



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA EN LABVIEW PARA EL CONTROL Y MONITOREO DEL CALDERO DEL LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”

**GUAIGUA SÁNCHEZ GALO NOE
NARANJO SÁNCHEZ HÉCTOR FERNANDO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2017**

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-05-20

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

GUAIGUA SÁNCHEZ GALO NOE
NARANJO SÁNCHEZ HÉCTOR FERNANDO

Titulado:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA EN LABVIEW
PARA EL CONTROL Y MONITOREO DEL CALDERO DEL LABORATORIO
DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA
ESPOCH”

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Pablo Montalvo Jaramillo
DIRECTOR

Ing. Ángel Ramírez Alomía
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GUAIGUA SÁNCHEZ GALO NOE

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA EN LABVIEW PARA EL CONTROL Y MONITOREO DEL CALDERO DEL LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2017-01-19

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|---|----------------|-----------------------|--------------|
| Ing. Gabriela Campuzano Páez PRESIDENTE TRIB.DEFENSA | | | |
| Ing. Pablo Montalvo Jaramillo DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN | | | |
| Ing. Ángel Ramírez Alomía ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN | | | |

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Gabriela Campuzano Páez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: NARANJO SÁNCHEZ HÉCTOR FERNANDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA EN LABVIEW PARA EL CONTROL Y MONITOREO DEL CALDERO DEL LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2017-01-19

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|---|----------------|-----------------------|--------------|
| Ing. Gabriela Campuzano Páez PRESIDENTE TRIB.DEFENSA | | | |
| Ing. Pablo Montalvo Jaramillo DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN | | | |
| Ing. Ángel Ramírez Alomía ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN | | | |

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Gabriela Campuzano Páez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Guaigua Sánchez Galo Noe

Naranjo Sánchez Héctor Fernando

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Galo Noe Guagua Sánchez y Héctor Fernando Naranjo Sánchez, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

GUAIGUA SÁNCHEZ GALO NOE

Cédula de Identidad: 1500665581

HÉCTOR FERNANDO NARANJO SÁNCHEZ

Cédula de Identidad: 1804394904

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado en especial a mis padres Sr. Carlos Guaigua y la Sra. Elvia Sánchez, quienes en todo mi trayecto académico de estudio han agotado todo tipo de esfuerzos con el único motivo de verme como profesional y para ello ha sido importante también contar con su amor, paciencia, consejos, apoyo moral y económico. Dios les llene de bendiciones y de muchos años más de vida para poder disfrutar juntos el éxito de esta meta alcanzada.

Galo Noe Guaigua Sánchez

El presente trabajo lo dedico primeramente a Dios, por la vida que me ha otorgado, a mis padres por el ánimo para poder conseguir tan anhelado logro, por su apoyo y los valores que en mí han cultivado desde niño, porque siempre estuvieron a mi lado en momentos de alegrías y tristezas.

A toda mi familia por estar ahí en los momentos difíciles por sus consejos, apoyo incondicional que me brindaron en uno u otro momento.

Héctor Fernando Naranjo Sánchez

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a las autoridades de la Facultad de Mecánica y de manera muy especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento quienes han sido guías en la realización de este proyecto y como parte fundamental de gran apoyo a los ingenieros: Pablo Montalvo y Ángel Ramírez quienes han sido encargado de revisar, evaluar y ayudar a culminar con este trabajo de titulación.

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

A todos ustedes muchas gracias.

Galo Noe Guaigua Sánchez

Agradezco a Dios por la vida que me ha brindado y la oportunidad de tener junto a mí a personas muy valiosas. A mis amigos que de una u otra forma han sabido apoyarme, y aconsejarme en este largo camino.

A la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la ESPOCH por brindarme la oportunidad de recibir el conocimiento en sus instalaciones. A todos los Ingenieros que conforman la planta docente y que he tenido la oportunidad de conocer, por todo el conocimiento que con mucho acierto me han sabido transmitir.

Héctor Fernando Naranjo Sánchez.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|--------|
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Justificación..... | 1 |
| 1.3 Objetivos..... | 2 |
| 1.3.1 <i>Objetivo general.</i> | 2 |
| 1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> | 2 |
| CAPÍTULO II | 3 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1 Caldera..... | 3 |
| 2.1.1 <i>Partes de un caldero pirotubular.</i> | 4 |
| 2.1.1.1 <i>Cuerpo.</i> | 4 |
| 2.1.1.2 <i>El quemador</i> | 5 |
| 2.1.1.3 <i>Accesorios de control de calderas</i> | 7 |
| 2.1.2 <i>Funcionamiento del caldero pirotubular.</i> | 15 |
| 2.2 Sistema SCADA | 15 |
| 2.2.1 <i>Adquisición de datos</i> | 16 |
| 2.2.2 <i>Software de Adquisición de datos.</i> | 16 |
| 2.2.3 <i>Hardware para adquisición de datos.</i> | 18 |
| 2.2.4 <i>Sensor.</i> | 21 |
| 2.2.4.1 <i>Sensores para medición de temperatura.</i> | 22 |
| 2.2.4.2 <i>Sensores para medición de presión</i> | 23 |
| 2.2.4.3 <i>Medición de nivel</i> | 24 |
| 2.2.5 <i>Sistema de interconexión</i> | 24 |
| CAPÍTULO III | 26 |
| 3. DESARROLLO DEL SISTEMA SCADA PARA CONTROL Y MONITOREO DEL CALDERO. | 26 |
| 3.1 Selección y montaje de transductores y transmisores..... | 26 |

| | | |
|--------------------------|--|-----------|
| 3.1.1 | <i>Transductor de presión de vapor.....</i> | 27 |
| 3.1.1.1 | <i>Montaje del transductor de presión de vapor.</i> | 29 |
| 3.1.2 | <i>Transductor de presión de atomización de la mezcla.</i> | 30 |
| 3.1.2.1 | <i>Montaje del transductor de presión de atomización de la mezcla.</i> | 31 |
| 3.1.3 | <i>Transductor de temperatura.....</i> | 32 |
| 3.1.3.1 | <i>Montaje de las sondas de temperatura y sus transmisores.</i> | 33 |
| 3.1.4 | <i>Transductor de nivel.</i> | 35 |
| 3.1.4.1 | <i>Montaje del transductor de nivel.....</i> | 37 |
| 3.2 | <i>Diseño y construcción del tablero para control y adquisición de señales</i> | 37 |
| 3.3 | <i>Esquema de interfaz corriente-voltaje y alimentación.....</i> | 38 |
| 3.4 | <i>Programación del sistema para adquisición de datos del caldero.....</i> | 39 |
| 3.4.1 | <i>Diseño de la interfaz en el panel frontal.</i> | 40 |
| 3.4.2 | <i>Configuración del DAQ Assistant</i> | 42 |
| 3.4.3 | <i>Programación del diagrama de bloques de LabVIEW.....</i> | 44 |
| 3.4.4 | <i>Generación de reportes personalizados.</i> | 51 |
| 3.4.5 | <i>Diseño del icono del instrumento virtual</i> | 52 |
| 3.5 | <i>Pruebas de funcionamiento del sistema.....</i> | 52 |
| CAPÍTULO IV | | 55 |
| 4. | INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA | 55 |
| 4.1 | <i>Mantenimiento del transductor de temperatura del vapor</i> | 56 |
| 4.1.1 | <i>Herramientas y equipos.....</i> | 57 |
| 4.1.2 | <i>Materiales.....</i> | 57 |
| 4.1.3 | <i>Equipos de seguridad</i> | 57 |
| 4.1.4 | <i>Procedimiento.....</i> | 58 |
| 4.1.4.1 | <i>Desmontaje</i> | 58 |
| 4.1.4.2 | <i>Mantenimiento</i> | 59 |
| 4.1.4.3 | <i>Montaje.....</i> | 59 |
| 4.2 | <i>Mantenimiento del transductor de temperatura de gases.....</i> | 60 |
| 4.2.1 | <i>Herramientas y equipos.....</i> | 61 |
| 4.2.2 | <i>Materiales.....</i> | 61 |
| 4.2.3 | <i>Equipos de seguridad</i> | 61 |
| 4.2.4 | <i>Procedimiento.....</i> | 61 |
| 4.2.4.1 | <i>Desmontaje</i> | 61 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.2.4.2 | <i>Mantenimiento</i> | 62 |
| 4.2.4.3 | <i>Montaje</i> | 63 |
| 4.3 | Mantenimiento del transductor de presión vapor | 63 |
| 4.3.1 | <i>Herramientas y equipos</i> | 64 |
| 4.3.2 | <i>Materiales</i> | 64 |
| 4.3.3 | <i>Equipos de seguridad</i> | 64 |
| 4.3.4 | <i>Procedimiento</i> | 65 |
| 4.3.4.1 | <i>Desmontaje</i> | 65 |
| 4.3.4.2 | <i>Mantenimiento</i> | 65 |
| 4.3.4.3 | <i>Montaje</i> | 66 |
| 4.4 | Mantenimiento del transductor de nivel. | 67 |
| 4.4.1 | <i>Herramientas y equipos</i> | 68 |
| 4.4.2 | <i>Materiales</i> | 68 |
| 4.4.3 | <i>Equipos de seguridad</i> | 68 |
| 4.4.4 | <i>Procedimiento</i> | 68 |
| 4.4.4.1 | <i>Desmontaje</i> | 68 |
| 4.4.4.2 | <i>Mantenimiento</i> | 69 |
| 4.4.4.3 | <i>Montaje</i> | 70 |
| 4.5 | Mantenimiento del transductor de presión de atomización de la mezcla aire- combustible..... | 71 |
| 4.5.1 | <i>Herramientas y equipos</i> | 71 |
| 4.5.2 | <i>Materiales</i> | 71 |
| 4.5.3 | <i>Equipos de seguridad</i> | 72 |
| 4.5.4 | <i>Procedimiento</i> | 72 |
| 4.5.4.1 | <i>Desmontaje</i> | 72 |
| 4.5.4.2 | <i>Mantenimiento</i> | 73 |
| 4.5.4.3 | <i>Montaje</i> | 73 |
| 4.6 | Mantenimiento del tablero de control..... | 74 |
| 4.6.1 | <i>Herramientas y equipos</i> | 75 |
| 4.6.2 | <i>Materiales</i> | 75 |
| 4.6.3 | <i>Equipos de seguridad</i> | 75 |
| 4.6.4 | <i>Procedimiento</i> | 75 |
| 4.6.4.1 | <i>Desmontaje</i> | 75 |
| 4.6.4.2 | <i>Mantenimiento</i> | 76 |

| | | |
|---------|----------------------|----|
| 4.6.4.3 | <i>Montaje</i> | 76 |
|---------|----------------------|----|

| | |
|-------------------------|----|
| CAPÍTULO V | 77 |
|-------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 5. GUÍA DE PRÁCTICAS PARA CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS | 77 |
|---|----|

| | |
|--------------------------|----|
| CAPÍTULO VI | 82 |
|--------------------------|----|

| | |
|--|----|
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 82 |
|--|----|

| | |
|-----------------------|----|
| 6.1 Conclusiones..... | 82 |
|-----------------------|----|

| | |
|---------------------------|----|
| 6.2 Recomendaciones | 83 |
|---------------------------|----|

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXOS.

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| 1. Datos básicos en LabVIEW | 18 |
| 2. Sensores y fenómenos físicos | 22 |
| 3. Ficha técnica detector térmico de resistencia | 57 |
| 4. Ficha técnica detector térmico de resistencia para gases de combustión | 60 |
| 5. Ficha técnica del transductor de presión..... | 64 |
| 6. Ficha técnica transductor de nivel | 67 |
| 7. Ficha de datos del transductor de presión de atomización..... | 71 |
| 8. Ficha del tablero de control | 74 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Caldera pirotubular | 3 |
| 2. | Cuerpo de la caldera | 5 |
| 3. | Quemador de una caldera | 5 |
| 4. | Secuencia de operación y control de llama..... | 6 |
| 5. | Detector de llama | 8 |
| 6. | Control de nivel de agua de una caldera | 9 |
| 7. | Partes del control de nivel..... | 10 |
| 8. | Control de nivel de tipo flotador con visor | 11 |
| 9. | Presiones en las calderas | 12 |
| 10. | Presuretrol de alto límite..... | 13 |
| 11. | Switch de flujo de aire | 13 |
| 12. | Programador..... | 14 |
| 13. | Secuencia del programador..... | 15 |
| 14. | Componentes de un sistema de adquisición de datos | 16 |
| 15. | Espacio de trabajo en LabVIEW | 17 |
| 16. | Tarjeta de adquisición de datos..... | 19 |
| 17. | Esquema convertidor analógico digital..... | 19 |
| 18. | Entradas analógicas y digitales NI USB 6009 | 20 |
| 19. | Modo de conexión diferencial | 21 |
| 20. | Conexión de una señal referenciada en nodo simple | 21 |
| 21. | Detector térmico de resistencia..... | 23 |
| 22. | Termocupla tipo K | 23 |
| 23. | Transductor de presión..... | 24 |
| 24. | Sonda de nivel capacitiva con transmisor | 24 |
| 25. | Esquema eléctrico del transductor de presión..... | 28 |
| 26. | Curva de escalamiento de transductor de presión..... | 28 |
| 27. | Transductor de presión..... | 30 |
| 28. | Curva de escalamiento transductor de presión de la mezcla | 31 |
| 29. | Transductor de presión de atomización de mezcla | 32 |
| 30. | Curva de escalamiento transmisor de temperatura | 33 |
| 31. | RTD PT 100 en la chimenea del caldero | 34 |
| 32. | RTD PT 100 para medición de temperatura de vapor | 34 |

| | | |
|-----|---|----|
| 33. | Esquema eléctrico de conexiones para el transductor de nivel..... | 35 |
| 34. | Curva de escalamiento para el transductor de nivel | 36 |
| 35. | Montaje del transductor de nivel | 37 |
| 36. | Gabinete para control y adquisición de señales | 38 |
| 37. | Bornera de interfaz corriente-voltaje | 39 |
| 38. | Reconocimiento del hardware | 39 |
| 39. | Interfaz de adquisición de datos principal | 40 |
| 40. | Panel de gráficas de variables en función del tiempo..... | 42 |
| 41. | Ventana de configuración del DAQ Assistant..... | 43 |
| 42. | Configuración de entradas y salidas digitales..... | 44 |
| 43. | Bloque de programación ventana principal | 46 |
| 44. | Instrumento virtual tiempo transcurrido | 47 |
| 45. | Herramienta para escribir un archivo de medición..... | 47 |
| 46. | Ventana de configuración para la herramienta de escritura de archivos de mediciones. | 48 |
| 47. | Salida digital para encendido y apagado del caldero..... | 49 |
| 48. | Control de apagado por presión | 50 |
| 49. | Esquema de programación para la ventana de gráficas. | 50 |
| 50. | Esquema de programación para generación de reportes..... | 51 |
| 51. | Icono de la aplicación desarrollada..... | 52 |
| 52. | Ventana principal en funcionamiento | 53 |
| 53. | Ventana de gráficas con el caldero en funcionamiento. | 54 |

LISTA DE ABREVIACIONES

| ABREVIATURA | SIGNIFICADO |
|--------------------|--|
| ADC | Convertidor analógico digital |
| AI | Entrada analógica |
| DSC | Módulo de registro de supervisión y control |
| EPP | Equipos de protección personal |
| G | Designación de rosca europea para tubería |
| GND | Tierra |
| HMI | Interfaz hombre maquina |
| I/O | Input/output |
| LabVIEW | Banco de Trabajo de Ingeniería de Instrumentación Virtual de Laboratorio |
| m | Pendiente de la recta |
| M | Rosca métrica |
| mA | Miliamperios |
| NI | National Instruments |
| DAQ | Adquisición de datos |
| NPT | Rosca americana para tubería |
| °C | Grados Celsius |
| P1 | Punto referencial del plano cartesiano |
| PLC | Controlador lógico programable |
| PSI | Libras por pulgadas cuadrada |
| PT | Trasmisor de presión |
| Ptbypt | Punto por punto |
| RTD | Detector térmico de resistencia |
| S/N | Sin numero |
| SCADA | Supervisión control y adquisición de datos |
| USB | Puerto serial universal |

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A** Hoja de datos NI USB 6009
- Anexo B** Esquema eléctrico de conexiones del sistema SCADA.
- Anexo C** Hoja de datos y características del transductor de presión Turck
- Anexo D** Hoja de datos transductor de presión Danfoss AKS 2050
- Anexo E** Hoja de datos del transductor de nivel.
- Anexo F** Reporte de datos generado por LabVIEW
- Anexo G** Tablas de vapor

RESUMEN

El diseño e implementación del sistema SCADA realizado a través del software LabVIEW para controlar y monitorear las principales variables del funcionamiento de la caldera, con el propósito de obtener información y poder supervisar por completo el proceso de generación de vapor mediante la utilización de transductores apropiados al contexto operacional. La metodología aplicada para la realización del trabajo se basa en la experimentación, además se utilizó la metodología de observación donde se visualizó la naturaleza del proceso de generación de vapor. El trabajo incluye teoría sobre accesorios de control en calderas, la misma que facilitara la comprensión del capítulo dedicado al sistema de control y adquisición de datos, como también al mantenimiento, montaje y ajuste de los equipos de campo instalados en la caldera. La aplicación desarrollada permitirá generar reportes de datos y archivos de mediciones que recopilan los datos adquiridos por la tarjeta, los mismos se guardan en el computador en archivos de mediciones u hojas de cálculo en Microsoft Excel y reportes en Microsoft Word, los mismos que servirán para verificar los parámetros de funcionamiento del caldero y poder generar planes de mantenimiento. Es de gran importancia que el lector este familiarizado con los controles que gobiernan el funcionamiento de la caldera, como también el conocimiento sobre instrumentación virtual en LabVIEW para un mejor entendimiento de la realización de este trabajo y observar datos reales del funcionamiento de la caldera.

PALABRAS CLAVE: <SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA)>, <LABORATORY VIRTUAL INSTRUMENT ENGINEERING WORKBENCH (LabVIEW)>, <INGENIERÍA DE SOFTWARE>, <MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS>, <INGENIERÍA DE CONTROL AUTOMÁTICO>, <HOJAS DE CÁLCULO>, <ADQUISICIÓN DE DATOS>.

