



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL AUTOMÁTICO PARA UNA CALDERA
PIRO TUBULAR HORIZONTAL”**

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

José Bolívar García López

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, por haberme abierto las puertas para ser un buen ser humano y un buen profesional.

Al Ing. Paul Romero Director de Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, Ing. José Morales Director de Tesis, Ing. Diego Barba Miembro de Tesis, por guiarme y compartir momentos en la realización de este proyecto, su paciencia, amistad para conmigo y por alentarme a culminar con éxito mi trabajo, con esfuerzo y dedicación.

A mis maestros y maestras que depositaron su sabiduría, para mi formación integral, por ser no solo docentes sino amigos.

A todos ustedes muchas gracias.

JOSÉ BOLÍVAR GARCÍA LÓPEZ

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por haberme guiado por el camino del bien, a mi padre Bolívar García que en paz descansa y desde el cielo me da sus bendiciones, a mi madrecita querida Lucía López por enseñarme a ser la persona que soy con su sabiduría, ejemplo paciencia, tenacidad, mucho esfuerzo y fortaleza, quien a pesar de todos los problemas que he tenido en mi vida supo guiarme para ser un hombre de bien digno de mi familia y por ende de la sociedad.

A mi hermanita Lucía García que siempre supo apoyarme en los momentos difíciles para alcanzar mis objetivos propuestos para llegar hacia el éxito.

A toda la familia de mi papacito y mi mamacita.

JOSÉ BOLÍVAR GARCÍA LÓPEZ

FIRMAS DE RESPONSABLES Y NOTA

| NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--|--------------|--------------|
| Ing. Iván Menes DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA | | |
| Ing. Paúl Romero DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES | | |
| Ing. José Morales DIRECTOR DE TESIS | | |
| Ing. Diego Barba MIEMBRO DEL TRIBUNAL | | |
| Lcdo. Carlos Rodríguez DIRECTOR DPTO. DOCUMENTACIÓN | | |
| NOTA DE LA TESIS | | |

TEXTO DE RESPONSABILIDAD

“Yo, José Bolívar García López soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

.....

José Bolívar García López

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|--------------------------|---|
| A | Análogo |
| ADC | Tarjeta de adquisición de datos |
| atm | Atmósfera. |
| AWG: | American Wire Gauge |
| bar-cm | Bar por centímetro. |
| BHP/HP | Boiler Horse Power sobre Horse Power. |
| BHP/m² | Boiler Horse Power sobre Metros Cuadrados. |
| CA: | Corriente Alterna |
| Canales I/O: | Canales de entrada y salida |
| CC: | Corriente Continua |
| COM: | Terminal Común |
| CPU: | Unidad Central de Procesamiento |
| C_p | Calor Específico a Presión Constante. |
| D | Digital |
| DCS: | Sistemas de Control Distribuido |
| DIN: | Instituto Alemán de Normalización |
| DRIVER: | Variadores de velocidad de motores |
| E/S: | Entradas y Salidas |
| ESPOCH: | Escuela Superior Politécnica del Chimborazo |
| f | Factor de Fricción. |
| FBD: | Diagrama de bloques funcionales |

| | |
|----------------------|---|
| FC: | Contador Rápido |
| FIE: | Facultad de Informática y Electrónica |
| GRAFCET: | GRAFica de Control de Etapas de Transición |
| HMI: | Interfaz Hombre Máquina |
| GPH | Galones por Hora. |
| °C | Grados Centígrados. |
| IL: | Lista de instrucciones |
| ISA: | Arquitectura Estándar Industrial |
| K | Grados Kelvin. |
| kJ/kg | Kilo-Joules sobre kilo-Gramos. |
| psi. | Libras sobre Pulgadas Cuadradas. |
| LabVIEW | Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench |
| Lbm/h | Libras Masa por Hora. |
| LD: | Diagrama de contactos |
| m | Metros. |
| m² | Metros Cuadrados. |
| mm | Milímetros. |
| N₂ | Nitrógeno Molecular. |
| N/A: | Normalmente Abierto |
| N/C: | Normalmente Cerrado |
| NPN: | Negativo Positivo Negativo |
| Nu | Número de Nusselt. |
| P | Presión |
| Pr | Número de Prandtl. |
| PAC: | Controladores de Automatización Programables |
| PADT: | Herramienta de Programación y Depuración |
| PC: | Controlador Programable |

| | |
|----------------------|--|
| PNP: | Positivo Negativo Positivo |
| P&ID: | Diagramas de Proceso e Instrumentación |
| RTC: | Reloj de Tiempo Real |
| RTD: | Detectores de Temperatura Resistivos |
| RTU: | Unidad Terminal Remota |
| Ra: | Número de Rayleigh. |
| Re | Número de Reynolds. |
| O₂ | Oxígeno Molecular. |
| Pa | Pascales. |
| ST: | Textoestructurado |
| T : | Temperatura |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---------------------------------------|----|
| AGRADECIMIENTO | 1 |
| DEDICATORIA..... | 2 |
| FIRMAS DE RESPONSABLES Y NOTA | 3 |
| TEXTO DE RESPONSABILIDAD | 4 |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS | 5 |
| ÍNDICE GENERAL | 8 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 13 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 15 |
| INTRODUCCIÓN | 16 |
| CAPITULO I..... | 20 |
| 1. GENERALIDADES..... | 20 |
| 1.1. ANTECEDENTES..... | 20 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 23 |
| 1.3. OBJETIVOS | 26 |
| 1.3.1. Objetivo General | 26 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos..... | 26 |
| 1.4. HIPÓTESIS..... | 27 |
| CAPITULO II..... | 28 |
| CALDERA PIRO TUBULAR HORIZONTAL | 28 |
| 2.1. PARTES DE LA CALDERA | 28 |
| 2.1.1. CUERPO DE LA CALDERA | 29 |
| 2.1.1.1. CARCAZA | 29 |
| 2.1.1.2. HOGAR..... | 30 |
| 2.1.1.3. TUBOS | 31 |

| | |
|--|-----|
| 2.1.1.4. ESPEJOS | 33 |
| 2.1.1.5. COMPUERTAS | 34 |
| 2.1.1.5. REFRACTARIO | 34 |
| 2.1.1.6. AISLAMIENTO TERMICO | 35 |
| 2.1.2. QUEMADOR..... | 36 |
| 2.1.2.1. PARTES DEL QUEMADOR | 36 |
| CAPITULO III..... | 57 |
| ACCESORIOS DE CONTROL Y SEGURIDAD | 57 |
| 3.1. GENERALIDADES..... | 57 |
| 3.1.1. CONTROLES PARA CALDEROS PIROTUBULARES..... | 60 |
| 3.1.1.1. CONTROLES LIMITES DE SEGURIDAD | 61 |
| 3.1.1.2. CONTROLES DE LLAMA..... | 62 |
| 3.1.1.3. CONTROLES DE NIVEL DE AGUA..... | 63 |
| 3.1.1.4. CONTROLES DE PRESIÓN | 68 |
| 3.1.1.5. CONTROL DE AIRE..... | 75 |
| 3.1.1.6. CONTROL DE CANTIDAD DE COMBUSTIBLE | 80 |
| 3.1.1.7. CONTROL DE TEMPERATURA..... | 82 |
| 3.2. EQUIPOS AUXILIARES..... | 84 |
| 3.2.1. CALENTADORES DE COMBUSTIBLE..... | 85 |
| 3.2.2. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y CONDENSADO | 86 |
| CAPITULO IV | 92 |
| PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA PIRO TUBUAR HORIZONTAL | 92 |
| 4.1. ELEMENTOS PRINCIPALES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA | 93 |
| 4.2. FUNCIONAMIENTO..... | 99 |
| 4.3. APLICACIONES..... | 102 |
| CAPITULO V | 104 |

| | |
|---|------------|
| DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CALDERO PIROTUBULAR | |
| HORIZONTAL | 104 |
| 5.1. NORMAS DE DISEÑO | 104 |
| 5.2. CONSTRUCCIÓN..... | 106 |
| 5.2.1. MATERIALES REFRACTARIOS | 108 |
| 5.2.2. FORMACION DEL CASCO Y DEL HOGAR..... | 108 |
| 5.2.3. TRAZADO Y PERFORACION DE LOS ESPEJOS..... | 109 |
| 5.2.4. ARMADO DEL CUERPO DE LA CALDERA. | 110 |
| 5.2.5. ARMADO DE LA BASE DE LA CALDERA..... | 110 |
| 5.2.6. COLOCACION Y AJUSTE DE LOS TUBOS DE FUEGO..... | 111 |
| 5.2.7. RECOMENDACIONES DE SOLDADURA..... | 112 |
| CAPITULO VI | 113 |
| SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE LA CALDERA | |
| PIROTUBULAR HORIZONTAL | 113 |
| 6.1. SISTEMA DE CONTROL DE CALDERAS..... | 113 |
| 6.2. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL..... | 116 |
| 6.2.1. Conocimientos básicos para la automatización | 117 |
| 6.2.2. Elementos de una instalación automatizada..... | 118 |
| 6.3.2. Clasificación de las señales..... | 122 |
| 6.3.2.1. Señales on-off | 123 |
| 6.3.2.2. Señal digital tren de pulsos..... | 123 |
| 6.3.2.3. Señal análoga DC..... | 124 |
| 6.3.2.4. Señales análogas en el dominio del tiempo | 124 |
| 6.3.2.5 Señales análogas en el domino de la frecuencia | 125 |
| 6.3.3 La etapa de acondicionamiento de la señal | 126 |
| 6.4. Elementos de un circuito eléctrico..... | 128 |
| 6.4.1. Red o fuente de alimentación | 128 |
| 6.4.3.1. Por su apariencia y forma exterior. | 129 |
| 6.4.3.2 Por la función que realicen | 130 |

| | |
|--|------------|
| 6.4.3.3 Elementos auxiliares de mando..... | 131 |
| 6.4.4 Elementos de señalización | 134 |
| 6.4.5 Elementos de protección | 135 |
| 6.4.5.1 Relés térmicos..... | 137 |
| 6.4.5.2 Relé térmico diferencial..... | 138 |
| 6.5. Representación eléctrica..... | 139 |
| 6.5.1 Normas eléctricas y electrónicas | 140 |
| 6.5.2 Símbolos gráficos..... | 142 |
| 6.5.3 Referenciado en esquemas desarrollados | 143 |
| 6.5.3.1 Referenciado de las bornas de conexión de los aparatos | 143 |
| 6.5.3.2 Referenciado de las bornas en los borneros..... | 147 |
| 6.5.4 Ejecución de esquemas | 147 |
| 6.5.4.1 Colocación general en la representación desarrollada | 148 |
| 6.6 Diseño del tablero | 150 |
| 6.7. Descripción de los módulos..... | 151 |
| 6.7.1 Módulo de contactores..... | 151 |
| 6.7.2 Módulo de accionadores de mando manual | 152 |
| 6.7.3 Módulo de relés | 152 |
| 6.7.4 Módulo de alimentación con elementos de medición | 152 |
| CAPITULO VII | 153 |
| SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA | |
| PIROTUBULAR HORIZONTAL MEDIANTE LabVIEW | 153 |
| 7.1. LABVIEW | 153 |
| 7.1.1. Principales usos..... | 156 |
| 7.1.2. Principales características | 157 |
| 7.1.3. Adquisición de señales | 160 |
| 7.1.4. Exhibición de magnitudes..... | 161 |
| 7.1.5. Procesamiento de datos..... | 162 |

| | |
|---|------------|
| 7.1.6. DESARROLLO DE LA INTERFAZ HOMBRE MAQUINA BAJO | |
| LABVIEW | 166 |
| CAPITULO VIII | 174 |
| PRUEBAS Y RESULTADOS | 174 |
| CONCLUSIONES | 178 |
| RECOMENDACIONES..... | 180 |
| RESUMEN | 182 |
| SUMARY | 183 |
| APÉNDICE | 184 |
| ANEXOS..... | 193 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 212 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|----------------|--|-----|
| Figura II.1. | Carcaza Piro tubular | 33 |
| Figura II.2. | Hogar ondulado para la caldera Piro Tubular | 35 |
| Figura II.3. | Tubos de fuego | 37 |
| Figura II.4. | Espejo | 37 |
| Figura II.5. | Compuertas delantera y posterior | 38 |
| Figura II.6. | Refractores del hogar | 39 |
| Figura II.7. | Válvula Solenoide | 44 |
| Figura II.8. | Boquillas de pulverización | 45 |
| Figura II.9. | Conjunto quemador que quema el combustible, aire y la Ignición | 48 |
| Figura II.10. | Ángulos del spray | 52 |
| Figura II.11. | Vista lateral y frontal del cono difusor, boquillas y electrodos. | 52 |
| Figura II.12. | Electrodos | 53 |
| Figura II.13. | Calibrador de electrodos | 54 |
| Figura II.14. | Componentes de la llama | 57 |
| Figura II.15. | Aplicación de fotoceldas ultravioletas | 60 |
| Figura II.16. | Fotocelda de rectificación | 60 |
| Figura III.17. | Control de Nivel de Agua Mc. Donnel | 67 |
| Figura III.18. | Partes del nivel de agua | 68 |
| Figura III.19. | Control del nivel de agua por electrodos | 69 |
| Figura III.20. | Visor indicador de nivel de agua | 72 |
| Figura III.21. | Presóstato de operación | 74 |
| Figura III.22. | Presóstato de modulación | 76 |
| Figura III.23. | Nanómetro para la caldera | 78 |
| Figura III.24. | Válvula de seguridad | 79 |
| Figura III.25. | Esquema de control | 81 |
| Figura III.26. | Vista proporcional general del modular | 84 |
| Figura V.27. | Caldera Piro Tubular horizontal | 110 |
| Figura VI. 28. | Señales análogas y digitales | 127 |
| Figura VI. 29. | Tablero de control | 144 |
| Figura VI. 30. | Contactos principales | 148 |
| Figura VI. 31. | Contactos Auxiliares | 149 |
| Figura VI. 32. | Mandos de control | 150 |
| Figura VI. 33 | Gráfica de capacidad de caldera vs. Consumo de combustible (5bhp). | 173 |
| Figura VI. 34 | Gráfica de eficiencia térmica vs. Consumo de combustible (5bhp). | 174 |
| Figura VI. 35 | Gráfica de temp. Gases en chimenea vs. Consumo de combustible (5bhp). | 174 |
| Figura VI. 36 | Gráfica de temp. Gases en salida del hogar Vs. Consumo de combustible (5bhp). | 174 |
| Figura VI. 37 | Gráfica de potencia teórica de ventilador vs. Consumo de combustible (150bhp). | 175 |
| Figura VI. 38 | Gráfica de eficiencia térmica vs. | 175 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Figura VI. 39 | Temperatura de gases en chimenea (5bhp). Gráfica de capacidad / área de transferencia de calor vs. Temperatura de gases en chimenea (5bhp). | 175 |
| Figura VI. 40 | Gráfica de potencia ventilador / capacidad vs. Temperatura de gases en chimenea (5bhp). | 176 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------|--|-----|
| Tabla III.1. | Secuencias de quemadores | 88 |
| Tabla VI.2 | Tipos de acondicionamiento de señales | 131 |
| Tabla VI.3 | Normas eléctricas y electrónicas más comunes | 145 |
| Tabla VIII.4 | Valores reales de la caldera de 5bhp | 171 |
| Tabla VIII.5 | Distribución de temperatura para caldera de 5 bhp a diesel | 172 |
| Tabla VIII.6 | Distribución de temperatura para caldera de 5 bhp a diesel | 172 |

INTRODUCCIÓN

Actualmente la sociedad moderna requiere para desarrollar todas sus actividades productivas y no productivas de la utilización de combustibles fósiles, los cuales en los últimos años se han venido utilizando como fuente principal de energía. Esta clase de combustible se está consumiendo de forma masiva y en un espacio reducido de tiempo, por lo que el riesgo de que se agoten estos recursos en el plazo mediano es evidente.

La combustión de este tipo de combustibles incrementa la cantidad de dióxido de carbono atmosférico, originándose serios problemas ambientales como el efecto invernadero. Por ello, el uso eficiente y racional de los combustibles fósiles presenta una elevada prioridad.

Entre los grandes consumidores de combustibles fósiles se encuentran las calderas pirotubulares horizontales, las cuales constituyen equipos de gran aplicabilidad en la industria a escala mundial. El objetivo fundamental de esta clase de equipos consiste en transformar en energía térmica la energía química contenida en los combustibles fósiles mediante su combustión y transferirla al agua para generar vapor, el cual posteriormente es utilizado como

fuentes de energía para realizar múltiples actividades industriales, así como para alimentar de vapor a diversos procesos. Para mantener una elevada eficiencia en el funcionamiento de las calderas pirotubulares se necesita disponer de sistemas efectivos de control automático.

Las calderas pirotubulares se utilizan en procesos que no necesitan un elevado consumo de vapor. Este trabajo centra su atención en las calderas pirotubulares debido a que estos equipos son los más difundidos en el ámbito industrial en diversas aplicaciones.

Las calderas como objeto de control automático presentan comportamiento dinámico difícil, con múltiples entradas y salidas, múltiples interrelaciones entre estas variables, así como incertidumbres. Entre los procesos que presentan una mayor significación en el funcionamiento de las calderas tubos de fuego se encuentra el de variación de la presión del vapor en su cuerpo, debido a que el control de la combustión se realiza mediante el control de la presión del vapor.

En la mayor parte de las calderas de tubos de fuego el proceso de variación de la presión del vapor se controla mediante controladores

PID. No obstante, debido al difícil comportamiento dinámico que presenta dicho proceso, esta clase de controladores no posibilita la obtención de una elevada efectividad en el control, lo que se traduce en un mayor consumo de combustible, así como en una mayor emisión de gases producto de la combustión a la atmósfera.

Sin embargo, la necesidad existente de mejorar la efectividad del control, así como de introducir las ventajas de la automatización en procesos cada vez más complejos y exigentes, como los que tienen lugar en las calderas de tubos de fuego, ha motivado un gran esfuerzo de investigación y desarrollo que se ha venido prolongando de manera creciente en las últimas décadas.

Uno de estos métodos es el denominado control avanzado, al cual pertenecen los controladores predictivos, considerados hoy en día como una herramienta conceptual y práctica capaz de afrontar los problemas presentes en el control industrial, tanto por la estabilidad y precisión del control que proporcionan como por su fácil utilización. La aplicación de esta clase de controladores requiere de un modelo eficiente interno que describa adecuadamente el proceso a controlar.

En estos casos, el control constituye una potente herramienta para solucionar esta clase de problema. El diseño de un sistema de control requiere de un mecanismo capaz de identificar de forma recursiva los parámetros dinámicos del proceso bajo control y de reajustarlos en tiempo real en el modelo interno del controlador.

Considerando que el proceso que presenta un mayor significado en el funcionamiento de las calderas de tubos de fuego es el de variación de la presión del vapor en su cuerpo, debido a que el control de nivel y la combustión se realiza mediante el control de la presión del vapor.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Cuando James Watt observó que se podría utilizar el vapor como una fuerza económica que reemplazaría la fuerza animal y manual, se empezó a desarrollar la fabricación de calderas, hasta llegar a las que actualmente tienen mayor uso en las distintas industrias.

Las primeras calderas tuvieron el inconveniente de que los gases calientes estaban en contacto solamente con su base, y en consecuencia se desaprovechaba el calor del combustible. Debido a esto, posteriormente se les introdujeron tubos para aumentar la

superficie de calefacción. Si por el interior de los tubos circulan gases o fuego, se les clasifican en calderas pirotubulares (tubos de humo) y calderas acuotubulares (tubos de agua). Hasta principios del siglo XIX se usó la caldera para teñir ropas, producir vapor para la limpieza, etc., hasta que Papin creó una pequeña caldera llamada marmita.

Se usó vapor para mover la primera máquina homónima, la cual no funcionaba durante mucho tiempo, ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura) y al calentarse, ésta dejaba de producir trabajo útil. Luego de otras experiencias, James Watt completó una máquina de vapor de funcionamiento continuo, que usó en su propia fábrica, ya que era un industrial inglés muy conocido.

La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776.

La caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.

Según la ITC-MIE-AP01, caldera es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

La caldera es un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas de intercambiadores de calor, en la cual se produce un cambio de fase. Además, es recipiente de presión, por lo cual es construida en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Las calderas pirotubulares horizontales, también conocidas como calderas de tubos de fuego, se caracterizan por generar vapor saturado que es ampliamente utilizado en la mayoría de las industrias en la actualidad, siendo las más populares aquellas que funcionan con quemadores de diesel y búnker

El trabajo investigativo ha otorgado una amplia visión y se identificó la **necesidad** urgente de proporcionar una caldera piro tubular para la implementación de su sistema de control automático.

Es **importante** en el ámbito doméstico como industrial, sus múltiples aplicaciones, por lo tanto la máquina de vapor diseñada y construida con un sistema de control automático y normativas de seguridad para la operación eficaz para encontrar la respuesta de lo teórico a lo práctico.

Es innegable manifestar que el presente trabajo **justifica** su accionar frente a la constante y preocupante necesidad de estimular el desarrollo del sistema del control automático junto con la

investigación realizada, por ende la carrera de ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales interrelacionada con las diferentes ingenierías tales como seguridad industrial, mecánica, mecatronica industrial, mantenimiento entre otras.

Es **pertinente** porque se cuenta con el conocimiento necesario para poder desarrollar la presente investigación.

Es **factible** el trabajo investigativo porque se cuenta con los recursos necesarios y sobre todo con la predisposición del Autor.

La investigación tiene un elevado **interés**, tanto para el autor como para el aporte científico de las distintas áreas de ingeniería.

Para ejecutar la propuesta de investigación, se analizó toda la información posible en los archivos existentes por medios físicos y magnéticos, tanto en las Politécnicas y las Universidades de distintos países se pudo constatar que no reposan investigaciones, documentos o trabajos similares, por lo que esta investigación tiene su sello de **originalidad**.

Es de **novedad** científica por que se ha encontrado una gran cantidad de información, para nutrir el marco teórico ya que tiene gran valor puesto que la ingeniería tiene correlación con otras ingeniería afines tal es el caso de la ingeniería mecánica, contribuye al perfil de salida del autor como entes creativos y críticos, comprometidos profundamente consigo mismo y con la sociedad.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Diseñar y Construir un Sistema de Control Automático para una Caldera Piro tubular Horizontal.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Investigar el fundamento teórico de la investigación planteada.
- Seleccionar los dispositivos y equipos idóneos para la automatización de una Caldera Piro tubular Horizontal.
- Diseñar un interfaz hombre máquina (HMI) para el control y monitoreo de la caldera
- Utilizar el programa LABVIEW para el cálculo de la calidad de vapor.
- Desarrollar las pruebas de funcionamiento y resultados.

- Evaluar los resultados de la propuesta

1.4. HIPÓTESIS

- Mediante el diseño y construcción del sistema de control automático de la caldera piro tubular horizontal se logró el control eficiente y aumentó el nivel de seguridad de la caldera.

CAPITULO II

CALDERA PIRO TUBULAR HORIZONTAL

Las calderas pirotubulares horizontales, también conocidas como calderas de tubos de fuego, se caracterizan por generar vapor saturado que es ampliamente utilizado en la mayoría de las industrias en la actualidad, siendo las más populares aquellas que funcionan con quemadores de diesel.

2.1. PARTES DE LA CALDERA

Las calderas pirotubulares están integradas fundamentalmente por:

Cuerpo de la caldera.

Quemador.

Accesorios de control.

Accesorios de seguridad.

Equipos auxiliares

2.1.1. CUERPO DE LA CALDERA.

2.1.1.1. CARCAZA

La carcasa de un caldero, como su nombre lo indica es la envoltura del caldero que cierra el cilindro a presión de la caldera, al igual que las otras partes del caldero está construida de planchas de acero resistentes a la temperatura. En esta parte del caldero se realizan los orificios para inspección del lado de agua de un caldero y son: **Man hole** (Orificio para el hombre) y **Hand hole** (Orificio de mano)

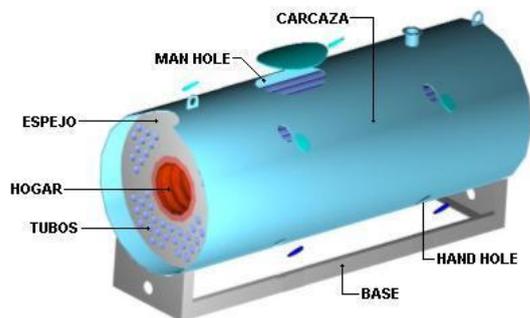


Figura II.1. Carcasa de la caldera piro-tubular

Los man hole y hand hole tienen la finalidad de facilitar las labores de limpieza y reparación del lado de agua de una caldera.

MAN HOLE.- Este orificio permite el ingreso de un hombre al interior del caldero (lado de agua). Los calderos que tienen este ingreso son de capacidades medianas hacia delante, calderos pequeños no lo tienen.

HAND HOLE.- Además del man hole los calderos vienen dotados de un grupo de orificios pequeños distribuidos por toda la carcasa de tal manera que podamos llegar a todos los puntos interiores de la caldera con la mano e inspeccionar la parte interior de la carcasa y los tubos.

2.1.1.2. HOGAR

La cámara donde se realiza la combustión en un caldero se denomina hogar, aquí se genera la energía térmica (llama) y de ésta se extrae el calor necesario para la producción de vapor. Para mejorar los efectos de transferencia de calor aprovechando las características de los materiales, se ha diseñado una cámara de combustión ondulada (tipo acordeón). El objetivo de este diseño es:

1. Reducir los tamaños de las calderas haciéndolas más compactas.
2. Incrementar el área de transferencia de calor en el punto de mayor energía térmica.
3. Por su forma tiene mejores resultados para contrarrestar los efectos de contracción y dilatación de los materiales.

