

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecatrónica



**“Monitoreo de la caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la
Universidad del Valle de Guatemala”**

Trabajo de graduación presentado por Andy Haroldo Macz Sosa para optar al
grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica.

Guatemala
2013

**“Monitoreo de la caldera del Laboratorio de
Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de
Guatemala”**


Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecatrónica

**“Monitoreo de la caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la
Universidad del Valle de Guatemala”**


**Trabajo de graduación presentado por Andy Haroldo Macz Sosa para optar
al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica.**

Guatemala
2013


Vo. Bo.:

(f) 
Ing. Julio Vásquez

Tribunal

(f) 
Ing. Julio Vásquez

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 
Ing. Roberto Delgado

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de junio de 2013

PREFACIO

La elaboración del presente trabajo de graduación surgió de la idea de trabajar con la automatización de algún equipo en alguna empresa nacional, pero como los proyectos de automatización son hechos por las empresas usualmente con personal interno o con empresas extranjeras, es complicado que se permita que algún estudiante haga una automatización de equipos críticos como tesis. Por lo que se tenía pensado trabajar la automatización de manera teórica y si el proyecto era aprobado por la empresa, poderlo realizar.

Gracias a que Cristian García y Moisés Vásquez, trabajadores del Laboratorio de Ingeniería Química, me comentaron de la oportunidad de trabajar un proyecto que no se había concluido en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, el proyecto denominado “Cuarta fase de la automatización del Laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala” pasó a ser mi trabajo de graduación “Monitoreo de la Caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala”.

Ya que no se cuenta con la instrumentación necesaria para que el proceso de la recolección de datos sea completamente automático, es necesario realizar la recolección de datos con instrumentos externos para la tabulación de las variables medidas en la caldera y que los resultados obtenidos se ingresen manualmente para realizar los cálculos.

Este proyecto no lo hubiera podido llevar a cabo si no fuera por la ayuda incondicional que me dieron mis padres, desde el apoyo emocional hasta el apoyo económico en el transcurso de mi carrera universitaria. Ya que tuve la oportunidad de estudiar sin tener que sufragar los gastos y en momentos difíciles de la carrera, mi madre siempre me alentó a seguir adelante y luchar aun cuando uno cree que las cosas están perdidas.

ÍNDICE

PREFACIO	v
LISTADO DE FIGURAS	viii
LISTADO DE TABLAS	xii
RESUMEN.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	2
A. Objetivo general	2
B. Objetivos específicos.....	2
III. MARCO TEÓRICO.....	3
A. Generalidades de una caldera.....	3
B. Sensores	5
C. PLC (Programmable Logic Controller).....	9
D. Software HMI (Interfaz Hombre Máquina).....	12
IV. DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA	15
V. METODOLOGÍA	16
VI. PROCESO DE MONITOREO	17
A. Instalación de tubería y cableado.....	17
B. Resultados	18
C. Discusión.....	22
D. Instalación de sensores.....	23
E. Discusión.....	43
VII. PLC (Programmable Logic Controller)	46
A. Calibración de sensores.....	48
B. Discusión.....	58
VIII. PROGRAMA HMI.....	61
A. HMI Factory Talk View	61
B. Resultados	63

C. Discusión.....	67
IX. HISTORIAL DE DATOS EXCEL	69
A. Programación historial de Excel	69
B. Resultados	70
C. Discusión.....	72
X. CONCLUSIONES	73
XI. RECOMENDACIONES	75
XII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	76
XIII. BIBLIOGRAFÍA ESCOGIDA	79
XIV. APÉNDICE	80
A. Comunicación del PLC	80
B. Programación PLC	84
C. Conexión con el programa HMI	88
D. Manual de usuario para ingresar al programa de Microsoft Excel.....	89
E. Manual de usuario para ingresar al programa HMI.	94
F. Manual de usuario para calibrar los sensores.	98
G. Especificaciones de sensores	105
H. Muestras de corrida.....	111
XVI. PROGRAMA DE EXCEL [24]	122

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Caldera Piro tubular (Fuente: Caballano)	5
Figura 2: Repetitividad en la toma de datos	8
Figura 3: Diagrama de funcionamiento del PLC [14]	10
Figura 4: Vista Isométrica de cuarto de caldera. Elaboración propia.....	17
Figura 5: Vista Isométrica tubería anaranjada para conexiones de sensores. ...	18
Figura 6: Vista Isométrica tubería azul para conexiones de sensores.....	18
Figura 7: Vista Isométrica numeración de tubería.	19
Figura 8: Tubería instalada que proviene de panel	20
Figura 9: Caja de registro cuadrada	21
Figura 10: Caja de registro rectangular parte superior	21
Figura 11: Caja de registro rectangular parte inferior	22
Figura 12: Diagrama de conexión de sensores de 2, 3 y 4 hilos.[17]	24
Figura 13: Diagrama de conexión sensor de velocidad de aire [18]	25
Figura 14: Instalación sensor de velocidad de aire.....	25
Figura 15: Sensor de velocidad de aire [18]	25
Figura 16: Sensor de velocidad de aire instalado.....	26
Figura 17: Diagrama de conexión sensor flujo de agua [19]	27
Figura 18: Instalación sensor flujo de agua	27
Figura 19: Sensor de flujo de agua.....	28
Figura 20: Sensor de flujo de agua instalado	28
Figura 21: Diagrama de conexión sensor presión diferencial (Nivel) [20].....	29
Figura 22: Instalación sensor presión diferencial (Nivel)	29
Figura 23: Sensor de presión diferencial	29
Figura 24: Sensor de presión diferencial (nivel de combustible)	30
Figura 25: Sensor de presión diferencial (nivel de condensados)	30
Figura 26: Diagrama de conexión sensor de flujo de vapor (tipo Vortex) [21]	31
Figura 27: Instalación sensor de flujo de vapor (tipo Vortex).....	31
Figura 28: Sensor de flujo de vapor.....	31
Figura 29: Sensor de flujo de vapor instalado	32
Figura 30: Diagrama de conexión sensor de conductividad [22]	32
Figura 31: Instalación de sensor de conductividad.....	33
Figura 32: Sensor de conductividad	33
Figura 33: Sensor de conductividad instalado.....	33
Figura 34: Diagrama de conexión transmisor de conductividad [22]	34
Figura 35: Instalación transmisor de conductividad.....	34
Figura 36: Diagrama de conexión sensor de presión [23]	35
Figura 37: Instalación sensor de presión.....	36

Figura 38: Sensor de presión interna de caldera.....	36
Figura 39: Sensor de presión interna de la caldera instalado.....	36
Figura 40: Termocopla tipo K roscada.....	37
Figura 41: Termocopla tipo K roscada instalada	37
Figura 42: Termocopla tipo K roscada.....	38
Figura 43: Termocopla tipo K roscada instalada	38
Figura 44: Termocopla adhesiva tipo K.....	39
Figura 45: Vista isométrica posición de sensores1, 2, 3, 5, 6, 8 y 12.....	41
Figura 46: Vista isométrica posición de sensores 4, 7, 9, 10 y 11.....	41
Figura 47: Diagrama de instrumentación.....	42
Figura 48: Configuración módulo de entradas analógicas.....	46
Figura 49: configuración entradas de termocopla.....	47
Figura 50: Creación de la variables tipo float.....	47
Figura 51: Modulo SCP (scale with parameters)	48
Figura 52: Corriente del circuito 4.02 mA	49
Figura 53: Conversión del PLC 6175.....	49
Figura 54: Corriente 19.49 mA	50
Figura 55: Conversión del PLC 29938.....	50
Figura 56: Corriente sensor de condensado	50
Figura 57: Conversión del PLC.....	51
Figura 58: Corriente sensor de condensado	51
Figura 59: Conversión del PLC.....	51
Figura 60: Gráfica de datos obtenidos del PLC vs. presión de la caldera	52
Figura 61: Módulo parametrizado para la variable de presión de caldera	53
Figura 62: Bloque de comparación mayor que	53
Figura 63: Nivel de tanque de combustible vs. datos del PLC	54
Figura 64: Sensor de temperatura comparado con termómetro	54
Figura 65: Temperatura °C (Termómetro de mercurio) vs datos del PLC	55
Figura 66: Gráfica de valores obtenidos a mano y del PLC sensor de nivel de presión.	56
Figura 67: Gráfica de valores obtenidos a mano y del PLC del sensor de nivel de combustible.	56
Figura 68: Gráfica de valores obtenidos a mano y del PLC del sensor de temperatura de superficie.	57
Figura 69: Gráfica de valores obtenidos a mano y del PLC del sensor de temperatura de gases de chimenea.	57
Figura 70: Nueva pantalla de interfaz gráfica	61
Figura 71: Librerías de objetos para interfaz gráfica	61
Figura 72: Tipos de animación para los objetos	62
Figura 73: Configuración de la animación del objeto.....	62

Figura 74: Selección de variable a vincular con el objeto	62
Figura 75: Diagrama de funcionamiento del programa HMI	63
Figura 76: Pantalla principal programa HMI.	64
Figura 77: Pantalla con todas la variables.	64
Figura 78: Pantalla con variables de la caldera.	65
Figura 79: Pantalla con variables de combustible.	65
Figura 80: Pantalla con variables de agua.	66
Figura 81: Pantalla con gráficos de condensado, presión y combustible vs tiempo.	66
Figura 82: Configuración del DDE/OPC	69
Figura 83: comunicación entre el PLC y aplicación creada en RSLogix 500.....	69
Figura 84: Pantalla de Excel para compilación de variables	70
Figura 85: Ejemplo de recolección de datos.....	71
Figura 86: Configuración de RSLinx Classic	80
Figura 87: Configuración del controlador.....	80
Figura 88: Configuración del dispositivo	81
Figura 89: pestaña de comunicación.....	81
Figura 90: Comunicación con el controlador seleccionado	82
Figura 91: Descargar el programa al PLC	82
Figura 92: Configuración del canal de comunicación	82
Figura 93: Asignación de nueva dirección IP	83
Figura 94: Reconfiguración de la conexión del PLC.....	83
Figura 95: Dirección IP de la Computadora y del controlador	84
Figura 96: Conexión de Ethernet exitosa	84
Figura 97: Selección del PLC	85
Figura 98: Características del PLC 1763-L16AWA [17].....	85
Figura 99: PLC Micrologix 1100 1763-L16AWA	85
Figura 100: Módulos que soporta el PLC Micrologix 1100 [17]	86
Figura 101: 2 módulos 1762-IF4 (entradas analógicas) y 2 módulos 1762-IT4 (entradas de termocoplas)	86
Figura 102: Selección de módulos	86
Figura 103: Bits de entradas analógicas	87
Figura 104: Bits de formato del dato.....	87
Figura 105: Bits de tipo y rango de entrada analógica	87
Figura 106: Bits de filtro de frecuencia	87
Figura 107: Configuración entradas analógicas	88
Figura 108: Conexión de Factory Talk View con RSLinx Classic	88
Figura 109: Nueva carpeta para almacenar las variables	89
Figura 110: Vínculo entre carpeta de variables y controlador	89
Figura 111: Print screen de carpeta mis documentos	90

Figura 112: Archivo de Excel recolección de datos	90
Figura 113: Print screen archivo solo de lectura.....	91
Figura 114: Printscreen advertencia de seguridad	91
Figura 115: Habilitar contenido.....	91
Figura 116: Intervalo de recolección de datos	92
Figura 117: Iniciar y continuar recolección de datos.....	92
Figura 118: Guardar en hoja nueva.....	93
Figura 119: Hojas nuevas creadas	93
Figura 120: Vista final de nueva corrida de recolección de datos creada.....	93
Figura 121: Hoja de cálculo para recolectar datos	94
Figura 122: Aceptar para guardar como nuevo archivo.....	94
Figura 123: Botón para resetear datos recolectados.....	94
Figura 124: Print screen carpeta mis documentos	95
Figura 125: Archivo RSview HMI.....	95
Figura 126: Aceptar cargar el programa HMI	96
Figura 127: Ejecutar la aplicación.....	96
Figura 128: Pantalla de inicio HMI	97
Figura 129: Pantalla de visualización de variables	97
Figura 130: Captura de carpeta mis documentos.....	98
Figura 131: Captura de archivo RSLogix 500.....	98
Figura 132: Captura de programa RSLogix 500.....	99
Figura 133: Cancelar conexión.....	99
Figura 134: Descargar al PLC	100
Figura 135: Proceder con descarga	100
Figura 136: Cambiar PLC a modo PROG	100
Figura 137: Regresar PLC a modo RUN	100
Figura 138: Cambio a modo Online.....	101
Figura 139: Verificar que este en Remote Run	101
Figura 140: Bloque SCP para cada sensor	101
Figura 141: Número de conversión del PLC.....	102
Figura 142: Activar modo Offline	102
Figura 143: Cambiar valores	103
Figura 144: Descargar programa al PLC.....	103
Figura 145: Manómetro analógico	104
Figura 146: Valor obtenido por el sensor.....	104

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Conductores que contiene cada tubería.....	19
Tabla 2: Clasificación de sensor de velocidad de aire.....	24
Tabla 3: Clasificación sensor de flujo de agua.....	26
Tabla 4: Clasificación sensor de nivel.....	28
Tabla 5: Clasificación sensor de flujo tipo vortex.....	30
Tabla 6: Clasificación sensor de conductividad.....	32
Tabla 7: Clasificación sensor de presión.....	35
Tabla 8: Clasificación sensor de temperatura (termocopla roscada $\frac{3}{4}$ ").....	37
Tabla 9: Clasificación sensor de temperatura (termocopla roscada $\frac{1}{4}$ ").....	38
Tabla 10: Clasificación sensor de temperatura (termocopla adhesiva).....	39
Tabla 11: Ubicación de los sensores instalados.....	39
Tabla 12: Tabla de descripción de diagrama de instrumentación.....	42
Tabla 13: Datos de corriente y valor de conversión del PLC.....	49
Tabla 14: Tabla de conversión del PLC vs. presión de la caldera.....	52
Tabla 15: Nivel de combustible y datos del PLC.....	53
Tabla 16: Temperatura (termómetro de mercurio) y datos del PLC.....	55
Tabla 17 : Especificaciones sensor de velocidad de aire.....	105
Tabla 18: Especificaciones sensor de presión.....	105
Tabla 19: Especificaciones sensor de presión diferencial (nivel).....	106
Tabla 20: Especificaciones sensor de flujo de vapor.....	106
Tabla 21: Especificaciones sensor de flujo de agua.....	107
Tabla 22: Especificaciones sensor de conductividad.....	108
Tabla 23: Especificaciones termocopla roscada $\frac{3}{4}$ ".....	108
Tabla 24: Especificaciones termocopla tipo adhesiva.....	109
Tabla 25: Especificaciones termocopla $\frac{1}{2}$ ".....	110

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo general instalar instrumentos de medición para monitorear la caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. De manera que se pueda mejorar la recolección de datos en la misma, las variables a medir serán: temperatura por medio de termocoplas, presión interna de la caldera, nivel de los tanques de combustible y condensados, conductividad del agua y velocidad de entrada de aire.

El proyecto empieza por la búsqueda de información de los instrumentos de medición, para luego comenzar con la instalación de las tuberías y su respectivo cableado. Una vez concluidas esas etapas, se procedió con la instalación de los instrumentos electrónicos en el panel y los sensores a utilizar en su respectiva posición. Después se realizó el proceso de conexión del PLC Micrologix 1100 para empezar con la programación del mismo y así poder crear la interfaz gráfica para que el usuario pueda visualizar los datos. Como parte final del proyecto se decidió hacer un historial de las variables medidas utilizando el programa Microsoft Excel.

Con la ayuda del programa HMI Factory Talk View de Rockwell Automation, se podrán monitorear en tiempo real las variables antes mencionadas. Esto con el objetivo de registrar de manera eficiente las mediciones obtenidas en los laboratorios del cálculo de eficiencia de la caldera por los estudiantes de Ingeniería Química. También se tiene la opción de almacenar las variables medidas y las corridas que la caldera ha trabajado con la hoja de cálculos de Microsoft Excel, para cuando se tenga una base de datos extensa, poder analizar el comportamiento y poder realizar mantenimientos preventivos.

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto original consistía en la cuarta fase de la automatización del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, que se dividía en dos módulos: Cuarto de Sólidos y el módulo de Caldera. Ya que los estudiantes realizaron las cotizaciones para aprobar la compra de todo el equipo electrónico y accesorios como los cables, borneras, tubería, condulets, entre otros. Se tuvo la iniciativa de retomar el proyecto ya que el equipo de instrumentación electrónica ya había sido comprado.

La finalidad del presente proyecto, es instalar la instrumentación electrónica en la caldera para poder estudiar las variables medidas, ya que los estudiantes de Ingeniería Química realizan prácticas en las que se desea obtener la eficiencia. Para esto se debe tomar la medición de diferentes variables al mismo tiempo por lo que la obtención de datos se facilitará.

Para la realización del proyecto se empezó por la instalación de tubería y cableado de los sensores, luego se procedió a la conexión y programación del PLC que se realizó con los programas RSlinX Classic y RSlogix 500 respectivamente, ambos del fabricante Rockwell Automation. Después para la Interfaz Hombre Máquina (HMI) se utilizó el programa FactoryTalk View de Rockwell Automation con el objetivo de desplegar las variables medidas en tiempo real, teniendo una interfaz amigable con el usuario. En la recolección y almacenamiento de datos fue necesario utilizar Microsoft Excel.

Los instrumentos de medición mencionados en los objetivos específicos se instalaron exitosamente al igual que la programación del PLC micrologix 1100, la creación del programa HMI y el historial de datos en Microsoft Excel. Por otro lado el cálculo de la eficiencia de la caldera no se logró monitorear ya que era necesario conocer el flujo de entrada de agua, el flujo de salida de vapor y la composición de los gases de combustión.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Automatizar la medición para el monitoreo de variables de la caldera del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

B. Objetivos específicos

- Instalar los instrumentos electrónicos para medir temperatura, presión, conductividad, velocidad de aire y nivel de combustible.
- Programar el PLC Micrologix 1100 1763-L16AWA para la conversión de las señales de los instrumentos de medición antes mencionados.
- Crear una interfaz gráfica en la que se muestren las mediciones en tiempo real y guardar el histórico de estas mediciones.
- Calcular la eficiencia de la caldera según los datos obtenidos de los sensores y datos ingresados por el usuario.

III. MARCO TEÓRICO

A. Generalidades de una caldera.

Las calderas están diseñadas para producir vapor saturado, este se genera por medio de transferencia de calor a una presión constante. Es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor. (Barreto, 2005)

Aunque existen numerosos diseños y patentes de fabricación de calderas, cada una de las cuales puede tener características propias, las calderas se pueden clasificar en dos grandes grupos; calderas pirotubulares y acuatubulares en este caso la caldera a monitorear es de tipo pirotubular. (Barreto, 2005)

1. Aplicaciones de una caldera. Por medio del vapor generado por la caldera se pueden realizar distintas tareas como: cualquier tipo de movimiento neumático en válvulas o actuadores, mover turbinas conectadas a generadores para obtener energía eléctrica, calefacción por medio de transferencia de calor, agua caliente para la sanitación de instrumentos médicos, etc. (Caballano)

En el caso de la caldera de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, el vapor generado sirve principalmente para realizar pruebas en otros equipos como el evaporador, la planta de biodisel y equipos como la marmita utilizados por los estudiantes de Ingeniería en Alimentos. Su uso principal es para transferencia de calor a otras mezclas.

2. Eficiencia en calderas. Teóricamente la eficiencia de la caldera es la relación del calor absorbido por el agua alimentada, con la relación al calor producido en el horno. Debido a las dificultades que existen respecto a obtener estas medidas exactas, se acostumbra a definirla simplídicamente, como: la relación entre el calor en el vapor de salida y el calor contenido en el combustible alimentado. La energía entra al sistema como combustible, aire de

combustión y agua alimentada, sale como caudal aprovechable vapor y pérdidas. Para realizar pruebas de monitoreo de la combustión y eficiencia de la caldera se deben analizar los gases de combustión o de escape, medición de la temperatura de la chimenea, medición del humo.[10]

Existen dos métodos para calcular su eficiencia, el método directo y el método indirecto o de pérdidas. [9]

a. Método directo. En el método directo, la eficiencia de una caldera se define como la relación entre la energía aprovechada en la transformación del agua en vapor, y la energía suministrada por el combustible. Se expresa normalmente en forma de porcentaje: [9]

$$\text{Eficiencia de la caldera} = \frac{\text{Calor que sale con el vapor producido}}{\text{Calor suministrado por el combustible}} \times 100$$

1) Calor que sale (exportado) con el vapor: Este valor se calcula mediante el uso de las Tablas de vapor; para esto se necesita conocer: [9]

- La temperatura del agua de alimentación
- La presión a la cual se está produciendo el vapor
- El flujo de vapor

2) Calor suministrado por el combustible: Se calcula en base a la cantidad de combustible suministrado (m) y su poder calorífico (PC) [9]

$$Q \text{ suministrado} = m \times PC$$

a. Método indirecto. En el método indirecto o de pérdidas, la eficiencia se calcula restándole a 100 el valor de las pérdidas de calor; también se expresa como un porcentaje: [9]

$$\text{Eficiencia de la caldera} = (100 - \text{pérdidas}) \%$$

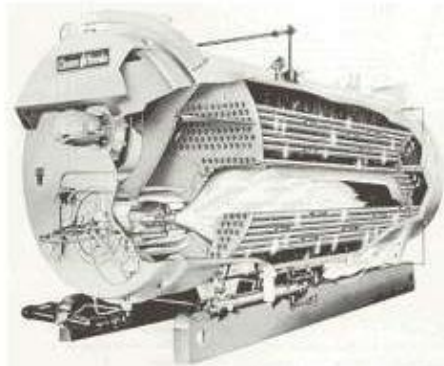
Dentro de las pérdidas se consideran:

- Pérdidas de calor sensible en gases de combustión

- Pérdidas por combustible no quemado
- Pérdidas por radiación
- Pérdidas de calor en purgas y otros [9]

3. Calderas pirotubulares. Se denominan pirotubulares por ser los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera. El combustible se quema en un hogar, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, y los gases resultantes, se les hace circular a través de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección. 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. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea. (Caballano)

Figura 1: Caldera Pirotubular (Fuente: Caballano)



B. Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de proceso y transformarlas en variables eléctricas. (Cauich Kú)

El sensor es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de proceso. A los sensores adecuadamente contruidos

para trabajar en condiciones existentes en un entorno industrial se les denomina sensores industriales. (Castillo,2012)

1. Sensores Industriales. Un sistema de control para un proceso debe recibir información de la evolución de determinadas variables físicas del mismo que en su mayoría no son eléctricas. Las variables del proceso industrial pueden ser: (Burmester, 2012)

- Temperatura
- Distancia
- Presión
- pH
- Nivel
- Conductividad
- Flujo , entre otras

2. Clasificación de sensores

Sensores activos: estos proporcionan la energía necesaria para la generación de la señal eléctrica, como los termopares. (Burmester, 2012)

Sensores pasivos: se limitan a modificar alguno de sus parámetros eléctricos característicos, como los termorresistivos. (Burmester, 2012)

Sensores analógicos: generan señales eléctricas que pueden tomar cualquier valor dentro de determinados márgenes y que llevan la información en su amplitud. (Burmester, 2012)

Sensores digitales: los sensores digitales generan señales eléctricas que sólo toman un número finito de niveles o estados entre un máximo y un mínimo. Las más utilizadas son las binarias que solo pueden tener dos niveles de tensión. El estándar industrial para la señalización digital binaria es de 0 y 24VDC. (Burmester, 2012)

Sensores temporales: los sensores temporales proporcionan a su salida señales eléctricas en las que la información está asociada al parámetro tiempo. Las señales eléctricas temporales pueden ser senoidales o cuadradas. (Burmester, 2012)

Sensores de medida: son los que proporcionan a la salida todos los valores posibles correspondientes a cada valor de la variable de entrada dentro de un determinado rango. (Burmester, 2012)

Sensores todo-nada: son los que solamente detectan si la magnitud de la variable de entrada está por encima o por debajo de un determinado valor. Proporcionan a la salida una señal eléctrica que sólo puede tomar dos valores. (Burmester, 2012)

Sensores discretos: reciben esta denominación los sistemas en los que el circuito de acondicionamiento se realiza mediante componentes electrónicos separados entre sí. (Burmester, 2012)

Sensores integrados: se caracterizan por que el elemento sensor y el circuito acondicionador están contruidos en un único circuito integrado. (Burmester, 2012)

Sensores inteligentes: corrigen no linealidades, Verifican el correcto funcionamiento del elemento sensor o Autocalibración y Transmiten información a distancia a través de un protocolo digital. (Burmester, 2012)

3. Transmisor. Se conoce como transmisor en el campo de la instrumentación y control al conjunto acondicionador de señal, en casos integrado al sensor y en otros como un dispositivo independiente conectado al sensor mediante conductores eléctricos, caños etc. [11]

4. Transductor. Es el instrumento o dispositivo capaz de transformar la energía disponible en una magnitud física dada en otra magnitud que el sistema pueda aprovechar para realizar su objetivo de medición y control. [11]

Se usan por ejemplo para pasar de magnitudes acondicionadas en presión a corriente o tensión y modernamente a variables digitales para buses de campo. También se podría llamar Transductor al conjunto Sensor Transmisor, pues toma la magnitud del proceso y la traduce a una variable normalizada para el sistema de control. [11]

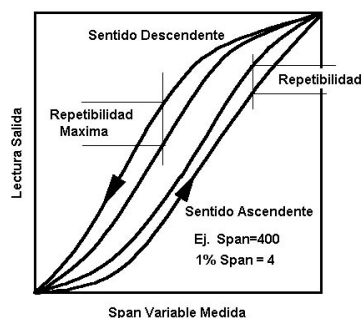
Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Hay sensores que no solo sirven para medir la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable censada dentro de un rango, para fines de control de dicha variable en un proceso.[11]

5. Especificación de sensores

a. Rango: Es el conjunto de valores comprendidos entre los límites (Superior e Inferior) que es capaz de medir el instrumento al que nos referimos, dentro de los límites de exactitud que se indican para el mismo.(Álvarez)

b. Repetitividad: Capacidad de un instrumento de repetir la salida cuando se llega a la medición en sucesivas ocasiones bajo exactamente las mismas condiciones. Un detalle muy importante de esto es que se debe exigir que la medición se debe realizar con la variable en sentido creciente o decreciente, pero no en ambos sentidos, pues en ese caso deja de ser Repetitividad para ser Histéresis. (Álvarez)

Figura 2: Repetitividad en la toma de datos



c. Histéresis: El amortiguamiento más el rozamientos hace que haya un consumo de energía en la carga y descarga de los instrumentos. Es debido a eso que la curva de calibración ascendente no coincide con la descendente y eso es llamado Histéresis Baja. Histéresis es la capacidad de un instrumento de repetir la salida cuando se llega a la medición en ocasiones consecutivas bajo las mismas condiciones generales pero una vez con la medición de la variable en un sentido (por ejemplo creciente) y en la siguiente con la variable en sentido contrario (por ejemplo decreciente). (Álvarez)

d. Error de cero: Aun cuando el valor de la variable del proceso esté en el mínimo del rango, donde la salida del instrumento debe ser el valor asociado al cero del rango (en corriente por ejemplo 4mA), el instrumento marca a su salida un valor distinto de cero. (Álvarez)

Ese valor es el error de cero. En general existen en los instrumentos sistemas para anular, o compensar el error de cero, estos sistemas pueden ser ajustes mediante movimientos en el instrumento o bien por software. (Álvarez)

C. PLC (Programmable Logic Controller)

Un autómata programable industrial (API) o Programmable logic controller (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. [12]

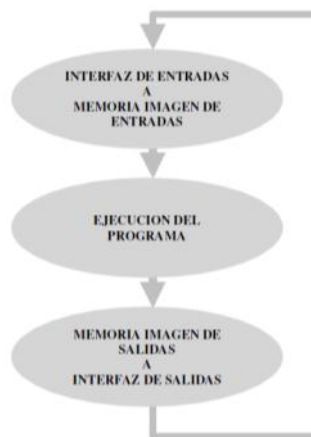
Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.[12]

1. Funcionamiento. Los autómatas programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas ordenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta (aplicación): al detectarse cambios en las señales, el autómata reacciona según

el programa hasta obtener las ordenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.[13]

A fin de optimizar el tiempo, la lectura y escritura de las señales se realiza a la vez para todas las entradas y salidas; Entonces, las entradas leídas de los módulos de entrada se guardan en una memoria temporal (Imagen entradas). A esta acude la CPU en la ejecución del programa, y según se va obteniendo las salidas, se guardan en otra memoria temporal (imagen de salida). Una vez ejecutado el programa completo, estas imágenes de salida se transfieren todas a la vez al módulo de salida. [13]

Figura 3: Diagrama de funcionamiento del PLC [14]



2. Clasificación de PLC. Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías. (Estrada,2001)

a. PLC tipo Nano: Generalmente PLC de tipo compacto (Fuente, CPU e I/O integradas) que puede manejar un conjunto reducido de I/O, generalmente en un número inferior a 100. Permiten manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales. (Estrada,2001)

b. PLC tipo Compactos: Estos PLC tienen incorporado la Fuente de Alimentación, su CPU y módulos de I/O en un solo módulo principal y permiten

manejar desde unas pocas I/O hasta varios cientos (alrededor de 500 I/O) , su tamaño es superior a los Nano PLC y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como: (Estrada,2001)

- Entradas y salidas análogas
- Módulos contadores rápidos
- módulos de comunicaciones
- Interfaces de operador
- Expansiones de i/o

c. PLC tipo Modular: Estos PLC se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final, estos son: (Estrada,2001)

- Rack
- Fuente de Alimentación
- CPU
- Módulos de I/O

De estos tipos existen desde los denominados MicroPLC que soportan gran cantidad de I/O, hasta los PLC de grandes prestaciones que permiten manejar miles de I/O. (Estrada,2001)

3. Tipo de programación

a. Programación en diagrama de escalera (Ladder). Un esquema de escalera o de contactos está constituido por varias líneas horizontales que contienen símbolos gráficos de prueba (“Contactos“) y de acción (“Bobinas“), que representan la secuencia lógica de operaciones que debe realizar el PLC. (Estrada,2001)

D. Software HMI (Interfaz Hombre Máquina)

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una “ventana” de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Los sistemas HMI en computadoras se los conoce también como software HMI (en adelante HMI) o de monitoreo y control de supervisión. Las señales del procesos son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC’s (Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVE’s (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI. [15]

1. Funciones de un Software HMI

a. Monitoreo. Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar. [15]

b. Supervisión. Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora. [15]

c. Alarmas. Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlo estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre-establecidos. [15]

d. Control. Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. Control va más allá del control de supervisión removiendo la necesidad de la interacción humana. Sin embargo la aplicación de esta función desde un software corriendo en una PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiera obtenerse del sistema. [15]

e. Históricos. Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos. [15]

2. Comunicación. Para la comunicación se usa un software denominado servidor de comunicaciones, el que se encarga de establecer el enlace entre los dispositivos y el software de aplicación (HMI u otros) los cuales son sus clientes.(Cobo)

a. DDE (Dynamic Data Exchange). Es un protocolo de intercambio de información desarrollado por Microsoft. El protocolo DDE es un conjunto de mensajes e instrucciones. Se ocupa de enviar mensajes entre distintas aplicaciones que comparten memoria. En el caso de los automatismos tendríamos un PLC conectado a una red, Ethernet, Serie, etc. En un PC tendremos instalado un servidor DDE, que se encargará de establecer comunicación con nuestra red industrial (Ethernet, serie,etc.), mediante diversos protocolos (can, Modbus, Ina2000, profibus, etc.). El servidor solicita información a 3 niveles (Lista de dispositivos, Lista de estaciones, Lista de variables). Imaginemos que tenemos 4 máquinas, cada una de las máquinas está compuesta por 3 PLCs y en cada PLC hay 3 variables que queremos compartir con un cliente DDE (por ejemplo una hoja de cálculo de Excel). Tendremos en total 36 etiquetas que queremos plasmar en nuestra hoja de cálculo. Una vez que tenemos todas estas variables etiquetadas en nuestro servidor DDE, el cliente DDE sólo tendrá que llamar a cada una de las etiquetas. (Imanor, 2011)

b. OPC (Ole for Process Control). La revolución industrial que estamos viviendo en los últimos años hizo necesario establecer una herramienta abierta, que permitiese una mayor flexibilidad y efectividad al intercambio de información. De este modo en 1995 un grupo de fabricantes junto con Microsoft plantearon la posibilidad de crear una especificación abierta que estandarizara la comunicación para la adquisición de datos, de alarmas y eventos, de datos

históricos y de paquetes. De este modo surge un estándar basado en tecnología OLE/COM, comunicación tipo servidor-cliente, que permite ligar de una forma abierta el hardware de diversos fabricantes sin necesidad de crear un driver específico para cada equipo. (Imanor, 2011)

IV. DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA

En este proyecto se contó con sensores para obtener presión interna de la caldera, temperatura de la superficie de la caldera, flujo de agua que ingresa, gases de chimenea, conductividad del agua, velocidad del aire de entrada y nivel de tanque de condensados y combustible. Para el cálculo de la eficiencia de la caldera se necesitan conocer otros valores que deben ser recolectados por el usuario, como el nivel del vapor condensado en los otros equipos del laboratorio, temperatura del tanque de condensados, el analizador de gases de combustión Bacharach.

