensión		24 vdc
	Corriente		7 mA
Valores límite de entrada	En el estado 1	Tensión	$\geq 11V$
		Corriente	$\geq 6,5 \text{ mA}$
	En el estado 0	Tensión	$\leq 5 \text{ V}$
		Corriente	$\leq 2\text{mA}$
Impedancia de entrada		a Voltaje nominal	4 kohm
Tiempo de respuesta del Control		a la aparición	$1\text{ms} < T < 3\text{ms}$
		a la desaparición	$8\text{ms} < T < 30 \text{ ms}$

Tabla 3.4 Características TSX DEY 16 D2.

Esquema interno módulo de entrada TSX DEY 16D2.

La figura 3.11 muestra el esquema de principio de una entrada del módulo TSX DEY 16D2.

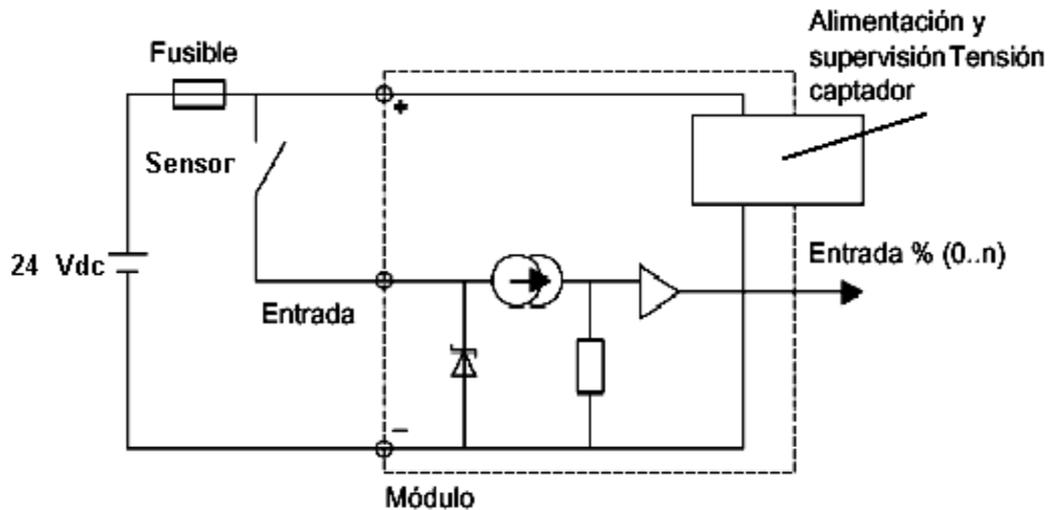


Figura 3.11 Circuito interno TSX DEY 16D2.

MÓDULO DE SALIDA TSX DSY 16R5¹.

El TSX DSY 16R5 es un módulo con un bloque de terminales de 16 salidas tipo relé, por lo tanto se lo puede hacer trabajar con voltaje continuo o voltaje alterno, para el proyecto se ha utilizado voltaje continuo de 24 vdc.

Este módulo está equipado con un bloque de terminales desmontable que permite la conexión de las salidas.

Características:

Tensión de empleo límite	Continuo	10 a 34 vdc
	Alterno	19 a 264 vac
Corriente térmica		3 A
Tiempo de repuesta	Conexión	< 8 ms.
	Desconexión	< 10 ms.

Tabla 3.5 Características TSX DSY 16R5

¹ Ref. 3-6

Esquema interno módulo de entrada TSX DSY 16R5.

La figura que aparece a continuación muestra el esquema de principio de una salida.

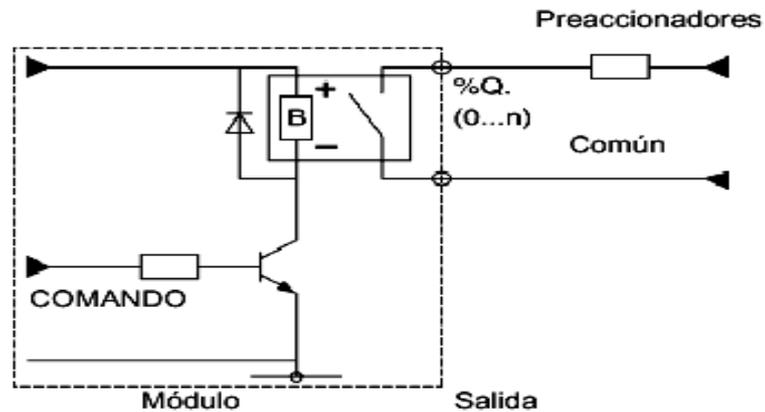


Figura 3.12 Circuito interno TSX DSY 16R5

Diagnóstico de los fallos de las entradas/salidas.¹

Los tres indicadores de estado de la parte frontal del módulo permiten un diagnóstico rápido del mismo de la siguiente manera.

- **RUN (verde):** estado del módulo:
 - encendido:** funcionamiento normal.
 - apagado:** módulo en fallo.
- **ERR (rojo):** fallos internos :
 - encendido:** módulo averiado.
 - intermitente:** fallo de comunicación.
- **I/O (rojo):** fallos externos:
 - encendido:** sobrecarga, cortocircuito, fallo de tensión en los detectores/ preaccionadotes.
 - intermitente:** falla de conexión en la bornera.

¹ Ref. 3-6

1.10.2 PANTALLA DE VISUALIZACIÓN

En el proyecto se usa una pantalla construida por Schneider de la familia "MAGELIS", serie XBTH012110., nombre con el cual en este reporte se referirá a la pantalla de visualización.

Existe una pantalla de visualización para cada PLC esta pantalla entra en funcionamiento cuando su respectivo PLC ha sido seleccionado para el control de las tres calderas.

A continuación se describe las características más importantes.

XBT-H012110 Panel Frontal.



Figura 3.13 Magelis XBT-H 012110.

La figura 3-14 muestra la conexión eléctrica y los puertos de comunicaciones tanto con el PLC como el puerto de impresión

A= Conexión eléctrica.

B= Comunicación serial (RS232/485).

C=Conector serial para impresora (RS 232).

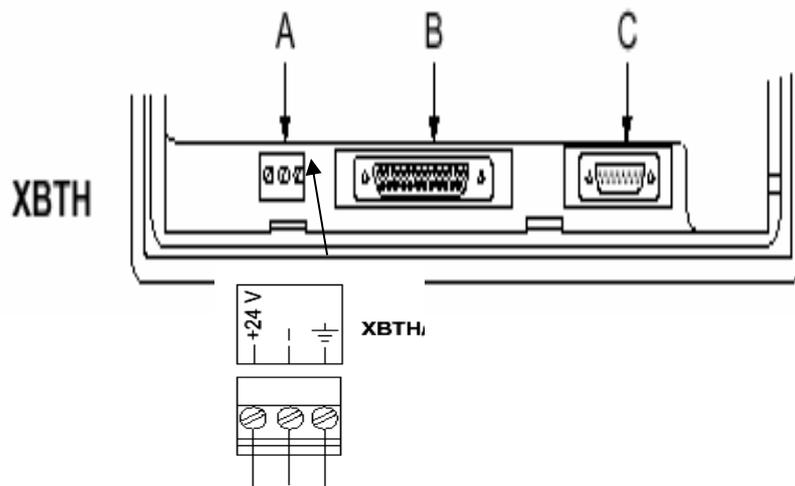
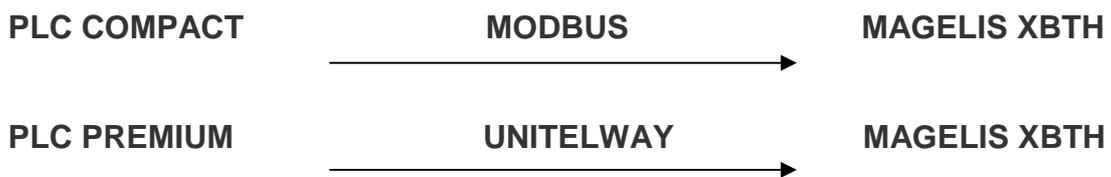


Figura.3.14 Conectores magelis1.

1.10.3 CABLES DE COMUNICACIÓN².

Se está utilizando dos tipos de cables debido a que el PLC Compact se comunica con un tipo de protocolo y el PLC Premium se comunica con otro tipo de protocolo.



1.10.3.1 Cable para comunicación modbus.

Este cable se lo conecta entre el terminal modbus del PLC Compact y el terminal de la magelis.

¹ Ref. 3-7

² Ref. 3-8

MODICON Micro/TSX Compact/MOMENTUM to MAGELiS Cable

Modicon Micro/TSX Compact (MODBUS Port) to XBT cable
(XBTZ9711)

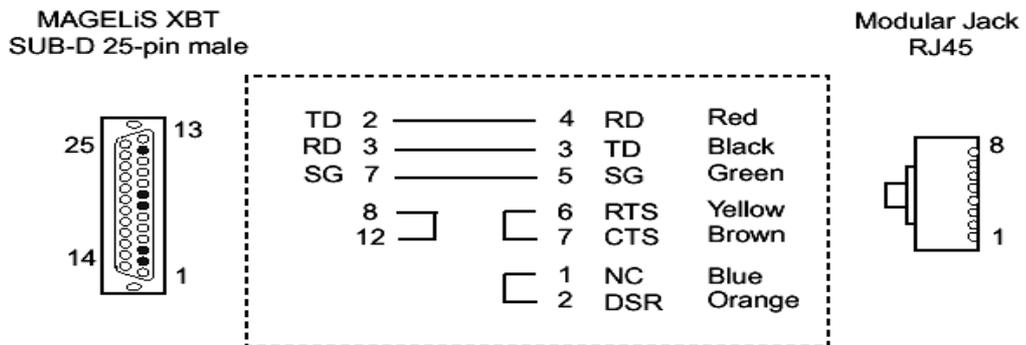


Figura 3.15 Cable de comunicación modbus.

1.10.3.2 Cable para comunicación unitelway¹.

Este cable se lo conecta entre el módulo TSX SCP 21601del PLC Premium y el terminal magelis.

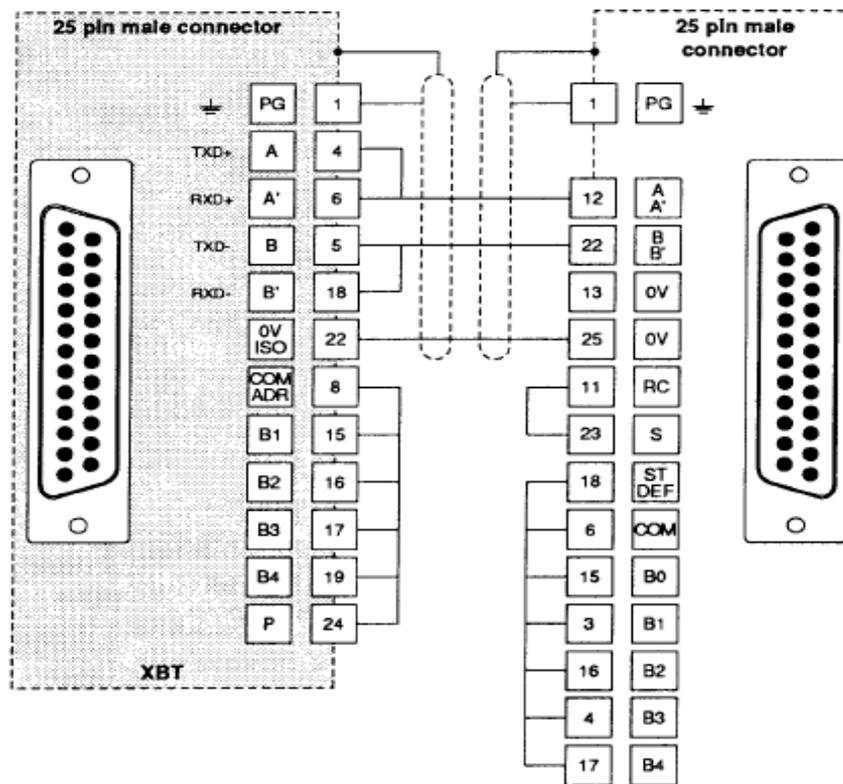


Figura 3.16 Cable de comunicación unitelway

¹ Ref. 3-8

1.10.4 RELÉS DE CONTROL.¹

En el proyecto los relés se utilizaron para aislar tanto las salidas como las entradas a los módulos del PLC, en los dos casos se utilizaron relés de las mismas características, relé miniatura enchufable RXN 41G11BD de Telemecanique

1.10.4.1 Relés de control para las salidas.

Los relés de control se los utiliza para que las salidas del PLC tengan la capacidad de controlar cargas que sobrepasan los límites de voltaje y corriente de los preactuadores internos de las salidas del PLC.