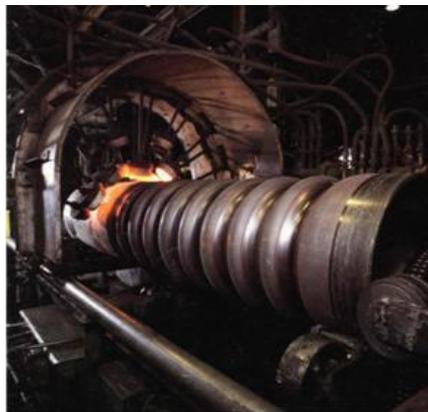


Figura II. 2. Hogar ondulado para calderas pirotubulares

2.1.1.3. TUBOS

Los tubos en un caldero pirotubular conducen los gases calientes de la combustión por su interior y se encuentran rodeados de agua a transformarse en vapor. En calderos acuotubulares sucede lo contrario; el agua está en el interior de los tubos rodeados por gases de combustión.

Los tubos en los calderos pirotubulares cumplen dos funciones fundamentales:

1. Transferir el calor producido por la combustión al agua.
2. Hacer de tensores para que los espejos no se flejen (no se abomben).

Las tuberías que son utilizadas en calderos se rigen en normas especiales:

Tubería sin costura para servicio de alta temperatura ASTM A 106 grado A, B, C según el porcentaje de carbón, célula (SCH) 40 u 80 según se requiera.

Tubería soldada ASTM A 178 grado A ó C SCH 40 u 80

Din 170175/59 Sch 40 u 80.

El hogar y los tubos de un caldero pirotubular forman los pasos de los calderos: El primer paso siempre estará integrado por el ducto del hogar del caldero; el segundo, tercer y cuarto paso estará integrado por grupos de tubos, que según las figuras del área transversal partiendo del primer paso va disminuyendo

paulatinamente en porcentajes comprendidos de 15 a 18% al segundo paso y así sucesivamente.

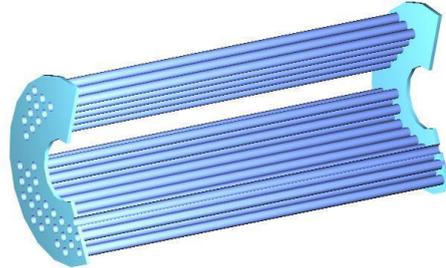


Figura II.3. Tubos de fuego

2.1.1.4. ESPEJOS

Los espejos son planchas de aceros circulares en los cuales se perforan orificios para alojar a los tubos y al hogar, además los espejos cierran el espacio destinado a la acumulación de agua y el vapor dentro del caldero.

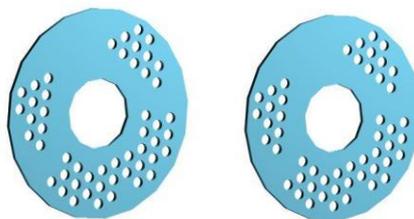


Figura II. 4. Espejos

2.1.1.5. COMPUERTAS

Las compuertas de un caldero también son construidas de acero. Su finalidad principal es cerrar el lado de fuego de un caldero; además desviar los gases de la combustión para que pasen por los diferentes pasos de una caldera.

La compuerta posterior por recibir el impacto directo de la llama, parte de ésta se encuentra protegida con material refractario.

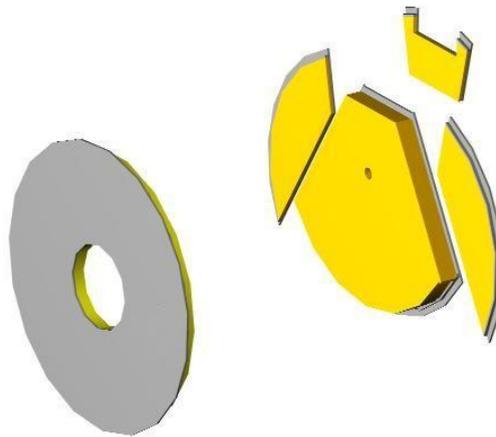


Figura II.5. Compuertas delantera y posterior

2.1.1.5. REFRACTARIO

En un caldero pirotubular por lo general tenemos dos tipos de refractarios:

1. El que se encuentra en la compuerta posterior del caldero, el mismo que recibe en forma directa el impacto de la llama o gases muy calientes de la combustión. La misión de éste es proteger el material metálico que se encuentra tras de él, refractando los rayos de calor que se proyectan contra él.

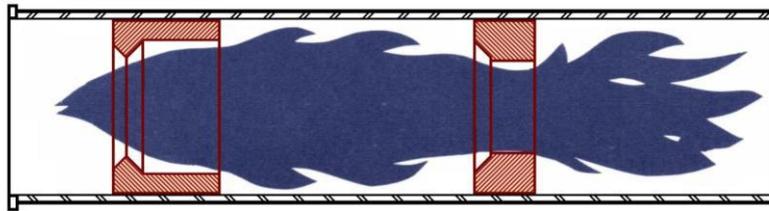


Figura II. 6. Refractario del hogar

2. En los hogares de los calderos tipo compacto existen anillos de material refractario, los mismos que tienen la función de dar forma a la llama y acelerar los gases de la combustión para ayudarles a vencer los pasos posteriores del caldero. Estos anillos se encuentran en calderos que sobrepasan los 100HP.

2.1.1.6. AISLAMIENTO TERMICO

Como todo cuerpo cede calor al más frío, y considerando que los calderos trabajan a altas temperaturas rodeado por aire frío, cederán gran parte de su calor al ambiente que lo rodea; para evitar este

desperdicio energético se coloca al caldero una envoltura de material aislante térmico, normalmente lana de vidrio o lana cerámica de un espesor de 2" cubierto con tol metálico para evitar su destrucción.

2.1.2. QUEMADOR.

El quemador es un dispositivo que nos ayuda a producir la combustión dentro del hogar.

Dependiendo del combustible a quemar, varían los sistemas de los quemadores. Para diesel # 2 por ejemplo, necesitamos únicamente atomizar a presión el combustible y combustionarlo necesitamos precalentarlo para disminuir su viscosidad y poder atomizarlo por medios mecánicos (presión) ayudándonos con aire comprimido o vapor.

La eficiencia y la utilización satisfactoria del aceite combustible, depende de la capacidad de los quemadores, para atomizar el aceite y mezclarlo con el aire en las proporciones correctas.

2.1.2.1. PARTES DEL QUEMADOR

Un quemador está compuesto de un gran número de partes, pero analizando las funciones principales de cada una, sus partes principales se agrupan en el siguiente orden.

- a. SUMINISTRO DE AIRE: Ventilador.
Difusor.
- b. MANEJO DE COMBUSTIBLE: Bombas de Combustible.
Válvulas Solenoides.
Ductos de Combustible.
Boquillas.
- c. ENCENDIDO DEL QUEMADOR: Transformador de Ignición.
Electrodos.
Detector de llama

a) ELEMENTOS PARA SUMINISTRO Y CONTROL DE AIRE.

VENTILADOR.- Anteriormente se determinó la cantidad y la importancia del flujo de aire en el proceso de la combustión. El ventilador es el elemento que se encarga de proporcionar el aire necesario para la combustión, lo toma del ambiente y lo presuriza dentro de la cámara de combustión pasando previamente por el difusor de aire.

Para controlar la cantidad de aire que debe inyectarse al hogar, existe una compuerta a la entrada del quemador (DAMPER DE ENTRADA) la misma que puede tener una o varias posiciones durante el proceso de combustión permitiendo el paso de la cantidad adecuada de aire, de acuerdo a la fase en que se encuentre el proceso de combustión del quemador. En función del tipo de caldero el damper puede tener las siguientes posiciones:

Una posición (o Posición Fija) Caldero de un Solo Fuego.

Dos Posiciones: Caldero de Fuego Bajo – Alto.

Varias Posiciones y Modulante: Caldero de Modulación Full.

DIFUSOR.- Son los encargados de mezclar el aire suministrado por el ventilador entre las partículas pulverizadas del combustible, para que entren en contacto y así lograr una combustión eficiente, además el difusor logra un efecto tangencial del aire de suministro para una mayor transferencia de calor en la cámara de combustión

b) ELEMENTOS PARA MANEJO DE COMBUSTIBLE

BOMBAS DE COMBUSTIBLE.- El combustible que se suministra a la boquilla, con la presión adecuada es la bomba de combustible.

En el caso de los quemadores a presión la bomba es la encargada de suministrar el combustible, normalmente a presiones que oscilan entre los 690 – 1034 KPa (100 – 150 psi) según lo requiera el sistema. En el caso de quemadores de atomización por VAPOR o AIRE el suministro de combustible lo realiza a presiones bajas, entre los 345 Kpa (50 psi) en este caso se llamará bombas de transferencia de combustible.

VÁLVULAS SOLENOIDES.- Son válvulas eléctricas que nos ayudan a controlar la admisión de combustible al caldero; estas son controladas por el programador. (Pull, 1977)

Para calderos de un solo fuego solamente existe una válvula solenoide.

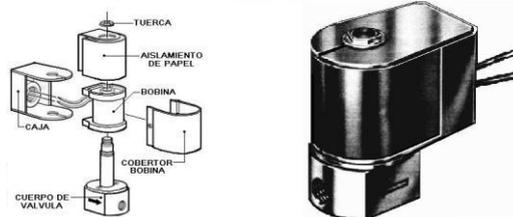


Figura II.7. Válvula solenoide

Para calderos que tienen fuego bajo y fuego alto, generalmente tienen dos válvulas solenoides, la de fuego bajo solo deja pasar un porcentaje de combustible, permitiendo igualmente un porcentaje de llama a la que se le denomina fuego bajo; la válvula de fuego alto completa la cantidad de combustible para incrementar la llama y acelerar la producción de vapor, en fuego alto funcionan las dos válvulas.

Los calderos que se encienden con llama piloto, tienen otra válvula solenoide, la que permite el paso del combustible al piloto antes de que se activen las válvulas solenoides de régimen de llama.

DUCTOS DE COMBUSTIBLE.- En la parte central del quemador desde la parte posterior hacia adelante encuentran localizados los ductos de combustible que dependiendo del tipo de caldero pueden ser los siguientes:

Ducto de Combustible para Llama Piloto.

Ducto de Combustible para Fuego Bajo.

Ducto de Combustible para Fuego Alto.

Ducto de Combustible para Caldero de Modulación Full.

Ducto para Retorno de Combustible.

BOQUILLAS.- Para quemar el aceite, debe convertirse primero al estado de gotitas pequeñas o niebla, y vaporizarse para que se mezcle con la cantidad correcta de aire (oxígeno) y obtener tanto desprendimiento potencial de calor como sea posible.

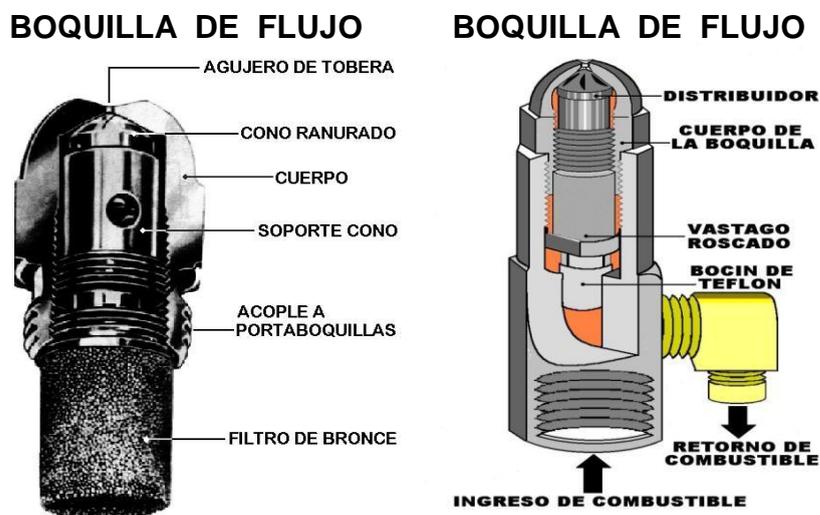


Figura II.8. Boquillas de pulverización

En este proceso, para llegar al 100% de combustión completa, 1 kg de aceite No 2 se mezcla con 14.36 kg de aire con 20.9% de oxígeno y 79.1% de nitrógeno, con lo que la mezcla total pesa 15.36 kg.

El proceso de combustión producirá, junto con el calor de combustión que se desprende, 1.18 kg de agua, 11.02 kg de nitrógeno y 3.16 kg de dióxido de carbono. Todo lo anterior sigue sumando 15.36 kg de la mezcla de gases.

La boquilla de acero inoxidable se monta en el extremo del adaptador, que a su vez se coloca en el tubo del aire, en el extremo del tubo de llegada de petróleo.

El flujo de petróleo es al extremo del adaptador, por el filtro fino, que en general es de bronce poroso, por la ranura de alimentación, hacia afuera del tapón de medición, a través de las ranuras de remolino (Cono ranurado) y sale por el agujero de la tobera.

El petróleo gira en sentido contrario a las manecillas del reloj, visto desde el extremo de la tobera del conjunto, impulsado por la acción de las ranuras de remolino (del cono ranurado).

Después de romper el petróleo en gotas pequeñas, se debe mezclar con aire para la combustión. Hay aletas alrededor del disco estático (difusor) que sujetan en su lugar al conjunto del adaptador de la boquilla y también hojas de turbulencia en el cono extremo, que

impulsan al aire a una rotación en el sentido de las manecillas del reloj al dejar la abertura del abanico.

Este giro en el sentido de las manecillas del reloj se opone al giro en sentido contrario de la aspersion del petróleo. Con ello se obtiene un mezclado rápido de petróleo y aire para tener combustión rápida del primero.

Hay dos formas del cono de descarga del aire: concentración central y concentración anular o de anillo. Es necesario adaptar el tipo de distribución del aire con el de distribución del petróleo para tener mayor eficiencia.

La boquilla de cono lleno se usa con la distribución de aire de concentración central y la de cono hueco con concentración anular. Si se cambia el tipo de figura de aspersion de la tobera sólo se tendrán problemas. No sustituya una boquilla de cono lleno por una de cono hueco o viceversa

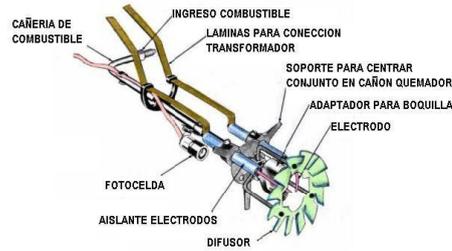


Figura II.9. Conjunto quemador que controla el combustible, el aire y la ignición.

La forma de la cámara de combustión también determina el ángulo al cual el petróleo y el aire se distribuyen. Las cámaras de combustión redondas usan ángulo de aspersion de 80 a 90° para emplear al máximo las superficies reflectoras de la cámara.

Las cámaras largas y angostas tienen ángulos de aspersion entre 30° y 70° dependiendo de la longitud de la cámara rectangular, en proporción a su ancho. Mientras más largo sea el hogar, más angosto debe ser el ángulo de aspersion, esto es para evitar que el petróleo esparcido toque los lados de la cámara antes que se termine el proceso de combustión.

Antes de cambiar el ángulo de aspersion en la unidad, debe consultar con el fabricante de ésta.

No es posible describir todas las aplicaciones de toberas de quemadores de petróleo en un texto de esta naturaleza. Se sugiere consultar las publicaciones de los fabricantes de toberas, o fichas del quemador.

En la boquilla se estampa la cantidad de petróleo que maneja en galones por hora. Esta capacidad es a una presión de trabajo en la tobera de 100 psig. La mayor parte de los fabricantes de unidades de calefacción emplean quemadores de petróleo que trabajan a 100 psig de presión.

Si el quemador necesita otra presión de tobera que no sea 100 psig, la capacidad varía con la presión de trabajo. La tabla Toberas para quemadores de petróleo muestra las capacidades de algunas toberas a diversas presiones de trabajo.

El tamaño de la tobera, en galones por hora, queda determinado por la capacidad de la caldera. Sí se usa una cantidad normal de 140,000 Btu por galón de petróleo No 2, sólo es necesario dividir el consumo requerido entre 140,000 Btu para conocer el consumo de petróleo.

Por ejemplo, si la unidad tiene una capacidad de 100,000 Btu/h, necesita una boquilla para 0.714 gal/h. Si no se dispone de la boquilla exacta, se debe reducir el tamaño al primer tamaño disponible. No sobredimensione, porque con ello se reduce la eficiencia y se acorta la vida de la unidad.

Según la tabla Toberas para Quemadores de Petróleo una tobera de 0.65 gal/h a 100 psig suministra 0.65 gal de petróleo por hora a la unidad, con lo que la entrada es de 91,000 Btu/h.

Con ello se quedaría dentro del límite de operación de -10% de la unidad. Si se eleva la presión de trabajo a 110 psig, el consumo se puede elevar a los 0.714 gal/h, y al mismo tiempo quedar dentro de las características de operación del quemador promedio.

Por ejemplo, la cantidad de petróleo necesario es 0.714 gal/h. La tobera seleccionada no debe trabajar a menos de 100 psig, para unidades de menos de 1.00 gal/h para obtener la mejor operación. Por lo tanto, se debe seleccionar una tobera para menos de 0.714 gal/h. La tabla da una tobera de 0.65 gal/h a 100 psig y 0.73 gal/h a 125 psig. Entre esos límites quedaría la presión para tener la entrada correcta.

NUMERO DE BOQUILLAS

El número de boquillas usado varía de acuerdo a cada aplicación, se puede tener sistemas de una, dos y tres boquillas. Los sistemas que tengan dos y tres boquillas necesitan que el difusor de aire tenga un orificio central de diámetro más amplio que el de una, para evitar el choque del aceite que sale de la boquilla con él.

TIPOS DE BOQUILLAS.- La boquilla simple es usada con los sistemas de aceite que tienen un solo tubo de suministro de aceite, mientras que las boquillas de flujo variable (con bypass) es usada con un arreglo de dos tubos, uno que abastece de combustible y el otro que retorna el combustible en exceso.

ANGULO DEL CONO SPRAY DE LAS BOQUILLAS.-

Comercialmente en el mercado se encuentra a disposición, boquillas con diferentes ángulos del cono spray de pulverización, este ángulo también varía de acuerdo a la aplicación. Así como tenemos diferentes ángulos también el caudal varía dentro de los diferentes ángulos de las boquillas y podemos tener por ejemplo 0.5:90°; 0.5:80°; 0.75:90°; 0.75:60°; 4:90°; 4:70°, etc.

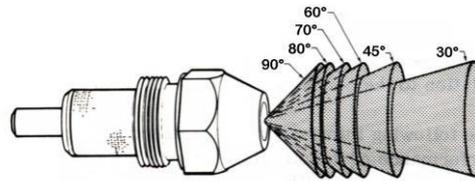


Figura II.10. Ángulos diversos del cono Spray

Cuando se reemplace una boquilla, se debe mantener las mismas características tanto de ángulo de pulverización, así como el caudal (galonaje) de las boquillas que se está cambiando.

El diámetro del agujero central del difusor de aire varía según: el número de boquillas usadas, la amplitud del ángulo de pulverización del cono spray, y de la velocidad del aire de la combustión. Estas condiciones son determinadas por el fabricante del quemador, pero de vez en cuando el difusor y el ángulo del cono spray de la boquilla pueden ser cambiados, con el fin de obtener mejores resultados en la combustión.

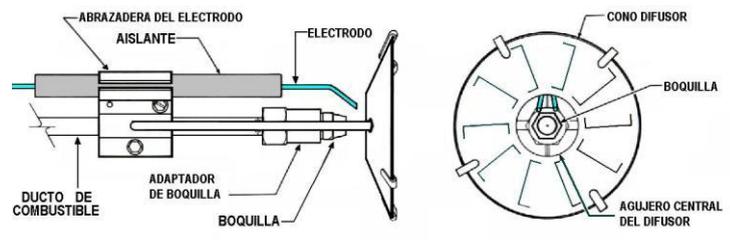


Figura II.11. Vista lateral y frontal del conjunto Cono difusor, boquilla y electrodos

c) ELEMENTOS PARA CONTROLAR LA IGNICIÓN

TRANSFORMADOR DE IGNICIÓN

Para que pueda producirse el arco eléctrico entre las puntas de los electrodos, es necesaria una fuente de alto voltaje y esta fuente precisamente es el transformador de ignición, que toma de la red eléctrica los 110 o 220 V de suministro y lo transforma en 10.000 V ó 12.000 V ó 15.000 V

ELECTRODOS

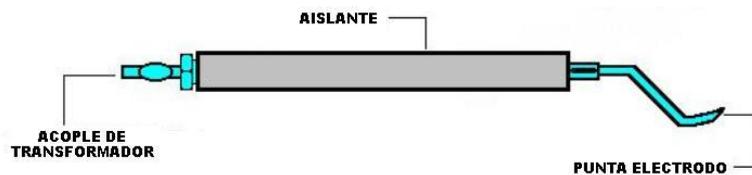


Figura II.12. Electrodo

Estos están contruidos de materiales altamente conductores de electricidad y resistente a altas temperaturas. Los electrodos deben tener una separación entre puntas exactas, especificada por el fabricante con el fin de lograr un arco eléctrico, para proporcionar alta temperatura y así iniciar el proceso de combustión

CALIBRACIÓN DE ELECTRODOS

Los electrodos deben mantener una calibración de acuerdo al tipo de quemador y combustible empleado, dependiendo del tamaño del quemador también varía la calibración, hay que considerar las siguientes distancias entre puntas de electrodos, ya que es importante para que la chispa no sea en línea recta, sino que forme un semicírculo.

La calibración de los electrodos tiene una finalidad fundamental de que solamente la chispa sea la que quede dentro del cono spray de combustible más no las puntas de los electrodos. De presentarse esto, el deterioro de los electrodos será prematuro, por efecto de quemado de las puntas ya que estarían dentro de la llama al encenderse el combustible

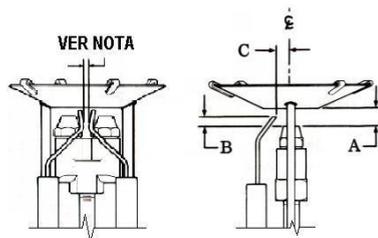


Figura II.13. Calibración de electrodos

A distancia del difusor a la boquilla

B distancia del centro de la boquilla a puntas de los electrodos

C distancia del extremo de la boquilla a las puntas del electrodo

NOTA.- La distancia entre puntas de electrodos es de 1/8" para 12.000 V y 1/16" para 10.000 V.

Una importante consideración en el servicio de los quemadores de aceite, está asociada directamente con una pobre ignición o con el fracaso de que exista ignición.

Esta condición es frecuentemente causada por una calibración incorrecta de los electrodos que generan la chispa para la ignición, en relación con las boquillas de combustible o de la boquilla con el difusor de aire. La distancia de la chispa también es propia de cada tipo de quemador. (Cengel, 2002)

La siguiente información detallada a continuación, puede ser una guía que asegurará una ejecución confiable del sistema de encendido de un quemador de aceite, como también la innecesaria formación de hollín y carbonilla en las puntas de los electrodos y en el difusor de aire.

Hay varios factores que afectan la calibración o mantenimiento general de los electrodos de ignición del aceite y estos son:

1. El tipo de boquillas usadas.
2. El número de boquillas usadas.
3. El ángulo del cono spray de la boquilla.
4. La boquilla queda en el centro del hueco del difusor de aire.
5. La velocidad del aire en movimiento a través del tubo del quemador.

DETECTOR DE LLAMA (FOTO CELDA)

Aunque la detección de llama es una alternativa del análisis de la atmósfera del horno, los sensores de llama han sido objeto de gran cantidad de estudios en laboratorios y experiencias prácticas de aplicación en el campo. De todas maneras, hay que tener en mente que el sistema detector de llama es solamente una parte del sistema de prevención de explosiones.

Las técnicas actuales de detección de llama usan las características de la llama, tales como: conducción, ionización, calor, luz y emisión electromagnética. El detector de llama que usa cualquiera de estas

características de una señal de **vía libre** (1 en el sistema lógico) cuando la llama está presente y una señal de **pare** (0 lógico) cuando está ausente. (SHIELD, 1982)

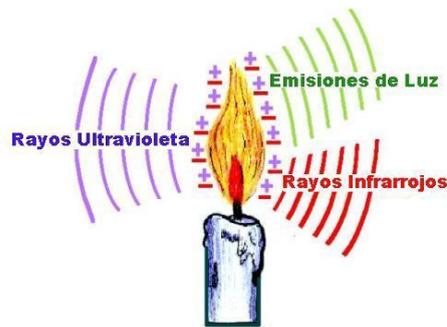


Figura II.14. Componentes de la llama

Una llama emite radiaciones que van desde el infrarrojo, a través de la emisión electromagnética hasta el ultravioleta. Normalmente se usan solamente las áreas que comprenden el infrarrojo y el ultravioleta.

El tiempo transcurrido entre el corte de la llama y la parada es crítico, dado que la entrada debe ser interrumpida antes de que se pueda acumular una carga explosiva (período de gracia). El tiempo de reacción de los interbloques de aire y combustible, debe ser mucho mayor que el tiempo de reacción de un detector de llama, debido a que los cambios en las condiciones de operación de la

llama, son relativamente lentos comparados con la transición digital de **llama o no llama**. (Vargas, 1996.)

Por muy lejos que sea instalado un detector, este no verá más que una parte de la llama. Si la llama está por encima de cierto nivel, el detector no la detectará. La seguridad del detector es su habilidad para determinar con absoluta seguridad o exactitud, cuando la llama se interrumpe y enviar la señal al circuito lógico en forma apropiada.

Debido a que el sistema digital responde rápidamente, y pararía el quemador cuando la llama oscila o es momentáneamente bloqueada por un remolino de humo, hay un tiempo de retardo entre la primera señal de falla de llama y la parada del sistema.

TIPOS DE SISTEMAS DE DETECCIÓN DE LLAMAS

Todas las llamas tienen ciertas características que son:

Producción de calor.

Expansión de gases.

Producción de materia residual.

Emisión de radiaciones (infrarrojas y ultravioletas).

Ionización de la atmósfera dentro y alrededor de la llama.

Los sistemas de detección de llama han sido desarrollados usando algunas de estas características. La porción de detección de llama del sistema, emite una señal y produce alguna acción física en presencia de la característica detectada.

