

Diseño de control automático mediante PLC y HMI para una caldera a carbón de la compañía Solla S.A.

Alexander Nieto Cardona

Ingeniería Electromecánica

Manuel Alejandro Ospina

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Mayo de 2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

El desarrollo de este proyecto se dio con el fin de modernizar el sistema de control de la caldera a carbón de la Empresa Solla S.A. el cual estaba hecho mediante lógica cableada y se automatizó pasándola a lógica programada, con uno de los controles más versátiles utilizados en la industria, el PLC (control Lógico Programable). Esto para mejorar el funcionamiento del equipo e incluir rutinas automáticas para las purgas de lodos de fondo, visualización de alarmas en texto, con una operación del equipo más intuitiva desde una pantalla HMI (Interface hombre máquina).

Este trabajo se ejecutó mediante actividades en un orden lógico:

- Se realizó Levantamiento de información para el diseño del algoritmo de control del PLC, con la ayuda del manual del fabricante de la caldera y de los planos eléctricos originales
- Se diseñaron los planos eléctricos para el nuevo sistema de control, utilizándose el software Cadesimu
- Se diseñó el código de control con el que se programó el PLC, Utilizando el Software GX IEC Developer de Mitsubishi
- Teniendo el desarrollo del código del PLC se diseñó la pantalla de control HMI, utilizando el Software GT Designer de Mitsubishi
- Previo a la instalación de equipos, se realizaron pruebas parciales de funcionamiento con el software GX Simulator.
- Se realizó montaje y conexión de equipos en tablero de control de la caldera (PLC y HMI)
- Se realizó prueba de funcionamiento y puesta en marcha de la caldera con el nuevo sistema de control, y se realizó seguimiento con algunos ajustes en funcionamiento.
- Se diseñó manual de operación de la caldera JCT a carbón, lo que constituye una buena herramienta para el personal técnico, que operara y soluciona las averías eléctricas del sistema.
- Se realizó capacitación para el personal de mantenimiento, sobre operación y funcionamiento del nuevo sistema de control.

Después del montaje eléctrico, el montaje mecánico y de la realización de las pruebas pertinentes, el equipo se puso en operación exitosamente. Con control automático que incluye; purgas de fondo, retiro de escoria, y alarmas con mensajes de texto, facilitando la operación del equipo, mejorando sus condiciones de control, y ayudando a prevenir daños críticos en la caldera.

Palabras clave: Automatización industrial, caldera a carbón, PLC, HMI, lógica programada, purgas de fondo,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Expreso mi más grande agradecimiento a mi esposa Yanceli Mora, quien me apoyo incondicionalmente en mis estudios, me cubrió con paciencia en la educación de nuestros hijos y las obligaciones del hogar, durante toda esta jornada académica en la que no pude estar con ellos de tiempo completo, sin su apoyo no hubiese podido culminar esta carrera.

Otra persona a quien agradezco profundamente es al Ingeniero Augusto Vásquez director nacional de mantenimiento, a quien admiro no solo por su profesionalismo sino también por sus valores éticos, Él fue un actor importante para la realización de este proyecto, confié en mis capacidades profesionales, permitiéndome hacer las modificaciones necesarias en el tablero de la caldera a carbón.

A todos los docentes del ITM, que con su tiempo y dedicación aportaron en mí conocimientos fundamentales para mi desarrollo profesional y personal

Expreso un agradecimiento especial al Dr. Manuel Alejandro Ospina, quien me asesoro en la realización y documentación de este proyecto.

También quiero hacer un reconocimiento muy especial a Yuber Marín, Ingeniero en Automatización y control y gerente de la compañía de automatización Make Solution S.A.S. Quien ha sido mi maestro y asesor, acerca de diseño y programación con los Software GX IEC Developer y GT Designer de Mitsubishi, además me facilito las licencias de Mitsubishi necesarias para poder realizar este proyecto.

No puedo dejar pasar esta oportunidad para agradecerle al Ingeniero mecánico Wbeimar Zuluaga, a quien considero un amigo, y me brindo las oportunidades que me llevaron a crecer profesionalmente en la empresa para la que laboro.

Y por último al Ing. Lázaro Andrés Ortega, quien con sus consejos me impulso a retomar mis estudios universitarios.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

FB Function Block.

HMI Interfaz hombre máquina.

InHg Pulgadas de mercurio.

ITM Instituto Tecnológico Metropolitano.

PLC Control lógico programable.

PID Proporcional integrador derivativo.

DC Corriente directa

UNAM Universidad Nacional Autónoma de México.

VDF Variador de frecuencia.