Aunque se tienen varias mediciones de los distintos sensores para el cálculo de la eficiencia de la caldera de operaciones unitarias de la Universidad del Valle, se tienen varias entradas disponibles en los módulos de señales analógicas y de termocopla, en las que se puede agregar instrumentación en un futuro proyecto para mejorar la recolección de datos y que el cálculo de la eficiencia sea más exacto. Entre las mediciones a mejorar son: la temperatura del vapor de condensados, el flujo de entrada de agua a la caldera, el flujo de vapor generado y el nivel del tanque principal de combustible.

Se creó un archivo en Microsoft Excel que contiene macros para poder crear un historial de las variables a medir, estas variables se pueden recolectar en intervalos definidos por el usuario, para luego almacenar las diferentes corridas del día en distintas hojas de un mismo libro y después analizar los resultados. Con esto se puede almacenar varios libros que contengan las corridas de la operación de la caldera y verificar la eficiencia de la misma para poder realizar mantenimientos preventivos.

V. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del trabajo de graduación se utilizó la siguiente metodología:

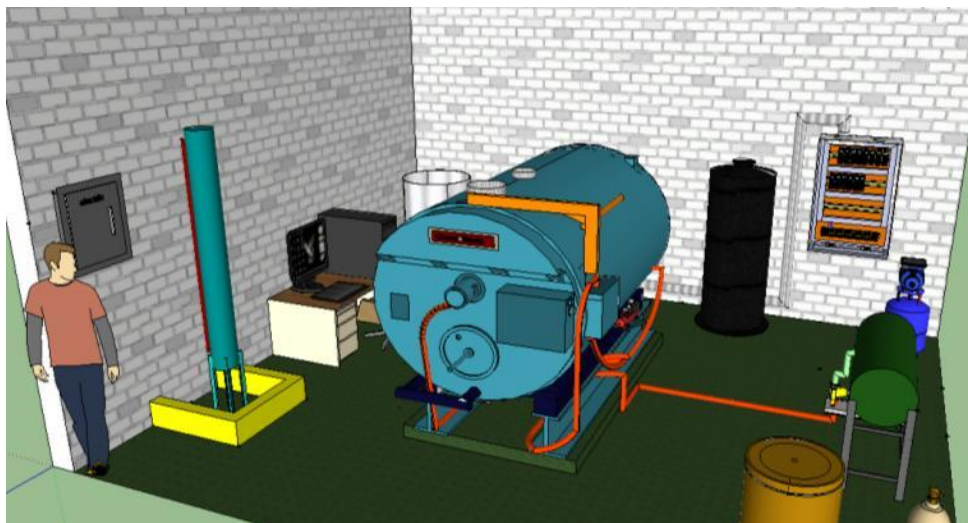
- Estudiar el funcionamiento básico de una caldera y las variables necesarias para calcular la eficiencia.
- Estudiar los diferentes sensores que se tienen en el laboratorio de operaciones unitarias.
- Revisar de los manuales de los fabricantes para saber cuál es la mejor posición en la que se pueden colocar para obtener datos confiables, que tipo de señal se tiene en la salida de cada sensor, el rango que este puede medir, entre otras.
- Instalar las tuberías y cablear los instrumentos de medición.
- Investigar acerca del PLC Micrologix 1100 modelo 1763-I16AWA, y sus diferentes módulos para la programación de las señales provenientes de los sensores de medición. Se pudo haber utilizado otro PLC para el proyecto pero este era el único disponible en el departamento de Ingeniería Química.
- Instalar el PLC en el panel con sus respectivos módulos.
- Investigar acerca de la programación HMI para la creación de la interfaz gráfica.
- Construir el programa con una interfaz amigable para el usuario.
- Realizar pruebas para calibración de los sensores.
- Documentar el resultado de todo el proceso dentro del trabajo de graduación.

VI. PROCESO DE MONITOREO

A. Instalación de tubería y cableado

Para poder iniciar con la instalación de la tubería conduit¹ se creó una vista isométrica de cómo está distribuida el área de caldera y de cómo se colocaría la tubería para que esta fuera aprobada. Teniendo esta vista (figura 4) se realizaron cambios en el diseño de la tubería conduit¹ de 2 pulg. Ya que esta pasaría por el piso y podría provocar accidentes en la elaboración de las prácticas, por lo que se decidió que esta tubería se colocaría aérea.

Figura 4: Vista Isométrica de cuarto de caldera. Elaboración propia.

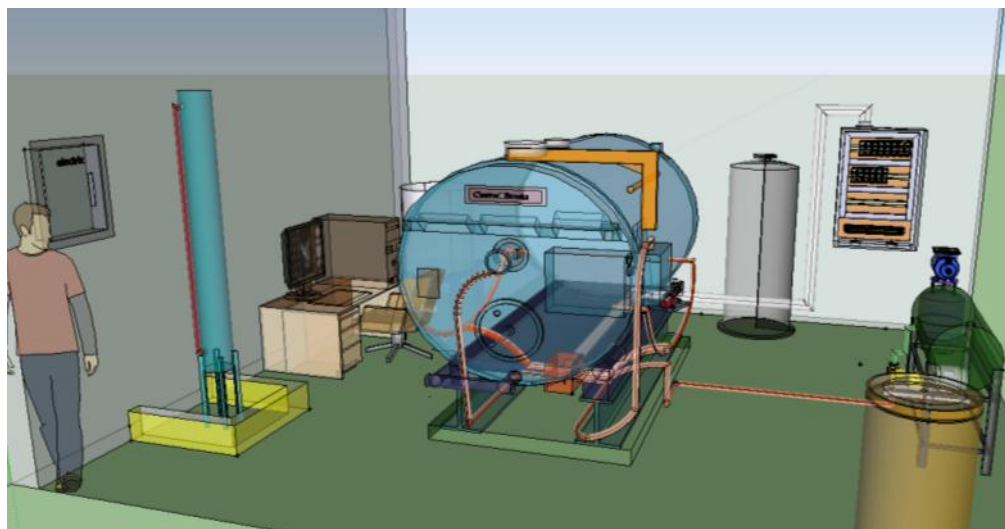


Después del tubo conduit¹ de 2 pulg se tiene una caja de registro de donde se derivan las conexiones de los sensores, estaba planeado que se colocaría en la parte baja de la caldera pero esto iba a complicar la instalación y la conexión de los empalmes en dicha caja. Finalmente se decidió colocar a un costado de la caldera y de ese punto conectar la tubería conduit¹ de ½ pulg para derivar a cada sensor. El último tramo hacia algunos de los sensores se realizaría con

¹Tubería circular de acero galvanizado diseñada para proteger el cableado eléctrico

ducto flexible con alma de acero para evitar utilizar más condulets² y darle la curvatura necesaria.

Figura 5: Vista Isométrica tubería anaranjada para conexiones de sensores.

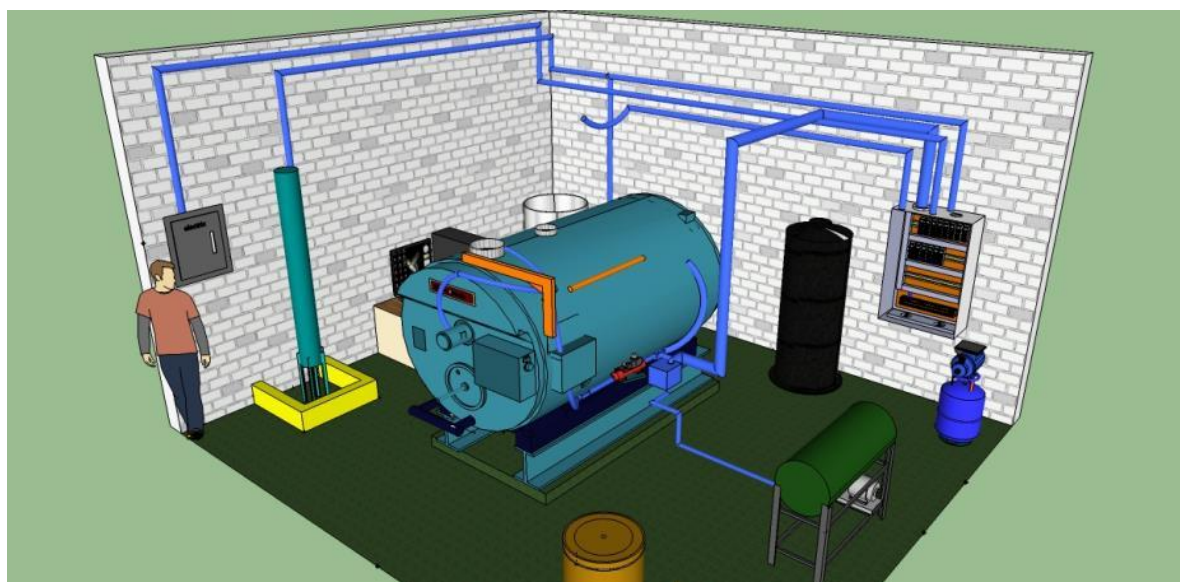


Elaboración propia.

B. Resultados

En la Figura 6 se muestra la ubicación final de la tubería para la instalación eléctrica.

Figura 6: Vista Isométrica tubería azul para conexiones de sensores.



Elaboración propia.

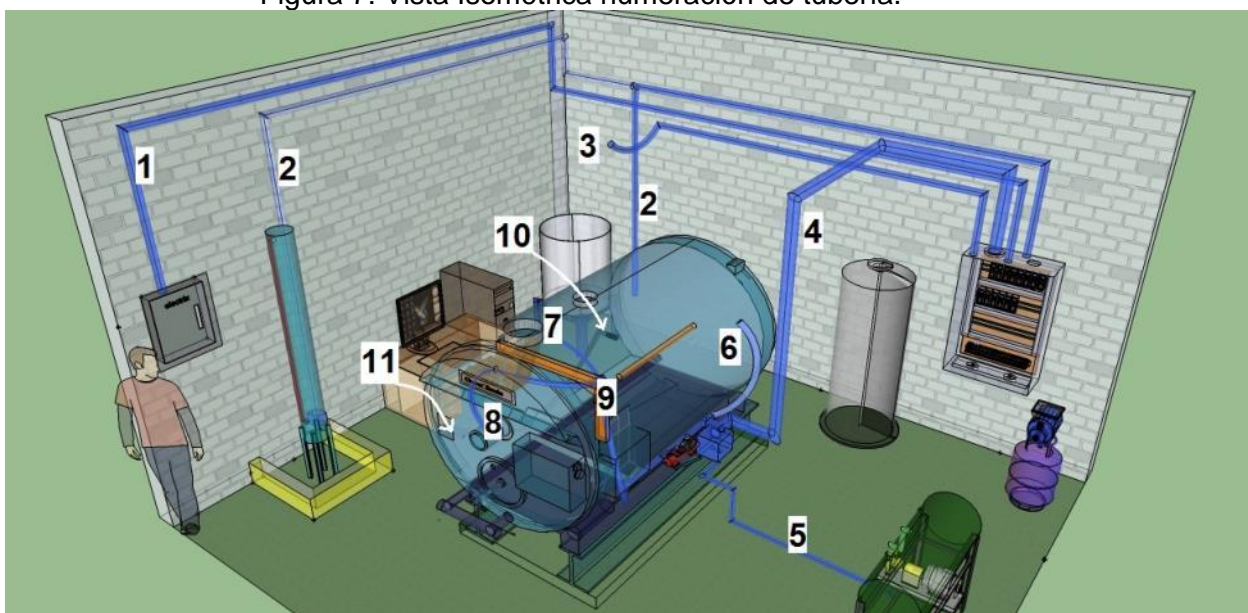
² Los condulets sirven para la unión de tubería conduit teniendo cambios de dirección a 90 grados y caja para realizar empalmes y mantenimiento.

En la siguiente tabla se muestran los distintos conductores que van dentro de las diferentes tuberías eléctricas conduit instaladas. Que hace referencia a la Figura 7. Vista isométrica numeración de tubería.

Tabla 1: Conductores que contiene cada tubería.

Tubería no.	Diámetro	No. conductores	Descripción
1	1/2 pulg	3	Conductores de alimentación vivo, neutro y tierra.
2	1/2 pulg	4	sensores de presión diferencial (nivel de tanques)
3	1/2 pulg	2	sensor de flujo de vapor
4	2 pulg	26	sensores de presión, temperatura, velocidad de aire, flujo de agua, conductividad
5	1/2 pulg	12	sensor de flujo de agua, conductividad y temperatura
6	1/2 pulg	2	sensor de temperatura
7	1/2 pulg	2	sensor de temperatura
8	1/2 pulg	4	sensor de velocidad de aire
9	1/2 pulg	2	sensor de presión
10	1/2 pulg	2	sensor de temperatura
11	1/2 pulg	2	sensor de temperatura

Figura 7: Vista Isométrica numeración de tubería.



Elaboración Propia

Para la elaboración de los agujeros para la instalación de la tubería conectada al panel, se utilizó un barreno con una broca de $\frac{1}{4}$ " con la que se hicieron varios agujeros completando un círculo para luego limar las asperezas y poder unir la tubería al tablero.

Para el agujero de la tubería de 2" si se tenía una broca de copa con guía de la misma medida por lo que fue más fácil. Para que la tubería pudiera quedar suspendida en el aire se colocaron varillas roscadas de $\frac{1}{4}$ " con su respectiva abrazadera en las vigas que sostienen las láminas.

Figura 8: Tubería instalada que proviene de panel



La caja de registro de la Figura 9 se colocó en la parte inferior de la caldera para facilitar la instalación y conexión del cableado. Por lo que se colocó a un costado de la caldera. En esta caja se tienen los conectores que unen el cableado del panel y de los sensores. Al igual que en el panel, los agujeros se realizaron con el mismo método. Como se puede ver en la imagen, no se utilizó tubería con dobleces ya que en la Universidad no se cuenta con dobladora de tubería y mandarla a Talleres Hernández representaba mucho tiempo de espera, aproximadamente un mes.

Figura 9: Caja de registro cuadrada



Las cajas de registro rectangulares se instalaron, una encima de la caldera para derivar a los sensores de temperatura, presión y velocidad de aire como se muestra en la Figura 10. Para su instalación, se perforó el aislante térmico de la caldera que está recubierto por una lámina de acero ya que la otra solución era soldarla a la superficie, pero no fue aprobada. La otra caja rectángula se instaló del lado opuesta a la caja de registro cuadrada como se muestra en la Figura 11 para tener acceso fácil a los sensores de temperatura de tipo adhesivas.

Figura 10: Caja de registro rectangular parte superior



Figura 11: Caja de registro rectangular parte inferior



C. Discusión

El panel y la tubería de alimentación al tablero ya se habían instalado previamente, pero para la instalación de la tubería de 2" por donde pasaría el cableado de los sensores, se tenía que tomar en cuenta el largo ya que hubo un primer intento de instalarla por lo que era indispensable que la tubería cubriera todo el recorrido para proteger el cableado. Esta tubería se colocó de forma aérea colocándole abrazaderas metálicas para su suspensión. Como no se tenía una guía especial para pasar los cables de los sensores, se utilizó alambre de amarre como guía y al otro extremo se colocaron los 26 conductores de los distintos sensores para que estos pasaran a través de la tubería. Para hacer el recorrido hacia la caja de registro se utilizaron condulets para no tener que hacer dobleces en las tuberías.

De la caja de registro se distribuye hacia los distintos lugares donde se encuentran los sensores con tubería de 1/2" siempre teniendo los cambios de dirección con condulets de 1/2" y es su punto final utilizando ducto flexible para una instalación más fácil.

Para hacer la unión final en los sensores ubicados en la caldera se utilizaron 4 cajas de registro rectangulares a las que en un orificio se unió a tubería conduit de 1/2" y al otro extremo se unió con ducto flexible. El ducto flexible

utilizado debía ser con alma de acero ya que estaría en contacto con la superficie de la caldera que en operación podría fundirlo si este fuera plástico.

Para la instalación de los sensores de nivel que van colocados en el tanque secundario de combustible y el tanque de condensados se utilizó una tubería de $\frac{1}{2}$ " que proviene del panel ya que si se cableaban junto con los de la caldera la tubería tendría que ir en el piso y obstruirían el paso de los estudiantes al realizar las prácticas.

En el cableado de los diferentes sensores de temperatura que necesitaban de cable de termocopla, se quedó un sensor sin cableado y se decidió dejar para después una termocopla de tipo magnética ya que se tenía pensado colocar en las cuatro tortugas de la caldera, pero con tres sensores de temperatura en la superficie de la caldera se puede obtener un aproximado de la misma.

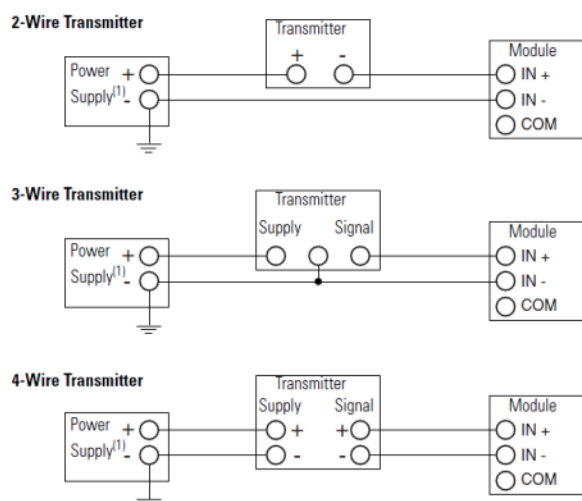
D. Instalación de sensores

Luego de realizar la instalación de la tubería, se contaron los cables que tenía cada sensor y se pasaron por las respectivas tuberías que conducían al lugar en donde estaría instalado el sensor. Ya que los documentos de los sensores no estaban a la mano, se tuvieron que buscar en internet y algunos pedirlos a los proveedores para saber cómo era el diagrama para instalarlo.

Como se puede observar en la Figura 12 se muestra las distintas configuraciones que pueden tener los sensores, la primera conexión se realiza con sensores comúnmente llamados "de 2 hilos" y al igual se muestra el diagrama con los de 3 y 4. Cuando los sensores tienen más de 4 cables generalmente necesitan de un transmisor al que se le conectan los distintos cables y de este transmisor se obtiene una señal analógica o se tienen salidas de relés para alarmas programadas.

A continuación se muestran los diferentes diagramas de conexión de los distintos sensores utilizados.

Figura 12: Diagrama de conexión de sensores de 2, 3 y 4 hilos.[17]



1. Sensor de velocidad de aire - Series 641 Air Velocity Transmitter

Tabla 2: Clasificación de sensor de velocidad de aire

Sensor de velocidad de aire	
Analógico	✓
De medida	✓
Integrado	✓

La función del sensor de velocidad de aire es medir la velocidad a la que ingresa el aire a la caldera para saber si es necesario cerrar o abrir la rejilla para que la combustión sea eficiente, este sensor tiene una conexión de 4 hilos en las que el suministro de poder no es sensitivo a la polaridad. En la instalación se utilizó alimentación 24V DC ya que estos cables pasan en la misma tubería en la que van los otros cables con las señales de los sensores instalados en la caldera, esto para no utilizar alimentación AC ya que esta puede producir ruido eléctrico.

Este sensor cuenta con la opción de cambiar el rango de operación en el que trabajara el sensor para tener una mejor medición, por lo que se utilizó un anemómetro para tener la velocidad a la que ingresa el aire a la caldera. Para

cambiar la configuración del sensor, se selecciona la opción a cambiar y se ajusta con el potenciómetro.

Figura 13: Diagrama de conexión sensor de velocidad de aire [18]

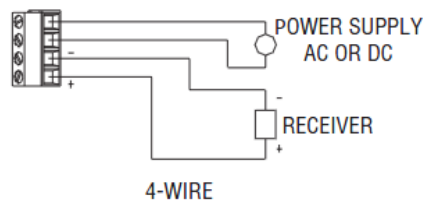


Figura 14: Instalación sensor de velocidad de aire



Figura 15: Sensor de velocidad de aire [18]



Figura 16: Sensor de velocidad de aire instalado



2. Sensor de flujo de agua - Istec`s 1700 Series Single-jet Water Meter

Tabla 3: Clasificación sensor de flujo de agua

Sensor de flujo de agua	
Digital	✓
Temporal	✓
Discreto	✓

El sensor de flujo de agua tiene como función medir la cantidad de galones de agua que ingresan a la caldera, este parámetro solo se puede modificar en la parte de control de la caldera, calibrando el nivel al que debe llegar. En la instalación del sensor de flujo de agua, el sensor tiene dos cables, se pensaría que la conexión es de dos hilos, pero este sensor envía 10 pulsos por revolución en el rotámetro por lo que es necesario de un transmisor para que lo convierta a una señal de 4 a 20 mA. Los conectores de salida de corriente se encuentran en la parte posterior del transmisor, este transmisor necesita de alimentación 110V AC pero este no afecta considerablemente a las demás señales de los sensores ya que la conexión se realiza en el panel donde se encuentra el PLC y no se encuentra en la tubería junto al cableado de las señales de los otros sensores. Ya que no se recomienda que el cableado de potencia y el de las señales de los sensores pasen por la misma tubería por el ruido eléctrico que puede provocar la alimentación AC.

El sensor de flujo de entrada de agua a la caldera, también tiene un transmisor (pantalla) que fue colocada con ayuda de la pulidora, para realizar el agujero se utilizó gabacha de cuero y visor como medidas de protección. Ya que el panel estaba instalado, no se podía enviar al Taller para que se realizara con aparatos especiales.

Figura 17: Diagrama de conexión sensor flujo de agua [19]

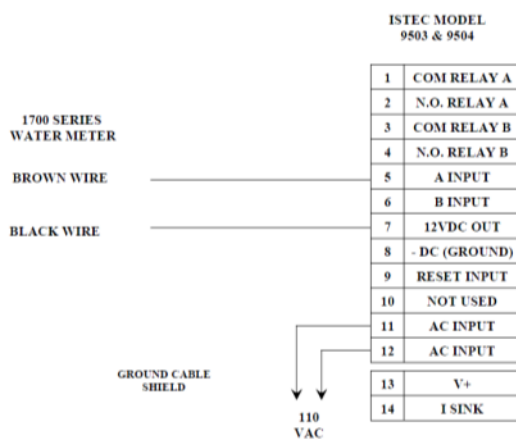


Figura 18: Instalación sensor flujo de agua



Figura 19: Sensor de flujo de agua



Figura 20: Sensor de flujo de agua instalado



3. Sensor de nivel - Cole-Parmer® Wet/Wet Differential Pressure Transmitter

Tabla 4: Clasificación sensor de nivel

Sensor de nivel	
Analógico	✓
De medida	✓
Integrado	✓

Los sensores de presión diferencial fueron utilizados para medir el nivel de combustible y el nivel de condensados, ya que se desea conocer cuánto combustible se consume y un estimado de cuanto vapor se genera. Al instalar el sensor de nivel se puede confundir con una conexión de tres hilos, en la que el conector Exc va conectada a positivo, el conector Com a tierra y OUT a la salida. Pero si se observa en el documento de especificación del fabricante, claramente dice que se utilice como sensor de dos hilos conectando + a 24V y la salida

identificada como Com al positivo del módulo de entradas analógicas. Si solo se tiene el sensor puede dar confusión con la instalación ya que se utiliza el mismo encapsulado para sensores que envían señales de 4 a 20 mA, 0 a 5 VDC y 0 a 10 VDC.

Figura 21: Diagrama de conexión sensor presión diferencial (Nivel) [20]

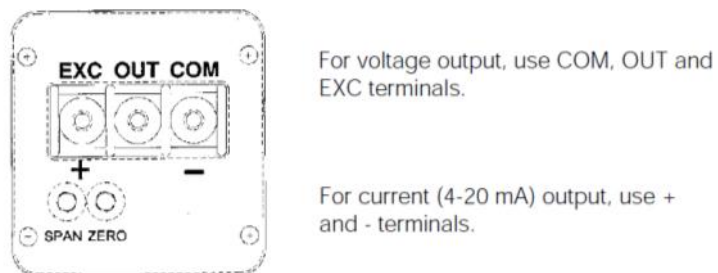


Figura 22: Instalación sensor presión diferencial (Nivel)



Figura 23: Sensor de presión diferencial



Figura 24: Sensor de presión diferencial (nivel de combustible)

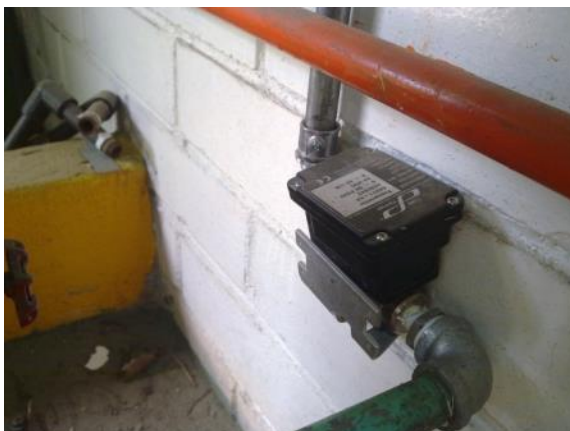
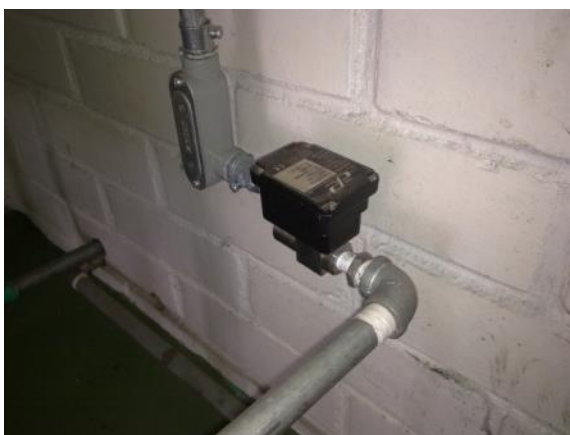


Figura 25: Sensor de presión diferencial (nivel de condensados)



4. Sensor de flujo - Vortex Flowmeter FV4000

Tabla 5: Clasificación sensor de flujo tipo vortex

Sensor de flujo tipo Vortex	
Analógico	✓
De medida	✓
Integrado	✓
Inteligente	✓

El sensor de flujo de vapor de tipo Vortex tiene como función medir la cantidad de vapor producido por la caldera, este dará un valor más exacto ya que cuando se realizan las pruebas, se tienen otros equipos en funcionamiento y no solo el tanque de condensados por lo que no todo el vapor producido se

condensa. Este sensor es de 2 hilos, pero tiene la tecnología HART en la que se manda una señal sinusoidal a dos diferentes frecuencias para representar 1 y 0. A través de la señal de 4 a 20 mA sin afectarla. Para la comunicación HART por sus siglas en inglés (Highway Addressable Remote Transducer Protocol) se necesita un receptor con la misma tecnología por lo que solo se utiliza la señal de corriente para representar el flujo de vapor consumido.

Figura 26: Diagrama de conexión sensor de flujo de vapor (tipo Vortex) [21]

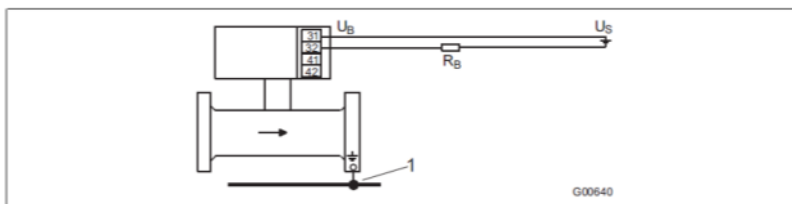


Figura 27: Instalación sensor de flujo de vapor (tipo Vortex)



Figura 28: Sensor de flujo de vapor



Figura 29: Sensor de flujo de vapor instalado



5. Sensor de conductividad - TB4650 Conductivity Sensor 4-Electrode

Tabla 6: Clasificación sensor de conductividad

Sensor de conductividad	
Analógico	✓
De medida	✓
Discreto	✓

El objetivo de la instalación del sensor de conductividad es conocer la dureza del agua ya que esta puede provocar incrustaciones y afectar la eficiencia de la caldera. En este sensor se muestran los siete diferentes cables que lo conforman por lo que es necesario de un transmisor, en este caso una pantalla en la que se muestran los valores medidos y del transmisor se obtiene una señal de 4 a 20 mA representando el valor medido en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los cables están identificados por colores por lo que es fácil su instalación.

Figura 30: Diagrama de conexión sensor de conductividad [22]

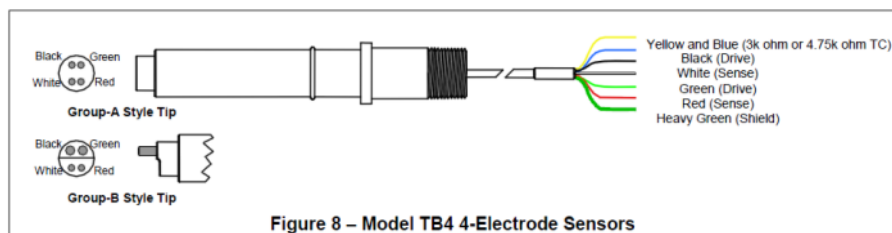


Figura 31: Instalación de sensor de conductividad



Figura 32: Sensor de conductividad



Figura 33: Sensor de conductividad instalado



Con la instalación del sensor de conductividad se tuvo varios problemas en conseguir el transmisor (pantalla), porque no se encontraba junto con los otros sensores. Se tuvo que buscar en las cotizaciones y pedidos hechos por el

laboratorio de operaciones unitarias y llamar al proveedor para confirmar si este había sido comprado. Finalmente se mandó a comprar un transmisor que se colocó en el panel del PLC con la ayuda de una pulidora para poder abrir el agujero cuadrado.

En las siguientes figuras se muestra la conexión del transmisor de conductividad, al igual que el sensor están marcada cada conector con su diferente color. Y la conexión para el modulo del PLC es de dos hilos como se muestran con los cables azul y rojo de la Figura 35.