1.10.4.2 Relés de Control para las Entradas.

Debido a que las señales de entrada deben ingresar tanto al un PLC con al otro PLC se ha utilizado un rele para duplicar estas entradas.

La conexión de los relés se encuentra detallada en el anexo de planos.

1.10.4.3 Características de los relés.

- Ciclos de Operación: en corriente continua 20 millones de ciclos.
- Entre que se energiza la bobina y el contacto actúa: 13ms.
- Entre que se des-energiza la bobina y el contacto se abre: 3ms.
- Voltaje nominal de funcionamiento: 24 vdc.
- Consumo promedio: 0,9 w.
- Número y tipo de contactos: 4 normalmente abiertos.
- Material de contacto: Níquel y Plata

¹ Ref.3.9

1.11 EXPLICACIÓN DE LA LÓGICA DE PROGRAMACIÓN.

El programa para los dos PLC's es el mismo y la lógica de control para las tres calderas es la misma

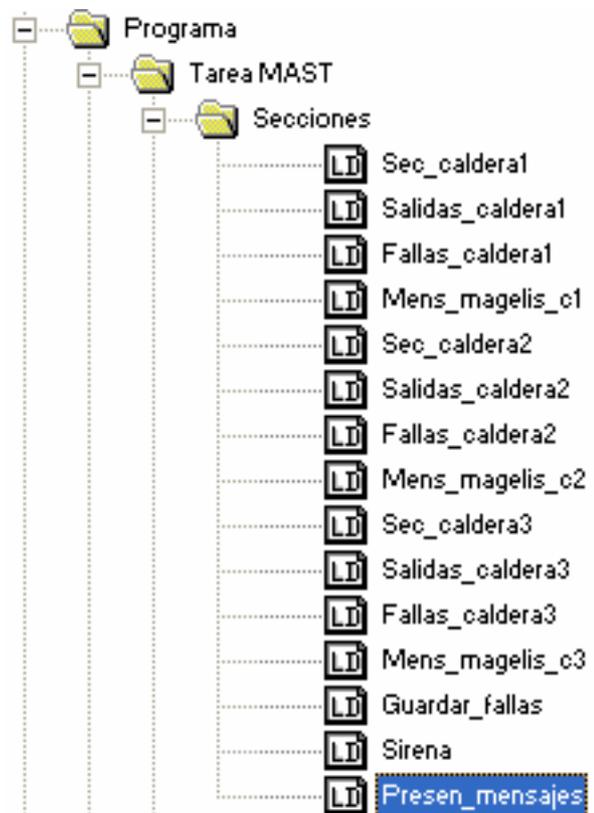
El criterio que se utilizó para realizar la programación está basada en los requerimientos para operar las calderas y en la secuencia que debe seguir una caldera para realizar tanto su encendido como su apagado, esta secuencia se encuentra en el anexo 3.1.

El programa fue dividido en diferentes secciones y cada sección cumple con un objetivo específico que a continuación será descrito.

Secciones Programa Concept



Secciones Programa PL7 Pro.



1.11.1 SECCIÓN SECUENCIA _ CALDERAS X.

Describiremos cuales deben ser los sensores que deben estar activados y cuales deben estar desactivados para que la caldera vaya de un paso al siguiente.

<p>PASO 0 al PASO 1</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.- El sw selector PLC debe seleccionar con cual de los dos PLC's se va a trabajar. 2.- El sw bomba bunker debe estar encendido. 3.- El sensor de baja temperatura de bunker mediante sus contactos debe entregar 24 vdc a la entrada correspondiente del PLC lo cual significa que el bunker tiene una temperatura adecuada caso contrario el contacto del sensor se abrirá y dejara de entregar los 24 vdc al PLC. 4.- El contacto del sensor de bajo nivel de agua tiene que estar cerrado lo que implica que la caldera tiene el nivel adecuado de agua. 5.- El sensor de alta presión de vapor al tener su contacto cerrado indica que no existe presión excesiva en el interior de la caldera
<p>PASO 1 al PASO 2</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.- El sw on-off _calderaX debe estar activado.
<p>PASO 2 al PASO 3</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Los presostatos que mide la presión de atomización y de combustión deben tener sus contactos cerrados con esto se verifica que los dos motores tanto el de combustión como el de atomización están funcionando. 2.- El sensor que indica que la presión de bunker es la adecuada debe tener su contacto cerrado. 3.- En este momento el modulador esta viajando hacia alto fuego, al llegar a esta posición se cierra el contacto de alto fuego y seguidamente la caldera se mantendrá en este estado durante 30 segundos antes de llegar al paso 3.
<p>PASO 3 al PASO 4</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Para llegar del paso tres al paso cuatro la caldera está viajando hacia bajo fuego y cuando el modulador llega a esta posición el contacto bajo fuego de cierra.

PASO 4 al PASO 5	1.- Para pasar del paso cuatro al paso cinco los contactos del sensor de llama deben entregar 24 vdc al PLC lo cual indica que la llama piloto se ha encendido
PASO 5 al PASO 6	1.- Para pasar del paso cinco al paso seis dejamos pasar un tiempo de 15 segundos que es el tiempo en el cual se censa la existencia de la llama principal.
PASO 6 al PASO 7	1.- Para que la caldera vaya del paso seis al paso siete dejamos transcurrir 10 segundos. Cuando la caldera ha llegado al paso siete esta estará trabajando en la zona de “OPERACIÓN NORMAL”.
PASO 7 al PASO 8	<p>1.- Si la caldera esta en el paso siete y el sw selector PLC es apagado la caldera automáticamente va al paso 8.</p> <p>2.- Si el sw on-off_calderaX es apagado la caldera automáticamente va al paso 8.</p> <p>3.- Si la caldera está en el paso siete y el sensor de alta _presión _vapor_calderaX se acciona su contacto se abre y deja de enviar 24 vdc a la entrada correspondiente del PLC lo cual coloca a la caldera en el paso 8.</p> <p>4.- Si en la caldera se ha producido alguna falla automáticamente el programa se ubicará en el paso 8.</p>
PASO 8 al PASO 9	1.- Para llegar al paso nueve la caldera debe esperar que el contacto correspondiente al bajo_fuego ubicado en el modulador se active.
PASO 9 al PASO 10	1.- Para llegar del paso nueve al paso diez la caldera debe esperar que el contacto correspondiente al alto_fuego ubicado en el modulador se active, luego de lo cual transcurrirá 30 segundos y en ese instante la caldera ha llegado al paso diez.
PASO 10 al PASO 0	1.- Para llegar al paso cero el modulador debe mandar a la caldera a bajo fuego.

Para que la caldera se coloque en el paso cero automáticamente, puede ocurrir cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cuando se encuentre en el paso1 y el sw. selector PLC haya sido apagado la caldera automáticamente se ubicara en el paso cero.
- Cuando la caldera se encuentre en el paso ocho y haya transcurrido un tiempo de 75 segundos esta se ubicara en el paso cero listas para arrancar nuevamente.

1.11.2 SECCIÓN SALIDAS_ CALDERA_X.

La activación de las salidas obedece al paso en el cual se encuentra la caldera (esto se lo efectúa a partir del paso dos en adelante) como se explicó anteriormente para que la caldera vaya de un paso al siguiente los sensores correspondientes que determinan el estado de las variables deben dar una señal positiva al PLC lo que significa que las condiciones para el buen funcionamiento de la caldera se están cumpliendo, solo en ese caso el autómata permitirá avanzar a la caldera de un paso al siguiente y activar las salidas correspondientes al paso en que se encuentra, con esto aseguramos que se vaya realizando su ciclo de arranque, operación normal y parada de una manera óptima y segura.

ACTIVACIÓN DE SALIDAS POR MEDIO DEL PROGRAMA.

PASO 2: Cuando la caldera siguiendo su secuencia de encendido ha llegado al paso 2 automáticamente mediante programa el PLC activa la salida correspondiente al encendido del motor de compresor y el motor del ventilador que provee de aire de atomización y de aire de combustión respectivamente, de igual manera en este paso la salida correspondiente al modulador en alto fuego es activada con lo que el motor modulador envía a la caldera hacia alto fuego.

PASO 3: En este paso la salida del modulador alto fuego es desactivada con lo cual el motor modulador envía a la caldera hacia bajo fuego.

PASO 4: Al llegar la caldera a este paso la salida que activa la llama piloto actúa permitiendo el encendido tanto de la electro válvula de paso de gas como el

encendido del transformador de ignición que es el encargado de generar la chispa para que se encienda la llama piloto.

PASO 5: La salida del PLC correspondiente a la llama principal es activada con lo cual la electro válvula que permite el ingreso de bunker al quemador se activa.

PASO 6: El PLC desactiva la salida que controla la electro válvula de la llama piloto apagándola totalmente.

PASO 7: El modulador es puesto en automático mediante la activación de la salida correspondiente en el PLC con lo cual el motor modulador pasa a ser comandado por el presostato de modulación L91B.

PASO 8: Si la caldera por cualquier motivo se encuentra en el paso 8 se procede a desactivar automáticamente la salida que corresponde a la electro válvula de la llama principal y también al modulador en automático.

PASO 9: La salida correspondiente al modulador en alto fuego es activada.

PASO 10: La salida correspondiente al modulador en alto fuego es desactivada.

Paso 0: La salida correspondiente al encendido tanto del motor de compresión como del motor del ventilador es desactivada.

Cabe destacar que mientras la caldera esta entre el PASO 2 y el PASO 10 las salidas correspondientes a los motores de compresión y del ventilador están activadas siempre.

ACTIVACIÓN DE SALIDAS DE MANERA MANUAL.

La única salida que el operador activa de forma manual a través del PLC es cuando gira el sw bomba de bunker a la posición "on", entonces por programa el PLC activa la salida correspondiente a la bomba de bunker.

1.11.3 SECCIÓN FALLAS_ CALDERAX.

A continuación explicaremos como el PLC mediante programa detecta que se ha producido una falla en el funcionamiento de cualquiera de las calderas, se debe tomar en cuenta que esta sección existe para cada una de las calderas en el programa general.

Se han clasificado las fallas en dos tipos: Fallas severas y condiciones pasajeras.

a) Fallas Severas.

Como requerimiento del programa consta que cuando se produzca una falla por apareamiento de alguna condición desfavorable o peligrosa para el buen funcionamiento de la caldera esta debe iniciar el proceso de apagado y mientras no se haya reseteando la falla mediante la pantalla magelis y solucionado el problema que produjo la falla la caldera no podrá reiniciar su ciclo de encendido.