IEC comisión electrotécnica internacional

ACPM Aceite combustible para motor

PSI Pounds force per square inch

Vdc Voltaje en Corriente directa

mA Mili amperios

ERP Planificador de recursos de empresa

SAP Sistema de aplicaciones y productos

PM planificación de mantenimiento

Kp constante proporcional

Ti Tiempo integral

Td Tiempo derivativo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	
•	1.1. Objetivos	9
2.	MARCO TEÓRICO	11
•	2.1 Instrumentos de medición y control usados en Calderas	12
•	2.2 Partes Principales que componen la caldera pirotubular de carbón	16
3	METODOLOGÍA	22
•	3.1 Levantamiento de la información	24
•	3.2 Cotización y compra de elementos eléctricos	27
•	3.3 Diseño de planos eléctricos y neumáticos	30
•	3.4 Diseño del programa para el PLC en GX IEC Developer	34
•	3.5 Diseño del programa para la pantalla HMI en GT Designer	34
•	3.6 Montaje de equipos eléctricos y mecánicos	34
•	3.7 Elaboración del manual de operación de la pantalla HMI para el nuevo sistema de control automático con PLC	38
•	3.8 Capacitación	39
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
•	4.1 Programación del PLC	40
•	4.2 Programación de la pantalla HMI	50
•	4.3 Simulación del funcionamiento del programa:	62
•	4.4 Validación de montaje y esquema de automatización:	63
5	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	65
	REFERENCIAS	67
	ANEXOS	68
•	Anexo 1 planos eléctricos de control y potencia de la caldera	
•	Anexo 2 Planos neumáticos de la caldera	
•	Anexo 3 Manual de operación	
•	Anexo 4 Registro de asistencia	
•	Anexo 5 Programa caldera JCT	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pasos de los gases calientes al interior de una caldera.....	12
<i>Figura 2. Partes de un transmisor de presión.....</i>	<i>13</i>
Figura 3. Presóstato usado en la caldera a carbón.	13
Figura 4. Manómetro de caratula tipo tubo buordon.....	14
Figura 5. Control de nivel de agua tipo flotador.	14
Figura 6. Construcción de Termoresistencia de tipo industrial.	15
Figura 7. Variadores de velocidad para motores de inducción.....	15
Figura 8. Partes de un motor de inducción trifásico.	16
Figura 9. Hogar de combustión de la caldera a carbón.....	16
Figura 10. Quemador de carbón parrilla viajera.	17
Figura 11. Parrilla viajera de alimentación de carbón.....	17
Figura 12. Ventilador tiro inducido.	18
Figura 13: Filtro de talegas.	19
Figura 14. Bomba de alimentación de agua.....	19
Figura 15. Válvulas de seguridad de la caldera.	20
Figura 16. Orden 4083920 de automatización control caldera, con listado de elementos.....	28
Figura 17. Costos principales en la de la automatización de la caldera con PLC y HMI.....	29
Figura 18. Orden de compra en SAP para cambio del PLC de Dosificado.....	30
Figura 19. Tablero de la caldera JCT.....	35
Figura 20. Pantalla HMI instalada en tablero de la caldera.	35
Figura 21. Tablero de caldera con PLC.	36
Figura 22: Válvula de purga con actuador electro neumático.	37
Figura 23. Transportadores sin fin para evacuar escoria de la caldera.....	38
Figura 24. Listado de variables en GX_IEC Developer.....	40
Figura 25. Rutina de control secuencia principal.	41
Figura 26. Rutina de control de la presión de vapor.....	42
Figura 27. Rutina de alarmas.....	43
Figura 28. Esquema de control PID.	43
Figura 29. Configuración del control PID.	44
Figura 30. Rutina para animación de pantalla HMI.....	45
Figura 31. Rutina de purgas de lodos de fondo.	46
Figura 32. Rutina de presión de hogar.	47
Figura 33. Rutina de escalización de temperatura gases de la chimenea.	48
Figura 34. Rutina de programación de salidas.	48
Figura 35. Rutina de control para el filtro de talegas.....	49
Figura 36. Pantalla HMI con programa para la caldera JCT a carbón.....	50

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 37. Pantalla de inicio.	51
Figura 38. Pantalla de operación de purgas y sistema de evacuación de escoria.	52
Figura 39. Pantalla de operación control motores.....	53
Figura 40. Pantalla de control de vapor.	54
Figura 41. Pantalla de parametrización control PID de vapor.	55
Figura 42. Pantalla de parametrización control PID de vapor.	56
Figura 43. Pantalla de visualización de la gráfica de tendencia de la temperatura.....	57
Figura 44. Pantalla de visualización de la gráfica de tendencia de la presión de hogar.	58
Figura 45. Pantalla de visualización del mímico de la caldera.	59
Figura 46. Pantalla de visualización de las alarmas.....	60
Figura 47. Pantalla de control del filtro.....	61
Figura 48. Pantalla de visualización del mímico del filtro de talega.	62
Figura 49: simulación del código programado en el PLC.	63
Figura 50: Monitoreo del programa de PLC con conexión en línea.....	64

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Cronograma de actividades destinadas al proyecto y ejecutores a cargo.</i>	22
Tabla 2: Cronograma de actividades destinado a organizar el desarrollo del proyecto por semanas.....	23
Tabla 3: Descripción de elementos tablero Eléctrico principal de la Caldera JCT a carbón. 24	
Tabla 4: tabla de convenciones para planos eléctricos en CadeSimu.....	31

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Para comenzar con la introducción de este proyecto, es importante dar a conocer quien es Solla S.A. compañía para la cual, se diseñó y ejecuto este trabajo.

Solla S.A. fue fundada por Aurelio Llano y Gilberto Soto en 1948, y desde esa fecha trabaja en la elaboración de alimentos balanceados para animales, convirtiéndose en la empresa colombiana líder en el sector, gracias a la calidad de sus productos y servicios, que hacen económicamente exitosas las explotaciones pecuarias de sus clientes.

Actualmente, cuenta con cuatro plantas de producción de alimento balanceado, ubicadas estratégicamente en diversas regiones de Colombia, generando más de 1200 empleos. Su equipo de colaboradores realiza diariamente su labor con pasión, para deleitar a sus clientes con productos y servicios de calidad, que contribuyan con el bienestar humano a través de la nutrición animal. (www.solla.com, 2018).

Actualmente para que una empresa que elabora alimentos balanceados para la nutrición animal, pueda crecer y mantenerse en un mercado competitivo, como el que se vive hoy en día, es indiscutible que debe tener un talento humano apasionado por lograr los objetivos de la compañía, y una infraestructura con equipos confiables, que operen continuamente de acuerdo a los requerimientos de producción, por tal motivo, compañías como Solla S.A. invierten gran cantidad de capital en el mejoramiento de su talento humano, con capacitaciones, y de sus equipos, mediante la automatización industrial de vanguardia con autómatas programables que vuelve más versátiles y seguros sus sistemas de control, minimizando riesgos en los equipos y aumentando tiempos productivos.