Hay 3 tipos básicos de sensores de llama ópticos usados para detectar la presencia del fuego en la caldera. Los cuales utilizan propiedades tales como: radiaciones infrarrojas, radiaciones ultravioletas, y detección de la luminosidad visible.

DETECTORES DE LLAMA POR RADIACIONES DE ULTRAVIOLETA

Los sistemas de detección de llama por radiaciones ultravioleta, dependen de la capacidad de un tubo sensor para responder a estas radiaciones, quedando insensibles a las radiaciones provenientes de luces infrarrojas y visibles, los tubos sensores de ultravioletas constan de dos electrodos sellados en un tubo de vidrio lleno de gas. El vidrio normal bloquea las radiaciones ultravioletas; por lo tanto, el tubo debe ser construido de un vidrio especial de cuarzo.

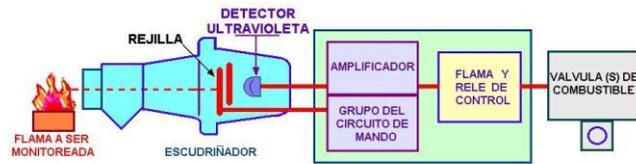


Figura II.15. Aplicación de foto celda ultravioleta.

FOTO CELDA DE RECTIFICACIÓN

En un sistema de detección de llama por rectificación, se aplica una corriente alterna entre los terminales de **llama** y de **tierra** en el control primario, pero la operación del amplificador electrónico depende exclusivamente de la presencia de una corriente continua. Este trabajo de rectificación lo efectúa el detector de llama, convirtiendo una corriente alterna en corriente continua, detectando de esta manera la presencia de una llama. Las fotos celdas de rectificación son de tipo de tubos de alto vacío, y funcionan prácticamente como un perfecto rectificador.

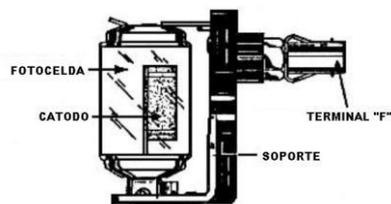


Figura II.16. Foto celda de rectificación

CAPITULO III

ACCESORIOS DE CONTROL Y SEGURIDAD

3.1. GENERALIDADES

Con el desarrollo tecnológico y operacional de equipos industriales, también se han desarrollado los sistemas de mando, control, chequeo y regulación de una variable dentro de límites preestablecidos que son:

Una fuente de poder para hacer trabajar el sistema de control.

Una o más cargas para utilizar la corriente y obtener los resultados deseados.

Controladores para obtener los niveles deseados.

DIVISION DE LOS CONTROLES: Estos pueden ser:

a. DE INTERRUPCION TOTAL.- Un control de interrupción total forma o rompe el circuito, como por ejemplo; un interruptor de luz. Hay dos categorías de controles de interrupción total: PRIMARIO y SECUNDARIO.

PRIMARIOS.- Un control primario pone en MARCHA o PARA el funcionamiento de un equipo, sea en forma directa o indirecta como lo pidan los límites censados estos pueden ser: Presión, temperatura, tiempo, humedad, luminosidad, revoluciones, velocidad, flujo, etc. (Vargas, 1996.)

SECUNDARIOS.- Los controles secundarios regulan y o protegen al ciclo de funcionamiento cuando se los pide un control primario o las condiciones del ciclo. Los controles secundarios se pueden dividir en dos categorías: CONTROLES DE FUNCIONAMIENTO y de SEGURIDAD.

b. DE CAMBIO CARACTERISTICO.- Un control de cambio característico afecta el funcionamiento de la carga conectada,

pero no interrumpe el suministro de corriente. A veces se necesita un control que no interrumpa el suministro eléctrico a la carga, pero que cambie la característica del suministro de corriente, para producir los resultados que se desean. Ejemplo: el control de oscurecimiento de un foco, el control de velocidad de un ventilador, los capacitores de arranque y trabajo en un motor monofásico.

SENSORES Y ACCIONADORES: Son elementos que reaccionan a determinados cambios que se dan en un sistema así como: La temperatura, tiempo, presión, flujo, luminosidad, nivel, etc. Los controladores actúan de diferente forma así tenemos:

Temperatura (Termómetros).

Presión (Presuretroles).

Tiempo (Timer).

Flujo (Fluxómetros).

Luminosidad (Fotoceldas).

Nivel (Flotadores y electrodos).

3.1.1. CONTROLES PARA CALDEROS PIROTUBULARES

FUNCION DE LOS CONTROLES Y SUS COMPONENTES.- A más de los controles eléctricos y de programación que gobiernan el funcionamiento de un caldero, el operador debe conocer la función de todos componentes y válvulas que se encuentran instalados.

El operador de la máquina debe familiarizarse con las funciones individuales de cada uno de ellos, antes de que intente activar u operar el caldero. Debe identificar y ubicar en el equipo cada control para proceder a manipularlo.

Los controles que se suministran con cada caldero, dependen del tipo de combustible o combustibles que quema. Así como del sistema para el cual fue diseñado.

Para que una caldera funcione dentro de sus parámetros normales de operación, y se detenga cuando se generen fallos en su sistema de funcionamiento, viene equipado con controles de operación y seguridad. Estos son:

3.1.1.1. CONTROLES LIMITES DE SEGURIDAD

Controles límites se entiende, a aquellos controles que están destinados a suspender el funcionamiento del quemador, un caldero está provisto por los siguientes controles límites de seguridad:

CONTROL LIMITE DE AIRE.- Los calderos tipo paquete están equipados con un switch de seguridad para el flujo de aire, el cual monitorea la fuerza de flujo de aire que envía el ventilador, este es un switch de presión diferencial que da la señal de entrada al circuito de control de llama, es activado por la presión estática del ventilador. Este está ubicado o conectado en el cañón de aire del quemador.

CONTROL LIMITE DE ALTA PRESION.- Este elemento se lo conoce como PRESOSTATO DE ALTO LIMITE, su función principal es, apagar la caldera cuando la presión de trabajo calibrada sobrepase sus límites por defectos del presóstato de operación.

CONTROL LIMITE DE ALTA TEMPERATURA.- Tiene una función similar al de alta presión, ya que igualmente cuando falla el control

primario de temperatura en calderos de agua caliente, él interrumpe la operación del equipo.

CONTROL LÍMITE DE NIVEL.- Los calderos de vapor tienen necesariamente un control límite de bajo nivel de agua, para cortar la acción del quemador cuando dicho nivel cae debajo de los límites permisibles de seguridad principal.

CONTROL LIMITE DE COMBUSTIBLE.- Este control límite no es propio de todos los calderos, pero si vienen equipados con él; su función es activarse, cuando la presión del combustible a disminuido bajo los niveles permisibles de operación.

3.1.1.2. CONTROLES DE LLAMA

Por controles de llama se entiende; al sistema que gobierna el correcto funcionamiento del quemador, activando y desactivando elementos tales como: ventilador, damper de entrada de aire, válvulas de combustible, bomba de combustible, transformador de ignición, sistema de ingreso de gas, y el más importante el control de seguridad de llama (FOTOCELDA).

Hoy en la actualidad, todos estos controles son automáticos, con capacidad de controlar todas las funciones del quemador, incluyendo los sistemas de seguridad y confiabilidad, sin necesidad de la atención constante del operador de calderos. (Lindsley, 1991)

3.1.1.3. CONTROLES DE NIVEL DE AGUA

Todos los calderos vienen equipados con un control de nivel de agua que cumple las siguientes funciones:

Indicar el Nivel de Agua.

Suministrar Agua de Reposición.

Interruptor de Seguridad de Bajo Nivel.

Válvulas de Prueba y Purga.

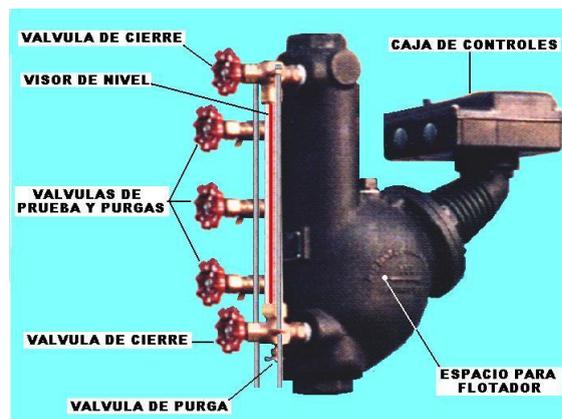


Figura III.17. Control de nivel de agua tipo Mc Donnell y Miller

INDICADOR DEL NIVEL DE AGUA.- Los controles de nivel de agua están equipados con un indicador de nivel, que permiten mirar la cantidad de agua que contiene la caldera. El diseño de estos indicadores, dependen de la presión máxima de trabajo para la que fue diseñada la caldera. Por ser de cristal algunos visores vienen dotados con válvulas de oclusión automática, que se cierran en el caso de rotura del vidrio.

SUMINISTRO DE AGUA DE REPOSICION.- El control de nivel de agua en su interior tiene un flotador, el cual al desplazarse con el aumento o disminución del nivel de agua, permite el cambio de posición de los interruptores, que activan o desactivan la bomba de alimentación. Esta operación ocurre cuando tenemos controles de nivel tipo flotador.

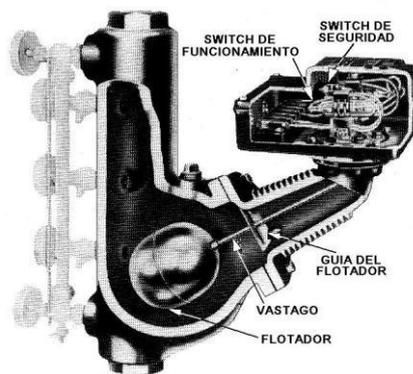


Figura III.18. Partes del control de nivel de agua

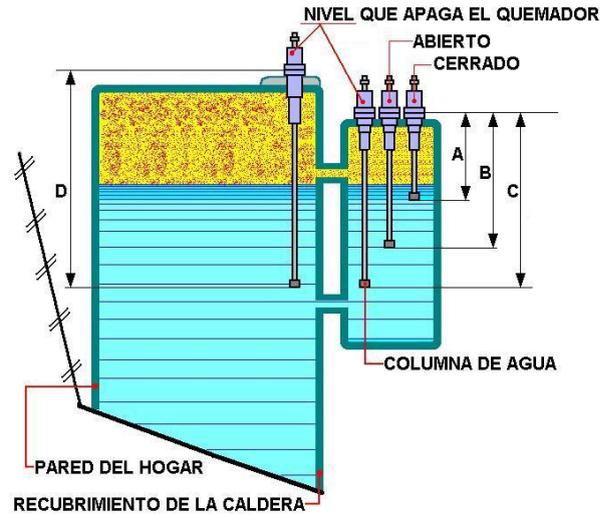


Figura III.19. Control de nivel de agua por electrodos.

En el caso de tener controles de nivel por electrodos, el agua de la caldera hace pasar la corriente eléctrica activando o desactivando la bomba de suministro. En este caso el agua es el contacto que cierra o abre el circuito del control de la bomba. (Basu Prabir, 1999)

INTERRUPTOR DE SEGURIDAD DE BAJO NIVEL.- Situaciones de peligro por falta de agua, pueden presentarse en el funcionamiento de un caldero; uno o más interruptores de bajo nivel de agua activados, impiden el funcionamiento del quemador, cuando el descenso del nivel de agua es demasiado peligroso, pueden quedar descubierta los tubos de fuego superiores e incluso la parte superior de la cámara de combustión.

Si este caso llega a darse, se produce un recalentamiento de los tubos y de la cámara de combustión por causa de sobrecalentamiento, llegando a deformarse o romperse. También se aflojan las puntas de los tubos alojadas en los espejos, permitiendo fugas de agua hacia el lado de fuego. Este problema puede ser detectado fácilmente cuando, el humo de la chimenea tiene una coloración blanca, debido a la presencia de vapor de agua que sale mezclado con los gases residuos de la combustión. La situación más drástica que se puede dar por falta de agua es la explosión del caldero por fatiga del material por sobrecalentamiento.

VALVULAS DE PRUEBA Y PURGA.- Son válvulas que vienen instaladas en el control de nivel de agua en 3 niveles diferentes, estas cumplen las siguientes funciones:

Eliminar el aire del interior de la caldera cuando es llenada por primera vez, así evitamos que la caldera se presione por la acumulación del aire que está en el interior.

Generalmente cuando suspendimos la operación de un caldero de una jornada a otra, el volumen de vapor que queda en el interior se condensa subiendo el nivel del agua. Para echar andar nuevamente el caldero, es necesario purgar el exceso de agua. Antes de abrir las válvulas de purga se debe abrir las válvulas de

prueba, permitiendo que ingrese aire al interior y no se produzca el efecto vacío, así recuperamos rápidamente el nivel de agua.

Finalmente, las válvulas de prueba permite al operador cerciorarse que, el nivel del agua del caldero coincida con la indicación del tubo de vidrio.

VALVULAS DE PURGA.- Existe dos, una para la limpieza del visor de vidrio, la otra para evacuar los lodos que pueden almacenarse en el espacio donde se desplaza el flotador. O limpiar la zona donde se encuentran los electrodos, cuando utilizan Controles de Nivel por Electrodo. (Sintas, 1994)

OPERACION DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA.- El switch de operación de la bomba y el interruptor de seguridad de bajo nivel, están paralelamente montados sobre un balancín común conectados a la boya de flotación, que se mueve con las variaciones de nivel dentro del caldero.

Cuando el caldero está funcionando normalmente, se conecta y desconecta el switch que da paso al circuito de control de la bomba de alimentación de agua. De producirse un fallo y no recuperar la bomba el nivel de operación, se activa el interruptor de seguridad,

emitiendo dos señales simultáneas que son: una, apagar el quemador de la caldera; y dos, activar la señal de alarma sonora. Una vez corregido este fallo, y habiendo recuperado el nivel del agua de operación del caldero, hay que resetear manualmente el control para suspender el bloqueo de seguridad. (Dukelow, 1991)

VALVULAS DEL INDICADOR DE NIVEL.- Estas válvulas están ubicadas en la parte superior e inferior del indicador de nivel, su función principal es cortar escapes cuando se ha producido una rotura del vidrio de nivel.

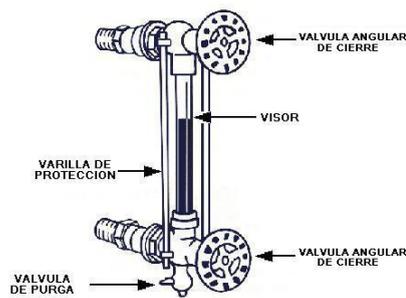


Figura III.20. Visor indicador del nivel de agua

3.1.1.4. CONTROLES DE PRESIÓN

Generalmente los calderos son fabricados para generar vapor a presiones superiores a la atmosférica, por lo tanto se incluyen controles que controlen este parámetro.

La cantidad y cualidades de estos controles, varían de acuerdo a las condiciones operacionales de un caldero. Así tenemos:

Presuretrol de Operación.

Presuretrol de Alto Límite.

Presuretrol de Cambio Fuego Bajo a Fuego Alto.

Presuretrol de Modulación.

Estos 4 controles no son comunes en todos los calderos viene equipado de acuerdo a su forma de combustionar:

CALDERAS DE UN SOLO FUEGO

Presuretrol de Operación.

Presuretrol de Alto Límite.

CALDERAS DE DOS FUEGOS (bajo y alto)

Presuretrol de Operación.

Presuretrol de Alto Límite.

Presuretrol de Cambio

Fuego Bajo - Fuego Alto.

CALDEROS DE MODULACION FULL (bajo, alto y modulante)

Presuretrol de Operación.

Presuretrol de Alto Límite.

Presuretrol de Cambio de

Fuego Alto - Fuego Bajo.

Presuretrol de Modulación.

PRESURETROL DE OPERACIÓN: Estos controles detectan el valor máximo de presión de trabajo. Apagando el quemador del caldero al llegar a esta presión, al descender la presión del vapor a un valor ajustado en el diferencial, otra vez se activa el caldero para subir nuevamente a la presión de trabajo, y así sucesivamente mientras dure la operación de la caldera.



Figura III.21. Presóstato de operación

AJUSTE DIFERENCIAL.- A la diferencia de presiones entre suspender y activar el caldero se llama EL DIFERENCIAL. En general el rango depende de cada caso particular, solamente que, la presión de encendido nunca estará por debajo del equipo del proceso de mayor presión.

PRESOSTATO DE ALTA PRESION: Son los controles que protegen un caldero, en caso de que el equipo sobrepase los límites de la presión de trabajo calibrada, cuándo ha fallado el PRESOSTATO DE OPERACION suspendiendo la operación del quemador, antes que se dispare la válvula de seguridad.

PRESOSTATO DE CAMBIO FUEGO BAJO – FUEGO ALTO: Son los controles que nos ayudan a mantener regímenes de fuego bajo en el arranque cuando el caldero está frío.

Régimen de Fuego Bajo: Es el tiempo que opera el caldero con un porcentaje de llama menor que genera el quemador; esto permite que, cuando el caldero se encuentra frío vaya calentándose lentamente, para que las dilataciones y contracciones térmicas del material del cuerpo del caldero no sean bruscas. (SALVI, 1975)

Régimen de Fuego Alto: Luego de que el caldero a alcanzado una presión interna entre 172,3–206,9 KPa (25–30 psi). El presóstato de cambio de régimen, da la señal para que el quemador pase a entregar todo su poder calórico para el que fue diseñado, y así se mantiene hasta llegar a la presión de trabajo.

PRESOSTATO DE MODULACION: Son los controles donde el efecto de la presión actúan sobre un reóstato, el mismo que da valores de resistencia al modulador; para que este a su vez, actúe sobre la entrada de aire y combustible, respondiendo con regímenes variables de fuego en relación a la presión y demanda de vapor.

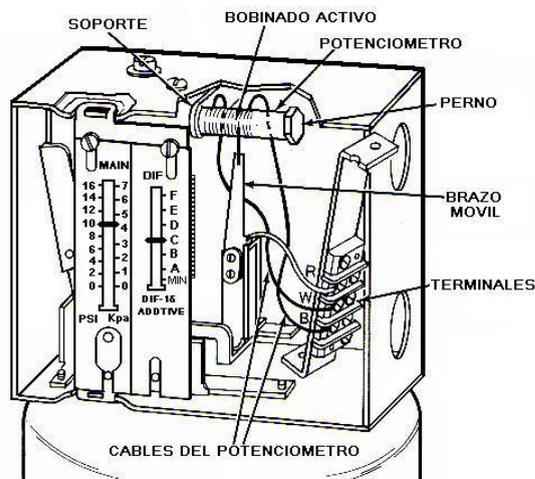


Figura III.22. Presóstato de modulación

MANÓMETROS: Dentro de los controles de presión de un caldero, debemos considerar la instrumentación que visualiza la presión en el

equipo. Todos los calderos deberán tener al menos un manómetro de presión, que nos esté señalando las variaciones de presión en el lado de agua de la caldera.

Este instrumento deberá tener un rango de al menos 1.1 veces de presión de trabajo máxima permisible del caldero.

Su tamaño debe ser por lo menos 15,2 cm (6") de diámetro para permitir su lectura sin tener que acercarse a la caldera, mucho menos subirse sobre ella.

Su ubicación deberá ser de tal forma que pueda ser visto fácilmente por el operador, se coloca generalmente en la parte superior del caldero antes, del mánifol de vapor.

La tubería debe ser lo más corta posible, con una válvula de paso que siempre debe estar en posición abierta. Antes del manómetro se coloca un sifón, este debe estar lleno de agua, para proteger al instrumento por efectos de golpe de presión.



Figura III.23. Manómetro para caldera

VALVULAS DE SEGURIDAD.- Los calderos se diseñan para una presión de trabajo máxima; si esta llega a sobrepasar, hay peligro de explosión.

Este peligro es tan grande; que, es necesario equipar todos los calderos con válvulas de seguridad, para mantener la presión dentro de los límites permisibles en caso de fallar el sistema primario de control.

El código para calderas de la ASME, exige que la selección de las válvulas de seguridad, se base en los coeficientes de evaporación.

La capacidad mínima de la válvula de seguridad para cada caldero deberá ser tal, que pueda evacuar el vapor generado, sin permitir que la presión de la caldera incremente en un 6% de la presión máxima de trabajo permisible en el caldero.

Número de Válvulas.- Cada caldero deberá tener al menos una válvula de seguridad. Si la caldera tiene más de 46,45 m² (500 ft²) de superficie de transferencia, la caldera estará equipada con más de una válvula; por lo tanto, la capacidad de generación determina el número de válvulas.

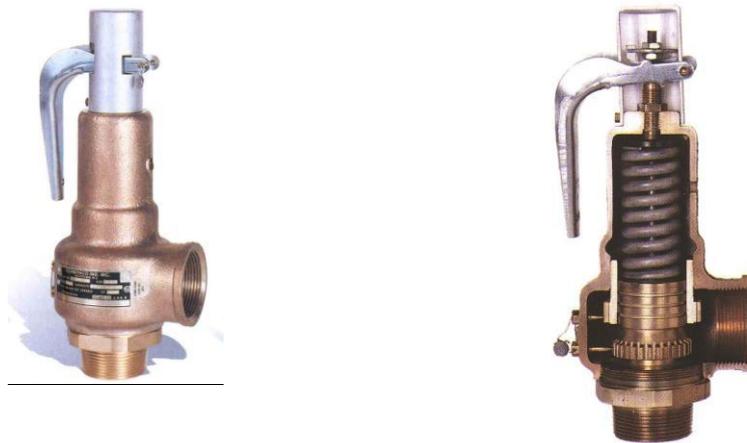


Figura III.24. Válvula de seguridad

3.1.1.5. CONTROL DE AIRE

El oxígeno del aire es uno de los tres elementos fundamentales para realizar la combustión, éste debe ingresar al quemador en proporciones definidas por la cantidad de combustible. Se emplean controles para regular el volumen del aire en la combustión.

CONTROLES PROPORCIONALES

La mayoría de controles enunciados hasta aquí son de dos posiciones: Conectados (cerrados) o Desconectados (abiertos). Dentro del campo del control industrial, existe la necesidad de controles modulantes, para controlar una operación entre completamente Abierto o Cerrado o entre Encendido o apagado.

Un controlador proporcional hace esto. La acción proporcional o modulante se obtiene, utilizando un potenciómetro para cambiar la posición del aparato, controlado proporcionalmente a una variación de temperatura, presión o flujo detectada por el elemento sensor. Un potenciómetro no es nada más que una resistencia variable de tres cables, que trabaja con un brazo conectado a un sensor.

El brazo móvil constituye el tercer cable de conexión. A medida que el brazo se desplaza a lo largo de su recorrido, el flujo de corriente cambia proporcionalmente a la resistencia. El flujo de corriente va a un relé que actúa un motor acoplado al damper, o una válvula que controla un flujo, etc. por ejemplo el presóstato utilizado en calderos de modulación full. En calderos el control modulante que compensa

la cantidad necesaria de aire por incremento de combustible, es el MODULADOR.

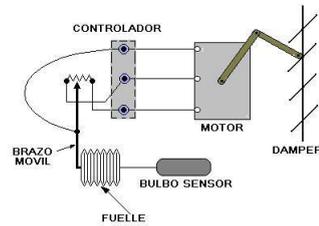


Figura III.25. Esquema de control proporcional.

MODULADORES: Son aparatos de control que nos ayudan a mantener una relación aire-combustible correcta dentro del hogar. Estos controles funcionan con las señales que envían los presuretroles y el programador. Generalmente los moduladores trabajan a una tensión de 24 V de corriente continua.

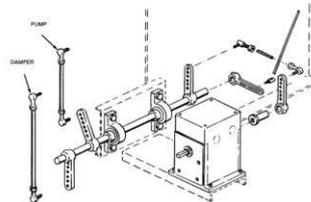


Figura III.26. Vista general del modulador

Los calderos que vienen equipados con estos controles son:

Calderos de dos Fuegos.

Calderos de Modulación Full.

CALDEROS DE DOS FUEGOS (ALTO – BAJO): Como vimos anteriormente los regímenes de FUEGO ALTO–FUEGO BAJO es el cambio del poder calórico en un quemador, para poder realizar este cambio, es necesario incrementar la cantidad de combustible, consecuentemente la cantidad de aire.

El control de aire, que compensa la cantidad necesaria de aire por incremento de combustible, es el MODULADOR.

En este tipo de calderos el control actúa de la siguiente forma, el quemador inicia su encendido con una cantidad fija de aire y la apertura de una válvula solenoide conectada a una sola boquilla. Así se mantiene hasta que el caldero llegue a una presión de 172,3–206.9 *KPa* (25–30 *psi*), llegando a esta presión el PRESURETROL DE CAMBIO DE FUEGO ALTO, se activa enviando una señal al programador, este activa el MODULADOR, iniciando la apertura del DAMPER dando mayor ingreso de aire, en esta condición la llama se torna más brillante.

Antes que termine la apertura total del DAMPER el modulador se detiene, se activa un micro switch que conecta la segunda solenoide, aparece la llama de fuego alto pero con falta de aire. Nuevamente se

activa el modulador, y completa la apertura del DAMPER, hasta dejar la relación aire combustible adecuada.

CALDEROS DE MODULACION FULL: En este tipo de calderos el control de llama, es un sistema conjunto del PRESOSTATO DE MODULACION y el MODULADOR, quienes regulan el tamaño y fuerza de la llama dependiendo de las condiciones de presiones existentes en el caldero.

Este sistema permite un ahorro máximo de la siguiente manera:

En su operación inicial de encendido el caldero funcionará exactamente igual como caldero de dos fuegos. Cuando un determinado nivel de presión es alcanzado en el caldero, el sistema de potenciómetro existente en el modulador de llama regulará la entrada de combustible, mediante el cierre parcial de una válvula de posición variable; dejando pasar la cantidad de combustible requerido, para continuar el proceso de evaporación, el modulador regula conjuntamente la cantidad de combustible como también regula la cantidad de aire.