Estas fallas son:

a.1) Falla Temperatura Bunker CalderaX.- Si la calderas se encuentra entre los pasos 1 al 7 y el sensor que se encarga de medir la temperatura del bunker abre su contacto significa que no es la temperatura adecuada de trabajo, si esto llega a suceder la falla “**Falla Temp Bunker CalderaX**” se activara enviado a la caldera a su proceso de apagado.

a.2) Falla Nivel H2O CalderaX.- Si la caldera se encuentran entre los pasos 1 al 7 y alguno de los dos sensor que se encarga de medir el nivel de agua tiene su contacto abierto significa que el dispositivo o el actúador que se encargan de compensar el agua evaporada no está funcionando motivo por el cual al descender el nivel se producirá la falla “**Falla Nivel H2O CalderaX**” enviado a la caldera a su proceso de apagado inmediatamente.

a.3) Falla Llamas Prepurgas CalderaX.- Los pasos en los cuales la caldera debe tener llama en su interior ya sea la llama piloto o la llama principal son únicamente entre el paso 4 y paso 8, si aparecen llamas antes del paso 4 se considera que se ha producido la falla “**Falla Llamas Prepurgas CalderaX**”.

a.4) Falla Alto Fuego CalderaX.- Si en el proceso de encendido la caldera se encuentra en el PASO2 y después de cuarenta segundos no ha detectado la activación del “micro alto fuego” se ha producido la falla denominada “**Falla Alto Fuego CalderaX**” lo cual produce el apagado automático de la caldera en la que se produjo esta falla.

a.5) Falla Presión Atomización CalderaX.- Si cuando han transcurrido diez segundos después de que la caldera ha llegado al paso 2 y el presostato encargado de detectar la presión de aire de atomización no ha enviado la señal al PLC entonces el programa colocará a la caldera en el paso 8 con lo que se inicia su proceso de apagado.

a.6) Falla Presión Bunker CalderaX.- Si cuando han transcurrido diez segundos después de que la caldera ha llegado al paso 2 el presostato encargado de detectar que la presión de bunker es la adecuada no ha enviado la señal al PLC entonces se ha producido la falla denominada “**Falla Presión Bunker CalderaX**” e inmediatamente el programa colocará a la caldera en el paso 8 con lo que inicia su proceso de apagado.

a.7) Falla Presión Combustión CalderaX.- Si cuando han transcurrido diez segundos después de que la caldera ha llegado al paso 2 el presostato encargado de detectar que la presión de aire de combustión es la adecuada no ha enviado la señal al PLC entonces el programa colocará a la caldera en el paso 8 con lo que se inicia su proceso de apagado.

a.8) Falla Bajo Fuego CalderaX.- Si en el proceso de encendido la caldera se encuentra en el paso 3 y después de cuarenta segundos no ha detectado

la activación del “micro bajo fuego” se ha producido la falla denominada “**Falla Bajo Fuego CalderaX**” cabe destacar que el micro correspondiente a bajo fuego debe estar accionado a lo largo de los pasos 4, 5 ,6 si no es así produce el apagado automático de la caldera en la que se produjo esta falla.

a.9) Falla Llama Piloto CalderaX.- Al Llegar al paso 4 el PLC da la señal de encendido de la llama piloto y si después de 9 segundos el sensor no ha detectado llama el programa colocará a la caldera en el paso 8 con lo que se inicia su proceso de apagado.

a.10) Falla Llama Principal CalderaX.- Al Llegar al paso 5 el PLC da la señal de encendido de la llama principal y apagado de la llama piloto esta condición debe permanecer como mínimo 15 segundos después de haber dado la orden de encendido de la llama principal, si el sensor no ha detectado llama se ha producido la “**Falla Llama Principal Calderas**” y seguidamente el programa colocará a la caldera en el paso 8 con lo que se inicia su proceso de apagado.

Todas las condiciones anteriores requieren de un reseteo a través de la pantalla de visualización “magelis” para que la caldera retome su proceso de encendido.

b) Condiciones Pasajeras

Existen tres condiciones que no necesitan de un reseteo físico a través de la magelis para que el programa reinicie el ciclo de encendido de la caldera que produjo las condiciones pasajera y estas son:

b.1) Presión Vapor CalderaX.- Un de las condiciones para que esta condición sea tomada en cuenta es que la caldera se encuentre entre los pasos 2 al 7 de lo contrario esta falla no afecta a la caldera. Cuando el presostato de alta presión de vapor detecta condiciones anormales de funcionamiento, significa que la presión en el interior de la caldera ha rebasado el valor seteado en el presostato L404A, en ese momento su

contacto se abre automáticamente dejando de entregar la señal a la entrada correspondiente con lo cual mediante programa el PLC coloca a la caldera en el paso 8 que corresponde al proceso de apagado, cuando la presión vuelva a tener valores por debajo de los seteados en el presostato L404A la caldera reiniciara su ciclo de encendido automáticamente para proseguir con su funcionamiento normal.

b.2) Falla Selector PLC.- Cabe recalcar que sw selector PLC es común para todas las tres calderas lo que significa que si se produce un movimiento a la posición intermedia o se escoge el otro PLC las tres caldera inician su proceso de apagado.

b.3) Apagar ON-OFF CalderaX.- Cuando la caldera se encuentra entre el paso 2 al paso 7 y ha sido desconectado el sw on-off es decir se ha mandado ha apagar la caldera, el programa del PLC inicia el proceso de apagado, cuando se decida encender nuevamente la caldera reiniciará su ciclo de encendido para proseguir con su funcionamiento normal.

1.11.4 MENSAJES MAGELIS CALDERAS.

Anteriormente explicamos cuales son las condiciones que se deben cumplir para que se produzca las diferentes fallas ahora explicaremos el método que se ha utilizado para poder asignar un número específico a cada falla de cada caldera.

Mediante programa hacemos un generador de pulso, el mismo es ingresado a un contador este contador es el encargado de generar los número del 1 al 115 y luego se resetea y empieza a generar otra vez, esto se lo hace constantemente, cada número es generado en 0,01 segundos y es asignado a la variable “Número _ mensajes” cada vez que este número se genera.

Previamente a cada falla se le ha asignado un número, se hace una comparación entre el número asignado a esa falla y la variable “Número _ mensajes” que

contiene los números que se están generando y cuando se produzca una falla y la comparación sea verdadera el valor que contiene la variable “Número _ mensaje” es trasladado a otra variable denominada “Dato _ mensaje” con lo cual tenemos guardado el número que corresponderá a la falla que se ha producido en ese instante.

La lista con las fallas y sus números correspondientes es presentada en la siguiente tabla

FALLAS PRODUCIDA	Número Asignado
CALDERA 1	
Alta_Presión_Vapor _Caldera1	1
Falla_Temp_Bunker_ Caldera1	3
Falla_Nivel _H2O _Caldera1	5
Falla_Llamas_Prepurgas _Caldera1	7
Falla_Alto_Fuego _Caldera1	9
Falla_Presión_Atom _Caldera1	11
Falla_Presión_Bunker _Caldera1	13
Falla_Presión_Comb _Caldera1	15
Falla_Bajo_Fuego _Caldera1	17
Falla_Llama_Piloto _Caldera1	19
Falla_Llama_Principal _Caldera1	21
CALDERA 2	
Alta_Presión_Vapor _Caldera2	39
Falla_Temp_Bunker_ Caldera2	41
Falla_Nivel _H2O _Caldera2	43
Falla_Llamas_Prepurgas _Caldera2	45
Falla_Alto_Fuego _Caldera2	47
Falla_Presión_Atom _Caldera2	49
Falla_Presión_Bunker _Caldera2	51

Falla_Presión_Comb_Caldera2	53
Falla_Bajo_Fuego_Caldera2	55
Falla_Llama_Piloto_Caldera2	57
Falla_Llama_Principal_Caldera2	59
CALDERA 3	
Alta_Presión_Vapor_Caldera3	77
Falla_Temp_Bunker_Caldera3	79
Falla_Nivel_H2O_Caldera3	81
Falla_Llamas_Prepurgas_Caldera3	83
Falla_Alto_Fuego_Caldera3	85
Falla_Presión_Atom_Caldera3	87
Falla_Presión_Bunker_Caldera3	89
Falla_Presión_Comb_Caldera3	91
Falla_Bajo_Fuego_Caldera3	93
Falla_Llama_Piloto_Caldera3	95
Falla_Llama_Principal_Caldera3	97

Tabla 3.6 Numeración de fallas.

Otro requerimiento del programa es que se visualice el paso en el que se encuentra cada una de las calderas, a lo largo de su proceso de arranque, operación normal y parada. Para esto utilizamos el mismo método que se utilizó para la visualización de las fallas, siendo de este modo asignamos a cada paso en el que se podrían encontrar las calderas un número, a continuación presentamos la lista con los números que corresponden a los pasos.

PASO EN EL QUE SE ENCUENTRA	NÚMERO DE PASO
CALDERA 1	
PASO 1	23
PASO 2	25

PASO 3 o PASO 6	27
PASO 4	29
PASO 5	31
PASO 7	33
PASO 8 o PASO 9 o PASO 10	35
PASO0	37
CALDERA 2	
PASO 1	61
PASO 2	63
PASO 3 o PASO 6	65
PASO 4	67
PASO 5	69
PASO 7	71
PASO 8 o PASO 9 o PASO 10	73
PASO 0	75
CALDERA 3	
PASO 1	99
PASO 2	101
PASO 3 o PASO 6	103
PASO 4	105
PASO 5	107
PASO 7	109
PASO 8 o PASO 9 o PASO 10	111
PASO0	113

Tabla 3.7 Numeración de los estados de las calderas

Los programas que a continuación van a ser explicados son comunes a todas las tres calderas.

1.11.5 SECCIÓN PRESENTACIÓN MENSAJES.

Este subprograma es el que se encarga de desplegar los mensajes en la magelis, el PLC es el que hace la petición para que la magelis despliegue los mensajes de la siguiente manera.

Cuando se produce una falla se hace una comparación entre el número asignado a esa falla y la variable "Número _ mensajes" que contiene los números que se están generando, cuando esta comparación sea verdadera el valor que contiene la variable "Número _ mensaje" es trasladado a otra variable denominada "Dato _ mensaje" con lo cual tenemos el número que corresponderá a la falla que se ha producido en ese instante.

Al valor que contiene la variable "Dato _ mensaje" es colocado en la variable Dato4_Pantalla que está ubicada en la dirección 400051 en esta dirección colocamos el número de la pantalla que queremos que se visualice en la magelis.

Cada vez que se suscita una falla o simplemente cada vez que se quiera indicar el estado de las calderas el valor que contiene la variable Mensaje _ mostrado es colocado en la variable que permite la visualización en la magelis.