ABSTRACT

ABSTRACT

The design and implementation of the SCADA System carried out by using the software LabVIEW to control and monitor the main variables of the operation of the boiler, in order to obtain information and being able to supervise completely the vapor generation process using appropriate transducers at the Operational context. The methodology applied for the realization of the work is based on the experimentation, in addition the methodology of observation was used where the nature of the vapor generation process was visualized. The work includes theory on boiler control accessories, which will facilitate the understanding of the chapter dedicated to the control and data acquisition system, as well as the maintenance, assembly and adjustment of the field equipment installed in the boiler. The developed application will allow to generate data report and measurement files which collect the data acquired by the card, these are stored in the computer as measurement files or spreadsheets in Microsoft Excel and reports in Microsoft Word, which serve to verify. The operating parameters of the boiler and generate maintenance plans. It is very importance for the reader to get familiar with the controls that govern the operation of the boiler, as well as the knowledge about virtual instrumentation in LabVIEW for a better understanding of the realization of this work and observe real data of the operation of the boiler.

Keywords: <SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA)>, <LABORATORY VIRTUAL INSTRUMENT ENGINEERING WORKBENCH (LabVIEW)>, <SOFTWARE ENGINEERING>, <MACHINES AND TOOLS>, <AUTOMATIC CONTROL ENGINEERING>, <BOILER>, <DATA ACQUISITION>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los generadores de vapor hoy en día son parte fundamental de la industria, por lo que es indispensable llevar un control y monitoreo de los mismos. El uso de sistemas se ha convertido en una herramienta de gran importancia para la toma de decisiones de forma adecuada y eficaz en muchos procesos industriales.

Hoy en día con la ayuda de la tecnología se han desarrollado métodos modernos para la inspección y visualización de parámetros de funcionamiento de equipos, tal como lo es un sistema de control y adquisición de datos.

LabVIEW en la actualidad es una herramienta muy utilizada en algunos países ya que permite diseñar sistemas SCADA con interfaz de visualización muy amigable con el usuario además de tener funciones avanzadas para el desarrollo de los sistemas.

El funcionamiento de la caldera del laboratorio de generación de vapor permite profundizar el conocimiento técnico en los alumnos que lo manipulan, sobre los diferentes procesos que se llevan a cabo para dicho fin, poniendo más énfasis en los controles que asegura un alto índice de confiabilidad de operación, por esta razón se puso en consideración la aplicación del presente trabajo de titulación que se ha enfocado en realizar el mismo control pero supervisado desde un ordenador en forma virtual para la adquisición de datos reales del funcionamiento.

1.2 Justificación

La Facultad de Mecánica de la ESPOCH acorde a las nuevas exigencia del plan nacional del buen vivir y consiente de los nuevos avances tecnológicos en procesos industriales ha permitido la realización de este trabajo de titulación, con la finalidad de brindar a los estudiantes una nueva forma de visualizar las magnitudes físicas de funcionamiento en la

caldera y así mantener un control eficiente como también los beneficios de ahorro económico para alcanzar los objetivos planteados por el área de mantenimiento.

La comunicación virtual por internet, permite hoy en día facilitar la vida al hombre, por el cual nos permitirá adquirir los equipos e instrumentos y software para poder ejecutar dicho proyecto que tienen que ser acordes al contexto operacional en los que estos se van a ejecutar.

Estos datos adquiridos del funcionamiento del caldero permitirán llevar un control adecuado y evaluarlos para implementar estrategias y acciones de mantenimiento necesarias con la finalidad de preservar todo el sistema de generación de vapor. A su vez este proyecto permitirá tener una gran visión sobre la aplicación de este sistema en otros procesos industriales, generando grandes beneficios económicos a la industria.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar e implementar un sistema SCADA en LabVIEW para el control y monitoreo de la caldera del laboratorio de Generación de vapor en la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Conocer el funcionamiento de los controles que gobiernan la operación de la caldera.

Realizar pruebas y mediciones para verificar el funcionamiento del sistema de generación de vapor.

Conocer las características de hardware y software necesario para la adquisición de datos.

Implementar los equipos de instrumentación y diseñar el sistema SCADA mediante el software LabVIEW.

Elaborar un banco de tareas de mantenimiento para los elementos que conforman el sistema de monitoreo y control de las variables de funcionamiento de la caldera.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Caldera

“Es un recipiente cerrado que transforma el agua en vapor a determinada presión y temperatura mediante la aplicación de una fuente de calor”. (RAMÍREZ, 2016)

Figura 1. Caldera pirotubular



Fuente: Cleaver Brooks

Las calderas principalmente se dividen en dos grandes grupos de acuerdo a la disposición de fluidos que son: las acuotubulares y las pirotubulares.

- **Acuotubulares** Este tipo de calderos basa su funcionamiento en la circulación del agua por el interior de tubos, diseñado para generar grandes caudales y presiones de vapor, generalmente este es utilizado para potencia, las mismas tienen alto rendimiento, y fácil mantenimiento.
- **Pirotubulares** o tubos de fuego son llamados así debido a que los gases producto de la combustión pasan por el interior de los tubos, estos a su vez se encuentran inmersos en una gran masa de agua.

Las calderas pirotubulares están diseñadas para generar moderados caudales de vapor de baja y media presión superiores a las atmosféricas, aplicables en gran variedad de industrias para procesos de calentamiento.

2.1.1 *Partes de un caldero pirotubular.* Un caldero está compuesto principalmente de las siguientes partes:

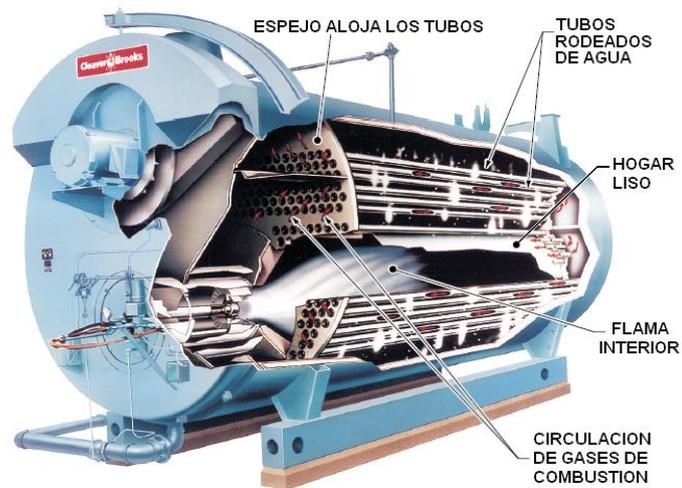
2.1.1.1 *Cuerpo.* Es la parte donde se encuentra el área de transferencia de calor. En las calderas pirotubulares las principales superficies de transferencia de calor son los tubos de fuego y el hogar. Para un apropiado funcionamiento de la caldera se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones técnicas:

- Calidad de los materiales. CODIGO ASME SECCION II.
- Flujo de los gases de la combustión.
- Circulación del agua.
- Combustibles y combustión.
- Capacidad.

“Es en el cilindro o carcasa de la caldera donde se encuentran 2 tipos de orificios conocidos como man hole y hand hole, también existen agujeros que nos permite instalación controles y tomas de agua, vapor y purgas.

Las compuertas tienen la finalidad principal de cerrar el lado de fuego, además desvían los gases calientes para que pasen a los diferentes pasos de la caldera a través de los espejos que son planchas de acero circulares que dan alojamiento a los tubos, mientras que los refractarios tienen la función principal de detener el flujo del calor al exterior de las compuertas y dar la forma de la llama en el hogar. Estos en conjunto con la carcasa cierran el lado de agua”. (RAMÍREZ, 2012)

Figura 2. Cuerpo de la caldera



Fuente: <https://www.surplusrecord.com/cgi-bin/adpop.pl?685441>

2.1.1.2 *El quemador* “Es un dispositivo que produce la combustión dentro del hogar de la caldera y está compuesto de un gran número de elementos, pero analizando las funciones principales de cada una, sus partes principales se agrupan en el siguiente orden”. (RAMÍREZ, 2016)

Figura 3. Quemador de una caldera



Fuente Curso de distribución de vapor, Ramírez Ángel

SUMINISTRO DE AIRE:

- Ventilador.
- Difusor.
- Dámper de ingreso de aire

MANEJO DE COMBUSTIBLE:

- Bombas de Combustible.
- Válvulas Solenoides.
- Ductos de Combustible.
- Boquillas.

ENCENDIDO DEL QUEMADOR:

- Transformador de Ignición.
- Electrodo.
- Detector de llama (Foto celda).
- Control de combustión

Figura 4. Secuencia de operación y control de llama



Fuente: Curso de generación de vapor.

En la primera etapa, se acciona el interruptor (ON) de encendido de la caldera para que el control primario de operación arranque el motor del ventilador para barrer los gases de

la cámara de combustión con aire que ingresa por el dámper, este periodo es conocido también como purga que lo determina la tarjeta del módulo RM 7800. Este motor mueve a la bomba de suministro de combustible y al compresor de aire a través del sistema de transmisión por poleas que se encuentra en el interior de la tapa frontal de la caldera.

Las cañerías que unen el suministro de combustible, con el bloque de distribución, se encuentran bloqueadas por las electroválvulas independientemente, hasta que se energiza el transformador de ignición (hay chispa en los electrodos), luego de esto se prende y se establece la flama piloto, una vez detectada la flama por la fotocelda esta manda a apagar el transformador de ignición.

Una vez establecida la llama piloto se abre la electroválvula principal de bloque de distribución para establecer la llama principal y esta debe ser vista por el detector de flama. El sistema se queda en operación hasta que la demanda este satisfecha y/o los procesos se cumplan. Para el apagado manual del mismo se cambia de posición al interruptor de encendido (OFF), se apaga la flama y el sistema queda en espera nuevamente.

2.1.1.3 *Accesorios de control de calderas.* Para el control operativo de una caldera se han diseñado múltiples elementos.

- Controles límites de seguridad

“Son aquellos controles que están destinados a suspender el funcionamiento del quemador, un caldero está provisto por los siguientes controles límites de seguridad”. (RAMÍREZ, 2016)

- Control Límite Aire
- Control Límite de Alta Presión (Calderos que Generan Vapor).
- Control Límite de Alta Temperatura (Calderos que calientan agua).
- Control Límite de bajo Nivel de agua.
- Control Límite de Combustible.

Cada uno de ellos se calibra de acuerdo a la variable que se va a controlar y están conectados en serie, normalmente sus contactos están cerrados (en conducción) lo que

permite el paso de una señal de corriente normalmente hacia el control principal de operación, este lo recepta y ordena que el quemador cumpla con el proceso que está destinado a realizar, en el caso de que uno de los controles detecte un sobre límite de cualquiera de las variables que están controlando, estos deben suspender el paso de la corriente.

- Controles de llama

“Es aquel sistema que gobierna el correcto funcionamiento del quemador, activando y desactivando elementos tales como: ventilador, dámper 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)”. (RAMÍREZ, 2016)

Figura 5. Detector de llama



Fuente: Curso de generación de vapor (RAMÍREZ, 2016)

El principio de funcionamiento de una fotocelda es que ante la presencia de luz este disminuye la resistencia, hasta el punto en el que pueda pasar un corriente a través de ella y así activar al programador en el caso de producir alguna falla de señal de llama, la fotocelda deja de conducir produciendo que el valor de resistencia aumente e impida el paso de la corriente produciendo el bloqueo de programador.

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. Los detectores se basan en la emisión de rayos infrarrojos y ultravioletas, la señal de este es enviada al programador en forma de corriente eléctrica de orden de los miliamperios y de voltaje de 1.5 a 5 VDC, pero es de gran importancia tener en cuenta que el valor de corriente es demasiado pequeño por tal razón se utiliza un circuito de amplificación especial para

procesar esta señal con el tipo de sensor de llama que se está utilizando, la manera para distinguir los amplificadores de llama por el color, de rojo para infrarrojos y púrpura o morado para los ultravioletas.

- Controles de nivel de agua.

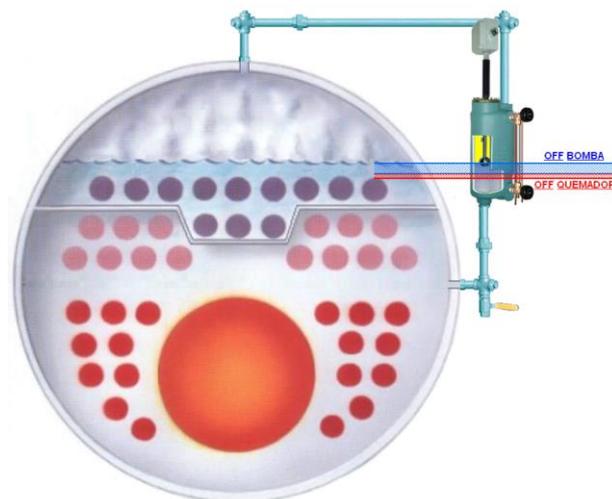
“La regulación del agua de alimentación que establece el nivel de la caldera depende de múltiples factores, del tipo de caldera, de la carga, del tipo de bomba y del control de presión del agua de alimentación”. (KOHAN, 2000)

Todos los calderos vienen equipados con uno y hasta tres controles 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.

Generalmente los controles más utilizados son de tipo flotador colocado en el exterior de la caldera.

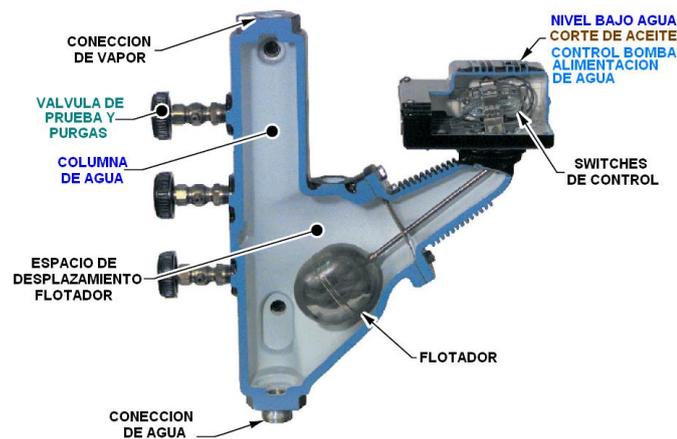
Figura 6. Control de nivel de agua de una caldera



Fuente: Curso de generación de vapor. (RAMÍREZ, 2016)

En la figura 6, se visualiza el interior de una caldera conjuntamente con el control de nivel de tipo ON – OFF, en este se muestran dos zonas, la franja de color azul que representa el nivel normal de un correcto funcionamiento y la de color rojo que indica una zona de alerta para que el quemador se apague ya que es el nivel mínimo requerido de agua que debe contener para evitar daños en su interior. El control de nivel contiene un espacio en el que se desplaza un flotador el mismo que activa y desactiva switches eléctricos, cuando la caldera se encuentra vacía el flotador permanecerá en una posición baja y los contactos eléctricos en modo de conducción (ON), permitiendo el paso de corriente para la activación de la bomba de suministro de agua, cuando el flotador haya alcanzado una posición alta este se apagará debido a que los contactos eléctricos se abrieron por la presencia de agua en el interior de control de nivel.

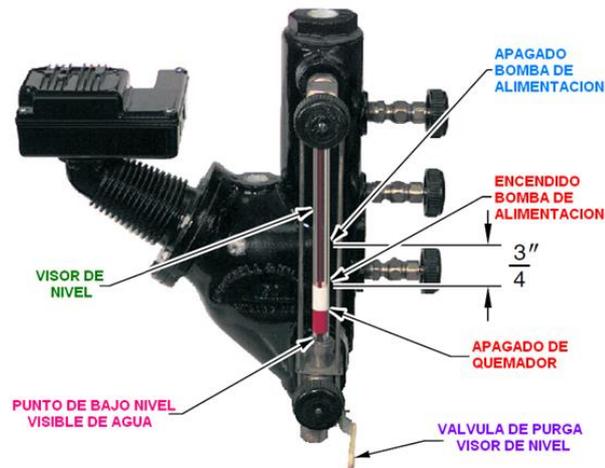
Figura 7. Partes del control de nivel



Fuente: Accesorios de control de calderas. Ing. Ángel Ramírez.

Este control también cuenta con un vidrio indicador en el que se observa el nivel de apagado del quemador como también el nivel de encendido y apagado de la bomba de alimentación de agua.

Figura 8. Control de nivel de tipo flotador con visor



Fuente: Accesorios de control de calderas. Ing. Ángel Ramírez

La válvula de prueba y pulga son usadas para verificar el nivel de agua en el interior de la caldera en caso de que el vidrio no se evidencia o por falla del mismo, se pone a consideración otro método de control de nivel de agua por medio de estas válvulas.

- Control de la Presión

“Su función principal es apagar el quemador de la caldera cuando la presión de trabajo calibrada sobrepase sus límites por defectos del presóstato de operación, La cantidad y cualidades de estos controles, varían de acuerdo a las condiciones operacionales de un caldero. Así tenemos:” (RAMÍREZ, 2016)

- Presuretrol de Operación: es aquel que censa la presión de vapor y automáticamente envía señales para encender el quemador cuando la demanda ha descendido.

- Presuretrol de Alto Límite: es el control de presión que sensa presiones superiores a la de operación y automáticamente apaga el quemador si el control presuretrol de operación ha fallado.

- Presuretrol de Cambio Fuego Bajo a Fuego Alto. Este control trabaja con el control de operación para regular la cantidad de fuego en el quemador, el mismo que varía entre fuego bajo y fuego alto.

Figura 9. Presiones en las calderas

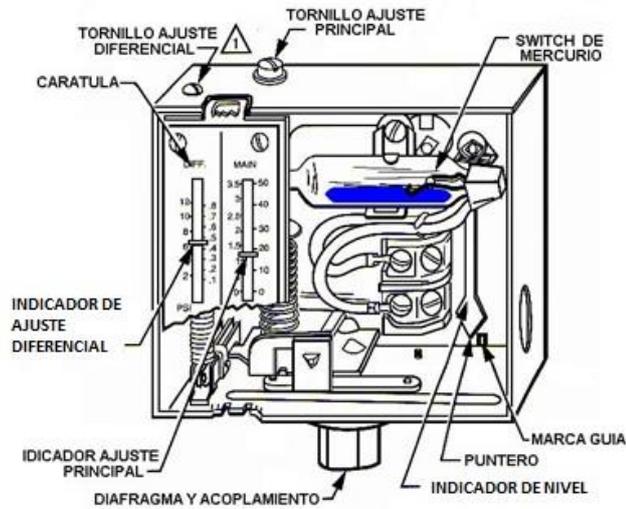


Fuente: Curso de generación de vapor. (RAMÍREZ, 2016)

Cuando la caldera empieza a funcionar la presión de arranque será de 0 PSI, a fuego bajo, a medida que se vaya generando vapor y la presión llegue a un intervalo de 25 a 30 PSI, se dará el cambio de fuego bajo a fuego alto desde ese momento entra en la presión de trabajo la misma será calibrada de acuerdo a los requerimientos del proceso mediante un presuretrol. Cuando la presión sobrepase en un 2 a 5 % la calibración del presuretrol, este desactivará el quemador. En casos extremos en que el presuretrol no desactive el quemador y la presión sobrepase de un 3 a 5% la presión máxima de trabajo, se dispara la válvula de seguridad permitiendo evacuar la sobrepresión del interior.