Si la demanda aumenta en los procesos, habrá una caída de presión en el caldero, la misma que es sensada por el PRESOSTATO DE MODULACION variando su reóstato, esta variación actuará sobre el modulador de llama e incrementará la salida de combustible y una llama mayor será establecida.

3.1.1.6. CONTROL DE CANTIDAD DE COMBUSTIBLE

Como ya vimos anteriormente, los quemadores que operan los calderos tienen un medio de variar la cantidad de combustible de acuerdo al tipo de caldero y a la demanda de carga. Esta operación puede ser hecha eléctricamente, hidráulica, o neumáticamente, produciendo cambios en la cantidad de fuego, ya sea de fuego bajo a fuego alto, o en forma modulante, de acuerdo a la demanda del sistema.

La cantidad de aire y combustible varían simultáneamente. Cuando un caldero tiene uno de estos dos tipos de funcionamiento, debemos asegurarnos que el arranque se efectúe en la posición de fuego bajo, para que el arranque sea suave y seguro.

Los controles que gobiernan la cantidad de combustible, son los mismos que gobiernan el control de aire y fueron explicados en controles de aire.

CONTROLES DE COMBUSTIBLE PARA LA LLAMA PILOTO.- La gran mayoría de calderos de dos fuegos y modulación full, tienen un encendido primario con llama piloto, el combustible usado para encender la llama piloto es GAS.

Este sistema tiene un control diferente al anteriormente explicado, viene equipado con:

Válvulas de Operación Manual.

Válvula Reguladora de Presión.

Válvula Solenoide (se estudia en quemadores).

Válvulas Antifuego.

1 Switch de Presión.

El switch de presión y la válvula solenoide envían y reciben señales del programador.

3.1.1.7. CONTROL DE TEMPERATURA

En calderos diseñados para generar agua caliente, mediciones de presión no se realizan; se instala un control que funciona con la Temperatura. Estos elementos son los que controlan el funcionamiento del quemador, por disminución o aumento de temperatura en el agua de la caldera.

La temperatura ideal de los gases calientes en la chimenea debe ser de 83 °C sobre la temperatura del vapor generado.

Temperaturas mayores a este valor, indica que tenemos una mala combustión, posiblemente con exceso de aire, o depósitos de hollín en el lado de fuego, e incrustaciones en el lado de agua, estos elementos no permiten una transferencia de calor adecuada, el hollín y las incrustaciones actúan como aislantes, no permiten que el calor fluya al agua, dando como resultado que los humos salgan demasiado calientes por la chimenea, con el consiguiente desperdicio energético.

PREPURGA.- La prepurga es el periodo de tiempo, durante el arranque del caldero cuando el motor del quemador y el ventilador,

solamente trabajan para enviar aire a través de la cámara de combustión, por los pasos y la chimenea, para eliminar cualquier mezcla explosiva de combustible, que pudo haberse acumulado durante la última operación del quemador. Esta purga asegura que no quede combustible acumulado, que pueda causar una explosión o encendido cuando arranque el quemador.

POST PURGA.- El motor del ventilador continúa trabajando después de que la válvula principal se ha cerrado. El tiempo de post purga está determinado por el tiempo que necesita el TIMER para ir a la posición final del ciclo; durante este periodo los contactos de TIMER se poseionan para dejar listo el sistema para un arranque sucesivo. Cuando se cumple el ciclo completo el quemador queda en STAND-BY.

CONDICION DE STAND-BY.- En esta condición el switch principal está cerrado, el terminal (L1) esta energizado, el transformador interno y el circuito electrónico de detención están energizados.

En estas condiciones el caldero está listo para ser encendido, si los controles de presión y nivel de agua están en condiciones de operación, caso contrario, deberá recuperarse el nivel de agua

requerido y/o esperar que las condiciones de presión del caldero lleguen a los valores previamente calibrados en el presóstatos de operación.

TABLAIII.1. SECUENCIA DEL QUEMADOR

| PRE PURGA | LLAMA PILOTO (TANTEO) | LLAMA PRINCIPAL (TANTEO) | PERIODO DE TRABAJO QUEMADOR | POST - PURGA |
|----------------------|---|---|---|----------------------------|
| Solamente ventilador | Encendido piloto. Válvula piloto abierta. | Encendido principal. Válvula principal abierta. | Llama principal estable. | Válvula principal cerrada. |
| | Estabilización llama piloto | Estabilización de llama principal. | Válvula principal abierta hasta recibir señal de cierre | Solamente ventilador |
| | | Apagado de llama piloto | | |

3.2. EQUIPOS AUXILIARES.

Calentadores de combustible.

Tanque de almacenamiento de agua y condensado.

Ablandamiento de agua.

Desmineralización del agua.

Desaireadores.

Tratamientos químicos.

3.2.1. CALENTADORES DE COMBUSTIBLE

Cuando las calderas estén diseñadas para funcionar con petróleo pesado (Bunker), como elemento de combustión, necesariamente este equipo debe venir acondicionado con sistemas de precalentamiento del combustible, antes que ingrese éste a las boquillas de pulverización.

Existen dos métodos para calentamiento del combustible:

CALENTADOR ELECTRICO.- Las calderas vienen equipadas con este tipo de calentador que es estrictamente eléctrico. La resistencia calefactora está inmersa en una cámara pequeña de acumulación de combustible, previo al ingreso del quemador.

CALENTADOR COMBINADO (ELECTRICO – VAPOR / AGUA CALIENTE.- Este equipo es muy similar al anterior con la diferencia de que cuando la caldera se encuentra fría, para el encendido de la misma inicialmente se calienta el combustible eléctricamente. Luego de que la caldera ha alcanzado cierta temperatura (ya existe vapor en el caldero), se suspende la acción de la resistencia eléctrica, para dejar ingresar al calentador vapor o agua caliente, así aprovechar la

energía térmica que está generando la caldera y ahorrar energía eléctrica.

3.2.2. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y CONDENSADO

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

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

RESERVA MINIMA.- La cantidad de agua que se alimenta a una caldera es prácticamente la cantidad de vapor que se produce, por lo tanto la reserva de agua necesaria va en proporción a la capacidad de la caldera. Un criterio recomendable para obtener la cantidad de agua suficiente para sostener la evaporación en la caldera, es por lo menos 20 minutos continuos de suministro. Además debe quedar el

30% del volumen libre del tanque para recibir los condensados de alta y baja presión.

El agua de alimentación de calderas debe ingresar a la caldera a la temperatura más alta posible, para evitar problemas de dilataciones, contracciones y choques térmicos dentro de la caldera, de aquí la conveniencia de utilizar un tanque para almacenar la reserva mínima y para recibir los retornos de condensados, lográndose con esto elevar la temperatura del agua de reposición necesaria.

EQUIPO DE BOMBEO Y CONTROL DEL SISTEMA

BOMBAS.- Existen cinco criterios de diseño que deben ser considerados antes de que una bomba de alimentación de agua sea seleccionada:

Operación continua o intermitente: Dependen de una serie de factores tales como, el tipo de servicio de la caldera, si son tubos de agua o tubos de fuego, marca, etc. En la mayoría de los casos de aplicación de bombas de alimentación de agua en calderas de tubos de fuego, éstas están dentro de un ciclo de operación intermitente;

mientras que, para calderas de tubos de agua el ciclo de trabajo para las bombas de alimentación es continuo.

Las calderas de tubos de fuego son usualmente proporcionadas con un flotador que activa un switch, el cual para y arranca la bomba de alimentación entre cierto nivel. En este caso la línea de descarga a través de la bomba de alimentación debe dirigirse directamente a la caldera sin restricciones en ésta línea.

Cuando la caldera de tubos de fuego es proporcionada con algún tipo de válvula motorizada en la línea de alimentación, la bomba de alimentación puede ser seleccionada para operación intermitente o continua dependiendo de las especificaciones.

Es importante saber si la bomba opera en forma intermitente o continua, debido a que la capacidad, presión de descarga y tipo de la bomba seleccionada dependerá de esta consideración.

Existen dos tipos de bombas disponibles para seleccionar, éstas son:

- a) Bombas tipo turbina.

b) Bombas tipo centrífuga.

Como una regla general la bomba tipo turbina es frecuentemente seleccionada para operación intermitente, y la bomba centrífuga para operación continua. Esto no implica que una bomba se pueda utilizar para el otro ciclo de operación, sin embargo el criterio de selección será diferente.

La temperatura del agua inicialmente manejada: Usualmente están disponibles bombas standard con rangos de temperatura entre aproximadamente 100°C (212° F) a 104 C (220° F), mientras que otras bombas están disponibles para temperaturas hasta de 121°C (250°F) ó mayores con enfriamiento de agua externo. Si la temperatura es mayor de 121 °C (250° F), será necesario consultar al fabricante.

Capacidad.- Todas las bombas tipo turbina tienen que ser seleccionadas para una capacidad de 1,5 a 2,0 veces la capacidad de evaporación de la caldera para la que se va a utilizar, a menos que las especificaciones requieran valores más altos, figura 68.

Las bombas centrífugas (operación continua), deben ser seleccionadas sobre la base de 1,10 a 1,15 veces la capacidad de evaporación de la caldera. Aumentar a este factor una determinada cantidad de litros (dependiendo de la bomba y el tamaño del motor seleccionado) requeridos para el orificio de By-pass.

Presión de descarga de la bomba.- Si la tubería en la línea de descarga de la bomba, está conectada directamente a la caldera (sin válvula motorizada o regulador de alimentación de agua en ésta línea), solamente es necesario considerar la presión de operación de la caldera, y las pérdidas a través de la línea, para determinar la presión de descarga en la bomba.

Se debe tener la seguridad de que la presión de descarga seleccionada, es siempre mayor que la presión de operación de la caldera. Generalmente de 34,5 a 172,4 KPa (5 a 25 psi) sobre la presión de operación de la caldera es una buena consideración, figura 68.

Sí una válvula motorizada es requerida en la línea de descarga de la bomba, aumente 137,9 a 172, 4 KPa (20 psi ó 25 psi) a la presión de

operación de la caldera, para determinar correctamente la presión de descarga de la bomba.

Carga neta de succión positiva (NPSH).- Cada diseño de bomba tiene un cierto requerimiento de NPSH. Esta es, la cantidad de líquido en metros (pies) que debe ser presentada en la succión de la bomba, para prevenir la cavitación y proporcionar una apropiada operación.

Es recomendable hacer una selección que tenga los más bajos requerimientos de NPSH posibles. Para cumplir con esto deben ser aceptadas una serie de limitaciones.

Usualmente una selección con un requerimiento de bajo NPSH, establece una bomba grande y consecuentemente requiere un motor de gran capacidad. Sin embargo hablando generalmente, es más importante mantener la altura total a un mínimo tal, que seleccionar una bomba con un elevado NPSH.

CAPITULO IV

PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA PIRO TUBUAR HORIZONTAL

Los calderos requieren de ciertas técnicas operativas para su correcto funcionamiento.

Estas técnicas consisten en controlar determinados parámetros en los rangos adecuados, de acuerdo al tipo y capacidad de las calderas.

4.1. ELEMENTOS PRINCIPALES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA

a) Fuego. El proceso de combustión es de gran importancia en la operación de las calderas, debe ser lo más óptimo posible en cuanto a su consumo y además amigable con el medio ambiente. Para que se dé el proceso de combustión es necesario que exista un combustible, un comburente (aire) y un agente externo que produzca la ignición (chispa), cuando esto ocurre se da una reacción química del combustible con el oxígeno, para producir gases de combustión y liberar energía en forma de trabajo y calor, la cual es aprovechada en las calderas para evaporar el agua.

b) Agua para calderas debe ser tratada químicamente ablandamiento, adicionalmente, según la presión manejada por la caldera, es necesario controlar los sólidos suspendidos, sólidos disueltos, dureza, alcalinidad, sílice, material orgánico, gases disueltos de no llevarse a cabo este tipo de tratamiento, la caldera sufrirá problemas de incrustaciones, sedimentación, desgaste por material particulado, etc., lo que disminuirá notablemente su rendimiento.

c) Superficie de intercambio de calor. La tubería por la que

circulan los gases en las calderas pirotubulares o el agua en las acuotubulares es fundamental para una eficiente transferencia de calor. De la buena combustión y tratamiento de agua, así como de las características físicas del material de intercambio de calor depende que el flujo de energía de los gases de combustión hacia el agua sea lo más eficiente posible.

d) Características de la carga Es necesario determinar las siguientes características de la carga:

1. Carga mínima, normal y máxima.
2. Duración de cada una de esas fases de la carga.
3. Factor de la carga.
4. Naturaleza de la carga, constante o intermitente.

El diseño determinará la capacidad de la caldera para sostener una carga normal con una eficiencia alta, así como para responder a una demanda alta y los cambios bruscos de la carga.

Determinará también las pérdidas por trabajo en vacío y la rapidez con la que la unidad puede calentarse hasta hacer vapor a su plena capacidad. En las calderas de tamaño chico,

es posible seleccionar una unidad de fabricación estándar, que satisfaga más o menos todas las condiciones requeridas; las unidades más grandes precisan, casi invariablemente, una construcción individual.

e) Características del combustible

Las bases para el diseño de los mecanismos destinados a quemar, son determinados por las cualidades del o de los combustibles que han de emplearse. El diseñador tiene que considerar no solamente la clase de combustible que se puede obtener, sino también su valor calórico y sus propiedades. Debe también investigar las propiedades de las cenizas, incluyendo:

Punto de fusión de la ceniza,

Pérdidas por combustible no quemado (carbón en la ceniza suelta y en los desperdicios), y

Presencia de azufre, vanadio y otros elementos extraños.

f) Sistemas de combustión

El tipo de equipo para quemar el combustible y el método de su

aplicación, impone las condiciones para el diseño del fogón en mayor grado; y en proporción menor también para el diseño de la caldera. Los combustibles sólidos se queman en fogones mecánicos o en parrillas, en forma de polvo o triturados. Los quemadores de aceite combustible se obtienen en numerosos tipos que incluyen los de vaporización, rotatorios, de cañón, y los de atomización por vapor o por aire. La capacidad del equipo de combustión o el tamaño de la parrilla, determina la cantidad de combustible aplicable.

Cada método de combustión tiene sus propias necesidades y peculiaridades de diseño. Los quemadores de aceite combustible, que son más pequeños, requieren una cámara de combustión. Algunos quemadores mecánicos de combustible sólido, precisan de un enfriador de escorias; otros necesitan medios auxiliares para prevenir la coquización del combustible y las dificultades provenientes de la conversión de cenizas en escoria. (SALVI, 1975)

g) Flujo de los gases

Para mantener la combustión es indispensable suministrar aire y desfogar los productos de la combustión. La corriente necesaria de

los gases es originada por la diferencia de presiones entre el fogón y el punto de escape de los gases de la caldera, o sea el tiro; éste se puede conseguir por medios naturales (efecto de chimenea) o por medios mecánicos (ventiladores).

En adición a las necesidades teóricas, es indispensable suministrar exceso de aire, para asegurar una cantidad suficiente de oxígeno para la combustión.

Este excedente puede variar, de un porcentaje abajo del 10% para quemar carbón pulverizado, hasta 50% para alimentador de carbón o 100% para alimentación manual de combustible. El % del exceso de aire tiene influencia sobre la capacidad de la caldera, la temperatura del fogón y la eficiencia total de la unidad.

h) Agua de alimentación

Se introduce a la caldera para ser convertida en vapor, recibe el nombre de agua de alimentación. Si se trata de condensado que es recirculado, habrá pocos problemas. Pero si es agua cruda, probablemente habrá necesidad de liberarla de oxígeno, precipitados, sólidos en suspensión, sustancias incrustantes y oíros

elementos contaminantes.

La presencia de ingredientes que provocan la formación de incrustaciones, espumas o arrastre de agua con el vapor, afectarán desfavorablemente, en todos los casos, el funcionamiento de la caldera. Para obtener eficiencias altas, el agua de alimentación es calentada, generalmente, por medio de economizadores.

i) Fogón

La proporción de calor liberado y la temperatura sostenida del fogón, afectarán a los materiales de las paredes del mismo y con tal motivo rigen su construcción. Si la temperatura o la erosión provocan una destrucción prematura de las paredes refractarias, lo indicado será colocar paredes enfriadas por agua. La cámara de combustión debe tener el espacio suficiente para contener la flama. La forma del fogón se guía por el tipo de combustible a emplear y por el método seguido para quemarlo. Es necesario tomar las debidas providencias para mantener la ignición y la combustión de los gases volátiles.

j) Fondo del fogón

La recolección y el retiro de las cenizas de una unidad alimentada con carbón mineral, es una operación laboriosa. Los desechos pueden ser removidos a mano en las calderas chicas o recolectados en tolvas en las grandes. En algunas calderas de gran tamaño, es desfogada la escoria fundida por sangrías. Para el manejo de las cenizas se usan botes, carretillas de mano, camiones, góndolas de ferrocarril o transportadores neumáticos.

4.2. FUNCIONAMIENTO.

Cuando se va a poner en funcionamiento una caldera pirotubular hay que tener en cuenta de que la caldera debe de estar llena hasta donde indique el visor de nivel ya que si no es así el control de nivel (McDonnell) impedirá que el quemador de la caldera se encienda mandando a prender la bomba de alimentación de la caldera hasta alcanzar el nivel de agua adecuado. Una vez que se tiene llena la caldera de agua, el control de nivel abre un circuito que hará que la bomba de alimentación de la caldera se apague y cierra otro circuito que hará que el quemador se encienda automáticamente.

El quemador tiene una foto celda la cual es capaz de sensor cuando no existe llama para mandar a apagar la bomba de combustible y el ventilador del quemador. Una vez que se ha logrado encender el quemador, la caldera debe de ser capaz de elevar la temperatura del agua hasta la temperatura de ebullición y por ende elevar la presión dentro de la misma.

Dicha presión, que no es más que la presión de operación de la caldera, se la debe de establecer en el Pressuretrol el cual es un controlador de presión de la caldera que envía la señal de apagar automáticamente el quemador cuando la presión llega al valor preestablecido.

Dicho equipo de control permite establecer una variación de presión determinada sobre y por debajo de la presión de operación de la caldera, por lo que cuando el equipo se encuentre generando vapor de una manera continua (estado estable), la presión se encontrará variando entre el valor máximo 50 psi y mínimo 30 psi que se haya establecido en el controlador de presión para lo cual se requiere estar enviando automáticamente a encender el quemador cuando la presión es la mínima y apagar cuando la presión es la máxima.

En caso de que este controlador de presión falle, en la parte superior de la caldera se encuentran válvulas de seguridad que están reguladas a la presión de diseño de la caldera las cuales se abren cuando dicha presión se ha sobrepasado. Es importante indicar que las calderas pirotubulares solo pueden generar vapor saturado.

Una vez que el equipo se encuentra generando vapor, de una forma continua o no, será necesario reponer el agua que se está consumiendo y es aquí cuando entra en operación por segunda vez control de nivel de agua. Si el nivel de agua baja de manera moderada, este cierra el circuito que energiza la bomba de alimentación de la caldera para reponer el agua.

Durante este proceso el quemador no queda desenergizado, esto quiere decir que si se encontraba encendido cuando se activó la bomba de alimentación se mantendrá encendido durante todo el proceso de reposición de agua.

Caso contrario se da cuando el nivel de agua de la caldera cae por debajo de un límite mínimo preestablecido, ya que en este caso no

solo que se encenderá la bomba de alimentación sino que se apagará automáticamente el quemador de la caldera. Todo el proceso descrito anteriormente lo realiza la caldera durante todo el tiempo que este equipo se encuentre operando hasta ser apagado.

4.3. APLICACIONES.

La aplicación de las calderas pirotubulares tiene un campo muy amplio ya que el vapor es necesario en la mayoría de los procesos térmicos entre los cuales tenemos los siguientes campos

Fábricas de concreto prefabricado, los concretos necesitan ser metidos en hornos para su procesamiento correcto para tratar de mantenerlos a una temperatura entre 60°C y 70°C.

Industria alimenticia, los alimentos son cocidos usualmente en ollas con chaquetas de vapor a una presión de 60 psi. Se debe de alcanzar temperaturas de aproximadamente 106°C para lograr evaporar un 20% de su contenido de agua.

Cremerías, las chaquetas de vapor para la elaboración de crema y queso requieren una presión de vapor de 100psi y un calentamiento aproximado de 15°C a 40°C.

Papeleras, en este proceso se requiere secar el papel en tambores rotativos calientes. La presión de vapor aproximada en estas máquinas es de 180 psi.

Plantas de asfalto, para calentar el asfalto de 149°C a 155°C generalmente se necesita vapor a una presión aproximada de 125 psi.

Equipos de hospitales, Se utiliza vapor de alta presión para los esterilizadores. También se la utiliza para obtener agua caliente.

Tintorerías, el vapor proveniente de la caldera debe de fluir por el fondo de los tanque del tinte para calentar el mismo y se debe de agitarlo a fin de mezclarlo completamente.

Industria química, se utiliza vapor para la mayoría de los procesos para la obtención de los medicamentos.

CAPITULO V

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CALDERO PIROTUBULAR HORIZONTAL

5.1. NORMAS DE DISEÑO

Antiguamente, no existía ningún criterio a la hora de diseñar calderas y recipientes a presión. Ocurrían explosiones por causas desconocidas. Fue entonces que la *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) comenzó a crear códigos para utilizar en el diseño y control de los recipientes que fuesen a trabajar a presión.

La ASME es la parte encargada de diseño, tiene distintas partes

que comprenden cálculo de espesores, cálculo de aberturas, conexiones, etc.

Esta norma para diseño de calderas y recipientes a presión es utilizada a nivel mundial, aunque existe otras normas como: Norma alemana (AD-Merkblätter),

El tipo de caldera así como la presión y la temperatura de trabajo, tienen gran influencia sobre el diseño.

El diseñador tiene como meta de trabajo la obtención de una eficiencia máxima al costo de operación más bajo; o bien se propone conseguir un costo inicial mínimo.

Los requisitos de la calidad del vapor, afectan una parte del diseño de la caldera. Si se requiere una calidad de 99.5%, se necesita vapor seco y tienen que agregarse separadores de vapor. La necesidad de supercalentamiento o de recalentamiento afecta igualmente el diseño. Si no existe objeción contra el vapor saturado o húmedo (como por ejemplo en una planta de calefacción), el diseñador omitirá el equipo de separación y supercalentamiento.

La circulación del vapor y del agua dentro de la caldera, es decisiva para la efectividad de la superficie transmisora de calor. Los precipitados o sedimentos tienen que depositarse en donde no afecten a la superficie principal de transmisión de calor y de donde puedan ser evacuados por purga o por limpieza periódicas. Deben tomarse previsiones para una pugna continua, ya desde el diseño. Algunas calderas necesitarán equiparse con circulación forzada.

Los materiales y los métodos de construcción están controlados por los requisitos para el trabajo a presión y por el código ASME para calderas y tanques de presión. (Sintas, 1994)

5.2. CONSTRUCCIÓN



Figura V. 27. Caldera Piro Tubular Horizontal

La caldera tiene que fabricarse para que satisfaga los estándares razonables de seguridad, resistencia y durabilidad necesarios. Para asegurar una operación continua y satisfactoria, todos los elementos de la unidad deben asegurarse contra desplazamiento, distorsión, flexiones y otros deterioros; y los soportes deben colocarse en tal forma, que mantengan una relación correcta entre los componentes esenciales, dentro de condiciones racionales de operación y manejo.

Aquellos elementos que no estén fijos en forma permanente, deben diseñarse en tal forma, que no puedan ser incorrectamente montados o erróneamente colocados, cuando se quitan y se vuelven a ensamblar, durante las maniobras de limpieza u otra clase de servicios.

La construcción y montaje general deben ser de un acabado limpio y un trabajo bien hecho, con todas las partes componentes bien armadas y todos los tornillos o pernos u otros medios de fijación perfectamente apretados, para proporcionar la debida rigidez del conjunto.

Para la fabricación de los principales elementos de la caldera se utilizan recomendaciones del código ASME PW (Rules for

construction of power Boiler) y del manual de recipientes a presión (Megyesy) . Bajo estos parámetros se explicarán algunas partes importantes en el proceso de fabricación.

5.2.1. MATERIALES REFRACTARIOS

Se refiere a la propiedad de ciertos materiales de resistir altas temperaturas sin descomponerse. Éstos, se utilizan para hacer crisoles y recubrimientos de hornos e incineradoras. No hay una frontera clara entre los materiales refractarios y los que no lo son, pero una de las características habituales que se pide a un material para considerarlo como tal es que pueda soportar temperaturas de más de 1100 ° C sin ablandarse.

5.2.2. FORMACION DEL CASCO Y DEL HOGAR

Luego de realizar el diseño respectivo de los espesores para el casco y el hogar, así como sus dimensiones, se procede a la compra de las planchas necesarias para la formación de estos elementos, luego se comprueba la cuadratura de la plancha midiendo las diagonales de la misma.

Una vez trazadas las planchas se procede al corte de las mismas mediante el método de " OXICORTE ", luego de lo cual se revisan nuevamente las medidas para su certificación, esto nos garantizará un trabajo de rolado totalmente cilíndrico.

Después de cortadas las planchas se procedió al rolado para el conformado del casco y del hogar de la caldera de acuerdo a las siguientes medidas:

5.2.3. TRAZADO Y PERFORACION DE LOS ESPEJOS.

Al igual que en el paso anterior, luego de realizar el cálculo respectivo y adquirir la plancha necesaria, se procede al trazo de los espejos tanto en la medida del diámetro, medida del hogar, tensores y en la distribución de los agujeros realizada previamente y tomando en cuenta la resistencia de los puentes entre los mismos.

El trabajo de maquinado de los agujeros se lo realizó en un taladro radial y con una broca de 51 mm, para la perforación se unieron los dos espejos con puntos de soldadura provisionales, de modo de asegurar una correcta alineación de los orificios; además se perforaron 4 agujeros de 1" que sirven como tensores para bloquear

la fuerza ejercida en este punto del espejo.

5.2.4. ARMADO DEL CUERPO DE LA CALDERA.

Una vez que ya se tienen conformados el casco, el hogar y los espejos, los cuales formarán el cuerpo de la caldera, se procede a su ensamblaje concéntrico mediante el proceso de soldadura por arco, cuyas recomendaciones serán descritas posteriormente.