Los mensajes que se presentarán en magelis de acuerdo a las fallas producidas son los siguientes:

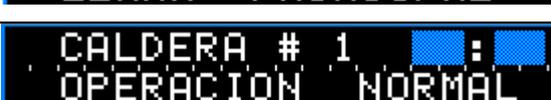
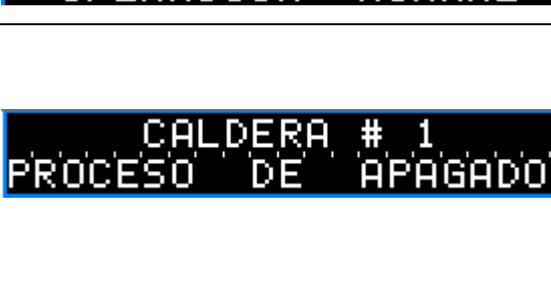
FALLAS PRODUCIDA	Mensaje presentado
CALDERA 1	
Alta_Presión_Vapor_Caldera1	
Falla_Temp_Bunker_Caldera1	
Falla_Nivel_H2O_Caldera1	

Falla_Llamas_Prepurgas _Caldera1	CALDERA # 1 LLAMA ANTICIPADA
Falla_Alto_Fuego _Caldera1	CALDERA # 1 MICRO SW. ALTO FUEGO
Falla_Presión_Atom _Caldera1	CALDERA # 1 FALTA AIRE COMPRESOR
Falla_Presión_Bunker _Caldera1	CALD 1: BAJA PRESION Y ALTA TEMP. BUNKER
Falla_Presión_Comb _Caldera1	CALDERA # 1 FALTA AIRE VENTILAD.
Falla_Bajo_Fuego _Caldera1	CALDERA # 1 MICRO SW. BAJO FUEGO
Falla_Llama_Piloto _Caldera1	CALDERA # 1 FALLA LLAMA PILOTO
Falla_Llama_Principal _Caldera1	CALDERA # 1 FALLA LLAMA PRINCIPA
CALDERA 2	
Alta_Presión_Vapor _Caldera2	CALDERA # 2 ALTA PRESION VAPOR
Falla_Temp_Bunker_ Caldera2	CALDERA # 2 BUNKER FRIO
Falla_Nivel _H2O _Caldera2	CALDERA # 2 BAJO NIVEL DE AGUA
Falla_Llamas_Prepurgas Caldera2	CALDERA # 2 LLAMA ANTICIPADA
Falla_Alto_Fuego _Caldera2	CALDERA # 2 MICRO SW. ALTO FUEGO
Falla_Presión_Atom _Caldera2	CALDERA # 2 FALTA AIRE COMPRESOR
Falla_Presión_Bunker _Caldera2	CALD 2: BAJA PRESION Y ALTA TEMP. BUNKER

Falla_Presión_Comb _Caldera2	CALDERA # 2 FALTA AIRE VENTILAD.
Falla_Bajo_Fuego _Caldera2	CALDERA # 2 MICRO SW. BAJO FUEGO
Falla_Llama_Piloto _Caldera2	CALDERA # 2 FALLA LLAMA PILOTO
Falla_Llama_Principal _Caldera2	CALDERA # 2 FALLA LLAMA PRINCIPA
CALDERA 3	
Alta_Presión_Vapor _Caldera3	CALDERA # 3 BUNKER FRIO
Falla_Temp_Bunker_Caldera3	CALDERA # 3 BUNKER FRIO
Falla_Nivel_H2O _Caldera3	CALDERA # 3 BAJO NIVEL DE AGUA
Falla_Llamas_Prepurgas _Caldera3	CALDERA # 3 LLAMA ANTICIPADA
Falla_Alto_Fuego _Caldera3	CALDERA # 3 MICRO SW. ALTO FUEGO
Falla_Presión_Atom _Caldera3	CALDERA # 3 FALTA AIRE COMPRESOR
Falla_Presión_Bunker _Caldera3	CALD 3: BAJA PRESION Y ALTA TEMP. BUNKER
Falla_Presión_Comb _Caldera3	CALDERA # 3 FALTA AIRE VENTILAD.
Falla_Bajo_Fuego _Caldera3	CALDERA # 3 MICRO SW. BAJO FUEGO
Falla_Llama_Piloto _Caldera3	CALDERA # 3 FALLA LLAMA PILOTO
Falla_Llama_Principal _Caldera3	CALDERA # 3 FALLA LLAMA PRINCIPA

Tabla 3.8 Mensaje presentado según la falla producida

Los mensajes que se desplegarán de acuerdo al proceso que sigue la caldera tanto para su encendido como para su apagado y en base al paso donde se encuentre cualquiera de las tres calderas son:

PASO EN EL QUE SE ENCUENTRA	MENSAJE VISUALIZADO
CALDERA 1	
PASO 1	
PASO2	
PASO 3 o PASO 6	
PASO 4	
PASO 5	
PASO7	
PASO 8 O PASO9 O PASO10	
PASO0	
CALDERA 2	
PASO 1	

PASO2	CALDERA # 2 PREPURGA ALTA
PASO 3 o PASO 6	CALDERA # 2 PREPURGA BAJA
PASO 4	CALDERA # 2 LLAMA PILOTO
PASO 5	CALDERA # 2 LLAMA PRINCIPAL
PASO7	CALDERA # 2 : OPERACION NORMAL
PASO 8 O PASO9 O PASO10	CALDERA # 2 PROCESO DE APAGADO
PASO0	FERRERO : CALDERA # 2 APAGADA
CALDERA 3	
PASO 1	CALDERA # 3 EN ESPERA
PASO2	CALDERA # 3 PREPURGA ALTA
PASO 3 o PASO 6	CALDERA # 3 PREPURGA BAJA
PASO 4	CALDERA # 3 LLAMA PILOTO
PASO 5	CALDERA # 3 LLAMA PRINCIPAL
PASO7	CALDERA # 3 : OPERACION NORMAL

PASO 8 O PASO9 O PASO10	
PASO0	

Tabla 3.9 Mensaje presentado según el estado de la caldera.

1.11.6 GUARDAR_FALLAS.

Este subprograma ayuda a llevar un registro de las fallas producidas por las calderas a lo largo de su funcionamiento, el número máximo de fallas que se pueden almacenar en las pilas es de 99.

En la programación se ha utilizado un bloque denominado FIFO que es una pila que permite almacenar datos.

En este subprograma se uso cinco bloques FIFO:

- El primero bloque FIFO guardará el tipo de fallas que se produzcan.
- El segundo bloque FIFO guardará el mes en el que se produjo la falla.
- El tercero bloque FIFO guardará el día en el que se produjo la falla.
- El cuarto bloque FIFO guardará la hora en el que se produjo la falla.
- El quinto bloque FIFO guardará el minuto en el que se produjo la falla.

Cuando se produce una de las falla a los bloques FIFO se les da la orden que almacene el tipo de falla, el mes, el día, la hora, el minuto en que se ha producido dicha falla. Mediante programación y cada vez que nos encontremos en la pantalla número 63 y pulsemos la tecla derecha los bloques FIFO se encargan de entregar sus valores almacenados para que sean visualizados.

1.11.7 SIRENA.

En esta sección se programa la activación de la sirena cada vez que se produce una falla, esta sirena puede ser silenciada con el pulsador “callar sirena” que se encuentra en la parte frontal del tablero de control general.

1.12 INSTALACIÓN Y MONTAJE.

Los siguientes son los pasos que se siguieron para poner en marcha el nuevo sistema de control en las calderas:

- Extracción del cableado antiguo de control y fuerza de la caldera #1 y de la caldera #2.
- Re-cableado del sistema de control y de fuerza de la caldera #1 y de la caldera #2.
- Instalación y montaje de los elementos de control y cableado de las señales de control en los tableros de cada caldera.
- Colocación del tablero de control general.
- Instalación y montaje de los dispositivos y elementos de control en el tablero general.
- Cableado de las señales de control desde el tablero de cada caldero hacia el tablero general.
- Cableado interno del tablero general.
- Pruebas.

1.13 CABLEADO DE SENSORES.

Los contactos existentes en cada sensor de las calderas fueron utilizados para llevar la señal de 24 vdc hacia los módulos de entradas de los dos PLC's.

Cabe destacar que tanto las señales de salida así como las señales de entrada fueron aisladas con relés, esto evita que un corto circuito en el cableado de los

sensores en las calderas dañe a los módulos del PLC, a continuación se presentará un esquemático de cableado de un sensores hacia los módulos de entradas del PLC.

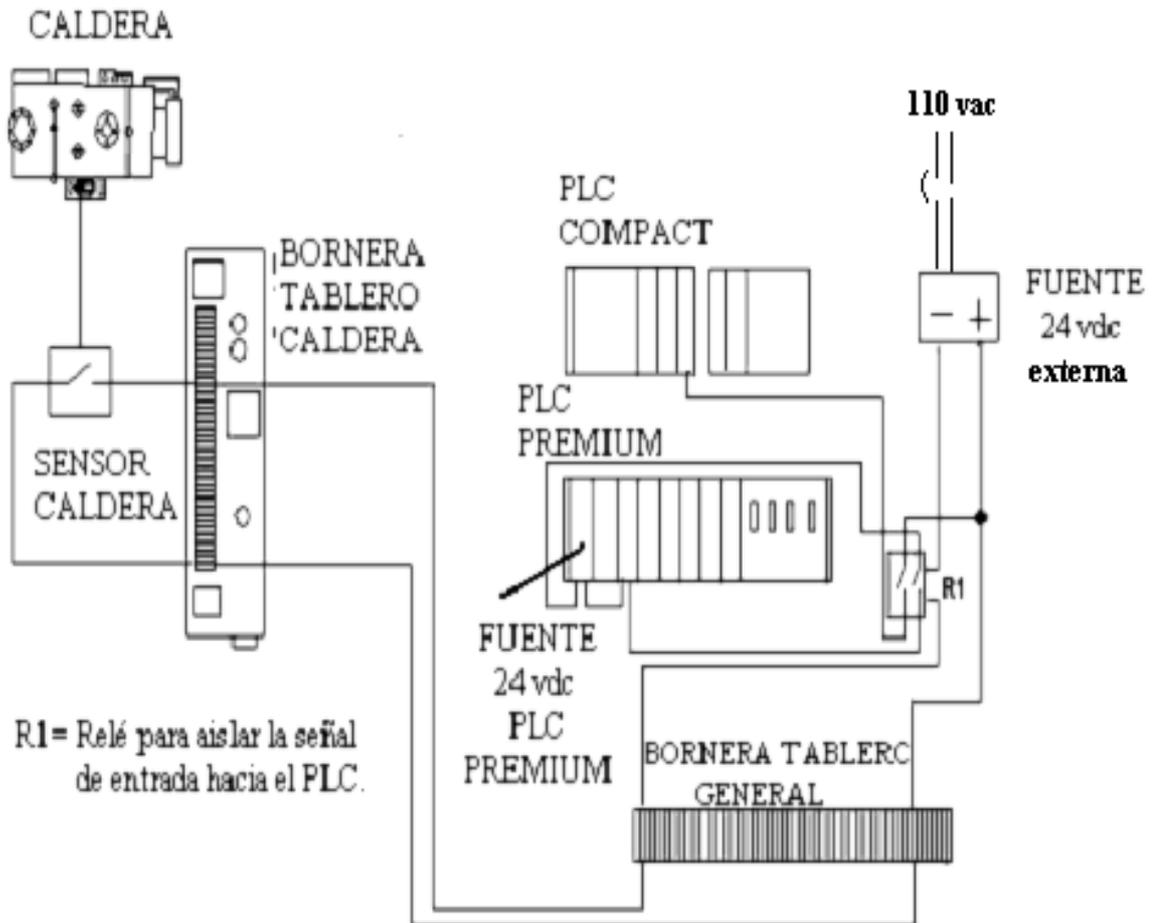


Figura 4.1 Esquemático de cableado

En la figura 4.1 se observa que las señales de campo provenientes de los sensores de la caldera activan los relés aislantes y mediante sus contactos hacemos que ingrese una señal de 24vdc a cada PLC.