Es importante conocer que estos tipos de elemento de seguridad deben ser de acero inoxidable, generalmente los calderos son fabricados para generar vapor a presiones superiores a la atmosférica, por tanto, se incluyen controles que funcionan en base a este parámetro.

Figura 10. Presuretrol de alto límite



Fuente: Curso de generación de vapor. (RAMÍREZ, 2016)

- Controles de la cantidad de aire.

En la actualidad muchos calderos 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.

Figura 11. Switch de flujo de aire



Fuente: Curso de generación de vapor. (RAMÍREZ, 2016)

- Controles de temperatura.

El control de la temperatura en una caldera de vapor se lo puede realizar mediante la utilización de elementos primarios de medición ya sean termómetros, termocupla o RTD, se debe tomar en cuenta la medición de temperatura de vapor, así como también la temperatura de los gases en la chimenea.

- Control primario o Programador.

El programador es el corazón del sistema de control, establece todos los parámetros operacionales del caldero, él recibe señales de todos los controles, los analiza y ejecuta una operación acorde a la señal recibida. (RAMÍREZ, 2016)

El conjunto programador consta de cuatro partes básicas y son:

- Súbase
- Chasis
- Amplificador
- Programador

Figura 12. Programador.



Fuente: Curso de generación de vapor. (RAMÍREZ, 2016)

El programador ejecuta la secuencia del encendido del caldero, paso a paso hasta completar el ciclo. Dicha secuencia se muestra en la siguiente figura.

Figura 13. Secuencia del programador



Fuente: Low pressure boilers

2.1.2 *Funcionamiento del caldero pirotubular.* El principal factor de funcionamiento son los gases calientes procedentes de la combustión. El combustible se quema en el hogar, donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, los gases resultantes, circulan a través de tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección absorbiendo la energía generada por la flama. Las puertas frontal y trasera proveen el hermetismo necesario para contener los gases de combustión calientes, según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen las calderas de uno o de varios pasos. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de ellos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea.

2.2 Sistema SCADA

“Supervisory Control And Data Acquisition, es cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso así también la supervisión y control del mismo, utilizando las herramientas y equipos adecuados.” (RODRÍGUEZ PENIN, 2007)

El sistema capta el estado del proceso a través de los diferentes sensores instalados e informa a usuario a través de la herramienta HMI, y se inician las acciones pertinentes para tener el control del proceso a través de los actuadores.

Un sistema SCADA está conformado por los siguientes elementos:

- El software de adquisición de datos y control.
- Hardware de adquisición de datos.
- Sistema de interconexión

2.2.1 *Adquisición de datos.* “Es el proceso de medir mediante un ordenador un fenómeno físico o eléctrico como voltaje, presión, temperatura, etc. Un sistema de adquisición de datos consta de sensores o transductores, hardware para adquisición de datos y una computadora con un software que permita realizar la programación.” (National Instruments, 2016)

Figura 14. Componentes de un sistema de adquisición de datos



Fuente: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

2.2.2 *Software de Adquisición de datos.* En la actualidad uno de los programas más utilizados en la adquisición de datos es LabVIEW, el mismo que cuenta con un sinnúmero de elementos que permiten realizar dicha operación.

“LabVIEW es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Es un lenguaje y a la vez un entorno de programación gráfica en el que se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla.” (LAJARA VIZCAÍNO, y otros, 2007)

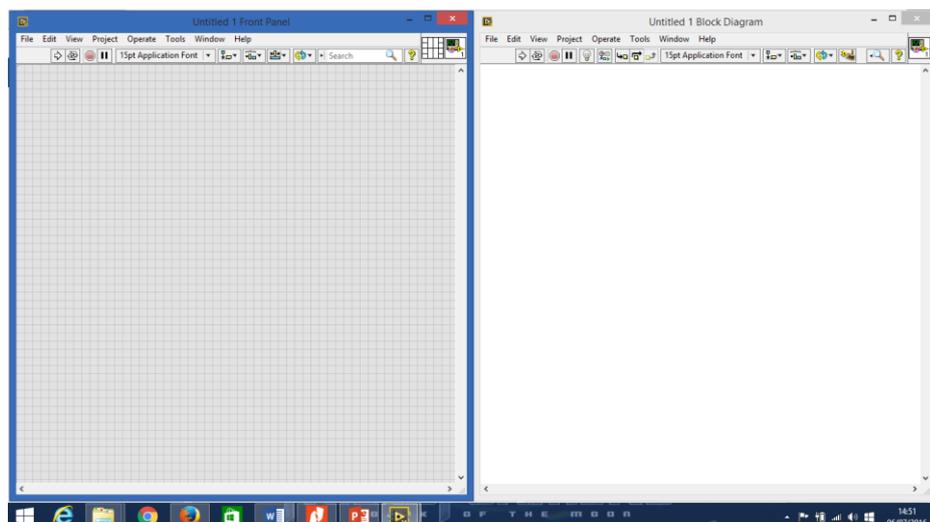
“Originalmente este programa estaba destinado a aplicaciones para control de instrumentos electrónicos, usados en sistemas de instrumentación conocidos como instrumentación virtual.” (LAJARA VIZCAÍNO, y otros, 2007)

LabVIEW cuenta con dos partes fundamentales:

- Panel frontal. Es la parte que vera el usuario por lo general tiene un fondo de color gris.
- Diagrama de bloques. Contiene la programación tiene un fondo de color blanco, en esta ventana es donde se realiza la programación de cualquier instrumento virtual.

“Tanto el panel frontal como el diagrama de bloques se encuentran conectados a través de elementos que sirven para el ingreso y salida de datos.” (LAJARA VIZCAÍNO, y otros, 2007)

Figura 15. Espacio de trabajo en LabVIEW



Fuente. Autores

En LabVIEW se maneja muchos tipos de datos, entre los más usados están los numéricos, booleanos, cadena de caracteres, y datos dinámicos, en la siguiente tabla se muestra los más importantes.

Tabla 1. Datos básicos en LabVIEW

| Tipo de dato | Icono en LabVIEW |
|----------------------|---|
| Numéricos |  |
| Booleano |  |
| Cadena de caracteres |  |
| Dinámicos |  |

Fuente: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/data-structures>

LabVIEW permite el diseño de sistemas de control y adquisición de datos con interfaces amigables con el usuario. Este software posee controladores, módulos, complementos los mismos que permiten la comunicación con PLC, tarjetas de adquisición de datos y otros dispositivos con mucha facilidad, además posee múltiples herramientas para poder realizar la lectura, y análisis de señales analógicas o digitales.

En la ventana del panel frontal de LabVIEW al hacer clic derecho sobre el mismo se muestra una paleta de controles e indicadores, mientras que en la pantalla del diagrama de bloques dando clic derecho sobre el mismo de muestra una paleta de funciones con las cuales se realiza la programación de cualquier instrumento virtual.

2.2.3 *Hardware para adquisición de datos.* Hoy en día se puede utilizar distintos medios para realizar la adquisición de datos, a continuación, se describe las características del equipo utilizado para la realización del presente trabajo.

La NI USB 6009 es una tarjeta de adquisición de datos multifuncional, posee un alto rendimiento, así como alta velocidad de muestreo, dicha tarjeta actúa como una interfaz entre el software(LabVIEW) y los diferentes equipos de instrumentación instalados, tiene muy amplio rango de aplicaciones industriales o académicas.

La tarjeta de adquisición de datos además de cumplir dicha función también ofrece puertos para entradas y salidas digitales, con los cuales se pueden crear controles, o

indicadores, que se pueden colocar en el panel frontal de un instrumento virtual creado en LabVIEW., permitiendo la interacción con el proceso a través de actuadores. Así también se cuenta con una salida de voltaje de 5 voltios y otra de 2,5 voltios.

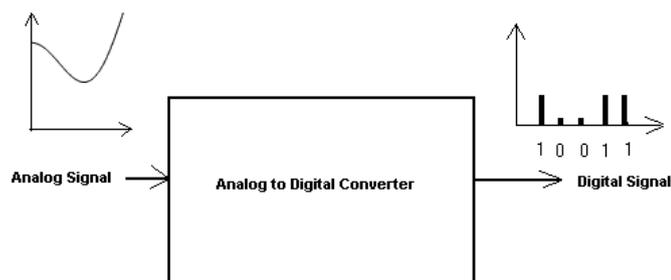
Figura 16. Tarjeta de adquisición de datos



Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>

Las tarjetas de adquisición de datos cuentan con un A.D.C. (Analog to Digital Converter), es decir un convertidor de señal analógica a digital, el mismo se encarga de convertir la señal analógica que ingresa en su correspondiente combinación binaria, para que pueda ser leída por el software.

Figura 17. Esquema convertidor analógico digital



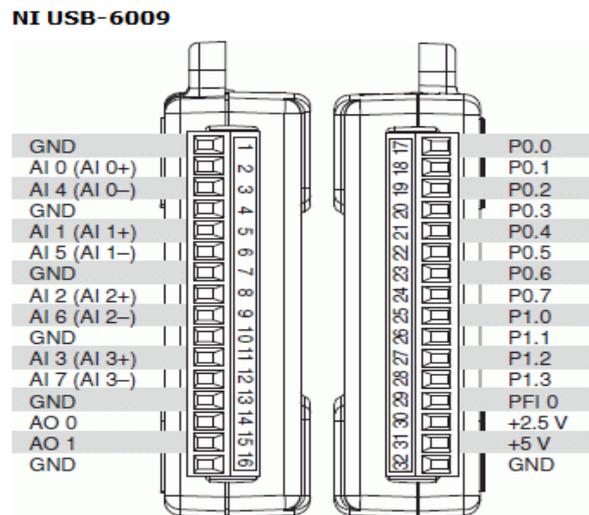
Fuente: http://www.newtechnologysite.com/computers/analog_digital.html

Para que este proceso se pueda realizar es necesario el uso de sensores o transductores, los mismos que están en contacto con los fenómenos físicos que suceden en la naturaleza.

Además de estos elementos es necesario que el computador cuente con los controladores necesarios para poder utilizar la tarjeta de adquisición de datos. Las conexiones de los bornes de la USB 6009 se encuentran en el siguiente gráfico, es de mucha importancia conocer el lugar de cada uno para poder realizar una correcta conexión de cada una de las señales.

La tarjeta de adquisición de datos no necesita de alimentación externa para funcionar, únicamente conectada al puerto USB de cualquier computadora se energiza, esto se puede verificar mediante un led indicador en la misma.

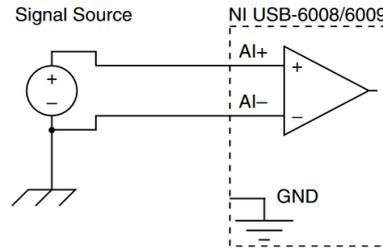
Figura 18. Entradas analógicas y digitales NI USB 6009



Fuente: NI Measurement and Automation Explorer

Existen dos modos de conexión de las entradas analógicas de la tarjeta. La primera es de modo diferencial, para esto se utiliza dos entradas para cada señal una para el positivo y otro para el negativo, en este modo de conexión solo se pueden ingresar cuatro señales.

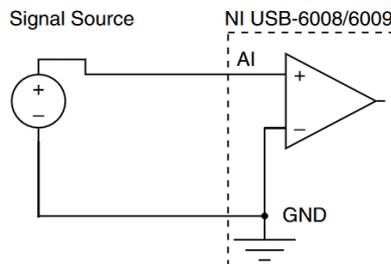
Figura 19. Modo de conexión diferencial



Fuente: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>

El segundo modo de conexión es el referenciado a tierra con este se puede ingresar hasta ocho señales analógicas de voltaje, únicamente se coloca el positivo de cada señal en la tarjeta mientras el negativo se conecta a tierra.

Figura 20. Conexión de una señal referenciada en nodo simple



Fuente: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>

2.2.4 *Sensor*. “También llamado transductor, es un dispositivo que convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que puede ser medida. La señal depende del tipo de sensor y esta puede ser un voltaje, una resistencia o cualquier atributo eléctrico que varía con el tiempo. Algunos sensores necesitan circuitos o componentes adicionales para emitir una señal que pueda ser leída con precisión y seguridad por un dispositivo DAQ.” (National Instruments, 2016)

Hoy en día existen sensores para medir la mayoría de las magnitudes físicas que existen en el entorno. Actualmente se pueden encontrar algunos tipos de sensores para diferentes magnitudes físicas como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Sensores y fenómenos físicos

| Sensor | Fenómeno |
|---|---------------------------|
| Termopar, RTD, Termistor | Temperatura |
| Fotosensor | Luz |
| Micrófono | Sonido |
| Galga Extensiométrica, Transductor Piezoeléctrico | Fuerza y Presión |
| Potenciómetro, LVDT, Codificador Óptico | Posición y Desplazamiento |
| Acelerómetro | Aceleración |
| Electrodo pH | pH |

Fuente: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

Dentro de un caldero las principales magnitudes físicas que pueden ser monitoreadas se encuentran la presión y temperatura, mismas que pueden ser medidas mediante termocupla o R.T.D. o termómetros en el caso de la temperatura y mediante manómetros en el caso de la presión.

El nivel de agua en el interior de un caldero es de vital importancia en el funcionamiento del mismo, el mismo puede ser observado mediante un visor en paralelo, o puede ser detectado por elementos eléctricos, o transductores de nivel de cualquier tipo.

A continuación, se describe los equipos de instrumentación utilizados para la adquisición de datos, en un sistema de generación de vapor.

2.2.4.1 *Sensores para medición de temperatura.*

- RTD. Es un detector de temperatura resistivo, se basa en la variación de la resistencia por efecto de la temperatura. Hoy en día existen detectores térmicos de resistencia de dos tres y cuatro hilos, comúnmente se utilizan los de 3 hilos.

Para aplicaciones industriales se utilizan conjuntamente con un termopozo para protegerlas de los ambientes rigurosos.

Figura 21. Detector térmico de resistencia.



Fuente: <https://oceancontrols.com.au/NOS-0051.html>

- Termocupla. Son sensores de temperatura que consisten en dos alambres de diferentes materiales unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los materiales se genera un voltaje del orden de los milivoltios y éste aumenta con el incremento de la temperatura.

Figura 22. Termocupla tipo K



Fuente: <http://www.tcsindustrial.com/termocupla-tipo-k-probeta/>

2.2.1.2 *Sensores para medición de presión*

- Transductor de Presión Es un dispositivo cuya finalidad es leer la señal de presión y convertirla en una señal eléctrica, la misma es analógica y puede ser de 4 a 20 miliamperios o voltajes de 0 a 5 voltios.

Figura 23. Transductor de presión



Fuente: http://www.wika.es/a_10_es_es.WIKA

2.2.4.3 *Medición de nivel.* Dentro de una caldera es importante tener por lo menos dos elementos que permitan la visualización del nivel y su control, dentro de estos encontramos diferentes tipos de transductor de nivel, uno de los más importantes es el transductor de nivel con sonda capacitiva, el mismo tiene el principio de funcionamiento de un capacitor al interior de un tanque. Por lo general el transductor emite un parámetro eléctrico, el cual se incrementa o disminuye al sumergir o retirar la sonda del líquido.

Figura 24. Sonda de nivel capacitiva con transmisor



Fuente: <http://www.dinel.cz>

2.2.5 *Sistema de interconexión.* “Los servidores de campo monitorean constantemente a los elementos de campo, recopilando datos generados por autómatas, registradores, reguladores de proceso, etc.” (RODRÍGUEZ PENIN, 2007)

Por lo general la transmisión de las señales se llevan a cabo mediante cable apantallado para evitar la interferencia del ruido y agentes externos, el apantallamiento del cable es una capa delgada de aluminio que rodea los cables del interior. Además, hay que tomar

en cuenta el ambiente en el cual se van a encontrar los instrumentos por lo que se hace necesario la utilización de tubería EMT.

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DEL SISTEMA SCADA PARA CONTROL Y MONITOREO DEL CALDERO.

La aplicación del sistema SCADA posee una interfaz HMI desarrollada en LabVIEW, con la utilización de instrumentos virtuales, los mismos que ayudan a la adquisición de datos a través de la NI USB 6009, de igual forma es de gran importancia la selección de instrumentos adecuados para las condiciones de operación del caldero.

3.1 Selección y montaje de transductores y transmisores.

Cada uno de los transductores existentes en el mercado tienen ciertas ventajas y desventajas individuales, por el cual se debe seleccionar instrumentos para ser usados en aplicaciones donde mejor sean adaptados acordes al contexto operacional y características de funcionamiento, las hojas de datos y características de cada uno de los transductores se pueden observar en los anexos.

Para una correcta selección del transductor hay que tomar en consideración los siguientes parámetros:

- Exactitud en la medición de las magnitudes.
- Exactitud sobre en el rango de las variables.
- Condiciones físicas. Conexiones eléctricas y mecánicas, condiciones de montaje, resistencia a la corrosión.
- Condiciones de ambiente. Efectos de no linealidad, efectos de histéresis, respuesta en frecuencia, resolución.
- Condiciones de ambiente de proceso. Efectos de la temperatura, aceleración, golpes, y vibraciones.

- De la correcta selección de los elementos de medición dependerá la calidad del sistema de adquisición de datos.

En la actualidad muchos transductores manejan valores estándar de salida ya sea de corriente o voltaje, en el caso de que los transductores posean salidas de corriente será necesario colocar en serie una resistencia o acondicionar la señal, para obtener un valor de voltaje o caída de tensión equivalente el mismo que se utiliza para la adquisición de datos mediante la NI USB 6009, o al menos que no sobrepase el límite máximo de lectura de la tarjeta.