Figura 34: Diagrama de conexión transmisor de conductividad [22]

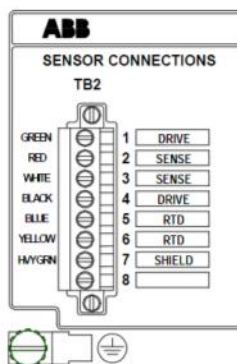
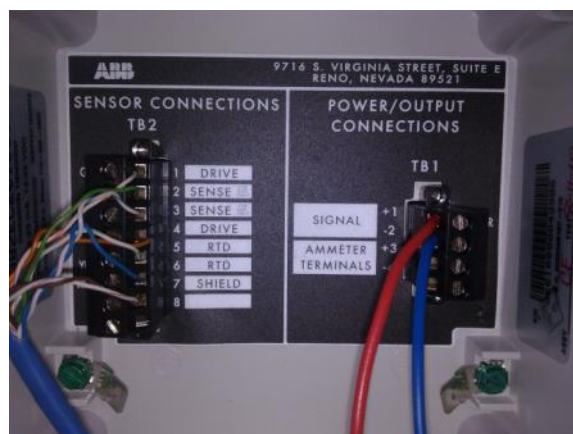


Figure 2 – TB82 and TB84 Terminal Block
2- and 4-Electrode

Figura 35: Instalación transmisor de conductividad



6.Sensor de presión - Cole-Parmer® ±0.25%- Accuracy Gauge Transmitter

Tabla 7: Clasificación sensor de presión

Sensor de presión	
Analógico	✓
De medida	✓
Integrado	✓

La función del sensor de presión es obtener los datos de la presión interna de la cadera durante su funcionamiento. En la conexión del sensor de presión también se puede tener confusión con la instalación ya que este sensor tiene cuatro cables con los colores: rojo, negro, blanco y verde. Pero al revisar los datos del fabricante, solo se utiliza el rojo y el negro como un sensor de 2 hilos. Los otros cables se utilizan cuando el sensor da una señal de 0.5 a 5.5V. Al igual que el sensor de presión diferencial, el fabricante utiliza el mismo encapsulado para ambos tipos de sensores.

Figura 36: Diagrama de conexión sensor de presión [23]

Transducers with 4 to 20 mA output have red (positive power) and black (output) wires. Transducers with 0.5 to 5.5 V output have red (positive power), green (output), and black/white (common) wires.



Figura 37: Instalación sensor de presión



Figura 38: Sensor de presión interna de caldera



Figura 39: Sensor de presión interna de la caldera instalado



7.Sensor de temperatura - Type K Ungrounded Industrial Thermocouple Probe, 6" Length, 3/4" Connection

Tabla 8: Clasificación sensor de temperatura (termocopla roscada 3/4")

Sensor de temperature	
Activo	✓
Analógico	✓
De medida	✓
Integrado	✓

El sensor de temperatura de termocopla tipo K sirve para conocer la temperatura a la que el agua ingresa a la caldera. Para la conexión del sensor de temperatura se utilizó cable de termocopla tipo K con forro de fibra de vidrio, el cual está compuesto de dos metales diferentes, en este caso níquel-cromo o níquel-aluminio. Ya que este sensor tiene indicado con colores amarillo y rojo en sus terminales, se colocó el cable en su respectiva terminal.

Figura 40: Termocopla tipo K roscada



Figura 41: Termocopla tipo K roscada instalada



8.Sensor de temperatura - Type K Pipe Plug Thermocouple Probes; 1/4" NPT (M); 0.5"L

Tabla 9. Clasificación sensor de temperatura (termocopla roscada 1/4")

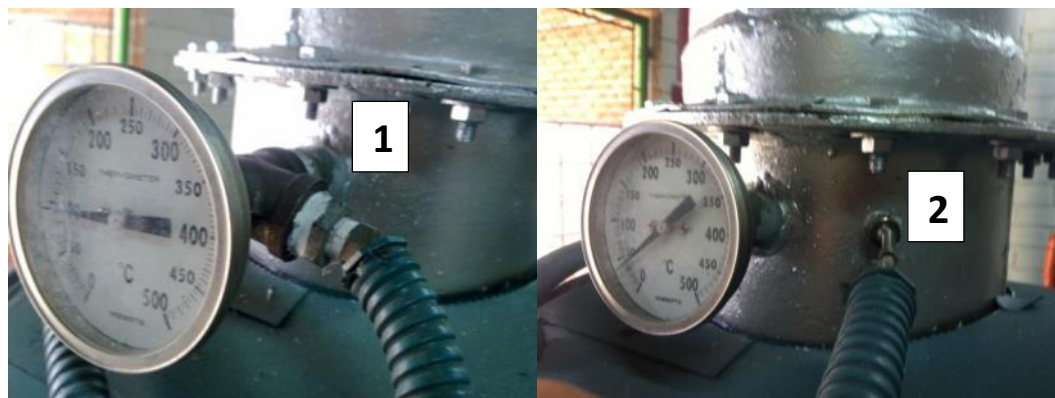
Sensor de temperature	
Activo	✓
Analógico	✓
De medida	✓
Integrado	✓

La conexión de este sensor de temperatura se realizó al igual que el sensor de termocopla tipo K anterior. Con la instalación, se utilizó un conector de forma T para tener la medición temperatura de los gases de combustión junto con el sensor análogo presente.

Figura 42: Termocopla tipo K roscada



Figura 43: Termocopla tipo K roscada instalada



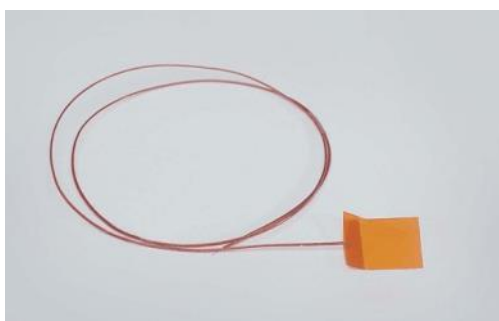
9. Sensor de temperatura - Type K Self-Adhesive Probe

Tabla 10: Clasificación sensor de temperatura (termocopla adhesiva)

Sensor de temperature	
Activo	✓
Analógico	✓
De medida	✓
Integrado	✓

Siendo este un sensor de temperatura de termocopla tipo K, se realizó la misma conexión antes mencionada. Y estas están colocadas en las tortugas de la caldera para obtener la temperatura de la superficie de la caldera, conocer perdidas por radiación ya que el resto de la superficie tiene un recubrimiento térmico.

Figura 44: Termocopla adhesiva tipo K



En la Tabla 11 se le asignó un número a cada sensor instalado, y en las figuras 45 y 46 se muestra la posición en la que se encuentran.

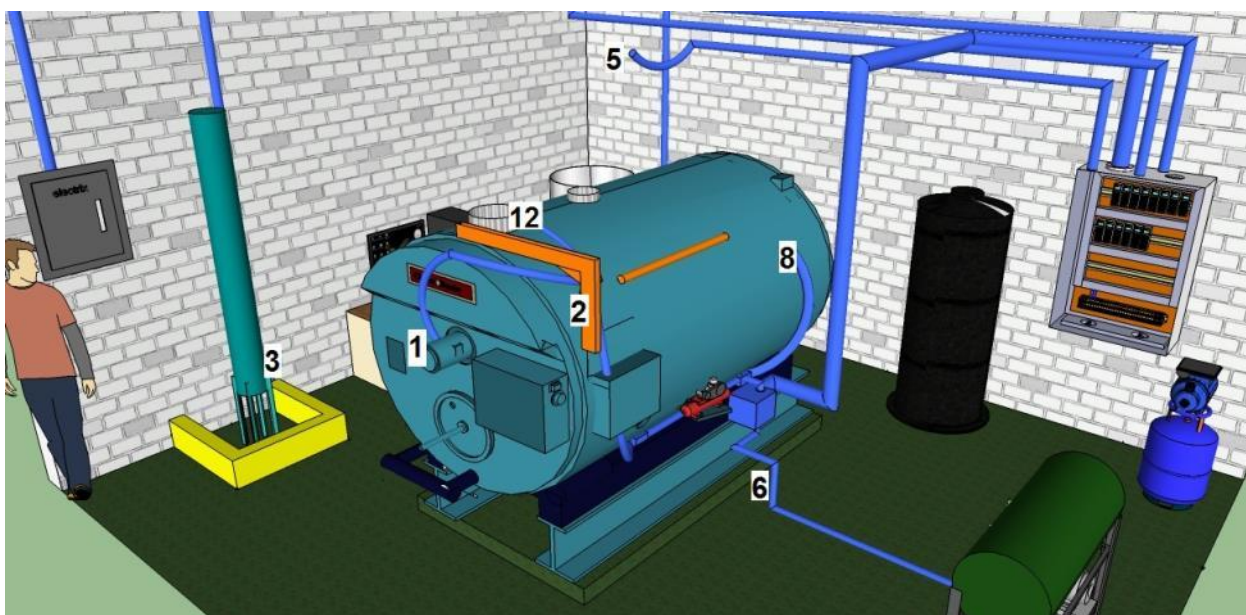
Tabla 11: Ubicación de los sensores instalados

No.	sensor	tipo	rango	tipo de señal	utiliza transmisor	conexión
1	Series 641 Air Velocity Transmitter	Analógico, de medida, integrado	1.5 m/s a 75 m/s	4 a 20 mA	no	4 hilos
2	0 to 250 psig Cole-Parmer® Accuracy Gauge Transmitter, 4 to 20 mA Output	Analógico, de medida, integrado	0 to 250 psi	4 a 20 mA	no	2 hilos

Continuación Tabla 11

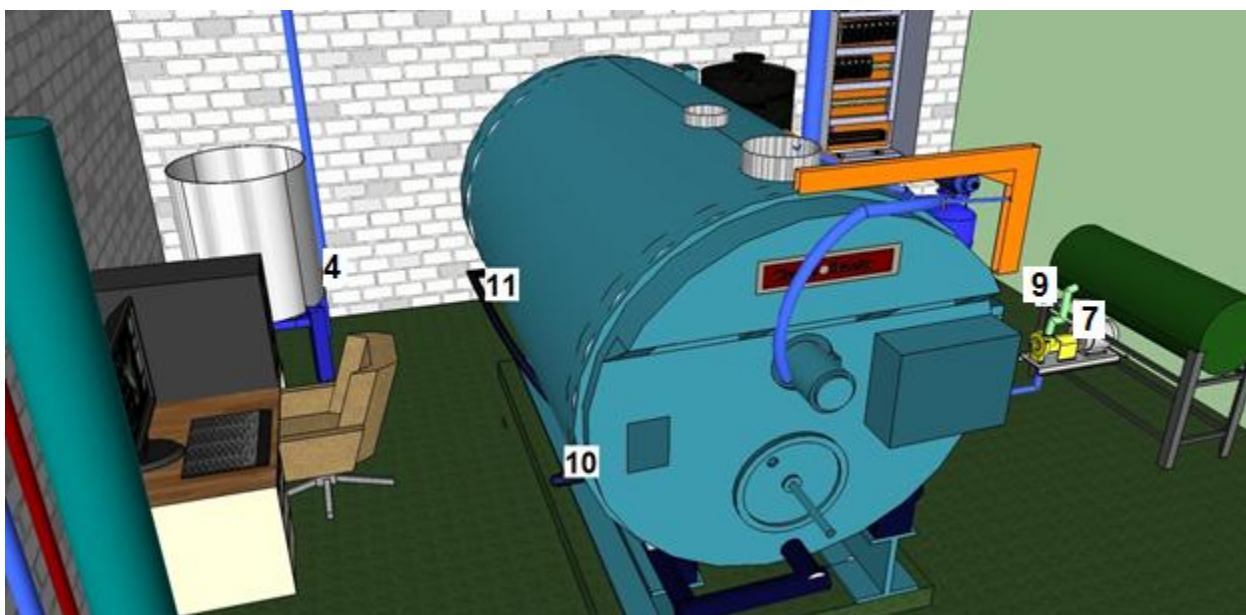
No.	sensor	tipo	rango	tipo de señal	utiliza transmisor	conexión
3	0 to 50 psid Cole-Parmer® Wet/Wet Differential Pressure Transmitter(combustible)	Analógico, de medida, integrado	0 to 50 psid	4 a 20 mA	no	2 hilos
4	0 to 50 psid Cole-Parmer® Wet/Wet Differential Pressure Transmitter (condensados)	Analógico, de medida, integrado	0 to 50 psid	4 a 20 mA	no	2 hilos
5	Vortex Flowmeter FV4000	Analógico, de medida, integrado e inteligente	0.5 ... 1 x QvmaxDN	4 a 20 mA	no	2 hilos
6	Istec`s 1700 Series Single-jet Water Meter	Digital, temporal, discreto	0.13 a 13 GPM	4 a 20 mA	si	2 hilos
7	TB4650 Conductivity Sensor 4-Electrode 225psi, 200 C, grupo b.	Analógico, de medida y discreto	0 to 2000 mS/cm	4 a 20 mA	si	2 hilos
8	Type K Self-Adhesive Probe (Tortuga 1)	Activo, Analógico, De medida, Integrado	-250 to 404°C	6.404 a 16.564 mV	no	Termocopla
9	Type K Ungrounded Industrial Thermocouple Probe, 6" Length, 3/4" Connection	Activo, Analógico, De medida, Integrado	-250 to 404°C	6.404 a 16.564 mV	no	Termocopla
10	Type K Self-Adhesive Probe (Tortuga 2)	Activo, Analógico, De medida, Integrado	-250 to 404°C	6.404 a 16.564 mV	no	Termocopla
11	Type K Self-Adhesive Probe (Tortuga 3)	Activo, Analógico, De medida, Integrado	-250 to 404°C	6.404 a 16.564 mV	no	Termocopla
12	Type K Pipe Plug Thermocouple Probes; 1/4" NPT (M); 0.5"L	Activo, Analógico, De medida, Integrado	-250 to 482°C	6.404 a 19.873 mV	no	Termocopla

Figura 45: Vista isométrica posición de sensores 1, 2, 3, 5, 6, 8 y 12.



Elaboración propia.

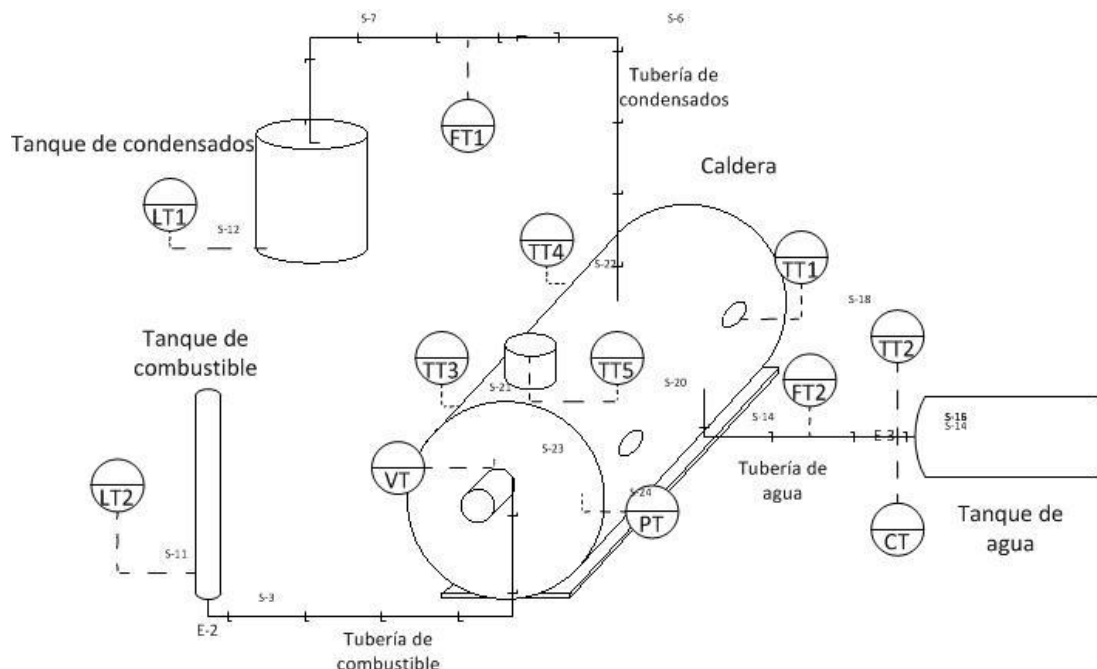
Figura 46: Vista isométrica posición de sensores 4, 7, 9, 10 y 11.



Elaboración propia.

A continuación se muestra el diagrama de instrumentación con una tabla de los sensores instalados.

Figura 47: Diagrama de instrumentación.



Elaboración propia

Tabla 12: Tabla de descripción de diagrama de instrumentación

Lista de instrumentos		
Texto mostrado	Descripción	Nombre del sensor
CT	Sensor de conductividad	TB4650 Conductivity Sensor 4-Electrode 225psi, 200 C, grupo b.
FT1	sensor de flujo de vapor	Vortex Flowmeter FV4000
FT2	sensor de flujo de agua	Istec's 1700 Series Single-jet Water Meter
LT1	sensor de nivel condensados	0 to 50 psid Cole-Parmer® Wet/Wet Differential Pressure Transmitter (condensados)
LT2	sensor de nivel combustible	0 to 50 psid Cole-Parmer® Wet/Wet Differential Pressure Transmitter(combustible)
PT	sensor de presión	0 to 250 psig Cole-Parmer® ±0.25%-Accuracy Gauge Transmitter, 4 to 20 mA Output
TT1	sensor de temperatura tortuga1	Type K Self-Adhesive Probe (Tortuga 1)

Continuación Tabla 12

Texto mostrado	Descripción	Nombre del sensor
TT2	sensor de temperatura agua	Type K Ungrounded Industrial Thermocouple Probe, 6" Length, 3/4" Connection
TT3	sensor de temperatura tortuga2	Type K Self-Adhesive Probe (Tortuga 2)
TT4	sensor de temperatura tortuga3	Type K Self-Adhesive Probe (Tortuga 3)
TT5	sensor de temperatura gases	Type K Pipe Plug Thermocouple Probes; 1/4" NPT (M); 0.5"L
VT	sensor de velocidad de aire	Series 641 Air Velocity Transmitter

E. Discusión

Los diferentes sensores instalados en el presente proyecto fueron seleccionados por el grupo del megaproyecto titulado “Cuarta Fase de la Automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala” en el que se tomaron como parámetros el precio, la calidad y el tiempo de entrega. Con respecto a la instalación de los sensores fue necesario buscar los documentos del fabricante, ya que estos no se encontraban en el laboratorio de operaciones unitarias. Muchos de los sensores, se compraron del proveedor Davis Instruments, y en la página de internet, se encontraban las características de los mismos aunque con poca información en algunos casos. En cambio con las termocoplas tipo K roscada, no se tubo problema porque esta cuenta con dos cables de diferente metal que provoca el mili voltaje en su salida y su conexión va directa al módulo de termocoplas. La posición de la instalación de la temocopla de temperatura de gases dio problemas ya que no estaba en contacto directo con la variable a medir y se cambió de la posición 1 a la posición 2 como se muestra en la Figura 43.

Los sensores de presión diferencial para obtener el nivel del tanque de combustible y del tanque de condensados, dieron problemas con la instalación

ya que se buscó la documentación en la página del proveedor, pero la información proporcionada no contenía el diagrama de conexión. Por lo que se asumió que la conexión era de tres hilos ya que tenía los conectores Exc, Out y Comm. Se realizó la conexión de esta manera, pero no se obtenía ninguna señal del PLC. Luego de varios intentos, se quitaron los tornillos que protegían el circuito y con esto se observó que la bornera de Out no estaba conectada a ninguna parte del circuito. Con esto se pudo asumir que la conexión tenía que ser de 2 hilos. Se contactó al proveedor por correo electrónico y de esta manera se obtuvieron los documentos del sensor y se confirmó que la instalación debía ser de 2 hilos y que el encapsulado también se utilizaba para sensores que emiten una señal de 0 a 5V o de 0 a 10V. Por lo que resulta importante obtener toda la información del instrumento de medición antes de iniciar con la conexión de prueba y error ya que se puede dañar el dispositivo y generalmente son de alto costo.

Con el sensor de presión Cole Parmer, se consideró que los 4 cables que tenía eran útiles para el funcionamiento del mismo. Por lo que se cableó en la tubería los 4 diferentes cables ya que no se tenía la documentación del sensor. Este tipo de confusiones provocó que se cablearan más conductores que finalmente no fueron conectados. En cambio con el sensor de velocidad de aire era fácil notar que se utilizarían cuatro hilos ya que los conectores del circuito estaban etiquetados como out, positivo y negativo y las otras dos de alimentación. Ya que estos sensores ya tenían un año de haber sido comprados, los documentos del fabricante no se encontraban a disposición y por motivos de terminar con el cableado, se usaron conductores de más. Pero si se tiene la información de los sensores se recomienda el estudio de los mismos para no tener estos percances que a gran escala producen gastos innecesarios.

El sensor de flujo de vapor tipo vortex que tiene una señal de salida analógica con tecnología HART, no se pudo obtener una señal hacia el PLC ya que este cuenta con una contraseña para poder ingresar a la configuración de las unidades de medición, escalamiento, caudal máximo y mínimo de operación,

entre muchos otros. Ya que no se puede ingresar a la configuración del mismo, se tiene una configuración que marca metros cúbicos por hora y un porcentaje que no cambian del valor de 0 la cual envía una señal de 4 mA al módulo. Como no se conoce el flujo de vapor que pasa por la tubería, puede ser que el sensor esta fuera del rango de operación o necesite de una calibración del usuario que en este caso no se puede realizar por la contraseña establecida. Este problema se deber resolver contactando a los proveedores del mismo para desbloquear el mismo y calibrarlo para comprobar si está dentro del rango de medición. Para saber si el sensor estaba bien calibrado se contactó al proveedor y se indicó que el sensor no emitía señal ya que estaba fuera del rango de medición.

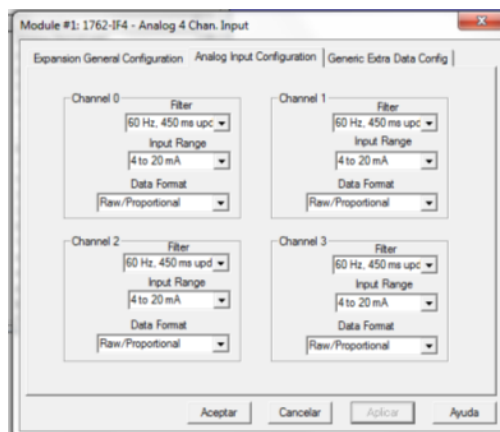
VII. PLC (Programmable Logic Controller)

Respecto a la comunicación y la programación del PLC Micrologix 1100 1763-L16AWA se puede tener información detallada en el Apéndice del presente trabajo de graduación.

Habiendo realizado la comunicación y configuración del proyecto según el apéndice, se procedió con la configuración del módulo de entradas analógicas para el que se utilizaron las siguientes propiedades del módulo.

- Frecuencia del filtro: 60hz
- Rango de entrada: 4 a 20 mA
- Formato del dato: Raw/Proportional

Figura 48: Configuración módulo de entradas analógicas

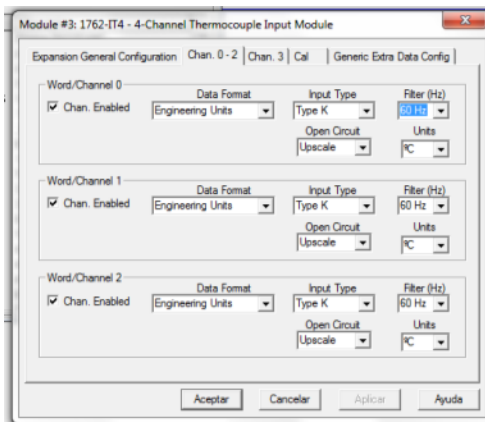


Para la configuración del módulo de entradas de Termocopla se utilizaron las siguientes propiedades del módulo.

- Frecuencia del filtro: 60hz
- Open circuit: upscale
- Temperature units: degrees C

- Input type: Thermocouple K
- Enable channel: enable

Figura 49: configuración entradas de termocopla



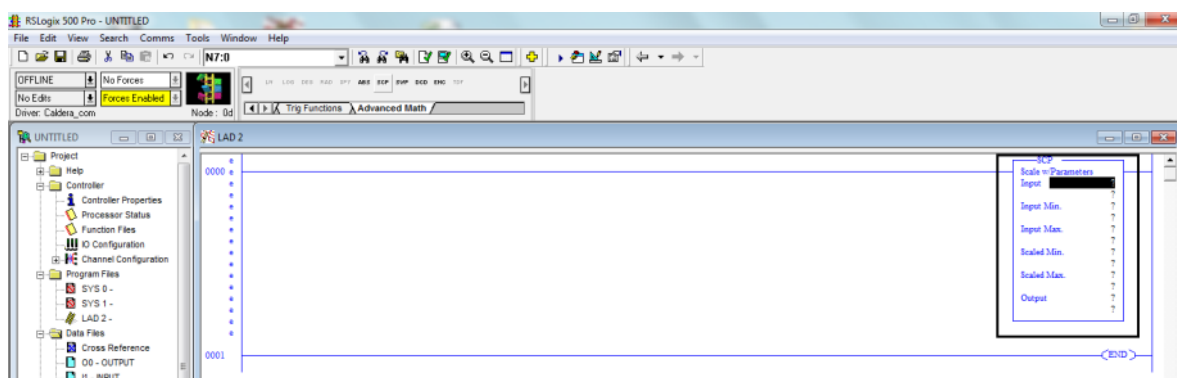
Después de la configuración de los módulos se procedió a crear las variables de salida de la categoría FLOAT. Para cada una de las variables a medir por los sensores. El escalamiento de la señal se puede realizar en el programa RSlogix500 o bien se puede obtener una señal de resolución del PLC y luego realizar la linealización en el programa HMI (Factory Talk View). En este caso se utilizó el programa RSlogix por lo que se tuvieron que crear las variables de salida ya linealizadas.

Figura 50: Creación de la variables tipo float



Estas variables son la salida del bloque utilizado para programar SCP (scale with parameters), con el cual se escalan las entradas de los sensores. Este bloque se encuentra en la pestaña Advanced Math de los objetos para programar. En el programa de escalera se colocó un bloque SCP para cada variable de entrada y se tomaron dos valores extremos (mínimo y máximo) para obtener el valor al que se deseaba convertir. Con esto se obtuvo una salida de punto flotante que se puede utilizar en el HMI.

Figura 51: Modulo SCP (scale with parameters)



Para la conversión de las señales de los sensores, se configuró en data format la opción de Raw/Proportional lo que indica que la conversión se realizará de manera lineal obteniendo un rango de conversión de -32767 a 32767 para 4 a 20 mA.

A. Calibración de sensores

Para obtener los valores a los que el PLC convertía la señal de corriente, se fabricó un circuito para simular una señal de corriente de 4-20 mA y poder visualizar la conversión completa que realiza el PLC. La salida de corriente del circuito se conectó a la entrada I2.3 del PLC y así en el programa de RSLogix 500 monitorear el valor. Con el circuito se simuló los valores en la columna de corriente del circuito (mA) y se obtuvieron los siguientes datos en la conversión del PLC.

Tabla 13: Datos de corriente y valor de conversión del PLC.

Corriente del circuito (mA)	Conversión del PLC
4.02	6175
5.3	7733
6.04	9301
7.03	10799
8.06	12390
9.06	13931
10.1	15554
15.41	23761
19.49	29938

En las siguientes imágenes se muestran las mediciones de corriente obtenidas del circuito y la lectura del programa RSLogix 500 en la entrada I:2.3.

Figura 52: Corriente del circuito 4.02 mA



Figura 53: Conversión del PLC 6175

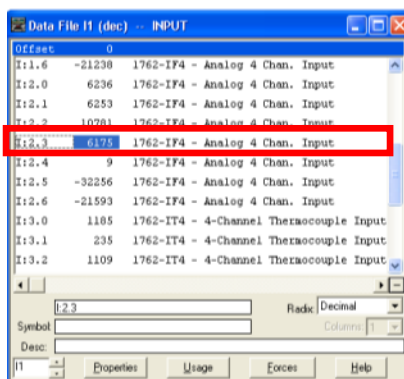
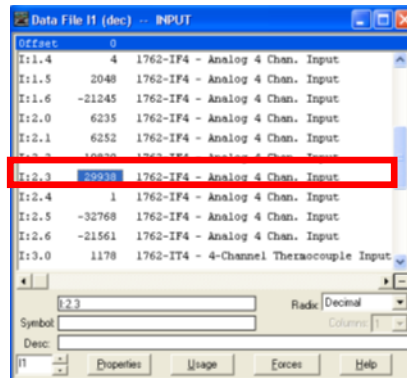


Figura 54: Corriente 19.49 mA



Figura 55: Conversión del PLC 29938

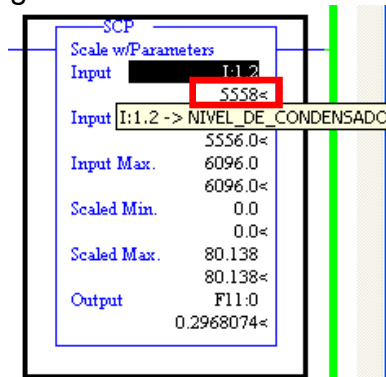


Se realizaron pruebas de corriente en el sensor nivel de condensado ya que de esta variable pueden obtener los diferentes valores de corriente respecto al nivel de agua en el tanque. Para obtener el valor mínimo de corriente en el sensor de presión diferencial, se abrió la válvula inferior del tanque de condensado para vaciarlo y se obtuvo 3.62 mA y una conversión del PLC de 5558.

Figura 56: Corriente sensor de condensado



Figura 57: Conversión del PLC

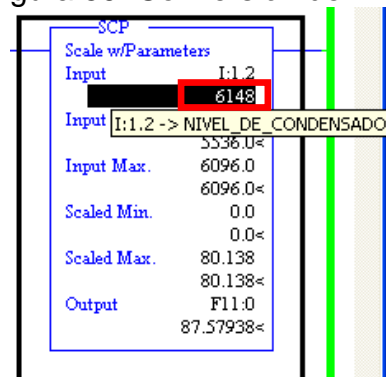


El otro valor de corriente para encontrar el rango de operación del sensor se obtuvo al llenar el tanque de condensado con agua. El valor de corriente fue de 4.00 mA con una conversión del PLC de 6148.

Figura 58: Corriente sensor de condensado



Figura 59: Conversión del PLC

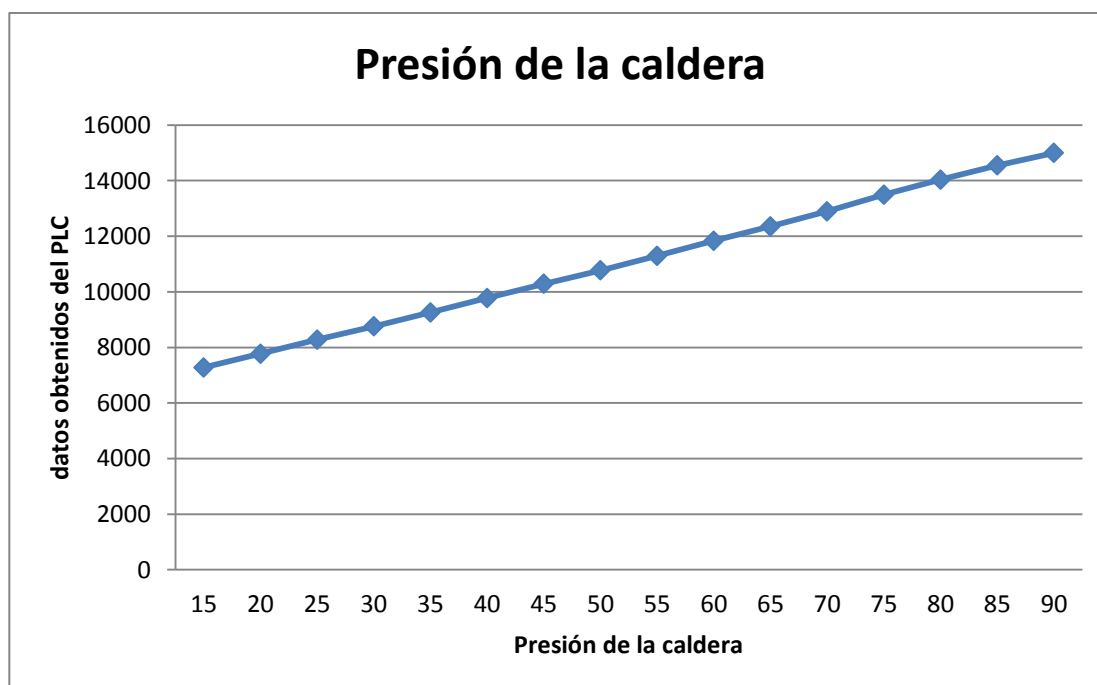


Habiendo verificado que los sensores enviaban un señal de corriente de 4-20mA se procedió a obtener los valores de los sensores análogos y su respectiva conversión del PLC. Para el sensor de presión de la caldera se recolectaron los siguientes datos.