Se utilizó dos fuentes debido a que los módulos de entrada del PLC Premium eran alimentados por la fuente interna de 24 vdc del PLC y el voltaje que ingrese a sus módulos de entrada debe tener la misma referencia, por el contrario la alimentación de los módulos de entradas del PLC Compact se lo hace con una

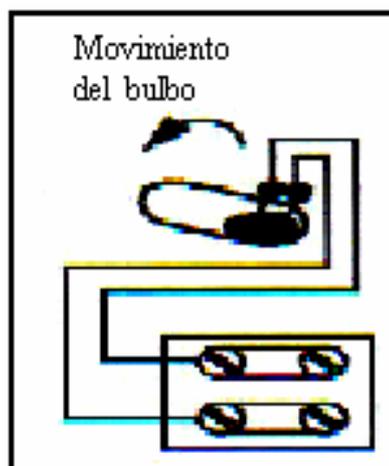
fuentes de 24vdc independiente por lo tanto el voltaje que ingrese a sus módulos de entradas deben ser alimentadas por la misma fuente.

1.13.1 CABLEADO DEL PRESOSTATO L404A Y L404C.

Como se explicó en el capítulo II los presostatos L404A y L404C funcionan de la misma manera por lo tanto su cableado y esquemas internos son los mismos.

- 1.- El cable debe ser resistente a la humedad y que soporte una temperatura de al menos 100 °C.
- 2.- En el interior del presostato hay un bloque de dos terminales unidos a dos contactos internos del bulbo, cuando la presión en el interior de la caldera es menor a la setada, el bulbo queda en la posición indicada en la Fig. 4.2 pero cuando la presión excede a la setada, el bulbo gira en dirección de la flecha indicada deslizando el mercurio al otro extremo y dejando de cortocircuitar los contactos con lo cual se abren los terminales.

Para el proyecto se utilizó estos contactos para llevar la señal de 24 vdc hacia la bornera correspondiente en el tablero de cada caldera y posteriormente hacia el tablero donde se encuentran los PLC's.¹



¹ Ref. 2.2, Ref.2,3

Figura 4.2 Esquema interno L404A y L404C

1.13.2 CABLEADO DEL PRESOSTATO DE MODULACIÓN L91B1.

- 1.- Usar un cable #18 que sea resistente a la humedad y que soporte temperaturas hasta de 105 °C.
- 2.- En el interior del presostato existe un bloque de terminales como se observa en la Figura 4.3, para acceder al interior de presostato quite la tapa delantera aflojando el tornillo ubicado en la parte inferior de la misma.

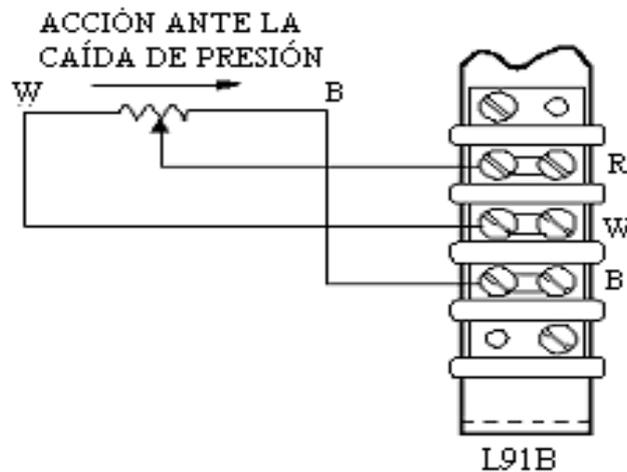


Figura 4.3 Bornera presostato L91B.

Los terminales R, W, B son conectados hacia la caja de cableado del motor modulador.

- 3.- Instale la tapa delantera cuando el cableado se haya completado.

1.13.3 CABLEADO DEL MCDONNELL & MILLER².

En este controlador se encuentra dos seguridades para evitar que la caldera funcione sin el nivel de agua adecuado, el primero es el contacto que al cerrarse

¹ Ref. 2-4

² Ref. 2-6

hace que arranque la bomba de alimentación de agua y la segunda es aun funcionando la bomba no suba el nivel de agua, en ese instante el segundo contacto se abre y de esta manera el PLC apaga la caldera

- **Cableado para el arranque de la bomba de agua**

Al descender el nivel de agua el bulbo se inclina y el mercurio cortocircuita los contactos 1 y 2 de la bornera interior del McDonnell & Miller (Figura. 4.4), estos terminales se utilizaron para hacer que arranque automaticamente la bomba de agua

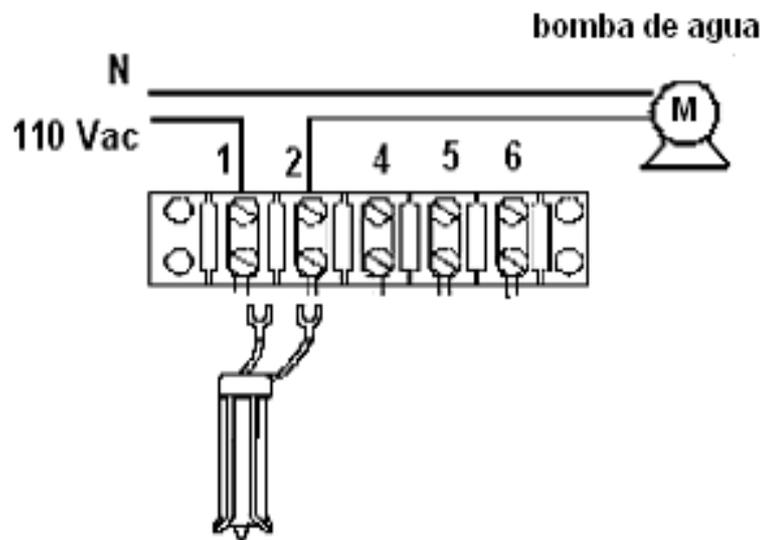


Figura 4.4 Cableado bomba de agua.

- **Corte por bajo nivel de agua.**

El terminal 5 y 6 de la bornera ubicada en el McDonnell & Miller es un contacto normalmente cerrado siempre y cuando las condiciones de nivel de agua en la caldera sean las apropiadas.

Aprovechamos este contacto para hacer que a través de el ingrese una señal de 24 vdc a la entrada digitales correspondiente del PLC, esta señal nos ayuda a saber cuando la caldera tiene el nivel de agua correcto.

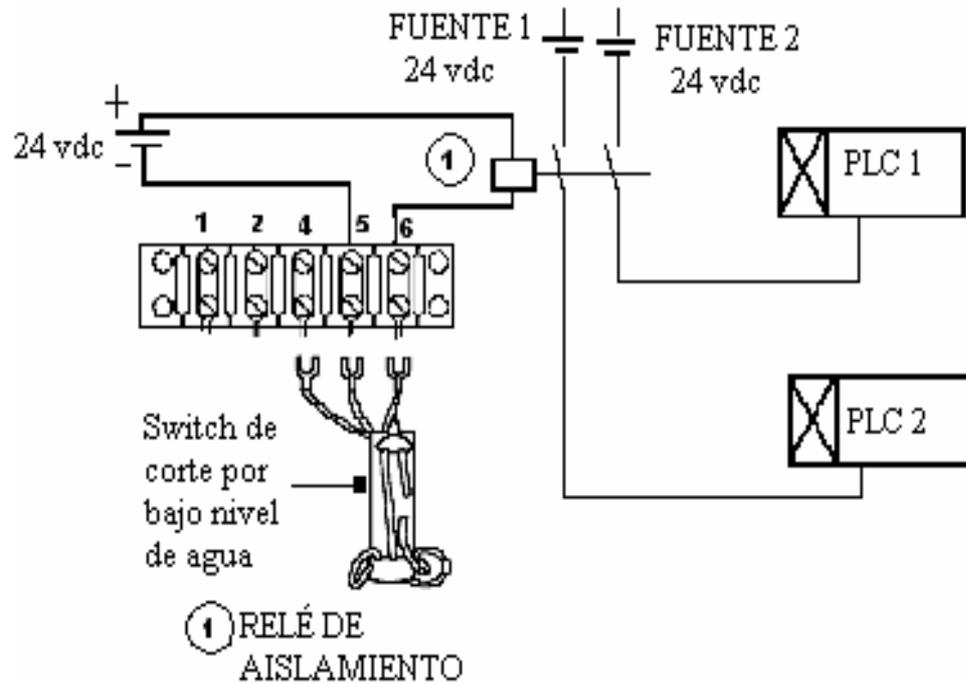


Figura 4.5 Cableado hacia el PLC desde el McDonnell & Miller.

1.13.4 CABLEADO DEL MOTO MODULADOR1.

Los cables que vienen desde el presostato L91B son cableados hacia el motor modulador como indica la figura 4.6, en el interior de este modulador se encuentran codificados los cables “R”, “B”, “W” de esta forma solo se procedió a su empalme.

En la parte frontal del tablero de cada una de las calderas hay un potenciómetro que ha sido cableado de la misma manera que el presostato L91B, desde el cual el operador puede también maniobrar al motor modulador, este potenciómetro ayuda al encendido de la caldera y tiene prioridad sobre el potenciómetro del presostato L91B.

¹ Ref. 2.5

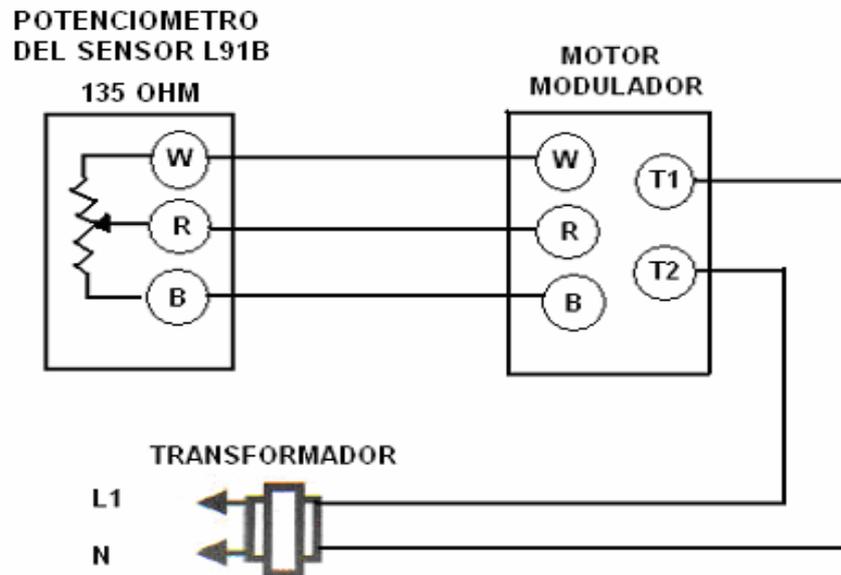


Figura. 4.6 Cableado motor modulador

ESQUEMA DE LOS SWITCH INTERNOS DEL MOTOR MODULADOR.

El motor modulador tiene dos switch que han sido cableados hacia las borneras correspondientes ubicadas en los tableros de cada caldera estos switch nos ayudan a saber en que posición se encuentra del motor modulador.

Su funcionamiento es el siguiente:

- Cuando el motor modulador ha viajado 90 grados, el switch interno izquierdo se activa e ingresa 24 vdc a la entrada digital del PLC con lo cual determinamos que la caldera ha llegado a alto fuego esto significa que la válvula de ingreso de bunker esta totalmente abierta y los dampers de ingreso de aire del ventilador también se encuentran totalmente abiertos.
- Cuando el motor se encuentra en su posición inicial el switch interno derecho del motor modulador está activado y con esto hacemos que ingrese 24 vdc a la entrada digital correspondiente del PLC con lo cual se determina cuando la caldera ha llegado a bajo fuego, esto significa que la válvula de bunker y los dampers se encuentran casi cerrados.