El cálculo de la resistencia necesaria está basado en la aplicación de la ley de Ohm. De tal forma que no sobrepase el límite máximo de voltaje. La resistencia que se instalara es de 500Ω pero como este valor de resistencia no es comercial se utilizara una de 470Ω con una tolerancia de $\pm 5\%$.

$$R = \frac{E_{max}}{I_{max}} = \frac{10 V_{cc}}{0.02 A} = 500 \Omega \quad (1)$$

A continuación, se calcula el voltaje máximo y mínimo con el valor teórico de la resistencia y corriente.

$$E_{max} = I_{max} * R_{real} = 0.02A * 470 \Omega = 9.4 V_{cc} \quad (2)$$

$$E_{min} = I_{min} * R_{real} = 0.004A * 470 \Omega = 1.88 V_{cc} \quad (3)$$

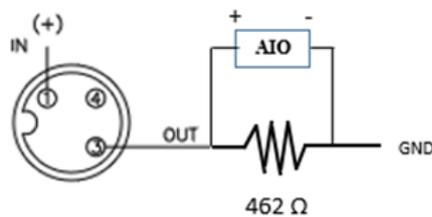
3.1.1 *Transductor de presión de vapor.* Para la selección del mismo se tomó en cuenta datos de presión y temperatura de acuerdo a las tablas de vapor, la placa de información técnica del caldero y conjuntamente con las condiciones de funcionamiento del caldero, ya que la máxima presión de funcionamiento del caldero es de 60 PSI.

Tomando en cuenta estas consideraciones se ha seleccionado un transductor para presión con la siguiente denominación PT200PSIG-13-LI3-H1131 con un rango de 0-200 PSI, el mismo que cumple satisfactoriamente las condiciones necesarias para medir la presión en el proceso de generación de vapor, las especificaciones del mismo se pueden observar en el anexo C.

Los valores de salida del sensor de presión son de 4 a 20 mA, dichos valores hay que transformar en voltios ya que son valores que reconocen la tarjeta de adquisición de datos con un máximo de 10 Vcc, por el cual se instaló una resistencia en serie entre la señal de la salida del sensor y la entrada GND de la tarjeta (ver figura 25).

Al momento de colocar el cable a la parte superior del transductor de presión se debe tener mucho cuidado verificando la numeración de los agujeros, y colocando correctamente la rosca para no dañar la conexión.

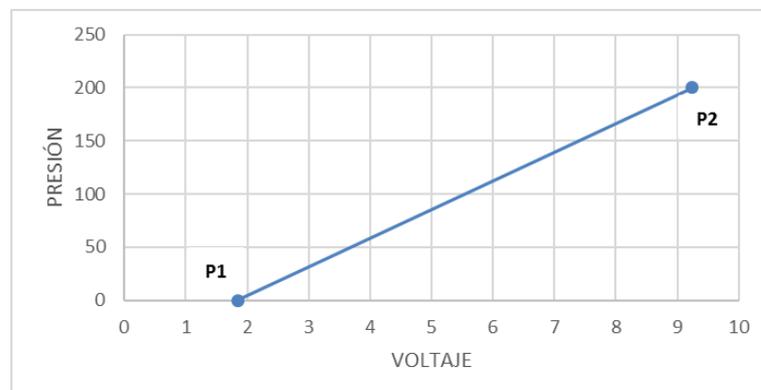
Figura 25. Esquema eléctrico del transductor de presión



Fuente: Autores

Para el caso de este transductor la resistencia tendrá un valor exacto de 465 Ohm, con lo cual se obtendrá los valores de salida de tensión de 1,848 a 9,24 voltios. Dichos valores se toman en cuenta para la elaboración de la curva de escalamiento del transductor, conjuntamente con los valores del rango de medición de presión.

Figura 26. Curva de escalamiento de transductor de presión.



Fuente: Autores

$$P1 = (+1,848; 0); \quad P2 = (+9,24; +200)$$

$$m = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) \quad (4)$$

A partir de la ecuación 4 se obtiene la pendiente de la relación de las variables de entrada y salida del instrumento, de cada instrumento se espera una relación lineal, por tanto, se formula la ecuación lineal correspondiente para el escalamiento de medición del instrumento.

$$m = (200 - 0)/(9.24 - 1.848)$$

$$m = 27,056$$

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (5)$$

$$y - 0 = 27,056(x - 1.848)$$

$$y = 27,056x - 50$$

Donde: $x = \text{Voltaje de corriente continua}$; $y = \text{Presión(psi)}$

$$P = 27,056 * V - 50 \quad (6)$$

3.1.1.1 *Montaje del transductor de presión de vapor.* Para realizar el montaje del instrumento de forma adecuada en el sistema se debe utilizar ciertos elementos de acople, hay que tomar en consideración el tipo y tamaño de la rosca tanto del sensor o transductor, así como de la tubería donde se va a ubicar.

El transmisor de presión se ubica en la tubería externa junto al manómetro, dicha tubería es de tipo NPT de 1/2 pulgada de diámetro, mientras el sensor posee una conexión roscada de NPT con 1/4 de pulgada. Por lo tanto, se utilizará un acople reductor de 1/2 pulgada a 1/4 de pulgada.

Figura 27. Transductor de presión

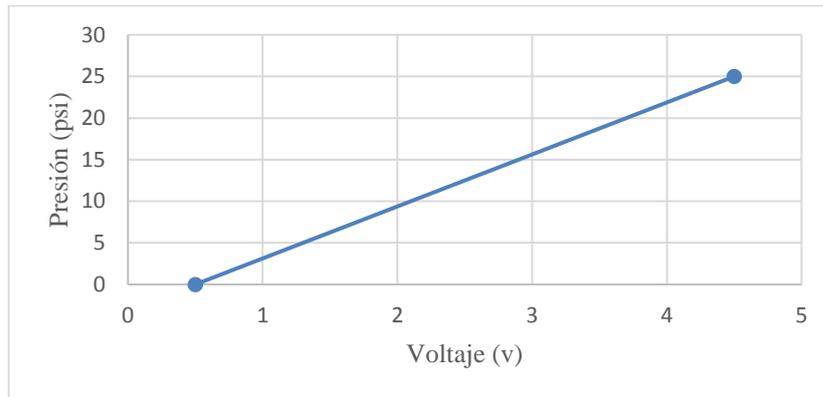


Fuente: Autores

3.1.2 *Transductor de presión de atomización de la mezcla.* Tomando en cuenta otro parámetro importante del funcionamiento del caldero se ubicó un transmisor de presión para la medición de la presión de la mezcla de aire combustible que ingresa al caldero, para lo cual se ubicó un transmisor de presión de marca Danfoss, las principales características de dicho instrumento están, rango de presión de 0 a 25 bar o 367.5 psi, salida de voltaje del 10 al 90% del voltaje de alimentación.

El transmisor es alimentado con 5 voltios de corriente continua, por lo que teóricamente se esperaría un rango de salida de entre 0.5 y 4.5 voltios. La hoja de datos y características se pueden observar en el anexo D. La curva de escalamiento del transmisor se presenta de la siguiente forma:

Figura 28. Curva de escalamiento transductor de presión de atomización



Fuente: Autores

$$P1 = (+0,5,0); \quad P2 = (+4,5, +25)$$

A partir de la ecuación 4 se procede a calcular la pendiente para la ecuación de escalamiento del transductor de presión.

$$m = \frac{25}{4,5 - 0,5}$$

$$m = 6,25$$

Luego a partir de la ecuación 5 se formula la ecuación con la que se deberá trabajar en el asistente de adquisición de datos de LabVIEW

$$y - 0 = 6,25(x - 0,5)$$

$$y = 6,25x - 3,125 \quad (7)$$

Donde: $x = \text{Voltaje de corriente continua}$; $y = \text{Presión(psi)}$

3.1.2.1 *Montaje del transductor de presión de atomización de la mezcla.* Se ubicó en la tubería por donde se mezcla el aire y combustible para el ingreso al quemador, tomando en cuenta que la conexión del transmisor de presión es M16*1.5 y la conexión de la tubería es 1/4 NPT, se colocó un acople para que exista compatibilidad en la conexión.

Figura 29. Transductor de presión de atomización de mezcla



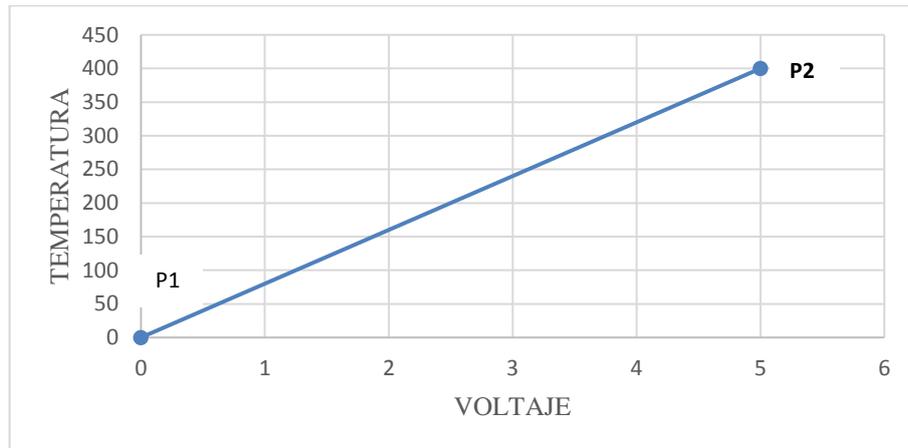
Fuente: Autores

3.1.3 *Transductor de temperatura.* Para la medición de temperatura se consideró la selección de detectores térmicos de resistencia (RTD), conjuntamente con un termopozo para protegerlos de las condiciones del proceso, además estos instrumentos presentan una relación más lineal que otros instrumentos.

Para esto se consideró la temperatura máxima que alcanza el vapor a la presión estimada de funcionamiento que es de 60 PSI, que de acuerdo a las tablas de vapor alcanza una temperatura aproximadamente de 154 °C.

Tomando en cuenta estas consideraciones se ha seleccionado un RTD, el cual varía su resistencia de acuerdo a la variación de temperatura en escala de 0 a 400 °C, esta resistencia se debe convertir a voltaje para que pueda ser tomada con la tarjeta de adquisición de datos, esto se logra con transmisores de señal que convierten un valor resistivo en un valor estándar de voltaje de corriente continua a escala de 0 a 5 Vcc, que se encuentra dentro del valor máximo que soporta la tarjeta de adquisición de datos (ver figura 29).

Figura 30. Curva de escalamiento transmisor de temperatura



Fuente: Autores

$$P1 = (0,0); \quad P2 = (+5, +400)$$

A partir de la ecuación 4 de igual manera se calcula la pendiente de la recta de escalamiento del transmisor de temperatura, y seguidamente se utiliza la ecuación 5 para obtener la ecuación de la recta.

$$m = \frac{400 - 0}{5 - 0}$$

$$m = 80$$

$$y - y1 = m(x - x1)$$

$$y - 0 = 80(x - 0)$$

$$y = 80 * x \quad (8)$$

Donde: $x =$ Voltaje de corriente continua; $y =$ Temperatura en grados C.

3.1.3.1 *Montaje de las sondas de temperatura y sus transmisores.* El primer RTD se colocó en la chimenea de tal forma que pueda emitir datos de temperatura de los gases producto de la combustión en el hogar. Tanto la conexión roscada del detector térmico de

resistencia como el agujero donde es ubicado son compatibles por lo que no necesita de acoples.

Figura 31. RTD PT 100 en la chimenea del caldero



Fuente: Autores

El segundo detector térmico de resistencia se ubica de tal forma que pueda detectar el cambio de temperatura del vapor, esto es en la parte superior de la tubería, para lo cual se utiliza acoples reductores de la tubería de 1 pulgada NPT a 1/2 pulgada NPT.

Figura 32. RTD PT 100 para medición de temperatura de vapor



Fuente: Autores

Los transmisores de cada uno de estos se ubican en el tablero de control, donde estarán protegidos de la temperatura elevada, desde ahí se realizó la conexión hasta los detectores térmicos de resistencia, montados en la caldera.

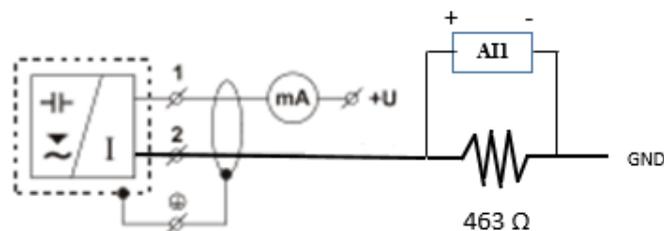
3.1.4 *Transductor de nivel.* El mantener un nivel adecuado en la generación de vapor es fundamental, para poder obtener una medición constante de nivel se optó por un transductor de nivel con sonda capacitiva, el mismo que emite una señal de 4-20 miliamperios, con una longitud de la sonda de 29,5 cm, la misma que se colocara el paralelo al control de nivel del caldero. La hoja de datos y características se observa en el anexo E.

De igual manera para este dispositivo mediante la aplicación de la ley de Ohm se convertirá el parámetro de corriente a voltaje, con la finalidad de que pueda ser leída con la tarjeta de adquisición de datos.

En este caso la resistencia también debe ser de 500 Ohm como máximo de tal forma que no sobrepase el voltaje máximo de lectura del dispositivo de adquisición de datos. Con la resistencia colocada se tendrá un voltaje máximo de 9,4 voltios aproximadamente y un voltaje mínimo de 1,8 voltios.

Por otra parte, tomando en cuenta el nivel de agua al interior del caldero se debe considerar escalar la señal del transmisor a una escala porcentual. Dicha señal es obtenida en los terminales positivo y negativo de la resistencia (ver figura 33) y llevada hacia la tarjeta de adquisición de datos.

Figura 33. Esquema eléctrico de conexiones para el transductor de nivel



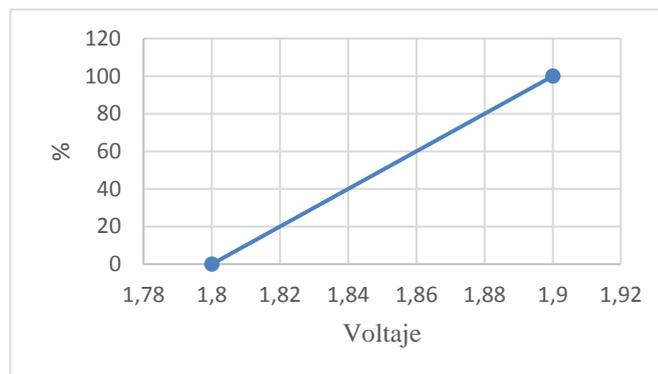
Fuente: Autores

Sin embargo, tomando en cuenta los valores de voltaje obtenidos el rango de nivel de agua del caldero se hallará entre 1.8 voltios y 1,9 voltios, incluso con el caldero en funcionamiento se observará que el nivel podrá elevarse un poco más, esto se debe al burbujeo en el interior.

Los valores de voltaje para el nivel bajo es decir donde la bomba de suministro se activará oscila en 1,86 voltios, mientras que el nivel operativo del caldero se hallara alrededor de 1,9 voltios, cabe destacar que el rango operativo del caldero es de 3/4 de pulgada, mientras el agua no se encuentre en vaporización se indicara el valor de nivel de 1,9 voltios sin embargo el nivel del interior puede subir debido a que en el interior se produce la ebullición del agua, este fenómeno no es visible en el visor externo de nivel, por lo que en el interior el nivel subirá.

Para la configuración de nivel en el indicador del panel frontal se tomó en cuenta que el valor de 1,8 voltios se le asignara un valor porcentual de 0, mientras que al valor de 1,9 voltios se asigna un valor de 100 por ciento, con esto se realiza la curva de escalamiento del transductor de nivel.

Figura 34. Curva de escalamiento para el transductor de nivel



Fuente: Autores

La ecuación que representa la trayectoria de la curva se puede deducir a partir de la fórmula para ecuaciones lineales. Mediante la misma el indicador del transductor en la aplicación diseñada muestra un valor de 100% al momento de estar listo para entrar en operación.

una vez realizado el procedimiento se obtuvo la siguiente ecuación:

$$y = 1000x - 1800 \quad (9)$$

3.1.4.1 *Montaje del transductor de nivel.* El montaje se lo realizo en el domo del caldero, utilizando un acople de rosca NPT a rosca G de una pulgada, la sonda del sensor está protegida en el interior del caldero por un tubo, mientras que el transmisor propiamente dicho está separado de la zona de conexión al proceso por un tubo para protegerlo de las altas temperaturas.

Para un correcto montaje se fabricó un accesorio similar a un bushing con rosca externa tipo 1 1/2 NPT y rosca interna tipo G 1, conjuntamente con un tubo soldado que ingresa al interior del caldero, el mismo fue construido con material para soportar altas presiones.

Figura 35. Montaje del transductor de nivel



Fuente: Autores

3.2 Diseño y construcción del tablero para control y adquisición de señales

La implementación del gabinete de control permite separar a través de las canaletas los conductores de corriente alterna que alimentan a la fuente, de los conductores que transmiten las señales analógicas desde los sensores ya que los campos magnéticos que genera la corriente alterna pueden afectar dichas señales, a su vez la fuente debe protegerse con un fusible de 2 A (ver figura 36).

Alrededor de los elementos se ubicó canaletas para poder ubicar los cables, y en la parte frontal del tablero se ubicó una luz piloto para indicar que el sistema se encuentra energizado.

Figura 36. Gabinete para control y adquisición de señales



Fuente: Autores

3.3 Esquema de interfaz corriente-voltaje y alimentación

La interfaz se diseñó en una placa conjuntamente con dos borneras, la una bornera contiene en total tres filas de 11 contactos cada una, la primera fila se conectó los 11 contactos para que suministren un voltaje de 24 voltios necesarios para alimentar ciertos transductores, la segunda para que suministre 5 voltios, los mismos servirán de alimentación a transductores y la última fila conectada a tierra (ver figura 37), en la otra bornera se encuentran las resistencias encargadas de convertir la corriente en voltaje.

El diagrama de conexión entre los transductores, la fuente de alimentación, borneras y equipos de acondicionamiento de señal para los detectores de temperatura se halla en el anexo B.