Terminado el trabajo de armado del cuerpo de la caldera se procedió a la perforación de los agujeros para las diferentes tomas de servicio,[ASME UG-46] manhole y handhole, y a la colocación de los neoplos para el armado de los accesorios.

5.2.5. ARMADO DE LA BASE DE LA CALDERA

Como parte complementaria de este equipo se procedió al armado de la base de acuerdo a las medidas programadas, y cuya altura está en función de permitir un fácil acceso para cualquier tipo de mantenimiento en la parte inferior de la misma, y además evitar emposamientos ya sea de agua o de combustible, que pueden traer consecuencias posteriores para el equipo.

5.2.6. COLOCACION Y AJUSTE DE LOS TUBOS DE FUEGO.

Como siguiente paso se procedió a la colocación de los tubos de fuego, los cuales deben estar perfectamente alineados y rectos, de lo contrario se tendrá problemas al ensamblarlos.

Se debe cortar el tubo a una longitud de modo que sobresalga 1/4" a 3/8" en cada extremo, se asienta el tubo con un expansor lo preciso para tener junta hermética con una presión hidrostática igual a 1,5 veces la presión de diseño (150 PSI), o cuando menos la graduación de la válvula de seguridad.

Una valiosa guía es la medición del diámetro interior del tubo, conforme avanza la rectificación o ajuste del tubo, el metal de la pared cortada tiende a fluir y separarse del interior de la placa de tubos. Se forma un borde extruido.

Por ningún motivo deje que el borde extruido o engrosamiento sobresalga más de 1/32". El diámetro interior después de ajustar el diámetro interior que queda no debe ser mayor que el diámetro interno original del tubo más la holgura del agujero y más la mitad del espesor del tubo.

5.2.7. RECOMENDACIONES DE SOLDADURA

Con este procedimiento se garantiza una muy buena unión de los elementos al utilizar uniones normalizadas, estos detalles de soldadura están especificados en los planos anexos.

En general toda la escoria o fundente que quede sobre el cordón de soldadura ha de quitarse antes de poner la siguiente capa, cualquier porosidad que aparezca en la superficie del cordón deberá ser corregida e eliminada mediante esmerilado antes de colocar sobre este el próximo cordón de soldadura. La preparación de los extremos de las piezas a unir viene dada básicamente en función del espesor de la placa y del tipo de electrodo a utilizar.(Cruces, 1982)

CAPITULO VI

SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE LA CALDERA PIROTUBULAR HORIZONTAL

6.1. SISTEMA DE CONTROL DE CALDERAS

Es el vehículo a través del cual los balances de masa y de energía de la misma se manejan. Todas las principales entradas de masa y de energía de la caldera deben ser reguladas con el fin de alcanzar las condiciones de salida deseadas. Las mediciones de las variables de proceso a la salida proveen la información a la unidad inteligente del sistema de control (Lindsley, 1991)

Para el requerimiento de energía a la entrada se debe desarrollar

una señal de velocidad de combustión. Esta señal crea una demanda de combustible y de aire por separado. La masa de agua en el interior de la caldera también debe ser regulada, y el control de agua de alimentación regula la masa de agua en la caldera.

La condición de temperatura final del vapor también debe ser regulada (para calderas que generan vapor sobrecalentado y tengan esta capacidad de control), y esto se logra a través del sistema de control de temperatura. Los efectos de las acciones de control de entrada interactúan, ya que la velocidad de combustión afecta la temperatura del vapor y la alimentación de agua afecta la presión del vapor, el cual es el parámetro que fija la demanda de velocidad de combustión. El sistema total debe por lo tanto ser aplicado y coordinado de tal forma que se minimicen los efectos de estas interacciones.

Control automático no es más que la manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema denominado planta a través de otro sistema denominado sistema de control, que obra o se regula por sí mismo.

La utilización de técnicas y equipos tecnológicos para el gobierno de un proceso industrial de tal forma que ese sistema funcione de manera autónoma, con poca o ninguna intervención humana, se denomina **automatización**.

Para tener un adecuado control de la operación de una caldera es necesario conocer los factores que determinan su estado. Estos factores son principalmente: Flujos de gas, aceite, aire, agua, vapor, presiones, temperaturas y nivel. Para comprender mejor la relación y la manera como se afectan entre si podemos clasificarlos en tres grupos: Factores a regular, factores de perturbación y factores de regulación.

FACTORES A REGULAR. Son los que deben ser mantenidos a un valor determinado para que el funcionamiento de la caldera sea correcto. Los más importantes son: Presión de vapor a la salida de la caldera, exceso de aire o relación aire /combustible, temperatura de vapor sobrecalentado, nivel del tambor de vapor y presión en el hogar.

FACTORES PERTURBADORES. Tienen su origen en la demanda de vapor que desequilibra la relación entre la energía que entra

en forma de combustible y la que sale en forma de vapor, de esta manera se afectan los factores a regular que actuarán unos sobre otros.

FACTORES DE REGULACIÓN. Con ellos se compensa la influencia de los factores perturbadores sobre los factores a regular y los principales son:

FLUJO DE COMBUSTIBLE: Con él se compensa la variación de la presión de vapor.

FLUJO DE AIRE: Con él se mantiene una relación aire /combustible adecuada.

FLUJO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN: Que debe ser igual al flujo de vapor que sale más las pérdidas para mantener el nivel.

DIVERSOS MEDIOS PARA CONTROL DE TEMPERATURA DE VAPOR: Varían según el diseño de la caldera.

6.2. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar máquinas o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos.

La automatización abarca mucho más que un **Sistema de Control**, está conformada por:

Instrumentación industrial.

Sensores y transmisores de campo.

Sistemas de control y supervisión.

Sistemas de transmisión y recolección de datos.

Aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar operaciones de plantas o procesos industriales.

6.2.1. Conocimientos básicos para la automatización

Al necesitar de los beneficios de la automatización, se requiere de conocimientos básicos para ello, es así que la automatización maneja diferentes conocimientos que solo personal indicado lo conoce, en si el diseñador necesita conocimientos que a continuación mencionamos:

Conocimiento del proceso y sus necesidades.

Lógica.

Teoría de control.

Programación y sus lenguajes.

Electrónica.

Sistemas digitales.

Tecnología eléctrica

Tecnología mecánica, neumática e hidráulica.

Tecnología para automatizar.

Comunicaciones digitales.

6.2.2. Elementos de una instalación automatizada

Máquinas: Son los equipos mecánicos que realizan los procesos, traslados, transformaciones, etc. de los productos o materia prima.

Accionadores: Son equipos acoplados a las máquinas que permiten realizar movimientos, calentamiento, ensamblaje, embalaje.

Accionadores eléctricos: Usan la energía eléctrica, son por ejemplo, electro válvulas, motores, resistencias, cabezas de soldadura, etc.

Accionadores neumáticos: Usan la energía del aire comprimido, son por ejemplo, cilindros, válvulas, etc.

Accionadores hidráulicos: Usan la energía de la presión del agua, se usan para controlar velocidades lentas pero precisas.

Pre accionadores: Se usan para comandar y activar los accionadores. Por ejemplo, contactores, switches, variadores de velocidad, distribuidores neumáticos, etc.

Captadores: Son los sensores y transmisores, encargados de captar las señales necesarias para conocer el estados del proceso, y luego enviarlas a la unidad de control.

Interfaz Hombre-Máquina HMI: Permite la comunicación entre el operario y el proceso, puede ser una interfaz gráfica de computadora, pulsadores, teclados, visualizadores, etc.

Elementos de mando: Son los elementos de cálculo y control que gobiernan el proceso, se denominan autómata, y conforman la unidad de control.

Los sistemas automatizados se conforman de dos partes: parte de mando y parte operativa

Parte de mando: Es la estación central de control o autómeta. Es el elemento principal del sistema, encargado de la supervisión, manejo, corrección de errores, comunicación, etc.

Parte operativa: Es la parte que actúa directamente sobre la máquina, son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice las acciones. Son por ejemplo, los motores, cilindros, compresoras, bombas, relés, etc.

6.3. Fundamentos en la adquisición de datos

La **adquisición de datos** o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora.

Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal

a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización tarjeta de Adquisición de Datos (**DAQ**). NI USB- 6009

6.3.1. ¿Cómo se adquieren los datos?

La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico de un objeto que se desea medir. Esta propiedad física o fenómeno podría ser el cambio de temperatura, la intensidad, presión, fuerza, etc. Un eficaz sistema de adquisición de datos puede medir todas estas diferentes propiedades o fenómenos.

Un sensor es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible, tal como tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador, etc. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de los fenómenos físicos mensurables en la adquisición de datos por hardware.

El acondicionamiento de señales suele ser necesario si la señal

desde el transductor no es adecuado para la DAQ hardware que se utiliza. La señal puede ser amplificada o desamplificada, o puede requerir de filtrado, o un cierre patronal, en el amplificador se incluye para realizar demodulación.

Varios otros ejemplos de acondicionamiento de señales podría ser el puente de conclusión, la prestación actual de tensión o excitación al sensor, el aislamiento, linealización, etc. Este pretratamiento de señal normalmente lo realiza un pequeño módulo acoplado al transductor.

6.3.2. Clasificación de las señales.

Todas las señales análogas son variables con el tiempo. Sin embargo, para discutir métodos de medición de señales, se realiza una clasificación de las mismas. Una señal es clasificada como señal **ANÁLOGA** o **DIGITAL**, de acuerdo a la manera como se transporta la información. Una señal digital o binaria tiene solo dos posibles niveles discretos, uno alto y el otro bajo. Una señal análoga contiene la información de la variación continua de la señal con respecto al tiempo.

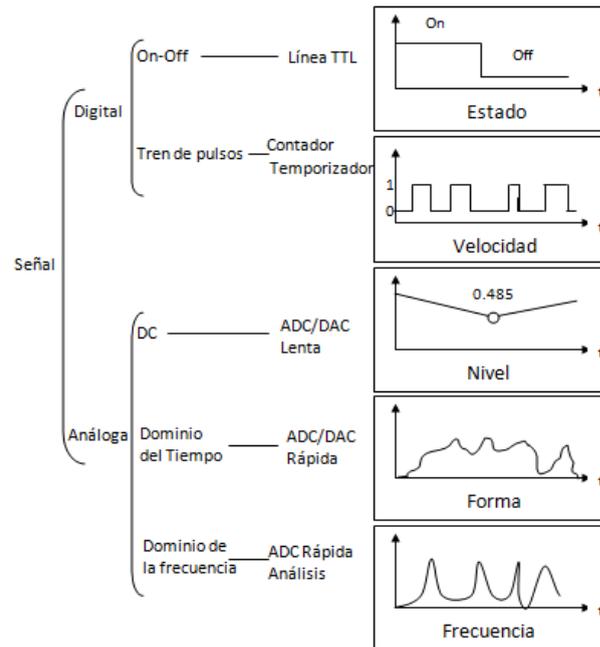


Fig. VI.28. Señales análogas y digitales.

6.3.2.1. Señales on-off

Esta señal transporta la información en el estado digital inmediato de la señal. Un detector de estado digital es usado para medir ese tipo de señal. La salida de un switch o la salida de un dispositivo con lógica TTL es un ejemplo de la señal ON-OFF digital.

6.3.2.2. Señal digital tren de pulsos

Esta señal consiste de una serie de estados transitorios. La

información está contenida en el número de estados transitorios ocurridos, la velocidad en la cual el transitorio ocurrió, o el tiempo entre uno o más estados transitorios. La señal de salida de un optoacoplador electrónico montado en el eje de un motor es un ejemplo de la señal de tren de pulsos.

6.3.2.3. Señal análoga DC

Las señales análogas DC son estáticas o tienen una variación lenta. La más importante característica de las señales DC es el nivel o la amplitud, la precisión en la medida de nivel es lo que más interesa, que el tiempo o la velocidad a la cual fue tomada la medida, por eso el instrumento o tarjeta Plug-in DAQ que mide la señal análoga DC opera un conversor análogo digital ADC, cambiando la señal análoga a un valor digital, para que el computador pueda interpretarlo. (Milán, 1997)

6.3.2.4. Señales análogas en el dominio del tiempo

Las señales análogas en el dominio del tiempo difieren de las otras señales, porque transportan información no solo en el nivel de la señal, también como ese nivel varía con el tiempo. Cuando se

mide una señal en el dominio del tiempo, también nos referimos a ella como una WAVEFORM. Algunas características son interesantes en la forma de onda como, la inclinación, localización y forma de picos, etc.

6.3.2.5 Señales análogas en el dominio de la frecuencia

Las señales análogas en el dominio de la frecuencia son similares a las señales en el dominio del tiempo, porque ellas transportan información acerca de cómo las señales varían con el tiempo. Sin embargo, la información extraída de una señal en el dominio de la frecuencia es basada en las características de la frecuencia de la señal.

Las señales presentadas en esta sección no son las únicas. Una señal puede transportar más de un tipo de información, se puede clasificar la misma señal dentro de algunas formas y medirlas de varias maneras. De hecho se puede utilizar varias técnicas simples de medida con señales digitales On-Off, tren de pulsos, y señales DC. Se puede medir la misma señal con diferentes tipos de sistemas, en el rango de una simple señal de entrada hasta un sofisticado sistema de análisis de frecuencia. La técnica de medida

que se use depende de la información que se requiere extraer de la señal.

6.3.3 La etapa de acondicionamiento de la señal

Los sistemas de adquisición de datos utilizan y registran señales obtenidas en forma directa del sistema o por medio de transductores. Los sistemas de instrumentación se pueden clasificar en dos clases principales:

Los que procesan la información en forma **analógica**.

Los que procesan la información en forma **digital**.

Un sistema digital es una combinación de dispositivos (eléctricos, mecánicos, fotoeléctricos, etc.) Arreglados para cumplir ciertas funciones en las cuales las cantidades se representan digitalmente. En un sistema analógico las cantidades físicas son de naturaleza analógica. Muchos de los sistemas prácticos son híbridos, en los cuales tanto las señales analógicas como digitales se hallan presentes y existe conversión continua entre ambos tipos de señales.

Algunos tipos de acondicionamiento de la señal son: amplificación, linealización, aislamiento, filtración, excitación del transductor.

| Transductores/Señales | Acondicionamiento de señal |
|---|--|
| Termocuplas | Amplificación, linealización, compensación de la unión en frío |
| RTDs | Corriente de excitación, configuración de tres o cuatro hilos, linealización |
| Galgas extensiométricas | Voltaje de excitación, configuración del puente, y linealización |
| Voltajes en modo común o altos voltajes | Aislamiento de amplificadores (aislamiento óptico) |
| Cargas que requieren aperturas grandes flujos de corriente | Relés electromecánicos o relés de estado sólido |
| Señales con ruidos de alta frecuencia | Filtros pasa bajos |

TABLA. VI. 2 TIPO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

En una etapa de acondicionamiento podemos encontrar estas etapas, aunque no todas están siempre presentes,

Amplificación

Excitación

Filtrado

Multiplexado

Aislamiento

Linealización

6.4. Elementos de un circuito eléctrico

El circuito eléctrico es un conjunto de elementos encargados de suministrar energía, que conectados de forma adecuada, crea una diferencia de potencial entre sus terminales que permite que circule la corriente eléctrica.

6.4.1. Red o fuente de alimentación

Es la encargada de suministrar energía al circuito eléctrico.

Esta energía puede ser:

Corriente alterna C.A.

Corriente continua C.C.

6.4.2 Receptores

Son los componentes que reciben la energía eléctrica y la transforman en otras formas más útiles para nosotros como: movimiento, luz, sonido o calor.

Algunos receptores muy comunes son: las lámparas, motores, resistencias, altavoces, electrodomésticos, máquinas, etc.

6.4.3 Elementos de mando

Estos elementos nos permiten maniobrar con el circuito, conectando y desconectando sus diferentes elementos según nuestra voluntad.

6.4.3.1. Por su apariencia y forma exterior.

Pulsador.

Rasantes: que impiden maniobras involuntarias

Salientes: de accionamiento más cómodo, son los más usados

De llave: para accionamiento de gran responsabilidad

De seta: para accionamientos en situación de emergencia

Luminosos: con señalización incorporada

Selectores o interruptores giratorios.

Manipuladores de dos y más posiciones.

6.4.3.2 Por la función que realicen

Todos los elementos citados cumplen con la misma función de conectar y desconectar circuitos, de ahí que cualquiera de ellos puede clasificarse en:

Normalmente cerrado (NC): para desconectar un circuito

Normalmente abierto (NA): para conectar un circuito

De desconexión múltiple: para conectar varios circuitos independientes

De conexión múltiple: para desconectar varios circuitos independientes

De conexión-desconexión: para abrir un circuito y cerrar otro al mismo tiempo

De conexión-desconexión múltiple: para abrir y cerrar varios circuitos contemporáneamente.

6.4.3.3 Elementos auxiliares de mando

Son aparatos que, a diferencia de los pulsadores, no son accionados por el operario, sino por otros factores, como son tiempo, temperatura, presión, acción mecánica, etc., y que regularmente son de ruptura brusca.

La combinación de contactores, elementos de mando y auxiliares de mando, darán lugar a instalaciones totalmente automatizadas.

Finales de carrera o interruptores de posición. Son aparatos destinados a controlar la posición de una parte en una máquina o la misma máquina. En cuanto a los contactos, tienen uno cerrado y uno abierto y se comportan exactamente como los de un pulsador de conexión-desconexión.

Su aplicación va dirigida a la parada o inversión del sentido de desplazamiento de las máquinas, por lo que se convierten en dispositivos de los que depende la seguridad de la máquina, el material y el mismo personal. Al actuar una fuerza mecánica por lo regular un elemento de la misma máquina, actúa sobre la parte saliente del interruptor de posición, desplazando los contactos por

lo que se abren o cierran determinados circuitos.

De acuerdo con el tipo de accionamiento mecánico que se ejercerá sobre él, se eligen los de pistón, bola, roldana, resorte, etc.

Entre los interruptores de posición podemos citar también los interruptores accionados por boya.

Una modalidad de estos elementos auxiliares de mando son los microrruptores. Se denominan así por ser de pequeñas dimensiones y se emplean como conmutadores de corriente del circuito de mando para fuerzas de accionamiento mínimas o pequeños desplazamientos.

Los interruptores de posición o finales de carrera se caracterizan:

Lo apertura y cierre de sus contactos debe ser muy rápida (corte brusco), aun para movimientos lentos.

Una duración mecánica y eléctrica máximas

Un fácil ajuste y conexión

Relés de tiempo o temporizadores. Son aparatos que cierran o abren determinados contactos (contactos temporizados) al cabo de

un tiempo, debidamente establecido, de haberse abierto o cerrado su circuito de alimentación. Es muy importante no confundir los contactos temporizados con los contactos auxiliares NO TEMPORIZADOS que puede tener un temporizador, y que actuaran tan pronto se energice este.

Existen dos grupos de temporizadores.

1. Al trabajo: si sus contactos temporizados actúan después de cierto tiempo de haber sido energizado.
2. Al reposo: sus contactos temporizados actúan solamente después de cierto tiempo de que el temporizador haya sido desenergizado.

Los temporizadores según la técnica de construcción y funcionamiento, pueden ser:

1. Temporizadores con mecanismo de relojería: cuando el retardo se consigue por un mecanismo de relojería, a base de engranajes, que actúan accionados por un pequeño motor; con embrague electromagnético, de manera que al cabo de cierto tiempo de funcionamiento del motor, entra en acción el

embrague y se produce la apertura o cierre del circuito de mando.

2. Temporizadores electrónicos: sistemas basados en circuitos electrónicos y que presentan una gama muy extensa en cuanto a valores y precisión de tiempo. Su uso se ha ido extendiendo rápidamente, especialmente en aquellos dispositivos en los cuales la precisión es fundamental.
3. Temporizadores neumáticos: el retardo de sus contactos temporizados se obtiene por el movimiento de una membrana, en función de una entrada regulable de aire, por acción de una bobina.

6.4.4 Elementos de señalización

Son todos aquellos dispositivos, cuya función es llamar la atención sobre el correcto funcionamiento o paros anormales de las máquinas, aumentando así la seguridad del personal y facilitando el control y mantenimiento de los equipos.

Conexionado de los elementos de señalización.

Señalizaciones de marcha. Se usa para indicar que un equipo se ha puesto en funcionamiento.

Señalización de paro de emergencia, originado por sobrecargas. Para el efecto se utiliza el contacto normalmente abierto del relé térmico, el cual al cerrarse, a consecuencia de la sobrecarga, actúa sobre el elemento de señalización energizándolo.

6.4.5 Elementos de protección

Estos elementos tienen la misión de proteger a la instalación y sus usuarios de cualquier avería que los pueda poner en peligro.

Los más empleados son:

Fusibles

Interruptores de protección.

Son dispositivos cuya finalidad principal es proteger el motor y el mismo circuito, contra posibles daños producidos especialmente

por el paso de intensidades muy altas de corriente. Debe tenerse presente que el contactor no es por sí solo un elemento de protección del circuito, al que permite el paso de corriente, sino un aparato de maniobra de dicho circuito. Para que un contactor cumpla funciones de protección es necesario que se le añada otro dispositivo denominado relé de protección.

Algunas de las irregularidades que se pueden producir en las condiciones de servicio de una maquina o motor son:

1. Sobrecarga, por parte de la máquina accionada por el motor.
2. Disminución de la tensión de red, que puede dar lugar o sobrecargas.
3. Gran inercia de las partes móviles, que hacen funcionar el motor sobrecargado en el periodo del arranque.
4. Excesivas puestas en marcha por unidad de tiempo.
5. Falta de una fase, haciendo que el motor funcione sólo con dos fases.
6. Calentamiento de la máquina originado por una temperatura ambiente elevada. En estos u otros casos similares, los elementos de protección desconectarán el circuito de mando, desconectándose lógicamente el circuito de alimentación de

la máquina o motor, evitando de esta manera que se dañen o disminuyan su duración.

6.4.5.1 Relés térmicos.

Son elementos de protección (debe usarse una por fase) contra sobrecargas, cuyo principio de funcionamiento se basa en la deformación de ciertos materiales (bimetales) bajo el efecto del calor, para accionar, a una temperatura determinada, sus contactos auxiliares que desenergicen todo el sistema. (Ogata, 2003)

El tiempo de desconexión depende de la intensidad de la corriente que circule por las resistencias. Naturalmente el tiempo debe ser tal, que no ponga en peligro el aislamiento de las bobinas del motor, ni se produzcan desconexiones innecesarias, por lo cual están regulados normalmente de acuerdo a la intensidad nominal (I_n).

Una vez que los relés térmicos hayan actuado se rearman empleando dos sistemas:

Rearme manual. Debe emplearse este sistema siempre que se tengan circuitos con presostatos, termostatos, interruptores de

posición o elementos similares, con el objeto de evitar una nueva conexión en forma automática al bajar la temperatura del bimetálico.

Rearme automático: Se emplea exclusivamente en casos en que se usan pulsadores para la maniobra, de manera que la reconexión del contactor no puede producirse después del enfriamiento del bimetálico, sino únicamente volviendo a accionar el pulsador.

En casos especiales, en que la corriente pico de arranque es muy alta, se pueden usar relés térmicos de acción retardada, cortocircuitar el relé durante ese tiempo, o bien hacer uso de transformadores de intensidad.

La regulación de un relé es correcta si corresponde exactamente la intensidad nominal del motor, salvo las excepciones expuestas anteriormente. Una regulación demasiado baja impide desarrollar la potencia total del motor, y una regulación alta no ofrecerá protección completa si se producen las sobrecargas.

6.4.5.2 Relé térmico diferencial.

En un sistema trifásico, cuando falla una fase o hay desequilibrio la red, el motor seguirá funcionando, pero con el peligro de que las bobinas, por circular corrientes superiores a la nominal por las otras dos fases. En este caso la protección del relé térmico, aunque esté bien elegido y regulado, no es suficiente, por lo que es necesario recurrir a un dispositivo denominado relé térmico diferencial.

Su funcionamiento se basa en la diferencia de curvatura de los tres bimetales en un relé térmico normal al fallar una fase, para lo cual se emplean dos regletas (placas de fibra) que detectan esta diferencia de curvatura de los bimetales y actúan sobre los contactos auxiliares del relé, interrumpiendo inmediatamente el circuito de mando. La desconexión será tanto más rápida, cuando mayor diferencia de curvatura exista entre los bimetales.

6.5. Representación eléctrica

Los símbolos ayudan a representar la variedad de elementos que se utiliza en una instalación eléctrica, por lo que es necesario conocer los símbolos más utilizados.

Para la representación existe una variedad de normativas dependiendo del país que lo crea, a continuación se muestra algunas normas eléctricas.



Figura VI.29. Tablero de control

6.5.1 Normas eléctricas y electrónicas

Entre la variedad de normas existentes se muestra las más comunes en representación símbolos eléctricos

TABLA VI.3. NORMAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS MÁS COMUNES.

| SIGLAS | SIGNIFICADO DE LAS SIGLAS |
|-------------|---|
| UNE | Una Norma Española. Organismo español de publicación de normas |
| IEC | International Electrotechnical Commission. En esta comisión participan y colaboran las principales naciones industrializadas |
| DIN | Deutsche Industrienormen. Normas alemanas para la industria. |
| VDE | Verband Deutsche Elektrotechniker. Asociación electrónica alemana |
| UTE | Union Technique de l'Electricité. Asociación electrónica francesa |
| BS | British Standard |
| CEI | Comitato Electrotecnico Italiano. Comité electrotécnico italiano |
| ANSI | American National Standards Institute. Instituto nacional de normalización |
| SEN | Svensk Standard. Normas suecas |
| SEV | Schweizerischer Electrotechnischer Verein. Entidad |

| | |
|-------------|---|
| | eletronica suiza |
| NBN | Normas belgas |
| NF | Normas francesas |
| IS | Indian Standard. Prescripciones indias unificadas en gran parte con IEC. |
| JIS | Japanese Industrial Standard. Prescripciones japonesas. |
| CEE | International Commission on Rules for the Approval of Electrical Equipment. Prescripciones internacionales preferentemente para aparatos de instalación de baja tensión hasta 63A |
| AS | Australian Standard. Prescripciones australianas unificadas en gran parte con IEC |
| CSA | Canadian Standard Association. Asociacion para la normalización en Canada |
| NEMA | National Electrical Manufactures Association. Asociación de fabricantes de productos electrotécnicos de USA |

6.5.2 Símbolos gráficos

Los símbolos gráficos y las referencias identificativas, cuyo uso se recomienda, están en conformidad con las publicaciones más recientes. La norma IEC 1082-1 define y fomenta los símbolos

gráficos y las reglas numéricas o alfanuméricas que deben utilizarse para identificar los aparatos, diseñar los esquemas y realizar los equipos eléctricos.