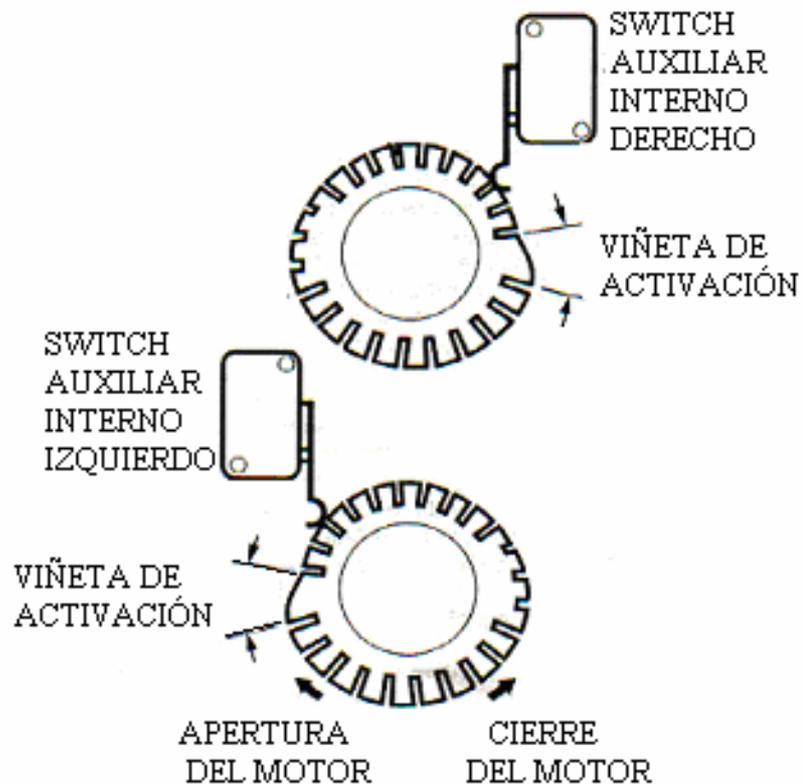


Figura 4.7 Switch's motor modulador¹.

1.13.5 CABLEADO DEL GUARD DOG.

El sensor RS-1-BR-1 mediante cableado debe ingresar al tornillo P de la unidad de control, cuando el nivel de agua es el adecuado el contacto interno que existe entre los tornillos NO y COM se cierra de esta manera se aprovecha este contacto para hacer que ingrese 24 vdc a través de la bornera a una entrada lógica del PLC con esto se sabe si la caldera tiene el nivel de agua adecuado.²

¹ Ref. 2.5

² Ref. 2.7

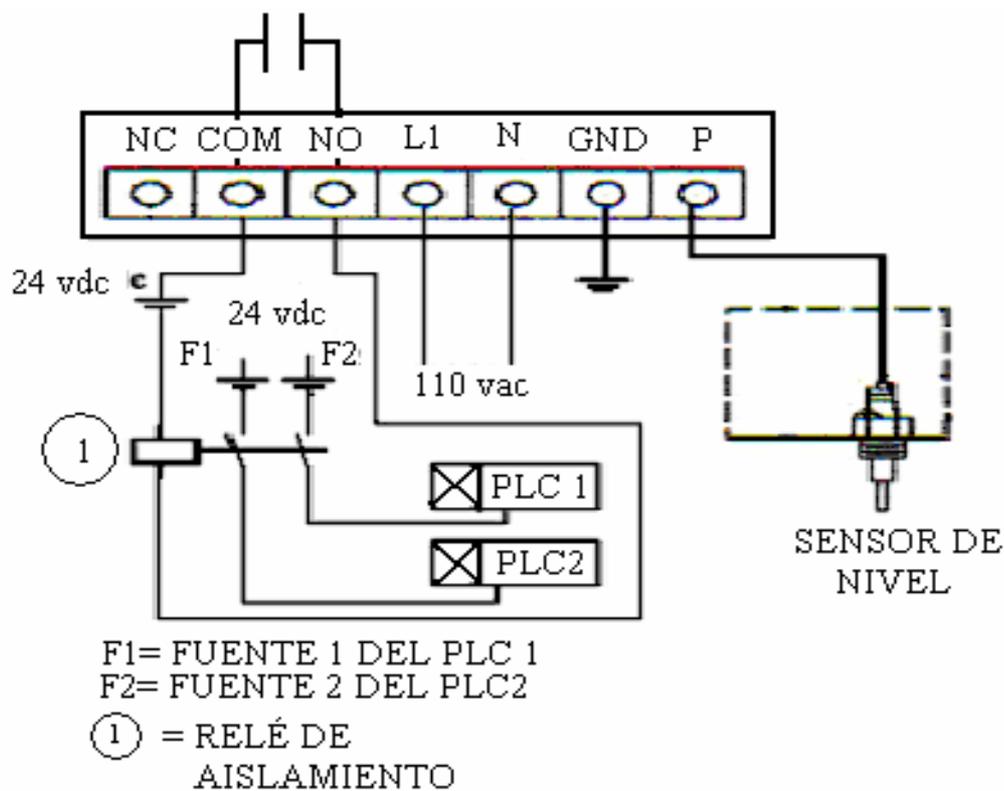


Figura 4.8 Esquema de cableado del sensor Guard Dog

1.13.6 CABLEADO DEL WATLOW.

Primeramente ubicaremos la numeración de las borneras para tener una referencia de donde se debe cablear.

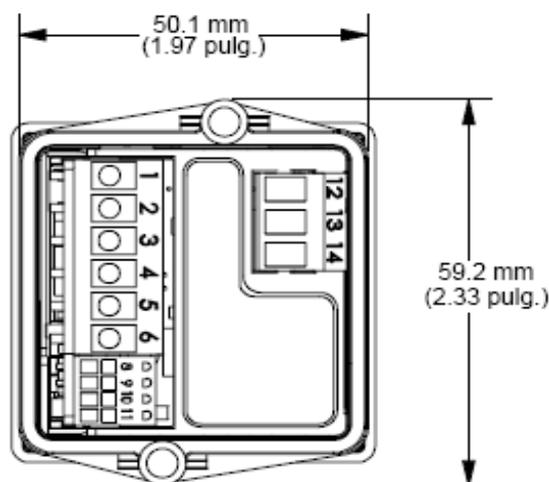
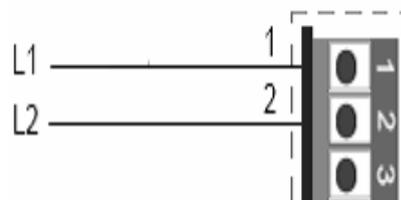


Figura 4.9 Borneras del controlador

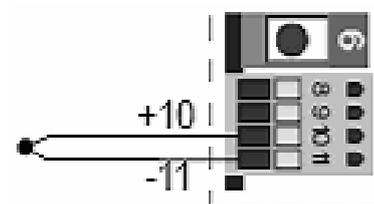
Cableado de alimentación eléctrica de 110 Vac

El controlador de la serie SD WATLOW puede ser alimentado con voltajes de 100 a 240 vac y como lo indica la figura adjunto debe ser ingresado por los terminales 1 y 2.



Entrada de la termocupla

La termocupla que se encarga de medir la temperatura del combustible “bunker” es de tipo “J” hay que tomar en cuenta que son sensibles a la polaridad y el negativo se debe conectar en el terminal #11

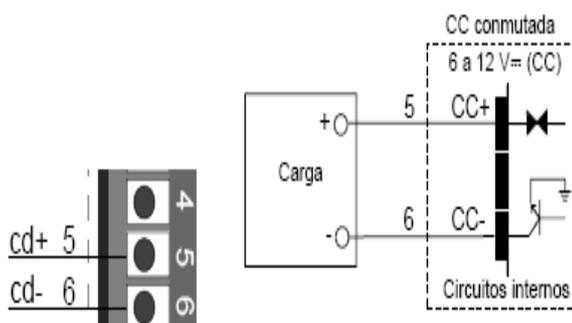


Salida 1 y 3 conmutada

- La salida suministra energía eléctrica
- Corriente de suministro 30 mA como máxima.
- Voltaje de salida de 6 a 12 Vdc.

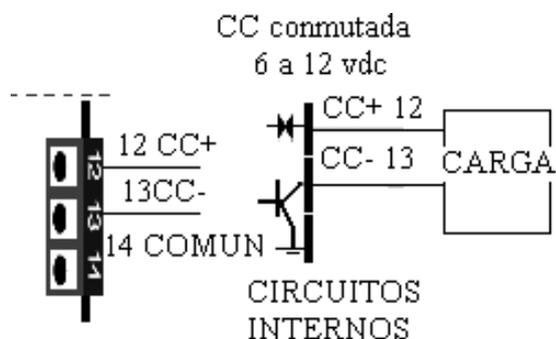
Salida 1

Para la aplicación utilizamos esta salida que nos suministra 12 vdc para activar un relé de estado sólido cuyos contactos manejan un voltaje de 110 vac y son los encargados de energizar la bobina del contactor que permite la alimentación de voltaje hacia el calentador eléctrico de bunker.



Salida 3

Esta salida es utilizada para activar un relé cuyos contactos son los encargados de enviar 24vdc a través de la bornera hacia la entrada correspondiente del PLC. Cuando la temperatura de bunker es la adecuada este sensor deja de enviar 12 vdc y el



relé deja de actuar, como se ha puesto los 24 vdc en un contacto normalmente cerrado al tener condiciones normales de funcionamiento el PLC recibe una señal que le indica que la temperatura es la adecuada, caso contrario si la temperatura está por debajo de la que se encuentra seteada en el controlador el relé actúa y abre el contacto que envía la señal al PLC con lo cual la caldera se apaga por baja temperatura de bunker¹.

1.14 PUESTA A PUNTO Y CALIBRACIÓN DE SENSORES

CALIBRACIÓN Y SETEO DEL PRESOSTATO L404A Y L404C.

El punto de operación superior es determinado por el setpoint colocado en la escala principal, mientras que el punto más bajo de operación y en el cual el presostato vuelve a su condición normal está determinado por el valor seteado en la escala principal menos el valor seteado en la escala diferencial, con esto se consigue tener una banda en la cual el presostato evita activarse y desactivarse por fluctuaciones de la presión interna de la caldera.²

¹ Ref. 2.9

² Ref. 2.2, Ref. 2.3

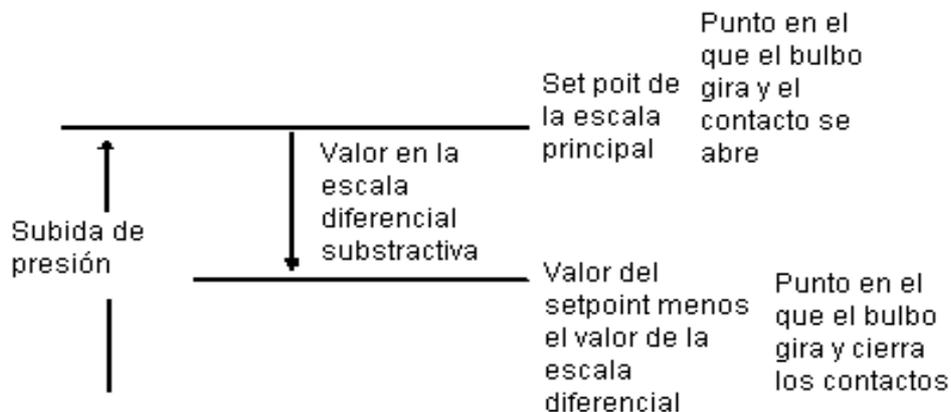


Figura 410 Puntos de operación del presostato L404A Y L404C.