Tabla 14: Tabla de conversión del PLC vs. presión de la caldera

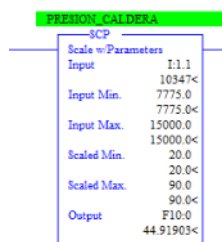
Presión de la caldera(psi)	Datos obtenidos del PLC
15	7275
20	7775
25	8280
30	8758
35	9260
40	9774
45	10290
50	10774
55	11294
60	11834
65	12357
70	12897
75	13493
80	14038
85	14549
90	15000

Figura 60: Gráfica de datos obtenidos del PLC vs. presión de la caldera



En este caso se muestra la variable de presión de la caldera, la entrada es la I:1.1 y se encuentra en el módulo 1. Se encontró una señal convertida mínima y máxima del PLC, en este caso 7775 Y 15000 respectivamente. Estos valores corresponden a 20 y 90 Psi de un manómetro análogo instalado en la caldera. Con esto se pudo observar el valor convertido es almacenado en la variable de punto flotante F10:0 con un valor de 44.91.

Figura 61: Módulo parametrizado para la variable de presión de caldera



También se utilizó un comparador de valor mayor que, ya que se desea tener una alarma de forma sonora para avisar que la presión de la caldera no exceda los 100 Psi ya que su rango de trabajo es de 70 a 90 Psi.

Figura 62: Bloque de comparación mayor que

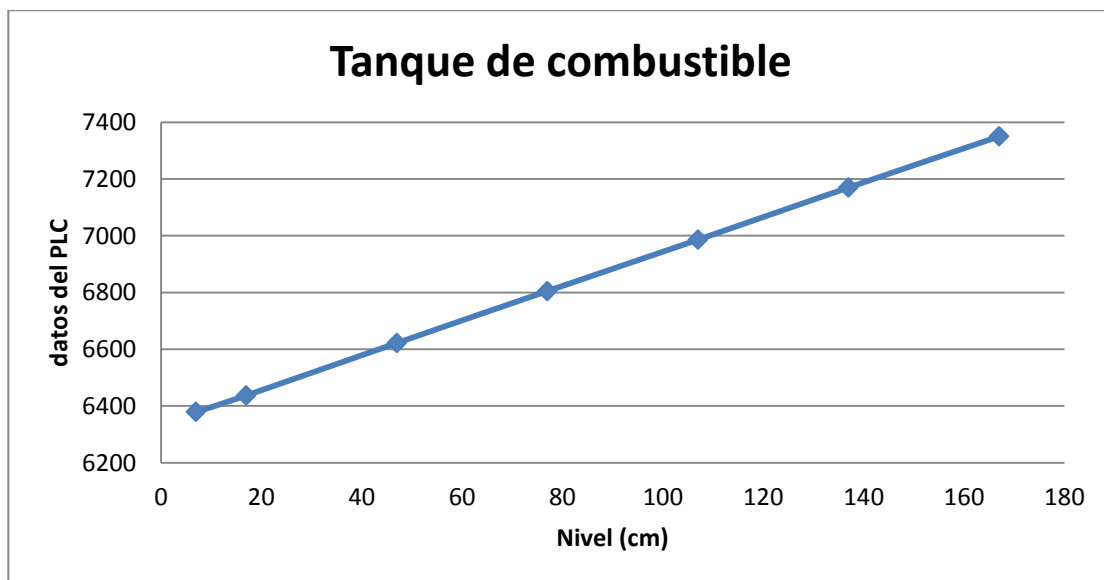


Para el sensor de presión diferencial del nivel de combustible también se utilizaron los valores mínimo y máximo, en este caso el tanque vacío y lleno. Ya que se mostró un comportamiento lineal se utilizó el bloque SCP para que realizara la linealización respectiva.

Tabla 15: Nivel de combustible y datos del PLC

Nivel (cm)	Datos del PLC
167	7350
137	7170
107	6986
77	6805
47	6622
17	6437
7	6379

Figura 63: Nivel de tanque de combustible vs. datos del PLC



Con los sensores de temperatura se fue comparando con un termómetro de mercurio y se recolectaron los datos obtenidos del PLC para observar si el comportamiento era lineal. Ya que la respuesta del sensor de termocopla tipo K roscada de $\frac{1}{2}$ " plg es de 30 segundos, los datos no son lineales al inicio. Pero en los siguientes datos se muestra que los datos son lineales por lo que se utilizó el bloque SCP para linealizarlo.

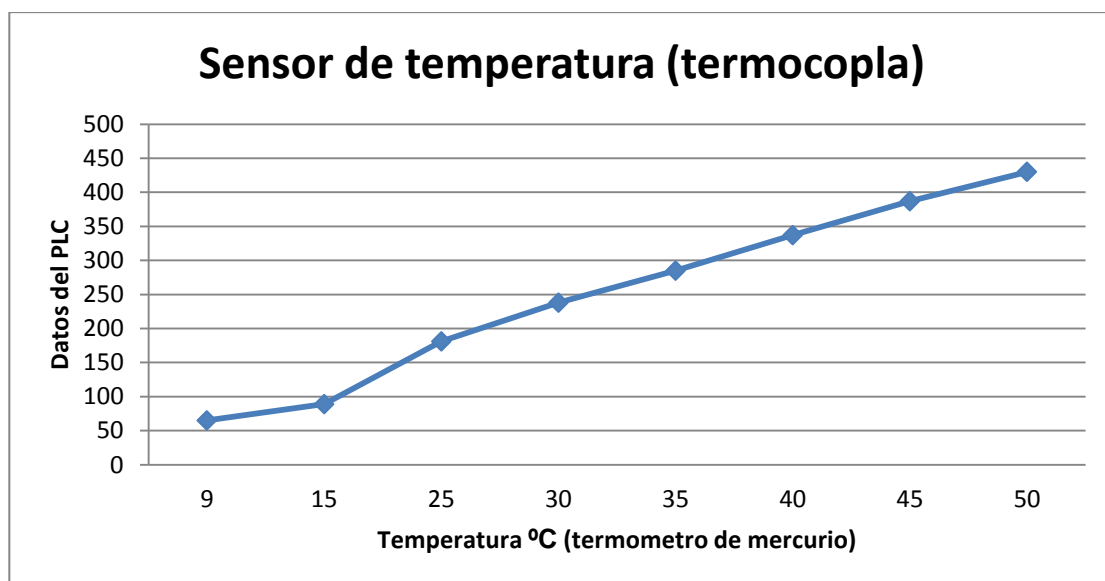
Figura 64: Sensor de temperatura comparado con termómetro



Tabla 16: Temperatura (termómetro de mercurio) y datos del PLC

temperatura °C (termómetro de mercurio)	Datos del PLC
9	65
15	89
25	181
30	238
35	285
40	337
45	387
50	430

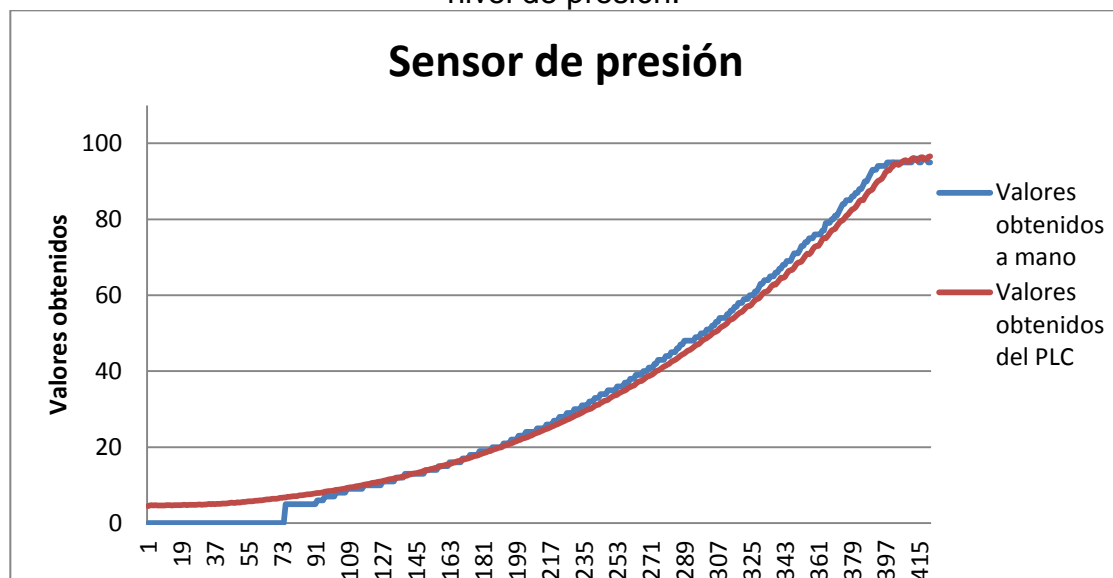
Figura 65: Temperatura °C (Termómetro de mercurio) vs datos del PLC



Al realizar la conversión de las señales de corriente y voltaje de los sensores hacia el PLC, es necesario ingresar solo los valores mínimos, máximos y los valores a los que se desean convertir en el bloque SCP. Por lo que al haber ingresado los valores de los sensores calibrados, se realizó una corrida de generación de vapor en la que se recolectaron los valores obtenidos del PLC de cada sensor utilizando la hoja de Excel del historial de datos creada con un intervalo de 3 segundos por muestra. Para comparar que los valores fueran los correctos se recopilamos los valores de forma manual con el mismo intervalo de 3 segundos de forma simultánea a la recolección de datos de la hoja de Excel. Se pidió ayuda a 4 estudiantes para anotar los valores de los siguientes sensores:

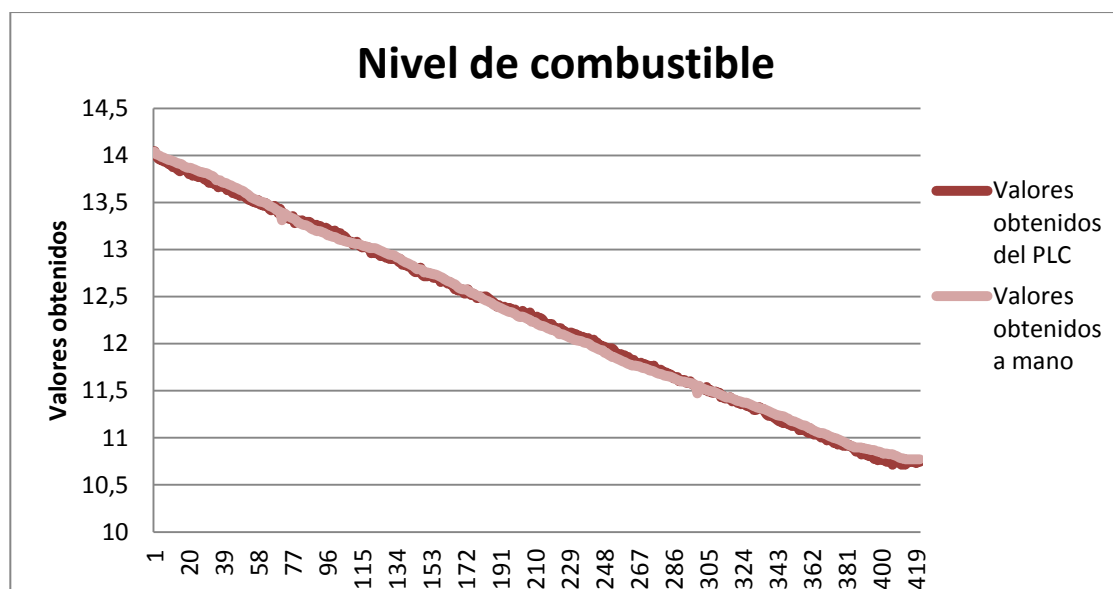
- Sensor de presión: se utilizó el valor del manómetro análogo instalado en la caldera.

Figura 66: Gráfica de valores obtenidos a mano y del PLC sensor de nivel de presión.



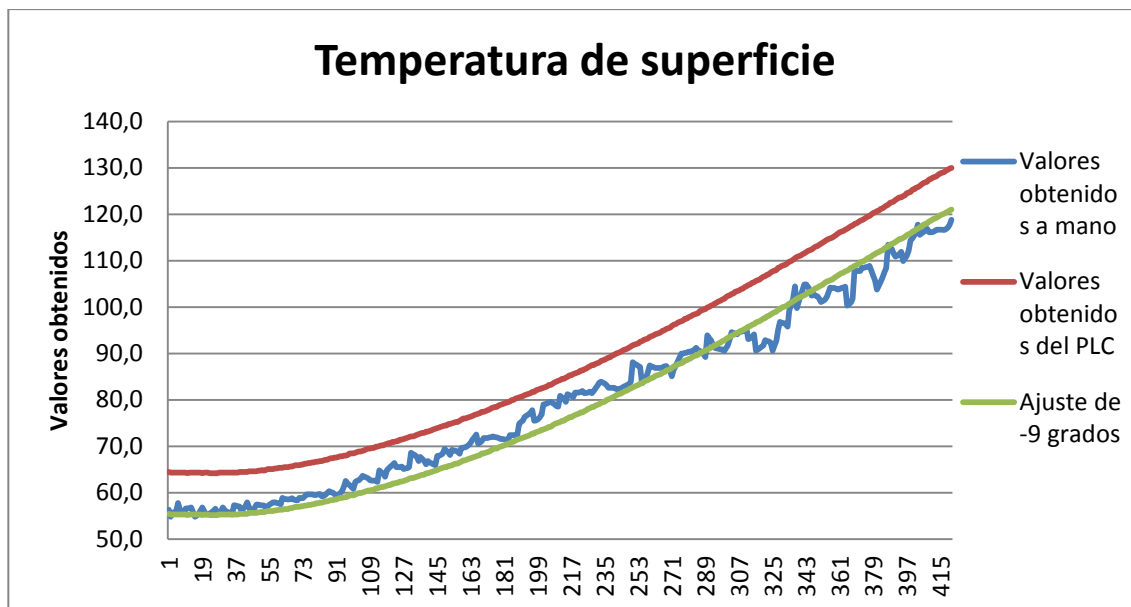
- Nivel de combustible: se utilizó la cinta métrica para verificar la disminución del nivel de combustible.

Figura 67: Gráfica de valores obtenidos a mano y del PLC del sensor de nivel de combustible.



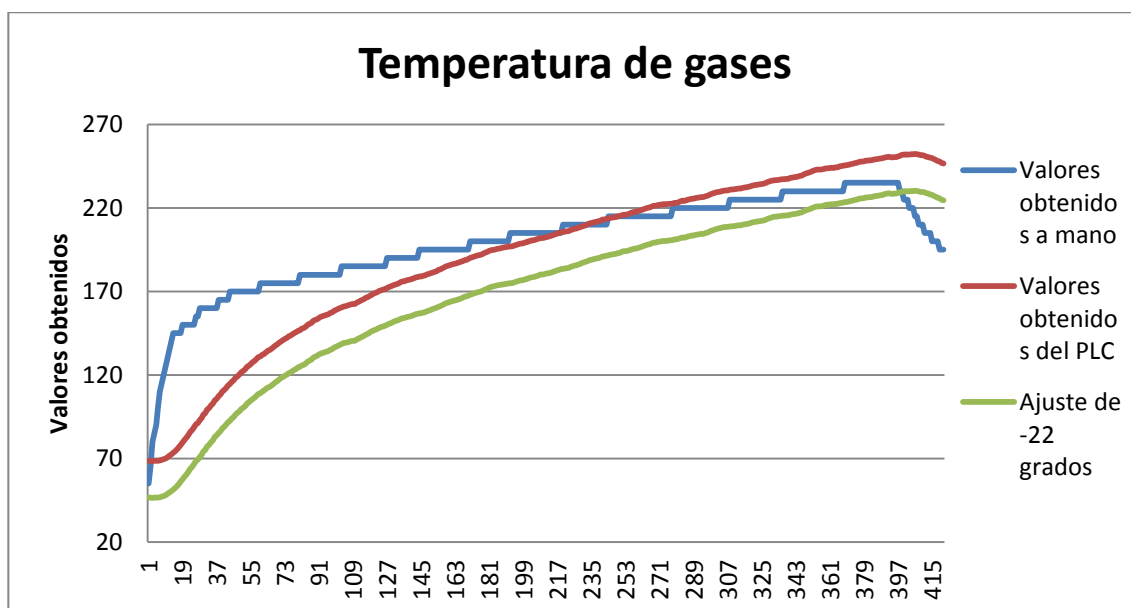
- Temperatura de la superficie: se utilizó un pirómetro para obtener la temperatura superficial de la caldera.

Figura 68: Gráfica de valores obtenidos a mano y del PLC del sensor de temperatura de superficie.



- Temperatura de gases de chimenea: se utilizó el sensor análogo de temperatura instalado en la caldera.

Figura 69: Gráfica de valores obtenidos a mano y del PLC del sensor de temperatura de gases de chimenea.



B. Discusión

Ya que el PLC Micrologix 1100 utilizado para el monitoreo de la caldera había sido previamente utilizado para otra aplicación, contenía un programa grabado. Al intentar realizar la comunicación con la computadora, no se lograba ya que tenía un error. Este error se despliega en la pantalla con un código de fábrica, el código se buscó en el manual de usuario del controlador e indicaba que la configuración de los módulos no era la correcta. Esto provocó que se tuviera que conectar el módulo que tenía adjunto en el panel anterior para que se pudiera eliminar el error. Una vez eliminado el error, se procedió a configurar la conexión por medio del puerto serial en el canal 0 ya que es el que trae predefinido.

Se decidió utilizar conexión por Ethernet ya que la computadora está alejada del panel que contiene el PLC y es más accesible conseguir un cable de internet con las dimensiones requeridas. Se tuvieron problemas con la conexión Ethernet ya que cada vez que se le asignaba la dirección IP al PLC, funcionaba correctamente, pero cuando se quitaba la alimentación, la dirección se borraba que puede ser problema de la batería interna que trae. En el Laboratorio de Operaciones Unitarias se contaba con otro PLC al que no se le borraba la dirección IP por lo que se cambió.

En el aspecto de la programación del PLC, se esperaba que al utilizar los módulos de entradas analógicas se pudiera hacer una conversión directa con los sensores. Al programarle a las entradas analógicas que el formato sería RAW/Proportional que nos da un rango de -32767 a 32767, se esperaba que al bloque de programación se le tuviera que colocar en entrada máxima y mínima el valor de la resolución (-32767 a 32767) y para el escalamiento mínimo y máximo el valor del rango de cada sensor.

Ya que los sensores no mostraban una conversión completa del rango programado, para observar que la conversión que estaban realizando los módulos de entradas analógicas fuera correcto se utilizó un circuito para simular las mediciones de corriente de 4-20 mA, con esto se puede observar que la

resolución de medición de los sensores que emiten señales de corriente es de aproximadamente 23763 que es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de conversión del PLC mostrado en la tabla 13. Esta resolución aplica si el sensor abarca el rango de medición de 4-20 mA.

Al realizar las pruebas de corriente en el sensor de nivel del tanque de condensado, las mediciones no muestran un cambio significativo ya que el rango del sensor es de 0 a 50PSI y un metro de una columna de agua genera 1.42 PSI. Las mediciones no son precisas porque para poder aprovechar el rango de medición del sensor se tienen 16mA y solo se están utilizando 0.38 mA que representan 559 puntos de medición en la conversión del PLC cuando se tienen disponibles 23763. Existe sobredimensionamiento en los sensores de medición de nivel que genera que la medición no sea precisa.

Por ejemplo el sensor de presión interna de la caldera, trae como especificaciones que el rango de medición es de 0 a 250 Psig y su salida es de 4 a 20 mA respectivamente. Pero para cada sensor se tuvo que obtener dos valores extremos para poder obtener la linealización con el bloque SCP(scale with parameters). En el caso de la presión de la caldera los valores mínimos y máximos fueron comparados con el manómetro de la misma. Como se puede observar en la Tabla 14 el valor para la medición de 20 psi el PLC registró 7775 y para 90 psi el PLC registró 15000. En la figura 62 la gráfica muestra que los valores son lineales por lo que se utilizó el bloque de SCP con el que se pudo realizar la conversión necesaria para ajustar cada sensor y obtener los valores de las variables para que el usuario las pueda utilizar.

Para los valores de nivel de condensado de agua se fue llenando el tanque para observar los valores convertidos por el PLC y estos se escalan con la altura de la columna del líquido. Para luego convertirlo al volumen que esta altura representaba. Estos valores de medición se pueden mejorar si el sensor tuviera un rango de medición de 0 a 3 PSI.

Se realizó el mismo procedimiento con el nivel de combustible para obtener los valores convertidos por el controlador. En este caso era necesario desconectar la tubería de alimentación de combustible hacia la caldera ya que la otra forma de vaciar el tanque era consumiéndolo. Con la desconexión de la tubería hacia caldera se podía drenar el combustible por medio de una llave de paso para lograr el nivel más bajo posible.

Al concluir con la calibración de los sensores, se realizó una corrida completa de la caldera en la que se obtuvieron valores de los sensores por medio del PLC y de manera manual con instrumentos de medición. Con esto se pudo graficar los valores y determinar si los sensores estaban calibrados correctamente. Como se muestra en las Figuras 66 y 67 los valores obtenidos de la linealización del PLC y los datos obtenidos de forma manual son similares a lo largo de la corrida completa por lo que los sensores de presión interna de la caldera y el nivel de combustible están bien calibrados.

En el caso de las Figuras 68 y 69 que son los sensores de temperatura de la superficie y de los gases de chimenea respectivamente, los datos obtenidos a mano muestran un desfase respecto a los datos obtenidos del PLC, por lo que se realizó un ajuste de -9 grados para el sensor de temperatura de la superficie y -22 grados para el sensor de temperatura de los gases de chimenea.

VIII. PROGRAMA HMI

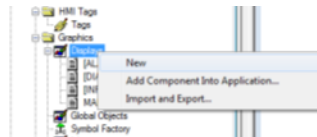
A. HMI Factory Talk View

En la conexión del programa HMI Factory Talk View de Rockwell Automation, referirse al apéndice del presente trabajo de graduación para obtener los pasos.

Cuando se desee utilizar Factory Talk View y previamente se había utilizado RSLogix 500, se recomienda utilizar el administrador de tareas y verificar si algún proceso de RSLogix está funcionando y finalizarlo si es el caso, ya que en ocasiones no deja establecer la comunicación del PLC con Factory Talk View y no se pueden observar las variables.

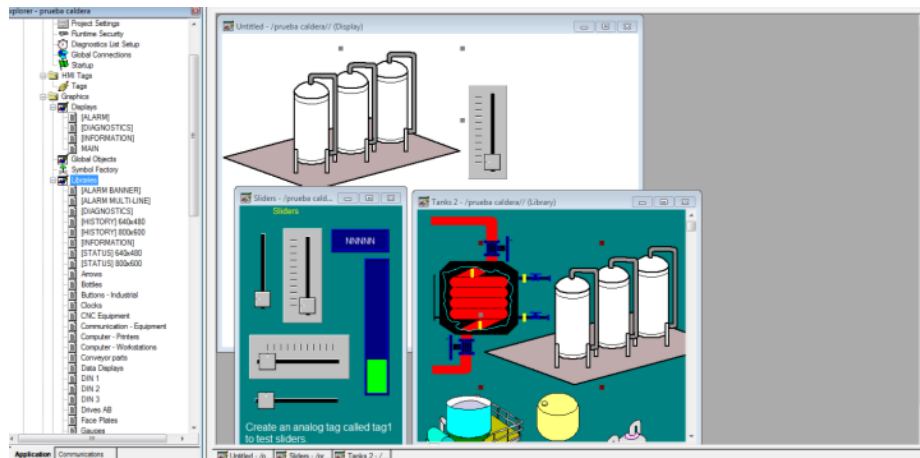
Teniendo la conexión, se procede a crear los displays en los que se mostrara al usuario las variables medidas junto con animaciones de objetos para que este sea más amigable.

Figura 70: Nueva pantalla de interfaz gráfica



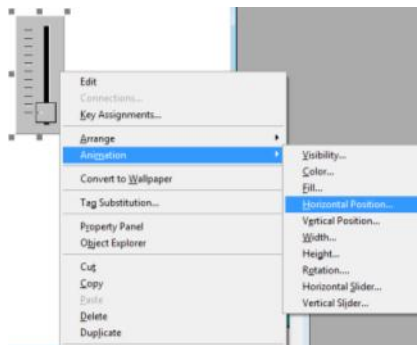
En el programa se tienen librerías de las que se pueden tomar los diferentes objetos para crear la interfaz gráfica.

Figura 71: Librerías de objetos para interfaz gráfica



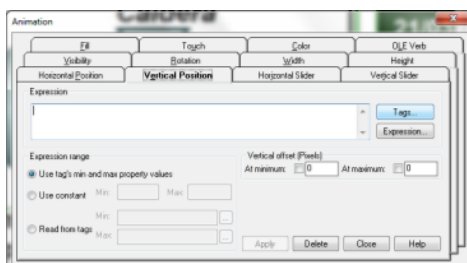
Algunos de ellos tienen animaciones para que el usuario tenga una mejor idea del valor obtenido, esto se puede elegir con la pestaña de Animation.

Figura 72: Tipos de animación para los objetos



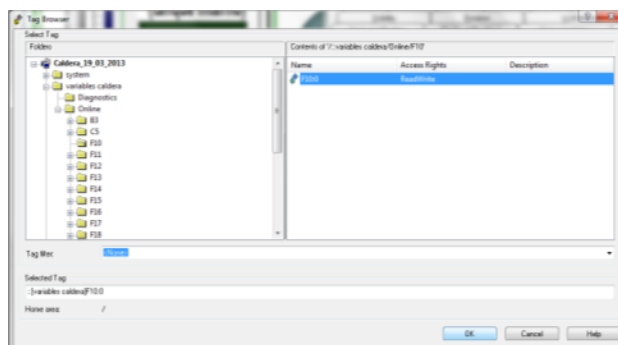
En las siguientes pestañas se puede seleccionar el tipo de animación que el objeto requiera para una mejor visualización.

Figura 73: Configuración de la animación del objeto



Después de seleccionar el tipo de animación que se desee, se debe asignar una etiqueta correspondiente a la variable programada en RSLogix 500.

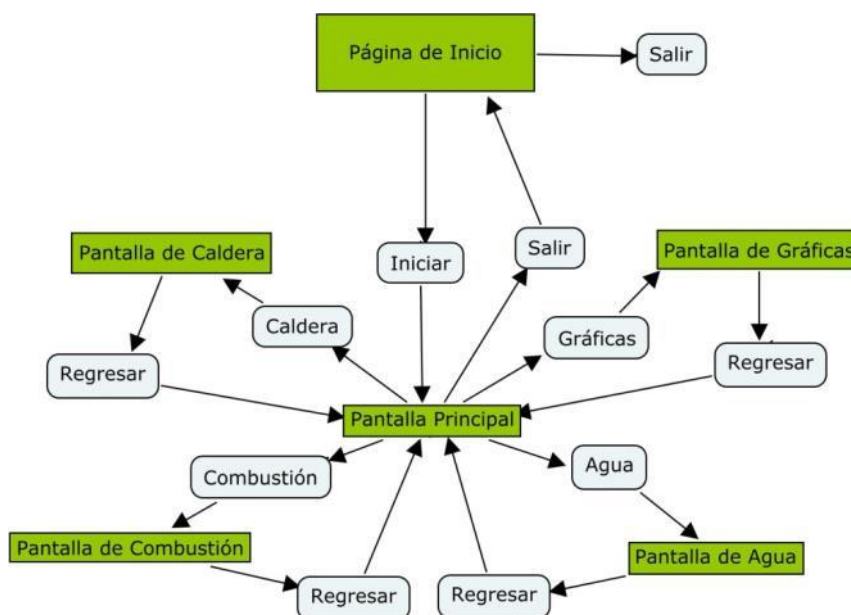
Figura 74: Selección de variable a vincular con el objeto



B. Resultados

En el siguiente diagrama se muestran las opciones que se tienen en el programa HMI creado en Factory Talk View de Rockwell Automation. En la página de inicio se tiene los botones para iniciar con la visualización de los datos o salir del programa. Al ingresar a la página principal, en donde se muestran los valores de todas las variables, se tiene las opciones de ir a las pantallas de caldera, gráficas, combustión, agua o regresar a la página de inicio. En cada pantalla se detalla con gráficas los valores obtenidos y para regresar a la página principal, cada una tiene su respectivo botón de regresar.

Figura 75: Diagrama de funcionamiento del programa HMI



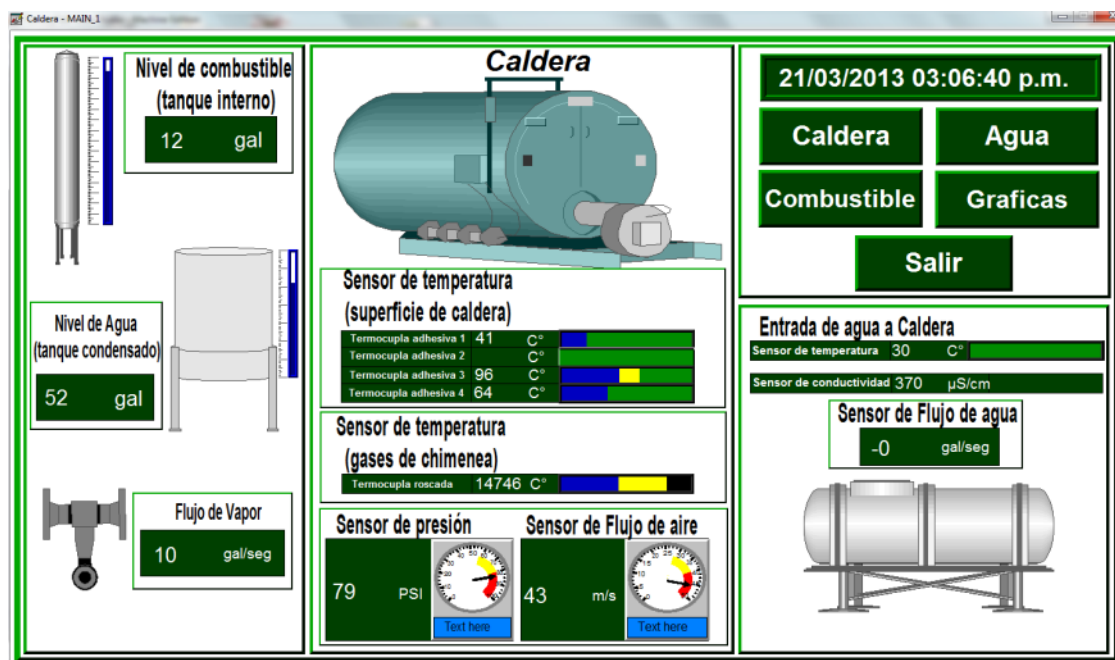
A continuación se muestran las diferentes pantallas realizadas para poder observar las variables en el programa HMI (Factory Talk View).