Figura 37. Bornera de interfaz corriente-voltaje



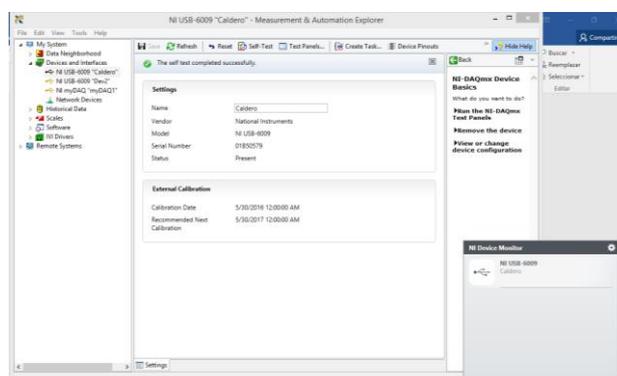
Fuente: Autores

3.4 Programación del sistema para adquisición de datos del caldero.

Para poder realizar la programación en primer lugar se debe tener instalados los controladores de la tarjeta NI USB 6009, dichos controladores se encuentran en el disco NI-DAQmx, el mismo viene junto con la tarjeta.

Una vez instalados dichos controladores, se debe conectar la tarjeta de adquisición de datos, y la computadora automáticamente reconocerá el hardware, una vez completado este paso mediante LabVIEW se puede programar en el diagrama de bloques la función DAQ Assistant.

Figura 38. Reconocimiento del hardware



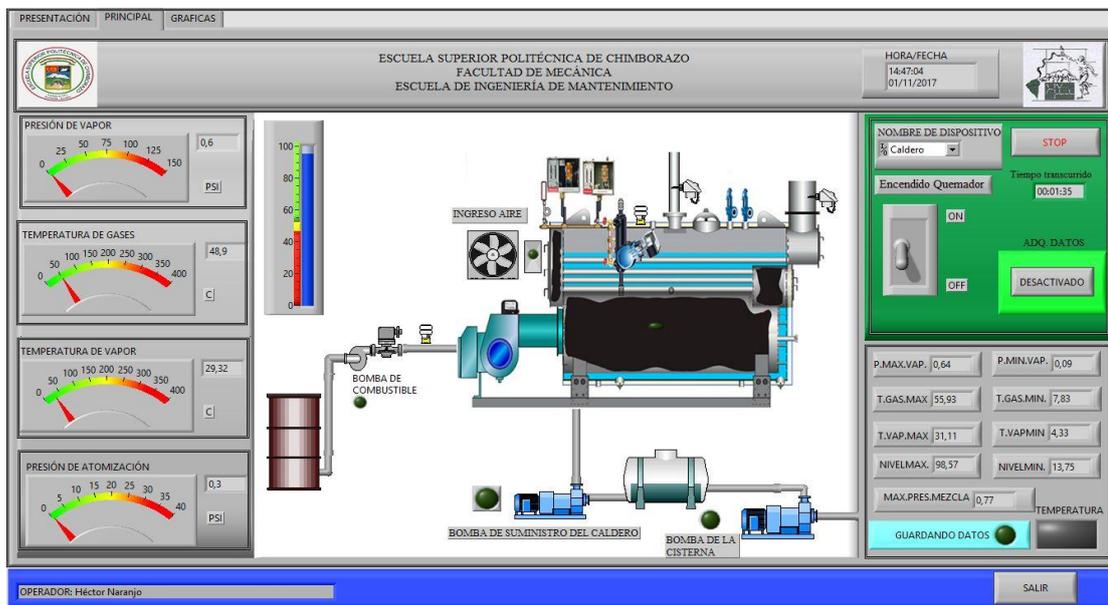
Fuente: Autores

La aplicación NI Device Monitor reconocerá la tarjeta una vez conectada y permitirá realizar pruebas para verificar la conectividad de la misma, o a su vez se puede abrir la aplicación Measurement and Automation Explorer y verificar si el dispositivo se encuentra conectado.

Para poder obtener las señales desde los sensores o transductores hay que conocer las conexiones de los bornes en la NI USB 6009 y su disposición tanto de entradas y salidas ya sean analógicas o digitales.

3.4.1 *Diseño de la interfaz en el panel frontal.* La interfaz HMI se realizó en el panel frontal de LabVIEW, la misma sirve para la interacción entre el usuario y los equipos de instrumentación y control instalados, esta interacción se ejecuta mediante los periféricos de entrada de un computador, para este diseño se utilizó la función tab control con la cual se creó varias pestañas, la primera donde se representara el sistema junto a los elementos de medición y control, mientras tanto en la segunda se dispone de gráficas en función del tiempo de cada una de las variables físicas medidas en el caldero.

Figura 39. Interfaz de adquisición de datos principal



Fuente: Autores

En la pantalla principal se representan todos los elementos responsables de enviar los datos de mediciones de las variables físicas, con su valor y la respectiva unidad de medida, la representación gráfica del proceso de generación de vapor se realizó utilizando el módulo DSC de National Instruments, el cual está provisto de una biblioteca de imágenes que permiten la representación de procesos industriales.

La representación de la medición de los instrumentos, está realizada mediante indicadores numéricos e indicadores gráficos existentes en la paleta de controles. En la parte superior derecha se ubicó un control de selección para los dispositivos conectados al computador, para el caso del dispositivo de adquisición de datos NI USB 6009, se le otorgo el nombre de Caldero.

En la parte derecha del panel junto a estos controles también se encuentra un interruptor para apagar y encender el caldero desde el computador, y junto al mismo se colocó un control para activar o desactivar la opción de adquisición de datos, y este a su vez se podrá verificar mediante un led en la parte inferior derecha, de esta forma solo se realizará el monitoreo del caldero.

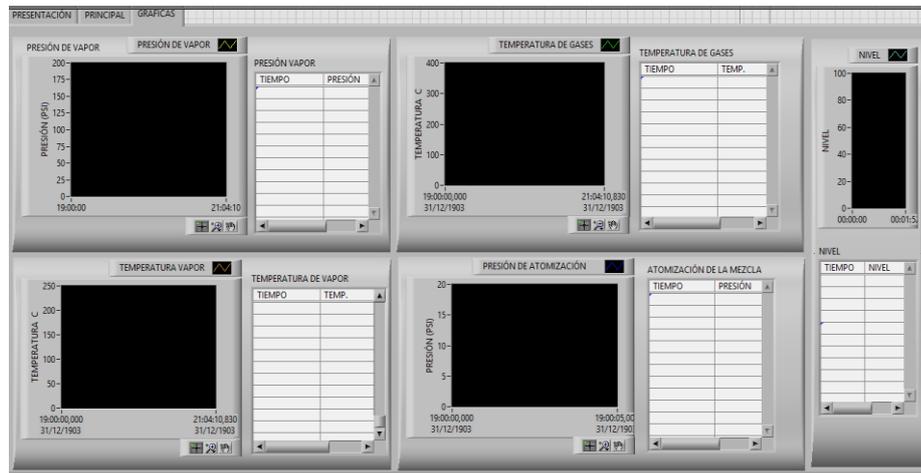
Además, hay que indicar que por debajo de los controles se encuentran indicadores de los valores máximos y mínimos de las variables monitoreadas a través de los sensores, cabe indicar que los valores se mostraran de acuerdo a la configuración de muestreo de la tarjeta de adquisición de datos.

El estado de activación o desactivación de las bombas de la cisterna y de llenado del caldero están representados mediante indicadores booleanos, así como de cada uno de los accesorios de ingreso de agua y combustible a la caldera, el estado de cada uno de ellos cambiara cuando se encuentren funcionando.

El estado de funcionamiento con la llama encendida se configuro a través de una compuerta lógica en LabVIEW, en base a dos condiciones fundamentales en el arranque de la caldera, la primera es cuando se encuentre activado el ventilador, mientras que la segunda se tomó a través de la sonda Pt100 de la chimenea, cuando la temperatura detectada por esta sea mayor a 40 grados Celsius, cuando estas dos condiciones sean verdaderas, la llama aparecerá en el interior de la caldera.

Igualmente, la segunda pestaña del panel frontal cuenta con las gráficas de las principales magnitudes monitoreadas dentro del funcionamiento del caldero, junto a dichas gráficas se encuentran las tablas de los valores adquiridos con la hora y fecha a la que se los tomó.

Figura 40. Panel de gráficas de variables en función del tiempo

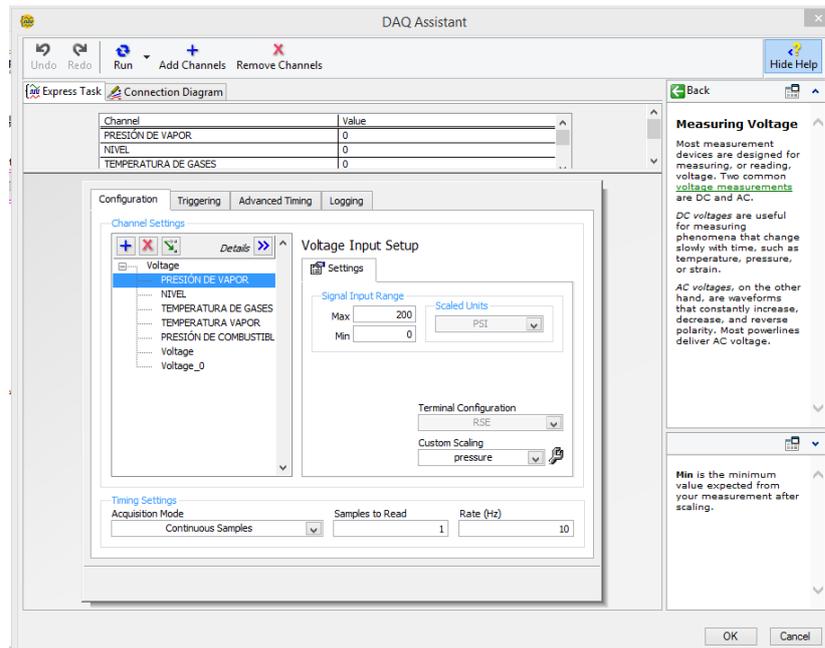


Fuente: Autores.

3.4.2 *Configuración del DAQ Assistant.* El asistente de adquisición de datos permite al usuario trabajar con mayor facilidad y rapidez. Hay que tomar en cuenta el modelo de la tarjeta de adquisición de datos, en este caso la NI USB 6009 la cual posee ocho entradas analógicas las mismas que se configuran como canales cada uno de los canales va a tener un rango máximo de medición de 10 voltios, además el usuario puede crear escalas para cada señal de entrada de acuerdo a sus necesidades o lo que desee medir.

Además, la ventana de DAQ Assistant permite configurar el tipo de muestreo y cuantas muestras desea el usuario, así como la frecuencia del mismo. De ser necesario además se permite la visualización de los datos como prueba. El muestreo de señales analógicas debe ser configurado como continuo, de esta forma se tomarán los datos, segundo a segundo durante el funcionamiento, sin embargo, no se debe exagerar en el número de muestras tomadas por segundo ya que únicamente se crearían archivos sumamente extensos y ocuparían demasiado espacio en el computador.

Figura 41. Ventana de configuración del DAQ Assistant



Fuente: Autores.

Cada uno de los canales de entradas analógicas se encuentra nombrado de acuerdo a la variable que va a medir, de igual manera, cada una de las variables están escaladas de acuerdo a las curvas de escalamiento realizadas anteriormente, esto es mediante la utilización de las ecuaciones de cada uno de los instrumentos. Sin embargo, esta configuración únicamente sirve para las entradas analógicas, y solo se utilizará un DAQ Assistant para la toma de datos de todos los canales que necesitemos, en nuestro caso serán 5 canales.

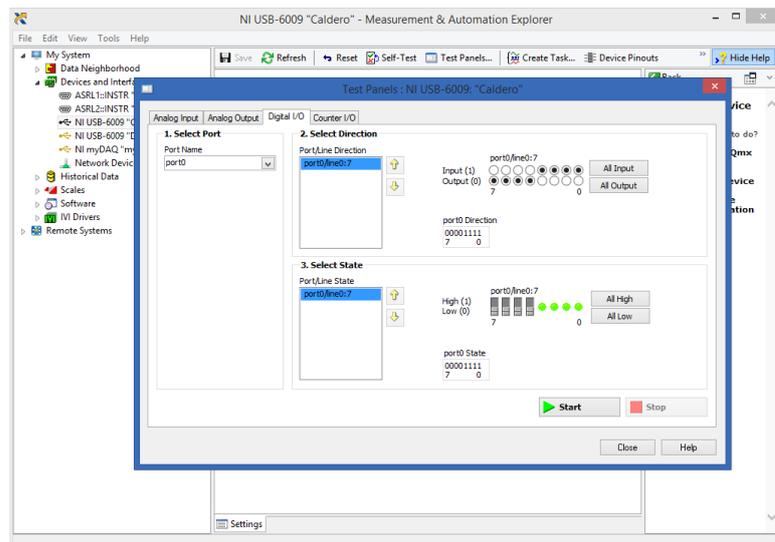
Desde aquí también se pueden crear escalas de medición de cualquier tipo sean lineales, exponenciales, por tablas entre otros, generalmente se utiliza una relación de salida lineal entre el parámetro de entrada y el de salida de cada uno de los transductores.

Para la configuración de entradas y salidas digitales se utiliza el software NI Measurement and Automation Explorer, en los paneles de prueba, donde se muestran todos los puertos digitales de la tarjeta de adquisición de datos, hay que seleccionar cada puerto si se desea que sea una entrada o una salida digital.

Cada una de las funciones de la tarjeta de adquisición de datos posee paneles de prueba, en este caso se utilizó el panel de prueba para entradas o salidas digitales, seleccionado el puerto 0 el mismo posee 8 opciones, luego en la sección de dirección de la ventana y se escoge si se desea configurar como entrada o salida. Finalmente se selecciona el estado, las entradas se indican como leds y las salidas como interruptores.

Se configuraron los puertos desde el P0.0 al P0.3 como entradas digitales, mientras que los puertos desde el P0.4 al P0.7 como salidas digitales, desde aquí se prueba la funcionalidad de cada uno de los puertos configurados, estos se verifican como estados binarios 0 para desactivado y 1 para encendido.

Figura 42. Configuración de entradas y salidas digitales



Fuente: NI Measurement and Automation Explorer

3.4.3 *Programación del diagrama de bloques de LabVIEW.* La configuración del programa posee una estructura while loop, el mismo permite la ejecución del programa durante un ciclo continuo hasta la intervención del botón de paro. Mediante la función tab control se crea pestañas en el panel frontal, la misma se encontrará enlazada a la función case structure en el diagrama de bloques donde se hallan los casos de selección para cada una de las pestañas creada en el panel frontal.

El DAQ Assistant se encuentra en el interior del ciclo while loop, y fuera de la función case structure, sin embargo, los datos se enlazan desde el exterior de dicha función hacia el interior, donde se encuentran representados los indicadores de acuerdo con cada una de las pestañas creadas con la función tab control.

La programación en el diagrama de bloques de LabVIEW, está compuesta por bloques gráficos que representan tanto los controles como los indicadores utilizados en el panel frontal, se puede diferenciar un control de un indicador visualizando la línea de borde que rodea el bloque.

La salida o entrada de controladores, indicadores, subVI, se unen mediante un enlace, en el DAQ Assistant, para la lectura de datos de forma individual es necesario utilizar la herramienta Split signals, la misma que separa cada uno de los canales, y la salida de cada uno de estos se enlaza hacia un indicador ya sea numérico o gráfico.

La función Split signals posee cinco separaciones, las mismas cuentan los canales desde el canal 0 al canal 4 desde la parte superior a la inferior, de igual forma estas señales pasan por un filtro digital, dicho elemento se encuentra en la paleta de funciones de LabVIEW.

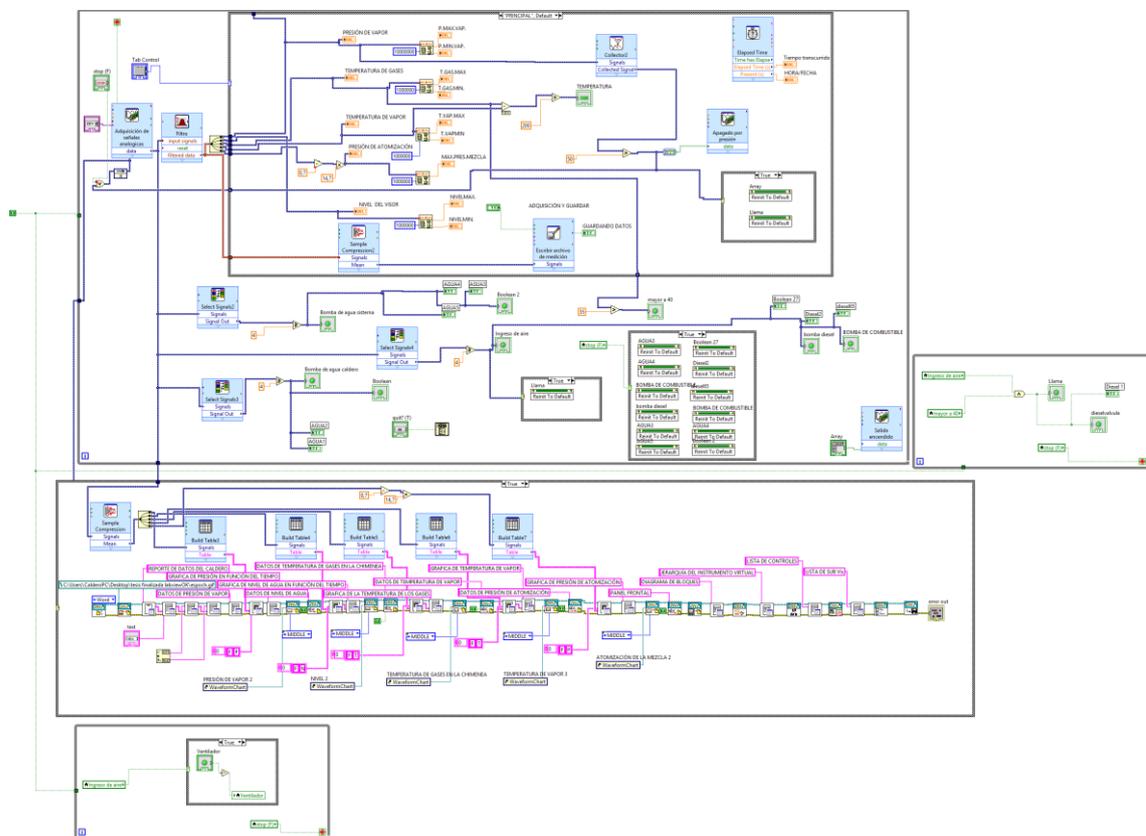
El canal 0 o en la tarjeta representada como AI0 se encuentra conectado al transductor de presión en el diagrama de bloques y panel frontal el indicador tiene el nombre de PRESIÓN DE VAPOR, el canal 1 o AI1 tiene el nombre de NIVEL, ya que está conectado al transmisor de nivel, el canal 2 o AI2 tiene el nombre de TEMPERATURA DE GASES, ya que está conectado al transmisor que recibe la información del RTD conectado en la chimenea por donde salen los gases de la combustión, el canal 3 o AI3 está representado con el nombre de TEMPERATURA DE VAPOR ya que este recibe la información de RTD y su acondicionador sobre la temperatura del vapor. Finalmente, el canal 4 o AI4 se encuentra con el nombre de PRESIÓN DE ATOMIZACIÓN ya que recibe la información de la medición sobre la presión de la mezcla aire combustible.