El ajuste de la escala principal en el punto de operación de la caldera se lo realiza mediante el tornillo indicado en el anexo 2.1 fig. 2.1.1, este tornillo está ubicado en la parte superior de cada uno de los presostatos, y al girarlo el indicador metálico comienza a deslizar hacia arriba o hacia abajo a través de la escala metálica principal hasta que el indicador se coloque en el valor de presión deseado. De igual manera se procede para la escala substractiva diferencial¹.

1.14.1 CALIBRACIÓN Y SETEO DEL PRESOSTATO L91B².

Ajustar el tornillo del setpoint de la escala principal indicado en el anexo 2.1 fig. 2.1.3 hasta que el indicador se ubique dentro de la escala metálica en el valor deseado, con esto lo que hacemos es asignar al punto B del potenciómetro la presión mínima a la que se quiere que module, seguidamente giramos el tornillo perteneciente al rango proporcional hasta colocarlo en el valor deseado, con lo cual el valor máximo de modulación sería el valor seteado en la escala principal sumado el valor seteado en la escala proporcional.

¹ Ref. 2.2, Ref. 2.3

² Ref. 2.4

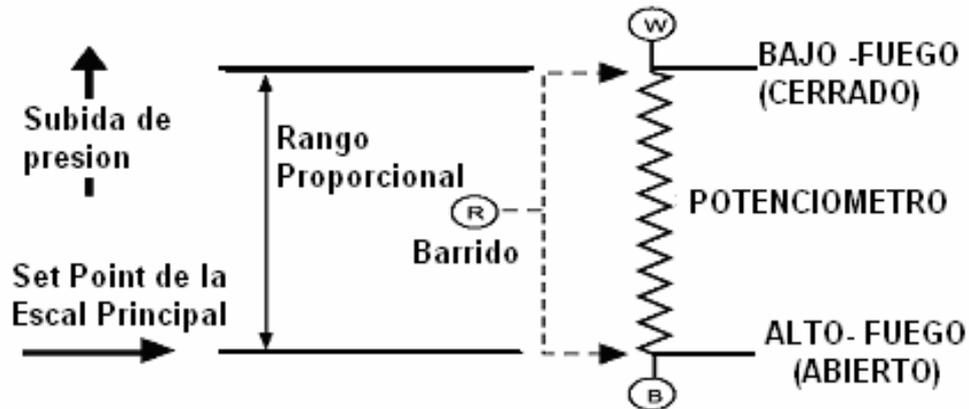


Figura 4.11 Puntos de operación del presostato L91B.

EJEMPLO DE CALIBRACIÓN DE LOS 3 PRESOSTATOS

A continuación daremos un ejemplo de calibración:

Los valores de setpoint colocados en la escala principal del presostato L91B más el valor del diferencial (rango proporcional) debe ser menor o de igual valor que el colocado en la escala principal del presostato L404A.

Por ejemplo, para que una caldera pueda entregar presiones entre 70 y 80 psi se debe seleccionar un presostato L91B, capaz de medir entre 5-150 psi, con un rango proporcional ajustable de 5 a 23 psi y un presostato L404A, capaz de medir entre 10-150 psi, con el diferencial ajustable de 8 a 16 psi.

Ponga el Setpoint de la escala principal del presostato L404A en 80 psi y su diferencial ajustable a 10 psi. El presostato L404A permitirá que la caldera tenga una presión límite de 80 psi y una presión mínima de 70 psi. La escala del presostato L404C se lo puede colocar en 81 psi, esto es en caso que el presostato L404A no actúe.

Se colocó el valor proporcional del presostato L91B diferencial en 5 psi y el setpoint de la escala principal en 73 psi y este dará una modulación entre 73 y 78 psi.

Como se ve el setpoint de la escala principal más su diferencial del presostato L91B deben ser menor o de igual valor al setpoint de la escala principal del presostato L404A.

1.15 PRUEBAS

Se describirán las pruebas que se realizaron antes de poner en funcionamiento las tres calderas y la simulación de las fallas cuando las calderas estaban en su condición de operación normal.

1.15.1 PRUEBAS Y SIMULACIÓN DE LOS PROGRAMAS.

El proceso de pruebas tanto en el PLC Compact como en el PLC Premium se facilitó debido a que todas las señales son de tipos digitales, y se pudo hacer las simulación mediante una bornera que se formaba de diez switches y que podían ser manipulados a voluntad con lo cual simulamos los sensores de cada caldera.

Se comprobó que el PLC Compact ejecute la secuencia de encendido hasta llegar a la operación normal y después se simuló el apagado, paralelamente se comprobó que la magelis despliegue los mensaje correctos en su pantalla.

De igual forma se hizo la conexión entre el PLC y la computadora donde se estaba realizando la programación y se puso en línea para proceder a la simulación en tiempo real del programa. Esto fue una herramienta muy útil ya que ayudó a evitar fallas peligrosas en el momento de probar los PLC's con las calderas reales.

Después de optimizar el programa del PLC Compact se procedió a realizar las pruebas con el PLC Premium.

1.15.2 PRUEBAS DEL TABLERO DE CONTROL GENERAL.

Luego de la instalación de todos los elementos de protección, operación, control y maniobra en el tablero de control general se procedió a hacer las siguientes pruebas:

1.15.2.1 Pruebas de alimentación de voltajes.

Esta prueba descarta que al activar los disyuntores de protección ningún elemento reciba un nivel de voltaje equivocado y evita que existan conexiones que produzcan corto circuito y la posterior avería de cualquiera de los elementos.

La codificación de los disyuntores de protección (anexo 4.1) es muy importante, con esta información se procedió a medir los voltajes que deberían tener cada uno de los disyuntores y a que circuito alimentan, una vez verificados los voltajes se procedió a encender uno a uno y a constatar el buen funcionamiento de cada uno de los dispositivos y elementos de control.

1.15.2.2 Pruebas de cableado de señales I/O a los dos plc's.

Esta prueba se realizó una vez que se ha comprobado que el tablero de control estaba totalmente energizado y que cada una de las calderas tengan tanto la alimentación de 110 vac como la alimentación de 24 vdc, este último sirve como señal de control desde los sensores de las calderas hacia los módulos de entrada de los PLC's.

Se verificó que todas las señales que se encuentran en las borneras de cada uno de los tableros de las calderas lleguen primeramente a las borneras del tablero de control general.

Se verificó que todas las señales de entrada que se encuentran en las borneras del tablero de control general lleguen a las bobinas de los relés de aislamiento y seguidamente se verificó que activando los relés de aislamiento las señales lleguen hacia los módulos de entrada de los dos PLC's.

Se verificó que al ir forzando cada una de las salidas de los dos PLC's se activen los relés correspondientes y posteriormente se activen los elementos finales que se encuentran en cada una de las caldera (contactores, motores, resistencias, etc.).

1.15.3 PRUEBAS DEL TABLERO EN CADA CALDERA

1.15.3.1 Pruebas del cableado de sensores

Todos los sensores existente en cada caldera tienen contactos que se accionan dependiendo las variables que están censando, para el proyecto se realizó el cableado (como se indica en el anexo de planos) de estos sensores con el propósito de llevar la señal de 24 vdc como señal de control desde cada uno de los sensores hacia las borneras ubicadas en el tablero de cada caldera y desde ahí hacia el tablero general.

Tomamos la consideración que “todo contacto en condiciones normales de funcionamiento debe estar cerrado” es decir que en la bornera correspondiente a la señal de ese sensor debe llegar 24 vdc si las condiciones de funcionamiento de esa variable es normal.

Comprobando con un multímetro voltajes en cada una de las borneras correspondientes a cada sensor se determinó que el cableado se haya realizado bien.

1.15.4 PRUEBAS DE ARRANQUE Y FUNCIONAMIENTO DE LAS CALDERAS

1.15.4.1 Pruebas de encendido

En esta prueba se verificó que todos los pasos que la caldera debe seguir desde que arranca hasta que llega a su operación normal se cumplan, así como también que todos los elementos que el PLC activa lo haga a su debido tiempo, para lo cual se requirió una computadora portátil que permitió el monitoreo en tiempo real del programa que está corriendo en el PLC.

Cada una de las pruebas que serán descritas a continuación fueron hechas individualmente y solamente al comprobar que todas cumplían su objetivo se realizó una prueba general de arranque. Las pruebas que se realizó fueron las siguientes:

1.- Se giró el selector correspondiente al encendido de la bomba de bunker desde el tablero principal y se constató que la bomba se haya prendido.

2.- Se esperó que el bunker llegue a la temperatura adecuada y que el sensor encargado de monitorear esta variable indique al PLC cuando el bunker está listo.

3.- Se verificó que las señales de los sensores encargados de monitorear el nivel de agua, la alta presión de vapor y que el modulador se encuentre en bajo fuego lleguen hacia el PLC, indicando que se podía continuar con el proceso de arranque

4.- Se seleccionó el PLC con el que se va a trabajar y se verificó que en la simulación la caldera vaya del paso 0 y se ubique en el paso 1.

5.- Se dio la señal de arranque con el selector SW On – Off de la caldera y se verificó que en la simulación la caldera avance del paso 1 al paso 2, en este

instante se debía verificar que el motor del ventilador se encienda y seguidamente que el sensor encargado de enviar la señal al PLC indicando que el ventilador estaba encendido, actúe. También debe encenderse el motor del compresor y de igual manera se verificó que la señal que indica que el compresor está encendido llegue al PLC.

6.- Al mismo tiempo se verificó que el PLC ordene al motor modulador que envíe a la caldera hacia alto fuego y cuando llegue a esta posición la señal encargada de indicar que la caldera está en alto fuego haya llegado a la entrada del PLC, con lo cual en el programa se va del paso 2 al paso 3

7.- Se verificó que cuando la caldera llegó a alto fuego esta se mantenga por 30 segundos para después dejar de enviar la señal de alto fuego, con lo que la caldera regresa a bajo fuego, al llegar a bajo fuego el PLC debe recibir la señal ratificando la posición de bajo fuego con lo cual en la simulación debe ir del paso 3 al paso 4.

8.- Al estar en el paso 4 se comprobó que el PLC envíe una señal que activa tres elementos a la vez

- La electro válvula que permite el paso del gas para el encendido de la llama piloto.
- La luz que indica el encendido de la llama piloto.
- El transformador de Ignición que es el encargado de dar la chispa para el encendido de la llama piloto.

Se verificó que todos estos elementos se encendieran.

9.- Después de verificar que la llama piloto se encendió, el sensor encargado de indicarle al PLC que existía llama debía actuar, con lo cual el PLC manda a la caldera del paso 4 al paso 5, todo esto se debía verificar en la computadora donde se estaba simulando el programa.

(En esta parte de las pruebas se debía tener mucho cuidado ya que si el programa no funcionaba bien se corría el riesgo de dejar encendida la válvula de gas y producir una explosión.)

10. Verificando que la caldera llegó al paso 5, el PLC manda activar la electro válvula que permite el paso del bunker y después cerrar la válvula de gas con lo cual la caldera va del paso 5 al paso 6. Si la caldera no se enciende se debe verificar que las dos válvulas la de gas y la de bunker se hayan cerrado completamente.

Nota: Las pruebas realizadas en el numeral 8, 9 y 10 son de mucho cuidado y se requirió de 3 ingenieros y un operador para realizarlas.