Figura 76: Pantalla principal programa HMI.



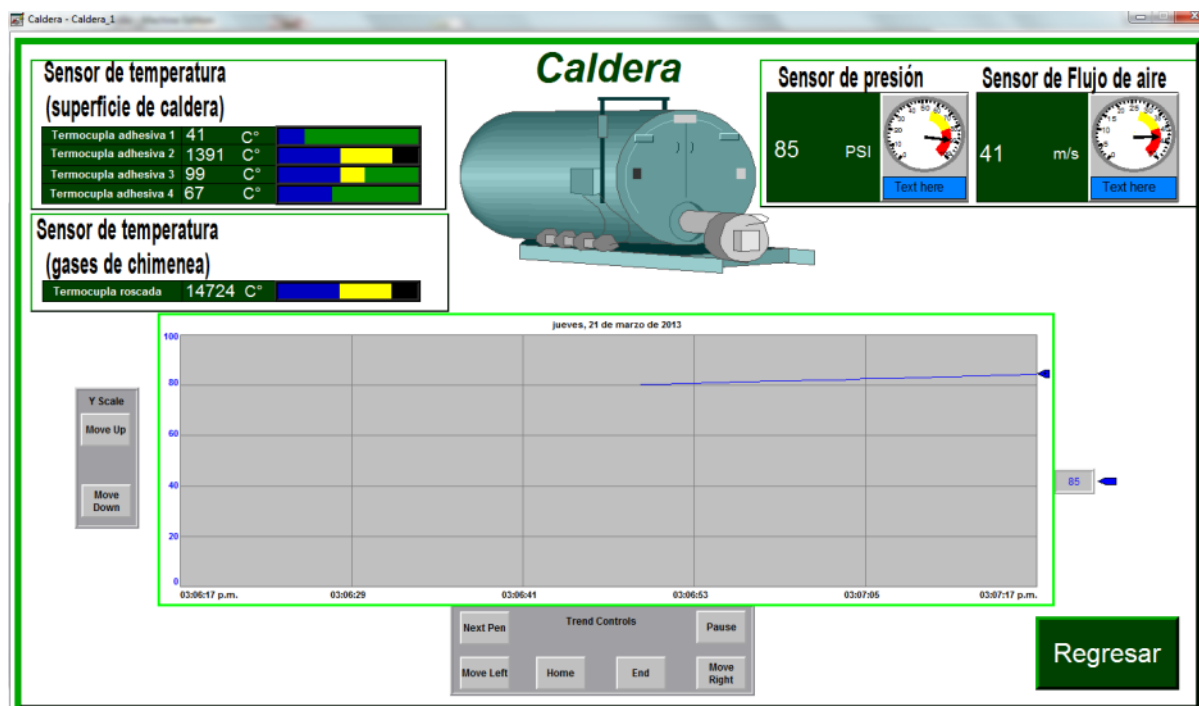
Elaboración propia.

Figura 77: Pantalla con todas la variables.



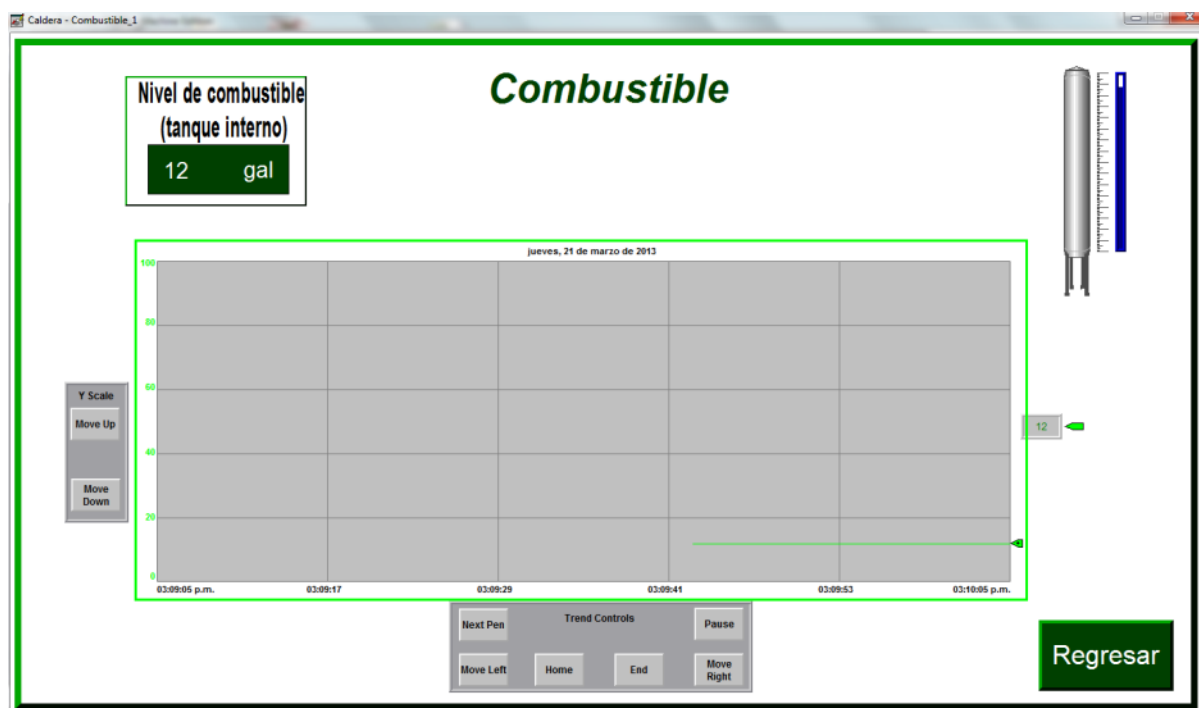
Elaboración propia.

Figura 78: Pantalla con variables de la caldera.



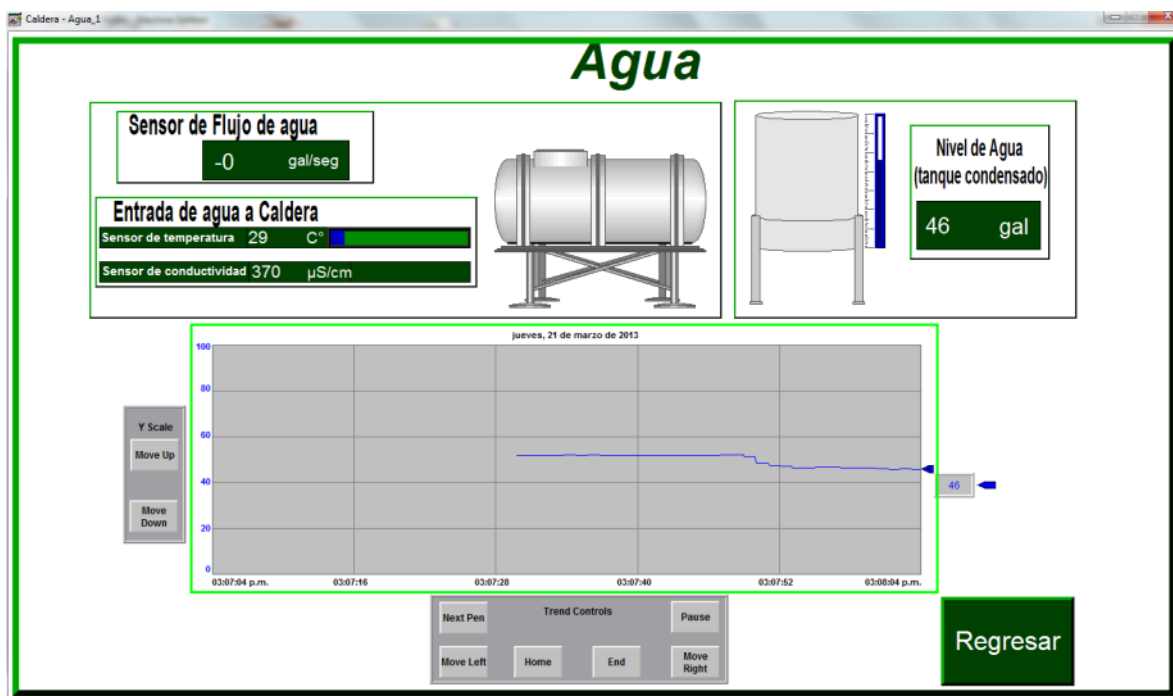
Elaboración propia.

Figura 79: Pantalla con variables de combustible.



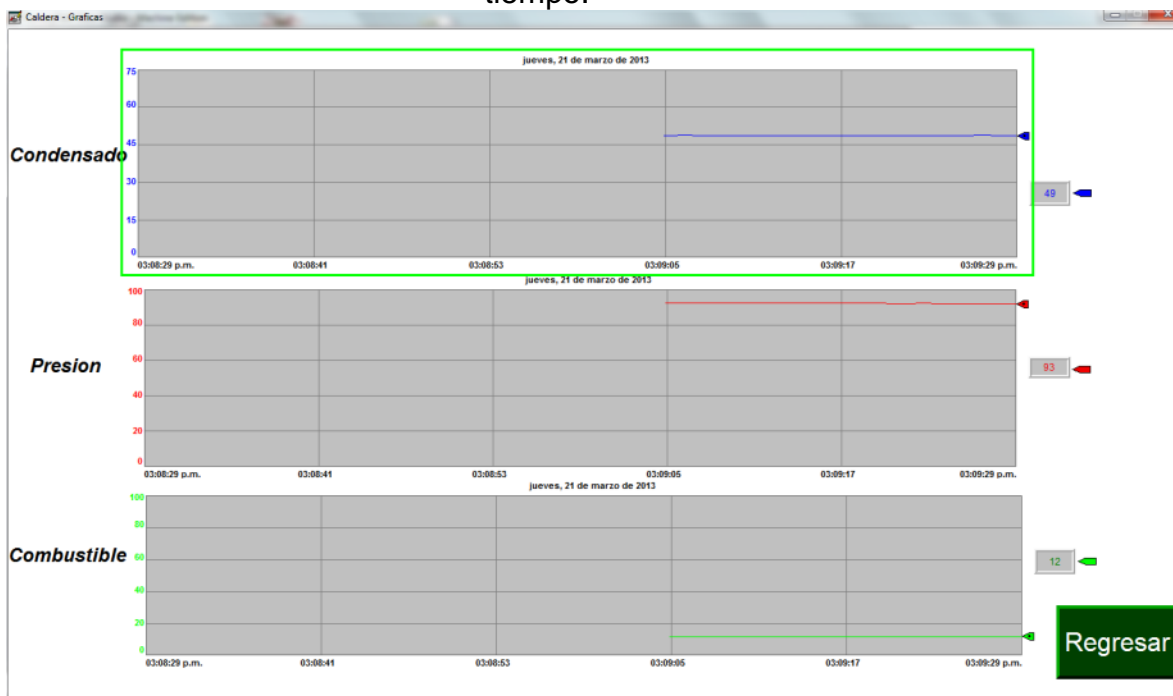
Elaboración propia.

Figura 80: Pantalla con variables de agua.



Elaboración propia.

Figura 81: Pantalla con gráficos de condensado, presión y combustible vs tiempo.



Elaboración propia.

C. Discusión

Para poder realizar la comunicación con este programa se tuvieron varios problemas ya que al intentar conectarlo por medio de puerto serial, se tenían conflictos con que el puerto estaba siendo utilizado por otro programa o dispositivo. Esto ocurría cuando se estaba programando el PLC en RSLinx500 y se empezaba a utilizar el programa de FactoryTalk View. Por este motivo, se tenían que finalizar los procesos de RSLinx Classic para poder realizar la conexión.

Aunque el programa es fácil de utilizar ya que los botones e imágenes se arrastran a la posición en donde se desea desplegar, se tienen bastantes problemas con la manipulación de los mismos ya que al pegar objetos o hacer zoom, las dimensiones de algunos objetos cambian y se tienen que estar reconfigurando.

Se logró realizar la interfaz del programa HMI pero al iniciar con la programación hubo un error en la aplicación y luego al tratar de abrir la aplicación para continuar trabajando, no se tenía acceso a las pantallas ya trabajadas por lo que se tuvieron que volver a hacer. En ese momento no tenía el conocimiento de cómo almacenar el programa en la ubicación deseada ya que la opción de guardar como no existe en este programa, por lo que se recomienda hacer un backup con Application Manager para que luego si se llegan a perder los datos en el programa original, se utiliza Application Manager con la opción de Restore Application.

En la creación de las diferentes pantallas en las que el usuario puede navegar se utilizaron barras para tener una idea del nivel de los tanques de condensado y combustible, también se utilizaron diales para representar los valores de la velocidad de aire y la presión de la caldera. Para los sensores de temperatura se utilizaron barras que tienen tres diferentes colores dependiendo del rango en el que se encuentre el valor.

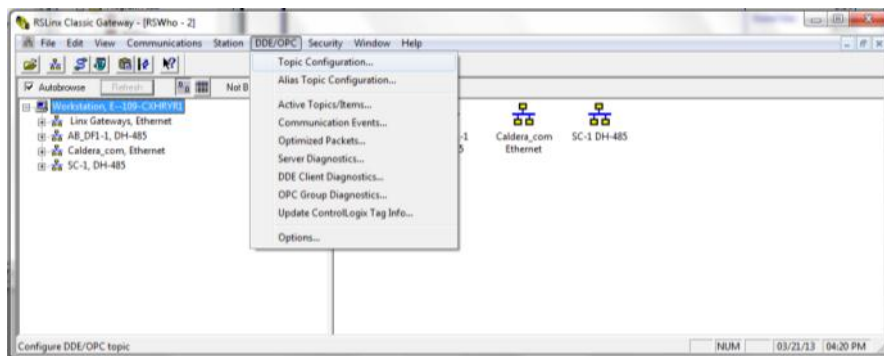
En los botones de la pantalla principal, no se agregó alguno con manual de instrucciones o ayuda ya que el programa es puramente visual. Ya que con este programa no se tiene el control de ninguna válvula o motor de la caldera para explicar su funcionamiento. Como la programación del historial de datos no se puede realizar en este programa se utilizó la herramienta de Macros en Excel. Para hacer el historial con un programa de la misma familia de Rockwell Automation, se debe realizar en FactoryTalk Historian.

IX. HISTORIAL DE DATOS EXCEL

A. Programación historial de Excel

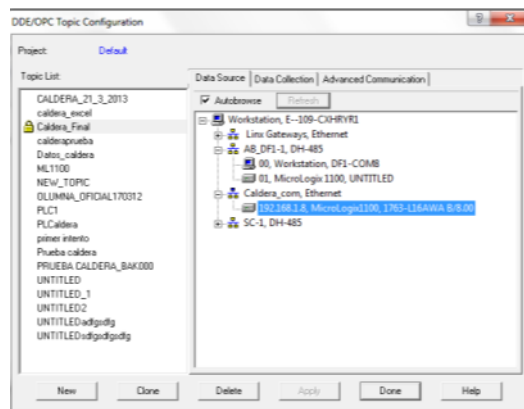
Ya que no se cuenta con el programa FactoryTalk Historian se decidió utilizar Microsoft Excel para almacenar el historial de datos obtenidos en la operación de la caldera. Como en los otros programas, es necesario realizar la comunicación con el programa, por lo que se utilizó Rslinx Classic ingresando a la pestaña DDE/OPC luego a Topic Configuration.

Figura 82: Configuración del DDE/OPC



En la configuración, se selecciona el PLC antes configurado y en Topic List se selecciona la aplicación creada en RSLogix 500 para que aparezca la opción de Apply.

Figura 83: comunicación entre el PLC y aplicación creada en RSLogix 500



Luego se ingresa a una hoja nueva de Excel para ingresar el siguiente código =RSLINX|Caldera_Final!'F11:0' con el que se obtiene el valor en tiempo real de la variable F11:0 de la aplicación con la que se realizó la conexión.

B. Resultados

Con la ayuda de la programación de Visual Basic que se tiene en Excel para programar los macros, se crearon los botones para que el usuario pudiera iniciar, pausar, guardar y resetear varias corridas. En varias casillas se colocaron las diferentes variables que se obtienen del PLC.

El programa cuenta con una casilla en donde el usuario puede ingresar el valor de intervalo al que desea que se almacenen las variables.

Figura 84: Pantalla de Excel para compilación de variables

Var 1	Var 2	Var 3	Var 4	Var 5	Var 6	Var 7	Var 8	Var 9	Var 10	Var 11	Var 12
flujo de aire	presión caldera	nivel condensado	nivel combustible	flujo de vapor	flujo de agua	conductividad de agua	temp. tortuga	temp. tortuga	temp. tortuga	temp. gases	temp. agua
m/s	PSI	gal	gal	flujo vapor	flujo agua	µs/cm	°C	°C	°C	°C	°C
1.38909	74.382	46.68786	11.84448	9.999216	-0.0079277	543.5337	152.005	137.995	141.65	14806.4	29.6667

Estas variables están en tiempo real, por lo que se creó el programa para que copiara y pegara los valores de las casillas de las variables y que las fuera desplegando en la siguiente fila de la hoja. También se tiene la hora en la que el dato fue recolectado.

Figura 85: Ejemplo de recolección de datos

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Variables Caldera 18-03-2013_final'. The interface includes a menu bar with options like 'Archivo', 'Inicio', 'Insertar', 'Diseño de página', 'Fórmulas', 'Datos', 'Revisar', 'Vista', and 'Programador'. Below the menu, there are several toolbars and a main data table.

On the left side, there are three buttons: 'Iniciar/Continuar', 'Pausa', and 'Guardar en hoja nueva'. The main data table has the following structure:

No	Hora	Var 1 flujo de aire m/s	Var 2 presión caldera PSI	Var 3 nivel condensado gal	Var 4 nivel combustible gal	Var 5 flujo de vapor flujo vapor	Var 6 flujo de agua flujo agua	Var 7 conductividad de agua us/cm	Var 8 temp. tortuga °C	Var 9 temp. tortuga °C	Var 10 temp. tortuga °C	Var 11 temp. gases °C	Var 12 temp. agua °C
1	04:32:52 p.m.	2.08	65.8367	45.69147	11.81393	9.999608	0	740.2911	147.132	136.269	138.604	98.6	45.6667
2	04:32:53 p.m.	2.07273	65.827	45.69147	11.81393	9.999608	0	740.2106	147.132	136.66	138.706	98.7	45.7778
3	04:32:54 p.m.	2.08	65.8367	45.69147	11.81393	10	-0.0079277	740.3716	147.234	134.746	138.807	98.6	45.7778
4	04:32:56 p.m.	2.09697	65.7882	45.69147	11.81393	9.999608	-0.0079277	740.7739	147.335	134.949	138.807	98.6	45.7778
5	04:32:57 p.m.	2.14546	65.7107	45.69147	11.81393	9.999608	-0.0079277	740.9349	147.437	134.746	138.909	98.6	45.7778
6	04:32:57 p.m.	2.15515	65.7592	45.69147	11.79866	9.999608	-0.0158554	741.0958	147.234	134.949	138.807	98.7	45.7778
7	04:32:58 p.m.	2.19879	65.7398	45.69147	11.81393	9.999608	-0.0158554	741.9006	147.031	134.848	138.706	98.6	45.7778
8	04:32:59 p.m.	2.21818	65.7882	45.69147	11.81393	9.999216	-0.0079277	742.303	146.929	134.645	138.503	98.6	45.7778
9	04:33:00 p.m.	2.23758	65.6817	45.69147	11.81393	9.999608	-0.0079277	742.6249	146.929	134.645	138.401	98.7	45.7778
10	04:33:01 p.m.	2.25697	65.8464	45.69147	11.81393	9.999608	-0.0079277	743.0272	146.929	134.239	138.198	98.6	45.7778
11	04:33:02 p.m.	2.31515	65.6235	45.69147	11.81393	10	-0.0158554	743.1881	147.031	134.848	137.995	98.5	45.8889
12	04:33:03 p.m.	2.32	65.7107	45.69147	11.8292	9.999216	-0.0158554	743.5905	147.132	134.848	137.995	98.4	45.8889
13	04:33:04 p.m.	2.41697	65.6429	45.69147	11.81393	9.999608	-0.0079277	744.3953	147.335	134.645	137.893	98.6	45.8889
14	04:33:05 p.m.	2.48	65.7398	45.69147	11.81393	10	-0.0158554	744.9586	147.538	134.137	137.792	98.5	45.8889
15	04:33:06 p.m.	2.56	65.701	45.69147	11.81393	10	0	745.9243	147.538	133.325	137.589	98.5	45.8889
16	04:33:07 p.m.	2.74667	65.5654	45.69147	11.79866	9.999608	-0.0158554	749.3846	147.741	133.731	137.487	98.7	45.8889
17	04:33:08 p.m.	2.77818	65.6914	45.69147	11.79866	9.999608	-0.0158554	752.0402	147.843	133.934	137.284	98.5	45.8889
18	04:33:09 p.m.	2.90667	65.701	45.69147	11.79866	9.999608	-0.0158554	753.4083	147.944	133.833	137.284	98.6	45.8889
19	04:33:10 p.m.	2.98667	65.6914	45.69147	11.79866	9.999608	-0.0158554	753.8107	147.944	133.833	137.284	98.6	45.8889
20	04:33:11 p.m.	3.03758	65.672	45.69147	11.8292	10	0	753.6497	147.944	134.137	137.183	98.6	45.8889

Para realizar una corrida y recolectar los datos se debe presionar iniciar/continuar. Al terminar la corrida se debe presionar el botón de pausa y si se desea seguir recolectando datos, hay que presionar iniciar/continuar.

De las opciones creadas en el programa está la de Guardar en hoja nueva, que como su nombre lo dice se crea una nueva hoja en la que se almacenan los datos recopilados.

Es importante que en cada corrida realizada se guarden los datos recopilados en una hoja nueva para tener almacenados como respaldo ya que al presionar la opción de resetear, los datos obtenidos se borrarán de la hoja llamada Programa.

Pero al presionar el botón resetear, los datos obtenidos seguirán almacenados en las hojas guardadas según las corridas que el usuario haya realizado.

C. Discusión

Para poder obtener los intervalos de tiempo se utilizó un programa que tenía programado hacer un proceso cada intervalo de tiempo, ya que en Microsoft Excel en la programación de macros con Visual Basic, no se cuenta con un timer para poder realizar esta acción.

Teniendo la base del programa, se utilizó la operación de grabar macros y se realizaba manualmente la operación que se desea que se realice en Excel, luego se detenía la grabación, esto generaba un código en Visual Basic. Este código era modificado para que se adaptara a la aplicación realizada.

El hecho que la aplicación del historial de datos se haya hecho en Excel, facilita la manipulación de los datos por el usuario ya que es una plataforma bastante utilizada en el medio. El archivo está protegido para que los usuarios no modifiquen las fórmulas de las celdas. Pero se tiene acceso a la opción de guardar como para almacenar la información.

X. CONCLUSIONES

1. La instalación de los instrumentos electrónicos para medir temperatura, presión, conductividad, velocidad de aire y nivel de combustible se realizó sin ningún problema a pesar de la limitante de no contar con los manuales respectivos, lo cual se solucionó consultando a los proveedores por los diferentes medios de comunicación.
2. Para la programación del PLC Micrologix 1100 1763-L16AWA se realizó la conexión por medio de Ethernet, pero al quitar la alimentación al PLC, perdía su dirección IP programada. Se tuvo la facilidad de contar con la existencia de otro PLC con las mismas características, el cual ya no presentó el problema antes mencionado, logrando realizar la conexión.
3. Para que el usuario pueda simultáneamente visualizar el programa HMI de Factory Talk View y almacenar los valores en el historial de datos en Microsoft Excel, es necesario que la conexión sea por Ethernet, ya que por puerto serial solo se puede comunicar con un programa a la vez.
4. En la calibración de los sensores se esperaba trabajar con un rango de -32767 a 32767 para las señales analógicas de 4-20mA. Ya que los sensores estaban sobredimensionados, se utilizó un circuito para simular la señal de 4-20mA y así encontrar el rango de conversión del PLC, que fue de 6175 a 29938 para 4.02 y 19.49mA respectivamente.
5. A pesar de utilizar módulos especiales para el tipo de entrada analógica y de termocupla de todos los sensores instalados; en la programación del PLC, fue necesario escalar los valores con la ayuda

del bloque SCP (scale with parameters) para poder tener un valor que el usuario pueda utilizar.

6. El programa HMI realizado en Factory TalkView de RockWell Automation, muestra el valor de las variables medidas en tiempo real con el inconveniente que los datos no se almacenan en el programa, por lo que se implementó un programa con macros en Microsoft Excel para guardar el histórico de datos medidos por los sensores instalados.
7. El cálculo de la eficiencia de la caldera no se logró monitorear ya que es necesario conocer la cantidad de flujo de vapor producido por la misma y el sensor de flujo de vapor instalado, está sobredimensionado respecto a la variable a medir. La medición de vapor producido se puede obtener del vapor condensado pero con el inconveniente que se debe instalar un sensor de nivel de condensado en cada máquina que utilicé el vapor.
8. La automatización de la medición para el monitoreo de variables de la caldera del laboratorio de operaciones unitarias se logró parcialmente, ya que de los 12 sensores para obtener las mediciones se pueden obtener valores correctos de 10 de ellos. El sensor de flujo de vapor está sobredimensionado por lo que no se obtiene señal y el de flujo de agua no emite una señal analógica para monitorearla.

XI. RECOMENDACIONES

1. Es conveniente que en el cableado se utilicen guías especiales para pasar los cables por la tubería, y para futuros cableados se debe dejar un cable como guía para que sea más fácil instalar los nuevos conductores.
2. Se sugiere no empezar a hacer la instalación eléctrica hasta que se haya entendido bien todos los diseños utilizando los documentos del fabricante, debido a que en algunos sensores no todos los cables se utilizan y pueden provocar cableado innecesario. En este proyecto los tramos eran cortos, pero si se utilizan calibres de cables grandes y distancias largas puede provocar gastos adicionales.
3. Se puede mejorar el monitoreo de la caldera colocando un sensor de temperatura en el tanque de condensados, ya que en las practicas los estudiantes necesitan tomar la temperatura al inicio y al final de cada corrida.
4. Si se desean realizar macros en el programa de Excel, es recomendable utilizar la opción de grabar macros para luego analizar el código generado y modificarlo para que realice la acción deseada.
5. Para poder realizar el cálculo de la eficiencia de la caldera es necesario conocer el flujo de entrada de agua, el flujo de salida de vapor y la composición de los gases de combustión.

XII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. Álvarez, Eduardo Néstor. *Síntesis instrumentos generalidades a (glosario – apunte)*, <http://laboratorios.fi.uba.ar/lscm/sitiocon.htm>
2. Barreto Walter. 2005, *Calderas de vapor* http://www.uruman.org/4to_congreso_docs/trabajos_tecnicos/adicionales/barr eto.pdf
3. Burmester Juan Carlos, 2012. *Curso de instrumentación electrónica ie3012-5 sensores.pdf*, Guatemala.
4. Caballano Alcántara, José Luis. *Tipos de calderas industriales* http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/tiposdecalderasindustri ales/
5. Castillo Daniel, 2012, *Introducción a la mecatrónica, sensores y transductores*, <http://1512786.blogspot.com/2012/11/21-sensores-y-transductores.html>
6. Cauich Kú, José Mario. *Concepto general de los sensores* http://www.alipso.com/monografias4/sensores_inductivo,_infrarojo,_magnetico ,_efecto_hall/
7. Cobo, Raúl. *El abc de la automatización*. <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>
8. Estrada Beltrán Henry , 2001, *Clasificación del plc*, http://www.oocities.org/ingenieria_control/control2.htm
9. Sener, *Eficiencia en calderas y combustión* http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3856/2/ Calderas_02.pdf
10. Principios fundamentales para la eficiencia de calderas , *manual de Esso*, 21 págs.
11. *Instrumentos de medida*, www.fisica.ru/dfmg/teacher/archivos/06_instrumentos.ppt

12. *Autómatas programables curso básico de autómatas programables el plc*, 2001. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm>
13. *Autómatas programables curso básico de autómatas programables funcionamiento*, 2001. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/FUNCIONAMIENTO/funcionamiento.htm>
14. *Instrumentación y comunicaciones industriales / fi-unlp* <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/apunteplc.pdf>
15. *Introducción a HMI (interfaz hombre máquina)* <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/hmi/introduccion%20hmi.pdf>
16. Allen-Bradley, *Bulletin 1763 Controllers and 1762 Expansion I/O MicroLogix 1100 Programmable Controllers User Manual*, 256 págs.
17. Dwyer Instruments, Inc. *Series 641 Air Velocity Transmitter*, 2004, www.dwyer-inst.com, 4 págs.
18. ISTECS, *MODEL 9503 & 9504 Water-Meter-1700-Series-Wiring-Diagram.pdf*, 1 pág.
19. Nesersa, *Installation Guide Model 230 Wet/Wet Differential Pressure Transducer*, www.nesersa.com.
20. ABB Automation Products, *Vortex Flowmeter / Swirl Flowmeter FV4000 / fs4000, d184b097u02-en-11-10_2011.pdf*, 124 págs.
21. ABB Automation Products, *4-electrode conductivity sensors, abb sensor conductividadPG_Sensor_Wiring_B.pdf*, www.abb.com. 5 págs.
22. Cole-Parmer, *High-Accuracy Pressure Transducers. RZ_01143.pdf* 1 pág.
23. Rockwell Automation, *MicroLogix 1762-IF4 Analog Input Module*, http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in012_-en-p.pdf.

24. Thomschke Sebastian, 2002-2012, *Excel VBA Timer Example v1.01*,
<http://sebthom.de/>.
25. Imanor, 2011, *Intercambio de información DDE, OPC*,
<http://www.infopl.net/blog9/?p=17>

XIII. BIBLIOGRAFÍA ESCOGIDA

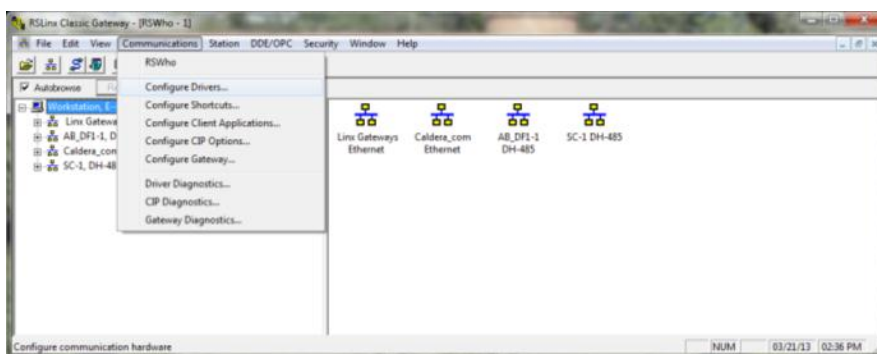
- *Allen-Bradley, MicroLogix 1100 Programmable Controllers . Rockwell Automation. 252 págs. http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001_-en-p.pdf*
- *Campero, E. 1995. Instalaciones eléctricas. 2da edición. México Alfaomega*
- *Creus, S. 2005. Instrumentación Industrial. 7ª edición. Editorial Marcombo España. 655 págs.*
- *Jiménez, Luis. 2008. Eficiencia de caldera, trabajo de graduación Universidad del Valle de Guatemala. 70 págs.*
- *Manual de operación para las calderas, Clever Brooks company, 33 págs.*
- *Oropín, Josué. 2011. Cuarta fase de automatización del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. 134 págs.*

XIV. APÉNDICE

A. Comunicación del PLC

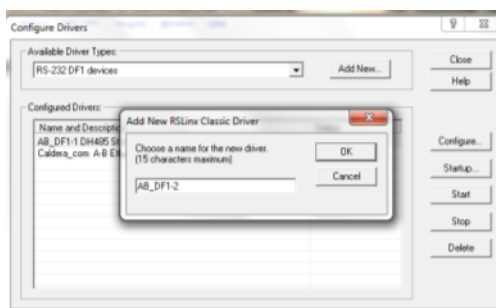
La conexión del PLC micrologix 1100 con la computadora se debe hacer a través del programa RSLinx Classic de Rockwell Automation, al ingresar al programa se debe elegir la pestaña Communications/Configure Drivers como se muestra en la imagen siguiente.