Es por esto que se realizó el diseño de un sistema de control automático, por medio de un autómata programable (PLC), con sistema de supervisión de datos (HMI), para la caldera a carbón de la compañía S.A. que mejoró las condiciones operativas, disminuyo las averías del equipo, mejoró las condiciones de funcionamiento, y ofreció mejores sistemas de seguridad.

Previamente para la implementación de este proyecto, se identificaron las principales variables a intervenir en el proceso de automatización con lógica programada, tales como; presión, nivel, temperatura, Etc. y posteriormente se diseñó el código o el algoritmo de control, que incluye

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

rutinas como; purgas de lodos de fondo automáticas, sistema de evacuación de escoria automático, monitoreo de alarmas, etc.

Para poder realizar el código, se utilizaron los Software de Mitsubishi IEC Developer, con el que se programó el PLC, y GT Designer con el que se programó y ajustó la interfaz gráfica HMI, para monitoreo, operación y control óptimo del equipo, posteriormente se realizaron pruebas previas al montaje, que validaron el funcionamiento óptimo del PLC y la pantalla HMI, también se realizó la elaboración de nuevos planos eléctricos, con la ayuda del software CadeSimu.

Logrado lo anterior se continuó con el trabajo de campo, que incluía en el tablero de control de la caldera, realizar el montaje de los nuevos equipos eléctricos (PLC, HMI, relevos etc.), y realizar las conexiones de cableado para las señales eléctricas de control y maniobra.

Concluida esta etapa se procede a realizar el montaje de los equipos mecánicos como: Válvulas con actuador neumático para la purga de lodos, Compuesta con cilindro neumático para la descarga de escoria, y transportadores sin fin, que llevaran la escoria residual del carbón hacia un deposito donde se dará la disposición final, con esto listo se inicia la etapa de pruebas de funcionamiento, al igual que algunos ajustes en el control como parametrización de alarmas, escalización de señales análogas, etc. Finalmente se da la puesta en marcha del equipo, con el nuevo sistema de control, logrando una operación exitosa de la caldera, sin retrasos que afectaran el proceso de producción.

Con el fin de cumplir satisfactoriamente con cada una de las actividades previamente expuestas, el presente proyecto se organiza de la siguiente manera: En la sección 2 se presentan los conceptos básicos de calderas, que constituyen la base fundamental para el diseño del control automático con PLC y HMI. En la sección 3, se encuentra La metodología utilizada para la ejecución proyecto. La sección 4, se da la explicación del código programado en el PLC, al igual que se muestra como se desarrolló la programación de la pantalla HMI, y los resultados obtenidos del funcionamiento de la caldera, con las posibilidades de mejora de este control. Por último en la sección 5 se reportan las conclusiones y trabajos futuros.

1.1. Objetivos

General: Diseñar un sistema de control automático, por medio de un autómatas programable (PLC), y sistema de supervisión de datos (HMI), que mejore las condiciones operativas, prevenga averías

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

del equipo ,mejore las condiciones de funcionamiento y de seguridad, de las calderas a carbón de la compañía Solla SA.

- Específicos:
 - Identificar las principales variables que se van a intervenir en el proceso de automatización en lógica programada, y diseñar el algoritmo de control de la caldera, utilizando el Software IEC Developer y GT Designer de Mitsubishi
 - Programar y ajustar la interfaz gráfica HMI, para monitoreo, operación y control optimo del equipo.
 - Elaboración de nuevos planos eléctricos y neumáticos, para la caldera a carbón
 - Simular este tipo de automatización, y validar los resultados a partir de las condiciones de funcionamiento y seguridad del equipo.
 - Validación y verificación del montaje y el esquema de automatización.
 - Elaborar un manual de operación del equipo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Una caldera es un equipo térmico que se utiliza para generar vapor a presión, a partir de agua y una fuente térmica, la cual puede ser combustión de gas, ACPM o carbón, en otras palabras, es un intercambiador de calor que transforma la energía química del combustible, en energía calórica. Este vapor es utilizado en diferentes procesos industriales (Ávila Reina, 2010), en el caso de la empresa Solla S.A., que produce alimento balanceado para la nutrición animal, el vapor generado por la caldera es utilizado para la cocción y homogenización de alimentos extruidos y peletizados, al igual que para el calentamiento de tanques de grasa animal y vegetal.

Aproximadamente en los años 1800 apareció la primera caldera y fue la de tipo Shell o coraza, con una forma similar a una tetera pequeña llena de agua, con una fuente de calor en la parte baja de la misma.

Más tarde fueron apareciendo otros tipos de calderas, como la de tipo pirotubular (en la que el fuego va por dentro de los tubos). Este tipo de calderas generaba explosiones frecuentes, debido a que el fuego incidía de forma directa en los tubos.

Las calderas de vapor más comunes aparecieron a comienzos del siglo XVIII, aunque cabe señalar, que las primeras máquinas de vapor aparecieron en 1698 creadas por Thomas Savery, en estas el vapor accionaba un sistema mecánico para transmitir el movimiento (Suarez, 2012).

En las plantas de procesamiento de alimento existen varios tipos de calderas, entre las que se destacan las acuotubulares, pirotubulares y mixtas. En Solla S.A. El tipo de caldera utilizada y objeto del desarrollo de este proyecto, es pirotubular y su combustible es carbón mineral, la principal ventaja de estas calderas es el bajo costo del combustible, lo que disminuye los costos en generación de vapor.

En las calderas pirotubulares, los gases calientes generados por la combustión pasan a través de tubos localizados en el interior de la caldera en un flujo de tres etapas: el primer paso es en el hogar de la caldera, donde se generan los gases y contiene toda la energía térmica entregada por la combustión, luego el ventilador tiro inducido los succiona obligándolos a pasar por el segundo paso, que es un conjunto de tubos rodeados de agua, permitiendo así el intercambio de calor entre los gases que fluyen en su interior y el agua ubicada a su alrededor, el recorrido de los gases

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

calientes continua por el tercer paso, permitiendo la transferencia térmica entre los gases y el agua para así generar el vapor. Este tipo de calderas también son llamadas humo tubulares y trabajan a una presión entre (0-300) psi, (Soto Ramirez & Nava Rodriguez , 2010). En la Figura 1 se puede ver el recorrido que realizan los gases calientes de combustión.