El uso de las normas internacionales elimina todo riesgo de confusión y facilita el estudio, la puesta en servicio y el mantenimiento de las instalaciones.

6.5.3 Referenciado en esquemas desarrollados

En los esquemas desarrollados, el referenciado se rige por reglas de aplicación precisas. Las referencias definen los materiales, las bornas de conexión de los aparatos, los conductores y los borneros.

El uso de estas reglas facilita las operaciones de cableado y de puesta a punto, al tiempo que contribuye a mejorar la productividad de los equipos debido a la reducción del tiempo de mantenimiento que conlleva.

6.5.3.1 Referenciado de las bornas de conexión de los aparatos

Las referencias que se indican son las que figuran en las bornas o

en la placa de características del aparato. A cada mando, a cada tipo de contacto, principal, auxiliar instantáneo o temporizado, se le asignan dos referencias alfanuméricas o numéricas propias.

Elementos de potencia

Elementos de potencia como, fusibles, interruptores, relés de protección, contactores, etc. Las cifras impares se sitúan en la parte superior y la progresión se efectúa en

Sentido descendente y de izquierda a derecha. Si los aparatos son:

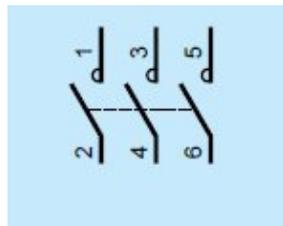


Fig.VI.30. Contactos principales

Monoplares – cifras 1 y 2

Bipolares – cifras 1 a 4

Tripolares – cifras 1 a 6

Tetrapolares – cifras 1 a 8

Elementos auxiliares

Elementos auxiliares como relés, contactos auxiliares del Contactor de los relés de protección, temporizadores, etc.

Las referencias de las bornas de los contactos auxiliares constan de dos cifras. Las cifras de las unidades, o cifras de función, indican la función del contacto auxiliar:

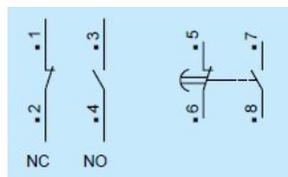


Fig.VI.31 Contactos auxiliares

1 y 2: contacto de apertura,

3 y 4: contacto de cierre,

5 y 6: contacto de apertura de funcionamiento especial;

7 y 8: contacto de cierre de funcionamiento especial; por ejemplo, temporizado, de paso, de disparo en un relé de prealarma.

La cifra de las decenas indica el número de orden de cada contacto del aparato. Dicho número es independiente de la disposición de los contactos en el esquema.

El rango 9 (y el 0, si es necesario) queda reservado para los contactos auxiliares de los relés de protección contra sobrecargas, seguido de la función 5 y 6 o 7 y 8.

Órganos de accionamiento por electroimán

Las referencias son alfanuméricas y la letra ocupa la primera posición:

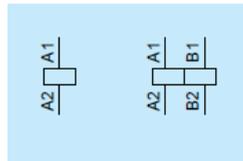


Fig.Vi.32. Mandos de control

Bobina de control de un contactor: A1 y A2,

Bobina de control con dos devanados de un contactor: A1 y A2, B1 y B2.

5.5.3.2 Referenciado de las bornas en los borneros

Circuito de control

En cada grupo de bornas, la numeración es creciente de izquierda a derecha y de 1 a n.

Circuito de potencia

De conformidad con las últimas publicaciones internacionales, se utiliza el siguiente referenciado:

Alimentación: L1 - L2 - L3 - N - PE,

Hacia un motor: U - V - W ; K - L - M,

Hacia resistencias de arranque: A - B - C, etc.

6.5.4 Ejecución de esquemas

Los circuitos de potencia, de control y de señalización se representan en dos partes diferentes del esquema, con trazos de distinto grosor.

6.5.4.1 Colocación general en la representación desarrollada

Las líneas horizontales de la parte superior del esquema del circuito de potencia representan la red. Los distintos motores o aparatos receptores se sitúan en las derivaciones. El esquema de control se desarrolla entre dos líneas horizontales que representan las dos polaridades.

Representación de circuito de potencia

Es posible representar el circuito de potencia en forma unifilar o multifilar. La representación unifilar sólo debe utilizarse en los casos más simples, por ejemplo, arrancadores directos, arrancadores de motores de dos devanados, etc.

En las representaciones unificares, el número de trazos oblicuos que cruzan el trazo que representa las conexiones indica el número de conductores similares. Por ejemplo:

Dos en el caso de una red monofásica,

Tres en el caso de una red trifásica.

De este modo, el usuario puede determinar la sección de cada conductor. Las bornas de conexión de los aparatos externos al equipo se representan igualmente sobre el trazado.

Representación de los circuitos de control y de señalización

Los circuitos de control y de señalización y los símbolos correspondientes a los mandos de control de contactores, relés y otros aparatos controlados eléctricamente, se sitúan unos junto a otros, en el orden correspondiente a su alimentación (en la medida de lo posible) durante el funcionamiento normal.

Dos líneas horizontales o conductores comunes representan la alimentación. Las bobinas de los contactores y los distintos receptores, lámparas, avisadores, relojes, etc., se conectan directamente al conductor inferior. Los órganos restantes, contactos auxiliares, aparatos externos de control (botones, contactos de control mecánico, etc.), así como las bornas de conexión, se representan sobre el órgano controlado.

Indicaciones complementarias

Para que el esquema sea más claro, las letras y las cifras que componen las referencias identificativas que especifican la naturaleza del aparato se inscriben a la izquierda y horizontalmente.

En una disposición horizontal, la referencia identificativa y las referencias de las bornas se sitúan en la parte superior. Dado que los aparatos están agrupados por función y según el orden lógico de desarrollo de las operaciones, su función, así como la del grupo al que pertenecen, son idénticas.

En el caso de esquemas complejos, cuando resulta difícil encontrar todos los contactos de un mismo aparato, el esquema desarrollado del circuito de control va acompañado de un referenciado numérico de cada línea vertical. Las referencias numéricas de los contactos se sitúan en la parte inferior de los mandos de control que los accionan. Se incluye igualmente el número de la línea vertical en la que se encuentran.

6.6 Diseño del tablero

La propuesta de diseño se la desarrollo en un software de modelación en 3D en la que se detalla las partes que conforman el

tablero de pruebas para realizar las diferentes prácticas tanto de control industrial como de control automático, las partes constitutivas del tablero son:

1. Módulo de contactores
2. Módulo de accionadores de mando manual
3. Módulo de relés
4. Módulo de adquisición de datos
5. Módulo de alimentación con elementos de medición
6. Módulo de señalización con alimentación monofásica 220V
7. Motor trifásico
8. Computador

6.7. Descripción de los módulos

A continuación se describe los diferentes módulos que conforma el tablero de control de la caldera pirotubular horizontal.

6.7.1 Módulo de contactores

El módulo de contactores está conformado por 4 contactores, 2 relés térmicos y 6 relés de control, se diseñó con 4 contactores

para poder realizar la simulación de un arranque estrella triangulo, además que esta representados con sus respectivos terminales y el símbolo que lo identifica.

6.7.2 Módulo de accionadores de mando manual

Este módulo está formado 14 pulsadores, paro general y selector, cada uno de los elementos tiene su respectivo terminal y su símbolo que los identifica claramente.

6.7.3 Módulo de relés

Este módulo está diseñado con 6 relés y un relé de estado sólido, los dos elementos tiene sus respectivos terminales de conexión y su simbología que los identifica claramente.

6.7.4 Módulo de alimentación con elementos de medición

El módulo de alimentación contiene la protección de los Breakers y el guardamotor con el objeto de evitar daños a los equipos del tablero, en este módulo se tiene las tres fases y neutro para las conexiones, además posee un amperímetro y voltímetro para la medición.

CAPITULO VII

SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CALDERA PIROTUBULAR HORIZONTAL MEDIANTE LabVIEW

7.1. LABVIEW

Lab View, Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, Lab VIEW es un lenguaje de programación grafico que utiliza iconos en vez de líneas de texto para crear programas.

Los programas de LabVIEW se denominan instrumentos virtuales o Vi, debido a que su apariencia y operación imita a los instrumentos físicos, tales como osciloscopios y multímetros. LabVIEW contiene

un número comprensible de herramientas para adquisición/ análisis, despliegue, y almacenamiento de datos, así como herramientas que le ayudan a resolver su código de ejecución.

En LabVIEW, se puede construir una interfase de usuario o panel frontal, con controles e indicadores. Los controles son texto, botones de acción, perillas, y otros dispositivos de entrada. Los indicadores son gráficas, LED`s y otros despliegues. Después de que se ha construido una interfase, se le agrega códigos utilizando los VI y estructuras para controlar los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques contiene este código.

Cada VI contiene tres partes principales:

- Panel frontal – Cómo el usuario interacciona con el VI.
- Diagrama de bloque – El código que controla el programa.
- Icono/Conector – Medios para conectar un VI con otros VIs.

El panel frontal es la interfaz gráfica con el usuario en donde se presenta todos los indicadores y controles del programa simulando el panel físico de un instrumento, en donde se ingresa los datos usando el Mouse o teclado para operar los controles, mientras que

el diagrama de bloques está constituido por el código fuente del VI, es aquí donde se realiza toda la programación y procesamiento de datos de la aplicación que se requiere.

Cada control o indicador del panel frontal tiene una Terminal correspondiente en el diagrama de bloques. Cuando un VI se ejecuta, los valores de los controles fluyen a través del diagrama de bloques, en donde estos son usados en las funciones del diagrama, y los resultados son pasados a otras funciones o indicadores.

A muchas personas les gusta la programación en C o BASIC, estos programas utilizan programación basada en texto para crear líneas de código, mientras que Labview utiliza un lenguaje de programación gráfica lenguaje G, para crear programas en forma de diagrama de bloques.

Labview como C o BASIC son sistemas de programación con el mismo propósito general con librerías extensas para cualquier tarea de programación.

A los programas desarrollados bajo Labview se les conoce como instrumentos virtuales o VI, debido a que la apariencia de los

controles e indicadores se asemejan a los instrumentos físicos tales como osciloscopios y multímetros.

Labview constituye un revolucionario sistema de programación para aplicaciones que involucren adquisición de señales, control, análisis y presentación de datos.

Las ventajas más significativas de Labview son las siguientes:

- Da la posibilidad a los usuarios de realizar soluciones completas y complejas.
- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones, comparado con los otros sistemas de programación.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico logrando la máxima velocidad de ejecución posible.

7.1.1. Principales usos

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas como:

Adquisición de datos

Control de instrumentos

Automatización industrial o PAC (Controlador de Automatización Programable) Diseño de control: prototipaje rápido y hardware-en-el-ciclo (HIL)

Diseño Embebido

Domótica

7.1.2. Principales características

Su principal característica es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales. También es muy rápido hacer programas con LabVIEW y cualquier programador, por experimentado que sea, puede beneficiarse de él. Para los amantes de lo complejo, con LabVIEW pueden crearse programas de miles de VIs (equivalente a

millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, etc.

Incluso existen buenas prácticas de programación para optimizar el rendimiento y la calidad de la programación.

Presenta facilidades para el manejo de:

Interfaces de comunicaciones:

Puerto serie

Puerto paralelo

GPIB

PXI

VXI

TCP/IP, UDP, DataSocket

Irda

Bluetooth

USB

OPC

Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones:

DLL: librerías de funciones

.NET

ActiveX

MultiSim

Matlab/Simulink

AutoCAD, SolidWorks, etc

Herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales. Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.

Adquisición y tratamiento de imágenes.

Control de movimiento (combinado incluso con todo lo anterior).

Tiempo Real estrictamente hablando.

Programación de FPGAs para control o validación.

Sincronización entre dispositivos.

Como se ha dicho es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan,

facilitando su comprensión.

Diagrama de Bloques de un programa en el que se genera un array de 100 elementos aleatorios, a continuación se hace la FFT de este array y se muestra en una gráfica:

7.1.3. Adquisición de señales

Existen algunas maneras de adquirir señales o datos dependiendo de la aplicación que se vaya a realizar; estos pueden ser mediante controles numéricos o boléanos ubicados en el panel frontal del VI, en donde el operador ingresa datos que controlan el proceso.

En nuestro caso la adquisición de señales provenientes del esclavo en este caso el programador del caldero, quien es el encargado de enviar y recibir información, como el estado de sus entradas, señales de temperatura y de presión a través del protocolo de comunicación, como en nuestro caso vamos a simular el funcionamiento del caldero en forma ilustrativa, la tarjeta de adquisición de datos es reemplazada por casos prácticos de funcionamiento, debido a su costo, y a la aplicación del presente trabajo.

Primero se crea una variable global dentro del VI principal, en nuestro caso hemos utilizado una variable del tipo indicador numérico, debido a que los datos provenientes del programador vienen en formatos enteros y decimales, a continuación se va a configurar para la adquisición de datos de las entradas del programador. Se presiona el botón derecho del Mouse para poder acceder al submenú de configuración.

7.1.4. Exhibición de magnitudes

Para la exhibición de las diferentes magnitudes se utilizó los indicadores virtuales de Labview, debido a que este programador dota de herramientas para crear y modificar el panel frontal como el diagrama de bloques, estas herramientas se utilizan únicamente en el panel frontal, contiene todos los indicadores y controles necesarios para el control y visualización de diferentes magnitudes. Algunas de estas se presentan a continuación:



Para la introducción y visualización de variables numéricas.



Para la entrada y visualización de valores booleanos.



Para la entrada y visualización de texto.

Se utiliza para agrupar elementos.

Para la visualización de los procesos de carga y vaciado de los tanques de agua y combustible, se optó por un arreglo de LEDs que nos permite visualizar cada uno de los casos cuando han sido activados, debido a que cada elemento del arreglo es de tipo booleano y su control de activación depende únicamente del estado de los finales de carrera.

7.1.5. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se lo realiza directamente en el diagrama de bloques, que es donde se realiza toda la programación y procesamiento de la información proveniente del esclavo, utilizando todos los objetos que se requiere para la implementación del VI, ya sea funciones aritméticas, de entradas/salidas de datos, temporización de la ejecución del programa, estas herramientas se

encuentran en la paleta de funciones dentro del diagrama de bloques.

A continuación se enumera algunas herramientas que se requieren en la elaboración del programa:



Muestra las estructuras de control del programa junto con las variables locales y globales.



Muestra funciones aritméticas y constantes numéricas.



Se encuentran funciones y constantes lógicas.



Contiene herramientas útiles para procesar datos en forma de vectores, así como



Tiene funciones para comparar números, valores booleanos o cadenas de caracteres.

Para el procesamiento de los datos de entrada se realizó una

simulación del Programador mediante temporizadores que van haciendo secuencias de funcionamiento en cada uno de los procesos, en donde la señal del programador es adquirida en la variable global llamada ENTRADAS, a la cual se la procesa para obtener la información independiente de cada una de las entradas en forma booleana para su utilización dentro del programa principal.

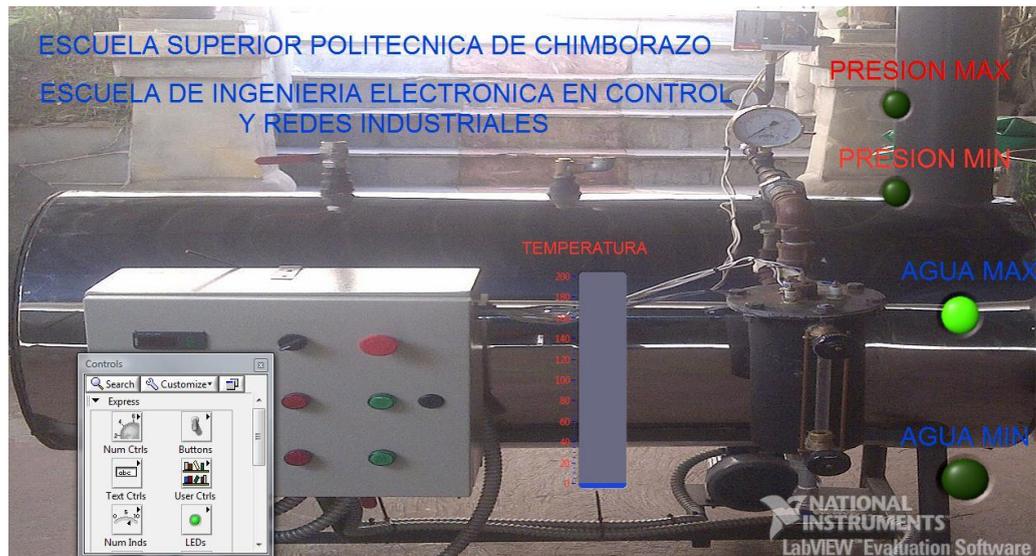
Para el control del tanque de condensados o diario de agua, existen indicadores gráficos y de nivel, para el encendido o apagado de la bomba dependiendo del caso de carga de agua, o por motivo de alarma.

Para el control de resultados de las señales del VI, se ejecutan en el panel de control principal que se destaca más adelante.

Para el control del tanque de Combustible, se ajusta el sistema a las necesidades de flujo, y de tiempo de encendido como se presenta en la interfaz, existen indicadores que de nivel, de temperatura de volumen y de alarma, variables que serán conectadas según su programación en el diagrama de bloques.

En el diagrama de bloques se manejan las secuencias de VI de presentación, definiendo operaciones valores, y detallando de manera explícita el manejo de dichos resultados.

7.1.6. DESARROLLO DE LA INTERFAZ HOMBRE MAQUINA BAJO LABVIEW.



La interface entre Labview y el usuario o panel frontal cumple un papel sumamente importante debido a que en este panel se encuentran los controles e indicadores, los controles son texto, botones de acción, perillas y otros dispositivos de entrada, los indicadores son gráficas, LEDs u otros tipos de indicadores.

Es aquí en el panel frontal donde el operario tiene contacto directo con el proceso, es decir con controles e indicadores, por lo

que se optó por la utilización de los controles propios de Labview, de los cuales han sido editados para cambiar su aspecto, como son los de los controles boléanos para tener una interfaz que se asemeje lo más posible a los instrumentos físicos que se tiene hoy en día para el control y visualización de los procesos.

Para el diseño de los nuevos controles, utilizamos como modelo elementos como pulsantes, selectores y luces modeladas en un programa de dibujo mecánico, los nuevos controles que se presenta a continuación:

Exhibimos las magnitudes provenientes de los canales analógicos de presión y potencia en pantallas.

En el monitoreo de la potencia se utiliza un panel frontal de un solo indicador con un control numérico presentado de la siguiente manera en el panel frontal.

Para las entradas y salidas digitales de los flujos de agua y combustible se tienen los indicadores booleanos siguientes:

En las siguientes figuras se presentan en estado ON/OFF, los boléanos de alarma del sistema.

Exhibimos en si el sistema visual del funcionamiento del caldero mediante, el diseño de controles que nos permitan verificar el estado del desarrollo de proceso de encendido, los mismos han sido diseñados, en un programa de dibujo mecánico, los nuevos controles de funcionamiento de la caldera se presentan a continuación:

Los controles indicados anteriormente son los que se utilizó para la Interface entre el panel frontal y el operador. Todos han sido dibujados a partir de modelos reales, al tener los controles y visualizadores parecidos a los que se utilizan en la industria, el usuario va a tener una mejor facilidad en operar el programa.

Estos controles permite al usuario seleccionar el tipo de control del proceso, tienen un bloqueo lógico, debido a limitaciones propias del control del caldero que se presentaron en el estudio.

Cuando el proceso se encuentra en ejecución, se tiene una pantalla dentro del panel frontal donde se exhiben imágenes estáticas que indican la el desarrollo de encendido, llenado y distribución del caldero.

El diagrama de bloques, del funcionamiento general de la simulación es a unión de los procesos anteriores, del control del tanque de diario de combustibles así como el de condensados con el de control del caldero descrito, para animar este proceso se utilizaron comandos de flat secuencia, que van dando retrasos de tiempos y proyectan el funcionamiento del caldero de manera real. (Chen, 2000)

CAPITULO VIII

PRUEBAS Y RESULTADOS

En esta parte de la presente investigación se realizó pruebas del software ya desarrollado. Dichas pruebas consisten en ingresar datos de la caldera ya diseñada y construida por el autor, ejecutar el programa y al final verificar que los resultados que proporcione el software se encuentren dentro de los rangos normales de operación y poder concluir mediante dichos datos proporcionados que el software funciona correctamente.

Es así como se demuestra la validez y eficacia de utilizar el software LabVIEW desarrollado como una herramienta de análisis y

diseño térmico de calderas pirotubulares horizontales. Habiendo realizado estas pruebas también se pudo verificar la cantidad de tiempo que se ahorraba y cuan fácil resultaba trabajar con dicho programa para los cálculos de análisis y diseño térmico.

8.1. Corridas y resultados obtenidos por el software.

Una vez que se tenía los datos necesarios para probar el software se procedió a ingresarlos en el programa. A continuación se presentan cada uno de estos valores reales:

| DATOS REALES | 5BHP |
|--------------------------|-------------|
| Área de transf. de calor | 1.5 |
| Capacidad nominal | 5 |
| Potencia del ventilador | 1 |
| Ratio cap. vs. área | 0.2 |
| Ratio potencia vs. cap. | 0.033 |

**TABLA VIII.4. VALORES REALES DE LA CALDERA DE
5BHP**

| Longitud (m) | Temperatura primer paso | Temperatura segundo paso |
|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 27 | 965.2 |
| 0.14 | 863.6 | 807.37 |
| 0.28 | 1700.2 | 649.53 |
| 0.41 | 1517.3 | 559.83 |
| 0.55 | 1334.4 | 470.12 |

**TABLA VIII .5. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA
PARA CALDERA DE 5 BHP A DIESEL**

| Longitud | Temperatura primer paso | Temperatura segundo paso |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 27 | 165.2 |
| 0.14 | 35.6 | 237.71 |
| 0.28 | 78.5 | 349.53 |
| 0.41 | 88.7 | 359.83 |
| 0.55 | 110.3 | 470.12 |
| 0.69 | 140.22 | 116.44 |
| 0.83 | 179.78 | 372.75 |
| 0.97 | 258.33 | 329.34 |
| 1.24 | 245.3 | 145.21 |

**TABLA VIII.6. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA
PARA CALDERA DE 5 BHP A DIESEL**

Estudio paramétrico del efecto de las variables de entrada sobre las variables de salida.

En el estudio paramétrico que se muestra a continuación, se analiza en mayor parte el efecto sobre las variables de salida que tenía uno de los parámetros de entrada como es el consumo de combustible que sin lugar a duda es el que afecta en gran magnitud al desempeño térmico de la caldera ya que esto equivale a colocar quemadores de diferente tamaño a un diseño de caldero existente para observar cuál será su comportamiento. El análisis completo se lo realizó para una caldera de 5BHP con quemador a Diesel ya que dicho análisis es similar para las demás calderas descritas y para las que el usuario desee probar en el software. A continuación se presentan las gráficas generadas.

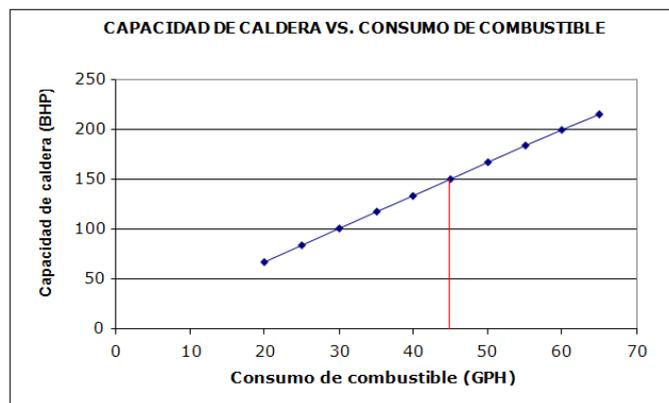


FIGURA VIII .33. GRÁFICA DE CAPACIDAD DE CALDERA VS. CONSUMO DE COMBUSTIBLE (5BHP).

A mayor caballaje o potencia de la caldera mayor consumo de combustible

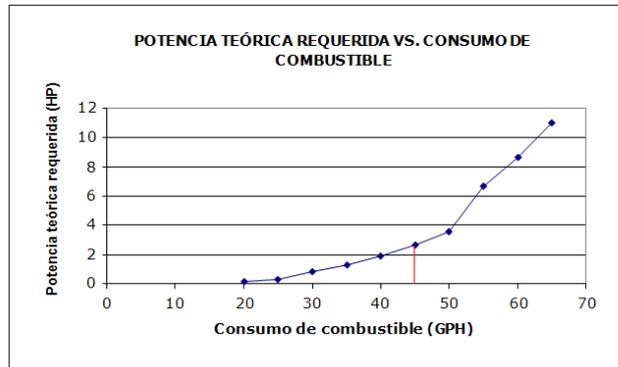


FIGURA VIII.37. GRÁFICA DE POTENCIA TEÓRICA DE VENTILADOR VS. CONSUMO DE COMBUSTIBLE (150BHP).