Figura 86: Configuración de RSLinx Classic



En la siguiente pantalla nos aparece el dispositivo que se desea configurar, en este caso es el de puerto serial R-232 DF1 al que se le debe asignar un nombre. Para la configuración se dejó el nombre que trae por defecto.

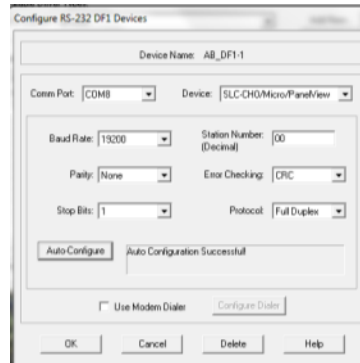
Figura 87: Configuración del controlador



Luego para las propiedades del dispositivo, se debe ir al panel de control/administrador de dispositivos y ver en qué puerto está configurada la salida de puerto serial de la computadora. La computadora tenía configurada el

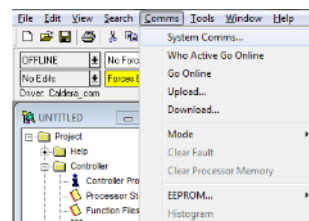
puerto Com8, el dispositivo seleccionado es un SLC-CH0 y las otras propiedades que trae por defecto. Luego se selecciona el botón de Auto-Configure para comprobar que la conexión se realizará.

Figura 88: Configuración del dispositivo



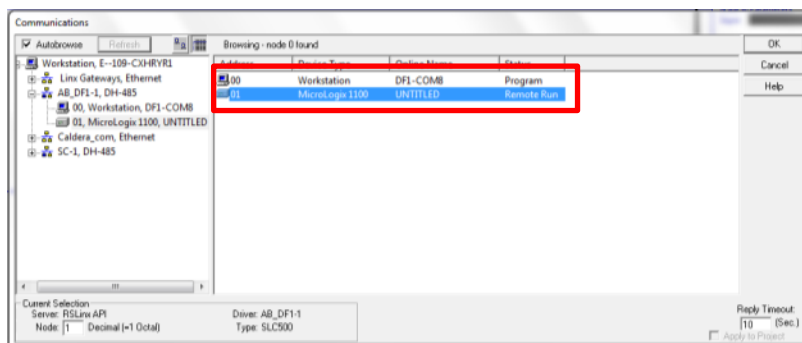
La configuración previa es para la conexión por medio de puerto serial, pero como se deseaba que la conexión fuera por Ethernet, se tuvieron que realizar los siguientes pasos. Ir al programa RSlogix 500 y crear un nuevo proyecto en el que se especifican los datos del PLC como se explica en la Programación del PLC. Luego de configurar el PLC, se debe ingresar a la pestaña Comms/System Comms.

Figura 89: pestaña de comunicación



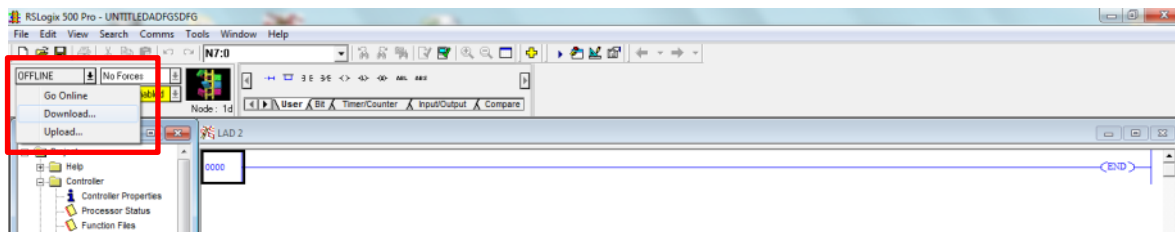
Como la configuración del puerto serial ya fue realizada, se selecciona la pestaña del puerto serial y el PLC correspondiente para luego presionar Ok.

Figura 90: Comunicación con el controlador seleccionado



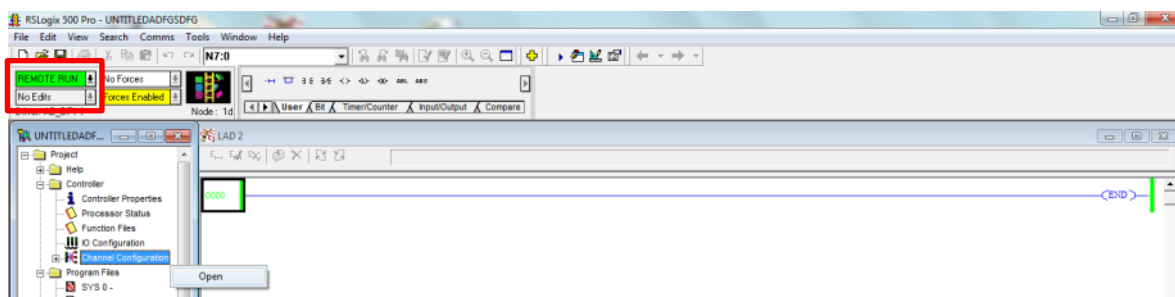
Luego se descarga el programa al PLC, en este caso puede ser cualquier programa, puede utilizarse uno nuevo sin nada programado.

Figura 91: Descargar el programa al PLC



Después de programar el PLC y ponerlo en el estado RUN o REMOTE RUN, se procede a la configuración del canal de entrada.

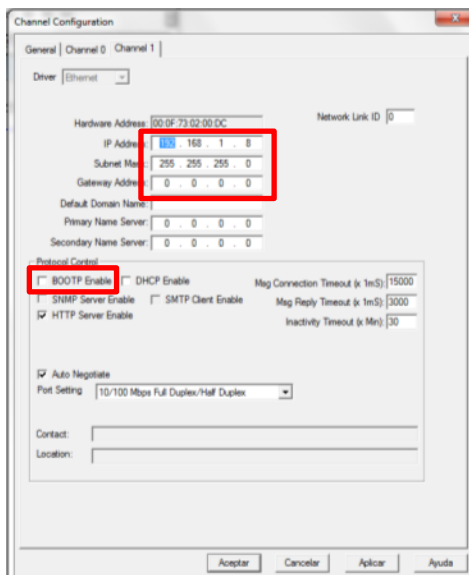
Figura 92: Configuración del canal de comunicación



Para configurar la conexión por medio de Ethernet, es necesario asignarle una dirección IP al PLC para poderlo comunicar con la computadora. De esta manera se des-selecciona la casilla BOOTP Enable para poder ingresar la

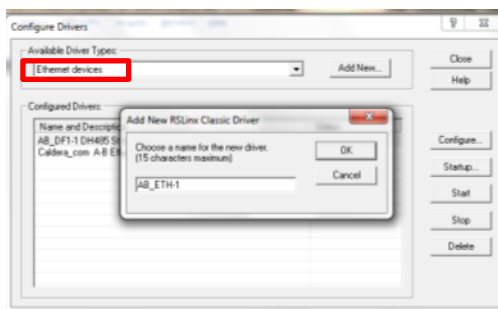
dirección IP que en este caso es 192.168.1.8 también se debe colocar la máscara con los valores 255.255.255.0 en el caso de la computadora de la caldera. Luego se presiona aceptar para realizar los cambios.

Figura 93: Asignación de nueva dirección IP



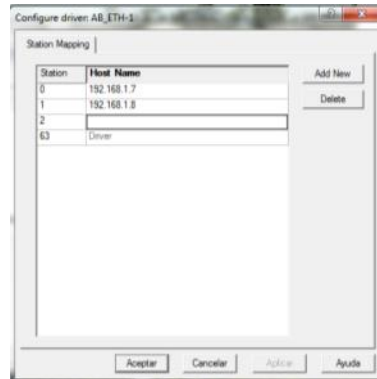
Con el procedimiento anterior, se le asignó la dirección IP al controlador, pero aún no se tiene la conexión, por lo que se debe regresar a RSlinx Classic para configurarlo por medio de Ethernet devices. Al igual que la configuración del puerto serial, este requiere de un nombre.

Figura 94: Reconfiguración de la conexión del PLC



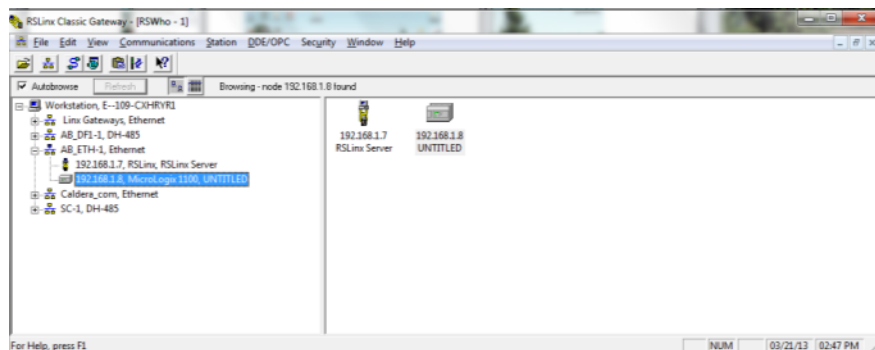
Luego se añaden al listado el IP de la computadora a utilizar, para la computadora está asignado 192.168.1.7, y luego el IP del controlador antes configurado 192.168.1.8.

Figura 95: Dirección IP de la Computadora y del controlador



Al terminar con la configuración, se ingresa a Communication/RSWho y se debe desplegar la pestaña de configuración Ethernet para corroborar que la conexión fue exitosa.

Figura 96: Conexión de Ethernet exitosa



B. Programación PLC

Habiendo hecho la configuración de la comunicación del PLC, se utiliza el programa RSLogix 500 para empezar a programar el PLC. En el nuevo proyecto se pide al usuario que ingrese el tipo de controlador que está utilizando, para esto se seleccionó el Bul.1763 Micrologix 1100 Series B.

Figura 97: Selección del PLC

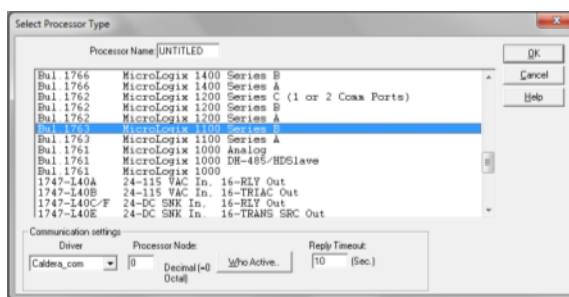


Figura 98: Características del PLC 1763-L16AWA [17]

Controller Input Power and Embedded I/O

Catalog Number	Description			
	Input Power	Digital Inputs	Analog Inputs	Digital Outputs
1763-L16AWA	120/240V AC	(10) 120V AC	(2) voltage input 0...10V DC	(6) relay All individually isolated

Figura 99: PLC Micrologix 1100 1763-L16AWA



De los módulos análogos y digitales que soporta el PLC micrologix 1100 1763-L16AWA están los que se muestran en la siguiente figura. Para la realización del proyecto se utilizarán 2 módulos 1762-IF4 que tiene 4 entradas analógicas cada uno y 2 módulos 1762-IT4 con 4 entradas de termocupla.

Figura 100: Módulos que soporta el PLC Micrologix 1100 [17]

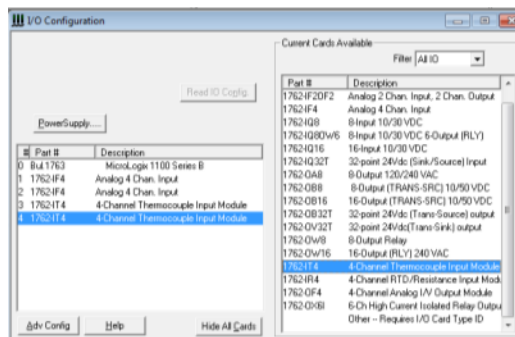
Analog	
1762-IF4	4-Channel Voltage/Current Analog Input Module
1762-OF4	4-Channel Voltage/Current Analog Output Module
1762-IF2OF2	Combination 2-Channel Input 2-Channel Output Voltage/Current Analog Module
Temperature	
1762-IR4	4-Channel RTD/Resistance Input Module
1762-IT4	4-Channel Thermocouple/mV Input Module

Figura 101: 2 módulos 1762-IF4 (entradas analógicas) y 2 módulos 1762-IT4 (entradas de termocoplas)



Para ingresar los módulos, se debe ir al explorador de proyectos y en la carpeta Controller se selecciona IO configuration. Se deben ingresar de la forma en que estos fueron conectados para que se realice la respectiva conexión.

Figura 102: Selección de módulos



Luego de agregarlos, se realiza la configuración de cada una de las entradas del módulo. Para el caso de las entradas analógicas en la imagen siguiente se muestra la distribución de los 16 bits de configuración:

Figura 103: Bits de entradas analógicas

Word	Bit Position															
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	Data Format Channel 0				Type/Range Select Channel 0				reserved				Filter Select Channel 0			

Para los bits del 14 al 12, se selecciona raw/proportional para tener la máxima resolución que es de 15 bits con signo, es decir -32767 a 32767.

Figura 104: Bits de formato del dato

Bit Settings			Data Format
14	13	12	
0	0	0	Raw/Proportional

Para los bits del 11 al 8, se elige current mode 4 a 20 mA ya que los sensores emiten señales de corriente y no de voltaje -10V a 10V.

Figura 105: Bits de tipo y rango de entrada analógica

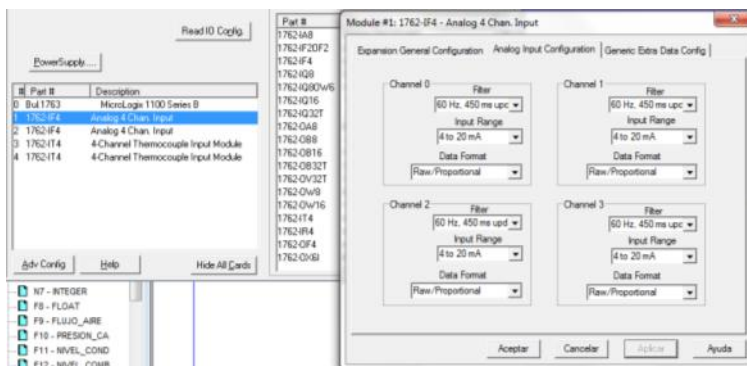
Bit Settings				Data Format
11	10	9	8	
0	0	1	1	Current Mode 4 to 20 mA

El filtro de frecuencia seleccionado es de 60 Hz que trae por default, este nos indica que si la señal de entrada cambia más rápido que el 100% de la lectura en el canal de entrada, el filtro atenúa una porción de la señal.

Figura 106: Bits de filtro de frecuencia

Bit Settings				Filter Frequency	4-Channel Conversion Time	Attenuation at Filter Frequency
3	2	1	0			
0	0	0	0	60 Hz	450 ms	>55dB

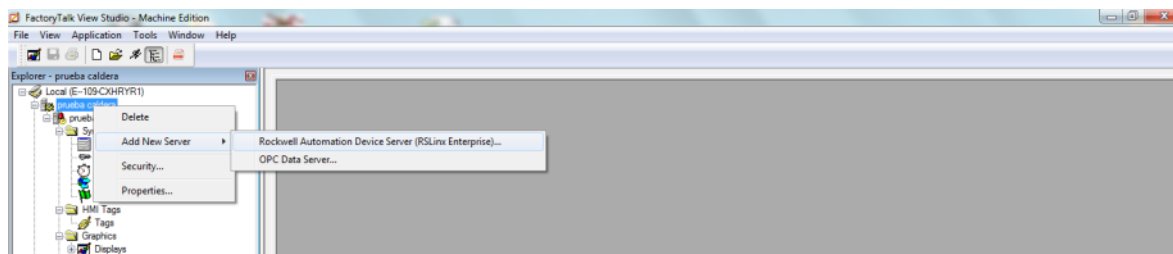
Figura 107: Configuración entradas analógicas



C. Conexión con el programa HMI

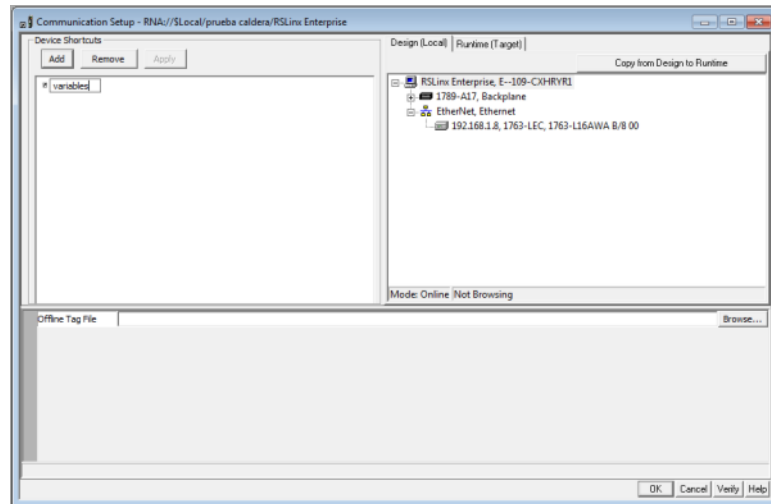
Para realizar el Programa HMI (Human Machine Interface) se utilizó el programa de la familia Rockwell Automation llamado Factory Talk VIEW con el que se empezó por crear un nuevo proyecto. Como este proyecto debe estar conectado con el PLC ya que se debe recibir las señales del controlador, se debe añadir un servidor. Previamente se realizó la conexión con RSLinx Classic por lo que se escoge la opción de Rockwell Automation.

Figura 108: Conexión de Factory Talk View con RSLinx Classic



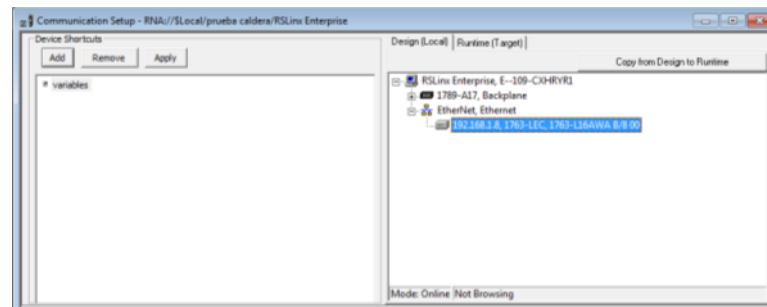
Para obtener las variables de los sensores, se debe crear un shortcut, en este caso llamado variables. Para que se cree una carpeta con las entradas, salida y variables de punto flotante del PLC seleccionado.

Figura 109: Nueva carpeta para almacenar las variables



Luego se deben seleccionar tanto el shortcut como el controlador para que la casilla de Apply esté disponible y así poderlos vincular.

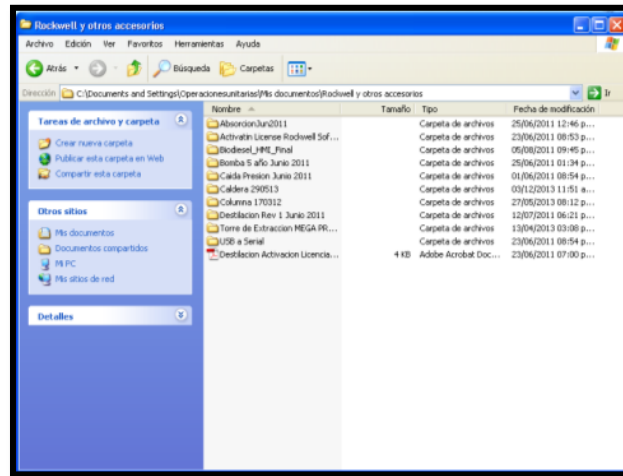
Figura 110: Vínculo entre carpeta de variables y controlador



D. Manual de usuario para ingresar al programa de Microsoft Excel

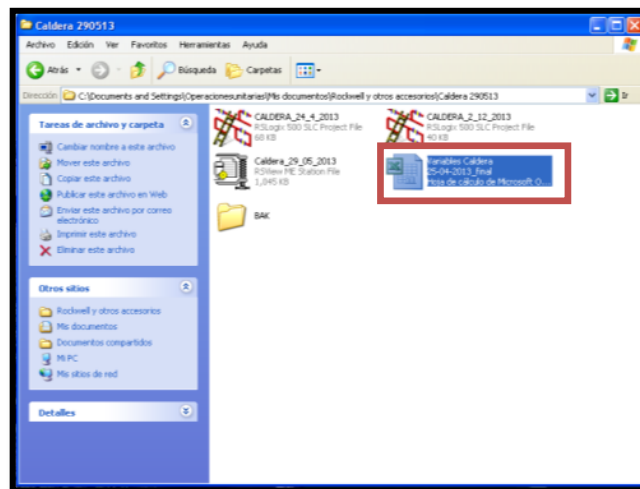
Abrir la carpeta mis documentos, luego abrir la carpeta Rockwell y otros accesorios.

Figura 111: Print screen de carpeta mis documentos



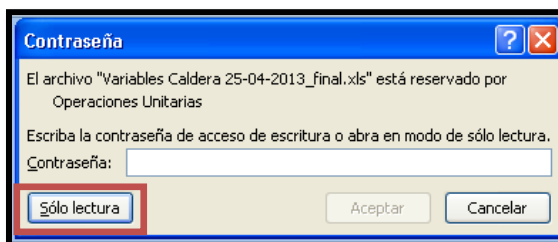
En la carpeta de Rockwell y accesorio abrir la carpeta con el nombre Caldera 290513. Para ingresar al archivo y recolectar la variables de la caldera abrir el archivo con nombre Variables Caldera 25-04-2013_final. El tipo del archivo es Hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 97-2003.

Figura 112: Archivo de Excel recolección de datos



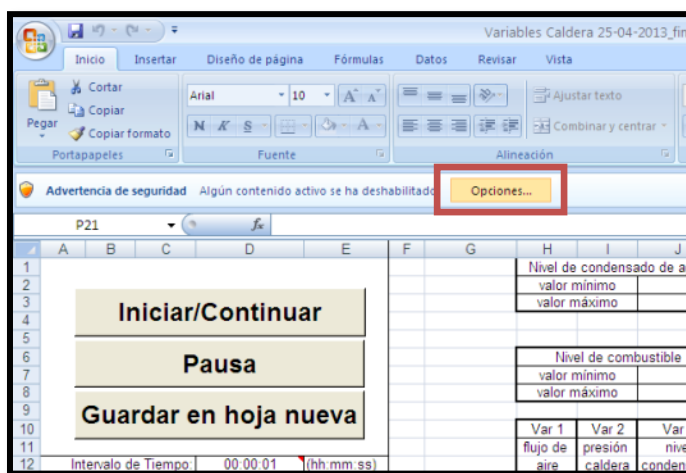
Al ingresar al archivo indicar que es solo de lectura.

Figura 113: Print screen archivo solo de lectura.



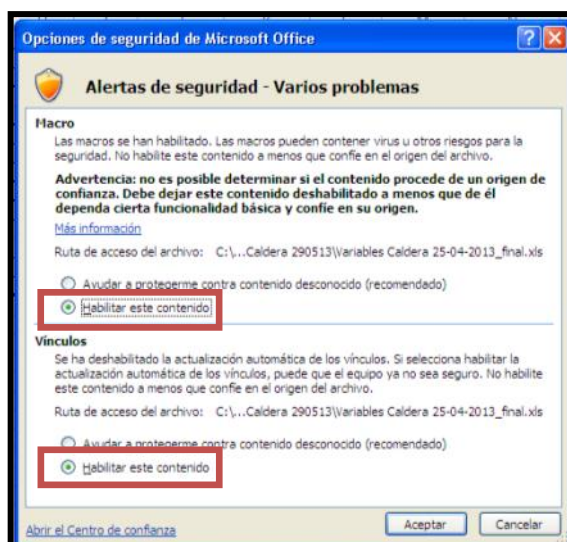
En la pestaña superior de advertencia de seguridad presionar el botón de opciones.

Figura 114: Printscreen advertencia de seguridad



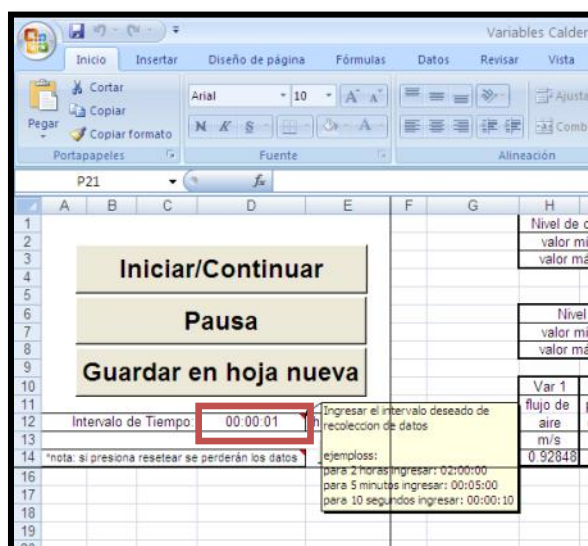
En la ventana de opciones de seguridad de Microsoft Office seleccionar las opciones de habilitar este contenido en las macro y vínculos.

Figura 115: Habilitar contenido



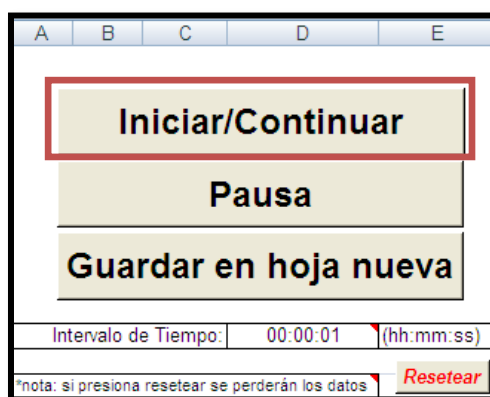
Seleccionar el intervalo al que se desea tomar las muestras este puede variar entre segundos, minutos y horas.

Figura 116: Intervalo de recolección de datos



Presionar iniciar/continuar para recolectar los datos en la generación de vapor de la caldera.

Figura 117: Iniciar y continuar recolección de datos



Al finalizar la corrida, presionar pausa para detener la recolección de los datos. Luego presionar el botón de Guardar en hoja nueva para tener los datos recolectados en una nueva hoja del mismo archivo.

Figura 118: Guardar en hoja nueva

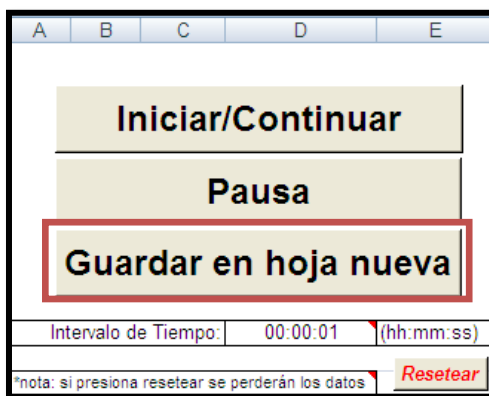


Figura 119: Hojas nuevas creadas

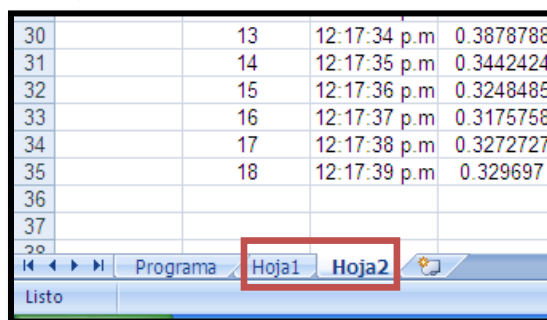
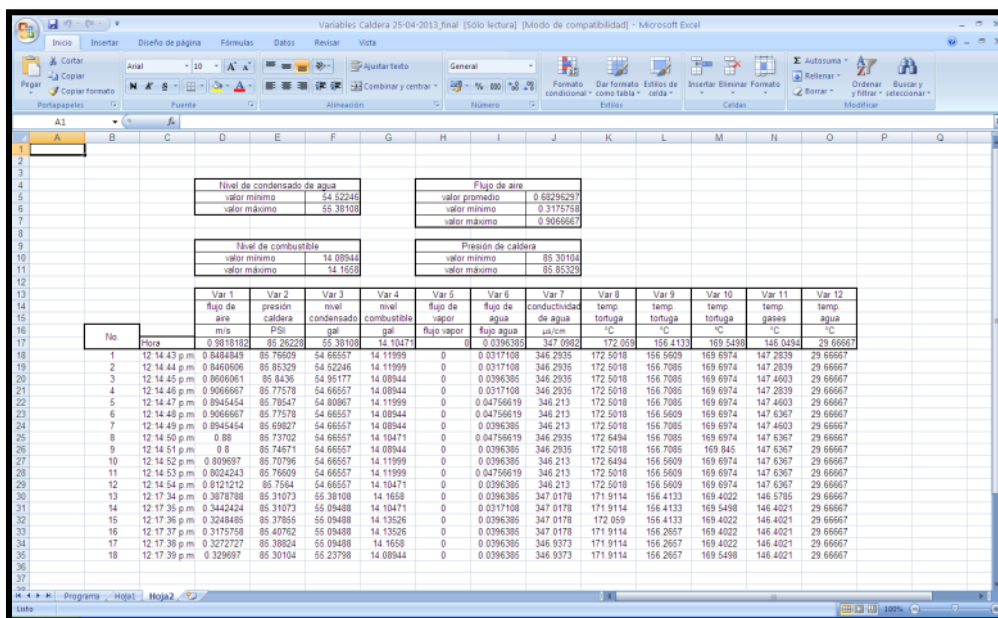
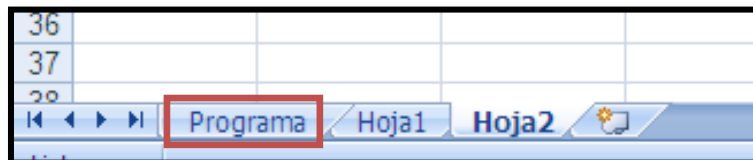


Figura 120: Vista final de nueva corrida de recolección de datos creada



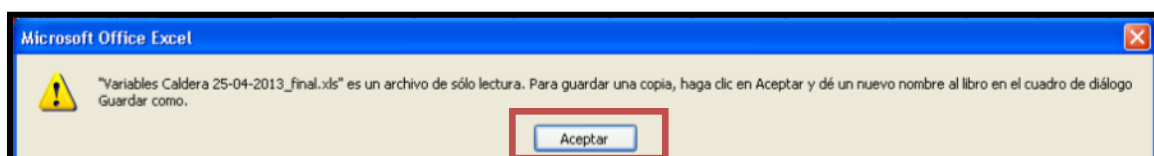
Para realizar otra corrida de recolección de datos, seleccionar la hoja llamada Programa.