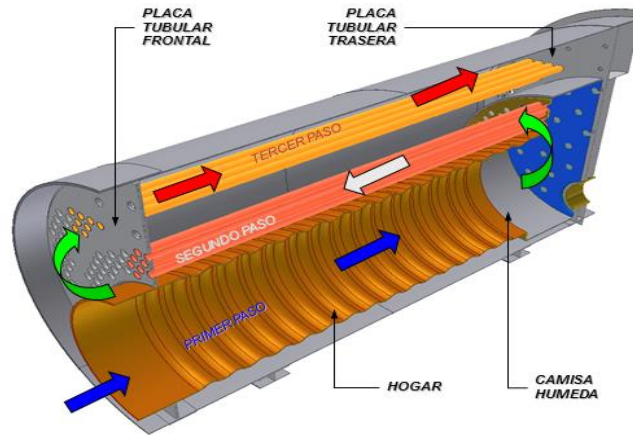


Figura 1. Pasos de los gases calientes al interior de una caldera Pirotubular.

Fuente: Calderas JCT, 2012.

Las calderas pirotubulares a carbón funcionan con varios sistemas de control para las variables que intervienen en el proceso, debido a ello se requiere de algunos dispositivos e instrumentos de medición y control. Entre las variables principales a medir o controlar tenemos: nivel de agua, presión de vapor y temperatura de gases de la chimenea.

2.1 Instrumentos de medición y control usados en Calderas.

- Transmisor de Presión:** es un dispositivo utilizado para convertir la variable física (Presión de vapor y presión de hogar en calderas) en una señal electrónica (4-20 mA, 0-10 Vdc) o neumática (3-15 psi). Este transmisor se conecta físicamente al proceso y mediante el uso de sensores internos, convierte el valor de la variable física en una señal transmisible. En la Figura 2, se pueden observar las partes de un transmisor de presión. (Robles, 2014)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

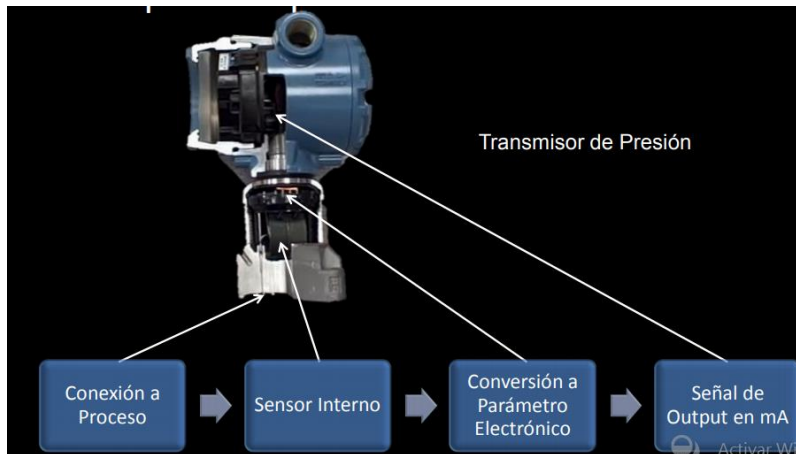


Figura 2. Partes de un transmisor de presión.
Fuente: Robles, 2014.

- **Presostatos o Interruptor de presión:** es un dispositivo electromecánico que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la presión que le ejerce un fluido, la sensibilidad de los presostatos puede ser ajustada por medio de un tornillo que ejerce una fuerza sobre el elemento móvil que acciona los interruptores eléctricos. (Cartie, 2014). En la Figura 3, se muestra uno de los presostatos usados en calderas.



Figura 3. Presóstato usado en la caldera a carbón.
Fuente: Calderas JCT, 2012.

- **Manómetros de caratula:** Son instrumentos diseñados para convertir los cambios de presión de un fluido en movimiento mecánico, indicándolos en una regleta graduada llamada caratula, los más comunes en la industria son los de tipo tubo bourdon. (www.metron.com.mx, 26/01/2018). En la Figura 4, se muestra el funcionamiento del manómetro de caratula

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

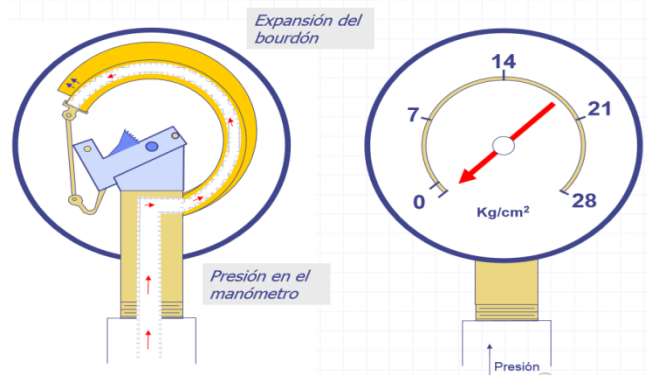


Figura 4. Manómetro de caratula tipo tubo buordon.
Fuente: www.metron.com.mx, 26/01/2018.

- Control de nivel de agua McDonnell:** Es un instrumento de control e indicación del nivel del agua en la caldera, este dispone de dos interruptores que son activados por medio de un mecanismo tipo flotador, uno para controlar el encendido de la bomba de alimentación de agua, en forma de control on-off y el otro para dar alarma por nivel bajo de agua en la caldera. Su diseño permite la instalación de visor de vidrio y grifos de purga. (www.colmaquinas.com, 26/01/2018). En la Figura 5, se muestra el control de nivel de agua McDonnell tipo flotador.