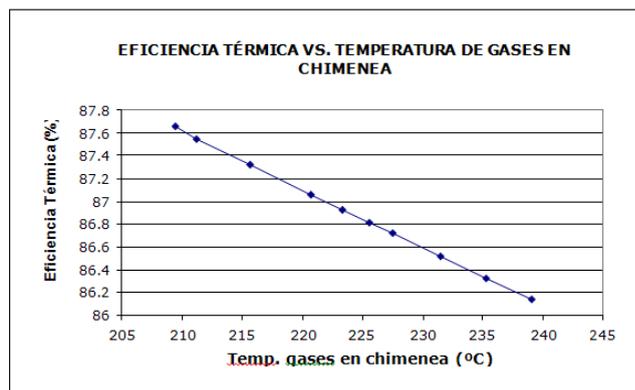


FIGURA VIII.38. GRÁFICA DE EFICIENCIA TÉRMICA VS.

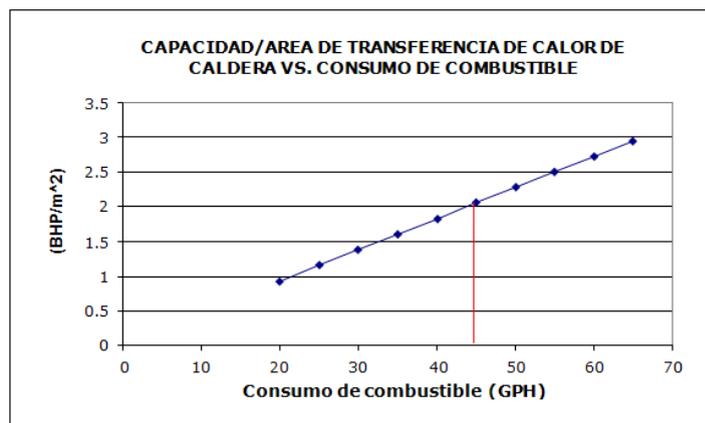


FIGURA VIII.39. GRÁFICA DE CAPACIDAD / ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR VS. TEMPERATURA DE GASES EN CHIMENEA (5BHP).

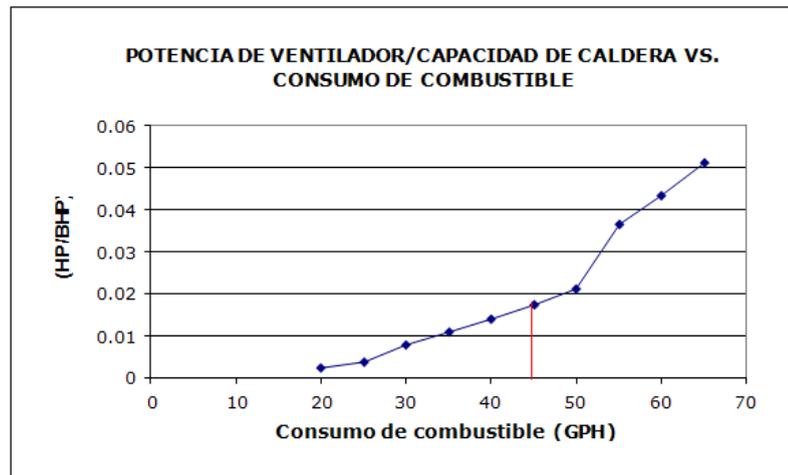


FIGURA VIII.40 GRÁFICA DE POTENCIA VENTILADOR / CAPACIDAD VS. TEMPERATURA DE GASES EN CHIMENEA (5BHP).

Para el caso de la caldera diseñada para 5BHP cuando opera con un quemador acorde a su capacidad (45GPH) se generaron las siguientes gráficas dependientes unas de condiciones ambientales y otras de la temperatura de agua de alimentación de la caldera.

8.2. Análisis de resultados.

Se puede notar claramente que la capacidad de la caldera aumenta de una manera lineal, siempre que exista la misma condición de flujo dentro de los pases de la caldera, con respecto al consumo de combustible debido a que existirá una mayor cantidad de energía disponible para ser transferida hacia el agua que se encuentra en el

exterior de los tubos.

A pesar de que existe una mayor cantidad de energía disponible, el hogar y el haz de tubos de la caldera no son capaces de transferir tanta energía hacia el agua en el exterior, por lo que se produce una disminución en la eficiencia térmica de la caldera cuando se aumenta el consumo de combustible con lo cual se va a tener un gasto de combustible innecesario. Si bien es cierto que las eficiencias de operación de la caldera se mantienen altas, si se disminuye demasiado el consumo de combustible, la caldera sería incapaz de generar vapor a la tasa correcta, mientras que si se aumenta el consumo de combustible, se tendrá un incremento considerable en la caída de presión del sistema y del flujo volumétrico de productos de combustión por lo que la potencia del ventilador que se debe de utilizar resultaría muy alta haciendo impráctico usar dicho ventilador y por ende aumentar el consumo de combustible.

El hecho de que el hogar y el haz de tubos no puedan transferir toda una cantidad determinada de energía disponible, se verá reflejada en un aumento de la temperatura de los productos de combustión a la salida tanto del hogar como del haz de tubos

(chimenea), es decir que el excedente de energía será expulsado al medio ambiente para el haz de tubos y para el hogar respectivamente.

Se puede mostrar de otra manera lo descrito en los análisis. Como era de esperarse, se puede notar que así como va aumentando la temperatura de salida de los productos de combustión la eficiencia térmica de la caldera irá disminuyendo linealmente.

Observando la tendencia se puede notar que mientras mayor sea la capacidad del quemador (GPH) el ratio capacidad de caldera / área de transferencia de calor se va incrementando lo cual da a entender que habrá mayor calor disponible pero que no podrá ser transferido por la geometría del equipo ya definido. Por otro lado, si se disminuye la capacidad del quemador (GPH), el ratio antes mencionado disminuirá lo que implica decir que la geometría de la caldera que se está analizando será innecesaria para manejar la energía disponible.

El flujo de vapor de la caldera va incrementando mientras mayor sea la temperatura del agua de alimentación de la caldera. Esto se debe a que mientras mayor sea la temperatura del agua

de alimentación, mayor será la energía que contiene dicha agua siendo más fácil generar vapor a que si el agua entrara fría a la caldera.

Todos los datos necesarios para generar las figuras que se mostraron anteriormente fueron generados por el software desarrollado.

En general, observando los resultados obtenidos con el software en la caldera, se puede notar que los parámetros de salida tales como, eficiencia térmica, capacidad nominal, flujo de vapor, temperatura de salida de productos de combustión y potencia real del ventilador son muy cercanos a los parámetros normales de operación real de las calderas antes descritas.

De esta manera se concluye este capítulo de la presente investigación, habiendo presentado los datos de la caldera pirotubular horizontal construida, los resultados visualizados por el software para la caldera., un estudio paramétrico de las variables de entrada sobre las variables de salida y finalmente un análisis de resultados.

CONCLUSIONES

Conociendo las características de las calderas de vapor y su operación, se ha podido desarrollar un plan de mantenimiento preventivo planificado integral, ejecutable y de gran calidad, para equipos generadores de vapor, que sin duda ayudará a conservar los mismos y mantener sus niveles de seguridad.

Los calderos pirotubulares, siendo máquinas que están sometidas a presión y temperatura, requieren estar contruidos con materiales de primera calidad, según las normas que rigen la construcción de estos equipos; así como los procesos de construcción estarán estrictamente ajustados a las normas internacionales, estipuladas en el código ASME.

Al realizar las investigaciones sobre el software objeto de estudio de la tesis se conoció que el software LabVIEW es de muy alta versatilidad, que por su modo de programación facilita y ayuda la tarea del programador.

La tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009 permite el desarrollo de aplicaciones de manera más rápida y eficiente.

Para el trabajo de la maquina se necesita que el agua previamente debe ser tratada para evitar problemas en la generación de vapor y en la máquina.

El diseño construcción y simulación del sistema del sistema de control automático de la caldera, ha brindado la oportunidad de aplicar todos los conocimientos teóricos adquiridos a lo largo del desarrollo de la carrera estudiantil, constituyéndose en una base para un asentamiento como futuro profesional

RECOMENDACIONES

Primero se debe encender la caldera y después la PC para visualizar los datos. Nunca encienda fuego bajo una caldera sin hacer una doble comprobación en el nivel de agua, muchas calderas han sido destruidas y muchos trabajadores han perdido su trabajo por esa causa.

Los sistemas pirotubulares dependen de un control óptimo de la presión para evitar explosiones y el quemador debe estar lo más alejado de los contactos eléctricos para evitar incendios.

Visualizar los datos en el software LabVIEW de temperatura, alarmas de nivel de agua y de presión.

La DAQ hay que ubicarla lo más lejos del sistema de control es decir lejos de contactores y reles.

El daño más frecuente de la caldera es el provocado por la dureza del agua. El profesional encargado del mantenimiento, debe estar al cuidado de exigir la instalación de un efectivo equipo de tratamiento de agua además asegúrese siempre de que las válvulas de purga estén cerradas y los venteos, válvulas de las columnas de agua y grifos de los manómetros estén abiertos.

Se recomienda el uso del software de simulación del encendido y monitoreo de las variables de la máquina en todo diseño y construcción de caldera, para familiarizar a los técnicos con el uso del equipo y optimizar la eficiencia.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Ciudad de Riobamba en el taller ALFA enfocada en diseño y construcción de un sistema de control automático para una caldera piro tubular horizontal.

El objetivo principal del tema de tesis fue el desarrollo del diseño y construcción de un Sistema de Control Automático para una caldera Piro Tubular para que genere vapor de agua. En la investigación se aplicó los métodos lógico inductivo y sistémico precisando que es una investigación aplicada a las ingenierías: Electrónicas en Control y Redes Industriales junto a Mecánica.

El control de los parámetros temperatura con termopar tipo J (full Gauge), presión utilizando un presostato y nivel de agua a través de electrodos, para una operación óptima y segura de la caldera a través de contactores, válvula de vapor de agua y presostato de seguridad. La principal condición de operación es mantener el nivel de agua de tal manera siempre cubra la parte superior de los tubos de fuego y la presión debe estar en los límites permisibles de diseño (50psi) las cuales permiten tener condiciones estables que mantienen la operación del quemador que suministra la energía.

Los datos de temperatura, alarmas de nivel de agua y presión están visualizados en el programa LabVIEW. Como resultados se obtuvo el 100% de efectividad, seguridad, resistencia y durabilidad necesario de la caldera generando el vapor. Los sistemas piro tubulares dependen del control óptimo de la presión y seguridad para evitar explosiones siempre estudiando cada situación de riesgo posible y solucionando.

SUMARY

This research was conducted in the city of Riobamba in the ALFA workshop focused on designing and building automatic control system for a horizontal tubular boiler pyro .

The main objective of the thesis topic was the development of the design and construction of an Automatic Control System for Tubular Piro boiler to generate steam. In applied research methods and systemic logical inductive research needs to be applied to the engineering : Electronics in Industrial Networking and Control with Mechanical.

Control parameters type J thermocouple temperature (full Gauge) , and pressure using a pressure water level through electrodes , for optimal and safe operation of the boiler via contactors, steam valve and pressostat safety. The main operating condition is to maintain the level of water so always cover the top of the fire tube and the pressure should be in the permissible limits of design (50psi) have conditions which allow maintaining stable operation of the burner providing power .

The temperature data , water level alarms and pressure are displayed in the LabVIEW program . Results were obtained as 100% effectiveness, safety, strength and durability necessary for the steam generating boiler. Firetube systems depend on optimal control and safety pressure to avoid explosions always studying every possible risk and solving.

APÉNDICE

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Bomba de alimentación. Bomba gobernada por un control que supervisa el nivel de agua real de la caldera y agrega agua solamente cuando se necesita. El control de la bomba se monta en la caldera.

Bomba de condensados. Bomba controlada por un interruptor montado en el tanque recibidor. Cuando este tanque se llena, agrega agua a la caldera, lo mismo si ésta la necesita o no.

BTU – British Thermal Unit. Unidad térmica británica. Cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de 1 libra de agua, en un grado Fahrenheit. Es una definición aproximada, pero suficientemente exacta para los efectos de este catálogo.

Caballo de fuerza de potencia de caldera. Potencia necesaria para convertir 34,5 libras de agua por hora a 212°F (100°C), en vapor a 212°F (100°C). Equivale a un calor cedido de 33,475 BTU/hora, que es aproximadamente igual a 140 pies cuadrados de radiación de vapor (EDR).

Condensación. El humo generado por la combustión del petróleo o del gas contiene vapor de agua. La energía que contiene este vapor de agua representa en torno a un 10% del poder calorífico inferior (PCI) del combustible. En las calderas de condensación, el humo se enfría al entrar en contacto con el circuito de retorno del agua de la calefacción: al enfriarse, el humo cede su energía latente al agua de calefacción y el rendimiento térmico de la caldera aumenta en función de ésta. El rendimiento térmico de una caldera de gas natural, cuando se expresa con respecto al PCI, puede superar el 100% y alcanzar un máximo teórico del 112%, superior al rendimiento de una caldera tradicional.

- **Llama transparente (quemador de petróleo de "llama transparente").** Un quemador de fuel de "llama transparente" tiene integrado un dispositivo de recirculación de los gases quemados en la llama para enfriarla. Las emisiones contaminantes de NOx de un quemador de "llama transparente" son muy limitados (menos de 120 mg/kWh).
- **PCI (poder calorífico inferior del combustible).** El PCI de un combustible es la energía que se crea en la combustión de un litro

de petróleo o de un m³ de gas. A título informativo, el PCI de un litro de fuel o de un m³ de gas es de alrededor de 10 kWh (la energía correspondiente a una potencia de 10 kW durante una hora).

- **PCS (poder calorífico superior).** El PCS equivale al PCI más el calor latente del vapor de agua producido por la combustión. Este vapor de agua contiene una energía equivalente al 10% del PCI del combustible: el PCS corresponde por lo tanto aproximadamente al 110% del PCI. Condensando este vapor de agua (es decir, enfriándolo a una temperatura inferior a 58°C para el gas natural), se puede recuperar ese calor, con lo que se aumenta el rendimiento térmico de la caldera (véase la caldera de condensación).
- **Potencia.** La potencia de una caldera designa en general la potencia útil que transmite efectivamente la caldera al circuito de calefacción. La potencia se expresa en kW (1 kW = 1.000 W) o en Kcal (1 Kcal = 1.000 cal = 1,36 kW). La potencia necesaria para calentar una vivienda de tamaño medio varía según el país y la calidad del aislamiento del inmueble entre 10 y 35 kW. Sin embargo, también hay que tener en cuenta la potencia necesaria para producir agua caliente sanitaria, que a menudo es el elemento crítico en la

elección de una caldera.

- **Pre mezcla (quemador de gas).** En un quemador de pre mezcla, el gas se mezcla con todo el aire primario antes de que un ventilador los inyecte en la rampa del quemador, dentro de la cámara de combustión: la mezcla de aire y de gases perfectamente homogénea y permite una excelente combustión con emisiones contaminantes muy bajas. Además, este quemador permite generar una potencia importante con un rendimiento muy alto en una cámara de combustión de pequeñas dimensiones (y por lo tanto en una caldera compacta). Por último, la potencia de un quemador de pre mezcla se puede modular para adaptar constantemente su funcionamiento a las exigencias de calefacción, conservando al mismo tiempo una potencia elevada.

- **Presión.** Fuerza por unidad de superficie, tal como libra por pulgada cuadrada o newton por metro cuadrado.

- **Presión absoluta.** Presión real sobre cero, o presión atmosférica añadida a la presión del medidor. Se expresa como presión unitaria.

- **Presión atmosférica.** Peso de una columna de aire, de una

pulgada cuadrada de sección transversal, que va desde la tierra hasta las capas superiores de la atmósfera. Este aire ejerce una presión de 14,7 libras por pulgada cuadrada a nivel del mar, donde el agua hierve a 212°F (100°C). A mayor altura, menor presión atmosférica y correspondientemente, más bajas temperaturas en las calderas.

- **Purgador (de aire).** El purgador de aire suele estar situado en el punto más alto de la instalación y permite evacuar el aire aprisionado en el circuito de calefacción. Puede ser manual o automático.
- **Quemador de combustible tradicional.** La función de un quemador es convertir la energía del combustible en calor. Un quemador de petróleo tradicional es barato y produce una llama amarilla las emisiones contaminantes (NOx) de estos quemadores no están optimizadas. En cambio, los quemadores de llama transparente, aportan un rendimiento más alto y producen muchas menos emisiones contaminantes.
- **Regulación de la calefacción.** La regulación de la calefacción gestiona el funcionamiento de la caldera y de los circuitos de

calefacción en función de las necesidades de calor para la calefacción y la producción de agua caliente.

- **Rendimiento de calefacción.** El rendimiento de calefacción inmediato de una caldera corresponde a la relación entre la potencia útil que se transmite al circuito de calefacción y la potencia consumida (caudal calorífico) por la caldera. El rendimiento inmediato de una caldera depende de varios parámetros: la calidad del quemador, el rendimiento del intercambiador de calor de la caldera, la calidad de la combustión y la limpieza, la regulación y el aislamiento de la caldera. Las calderas de petróleo y gas modernas presentan unos rendimientos que varían entre el 92 y el 95%. Las calderas de condensación ofrecen rendimientos aún más altos (entre el 98 y el 105%). Sin embargo, el rendimiento inmediato no es más que un dato para apreciar el rendimiento de una caldera. El rendimiento de uso anual, que tiene en cuenta a la vez la calefacción y el agua caliente sanitaria ofrece una indicación más pertinente sobre el comportamiento energético de la caldera.
- **Rendimiento de uso anual.** El rendimiento de uso anual de una caldera indica su rendimiento energético durante un año y tiene en cuenta las funciones de calefacción (alrededor del 70% de la energía consumida anualmente) y de producción de agua caliente sanitaria

(ACS) (en torno al 30% de la energía consumida anualmente). Este rendimiento de uso anual tiene en cuenta el número de arranques y paradas que se realizan durante el año, los equipos auxiliares de la caldera (circulador del circuito sanitario, sobre todo) y la regulación de la calefacción.

- **Superficie de calefacción.** Área superficial que divide la cámara de combustión de la cámara donde está el agua o vapor. Transmite el calor de los gases de combustión al agua (o vapor).

- **Trampa de vapor.** Dispositivo para permitir el paso del condensado y del aire y evitar el paso del vapor.

- **Tuberías principales.** Tuberías a través de las cuales fluye el medio de calefacción desde la caldera o calentador hasta las unidades de calefacción.

- **Unidad de calor.** En el sistema inglés: pie.libra/segundo, la unidad de calor es el BTU. En el Sistema Internacional de Unidades, es el joule (1 BTU = 1.060 J).

- **Termostato de ambiente.** El termostato de ambiente mide la temperatura del local en el que se encuentra y da las órdenes al

circulador de calefacción o a la regulación de la caldera para mantener la temperatura deseada en la habitación. Es el tipo de regulación de temperatura más sencillo y el que se utiliza con más frecuencia en la renovación de instalaciones de calefacción.

- **Termostato de caldera.** También denominado "acuastato", controla la temperatura del agua en la caldera y, en función de las necesidades de energía, proporciona las instrucciones de funcionamiento al quemador. El termostato de caldera se complementa, como mínimo, con un termostato de ambiente, que eventualmente se puede programar, situado en una habitación desde la que controla a distancia el funcionamiento de la caldera.
- **Válvula de seguridad o de descarga.** Dispositivo para evitar presión excesiva en una caldera. Debe ser fijada a 15 psi en calderas de presión baja, y a la máxima presión de operación en calderas de alta presión, o menor, en calderas que no van a ser operadas a su presión máxima.
- **Válvula de purga.** También denominada válvula de escape. Válvula que permite que un control de la caldera sea limpiado, y comprobadas sus funciones.

- **Válvula piloto.** Válvula pequeña que se utiliza para controlar una válvula grande.

- **Válvula reductora de presión.** Dispositivo para reducir la presión de un gas o de un líquido.

- **Vapor.** Agua en estado gaseoso. El vapor formado cuando el agua se ha calentado hasta el punto de ebullición correspondiente a la presión a que está sometida. Ver también vapor seco saturado, vapor saturado y vapor sobrecalentado.

- **Vapor de presión baja.** Según lo definido por ASME, el vapor de presión baja es el que se encuentra a 15 PSIG (103.000 Pa) o menos.

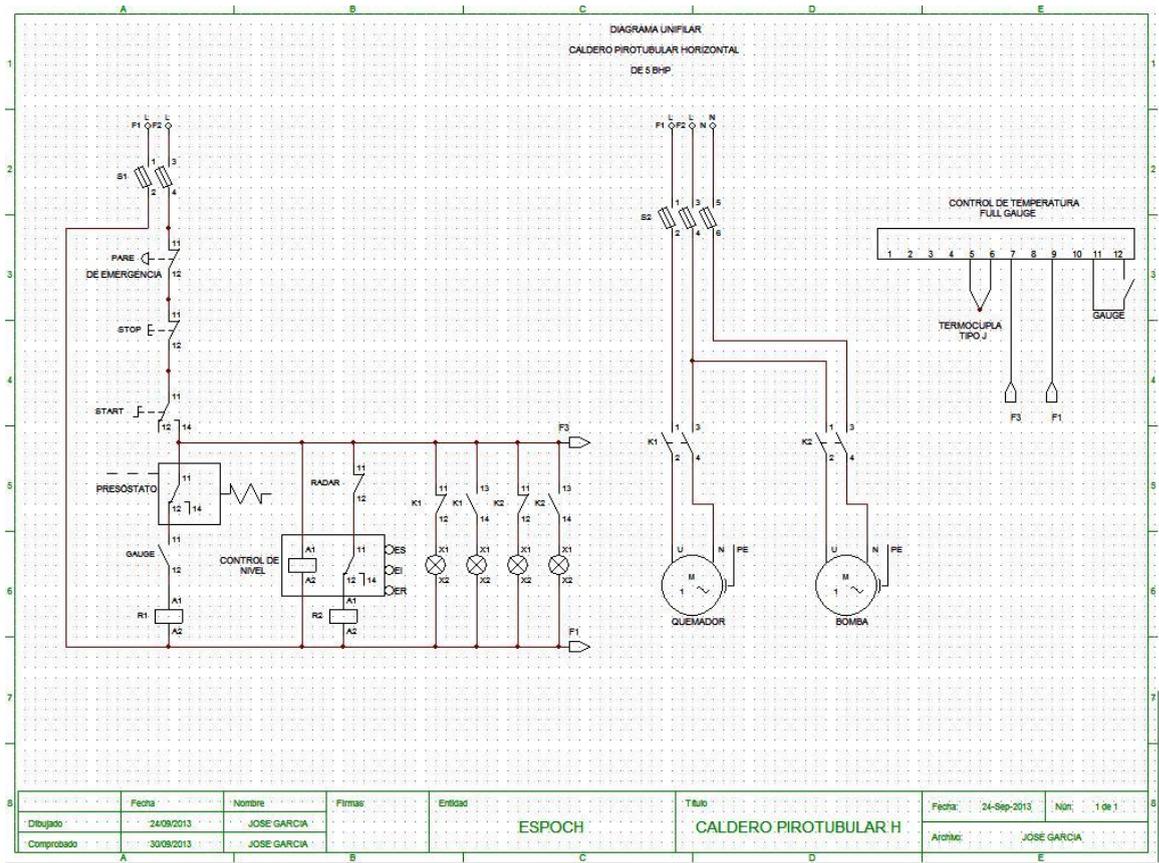
- **Vapor seco saturado.** Vapor saturado que no contiene agua en suspensión.

- **Vaporización.** Conversión rápida de agua a vapor, a temperatura alta y presión reducida, de modo que la temperatura del agua esté por encima del punto de ebullición a dicha presión.