Figura 121: Hoja de cálculo para recolectar datos



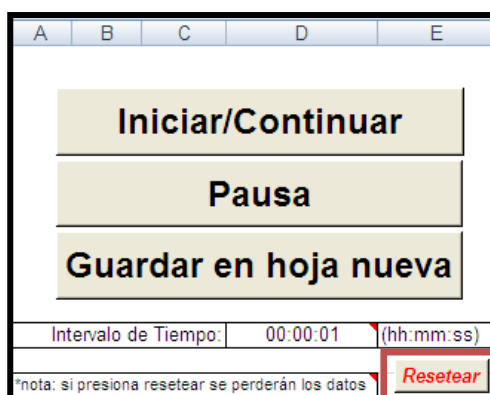
Seleccionar Guardar o Guardar como para no perder los datos recolectados. Si se presiona Guardar, como el archivo es solo de lectura les dará la opción de “guardar como una copia” para almacenarlo en la dirección de su preferencia.

Figura 122: Aceptar para guardar como nuevo archivo



Al tener guardado el archivo en otra localidad, presionar el botón de resetear para poder iniciar con la nueva corrida. Para recolectar una nueva corrida seguir los pasos anteriores.

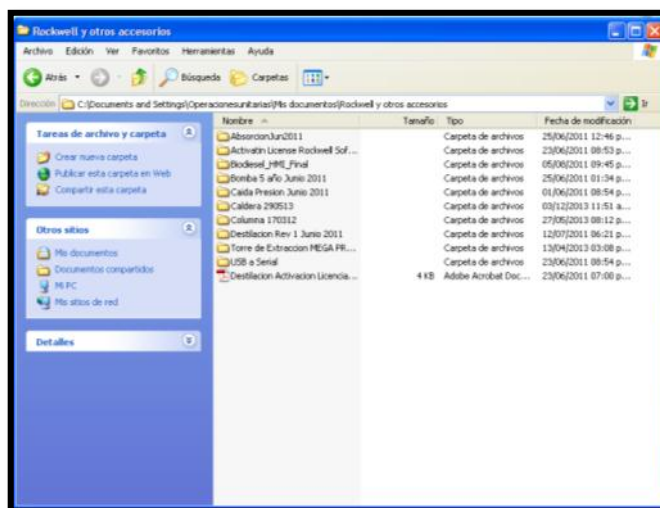
Figura 123: Botón para resetear datos recolectados



E. Manual de usuario para ingresar al programa HMI.

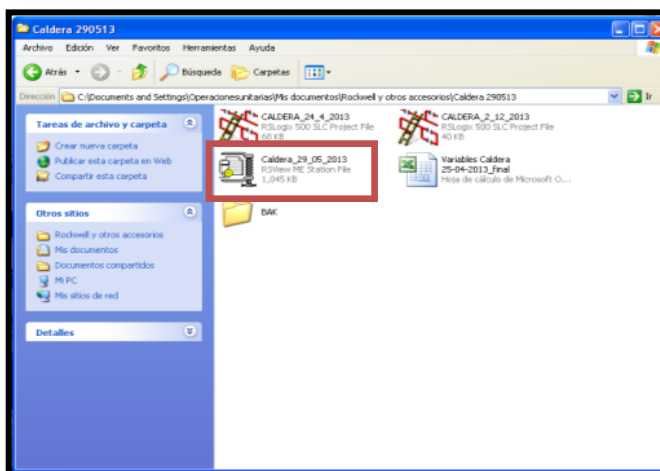
Abrir la carpeta de mis documentos luego abrir la carpeta Rockwell y otros accesorios.

Figura 124: Print screen carpeta mis documentos



Abrir la carpeta con el nombre Caldera 290513 para ver el HMI de la caldera. El tipo del archivo es RSView ME Station File.

Figura 125: Archivo RSview HMI



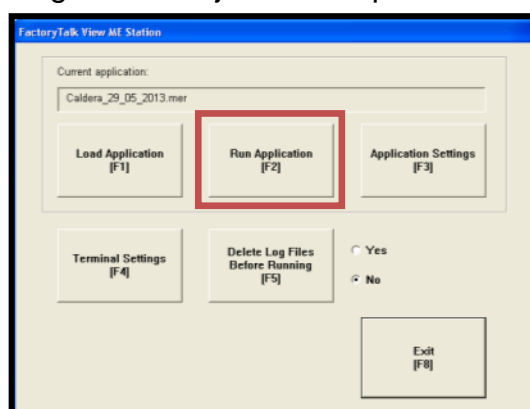
Presionar el botón YES para continuar cargando la aplicación.

Figura 126: Aceptar cargar el programa HMI



Luego presionar Run Application para observar las variables en tiempo real.

Figura 127: Ejecutar la aplicación



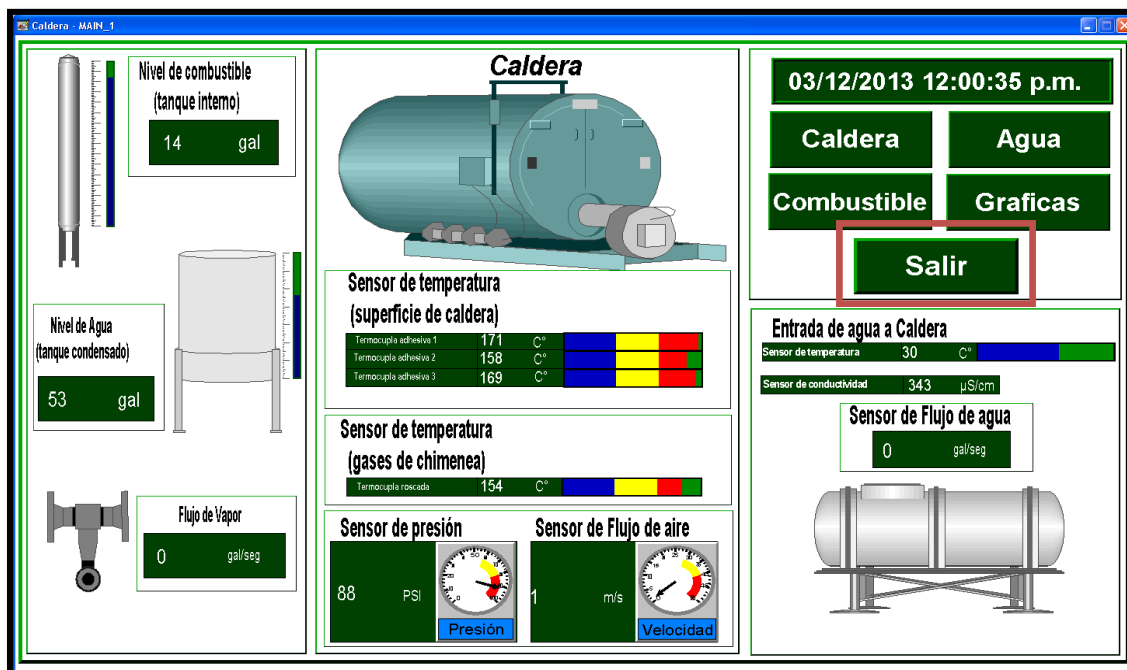
Presionar en iniciar para navegar en las distintas pantallas del HMI.

Figura 128: Pantalla de inicio HMI



Al terminar de utilizar la aplicación presionar el botón salir.

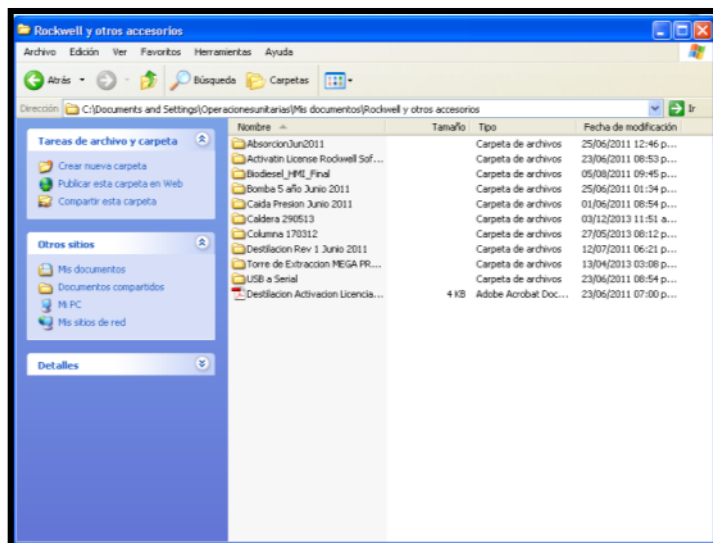
Figura 129: Pantalla de visualización de variables



F. Manual de usuario para calibrar los sensores.

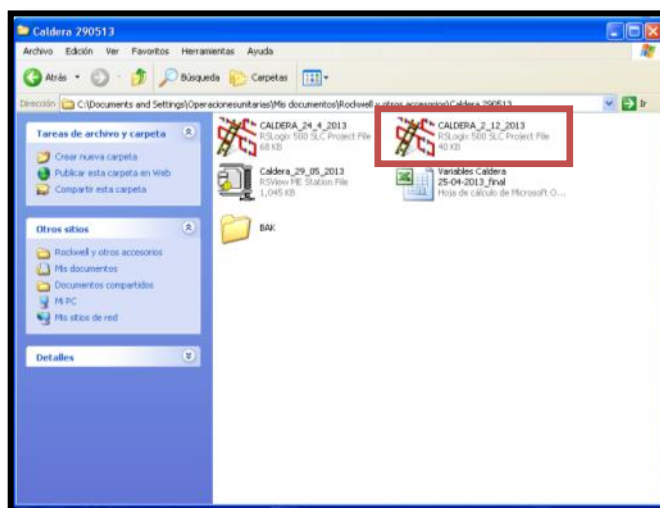
Abrir la carpeta de mis documentos luego abrir la carpeta Rockwell y otros accesorios.

Figura 130: Captura de carpeta mis documentos



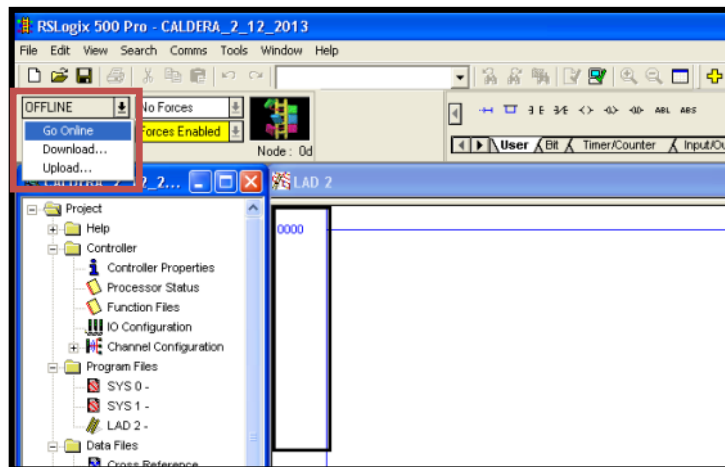
Abrir la carpeta con el nombre Caldera 290513. Para calibrar los sensores de la caldera, abrir el archivo con nombre CALDERA_2_12_2013 o con fecha más reciente. El tipo del archivo es RSLogix 500 SLC Project File.

Figura 131: Captura de archivo RSLogix 500



En el programa RSLogix 500 Pro en la pestaña superior izquierda seleccionar la opción de Go Online.

Figura 132: Captura de programa RSLogix 500



En caso no se lograra conectar presionar Cancel, verificar que el archivo seleccionado sea el de la fecha más reciente y volverlo a abrir. Si el archivo con fecha más reciente no deja seleccionar la opción de Go online, seleccionar la opción de Download.

Figura 133: Cancelar conexión

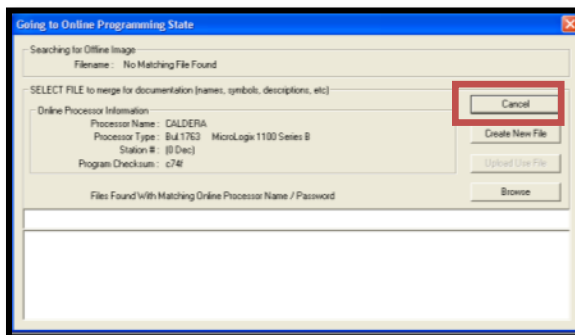
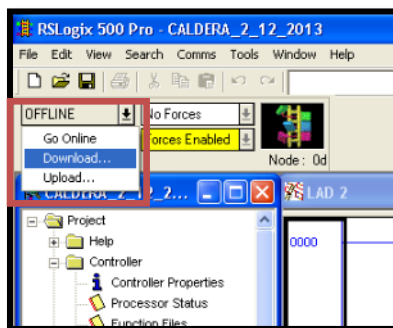
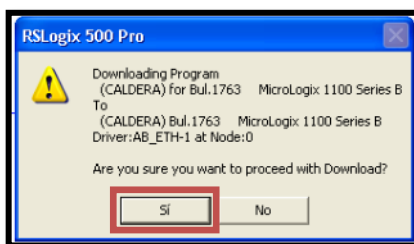


Figura 134: Descargar al PLC



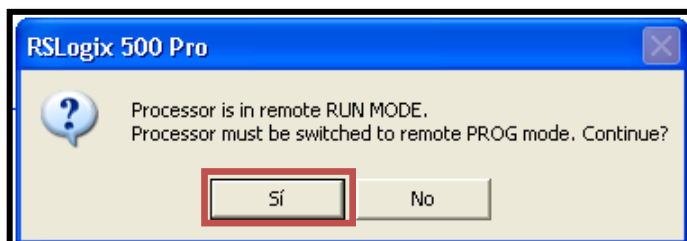
Seleccionar que sí se desea seguir con la descarga del programa.

Figura 135: Proceder con descarga



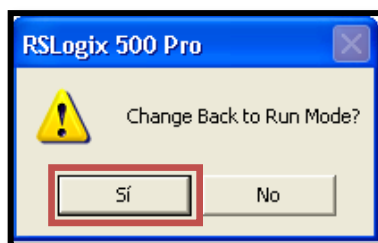
Seleccionar que si se desea cambiar de RUN MODE a PROG mode.

Figura 136: Cambiar PLC a modo PROG



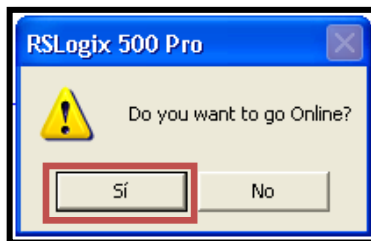
Se descargara el programa al PLC y luego presionar que si se desea regresar a RUN MODE.

Figura 137: Regresar PLC a modo RUN



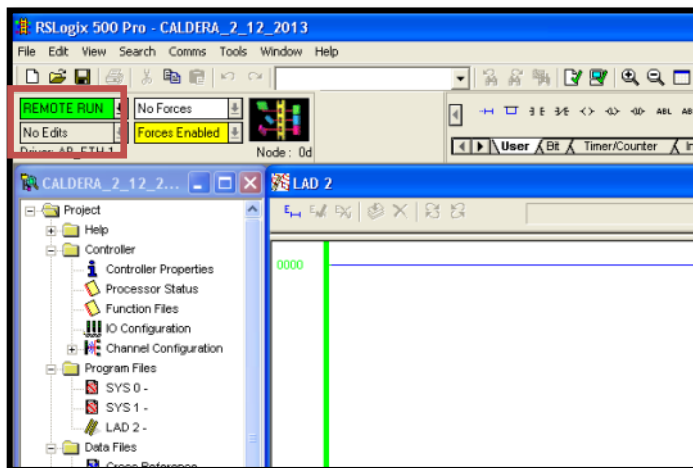
Seleccionar que sí se desea ir al modo Online para comprobar que los cambios realizados estén correctos.

Figura 138: Cambio a modo Online



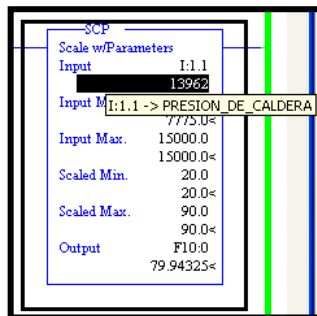
Cuando el programa este en REMOTE RUN, se puede observar la conversión de la señal que el sensor envía al PLC.

Figura 139: Verificar que este en Remote Run



Si se desea Calibrar alguna entrada, se debe posicionar en el bloque SCP en Input para verificar la entrada del sensor a calibrar. Por ejemplo el sensor de presión interna de la caldera.

Figura 140: Bloque SCP para cada sensor



Para calibrar el sensor, se deben encontrar dos puntos extremos de medición y verificar el valor al que el PLC lo está convirtiendo (número marcado de color negro). En este caso la entrada del sensor de presión es I1.1 y para calibrarlo se observó en el manómetro de la caldera la presión a 20 psi y 90 psi. El PLC mostraba una conversión de 7775 para 20 psi y mostraba 15000 para 90 psi. Por lo que se llenó el cuadro con esos valores para que hiciera la linealización respectiva. En Output se colocar la salida del PLC con el valor de la variable, este valor no debe cambiarse ya que es la salida hacia el programa HMI y el historial de Excel.

Figura 141: Número de conversión del PLC

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.1
	13924
Input Min.	7775.0
	7775.0<
Input Max.	15000.0
	15000.0<
Scaled Min.	20.0
	20.0<
Scaled Max.	90.0
	90.0<
Output	F10:0
	79.57509<

Al obtener los nuevos valores encontrados, seleccionar la opción de Go Offline y reemplazar los datos en el bloque SCP del sensor a calibrar.

Figura 142: Activar modo Offline

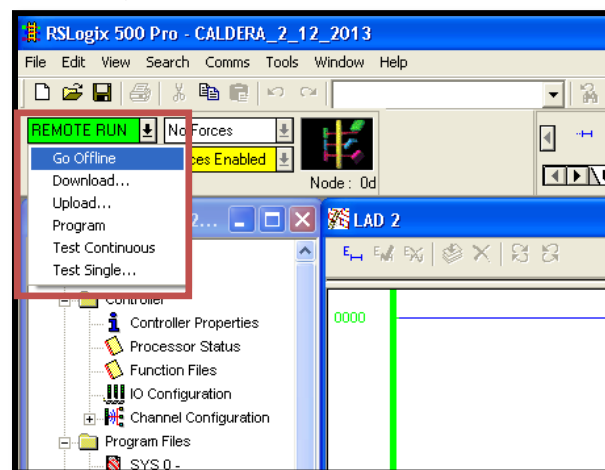
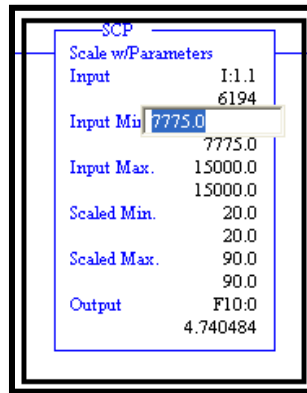
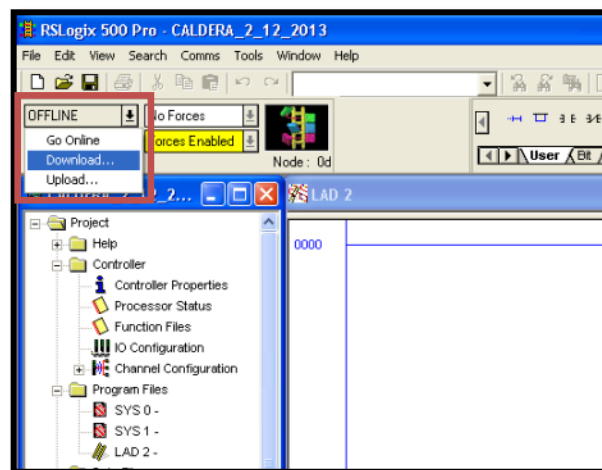


Figura 143: Cambiar valores



Presionar Download para descargar los cambios hechos al sensor y aceptar en todas las pestañas.

Figura 144: Descargar programa al PLC



Al haber descargado el programa modificado, verificar que la lectura del sensor haya sido bien calibrada.

Figura 145: Manómetro analógico




Figura 146: Valor obtenido por el sensor

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.1
	13612
Input Min.	7775.0
	7775.0<
Input Max.	15000.0
	15000.0<
Scaled Min.	20.0
	20.0<
Scaled Max.	90.0
	90.0<
Output	F10.0
	76.55225<

G. Especificaciones de sensores


1. Series 641 Air Velocity Transmitter

Tabla 17 : Especificaciones sensor de velocidad de aire

Sensor velocidad de aire	
Rangos	1.5 m/s a 75 m/s
Filtro digital	Amortiguamiento de señal
Salida	4 a 20 mA
Límite de temperatura	proceso: 100C
	ambiente: 60C
Límite de presión	100 psi
Tiempo de respuesta	1.5 seg
	


2. 0 to 250 psig Cole-Parmer® ±0.25%-Accuracy Gauge Transmitter, 4 to 20 mA Output

Tabla 18: Especificaciones sensor de presión

Sensor de presión	
Product Type	Pressure transducers
Wetted materials	17-4 PH SS
Temp range (compensated)	-4° to 176°F (-20° to 80°C)
Accuracy	±0.25% full-scale
Output	4 to 20 mA
Range	0 to 250 psi
Process connection	1/4" NPT(M)
Electrical connections	2-ft (0.6-m) cable
Power	9 to 30 VDC
CE Compliance	Yes
Brand	Cole-Parmer
	

3. 0 to 50 psid Cole-Parmer® Wet/Wet Differential Pressure Transmitter

Tabla 19: Especificaciones sensor de presión diferencial (nivel)


Sensor de nivel	
Product Type	Differential pressure transducers
Media compatibility	gases or liquids compatible with 17-4 PH SS, silicone and Viton® O-rings
Wetted materials	17-4PH SS and Viton®
Temp range (compensated)	30 to 150°F (-1 to 65°C)
Accuracy	±0.25% full scale
Output	4 to 20 mA
Range	0 to 50 psid
Process connection	1/4" NPT(F)
Electrical connections	1/2" internal conduit port
Power	11 to 30 VDC (unregulated)
Case	brass
Housing	NEMA 6 (IP68)
CE Compliance	Yes
Brand	Cole-Parmer
	

4. Vortex Flowmeter FV4000

Tabla 20: Especificaciones sensor de flujo de vapor

Condiciones de referencia del sensor de flujo	
FV4000-VT4/VR4	
Set flow range	0.5 ... 1 x QvmaxDN
Ambient temperature	20 °C (68 °F) ± 2K
Humidity	65 % rel. humidity ± 5 %
Air pressure	86 ... 106 kPa
Supply power	24 V DC

Continuación Tabla 20

Signal cable length	10 m (32.8 ft) (FV4000-VR or FS4000-SR only)
Current output load	250 Ω (4 ... 20 mA only)
Fluid for calibration	Water: approx. 20 °C (68 °F), 2 bar (29 psi)
Calibration loop internal diameter	diameter = internal diameter of meter
Unobstructed straight upstream section	15 x DN
Downstream section	5 x DN
Pressure measurement	3 ... 5 x DN downstream of meter
Temperature measurement	2 ... 3 x DN downstream after pressure measurement
	

5. Istec`s 1700 Series Single-jet Water Meter

Tabla 21: Especificaciones sensor de flujo de agua

Especificaciones sensor de flujo modelo 1700	
Pipe size	1/2"
minimum flow rate(GPM)	0.13
Continous flow rate(GPM)	6.6
Maximum flow rate (GPM)	13
Maximum operation temperature(F)	200
Maximum operation pressure (PSI)	150
Design	single jet
Mounting connections	NPT
Mounting Position	any
Pulse(gal/pulse)	NO
Weight (pounds)	1.1

Continuación Tabla 21



6. TB4650 Conductivity Sensor 4-Electrode 225psi, 200 C, grupo b.

Tabla 22: Especificaciones sensor de conductividad


sensor de conductividad TB 465		
Max. Temp.	F	C
	392	200
Max. Pressure	Kpag	psig
	689	100
Range	0 to 2000 mS/cm	

7. Type K Ungrounded Industrial Thermocouple Probe, 6" Length, 3/4" Connection

Tabla 23: Especificaciones termocupla roscada 3/4"

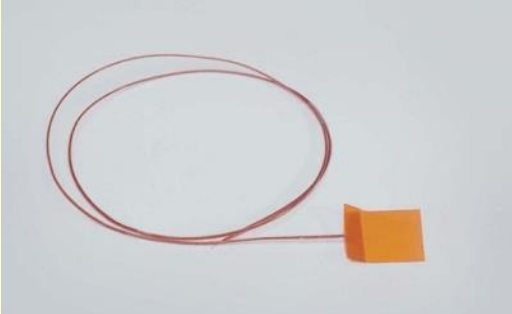
Especificaciones	
Product Type	Thermocouple
Temp range	-32 to 1600 ° F, -35 to 871 ° C
Min temperature (° F)	-32
Max temperature (° F)	1600
Min temperature (° C)	-35
Max temperature (° C)	871
Probe length (inches)	6
Diameter (mm)	19.1
Diameter (inches)	0.75

Continuación Tabla 23

Probe type	K
Connections	3/4"
Junction	Ungrounded
Handle	316 SS
Manufacturer number	16000-S-A-2-0-3-K-W4-3/4-H-4.5-0
Model	16000-S-A-2-0-3-K-W2-3/4
	


8. Type K Self-Adhesive Probe

Tabla 24: Especificaciones termocupla tipo adhesiva

Especificaciones	
Product Type	Thermocouple
Temp range	-418 to 760°F (-250 to 404°C)
Min temperature (° F)	-418
Max temperature (° F)	760
Min temperature (° C)	-250
Max temperature (° C)	404
Probe length (inches)	60
Probe type	K
Response time	5 seconds
Connections	Miniconnector
Junction	Grounded
Brand	Oakton
	

9. Type K Pipe Plug Thermocouple Probes; 1/4" NPT (M); 0.5"L

Tabla 25: Especificaciones termocupla 1/2"

Especificaciones	
Product Type	Thermocouple
Temp range	-418 to 900°F (-250 to 482°C)
Min temperature (° F)	-418
Max temperature (° F)	900
Min temperature (° C)	-250
Max temperature (° C)	482
Probe length (inches)	0.25
Cable length	5 ft
Diameter (mm)	6.4
Diameter (inches)	0.25
Probe type	K
Response time	30 sec
Connections	Miniconnector
Time constant	6 sec
Junction	grounded
Sheath material	316 SS
Brand	Oakton
	

H. Muestras de corrida

Presión de la caldera		Nivel de combustible		Temperatura de gases de chimenea			Temperatura de tortuga		
Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
0	4.52	14.04	14	55	68.6	46.6	56.3	64.5	55.5
0	4.69	14.01	14	65	68.6	46.6	54.8	64.3	55.3
0	4.71	14.00	14	80	68.4	46.4	55.7	64.3	55.3
0	4.69	13.99	14	85	68.6	46.6	55.8	64.3	55.3
0	4.7	13.99	14	90	68.6	46.6	55.9	64.3	55.3
0	4.66	13.98	13.9	100	68.6	46.6	57.8	64.3	55.3
0	4.65	13.97	13.9	110	68.8	46.8	56.3	64.3	55.3
0	4.69	13.96	13.9	115	69.2	47.2	55.9	64.3	55.3
0	4.69	13.95	13.9	120	69.6	47.6	55.6	64.3	55.3
0	4.64	13.95	13.9	125	70	48	56.6	64.3	55.3
0	4.7	13.94	13.9	130	70.8	48.8	56.6	64.2	55.2
0	4.7	13.93	13.9	135	71.6	49.6	56.7	64.3	55.3
0	4.7	13.92	13.9	140	72.4	50.4	56.8	64.3	55.3
0	4.69	13.91	13.8	145	73.3	51.3	55.8	64.3	55.3
0	4.7	13.91	13.8	145	74.3	52.3	54.8	64.3	55.3
0	4.77	13.90	13.9	145	75.5	53.5	55.1	64.3	55.3
0	4.78	13.89	13.8	145	76.9	54.9	55.4	64.3	55.3
0	4.74	13.88	13.8	145	78.1	56.1	56.1	64.3	55.3
0	4.75	13.87	13.8	150	79.5	57.5	56.8	64.2	55.2
0	4.84	13.87	13.8	150	81	59	56.0	64.3	55.3
0	4.81	13.87	13.8	150	82.4	60.4	55.3	64.3	55.3
0	4.78	13.86	13.8	150	84	62	55.4	64.3	55.3
0	4.81	13.85	13.8	150	85.8	63.8	55.5	64.2	55.2
0	4.82	13.84	13.8	150	86.9	64.9	55.8	64.2	55.2
0	4.81	13.83	13.8	150	88.7	66.7	56.1	64.2	55.2
0	4.8	13.82	13.8	155	90.5	68.5	56.5	64.2	55.2
0	4.83	13.82	13.8	155	91.3	69.3	55.3	64.2	55.2
0	4.91	13.81	13.8	160	92.9	70.9	55.6	64.3	55.3
0	4.91	13.81	13.7	160	94.2	72.2	56.0	64.3	55.3
0	4.85	13.81	13.7	160	96.2	74.2	56.8	64.3	55.3
0	4.9	13.80	13.7	160	97.2	75.2	56.2	64.3	55.3
0	4.94	13.79	13.7	160	99.2	77.2	55.9	64.3	55.3
0	4.99	13.78	13.7	160	100	78.1	55.8	64.3	55.3
0	5.04	13.76	13.7	160	102	79.7	55.7	64.3	55.3
0	4.97	13.73	13.7	160	103	80.9	55.3	64.3	55.3
0	5.04	13.73	13.7	160	105	82.9	57.3	64.3	55.3

Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
0	5.04	13.72	13.7	165	107	85.2	57.1	64.3	55.3
0	5.09	13.71	13.7	165	108	86.4	57.0	64.5	55.5
0	5.08	13.71	13.7	165	110	88.2	56.1	64.5	55.5
0	5.2	13.70	13.6	165	111	89	56.5	64.5	55.5
0	5.18	13.69	13.6	165	112	90.2	57.0	64.5	55.5
0	5.2	13.68	13.6	165	114	91.5	57.9	64.5	55.5
0	5.27	13.67	13.6	170	115	92.5	56.9	64.6	55.6
0	5.33	13.66	13.6	170	116	93.9	55.9	64.6	55.6
0	5.38	13.65	13.6	170	117	94.9	56.2	64.6	55.6
0	5.36	13.64	13.6	170	118	96.5	56.7	64.6	55.6
0	5.35	13.64	13.6	170	119	97.3	57.4	64.6	55.6
0	5.5	13.63	13.6	170	120	98.2	57.4	64.8	55.8
0	5.41	13.62	13.6	170	122	99.6	57.3	64.8	55.8
0	5.52	13.60	13.6	170	122	100	57.3	64.9	55.9
0	5.55	13.59	13.5	170	123	101	57.2	64.8	55.8
0	5.59	13.57	13.5	170	125	103	56.9	64.9	55.9
0	5.63	13.55	13.5	170	126	104	57.1	65	56
0	5.73	13.55	13.5	170	127	105	57.4	65	56
0	5.77	13.54	13.5	170	128	106	57.6	65	56
0	5.78	13.53	13.5	170	128	106	57.9	65	56
0	5.84	13.52	13.5	170	130	108	57.9	65.2	56.2
0	5.88	13.51	13.5	170	131	109	57.8	65.2	56.2
0	5.89	13.51	13.5	175	131	109	57.7	65.3	56.3
0	6.01	13.50	13.5	175	132	110	57.5	65.3	56.3
0	6.04	13.49	13.5	175	133	111	58.9	65.3	56.3
0	6.07	13.48	13.5	175	134	112	58.7	65.5	56.5
0	6.16	13.46	13.4	175	134	112	58.6	65.5	56.5
0	6.23	13.46	13.4	175	135	113	58.5	65.5	56.5
0	6.27	13.45	13.4	175	136	114	58.6	65.6	56.6
0	6.33	13.44	13.5	175	137	115	58.8	65.6	56.6
0	6.44	13.42	13.4	175	138	116	58.5	65.8	56.8
0	6.42	13.41	13.4	175	138	116	58.4	65.9	56.9
0	6.45	13.40	13.4	175	139	117	58.3	65.9	56.9
0	6.54	13.31	13.4	175	140	118	58.9	65.9	56.9
0	6.65	13.38	13.4	175	141	119	58.8	66.1	57.1
0	6.67	13.37	13.3	175	142	120	58.8	66.1	57.1
0	6.78	13.36	13.4	175	142	120	59.2	66.2	57.2
5	6.79	13.35	13.3	175	143	121	59.6	66.2	57.2
5	6.92	13.34	13.3	175	143	121	59.6	66.4	57.4
5	6.93	13.33	13.4	175	144	122	59.6	66.4	57.4
5	7.03	13.32	13.3	175	145	123	59.6	66.5	57.5

Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
5	7.14	13.29	13.3	175	146	124	59.5	66.7	57.7
5	7.13	13.28	13.3	180	147	125	59.6	66.7	57.7
5	7.24	13.27	13.3	180	148	126	59.7	66.8	57.8
5	7.33	13.26	13.3	180	148	126	59.2	66.8	57.8
5	7.36	13.26	13.3	180	149	127	59.3	67	58
5	7.41	13.25	13.3	180	150	128	59.5	67.1	58.1
5	7.54	13.24	13.3	180	151	129	59.9	67.1	58.1
5	7.58	13.22	13.3	180	151	129	60.3	67.3	58.3
5	7.61	13.21	13.2	180	152	130	60.1	67.4	58.4
5	7.72	13.20	13.2	180	153	131	60.0	67.4	58.4
5	7.77	13.20	13.3	180	153	131	59.7	67.6	58.6
5	7.82	13.20	13.2	180	154	132	59.1	67.6	58.6
6	7.98	13.20	13.2	180	155	133	59.5	67.7	58.7
6	7.96	13.19	13.2	180	155	133	59.9	67.9	58.9
6	8.05	13.18	13.2	180	156	134	60.4	67.9	58.9
6	8.12	13.17	13.2	180	156	134	61.4	68	59
7	8.28	13.15	13.2	180	156	134	62.5	68	59
7	8.34	13.15	13.2	180	157	135	62.0	68.1	59.1
7	8.44	13.14	13.2	180	157	135	61.6	68.4	59.4
7	8.49	13.13	13.2	180	158	136	61.2	68.4	59.4
7	8.55	13.13	13.2	180	159	137	60.8	68.4	59.4
7	8.63	13.12	13.2	180	159	137	62.3	68.6	59.6
8	8.75	13.11	13.2	180	160	138	62.5	68.7	59.7
8	8.8	13.11	13.2	185	160	138	62.7	68.9	59.9
8	8.87	13.10	13.1	185	161	139	63.1	68.9	59.9
8	8.97	13.10	13.1	185	161	139	63.6	69	60
8	9.01	13.09	13.1	185	161	139	63.4	69.2	60.2
8	9.12	13.08	13.1	185	162	140	63.3	69.3	60.3
9	9.27	13.08	13.1	185	162	140	63.1	69.5	60.5
9	9.38	13.07	13.1	185	162	140	62.7	69.5	60.5
9	9.47	13.07	13.1	185	162	140	62.6	69.6	60.6
9	9.5	13.06	13.1	185	163	141	62.6	69.6	60.6
9	9.61	13.06	13.1	185	164	142	62.5	69.9	60.9
9	9.7	13.06	13.1	185	164	142	62.3	69.9	60.9
9	9.8	13.05	13	185	165	143	64.8	70.1	61.1
9	9.91	13.04	13	185	166	144	64.4	70.2	61.2
9	9.98	13.03	13	185	166	144	64.1	70.2	61.2
10	10.1	13.03	13	185	167	145	63.4	70.4	61.4
10	10.2	13.02	13	185	168	146	64.9	70.5	61.5
10	10.3	13.02	13	185	168	146	65.2	70.7	61.7
10	10.3	13.02	13	185	169	147	65.6	70.7	61.7

Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
10	10.6	13.02	13	185	170	148	66.4	71	62
10	10.7	13.01	13	185	170	148	65.5	71.1	62.1
10	10.8	13.00	13	185	171	149	65.5	71.1	62.1
10	10.9	12.99	12.9	185	171	149	65.5	71.4	62.4
10	11	12.98	13	185	171	149	65.6	71.4	62.4
11	11.1	12.97	12.9	190	172	150	65.1	71.5	62.5
11	11.2	12.96	12.9	190	173	151	65.2	71.7	62.7
11	11.3	12.95	12.9	190	173	151	65.3	71.8	62.8
11	11.4	12.94	12.9	190	174	152	65.5	72	63
11	11.5	12.94	12.9	190	174	152	68.6	72.1	63.1
11	11.7	12.94	12.9	190	174	152	68.3	72.1	63.1
11	11.7	12.94	12.9	190	175	153	68.1	72.3	63.3
12	11.8	12.92	12.9	190	175	153	67.7	72.4	63.4
12	12	12.91	12.9	190	176	154	66.8	72.6	63.6
12	12	12.90	12.9	190	176	154	67.7	72.7	63.7
12	12.2	12.88	12.8	190	176	154	67.3	72.9	63.9
12	12.3	12.87	12.8	190	177	155	66.9	72.9	63.9
13	12.4	12.86	12.8	190	177	155	66.1	73.2	64.2
13	12.5	12.85	12.8	190	177	155	66.8	73.2	64.2
13	12.8	12.85	12.8	190	178	156	66.5	73.3	64.3
13	12.8	12.84	12.8	190	178	156	66.3	73.5	64.5
13	13	12.83	12.8	190	179	157	66.1	73.6	64.6
13	13.1	12.81	12.8	195	179	157	65.9	73.8	64.8
13	13.2	12.79	12.8	195	179	157	67.9	73.9	64.9
13	13.3	12.79	12.8	195	179	157	68.0	74.1	65.1
13	13.4	12.79	12.8	195	180	158	68.1	74.2	65.2
13	13.5	12.78	12.7	195	180	158	68.4	74.3	65.3
13	13.8	12.76	12.7	195	181	159	69.4	74.5	65.5
14	13.8	12.76	12.7	195	181	159	69.0	74.5	65.5
14	14	12.76	12.7	195	181	159	68.7	74.8	65.8
14	14.1	12.75	12.7	195	182	160	68.1	74.8	65.8
14	14.2	12.75	12.7	195	182	160	69.2	74.9	65.9
14	14.3	12.74	12.7	195	183	161	69.1	75.1	66.1
14	14.5	12.74	12.7	195	183	161	69.0	75.2	66.2
14	14.6	12.73	12.7	195	184	162	68.8	75.2	66.2
15	14.8	12.72	12.7	195	184	162	68.4	75.5	66.5
15	14.9	12.71	12.7	195	185	163	69.6	75.7	66.7
15	15.1	12.70	12.7	195	185	163	69.7	76	67
15	15.2	12.68	12.7	195	186	164	69.8	76	67
15	15.3	12.67	12.7	195	186	164	70.0	76.1	67.1
15	15.4	12.67	12.6	195	186	164	70.3	76.3	67.3

Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
16	15.7	12.65	12.6	195	187	165	71.4	76.6	67.6
16	15.9	12.64	12.6	195	187	165	71.9	76.7	67.7
16	16	12.63	12.6	195	188	166	72.5	76.9	67.9
16	16.3	12.61	12.6	195	188	166	70.5	77	68
16	16.3	12.59	12.6	195	189	167	70.8	77.2	68.2
16	16.5	12.58	12.6	195	189	167	71.1	77.4	68.4
17	16.7	12.58	12.6	195	189	167	71.8	77.4	68.4
17	16.8	12.58	12.5	200	190	168	71.8	77.6	68.6
17	17	12.58	12.5	200	190	168	71.8	77.7	68.7
17	17.1	12.57	12.6	200	191	169	71.9	77.9	68.9
18	17.2	12.55	12.5	200	191	169	72.0	78.2	69.2
18	17.4	12.54	12.5	200	192	170	72.1	78.3	69.3
18	17.6	12.53	12.5	200	192	170	72.0	78.5	69.5
18	17.7	12.52	12.5	200	192	170	71.9	78.5	69.5
18	17.8	12.51	12.5	200	193	171	71.8	78.8	69.8
19	18	12.50	12.5	200	193	171	71.6	78.9	69.9
19	18.2	12.50	12.5	200	194	172	71.6	79.1	70.1
19	18.4	12.48	12.5	200	194	172	71.5	79.2	70.2
19	18.6	12.47	12.5	200	195	173	71.4	79.4	70.4
19	18.7	12.46	12.5	200	195	173	71.2	79.5	70.5
19	19	12.45	12.5	200	195	173	72.4	79.7	70.7
19	19.1	12.44	12.5	200	196	174	72.4	80	71
20	19.2	12.43	12.5	200	196	174	72.4	80	71
20	19.5	12.41	12.4	200	196	174	72.4	80.3	71.3
20	19.6	12.41	12.4	200	196	174	72.4	80.4	71.4
20	19.8	12.40	12.4	200	196	174	74.9	80.5	71.5
20	19.9	12.39	12.4	200	197	175	75.3	80.7	71.7
20	20.1	12.38	12.4	200	197	175	75.6	80.8	71.8
21	20.4	12.37	12.4	205	197	175	76.3	81	72
21	20.5	12.36	12.4	205	197	175	76.6	81.1	72.1
21	20.7	12.35	12.4	205	197	175	76.9	81.3	72.3
21	20.8	12.34	12.4	205	198	176	77.2	81.4	72.4
22	21	12.33	12.4	205	198	176	77.8	81.7	72.7
22	21.2	12.33	12.4	205	198	176	75.5	81.7	72.7
22	21.4	12.32	12.4	205	199	177	75.6	82	73
22	21.6	12.32	12.4	205	199	177	75.8	82.2	73.2
23	21.8	12.30	12.3	205	199	177	76.2	82.3	73.3
23	22	12.29	12.3	205	200	178	76.9	82.5	73.5
23	22.2	12.29	12.3	205	200	178	79.0	82.6	73.6
23	22.3	12.29	12.3	205	200	178	79.1	82.8	73.8
24	22.5	12.28	12.3	205	201	179	79.2	82.9	73.9

Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
24	22.9	12.26	12.3	205	201	179	79.6	83.2	74.2
24	23.1	12.25	12.3	205	202	180	79.3	83.5	74.5
24	23.3	12.23	12.3	205	202	180	79.0	83.8	74.8
24	23.6	12.23	12.3	205	202	180	78.7	83.9	74.9
25	23.8	12.23	12.3	205	202	180	78.5	84.1	75.1
25	24	12.21	12.3	205	203	181	80.9	84.2	75.2
25	24.2	12.20	12.3	205	203	181	80.5	84.5	75.5
25	24.4	12.19	12.3	205	203	181	80.2	84.5	75.5
25	24.6	12.19	12.3	205	203	181	79.6	84.8	75.8
26	24.8	12.18	12.2	205	204	182	81.2	85	76
26	25	12.17	12.2	205	204	182	81.0	85.3	76.3
26	25.2	12.16	12.2	205	205	183	80.9	85.3	76.3
26	25.5	12.15	12.2	205	205	183	80.6	85.6	76.6
27	25.7	12.15	12.2	205	205	183	81.6	85.7	76.7
27	25.9	12.15	12.2	210	206	184	81.6	85.9	76.9
27	26	12.14	12.2	210	206	184	81.6	86	77
28	26.3	12.13	12.1	210	206	184	81.7	86.3	77.3
28	26.6	12.10	12.2	210	206	184	81.9	86.3	77.3
28	26.7	12.10	12.2	210	207	185	81.4	86.6	77.6
28	26.9	12.10	12.1	210	207	185	81.5	86.7	77.7
29	27.2	12.09	12.1	210	208	186	81.6	87	78
29	27.4	12.08	12.1	210	208	186	81.8	87.2	78.2
29	27.6	12.07	12.1	210	208	186	81.4	87.5	78.5
29	27.9	12.06	12.1	210	209	187	81.9	87.5	78.5
30	28.1	12.06	12.1	210	209	187	82.5	87.8	78.8
30	28.4	12.05	12.1	210	209	187	83.1	87.9	78.9
30	28.6	12.04	12.1	210	210	188	83.7	88.1	79.1
30	28.8	12.04	12.1	210	210	188	83.9	88.4	79.4
31	29.1	12.03	12.1	210	211	189	83.7	88.5	79.5
31	29.3	12.03	12.1	210	211	189	83.5	88.7	79.7
31	29.7	12.02	12.1	210	211	189	83.1	89	80
31	29.8	12.01	12.1	210	211	189	82.6	89.1	80.1
32	30	12.01	12	210	212	190	82.6	89.3	80.3
32	30.2	12.00	12.1	210	212	190	82.6	89.5	80.5
32	30.6	11.99	12	210	212	190	82.6	89.7	80.7
33	30.9	11.97	12	210	213	191	82.3	90	81
33	31.1	11.97	12	210	213	191	82.3	90.1	81.1
33	31.2	11.96	12	210	213	191	82.4	90.3	81.3
34	31.6	11.95	12	215	214	192	82.5	90.4	81.4
34	31.9	11.94	12	215	214	192	82.8	90.7	81.7
34	32.2	11.93	12	215	214	192	83.0	90.9	81.9

Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
34	32.3	11.93	12	215	214	192	83.2	91	82
35	32.4	11.90	12	215	215	193	83.4	91.3	82.3
35	32.9	11.90	12	215	215	193	83.9	91.5	82.5
35	33.2	11.88	12	215	215	193	88.1	91.8	82.8
35	33.6	11.88	12	215	216	194	87.8	91.9	82.9
35	33.6	11.86	12	215	216	194	87.6	92.1	83.1
36	33.8	11.86	11.9	215	216	194	87.3	92.2	83.2
36	34.2	11.85	11.9	215	216	194	87.1	92.5	83.5
36	34.5	11.84	11.9	215	217	195	83.6	92.6	83.6
36	34.8	11.83	11.9	215	217	195	84.1	92.9	83.9
37	34.9	11.82	11.9	215	217	195	84.7	93.1	84.1
37	35.1	11.81	11.9	215	218	196	85.9	93.2	84.2
37	35.6	11.80	11.9	215	218	196	87.4	93.5	84.5
38	35.8	11.80	11.8	215	218	196	87.2	93.7	84.7
38	36.1	11.79	11.9	215	219	197	87.1	93.8	84.8
38	36.2	11.78	11.8	215	219	197	86.9	94.1	85.1
39	36.7	11.77	11.8	215	219	197	86.9	94.3	85.3
39	37.1	11.77	11.8	215	220	198	86.9	94.4	85.4
39	37.4	11.77	11.8	215	220	198	86.9	94.6	85.6
39	37.4	11.76	11.8	215	220	198	87.0	94.9	85.9
40	37.7	11.76	11.8	215	221	199	87.2	95	86
40	38.2	11.75	11.8	215	221	199	87.3	95.3	86.3
40	38.6	11.74	11.8	215	221	199	86.7	95.5	86.5
41	38.7	11.74	11.8	215	222	200	86.2	95.6	86.6
41	39	11.73	11.8	215	222	200	85.1	95.9	86.9
41	39.2	11.72	11.8	215	222	200	86.5	96.2	87.2
42	39.6	11.71	11.8	215	222	200	87.3	96.3	87.3
42	40	11.71	11.8	215	222	200	88.2	96.6	87.6
43	40.2	11.71	11.8	215	222	200	89.1	96.8	87.8
43	40.5	11.70	11.7	215	223	201	90.0	96.9	87.9
43	40.9	11.69	11.7	215	223	201	90.0	97.1	88.1
43	41.2	11.68	11.7	220	223	201	90.1	97.5	88.5
44	41.5	11.68	11.7	220	223	201	90.2	97.5	88.5
44	41.7	11.67	11.7	220	223	201	90.4	97.8	88.8
44	42	11.66	11.7	220	223	201	90.4	98	89
45	42.4	11.66	11.7	220	224	202	90.6	98.3	89.3
45	42.7	11.65	11.7	220	224	202	90.8	98.4	89.4
45	43	11.65	11.7	220	224	202	91.2	98.6	89.6
46	43.3	11.64	11.7	220	224	202	90.7	98.7	89.7
46	43.7	11.63	11.6	220	225	203	90.5	99.1	90.1
47	44.1	11.62	11.6	220	225	203	90.3	99.3	90.3

Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
47	44.4	11.62	11.6	220	225	203	89.9	99.4	90.4
48	44.7	11.61	11.6	220	225	203	89.2	99.6	90.6
48	45.1	11.60	11.6	220	226	204	93.9	99.9	90.9
48	45.4	11.60	11.6	220	226	204	93.3	100	91
48	45.6	11.60	11.6	220	226	204	92.8	100	91.3
48	45.9	11.59	11.6	220	226	204	91.8	100	91.5
48	46.4	11.59	11.6	220	226	204	91.2	101	91.8
49	46.8	11.58	11.6	220	227	205	91.1	101	91.9
49	47.1	11.58	11.6	220	227	205	91.0	101	92.2
49	47.2	11.56	11.6	220	228	206	90.9	101	92.4
50	47.7	11.56	11.5	220	228	206	90.9	102	92.7
50	48.2	11.47	11.5	220	229	207	90.5	102	92.8
50	48.4	11.55	11.5	220	229	207	91.1	102	93.1
51	48.7	11.53	11.5	220	229	207	91.8	102	93.4
51	49.1	11.53	11.5	220	230	208	93.1	103	93.5
51	49.4	11.52	11.5	220	230	208	94.6	103	93.8
52	49.9	11.51	11.5	220	230	208	94.4	103	94
52	50.2	11.50	11.5	220	230	208	94.3	103	94.3
53	50.4	11.50	11.5	220	231	209	94.1	103	94.4
53	50.8	11.49	11.5	220	231	209	94.6	104	94.6
54	51.3	11.49	11.5	225	231	209	94.7	104	94.9
54	51.7	11.48	11.5	225	231	209	94.8	104	95
54	51.9	11.47	11.5	225	231	209	95.0	104	95.3
54	52.2	11.46	11.5	225	231	209	95.4	104	95.5
55	52.7	11.45	11.4	225	231	209	93.1	105	95.8
55	53.3	11.44	11.4	225	232	210	93.3	105	95.9
56	53.6	11.44	11.4	225	232	210	93.6	105	96.2
56	53.8	11.43	11.4	225	232	210	94.1	105	96.3
57	54.2	11.43	11.4	225	232	210	90.6	106	96.6
57	54.7	11.43	11.4	225	232	210	90.8	106	96.8
58	55.1	11.42	11.4	225	233	211	91.1	106	96.9
58	55.4	11.41	11.4	225	233	211	91.4	106	97.2
58	55.7	11.40	11.4	225	233	211	91.7	107	97.5
59	56.1	11.39	11.4	225	234	212	92.9	107	97.7
59	56.7	11.39	11.4	225	234	212	92.7	107	98
59	57.1	11.38	11.4	225	234	212	92.6	107	98.1
60	57.2	11.37	11.4	225	234	212	92.3	107	98.4
60	57.5	11.37	11.4	225	234	212	90.6	108	98.7
60	58.2	11.37	11.3	225	235	213	91.7	108	98.9
61	58.7	11.36	11.3	225	235	213	92.8	108	99
61	59	11.36	11.3	225	236	214	95.0	108	99.4

Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
62	59.1	11.35	11.3	225	236	214	96.8	109	99.6
63	59.6	11.34	11.3	225	236	214	96.6	109	99.9
63	60.3	11.33	11.3	225	237	215	96.5	109	100
64	60.8	11.32	11.3	225	237	215	96.3	109	100
64	60.9	11.32	11.3	225	237	215	95.8	109	100
64	61.2	11.31	11.3	225	237	215	99.2	110	101
65	61.8	11.31	11.3	225	237	215	100.5	110	101
65	62.5	11.30	11.3	230	237	215	101.8	110	101
65	62.9	11.29	11.2	230	237	215	104.5	111	102
66	62.8	11.28	11.2	230	237	215	99.8	111	102
66	63.4	11.27	11.2	230	237	215	101.0	111	102
67	64.1	11.27	11.2	230	238	216	102.3	111	102
67	64.7	11.26	11.2	230	238	216	103.6	111	102
68	64.6	11.25	11.2	230	238	216	104.9	112	103
68	64.8	11.24	11.2	230	238	216	104.9	112	103
69	65.7	11.24	11.2	230	239	217	104.3	112	103
69	66.4	11.23	11.2	230	239	217	103.7	112	103
69	66.5	11.23	11.2	230	239	217	102.5	112	103
70	66.7	11.22	11.2	230	240	218	102.8	113	104
71	67.3	11.21	11.2	230	240	218	102.5	113	104
71	68.1	11.20	11.1	230	241	219	102.3	113	104
71	68.6	11.18	11.2	230	241	219	101.8	113	104
72	68.7	11.18	11.1	230	242	220	101.1	114	105
73	68.9	11.18	11.1	230	242	220	101.3	114	105
73	69.6	11.17	11.1	230	243	221	101.6	114	105
74	70.4	11.16	11.1	230	243	221	102.1	114	105
74	71	11.15	11.1	230	243	221	103.2	115	106
75	70.8	11.14	11.1	230	243	221	104.2	115	106
75	71.3	11.13	11.1	230	243	221	104.1	115	106
75	72.1	11.13	11.1	230	243	221	104.1	115	106
76	72.7	11.12	11.1	230	244	222	104.0	116	107
76	73	11.10	11.1	230	244	222	103.8	116	107
76	72.9	11.10	11.1	230	244	222	103.9	116	107
76	73.7	11.09	11.1	230	244	222	104.1	116	107
77	74.6	11.08	11	230	244	222	104.2	116	107
77	75.1	11.07	11.1	230	244	222	104.4	117	108
79	75	11.06	11	230	244	222	100.3	117	108
79	75.6	11.05	11	230	245	223	100.6	117	108
79	76.4	11.05	11	230	245	223	101.0	117	108
80	77	11.05	11	230	245	223	101.8	118	109
80	77.3	11.04	11	235	245	223	107.9	118	109

Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
81	77.5	11.03	11	235	246	224	107.8	118	109
81	78.3	11.02	11	235	246	224	107.8	118	109
82	78.9	11.01	11	235	246	224	107.8	119	110
83	79.5	11.01	11	235	246	224	108.5	119	110
84	79.7	11.00	10.9	235	247	225	108.5	119	110
84	80.2	11.00	11	235	247	225	108.6	119	110
85	80.9	10.99	10.9	235	247	225	108.7	120	111
85	81.3	10.98	10.9	235	248	226	108.9	120	111
85	82	10.97	10.9	235	248	226	107.8	120	111
86	82.6	10.96	10.9	235	248	226	106.8	120	111
86	82.8	10.95	10.9	235	248	226	105.8	120	111
87	83.2	10.93	10.9	235	248	226	103.8	121	112
87	83.9	10.92	10.9	235	249	227	104.6	121	112
88	84.8	10.92	10.9	235	249	227	105.5	121	112
88	85.1	10.92	10.9	235	249	227	106.5	121	112
89	85	10.90	10.9	235	249	227	107.4	122	113
90	85.8	10.90	10.9	235	249	227	108.4	122	113
90	86.7	10.90	10.9	235	250	228	113.4	122	113
91	87.4	10.90	10.9	235	250	228	112.9	122	113
92	87.5	10.90	10.8	235	250	228	112.5	123	114
93	87.8	10.89	10.8	235	250	228	111.6	123	114
93	88.7	10.89	10.8	235	250	228	110.9	123	114
93	89.5	10.88	10.8	235	251	229	111.1	123	114
94	90.1	10.88	10.8	235	250	228	111.4	124	115
94	90.3	10.87	10.8	235	250	228	111.9	124	115
94	90.7	10.87	10.8	235	250	228	109.9	124	115
94	91.4	10.87	10.8	235	250	228	110.4	124	115
94	92.3	10.86	10.8	235	251	229	111.0	125	116
95	92.8	10.85	10.8	230	251	229	112.1	125	116
95	92.9	10.85	10.8	230	252	230	114.4	125	116
95	93.5	10.84	10.8	225	252	230	114.8	125	116
95	94	10.83	10.8	225	252	230	115.5	125	116
95	94.6	10.83	10.8	225	252	230	116.3	126	117
95	94.7	10.83	10.7	220	252	230	117.8	126	117
95	94.3	10.83	10.8	220	252	230	115.6	126	117
95	94.6	10.83	10.8	220	252	230	115.9	126	117
95	95.1	10.83	10.7	215	252	230	116.2	127	118
95	95.5	10.82	10.8	215	252	230	116.5	127	118
95	95.6	10.81	10.8	210	252	230	116.9	127	118
95	95.1	10.80	10.8	210	251	229	116.1	127	118
95	95.2	10.79	10.7	210	251	229	116.1	128	119

Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -22 grados	Valores obtenidos a mano	Valores obtenidos del PLC	Ajuste de -9 grados
95	95.9	10.78	10.7	205	251	229	116.2	128	119
96	96.1	10.78	10.8	205	251	229	116.4	128	119
96	95.6	10.77	10.7	205	250	228	116.7	128	119
96	95.5	10.77	10.7	205	250	228	116.7	129	120
95	96	10.77	10.7	200	250	228	116.7	129	120
95	96.3	10.77	10.7	200	249	227	116.7	129	120
96	96.3	10.77	10.7	200	249	227	116.6	129	120
96	95.7	10.77	10.7	200	248	226	116.8	129	120
96	95.8	10.77	10.7	195	248	226	117.1	130	121
95	96.4	10.77	10.8	195	247	225	117.7	130	121
95	96.6	10.77	10.7	195	247	225	118.8	130	121

XVI. PROGRAMA DE EXCEL [24]

```
' *****
' Excel VBA Timer Example v1.01
' Copyright © 2002-2012 by Sebastian Thomschke, All Rights Reserved.
' http://sebthom.de/
' *****
' Permission to use, copy, modify, and/or distribute this software for
' any purpose with or without fee is hereby granted, provided that the
' above copyright notice and this permission notice appear in all copies.
'
' THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS" AND THE AUTHOR DISCLAIMS ALL WARRANTIES
' WITH REGARD TO THIS SOFTWARE INCLUDING ALL IMPLIED WARRANTIES OF
' MERCHANTABILITY AND FITNESS. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR BE LIABLE FOR
' ANY SPECIAL, DIRECT, INDIRECT, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OR ANY DAMAGES
' WHATSOEVER RESULTING FROM LOSS OF USE, DATA OR PROFITS, WHETHER IN AN
' ACTION OF CONTRACT, NEGLIGENCE OR OTHER TORTIOUS ACTION, ARISING OUT OF
' OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THIS SOFTWARE.
' *****

Option Explicit

Dim is_timer_enabled As Boolean
Dim timer_interval As Double
Dim contador As Double
Dim contador1 As Double
Dim variable As Integer

' *****
' Macros for click events of the UI buttons
' *****

Sub onButton_StartTimer_Clicked()
    Dim interval As Double

    ' Obtener el interval de la celda D12
    interval = CDbl(Range("D12").Value)

    ' Empezar el timer con el intervalo especificado
    Call timer_start(interval)
End Sub

Sub onButton_StopTimer_Clicked()
    ' Detener el timer
    Call timer_stop
End Sub

' *****
```

```

' *****
Sub onTimeEvent()

    'Incrementar el contador1 cada vez que se realice el evento
    contador1 = contador1 + 1
    '

    Call corridas(0, contador1)

    'Range("D12").Value = CStr(Time) ' output the current time to cell D12
End Sub

' *****
' timer API methods, do NOT modify
' *****

Sub timer_onTime()
    ' se ejecuta el evento
    Call onTimeEvent
    If is_timer_enabled Then Call timer_start
End Sub

Sub timer_start(Optional ByVal interval As Double)
    If interval > 0 Then timer_interval = interval
    is_timer_enabled = True
    If timer_interval > 0 Then Application.OnTime (Now + timer_interval), "timer_onTime"
End Sub

Sub timer_stop()
    is_timer_enabled = False
End Sub

Sub reset()
    'Creación de las variables rango y cont
    Dim rango As String
    Dim cont As Integer

    'Guardar en cont la suma siguiente
    cont = contador1 + 16
    'Almacenar en rango la cadena de caracteres que representa el rango a seleccionar
    rango = "F16:" & "S" & cont
    'Se selecciona el rango
    Range(rango).Select
    'Se elimina lo que contiene ese rango
    Selection.ClearContents
    'Se regresa a la casilla A1 para iniciar una nueva corrida
    'Range("A1").Select

    is_timer_enabled = False
    'Se colocan en cero las variables de contador y contador1

```

```

    contador = 0
    contador1 = 0
    Range("A1").Select
End Sub

```

```

Sub corridas(variable, contador)
'se coloca en la casilla F15 el calor de contador1
    Range("F15").Value = contador1
    Range("F15").Select
    Selection.Copy
'se crea un offset de la variable contador para el siguiente dato
    ActiveCell.Offset(contador, variable).Select
'se pega el valor de contador1 en la casilla para indicar el número de dato obtenido
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _
        xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

```

```

'se coloca en la casilla G15 la hora en la que se recolecto el dato
    Range("G15").Value = CStr(Time)
    Range("G15").Select
    Selection.Copy
    ActiveCell.Offset(contador, variable).Select
'se pega en la columna G los valores de la hora de la recolección del dato
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _
        xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

```

'En las siguientes casillas H15,I15,J15....S15 Se tiene la formula " =RSLINX|Caldera_Final!'F11:0' "

'que actualiza las variables a medir.

'Para recolectar los valores, se va seleccionando cada casilla y se realiza un pegado especial para

'que en la siguiente casilla de la misma columna se almacene el dato de la variable en ese

'momento.

```

    Range("h15").Select
    Selection.Copy
    ActiveCell.Offset(contador, variable).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _
        xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

```

```

    Range("I15").Select
    Selection.Copy
    ActiveCell.Offset(contador, variable).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _
        xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

```

```

    Range("J15").Select
    Selection.Copy
    ActiveCell.Offset(contador, variable).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _
        xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

```

```
Range("K15").Select  
Selection.Copy  
ActiveCell.Offset(contador, variable).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _  
xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False
```

```
Range("L15").Select  
Selection.Copy  
ActiveCell.Offset(contador, variable).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _  
xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False
```

```
Range("M15").Select  
Selection.Copy  
ActiveCell.Offset(contador, variable).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _  
xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False
```

```
Range("N15").Select  
Selection.Copy  
ActiveCell.Offset(contador, variable).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _  
xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False
```

```
Range("O15").Select  
Selection.Copy  
ActiveCell.Offset(contador, variable).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _  
xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False
```

```
Range("P15").Select  
Selection.Copy  
ActiveCell.Offset(contador, variable).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _  
xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False
```

```
Range("Q15").Select  
Selection.Copy  
ActiveCell.Offset(contador, variable).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _  
xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False
```

```
Range("R15").Select  
Selection.Copy  
ActiveCell.Offset(contador, variable).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _
```

```
xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

    Range("S15").Select
    Selection.Copy
    ActiveCell.Offset(contador, variable).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats, Operation:= _
        xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False

End Sub

Sub guardar_nueva_hoja()
'se crearon las variables rango y cont
Dim rango As String
Dim cont As Integer
' A la variable cont se le suma contador1 y 16 para que empiece el rango de la casilla 16
cont = contador1 + 16
'a rango se le asigna el rango de valores que se desea que Excel copie.
rango = "F1:S13," & "F16:" & "S" & cont + 10
    Range(rango).Select
' Se copia lo que esta seleccionado en el rango
    Selection.Copy
' Se añade una nueva hoja
    Sheets.Add After:=Sheets(Sheets.Count)
    Range("b4").Select
    ActiveSheet.Paste
'Se pega el rango antes copiado para almacenar los datos obtenidos
    Range("A1").Select

End Sub
```