Figura 5. Control de nivel de agua tipo flotador.
Fuente: www.colmaquinas.com, 26/01/2018.

- Termopares:** Los termopares son instrumentos muy utilizados en la industria para medir temperatura, estos instrumentos están fabricados con la unión en un extremo de dos alambres de distinto material y al aplicar temperatura en la unión esta hace que por los alambres se genere una diferencia de potencial eléctrico del orden de los mili-voltios, el cual incrementa con el incremento de la temperatura aplicada. (Bausà, García, Zaragoza, Gil, Moreno, & Galiana, 2011).
- Termoresistencia:** La Termoresistencia es un sensor de temperatura que trabaja bajo el principio de variación de resistencia eléctrica, la magnitud de esta variación puede ser relacionada con la variación de la temperatura. A nivel industrial la más común es la PT 100, de alambre de platino y calibrada con una resistencia de 100Ω a 0° Celsius. (Bausà, García, Zaragoza, Gil, Moreno, & Galiana, 2011). En la Figura 6, se puede ver la construcción más comúnmente encontrada en la industria de Termoresistencias y Termopares.

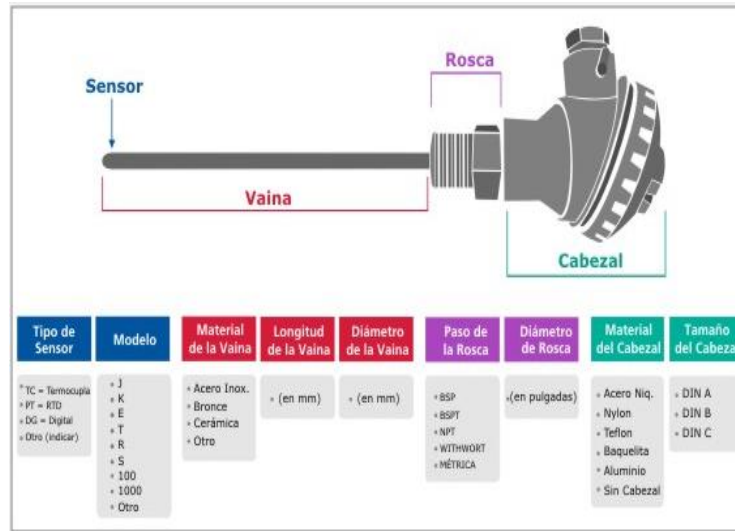


Figura 6. Construcción de Termoresistencia de tipo industrial.
Fuente: (Exemys, 2006).

- Variadores de velocidad:** Es un dispositivo electrónico capaz de controlar completamente la velocidad de un motor eléctrico de inducción, variando la frecuencia de la red alimentación eléctrica, (Piñero Rueda, 2015). En la Figura7, Se muestra 3 variadores de velocidad de diferentes marcas.



Figura 7. Variadores de velocidad para motores de inducción.
Fuente: Piñero Rueda, 2015.

- Motor eléctrico de Inducción:** Es un tipo de máquina eléctrica, que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, estos motores están formados por un rotor y un estator, su principio de funcionamiento está basado en la interacción del rotor y el estator por medio de la inducción electromagnética. Fue diseñado por el ingeniero Nikola Tesla. (Piñero Rueda, 2015). En la Figura 8, se puede observar las partes de un motor inducción trifásico.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

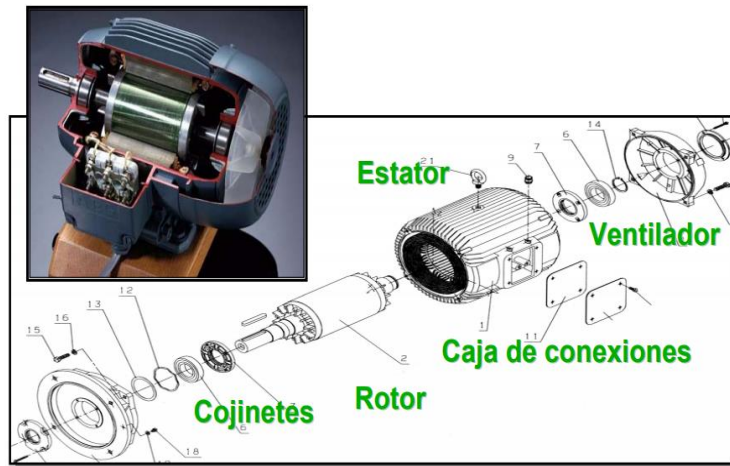


Figura 8. Partes de un motor de inducción trifásico.
Fuente: Schneider Eletric, 2002.

2.2 Partes Principales que componen la caldera pirotubular de carbón.

- **Hogar de combustión:** Es una de las partes de mayor importancia en una caldera de vapor, en él se produce la reacción entre el combustible (en este caso, carbón) y el comburente (el oxígeno). Estas reacciones de combustión son exotérmicas, ya que transforman la energía química en energía calorífica y provocan la aparición de una llama. En la Figura 9, se puede apreciar el hogar de combustión de una caldera a carbón.



Figura 9. Hogar de combustión de la caldera a carbón.
Fuente: Calderas JCT, 2012.