Las entradas analógicas 5, 6 y 7 se utilizaron para la lectura de voltaje analógico de 5 voltios enviado desde la salida de la tarjeta de adquisición de datos, este voltaje estará circulando constantemente y la tarjeta lo leerá al momento de cerrarse un contacto abierto, esto indica el estado de activación o desactivación, en este caso del ventilador de ingreso

de aire, de la bomba de suministro de agua al caldero y de la bomba de la cisterna, para indicar la activación o desactivación se utilizó un led indicador en el caso de las bombas, en el caso del motor del ventilador se utilizó un led indicador y la animación de un ventilador, la misma que empezara a moverse una vez que se cumpla la condición establecida en el diagrama de bloques.

Se utilizó la función de selección de señales para escoger el canal correspondiente para la lectura de los estados de activación o desactivación de los equipos.

Figura 43. Bloque de programación ventana principal

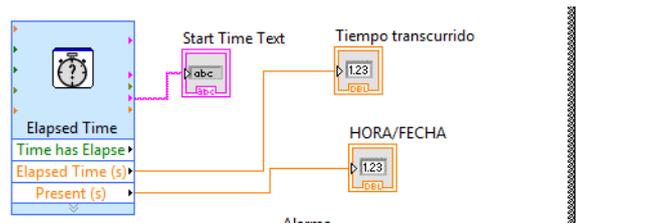


Fuente: Autores.

Además de la función Split signals también se utilizó la función select signals, ambas permiten la separación o selección de señales analógicas. Para cada una de las variables se colocó la función array max min ptbypt la misma que arroja los valores máximos y mínimos de todos los valores recolectados durante la ejecución del software desarrollado.

Dentro de la función case structure también se encuentra el instrumento virtual elapsed time, el mismo proporciona la información de tiempo, ya sea la hora y fecha actuales, así como el tiempo transcurrido desde la ejecución del instrumento virtual principal, para ello es necesario crear indicadores desde las salidas del instrumento elapsed time.

Figura 44. Instrumento virtual tiempo transcurrido



Fuente: Autores.

La función de adquisición y almacenamiento de datos se realiza con la utilización de un instrumento virtual llamado Write to Measurement File, en el mismo se puede configurar el tipo de archivo en el que se desea guardar, hay que tomar en cuenta la ventana de ayuda de dicho instrumento virtual y personalizar la configuración de la misma.

Se utilizó la herramienta de compresión de muestreo con la finalidad de reducir el número de muestras para que no se creen archivos demasiado grandes, a través de la misma se recolecta únicamente los valores medios del total de mediciones realizadas por la tarjeta en cada segundo.

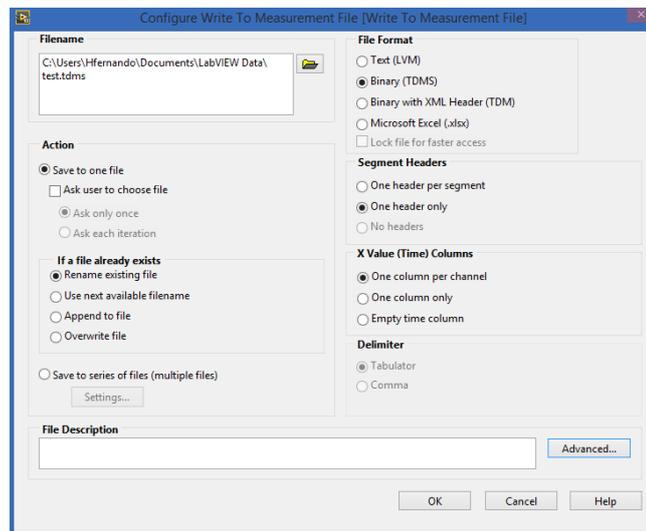
Figura 45. Herramienta para escribir un archivo de medición



Fuente: Autores.

Igualmente se estableció un control para activar o desactivar la adquisición de datos, y un led indicador, el mismo se encenderá al momento que se estén guardando los datos en el disco duro. Al igual que el DAQ Assistant esta herramienta también muestra una ventana para configurar el tipo de archivo de medición que se desea generar ya sea para Microsoft Excel, o un archivo binario de tipo TDMS, así mismo se configura la forma como se guardan los datos, o si se crea un nuevo archivo o se reemplaza el ya existente. Al generar un archivo de medición con extensión TDMS, automáticamente al abrir este archivo se iniciará una ventana de Microsoft Excel, con toda la información recolectada desde LabVIEW.

Figura 46. Ventana de configuración para la herramienta de escritura de archivos de mediciones.



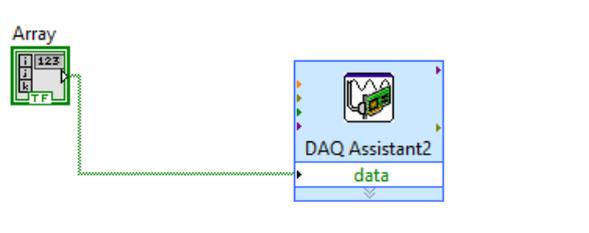
Fuente: LabVIEW

Las mediciones se guardarán como un archivo con extensión, TDMS el mismo se encuentra en el interior de la carpeta LabVIEW data en mis documentos. Al ejecutar este archivo se abrirá una hoja de cálculo en Excel y se podrá verificar todas las mediciones tomadas por la tarjeta de adquisición de datos desde los instrumentos instalados en el caldero.

La función de control de encendido y apagado desde el computador se encuentra realizada mediante un control booleano, en otras palabras, un switch, en el panel frontal, mientras

que en el diagrama de bloques se halla configurada como una salida digital desde el puerto P0.4 de las E/S digitales de la tarjeta de adquisición de datos, para ello se creó una nueva instancia del DAQ Assistant.

Figura 47. Salida digital para encendido y apagado del caldero.



Fuente: Autores

La salida digital de la tarjeta activa un relé de 5 voltios, al momento de cambiar la posición del interruptor en la ventana principal para encender o apagar el caldero, este relé estará conectado a un selector de tres vías el mismo que permitirá seleccionar el modo de encendido del caldero, ya sea manualmente o desde el computador.

Una vez cambiada la posición del interruptor del panel frontal diseñado en LabVIEW, se activa el relé permitiendo el paso de corriente alterna y se activara el contactor del motor del ventilador, y comenzara el encendido del caldero normalmente.

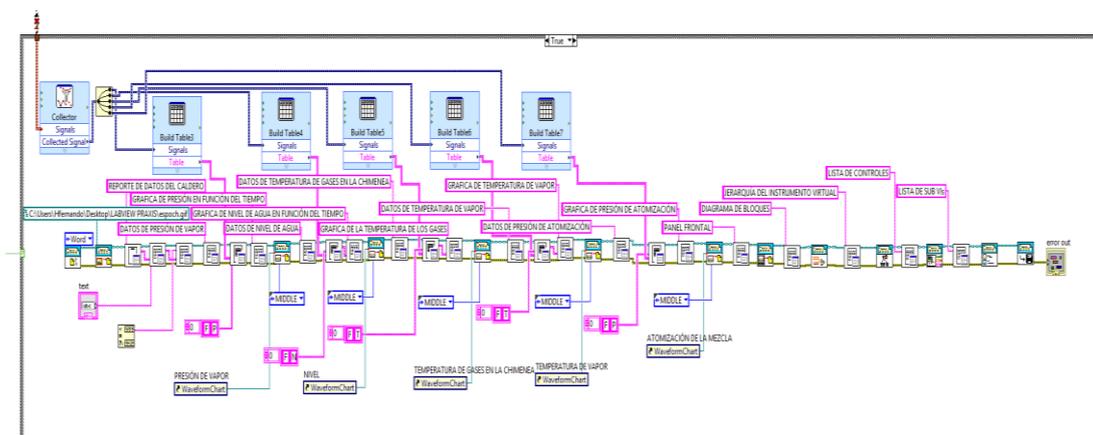
Se creó también una tercera instancia del DAQ Assistant la misma consiste en una salida digital desde el puerto P0.5, la misma se ejecutará al momento que se cumpla la condición que la presión de vapor sea mayor a cierto valor predefinido, la misma apagará el quemador del caldero y detendrá la ejecución de la aplicación, reiniciando el control de apagado y encendido del quemador a su estado inicial.

3.4.4 *Generación de reportes personalizados.* La generación de un reporte de los datos a través de LabVIEW se realiza mediante herramientas o instrumentos virtuales, sin embargo, para poder personalizar el reporte es necesario utilizar las herramientas del generador de reportes, mediante los mismos el usuario puede seleccionar el tipo de reporte, añadir texto, gráficas, imágenes, y personalizar su reporte de acuerdo a sus requerimientos.

El reporte generado presenta la información de las cinco variables físicas tomadas en el caldero, para empezar, se presenta la tabla con un cierto número de datos recogidos por la tarjeta, luego su respectiva gráfica, así como también, la información de todo el entorno del programa realizado en LabVIEW, contiene la información básica de todas las herramientas e instrumentos virtuales utilizados.

El código o bloque para la generación de reportes se encuentra debajo del bloque principal y esta enlazado a la salida del DAQ Assistant desde donde se toma la lectura de los datos, y conectado con un separador de señales adicional en el interior de la estructura de casos de ahí se enviará cada señal a su correspondiente bloque para generar el reporte de datos. Además, en el panel frontal se creó un control para poder ingresar el nombre de la persona responsable del monitoreo y ejecución del sistema,

Figura 50. Esquema de programación para generación de reportes.

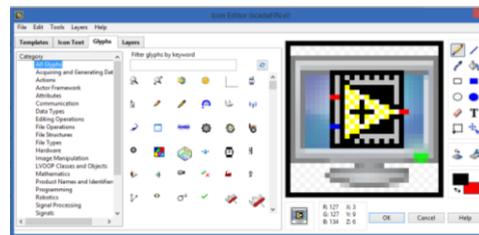


Fuente: Autores

Para ejecutar completamente y con éxito todo el instrumento virtual realizado hay que verificar que no existan errores para la ejecución, esto se puede ver al momento de arrancar el instrumento virtual mediante la flecha en la parte superior izquierda del panel frontal de LabVIEW. Hay que tomar en cuenta que el reporte comienza a generarse al momento de detener todo el instrumento virtual.

3.4.5 *Diseño del icono del instrumento virtual* El icono de la aplicación esta realizado con las plantillas que ofrece LabVIEW en el editor de iconos, en el mismo se incorporó, una pantalla de PC y el logo de LabVIEW.

Figura 51. Icono de la aplicación desarrollada



Fuente: LabVIEW

3.5 Pruebas de funcionamiento del sistema

La puesta en marcha del sistema SCADA para el caldero es simple, una vez encendida la computadora y abierta la aplicación, el indicador del tablero de control debe estar encendido, para ello hay que insertar la protección en el interior, una vez realizado estas acciones el panel principal de la interfaz en la computadora comenzara a mostrar los valores reales, incluso los valores de temperatura se van a mantener a un valor aproximado de temperatura ambiente.

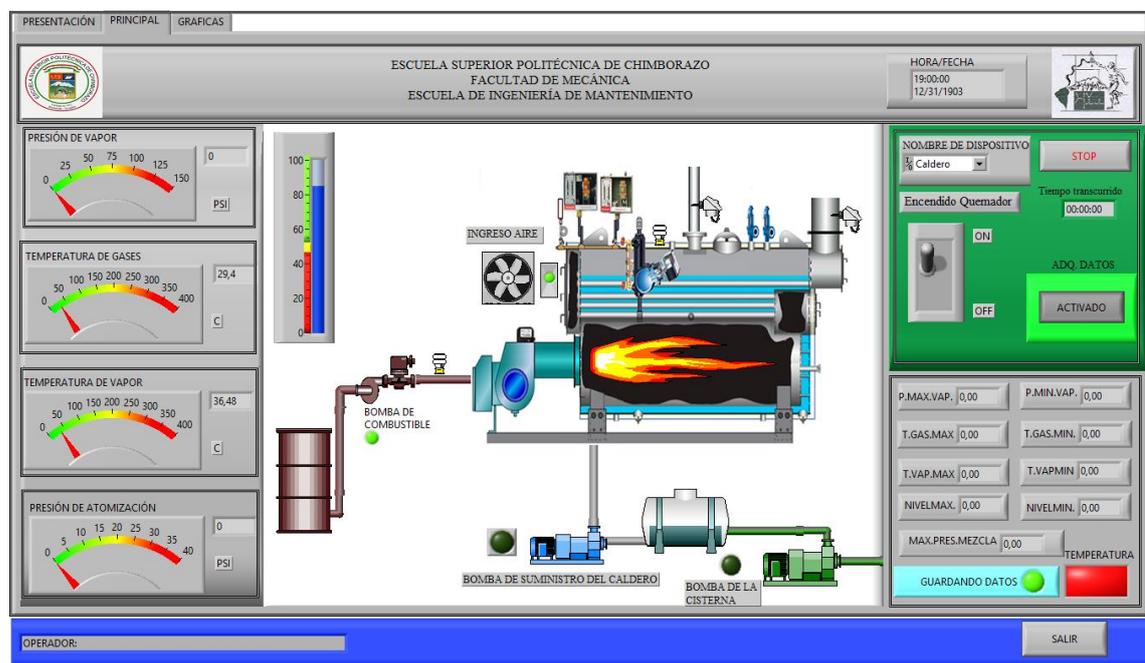
Al momento del funcionamiento las gráficas mostraran valores sobre todo las de temperatura para esto no es necesario que el caldero este encendido, la gráfica de presión se mantendrá lo más cercana a cero.

Para verificar el correcto funcionamiento de todo el sistema se realizó las pruebas con el caldero encendido y verificando que los valores de las mediciones sean lo más reales posible, y coincidan con los instrumentos instalados anteriormente.

El reporte generado del funcionamiento del caldero en un intervalo de tiempo se encuentra en los anexos, en el mismo se observan las gráficas, datos, y herramientas utilizadas, para en la ejecución, y el archivo de mediciones se generará cada vez que se realice la adquisición de datos desde el control del panel frontal.

El panel principal se encontrará de la siguiente forma cuando se active el sistema y se encuentre el caldero encendido o apagado, la siguiente figura muestra una imagen de la ventana principal una vez que se ha apagado el caldero y este se encuentra en proceso de enfriamiento.

Figura 52. Ventana principal en funcionamiento



Fuente: LabVIEW

Al momento del funcionamiento, una vez que los sensores se encuentran emitiendo su señal correspondiente, las gráficas comienzan a mostrar las curvas de las variables en función del tiempo y en la ventana principal las agujas de los indicadores principalmente

de la temperatura y nivel comienzan a moverse y en los indicadores digitales se muestra el valor exacto de la medición.

Mientras tanto las tablas comienzan a mostrar la fecha y hora de la medición y al frente el valor de la variable correspondiente emitida por cada uno de los transductores. El valor de la presión de vapor y temperatura se pueden verificar mediante las tablas de vapor, a cada valor de presión le corresponde su temperatura de vapor. Sin embargo, pueden existir factores que influyan en que tales valores no sean los exactos, como por ejemplo la ubicación del transductor.

Figura 53. Ventana de gráficas con el caldero en funcionamiento.



Fuente: Autores.

CAPÍTULO IV

4. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Tras una revisión completa de todos los manuales de cada sensor se comprobó que el único mantenimiento que existe para todos los sensores, es de tipo correctivo; realizándose el cambio de los sensores con fallas. Dentro de las políticas de fabricación de cada sensor lo construyen como un producto que dure mucho tiempo y cuando este falle, inmediatamente la acción a tomar es cambiarlo. En cambio, la política de mantenimiento es, alargar la vida útil de los activos, minimizando el tiempo y el costo en que se lleva adquirir estos reemplazos como también garantizando seguridad del funcionamiento del proceso para tener una continua producción.

Para ello es necesario tener presente 3 aspectos muy importantes que son:

- Conocer e identificar los transductores como también de la ubicación del mismo y comprender su diagrama eléctrico de conexión (desde los transmisores hasta la DAQ).
- Conocer los parámetros de operación y funcionamiento de los transductores.
- Tener una ficha técnica de los niveles de inspección a efectuar los mantenimientos preventivo o correctivo con su respectiva frecuencia y los parámetros o variables de funcionamiento del proceso en tiempo real.

La responsabilidad del mantenimiento de los transmisores, es del Departamento Eléctrico a cargo de Instrumentación. Existen dos factores que determinan el alcance de las reparaciones bajo estos 3 aspectos:

- Corrección de la causa de la falla por los que los transductores emiten valores fuera de los límites establecidos por los técnicos de mantenimiento de la planta.
- Sustitución o reparación del transductor que no cumpla con los criterios de inspección establecidos y definidos en el manual técnico.

- Se deben tener ciertas precauciones de limpieza y protección en la instalación para prevenir errores por fugas de corriente. Es frecuente que los cables que se encuentran en ambientes de humedad condensada se deterioren y se produzca un paso de corriente entre sí. Aunque sea mínima esta corriente de fuga, hará interpretar al lector un dato menor que el real. Estas fugas también se pueden ocurrir en óxido, el polvo que cubre los terminales eléctricos.

4.1 Mantenimiento del transductor de temperatura del vapor

Antes de realizar las acciones de mantenimiento preventivo o correctivo de la Pt100 RTD, existen agentes que producirían el incremento o disminución de la temperatura por lo que se recomienda diagnosticarlos ya que, si se toma una decisión errónea del cambio del transductor, no se cumpliría con los objetivos planteados por el área de manteamiento. Este cambio repentino de temperatura en el interior de la caldera puede causar efectos destructivos al material.

Entre las variables operativas que afectan a la temperatura del vapor tenemos:

- Sobrecarga. Cuando se incrementa la carga también incrementa la temperatura de los gases de combustión.
- Exceso de aire en la mezcla de combustión. Cuando aumenta la cantidad de aire que entra en los quemadores hay cambio en la cantidad de los gases de combustión por lo que aumenta la temperatura del vapor.
- Combustible. El cambio del tipo de combustible quemado y sus características también varían la temperatura del vapor.