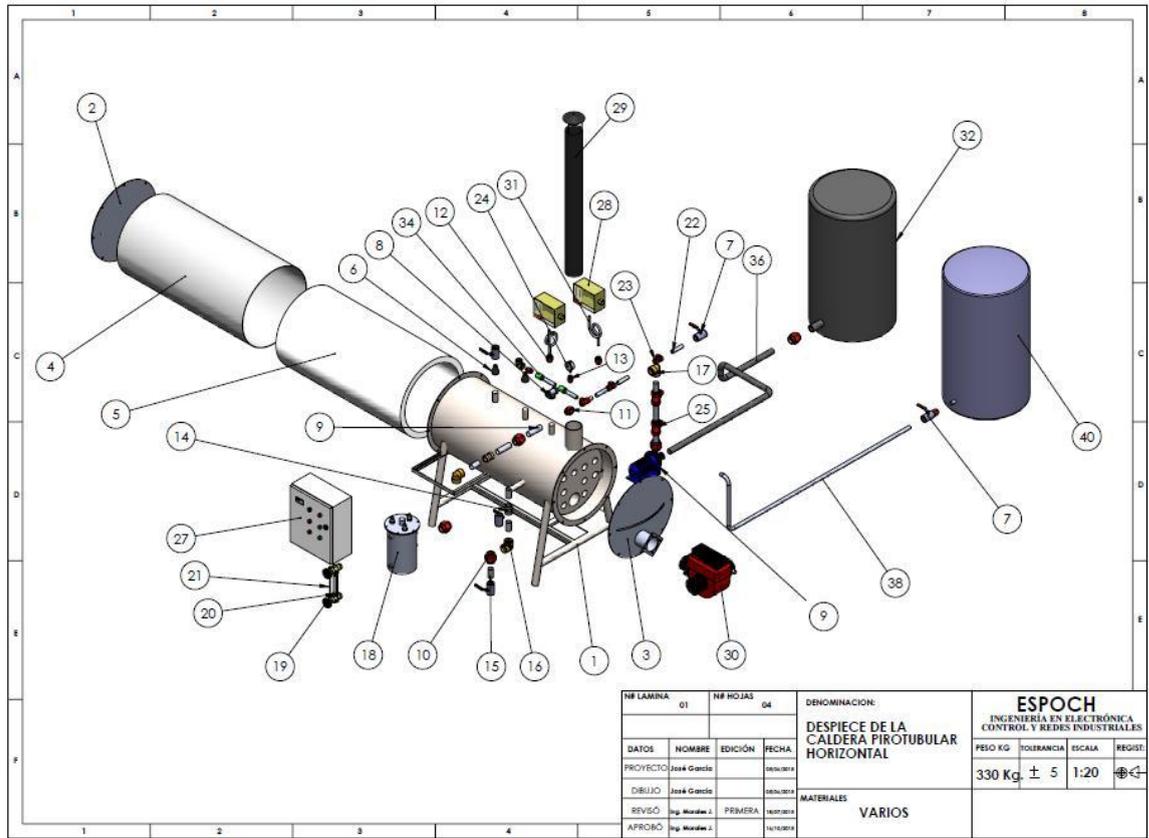
ANEXOS

DIAGRAMA UNIFILAR

“TABLERO DE CONTROL – CALDERA PIRO TUBULAR HORIZONTAL ”



PLANOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA CALDERA PIRO TUBULAR HORIZONTAL ”



| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Nº LAMINA</td> <td style="width: 50%;">Nº HOJAS</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">04</td> </tr> </table> | | Nº LAMINA | Nº HOJAS | 01 | 04 | DENOMINACION: DESPIECE DE LA CALDERA PIROTUBULAR HORIZONTAL | ESPOCH INGENIERIA EN ELECTRONICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|----------------------|------------|---------|-------|---|--|--|------------|--------|-------------|--|------------|--------|----------------|---------|------------|--------|----------------|--|------------|---------|------------|--------|---------|
| Nº LAMINA | Nº HOJAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01 | 04 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">DATOS</th> <th style="width: 25%;">NOMBRE</th> <th style="width: 25%;">EDICIÓN</th> <th style="width: 25%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td>PROYECTO</td> <td>José García</td> <td></td> <td>08/01/2014</td> </tr> <tr> <td>DIBUJO</td> <td>José García</td> <td></td> <td>08/01/2014</td> </tr> <tr> <td>REVISÓ</td> <td>Ing. Mardal J.</td> <td>PRIMERA</td> <td>10/07/2014</td> </tr> <tr> <td>APROBÓ</td> <td>Ing. Mardal J.</td> <td></td> <td>14/10/2014</td> </tr> </table> | | DATOS | NOMBRE | EDICIÓN | FECHA | PROYECTO | José García | | 08/01/2014 | DIBUJO | José García | | 08/01/2014 | REVISÓ | Ing. Mardal J. | PRIMERA | 10/07/2014 | APROBÓ | Ing. Mardal J. | | 14/10/2014 | PESO KG | TOLERANCIA | ESCALA | REGIST. |
| DATOS | NOMBRE | EDICIÓN | FECHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROYECTO | José García | | 08/01/2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJO | José García | | 08/01/2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REVISÓ | Ing. Mardal J. | PRIMERA | 10/07/2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROBÓ | Ing. Mardal J. | | 14/10/2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 330 Kg. | ± 5 | 1:20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MATERIALES VARIOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

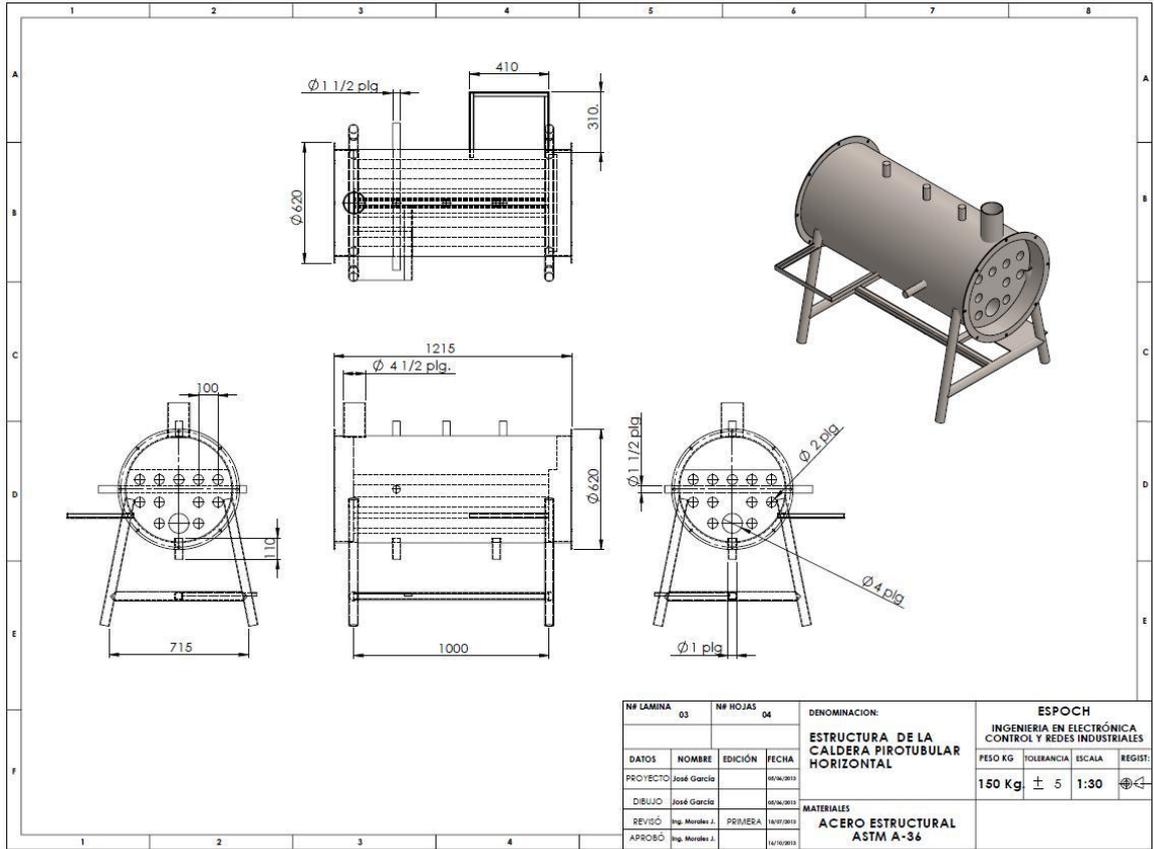
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|-----|---------------------------------|------------------|----------|
| | N.º | DESCRIPCIÓN | MATERIAL | CANTIDAD |
| A | 1 | Estructura de caldero | ASTM A-36 | 1 |
| | 2 | tapa de caldero 2 | ASTM A-36 | 1 |
| | 3 | tapa de caldero 1 | ASTM A-36 | 1 |
| | 4 | lamina inox | ASTM A-58 | 1 |
| | 5 | Aislante termico | Lana de vidrio | 1 |
| | 6 | Reducción de 1 plg a 0.5 plg | PVC | 2 |
| B | 7 | Valvula de 1.5 plg | Ansi 125/150 | 5 |
| | 8 | tee 1.5 plg. | PVC | 1 |
| | 9 | Bomba de agua | ----- | 3 |
| | 10 | Unión de 1.5 plg. | PVC | 4 |
| | 11 | Union 1/2 plg | PVC | 1 |
| | 12 | Union 3/4 plg. | PVC | 3 |
| | 13 | Unión de 1 plg | PVC | 2 |
| | 14 | unión de 1 plg | PVC | 2 |
| | 15 | tubería 1.5 plg. | PVC | 6 |
| | 16 | Codo de 1.5 plg | PVC | 2 |
| C | 17 | Codo de 1. plg. | PVC | 1 |
| | 18 | Mac Donald | ASTM A-36 | 1 |
| | 19 | Valvula angular de cierre | ----- | 2 |
| | 20 | Visor | Vidrio | 1 |
| | 21 | varilla de protección | Cobre | 2 |
| | 22 | tubería 1 plg | PVC | 6 |
| | 23 | Tee 3/4 plg | PVC | 3 |
| | 24 | Manómetro | | 1 |
| | 25 | Vávula check 1.5 plg. | PVC | 2 |
| | 27 | tablero de control caldero | ----- | 1 |
| D | 28 | Presostato | | 2 |
| | 29 | Conducto de escape de vapor | TuberíaASTM A-36 | 1 |
| | 30 | Quemador | ----- | 1 |
| | 31 | Cañería | Bronce | 2 |
| | 32 | Deposito de agua | ASTM A-36 | 1 |
| | 34 | Union 0.5 plg. | PVC | 2 |
| | 35 | RESETEO MANUAL | | 1 |
| | 36 | MANGUERA | Caucho | 1 |
| | 37 | Union de 1 plg | PVC | 1 |
| | 38 | cañería de combustible | Bronce | 1 |
| E | 39 | CLASS 6000 THREADED UNION, .750 | PVC | 1 |
| | 40 | TANQUE DE COMBUSTIBLE | ASTM A-36 | 1 |

| | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|--------------|----------|-------------------------------|---------------|------------|--------|---|
| Nº Láminas: 02 | | Nº Hojas: 04 | | Descontinuación: | | | | |
| Sustitución: | | | | Lista de Materiales | | | | |
| | | | | | | | | |
| Datos | | Nombre: | Edición: | Fecha: | Peso (Kg) | Tolerancia | ESCALA | Registro |
| Proyectó | José García | | | 05/06/2013 | | | |  |
| Dibujó | José García | | | 05/06/2013 | | | | |
| Revisó | Ing. Morales J. | Primera | | 18/07/2013 | Codificación: | | | |
| Aprobó | Ing. Morales J. | | | 16/10/2013 | | | | |
| | | | | Materiales: Varios | | | | |

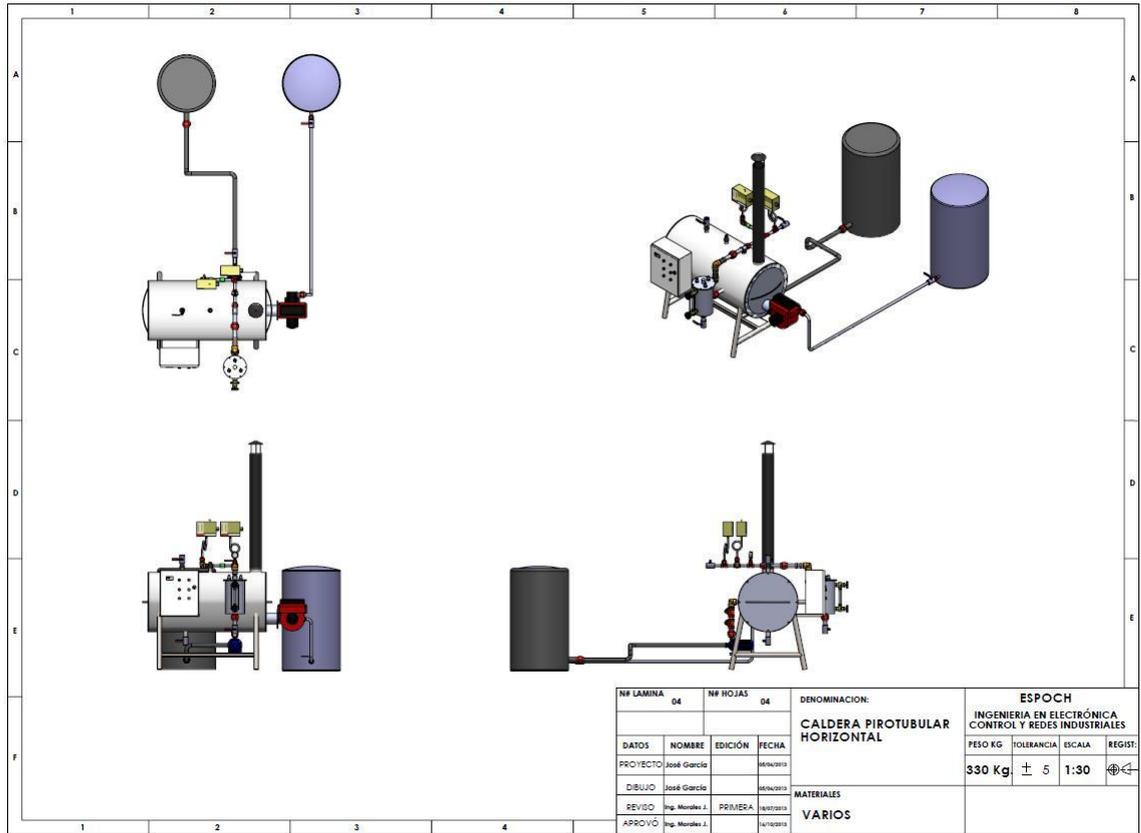
ESPOCH

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**





| Nº LÁMINA | | Nº HOJAS | | DENOMINACIÓN: | ESPOCH | | | |
|---|-----------------|----------|------------|---------------|---|--------|----------|--|
| 03 | | 04 | | | INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES | | | |
| ESTRUCTURA DE LA CALDERA PIROTUBULAR HORIZONTAL | | | | PESO KG | TOLERANCIA | ESCALA | REGISTRO | |
| ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-36 | | | | 150 Kg | ± 5 | 1:30 | ⊕ | |
| DATOS | NOMBRE | EDICIÓN | FECHA | | | | | |
| PROYECTO | José García | | 05/06/2013 | | | | | |
| DIBUJO | José García | | 05/06/2013 | | | | | |
| REVISÓ | Ing. Morales J. | PRIMERA | 14/07/2013 | | | | | |
| APROBÓ | Ing. Morales J. | | 14/07/2013 | | | | | |



| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------|---------|------------|----------|--|----|------------|---------------------|--------|---------|------------------------------|--|--|
| Nº LAMINA | | 04 | | Nº HOJAS | | 04 | | DENOMINACION: | | | ESPOCH | | |
| | | | | | | | | CALDERA PIROTUBULAR | | | INGENIERIA EN ELECTRONICA | | |
| | | | | | | | | HORIZONTAL | | | CONTROL Y REDES INDUSTRIALES | | |
| DATOS | NOMBRE | EDICIÓN | FECHA | | | | PESO KG | TOLERANCIA | ESCALA | REGIST: | | | |
| PROYECTO | José García | | 16/04/2013 | | | | 330 Kg | ± 5 | 1:30 | ⊕ | | | |
| DIBUJO | José García | | 16/04/2013 | | | | MATERIALES | | | | | | |
| REVISO | Ing. Morales J. | PRIMERA | 16/04/2013 | | | | VARIOS | | | | | | |
| APROVO | Ing. Morales J. | | 16/04/2013 | | | | | | | | | | |

**FOTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CALDERA
PIROTUBULAR HORIZONTAL**









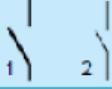
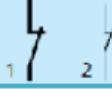
NATURALEZA DE LAS CORRIENTES.

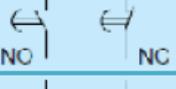
| Denominación | Símbolo |
|------------------------------|-----------|
| Corriente alterna | ~ |
| Corriente continua | = |
| Corriente rectificada | ⌋ |
| Corriente trifásica de 60 Hz | 3 ~ 60 Hz |
| Tierra | ⏏ |
| Tierra de protección | ⏏ |

TIPOS DE CONDUCTORES.

| Denominación | Símbolo |
|---|---|
| Conductor, circuito auxiliar |  |
| Conductor, circuito principal |  |
| Haz de tres conductores | L1  L2  L3  |
| Representación de esquemas unifilares. |  |
| Conductor neutro |  |
| Conductor de protección eléctrica |  |
| Conductor de protección y neutro unidos |  |
| Conductores apantallados |  |
| Conductores par trenzado |  |

CONTACTOS.

| Denominación | Símbolo |
|---|---|
| Contacto "NA" (de cierre) 1- principal 2- auxiliar |  |
| Contacto "NC" (de apertura) 1- principal 2- auxiliar |  |
| Interruptor |  |

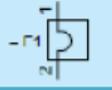
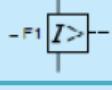
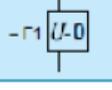
| | |
|---|---|
| Seccionador |  |
| Disyuntor |  |
| Interruptor-seccionador de apertura automática |  |
| Contacto de dos direcciones con posición mediana de apertura |  |
| Interruptor de posición |  |
| Contactos de cierre o apertura temporizados al accionamiento |  |
| Contactos de cierre o apertura temporizados al desaccionamiento |  |

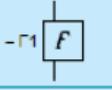
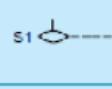
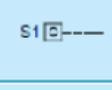
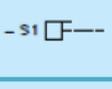
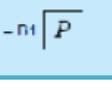
MANDOS DE CONTROL

| Denominación | Símbolo |
|--|---------|
| Mando electromagnético Símbolo general | |
| Mando electromagnético Contacto auxiliar | |
| Mando electromagnético Contactador | |
| Mando electromagnético de dos devanados | |
| Mando electromagnético de puesta en trabajo retardada | |
| Mando electromagnético de puesta en reposo retardada | |
| Mando electromagnético de un relé de remanencia | |

| | |
|---|--|
| Mando electromagnético de enclavamiento mecánico | |
| Mando electromagnético de un relé polarizado | |
| Mando electromagnético de un relé intermitente | |
| Mando electromagnético de un relé por impulsos | |
| Mando electromagnético de accionamiento y desaccionamiento retardados | |
| Bobina de relé RH temporizado en reposo | |
| Bobina de relé RH de impulso en desactivación | |
| Bobina de electroválvula | |

ORGANOS DE MEDIDA.

| Denominación | Símbolo | |
|---|---|--|
| Relé de medida o dispositivo emparentado Símbolo general |  | |
| Relé de sobreintensidad de efecto magnético |  | |
| Relé de sobreintensidad de efecto térmico |  | |
| Relé de máxima corriente |  | |
| Relé de mínima tensión |  | |
| Relé de falta de tensión |  | |

| | | |
|--|---|--|
| Dispositivo accionado por frecuencia |  | |
| Dispositivo accionado por el nivel de fluido |  | |
| Dispositivo accionado por el numero de sucesos |  | |
| Dispositivo accionado por un caudal |  | |
| Dispositivo accionado por la presión |  | |

MANDOS MECÁNICOS.

| Denominación | Símbolo |
|---|---|
| 1 Enlace mecánico (forma 1) 2 Enlace mecánico (forma 2) | 1 --- 2 == |
| Dispositivo de retención |  |
| Retorno automático |  |
| Retorno no automático |  |
| Enclavamiento mecánico |  |
| Dispositivo de bloqueo |  |
| Mando mecánico manual de pulsador (retorno automático) | s1 — |
| Mando mecánico manual de tirador (retorno automático) | —s1] |
| Mando mecánico manual rotativo (de desenganche) | —s1 — |
| Mando mecánico manual “de seta” | —s1 — |
| Mando mecánico manual de acceso restringido | —s1 — |
| Traslación: 1 derecha 2 izquierda 3 en ambos sentidos | 1 ▶ 2 ◀ 3 ▶ |
| Traslación: 1 y 2 unidireccional en sentido d la flecha 3 en ambos sentidos | 1 ↘ 2 ↙ 3 ↔ |

Clasificación por letras de referencia

| Referencia | Clase de material o aparato | Ejemplos |
|------------|---|---|
| A | Conjuntos, subconjuntos funcionales (de serie) | Amplificador de tubos o de transistores, amplificador magnético, regulador de velocidad, autómata programable |
| B | Transductores de una magnitud eléctrica en una magnitud eléctrica o viceversa | Par termoelectrónico, detector termoelectrónico, detector fotoelectrónico dinamómetro eléctrico, presostato, termostato, detector de proximidad |
| C | Condensadores | |
| D | Operadores binarios, dispositivos de temporización, de puesta en memoria | Operador combinatorio, línea de retardo, báscula biestable, báscula monoestable, grabador, memoria magnética |
| E | Materiales varios | Alumbrado, calefacción, elementos no incluidos en esta tabla |
| F | Dispositivos de protección | Cortocircuito fusible, limitador de sobretensión, pararrayos, relé de protección de máxima de corriente, de umbral de tensión |
| G | Generadores Dispositivos de alimentación | Generador, alternador, convertidor rotativo de frecuencia, batería oscilador, oscilador de cuarzo |
| H | Dispositivos de señalización | Piloto luminoso, avisador acústico |
| K | Relés de automatismo y contactores | Utilizar KA y KM en los equipos importantes |
| KA | Relés de automatismo y contactores auxiliares | Contactador auxiliar temporizado, todo tipo de relés |
| KM | Contactores de potencia | |
| L | Inductancias | Bobina de inducción, bobina de bloqueo |
| M | Motores | |
| N | Subconjuntos (no de serie) | |
| P | Instrumentos de medida y de prueba | Aparato indicador, aparato grabador, contador, conmutador horario |
| Q | Aparatos mecánicos de conexión para circuitos de potencia | Disyuntor, seccionador |

| | | |
|---|---|--|
| R | Resistencias | Resistencia regulable, potenciómetro, reostato, shunt, termistancia |
| S | Aparatos mecánicos de conexión para circuitos de control | Auxiliar manual de control, pulsador, interruptor de posición, conmutador |
| T | Transformadores | Transformador de tensión, transformador de corriente |
| U | Moduladores, convertidores | Discriminador, demodulador, convertidor de frecuencia, codificador, convertidor-rectificador, ondulador autónomo |
| V | Tubos electrónicos, semiconductores | Tubo de vacío, tubo de gas, tubo de descarga, lámpara de descarga, diodo, transistor, tiristor, rectificador |
| W | Vías de transmisión, guías de ondas, antenas | Tirante (conductor de reenvío), cable, juego de barras |
| X | Bornas, clavijas, zócalos | Clavija y toma de conexión, clips, clavija de prueba, tablilla de bornas, salida de soldadura |
| Y | Aparatos mecánicos accionados eléctricamente | Freno, embrague, electroválvula neumática, electroimán |
| Z | Cargas correctivas, transformadores diferenciales, filtros correctores, limitadores | Equilibrador, corrector, filtro |

MANDOS ELECTRICOS

| Denominación | Símbolo |
|--|--|
| Mando por efecto de proximidad | - S1  |
| Mando por roce | S1  |
| Dispositivo sensible a la proximidad controlado por la aproximación de un imán |  |
| Dispositivo sensible a la proximidad controlado por la aproximación del hierro | r e  |

MATERIALES Y OTROS ELEMENTOS

| Denominación | Símbolo |
|-----------------------|--|
| Cortocircuito fusible | - F  |
| Diodo | - V  |

| | |
|------------------|---|
| Tiristor | - V  |
| Transistor NPN | - V  |
| Resistencia | - R  |
| Condensador | - C  |
| Inductancia | - L  |
| Potenciómetro | - P  |
| Fotorresistencia | - R  |
| Fotodiodo | - V  |

| | | |
|--|--|--|
| Fototransistor (tipo PNP) | | |
| Arrancador de motor Símbolo general | | |
| Aparato indicador Símbolo general | | |
| Aparato grabador Símbolo general | | |
| Convertidor Símbolo general | | |
| Reloj | | |
| Válvula | | |
| Electroválvula | | |

SEÑALIZACIÓN.

| Denominación | Símbolo | |
|---|---------|--|
| Lámpara de señalización o de alumbrado | | |
| Dispositivo luminoso intermitente | | |
| Avisador acústico | | |
| timbre | | |
| Sirena | | |
| Zumbador | | |

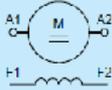
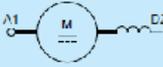
BORNAS Y CONEXIONES.

| Denominación | Símbolo |
|--|---------|
| Derivación | |
| Derivación doble | |
| Cruce sin conexión | |
| Borna | |
| Puente de bornas, ejemplo con referencia de bornas | |

| | |
|------------------------------------|--|
| Conexión por contacto deslizante | |
| Clavija 1- Mando 2- Potencia | |
| Toma 1- Mando 2- Potencia | |
| Clavija y toma | |

MÁQUINAS ELÉCTRICAS GIRATORIAS

| Denominación | Símbolo |
|---|---------|
| Motor asíncrono trifásico, de rotor en cortocircuito | |
| Motor asíncrono monofásico | |
| Motor asíncrono de dos devanados estator separados (motor de 2 velocidades) | |
| Motor asíncrono con seis bornas de salida (acoplamiento estrella triángulo) | |

| | | |
|---|--|--|
| <p>Motor de imán permanente</p> |  | |
| <p>Motor de corriente continua de excitación separada</p> |  | |
| <p>Motor de corriente continua de excitación en serie</p> |  | |
| <p>Generador de corriente alterna</p> |  | |
| <p>Generador de corriente continua</p> |  | |

BIBLIOGRAFÍA

- 1. ASTRÓM, K.**, Adaptive Control., 2ª ed., USA., Editorial Addison Wesley., 1995., pág.180-210
- 2. BASU, K.**, Boilers and Burners., USA., Editorial Springer., 1999., pág. 120.
- 3. CENGEL, A.**, Termodinámica., 4ª ed., México., Editorial McGraw Hil., 2002., pag. 98-130
- 4. CRUES, F.**, instrumentación industrial., Ciudad de la Habana Cuba., Editorial ENEPS., 1982., pág.102
- 5. CHEN, J.**, Control Oiented System Identificantiomn., Canadá, Editorial John Wiley & Sons, Ltd, 2000., pag 65-88
- 6. DUKELOW, S.**, The Control of Boilers., USA.,

Research Thiangle Park., 1991., pag 56

7. **LINDSLEY, D.**, Boiler Control System., London.,
Editorial Mc. Graw Hill., 1991
8. **MALAN, G.**, Automatización integral de generadores de
un vapor igneutubulares., Colombia., Editorial
Memorias del 2do Congreso de la Asociación
colombiana., 1997
9. **OGATA, K.**, Ingeniería de Control Moderna., 4ª Ed.,
Madrid., Editorial Pearson Educación S.A., 2003 pág.
150-201
10. **OGATA, K.**, Sistemas de Control en Tiempo Discreto
Englewood Cliffs., 2ª ed., Papin., Editorial Prentice
Hal., 1996., pág.155-230.
11. **PULL, E.**, Caldera de vapor., Barcelona., Editorial
Gustavo Gill S.A. ., 1977., pag. 25-36.
12. **SALVI, G.**, La combustión, teoría y aplicaciones., 2ª
ed., España., Editorial Dossat S:A., 1975., pág.
35-58
13. **SHIELD, C.**, Calderas tipos, características y sus
funciones., 10º ed., México., Editorial
Continental., 1982., pág. 78-135

14. VARGAS, A., Calderas industriales y marinas., 2^a ed.,
Ecuador., Editorial Serie VZ., 1996., pág.35-37

15. WALL, j., Máquina de vapor., 1776