- **Arco de ignición:** es un arco a la entrada del suministro de carbón, vaciado en material refractario que después de ser calentado en el encendido de la caldera, este continúa proporcionando la energía calórica para encender el carbón de combustión. En la Figura 10, se puede observar el arco de ignición inmediatamente después de la tolva de alimentación de carbón.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

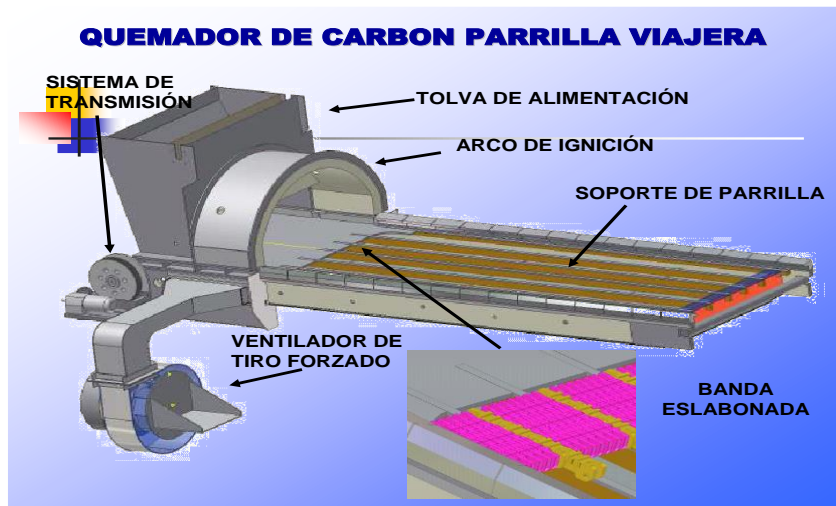


Figura 10. Quemador de carbón parrilla viajera.
Fuente: (Calderas JCT, 2012).

- **Parrilla viajera:** Es una parte primordial del quemador de la caldera, está conformada por el chasis o estructura, soporte que se fija al interior del hogar de combustión y su función es entregar el carbón para la combustión. En la Figura 11, se observa la parte exterior de la parrilla viajera.

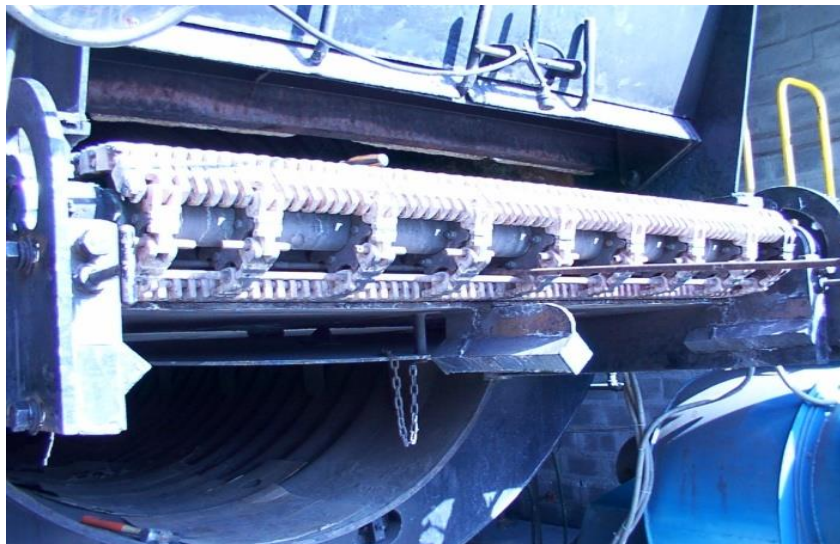


Figura 11. Parrilla viajera de alimentación de carbón.
Fuente: (Calderas JCT, 2012).

- **Ventilador tiro Forzado:** Suministra el comburente (el Oxígeno) para generar la combustión en el hogar de la caldera.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Ventilador tiro inducido:** Es el que se encarga de mover o pasar los gases calientes de combustión por los piro tubos y sacarlos por la chimenea de la caldera después de haber realizado el intercambio de calor. La Figura 12 muestra el ventilador y su sistema de transmisión cubierto con una guarda de seguridad.



Figura 12. Ventilador tiro inducido.
Fuente: Propia Tomada en planta de Solla Bello.

- **Chimenea:** Las chimeneas tienen por objetivo desechar los gases de la combustión a una altura suficiente a fin de evitar, en lo posible, las molestias inherentes de la salida de gases. Mientras más alta sea la chimenea más efecto de tiro dispondrá para la extracción de los gases del hogar. El tiro debe ser el suficiente para mantener una ligera succión en el hogar. La mayoría de los gases de combustión forman depósitos que al enfriarse son corrosivos a los metales, por esta razón, en caso de usar una chimenea metálica será indispensable dotarla con un revestimiento que evite la corrosión. (Ojeda Córtez, 2014)
- **Filtro de talegas:** Este equipo se instala principalmente en las calderas a carbón, y se utiliza para la filtración en seco de partículas sólidas o humos suspendidos en el aire (gases de combustión) que es desalojado al ambiente por la chimenea. Las partículas de sólidos o humos son colectadas en las paredes exteriores de las talegas¹ y el aire pasa a través de estos limpiándose.
La acumulación de partículas en la superficie exterior de las talegas las taponan y esto no permite que el aire circule por ellas, lo que hace necesario mantener las talegas limpias por lo cual se les instala un sistema de soplado con aire comprimido. (D&F, 2010) La figura 13, muestra el filtro de talegas.

¹ Talegas son unos filtros tubulares de material textil.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

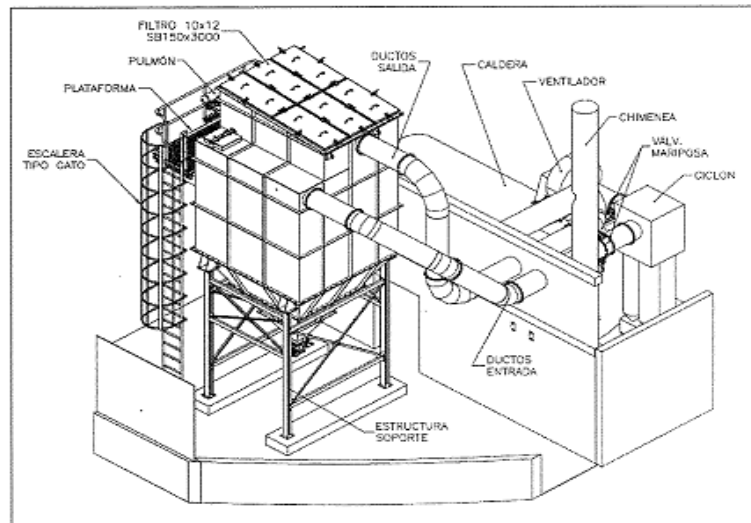


Figura 13: Filtro de talegas.
Fuente:(D&F, 2010).