11.- Se verificó que al encenderse la caldera esta se encuentra en el paso 6 y para que la caldera llegue al paso 7 debía mantenerse encendido la llama principal por más de 15 segundos, solo en ese instante la caldera avanza al paso 7 y se mantiene en ese paso.

1.15.4.2 Pruebas de Apagado

Después de haber hecho las pruebas de arranque individualmente se procedió hacer una prueba de apagado.

Las pruebas que se hicieron fueron las siguientes:

1.- Apagamos el sw On-Off de la caldera y verificamos enseguida que la electro válvula principal que controla al bunker se haya cerrado, en este instante verificamos que en la simulación la caldera haya saltado del paso 7 al paso 8

2.- Verificamos que al llegar al paso 8, el PLC de la señal al motor modulador para que este envíe a la caldera hacia bajo fuego y al llegar a esta posición verificamos que el programa de simulación se encuentre en el paso 9.

3.- Luego de llegar al paso 9, comprobamos que el PLC de la orden para que la caldera viaje hacia alto fuego y al llegar a esta posición se verifico que el paso en el que se encontraba la caldera era el paso 10.

4.- Después que el sensor envió la señal en la que indica que la caldera estaba en alto fuego, el PLC llevó a la caldera nuevamente hacia bajo fuego con lo cual se llegó al paso inicial que es el cero

1.15.4.3 Prueba de Apagado por Fallas

Para realizar estas pruebas primeramente se constató que el arranque y apagado de la caldera no tengan ningún problema.

Para simular las fallas la caldera debe encontrarse en operación normal y se forzaron los sensores que hacen que la caldera se apague.

1.- Bajo Nivel de Agua.- Se realizó la purga del caldero con lo cual el nivel de agua del interior de la caldera bajo y se comprobó que los sensores encargados del monitoreo actúen y que la bomba de agua se encienda llenando la caldera nuevamente, con esta prueba se verifica en buen funcionamiento del McDonnell & Miller.

2.- Bajo Nivel de Agua con bomba de agua desconectada.- La desconexión se la realizó en los contactos que comandan a la bomba de agua que se encuentran en la bornera del McDonnell & Miller, esta prueba se la hizo para ver si el McDonnell respondía ante un descenso de nivel del agua de la caldera y así fue, luego que el sensor dejó de enviar la señal del nivel del agua, la caldera empezó con su proceso de apagado, inmediatamente se verifico el mensaje correspondiente a esta falla en la magelis y la alarma sonora.

3.- Bajo Nivel de Agua Macdonell forzado.- Al forzar al McDonnell dejamos sin uso a este sensor, esto se lo realizó con el fin de evitar que la bomba de agua actúe y llene nuevamente la caldera.

Con esto verificamos que el Guard Dog en conjunto con el sensor de nivel actúe ante un descenso de nivel de agua, lo cual fue verificado al realizar esta prueba, el caldero empezó su proceso de apagado e inmediatamente se verificó el mensaje correspondiente a esta falla en la magelis y la alarma sonora.

4.- Sin aire de compresión.- Se cerró la válvula de alimentación del aire de atomización o aire de compresión con lo cual se verificó que el sensor dejó de enviar la señal de 24 vdc y la caldera empezó su proceso de apagado, inmediatamente se verificó el mensaje correspondiente a esta falla en la magelis y la alarma sonora.

5.- Sin aire de combustión.- Desconectamos el breaker que alimenta al motor del ventilador con lo cual se verificó que su respectivo sensor dejó de enviar la señal de 24 vdc y la caldera empezó su proceso de apagado, inmediatamente se constató el mensaje correspondiente a esta falla en la magelis y la alarma sonora.

6.- Sensor de llama.- con este sensor se realizó dos tipos de pruebas:

6.1 Llama anticipada: Se simuló la existencia de llama en el proceso de encendido lo cual nos dio la respuesta esperada que fue falla por llama anticipada y el posterior proceso de apagado de la caldera, y se verificó la alarma sonora.

6.2 Falla llama principal: Cuando la caldera se encontraba operando normalmente se desconectó el ojo sensor que se encarga de verificar la existencia de llama con lo cual la señal correspondiente a esta variable dejó de llegar al PLC y comenzó el proceso de apagado, inmediatamente se verificó el mensaje correspondiente a esta falla en la magelis y la alarma sonora.

7.- Bunker frío.- Una vez que la caldera estuvo apagada durante un día completo se la encendió estando el bunker a una temperatura inferior a los 60 grados centígrados, con lo cual se verificó que la señal del sensor no llegaba al PLC, lo

que indicaba que el bunker estaba frío, se desplegó en la magelis la falla de “BAJA TEMP DE BUNKER” y no permitió el proceso de encendido.

8.- Alta presión de Vapor.- Para probar esta falla se tuvo que calibrar el presostato de operación a una presión de 50 psig con lo cual se encendió la caldera y se esperó que la presión en el interior sobrepase el valor seteado en el presostato, al llegar a 51 psig la caldera empezó su proceso de apagado y se verificó el mensaje en la magelis “ALTA PRESIÓN DE VAPOR” seguido de la alarma sonora.

En el proceso de pruebas el computador estaba monitoreando el programa y en se verificó que los mensajes en la magelis sean los correctos.

Todas estas pruebas fueron realizadas tanto con el PLC Compact como con el PLC Premium y en cada una de las tres calderas.

1.16 COSTOS

Los costos de implementación del proyecto de “Mejoramiento del sistema de abastecimiento de vapor para la planta FERRERO del Ecuador utilizando PLC” se muestran a continuación.

Se detallan los valores invertidos en la adquisición de cada PLC y el valor total de gastos de los accesorios de automatización.

**EQUIPO
PLC Compact**

ÍTEM	CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	PC-E-984-275	CPU 32 bit, 512 Kb, 2 puertos modbus, 1 puerto modbus plus, con slot PCMCIA II	u	1	3,938.64	
2	AS-HDTA-200	Rack base ASHDTA 200	u	2		
3	AS-BDEP-216	Tarjeta de entradas digitales DEP216	u	3		
4	AS-BDAO-216	Tarjeta de Salidas Digitales DAP 216	u	2		
5	AS-WBXT-201	AM Cable comunicaciòn rack	u	1		
6	XBTH012110	Pantalla magelis	u	1		
					SUBTOTAL	3,938.64
					12% I.V.A.	472.64
					TOTAL	4,411.28

**EQUIPO
PLC PREMIUM**

ÍTEM	CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	TSXP57153M	TSX P 57 ProcesadorM	u	1	4,111.03	
2	TSXRKY12EX	12 Slot ext. Rack	u	1		
3	TSXDEY16D2	16I 24VCC TR.BLK	u	3		
4	TSXDSY16R5	16Q Relay 50va TR. BLK	u	2		
5	TSXPSY5500M	100/240vac 55W power. suplie.	u	1		
6	TSXPLP01	Bateria	u	2		
7	TSXBLY01	Terminal BLK	u	5		
8	TSXSCY21601	1 Channel RS 485 modbus	u	1		
9	XBTH012110	Pantalla magelis	u	1		
					SUBTOTAL	4,111.03
					12 % I.V.A.	493.32
					TOTAL	4,604.35

**EQUIPO
ACCESORIOS DE AUTOMATIZACIÓN**

ÍTEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	RXN-41G11BD	Relé miniatura 24 vdc	u	48	5,544.15	
2	RXZ-7G	Base socket para relé miniatura	u	48		
3	BELDEN	Cable TTHN 105 # 18 AWG	m	100		
4	AR1-MA01	Cifras del (0-9) 200 de cada una	c	1		
5	AR1-MB01	Letras (A a Z) 200 de cada una	c	1		
6	C60N 1P 1AC	Breakers de control	u	6		
7	C60N 1P 3AC	Breakers de control	u	7		
8	C60N 1P 6AC	Breakers de control	u	6		
9	AB1-VV235U	Borneras de conexión	u	300		
10	AM1-DP-200	Riel Omega Din 35	m	2		
11	AK2-GA65	Canaleta	m	4		
12	AK2-CA6	Tapas Canaleta	m	4		
13	AB1-R1	Peines enganchables marcación borneras	c	1		
14	DZ5-CA010	Terminales para cable con porta marquillas	c	10		
15	AB1-AC24	Tapas bornera	u	30		
16	AB1-AB8P35	Topes bornera	u	15		
17	ZB5-AD3	Selector 3 posiciones	u	1		
18	ZB5-AD2	Selector 2 posiciones	u	1		
18	XB4-BW34B5	Pulsante rojo	u	1		
19	CV-150	Amarras plásticas 15 cm.	c	20		
20	NS100N-TM63D	Sensor con amplificador de llama y Módulo de salida tipo relé	u	3		
21	TABLERO	Tablero de 1,50 x 80 x 60 acero inoxidable	u	1		
					SUBTOTAL	5,544.15
					12 % I.V.A.	665.30
					TOTAL	6,209.45

TOTAL

1	PLC COMPACT		4,411.28
2	PLC PREMIUM		4,604.35
3	ACCESORIOS DE AUTOMATIZACIÓN		6,209.45
SUMA TOTAL			15,225.08

1.17 CONCLUSIONES

- Con la modernización tanto individual de las calderas como en conjunto, se aumento la fiabilidad y seguridad del sistema, requerimientos muy importantes en la generación de vapor.
- La visualización centralizada tanto de los mensajes de estado de las calderas así como de los mensajes de falla, permite tener una visión total del sistema de generación de vapor ya que el operador puede observar desde un solo sitio el estado de operación de las tres calderas.
- En la actualidad se puede realizar un mejor mantenimiento preventivo ya que en el nuevo sistema se tiene una mejor supervisión del proceso, lo cual contribuye a disminuir el tiempo en el cual se soluciona las eventuales fallas en el sistema de generación de vapor.
- El disponer de un control centralizado alejado de las calderas evita los daños que en ocasiones anteriores se presentaban en los dispositivos de control, ya sea por derrames de bunker, vibración o sobrecalentamiento de los mismos.
- Lo moderno de los dispositivos de control actuales posibilita la implementación de nuevas mejoras en el sistema de generación de vapor, de igual manera, garantiza un continuo abastecimiento de repuestos en caso de ser necesario y del soporte técnico para la solución de posibles problemas.
- La estructura de programación actual permite la implementación de futuras unidades de generación de vapor (calderas), lo cual no implicaría cambios en la lógica de programación, ya que simplemente se incrementarían las secciones del programa de control para una nueva caldera con la misma lógica que las anteriores.

1.18 RECOMENDACIONES

- Explotar de mejor manera las herramientas con las que cuenta el nuevo sistema de visualización, ya que con estos dispositivos se podría mediante programación tener un informe impreso del histórico de fallas y del tiempo de funcionamiento de cada caldera.
- El tener un sistema moderno de control no implica el abandono total de la supervisión por parte de los operadores del sistema de generación de vapor; al contrario, se recomienda controlar periódicamente el nivel de agua mediante el visor de cristal ubicado en la parte superior derecha de cada caldera.
- Realizar la purga en las calderas, ya que esta operación permite verificar el buen estado de los sensores de nivel de agua y el buen funcionamiento del programa en lo que a control de nivel se refiere.
- Realizar el mantenimiento tanto del tablero general de control como de los tableros en cada una de las calderas con sus respectivos quemadores y sensores; ya que esto evitarían que el hollín que se genera dañe los dispositivos, puesto que es un agente corrosivo y conductivo; de igual forma se debe inspeccionar que no existan cables sueltos o quemados.
- En caso de existir un daño en uno de los módulos de entradas o salidas de un PLC debido a un corto circuito se recomienda no conmutar el mando hacia el otro PLC hasta que se detecte la causa del corto circuito y se la elimine.