Después de haber diagnosticado que el incremento de temperatura no es producto de dichas variables operativas se procede a realizar una verificación de instrumento para devolverlo al proceso en condiciones normales de funcionamiento, para lo cual hay que realizar su respectivo; desmontaje, análisis, limpieza y montaje. Los cuales se detallan en el siguiente banco de tareas.

Tabla 3. Ficha técnica detector térmico de resistencia

| | | | | |
|---|---|--|---|---|
|  | FACULTAD DE MECÁNICA OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN | | FRECUCENCIA | |
| | | | MENSUAL | |
| | | | TRIMESTRAL | X |
| | | | ANUAL | |
| CALDERO DEL LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR | | | | |
| CARACTERÍSTICAS | | | IMAGEN | |
| INSTRUMENTO | RTD Pt100 | |  | |
| MARCA | INGUIBRA | | | |
| SERIE | S/N | | | |
| VARIABLE A MEDIR | TEMPERATURA DEL VAPOR | | | |
| TEMPERATURA MÁX. | 450 °C | | | |
| PRESIÓN MÁXIMA | 150 psi | | | |
| VOLTAJE | 24 Vcc | | | |
| SEÑAL | OHMS/0-5 voltios | | | |
| TIPO | TRANSDUCTOR/ACONDICIONADOR | | | |

Fuente. Autores

4.1.1 Herramientas y equipos.

Kit de herramientas

- Llave de pico
- Multímetro

4.1.2 Materiales.

- Guaipe
- Teflón
- Lija 400
- Terminales eléctricos
- Cinta aislante

4.1.3 Equipos de seguridad

- Gafas

- Guantes
- Casco
- Zapatos de seguridad

4.1.4 *Procedimiento*

4.1.4.1 *Desmontaje*

- Equiparse del EPP adecuado.
- Ubicación física del transductor.
- Seleccionar las herramientas para el desmontaje del equipo y llenar protocolos de seguridad si son necesarios.
- Coordinar con el operario el desmontaje del equipo.
- Hacer marcaciones tanto en el instrumento como en la base, para recordar instalación inicial y su ubicación.
- Desconectar el transductor del acondicionador, solo realizado por instrumentistas de turno.
- Retirar la tapa de la caja de protección.
- Desconexión eléctrica de los terminales del transductor.
- Purgar línea de presión para asegurar que esta se encuentra despresurizada.
- Desconexión de la tubería.

Caldero apagado. Tiempo programado: 90 min.

4.1.4.2 *Mantenimiento*

- Realizar informe escrito detallado del estado en que encontró el instrumento e informar al supervisor de mantenimiento instrumentación.
- Determinar si es necesario el cambio del transductor, en caso de confirmar el cambio saltarse al paso de montaje caso contrario continuar con el siguiente ítem.
- Se realiza limpieza interna y externa al transductor con el guaípe.
- Lije el termopozo en el caso de ser necesario.
- Retirar residuos de teflón de la parte roscada del sensor y del accesorio de alojamiento del mismo.
- Lijar los contactos eléctricos, en caso de sulfataciones cambie los terminales.
- Compruebe continuidad en los conductores de entrada y salida de la tarjeta con los cables que se conectaban en los terminales del sensor.
- Soplete con aire que no sobre pase los 20 PSI.

Caldero apagado. Tiempo programado: 60 min

4.1.4.3 *Montaje.*

- Coordinar con el supervisor y con el operador el montaje del transductor.
- Conectar en la tubería con la caja de protección agregando teflón en el transductor para evitar filtraciones y fugas. (asegúrese de poner la arandela de fijación de la caja)
- Realizar la conexión eléctrica de los terminales del transductor.
- Poner la tapa de protección de la caja.

- Verificar que la válvula de la línea se encuentra cerrada.
- Colocar un sello con la fecha del mantenimiento con protección de plástico, en el caso de que exista llenar con datos reales.
- Hacer seguimiento con el operador de proceso al funcionamiento del transmisor con la tarjeta DAQ.

Caldero apagado. Tiempo programado: 90 min

4.2 Mantenimiento del transductor de temperatura de gases

Con la temperatura de los gases se puede indicar la eficiencia de la caldera ya que cuando la temperatura de los gases es muy alta es una manifestación de que la caldera está sucia o con incrustaciones, esta temperatura no debe sobre pasar a la temperatura del vapor en 83 grados Celsius.

Tabla 4. Ficha técnica detector térmico de resistencia para gases de combustión

| | | | | |
|---|---|--|---|---|
|  | FACULTAD DE MECÁNICA OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN | | FRECUCENCIA | |
| | | | MENSUAL | |
| | | | TRIMESTRAL | X |
| | | | ANUAL | |
| CALDERO DEL LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR | | | | |
| CARACTERÍSTICAS | | | IMAGEN | |
| INSTRUMENTO | RTD Pt100 | |  | |
| MARCA | INGUIBRA | | | |
| SERIE | S/N | | | |
| VARIABLE A MEDIR | TEMPERATURA DE GASES | | | |
| TEMPERATURA MÁX. | 450 °C | | | |
| PRESIÓN MÁXIMA | 150 psi | | | |
| VOLTAJE | 24 Vcc | | | |
| SEÑAL | OHMS/0-5v | | | |
| TIPO | TRANSDUCTOR/ACONDICIONADOR | | | |

Fuente: Autores

4.2.1 *Herramientas y equipos.*

- Kit de herramientas
- Llave de pico
- Multímetro

4.2.2 *Materiales.*

- Guaípe
- Teflón
- Lija 400
- Terminales eléctricos
- Cinta aislante

4.2.3 *Equipos de seguridad:*

- Gafas
- Guantes
- Casco
- Zapatos de seguridad

4.2.4 *Procedimiento*

4.2.4.1 *Desmontaje*

- Equiparse del EPP adecuado.
- Ubicación física del transductor.
- Seleccionar las herramientas para el desmontaje del equipo y llenar protocolos de seguridad si son necesarios.
- Coordinar con el operario el desmontaje del equipo.

- Hacer marcaciones tanto en el instrumento como en la base, para recordar instalación inicial y su ubicación.
- Desconectar el transductor del acondicionador, solo realizado por instrumentistas de turno.
- Retirar la tapa de la caja de protección.
- Desconexión eléctrica de los terminales del transductor.
- Desconexión de la tubería.

Caldero apagado, tiempo programado: 60 min

4.2.4.2 *Mantenimiento*

- Realizar informe escrito detallado del estado en que encontró el instrumento e informar al supervisor de mantenimiento instrumentación.
- Determinar si es necesario el cambio del transductor, en caso de confirmar el cambio saltarse al paso de montaje caso contrario continuar con el siguiente ítem.
- Se realiza limpieza interna y externa al transductor con el guaípe.
- Lije el termopozo en el caso de ser necesario.
- Retirar residuos de teflón de la parte roscada del sensor y del accesorio de alojamiento del mismo.
- Lijar los contactos eléctricos, en caso de sulfataciones cambie los terminales.
- Compruebe continuidad en los conductores de entrada y salida de la tarjeta con los cables que se conectaban en los terminales del sensor.
- Soplete con aire que no sobre pase los 20 PSI.

Caldero apagado, tiempo programado: 30 min

4.2.4.3 *Montaje*

- Coordinar con el supervisor y con el operador el montaje del transductor.
- Conectar en la tubería con la caja de protección agregando teflón en el transductor para evitar filtraciones y fugas. (asegúrese de poner la arandela de fijación de la caja)
- Realizar la conexión eléctrica de los terminales del transductor.
- Colocar un sello con la fecha del mantenimiento con protección de plástico, en el caso de que exista llenar con datos reales.
- Hacer seguimiento con el operador de proceso al funcionamiento del transductor con la tarjeta DAQ.

Caldero apagado, tiempo programado: 60 min

4.3 Mantenimiento del transductor de presión vapor

Este transmisor es de gran importancia ya que con una sobre presión fuera de los límites establecidos por las recomendaciones del fabricante, el recipiente puede romper o explotar produciendo daños catastróficos en su entorno, por tal razón se recomienda realizar un mantenimiento preventivo el mismo que se detalla a continuación.

Tabla 5. Ficha técnica del transductor de presión

| | | | | |
|---|---|--|---|---|
|  | <p align="center">FACULTAD DE MECÁNICA OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN</p> | | FRECUENCIA | |
| | | | MENSUAL | |
| | | | TRIMESTRAL | X |
| | | | ANUAL | |
| CALDERO DEL LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR | | | | |
| CARACTERÍSTICAS | | | IMAGEN | |
| INSTRUMENTO | TRANSMISOR DE PRESIÓN | |  | |
| MARCA | TURCK | | | |
| SERIE | PT200PSIG-13-LI3-H1131 | | | |
| VARIABLE A MEDIR | PRESIÓN DEL VAPOR | | | |
| TEMPERATURA MÁX. | 400 °C | | | |
| PRESIÓN MÁXIMA | 200 PSI | | | |
| VOLTAJE INPUT | 24 VDC | | | |
| CORRIENTE OUTPUT | 4 – 20 MA | | | |
| TIPO | TRANSDUCTOR | | | |

Fuente: Autores

4.3.1 *Herramientas y equipos.*

- Kit de herramientas
- Llave de pico
- Multímetro

4.3.2 *Materiales:*

- Guaipe
- Teflón
- Lija
- Terminales eléctricos
- Cinta aislante

4.3.3 *Equipos de seguridad*

- Gafas
- Guantes

- Casco
- Zapatos de seguridad

4.3.4 *Procedimiento*

4.3.4.1 *Desmontaje*

- Equiparse del EPP adecuado.
- Ubicación física del transmisor.
- Seleccionar las herramientas para el desmontaje del equipo y llenar protocolos de seguridad si son necesarios.
- Coordinar con el operario el desmontaje del equipo.
- Hacer marcaciones tanto en el instrumento como en la base, para recordar instalación inicial y su ubicación.
- Desconectar el transmisor en la tarjeta, solo realizado por instrumentistas de turno.
- Desconexión eléctrica y cierre de la válvula de bloqueo.
- Purgar línea antes de desmontar el transmisor para asegurar que esta se encuentra despresurizada.
- Desconexión de la tubería.

Caldero apagado. Tiempo programado: 60 min

4.3.4.2 *Mantenimiento.*

- Realizar informe escrito detallado del estado en que encontró el instrumento e informar al supervisor de mantenimiento instrumentación.

- Se realiza limpieza interna y externa al transmisor con el guaípe.
- Retirar residuos de teflón de la parte roscada del sensor y del accesorio de alojamiento del mismo.
- Lijar los contactos eléctricos, en caso de sulfataciones cambie los terminales.
- Compruebe continuidad en los conductores de entrada y salida de la tarjeta con los cables que se conectaban en los terminales del sensor.
- Medir el valor de resistencia en la tarjeta que se coloca en serie con la señal del transductor.
- Soplete con aire que no sobre pase los 20 PSI.

Caldero apagado. Tiempo programado: 90 min.

4.3.4.3 *Montaje.*

- Coordinar con el supervisor y con el operador el montaje del transmisor.
- Agregar agua a la tubería para la protección del transmisor
- Conectar en la tubería agregando teflón en el transmisor para evitar filtraciones y fugas.
- Realizar la conexión eléctrica del transmisor señal 4 a 20 miliamperios en el I/A.
- Abrir la válvula de bloqueo.
- Colocar un sello con la fecha del mantenimiento con protección de plástico.
- Hacer seguimiento con el operador de proceso al funcionamiento del transductor con la tarjeta DAQ NI USB 6009.

Caldero apagado. Tiempo programado: 60 min.

4.4 Mantenimiento del transductor de nivel.

El nivel de agua debe mantenerse en una referencia de acuerdo a las recomendaciones y especificaciones del fabricante de la caldera, de esta manera se garantiza una operación segura y evita acciones peligrosas, por tal motivo se requiere de un control para que con la señal del nivel de agua se realice las siguientes acciones:

Encendido y apagado de la bomba de alimentación de agua.

Control de corte del quemador por bajo nivel de agua.

El método que hemos utilizado para realizar el control de nivel en la caldera es a través del sensor capacitivo el cual se indica en el panel frontal para control y monitoreo desde la computadora, se recomienda revisar los siguientes sistemas.

Tabla 6. Ficha técnica transductor de nivel

| | | | | |
|---|---|--|---|---|
|  | FACULTAD DE MECÁNICA OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN | | FRECUCENCIA | |
| | | | MENSUAL | |
| | | | TRIMESTRAL | X |
| | | | ANUAL | |
| CALDERO DEL LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR | | | | |
| CARACTERÍSTICAS | | | IMAGEN | |
| INSTRUMENTO | TRANSMISOR DE NIVEL | |  | |
| MARCA | DINEL | | | |
| SERIE | CLM36NT-22 | | | |
| VARIABLE A MEDIR | NIVEL DE AGUA | | | |
| TEMPERATURA MÁX. | 200 °C | | | |
| PRESIÓN MÁXIMA | 30°C – 6MPA | | | |
| VOLTAJE | 24 VDC | | | |
| SEÑAL | 4 – 20 MILIAMPERIOS | | | |
| TIPO | TRANSDUCTOR/TRANSMISOR | | | |

Fuente: Autores

4.4.1 *Herramientas y equipos.*

- Kit de herramientas
- Llave de pico de 8 pulgadas
- Llave de tubo de 8 pulgadas
- Juego de destornilladores
- Multímetro

4.4.2 *Materiales*

- Guaipe
- Teflón
- Lija
- Terminales eléctricos
- Cinta aislante

4.4.3 *Equipos de seguridad*

- Gafas
- Guantes
- Casco
- Zapatos de seguridad

4.4.4 *Procedimiento*

4.4.4.1 *Desmontaje*

- Equiparse del EPP adecuado.
- Ubicación física del transmisor.
- Seleccionar las herramientas para el desmontaje del equipo y llenar protocolos de seguridad si son necesarios.

- Coordinar con el operario el desmontaje del equipo.
- Hacer marcaciones tanto en el instrumento como en la base, para recordar instalación inicial y su ubicación.
- Desconectar el transmisor en la tarjeta, solo realizado por instrumentistas de turno.
- Realizar la desconexión eléctrica y cierre de la válvula de bloqueo.
- Purgar línea antes de desmontar el transmisor para asegurar que esta se encuentra despresurizada.
- Desconexión de la tubería.
- Colocar un tapón en el alojamiento del sensor para evitar ingreso de algo no deseado en el interior de la caldera.

Caldero apagado. Tiempo programado: 60 min.

4.4.4.2 *Mantenimiento*

Durante las actividades de mantenimiento del transmisor se debe procurar hacerlo con cuidado cualquier golpe, rayón o movimiento brusco puede ocasionar daños graves; si es posible cubra la sonda con cinta aislante, no utilizar lija ni derivados de crudo para remover residuos.

- Realizar informe escrito detallado del estado en que encontró el instrumento e informar al supervisor de mantenimiento instrumentación.
- Se realiza limpieza interna y externa al transmisor con el guaípe.
- Retirar residuos de teflón de la parte roscada del sensor y del accesorio de alojamiento del mismo.
- Lijar los contactos eléctricos, en caso de sulfataciones cambie los terminales.

- Compruebe continuidad en los conductores de entrada y salida de la tarjeta con los cables que se conectaban en los terminales del sensor.
- Mida el valor de resistencia en la tarjeta que se coloca en serie con la señal del transductor.
- Soplete los contactos con aire que no sobre pase los 20 PSI.

Caldero apagado, tiempo programado: 90 min.

4.4.4.3 *Montaje*

- Se coordinar con el supervisor y con el operador el montaje del transductor.
- Cambiar la empaquetadura.
- Conectar en la tubería agregando teflón en el transmisor para evitar filtraciones y fugas.
- Realizar la conexión eléctrica del transmisor señal 4 a 20 mA en el I/A.
- Abrir la válvula de bloqueo.
- Colocar un sello con la fecha del mantenimiento con protección de plástico.
- Hacer seguimiento con el operador de proceso al funcionamiento del trasmisor con la tarjeta DAQ.

Caldero apagado. tiempo programado: 60 min.

4.5 Mantenimiento del transductor de presión de atomización de la mezcla aire-combustible

Este instrumento permitirá verificar la presión de la mezcla a través de la aplicación diseñada en LabVIEW, pudiéndose mostrar la presión de la mezcla aire-combustible que ingresa al bloque de distribución del quemador.

Tabla 7. Ficha de datos del transductor de presión de atomización

| | | | | |
|---|---|--|--|---|
|  | FACULTAD DE MECÁNICA OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN | | FRECUENCIA | |
| | | | MENSUAL | |
| | | | TRIMESTRAL | X |
| | | | ANUAL | |
| CALDERO DEL LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR | | | | |
| CARACTERÍSTICAS | | | IMAGEN | |
| INSTRUMENTO | TRANSMISOR DE PRESIÓN | |  | |
| MARCA | DANFOSS | | | |
| SERIE | AKS 2050 | | | |
| VARIABLE A MEDIR | PRESIÓN DE ATOMIZACIÓN | | | |
| TEMPERATURA MÁX. | 120 C | | | |
| PRESIÓN MÁXIMA | 25 BAR | | | |
| VOLTAJE | 4-8V VDC | | | |
| SEÑAL | 10%-90% Vin | | | |
| TIPO | TRANSMISOR | | | |

Fuente: Autores

4.5.1 Herramientas y equipos.

- Kit de herramientas
- Llave de pico de 8 pulgadas
- Llave de tubo de 8 pulgadas
- Juego de destornilladores
- Multímetro

4.5.2 Materiales

- Guaipe
- Teflón

- Lija
- Terminales eléctricos
- Cinta aislante

4.5.3 *Equipos de seguridad*

- Gafas
- Guantes
- Casco
- Zapatos de seguridad

4.5.4 *Procedimiento*

4.5.4.1 *Desmontaje*

- Equiparse del EPP adecuado.
- Ubicación física del transmisor.
- Seleccionar las herramientas para el desmontaje del equipo y llenar protocolos de seguridad si son necesarios.
- Coordinar con el operario el desmontaje del equipo.
- Hacer marcaciones tanto en el instrumento como en la base, para recordar instalación inicial y su ubicación.
- Desconectar el transmisor en la tarjeta, solo realizado por instrumentistas de turno.
- Realizar la desconexión eléctrica y cierre de la válvula de bloqueo.
- Colocar un tapón en el alojamiento del sensor para evitar ingreso de algo no deseado en el interior de la tubería de ingreso de aire.