- **Tanque de suministro de agua:** es un tanque de almacenamiento y alimentación de agua, conectado a la línea de suministro de la caldera.
- **Bomba de agua:** es una bomba centrífuga acoplada a un motor eléctrico y a la línea de suministro de agua. La bomba es la encargada de mover el agua del tanque de suministro hacia la cámara de la caldera. En la Figura 14, se puede apreciar la bomba de alimentación con su motor eléctrico.



Figura 14. Bomba de alimentación de agua.
Fuente: Propia tomada en planta de Solla Bello.

- **Tablero eléctrico:** Armario donde se alojan todos los dispositivos eléctricos de control y potencia, tales como: contactores, relés, disyuntores, variadores de velocidad, relés de nivel por electrodo, borneras de conexionado, transformadores de potencia y fuentes de alimentación DC; además de los dispositivos principales para el diseño de este proyecto el PLC, y la pantalla HMI.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Llaves de soplado:** sirven para realizar un barrido de cenizas, dejando pasar vapor por unas boquillas que apuntan directamente a los pirotubos de los pasos 2 y 3, con el fin de que este vapor arrastre las cenizas que los gases de combustión no alcanzan a evacuar hacia la chimenea, y así evitar que los tubos se taponen por exceso de hollín.
- **Llaves de purgas:** se tiene dos tipos de estas llaves: las llaves de purgas de fondo, ubicadas en la parte inferior de la caldera, sirven para evacuar los lodos provenientes de la evaporación de las aguas que traen minerales disueltos, y las llaves de purga de la superficie, ubicadas en la parte superior de la caldera para evacuar algunos minerales que flotan en la superficie del agua.
- **Indicadores de temperatura:** son instrumentos que se utilizan para medir la temperatura, principalmente de los gases de combustión, también se instalan para medir la temperatura del vapor generado. Estos indicadores pueden ser de tipo PT 100, Termocuplas, NT 100, etc.
- **Controladores e Indicadores de presión:** son instrumentos que indican y controlan la presión del vapor o del hogar de la caldera, mediante señales eléctricas hacia los instrumentos de control; entre estos están los transmisores de presión de 4-20 mA, los presostatos o limitadores de presión, y los manómetros.
- **Válvulas de seguridad:** Tienen como objetivo proteger la caldera contra sobrepresiones de vapor, estas están ajustadas a la presión máxima de trabajo y se abren cuando la presión de la ladera alcanza este valor. En la Figura 15, se muestra las válvulas de seguridad de una caldera a carbón de 200 BHP.



Figura 15. Válvulas de seguridad de la caldera.
Fuente: Propia tomada en planta de Solla Bello.

- **Cámara de Aguas:** Es el espacio de la caldera que está ocupado por agua, el cual no debe pasar de un nivel máximo, como tampoco bajar del nivel mínimo durante su funcionamiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Cámara de Vapor** Es el espacio o volumen que ocupara el vapor en la caldera, y queda sobre el nivel superior máximo de agua. El Tamaño de esta cámara debe de ser proporcional al consumo de vapor.
 En este espacio, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada “domo”, y que contribuye a mejorar la calidad del vapor (hacerlo más seco). (Abarca Bahamondes, 2013)

Las calderas pirotubulares en general requieren de varios lazos de control para su buen funcionamiento, entre estos están:

- Control de nivel de agua:** Este lazo de control se encarga de mantener la reposición de agua de la caldera en un nivel adecuado (entre un máximo y un mínimo), en la mayoría de calderas industriales el nivel de agua es controlado on-off, a pesar de que disminuye su eficiencia debido al choque térmico generado cada que se inyecta agua fría para reponer nivel.
- Control de presión de vapor:** Este lazo de control en las calderas puede ser on-off controlado por medio de interruptores de presión, sin embargo, este tipo de control disminuye la eficiencia de la caldera.

La presión de vapor también puede ser controlada con un controlador industrial tipo PID a través de un transmisor de presión que mide continuamente la presión de vapor y le envía una señal de 4 a 20 mA a un controlador para que este a su vez opere el elemento final de control que para el caso de las calderas a carbón son los variadores de velocidad de los ventiladores (Inducido, forzado y de la parrilla viajera), los cuales controlan la combustión en el hogar. Para este proyecto se integró el controlador PID en el algoritmo de programación del PLC.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3 METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto, se dio en un orden lógico de actividades que apuntaran directamente al logro de los objetivos planteados, y en una secuencia que ayudara a optimizar los tiempos de entrega de las diferentes etapas del proyecto, para lo cual se dispuso de un cronograma de actividades con tiempo estimado y responsable de la ejecución (ver Tabla 1), y otro cronograma de tiempos para la ejecución de actividades en orden semanal (ver Tabla 2).

Tabla 1. Cronograma de actividades destinadas al proyecto y ejecutores a cargo.