Caldero apagado. Tiempo programado: 60 min.

4.5.4.2 *Mantenimiento*

Durante las actividades de mantenimiento del transmisor se debe procurar hacerlo con cuidado por cualquier golpe, y proteger el orificio del sensor para evitar el ingreso de partículas extrañas al interior.

- Realizar informe escrito detallado del estado en que encontró el instrumento e informar al supervisor de mantenimiento instrumentación.
- Se realiza limpieza interna y externa al transmisor con el guaípe.
- Retirar residuos de teflón de la parte roscada del sensor y del accesorio de alojamiento del mismo.
- Lijar los contactos eléctricos, en caso de sulfataciones cambie los terminales.
- Compruebe continuidad en los conductores de entrada y salida de la tarjeta con los cables que se conectaban en los terminales del sensor.
- Soplete los contactos con aire que no sobre pase los 20 PSI.

Caldero apagado, tiempo programado: 90 min.

4.5.4.3 *Montaje*

- Se coordinar con el supervisor y con el operador el montaje del transmisor.
- Conectar en la tubería agregando teflón en el transmisor para evitar filtraciones y fugas.
- Realizar la conexión eléctrica del transductor con la tarjeta de adquisición de datos.
- Abrir la válvula de bloqueo.

- Colocar un sello con la fecha del mantenimiento con protección de plástico.
- Hacer seguimiento con el operador de proceso al funcionamiento del transmisor con la tarjeta DAQ.

Caldero apagado. tiempo programado: 60 min.

4.6 Mantenimiento del tablero de control.

En el tablero de control se encuentran alojados los equipos necesarios para la adquisición de datos, se debe tener mucho cuidado al momento de realizar las tareas de mantenimiento y antes de empezar se debe revisar los planos de las conexiones eléctricas del tablero y los transmisores.

Tabla 8. Ficha del tablero de control

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | FACULTAD DE MECÁNICA OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TABLERO DE CONTROL DE INSTRUMENTACIÓN | FRECUENCIA | |
| | | MENSUAL | |
| | | TRIMESTRAL | |
| | | ANUAL | X |
| CALDERO DEL LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR | | | |
| CARACTERÍSTICAS | | IMAGEN | |
| Equipos | <ul style="list-style-type: none"> • Acondicionar de la temperatura del vapor • Acondicionador de temperatura de los gases de la chimenea • Tarjeta NI USB 6009 • Fuente de 12 voltios • Bornera de resistencias • Bornera de voltajes |  | |
| VARIABLE A MEDIR | <ul style="list-style-type: none"> • Continuidad • Voltaje AC • Voltaje DC | | |

Fuente: Autores

4.6.1 *Herramientas y equipos.*

- Kit de herramientas
- Multímetro

4.6.2 *Materiales*

- Brocha
- Terminales eléctricos
- Cinta aislante

4.6.3 *Equipos de seguridad*

- Gafas
- Guantes
- Casco
- Zapatos de seguridad

4.6.4 *Procedimiento*

4.6.4.1 *Desmontaje*

- Equiparse del EPP adecuado.
- Ubicación física del tablero de control de instrumentación
- Coordinar con el operario para la apertura del tablero
- Abrir la fuente de 110 V, a través del fusible
- Desconecta el cable USB de la tarjeta

Caldero apagado. Tiempo programado: 30 min.

4.6.4.2 *Mantenimiento*

- Realizar informe escrito detallado del estado en que encontró el tablero de control de instrumentación e informar al supervisor de mantenimiento
- Se realiza limpieza interna y externa al del tablero con la brocha.
- Abrir las canaletas de los conductores.
- Retirar o cambiar residuos de cinta aislante en caso de que sea necesario.
- Lijar los contactos eléctricos, en caso de sulfataciones cambie los terminales.
- Compruebe continuidad en los conductores de entrada y salida de la tarjeta con los cables que se conectaban en los terminales del sensor.
- Mida el valor de resistencia de la bornera, alrededor de 470 Ohm.
- Soplete los contactos con aire que no sobre pase los 20 PSI.

Caldero apagado, tiempo programado: 60 min.

4.6.4.3 *Montaje*

- Coloque las tapas de las canaletas.
- Conecte el cable USB
- Verificar que la bornera este haciendo contacto con la palca de resistencias.
- Colocar un sello con la fecha del mantenimiento con protección de plástico.

Caldero apagado. tiempo programado: 15 min.

CAPÍTULO V

5. GUÍA DE PRÁCTICAS PARA CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la realización de prácticas se elaboraron guías con la finalidad de que los estudiantes puedan comprobar el funcionamiento del sistema tanto de adquisición de datos, como del funcionamiento del caldero.

Hay que tomar en cuenta que para cualquier práctica dentro del Laboratorio de Generación de vapor se debe usar equipos de protección personal, así como tener precaución y seguir las recomendaciones de trabajos anteriores realizados.

Guía de Laboratorio práctica 1

|  | | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA | | | | | | | |
|---|-----------------|---|---|---------------------|--|-----------------|--|-----------------------------------|--|
| LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR | | | | | | | | | |
| Nº PRACTICA | TIEMPO ESTIMADO | TEMA | ASIGNATURA | | | | | | |
| 01 | 120 min | CONTROL Y MONITOREO DE LAS VARIABLES DEL FUNCIONAMIENTO DEL CALDERO DESDE LA COMPUTADORA | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">GENERACIÓN DE VAPOR</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>INSTRUMENTACIÓN</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA</td> </tr> </table> | GENERACIÓN DE VAPOR | | INSTRUMENTACIÓN | | CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA | |
| GENERACIÓN DE VAPOR | | | | | | | | | |
| INSTRUMENTACIÓN | | | | | | | | | |
| CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA | | | | | | | | | |
| <p>Advertencia: Antes de la manipulación y la aplicación de esta guía de laboratorio, utilizar el EPP individual como también estar acompañado por algún técnico guía encargado del laboratorio.</p> | | | | | | | | | |
| <p>OBJETIVOS</p> <p>Objetivo general:</p> <p>Controlar y monitorear las variables de funcionamiento del caldero desde la PC.</p> <p>Objetivo específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • _____ | | | | | | | | | |

-
-
- _____

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Equipos:

- Multímetro
- Computadora PC

Herramientas:

- Juego de destornilladores
- Llave del tablero de instrumentación

PROCEDIMIENTO:

Pasos y verificación de los diferentes sistemas de suministros del caldero.

- Las personas que van a operar el caldero deben estar familiarizados con el manual de seguridad para la operación y mantenimiento del caldero, y cumplir las recomendaciones ahí descritas.
- Abrir las válvulas de suministro de agua.
- Abrir las válvulas de suministro de combustible. (La válvula de la bomba de combustible abrir 7 revoluciones completas).
- Abrir las válvulas del sistema de ablandamiento.
- Verificar que la válvula de paso del tanque de condensado hacia el caldero se encuentre abierta.
- Verificar que la válvula de la línea principal de vapor del distribuidor se encuentre cerrada.
- Abrir las válvulas de purga durante unos 30 segundos para que pueda evacuar los sólidos que se encuentran en el asiento de la caldera, y nuevamente cerrar.
- Mirar que el nivel de combustible sea el necesario para poder arrancar el caldero.
- En el tablero de control activar los dos primeros breakers, y verificar que se haya encendido la bomba del sistema de suministro y la bomba del tanque de condensado.
- Esperar hasta que se desactive la bomba del tanque de condensado automáticamente y verificar en el visor de nivel de agua que se encuentre el agua en el límite adecuado.
- Verificar que no haya fuga de ningún tipo de líquido.
- Verificar que el dámper se encuentre abierto para que ingrese aire.
- Verificar que no se encuentre personal muy cerca del caldero o de sus sistemas auxiliares.
- Observar que en el tablero del caldero se encuentre encendido el controlador.
- Cerrar el dámper de entrada de aire.
- Poner en modo ON PC al selector principal del tablero del caldero.

Encendido desde el pc

- Encender la computadora y verificar que el cable USB de la tarjeta se encuentre conectada.
- Pulsar la porta fusible de la caja de instrumentación, hasta verificar que la luz piloto verde de la tapa se encuentre encendida, esto garantizara que los instrumentos están energizados.
- Después de 5 minutos, abrir el icono SCADA CALDERO que se encuentra en la venta principal de Windows.
- Verificar que los valores de los indicadores sean coherentes al contexto operación, en caso de no ser así, verificar que la BORNERA del tablero de instrumentación se encuentre haciendo contacto con la placa de las resistencias, en caso de ser necesario revisar los contactos del transductor que se encuentre emitiendo una señal incorrecta.

- En el panel frontal del programa, dirigir al recuadro de color verde e identificar el interruptor grafico ENCENDIDO, dar un clic sobre dicho control hasta que cambie a la posición ON.
- Después de los 30 segundos de operación del controlador, verificar por medio del visor del quemador, que haya presencia de chispa en los electrodos y posteriormente de llama.
- Poco a poco ir cerrando la válvula de paso de combustible del quemador hasta que se establezca la presión en el quemador entre 16 y 18 psi. O verificar que la presión no descienda demasiado para que no se apague la llama.
- Verificar en la chimenea que sea imperceptible los gases emitidos por el caldero.
- Esperar que el caldero llegue a los 52 psi de presión, y verificar que este se apague automáticamente.
- Verificar que los indicadores den valores gradualmente de las variables de funcionamiento.
- Si se descarga la presión del caldero a un valor establecido de presión, este se debe encender automáticamente, y apagarse nuevamente a los 52 psi.
- En caso de algún fallo del presostato, el trasmisor de presión mandar a apagar al caldero en los 60 psi.

Apagado del caldero

- Si ya se desea apagar el caldero, ésta debe estar cargada de vapor en un rango entre 30 y 50 psi, y ahí proceder a poner en modo OFF al selector de la caldera.
- Cerrar el dámper de entrada de aire.
- Cerrar la válvula de la línea principal de vapor.
- Cerrar la válvula del sistema de ablandamiento.
- Cerrar la válvula de suministro de combustible
- Cerrar la válvula de suministro de agua.
- Desactivar los breakers que se encuentran encendidos.

CONCLUSIONES

- Hemos controlado y monitoreado las variables de funcionamiento del caldero desde la PC.
- _____
- _____
- _____
- _____

RECOMENDACIONES:

- _____
- _____
- _____

Fuente: Autores

Guía de laboratorio práctica 2

|  | | ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA | |
|--|-----------------|--|---|
| | | LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR | |
| N° PRACTICA | TIEMPO ESTIMADO | TEMA | ASIGNATURA |
| 02 | 120 min | ADQUISICIÓN DE DATOS Y GENERACIÓN DE REPORTES. | GENERACIÓN DE VAPOR INSTRUMENTACIÓN |
| | | | CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA |
| <p>Advertencia: Antes de la manipulación y la aplicación de esta guía de laboratorio, utilizar el EPP individual como también estar acompañado por algún técnico guía encargado del laboratorio.</p> | | | |
| <p>OBJETIVOS</p> <p>Objetivo general:</p> <p>Adquirir los datos de funcionamiento y generar automáticamente un reporte desde LabVIEW con los datos de las variables físicas de la caldera.</p> <p>Objetivo específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • _____ _____ • _____ _____ | | | |
| <p>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</p> <p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Multímetro • Computadora <p>Herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Juego de destornilladores • Llave del tablero de instrumentación | | | |
| <p>PROCEDIMIENTO:</p> | | | |

- Revisar el funcionamiento correcto de los elementos tanto componentes del caldero como los del tablero de instrumentación.
- Verificar que los valores mostrados en el panel frontal sean coherentes a la realidad.

ADQUISICIÓN DE DATOS

- Para iniciar la adquisición de datos es necesario ubicarse en el panel frontal, y dar clic sobre el botón que se encuentra debajo de un cuadro de texto con la palabra adquisición, verificar que cambie el texto del interior desactivado/activado.
- Verificar que se encienda un led indicador en la parte inferior derecha, mientras este se encuentre encendido se guardaran todos los datos tomados por la tarjeta.
- Los datos se guardarán desde el momento de inicio o ejecución del software hasta el momento de dar clic en el botón stop.
- El archivo se guardará en la carpeta LabVIEW data misma que se encuentra en mis documentos.
- Al ejecutar el archivo con extensión TDMS se ejecutará una ventana de Microsoft Excel con dos hojas de calculo
- Revisar la primera hoja de cálculo y verificar los datos del usuario e información general del muestreo.
- Revisar la segunda hoja de cálculo y verificar los datos obtenidos, estos pueden estar en grandes o pequeñas cantidades de acuerdo al tamaño de muestras por segundo configurado en el asistente de adquisición de datos.

Generación de un reporte de datos desde LabVIEW.

- Una vez en funcionamiento en el panel frontal del sistema de adquisición de datos se comenzará a mostrar valores.
- Mientras la caldera este encendida dichos valores irán cambiando conforme vaya pasando el tiempo hasta que llegar a los límites de operación de la caldera.
- Para generar un reporte automáticamente únicamente hay que detener el instrumento virtual mediante el botón STOP del panel frontal y se abrirá un archivo en Microsoft Word con los datos, en tablas y gráficas.
- El reporte generado se verifica que se encuentre correcto y se lo guarda en la computadora.

CONCLUSIONES

- Hemos adquirido datos y generado reportes del funcionamiento de la caldera.
- _____
- _____
- _____
- _____

RECOMENDACIONES:

- _____
- _____
- _____

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se diseñó e implementó un sistema SCADA con una interfaz gráfica en LabVIEW, para controlar y monitorear las condiciones de funcionamiento del caldero del laboratorio de Generación de vapor de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, datos que se almacenarán en el computador.

Se realizaron las pruebas y mediciones necesarias, para verificar la funcionalidad del sistema de generación de vapor y seleccionar los transductores apropiados para el proceso tomando en consideración el contexto operacional del mismo.

Se conoció las características de funcionamiento y aplicaciones de la tarjeta DAQ NI USB 6009, como también de los diferentes instrumentos para medición de las variables físicas, a través de las hojas de detalles técnicos de cada uno, los mismos que fueron necesarios para la adquisición de datos.

Se implementaron los equipos en el proceso de generación de vapor con sus respectivas protecciones físicas como también eléctricas para evitar daños a los mismos. Tomando en cuenta las características de calibración y escalamientos de los equipos.

Se elaboró un banco de tareas para el mantenimiento preventivo de los equipos que conforman el sistema de monitoreo y control de las variables de funcionamiento del caldero.

Por último, se concluye también que los calderos son máquinas muy comunes en la industria y por las grandes cantidades de energía que generan necesitan un monitoreo continuo de sus variables de funcionamiento, por el cual nosotros como ingenieros de mantenimiento debemos analizar e interpretar dichas variables para generar planes de mantenimiento eficientes.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda hacer siempre un análisis de los datos emitidos durante el funcionamiento de la caldera, para crear curvas de tendencia e identificar fallos potenciales o hacer una comparación de eficiencia térmica del vapor con la del humo de la chimenea.

Recomendamos la aplicación de la automatización de los diferentes sistemas y suministros del caldero de la Facultad de Mecánica para elevar y garantizar la seguridad del operador, optimizando el aprendizaje técnico científico de los alumnos.

Recomendamos la realización del mantenimiento periódicamente a los sistemas de instrumentación con los bancos de tareas que se exponen en el capítulo 4.

Recomendamos utilizar el sistema de encendido a través de la aplicación desarrollada en el computador, para la generación de reportes cada vez que se encienda el caldero y sea más evidente cada uno de los parámetros o variables de funcionamiento del caldero.

BIBLIOGRAFÍA.

COOPER, William; & Helfrick, Albert. *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición.* México: Pearson Educación.1991. pp. 339-382.

GARCÍA MORA, Félix; & REDROBÁN QUIRÓZ, Cristian. “*PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) DEL CALDERO PIROTUBULAR DE LA FACULTAD DE MECÁNICA*”. (Tesis). (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de ingeniería de Mantenimiento, Riobamba-Ecuador. 2015. pp.14-20.

A.L.T., Ingeniería. *Manual 4-sistemas de seguridad en calderas.* [En línea], José Martín Meza Cabillas. 30 de Mayo de 2013. [Citado el: 22 de Noviembre de 2016.]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/95239536/Manual-4-Sistema-de-Seguridad-en-Calderas>.

KOHAN, Anthony. *Manual de calderas.* Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, 2000. pp. 15-82

LAJARA VIZCAÍNO, Jose Rafael; & PELEGRÍ SEBASTIÁ, José. *LabVIEW. Entorno gráfico de programación.* Barcelona Marcombo, 2007. pp.3-11;161-176

LARREA MOREANO, Ángel. “*DESARROLLO DE UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN CON LabVIEW, PARA EL ENCENDIDO Y MONITOREO DE LAS VARIABLES DEL CALDERO DE LA FACULTAD DE MECÁNICA*”. (Tesis): (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, Riobamba- Ecuador. 2012.pp. 7-29

NATIONAL INSTRUMENTS. *Data acquisition.* [En línea] National Instruments Corporation, 2016. [Citado el: 29 de Junio de 2016.]. Disponible en: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>.

PÉREZ GARCÍA, Miguel. *Instrumentación electrónica.* Madrid. Paraninfo, 2014. pp.205.

PÉREZ, Mario. *Instrumentos de control para calderas.*[En línea]. Mario Pérez. 06 de Junio de 2009. [Citado el: 04 de Julio de 2016.]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/mariope67/instrucurso>.

RAMÍREZ, Ángel. *Accesorios de control de calderas.* Riobamba. 2016.

RAMÍREZ, Ángel. *Fundamentos de calderas.* Riobamba. 2016.

RAMÍREZ, Ángel. *Curso de Distribución de vapor.* Riobamba. 2012.

RAMÍREZ, Ángel. *Partes de la caldera.* Riobamba.2016.

RODRÍGUEZ PENIN, Aquilino. *Sistemas SCADA.* Barcelona: Marcombo, 2007.pp

SANZ DEL AMO, Manuel; & PATIÑO, María. *Manual práctico del operador de calderas industriales.* Madrid: Paraninfo, 2014.pp.19-49

SEGOVIA SEGOVIA, Carlos; & BAUTISTA BAUTISTA, Jorge. *DESARROLLO DE UN SOFTWARE DE SIMULACIÓN CON LabVIEW, PARA EL ENCENDIDO Y MONITOREO DE LAS VARIABLES DEL CALDERO DE LA FACULTAD DE MECÁNICA*".(Tesis).(Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, Riobamba-Ecuador. 2010.pp. 3-51.

ANEXOS.