Fuente: Propia levantamiento de información en Solla.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES			
ACTIVIDAD	TIEMPO ESTIMADO	EJECUTOR(ES)	CARGO(S)
Levantamiento de la información	2 semanas	Alexander Nieto C	Coordinador regional de mantenimiento
Cotización de equipos	2 semanas	Carlos Mario Monsalve	Ejecutivo de compras
Diseño de planos eléctricos	3 semanas	Alexander Nieto C	Coordinador regional de mantenimiento
Programación del PLC	3 semanas	Alexander Nieto C	Coordinador regional de mantenimiento
Programación de la HMI	3 semanas	Alexander Nieto C	Coordinador regional de mantenimiento
Montaje de equipos eléctricos	3 semanas	Alejandro Botero Juan David Ospina	Técnicos electricistas
Montaje de equipos mecánicos	1semanas	Edison Arenas Rafael Bravo	Técnicos Mecánicos
Puesta en marcha y pruebas y ajustes	2 semanas	Alexander Nieto C	Coordinador regional de mantenimiento
Capacitación a personal técnico	2 semanas	Alexander Nieto C	Coordinador regional de mantenimiento

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 2. Cronograma de actividades destinado a organizar el desarrollo del proyecto por semanas.
Fuente: Propia planificación de actividades.

Cronograma de ejecución de actividades por semana																
Actividad	Semanas de ejecución															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Levantamiento de información	X	X														
Cotizaciones de equipos			X	X												
Diseño planos eléctricos			X	X												
Diseño planos neumáticos				X												
Programación de PLC					X	X	X									
Programación de pantalla HMI								X	X	X						
Montaje y cableado de equipos eléctricos									X	X	X					
Elaboración de manual de operación											X	X	X			
Montaje de equipos mecánicos												X	X			
Descarga de programas y ajustes													X	X		
Capacitación a personal Técnico															X	X

De esta forma se pudo realizar tareas de forma simultánea que no involucraban algún estado particular de otra actividad (sin empezar, en proceso, terminada), para así en el menor tiempo posible tener el mayor número de tareas concluidas. Las tareas que dependían de otra actividad en particular se realizan en orden prioritario, como la programación del PLC que se hace

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

primero que la programación de la pantalla HMI, porque esta requería de las variables asignadas en el código del PLC para poder enlazar animaciones y acciones a los gráficos diseñados.

3.1 Levantamiento de la información

Cuando se quiere diseñar la automatización de un equipo, lo primero que se debe hacer es obtener la información concreta de su funcionamiento, es decir, que hace el equipo y con qué elementos eléctricos o electrónicos funciona. Logrando entender esto se puede diseñar la lógica de control para el PLC.

Por lo anterior, lo primero que se hizo fue un análisis del funcionamiento de la caldera con el control existente en lógica cableada, se realizó análisis de la lógica de control con la ayuda de los planos eléctricos originales del equipo, y se realizó un inventario de elementos eléctricos y de maniobra montados en el tablero de control como; contactores, variadores de velocidad, disyuntores, protecciones térmicas etc. Con este inventario se determinó que equipos se reutilizarían y que cuales hacían falta para nuevo diseño de control al que se le incluyó el PLC y HMI. La Tabla 3 muestra el inventario realizado.

Tabla 3. Descripción de elementos tablero Eléctrico principal de la Caldera JCT a carbón.

Fuente: Propia, inventario realizado en Solla S.A.

PROTECCIONES ELÉCTRICAS.		
Mitsubishi (Ventilador Inducido)	Model: NF63-HV	3X32A (Breaker Tripolar)
Mitsubishi (Ventilador Forzado)	Model: NF50-HP	3X20A (Breaker Tripolar)
Schneider Electric (Bomba H2O)	Model: 7.5HP – 440VAC	3X6 – 10A (Guarda Motor) Tripolar ICC=80A.
Schneider Electric (Sirena)	Model: 0.5HP – 440VAC	3X1.6 – 2.5A (Guarda Motor)
Schneider Electric (Parrilla Viajera)	Model: 3X4A MÁX=600V	3X4A (Breaker Tripolar)
VCP “EATON” (Circuitos)	Model: Qi1 máx: 480vac 1X6A.	1X6A (Mini Breaker Monopolar) Cantidad: 6 unidades.
VCP “EATON” (Circuitos)	Model: Qi1 máx: 480vac 1X10A	1X10A (Mini Breaker Monopolar)
Schneider Electric (Circuitos)	Model: M6N61501 – C60N	1X1A (Mini Breaker Monopolar) Cantidad: 3 unidades.
Schneider Electric (Circuitos)	Model: M6N61501 – iC60N	1X3A (Mini Breaker Monopolar) Cantidad: 4 unidades.
Schneider Electric (Circuitos)	Model: M6N61501 – iC60N	1X6A (Mini Breaker Monopolar) Cantidad: 3 unidades.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Mitsubishi (Protección General)	Model:NF50-SW No-fuse Circuit Breaker 3 Pole 3A	3X30A (Breaker Tripolar) Vmáx: 600V
Allen Bradley "A-B" (Transportador de Escoria 2)	Model: 140M-C2E Class 10 2.5HP – 440VAC.	3X6 – 10A (Guarda Motor)
Telemecanique (Transportador de Escoria 1)	Model: 6V2ME08 1.5HP – 440VAC	3X2.5 – 4A (Guarda Motor)
Moeller (Esclusa Filtro)	Model: PKZM0-1.6 0.5HP – 440VAC	3X1.6A (Guarda Motor)
CONMUTACIÓN (CONTACTORES)		
Moeller (Esclusa Filtro)	Model: DILM7-10 Xtar	Bobina 110VAC
Mitsubishi (Transportador de Escoria 2)	Model: S-N21 – 32A AC I=Ith	Bobina 110VAC Cantidad: 2 Unidades
Telemecanique (Sirena)	Model: 440VAC – 24A	Bobina 110VAC
VARIADORES DE VELOCIDAD (FRECUENCIA)		
Yaskawa (Ventilador Inducido)	Model: CIMR-F7U4011 SPEC 4011F	3 PHASE 480V – 24A F7
Yaskawa (Ventilador Forzado)	Model: JVOP-140 GPD 315/V7 VS-606V7 NPIT31297-411-1	3 PHASE 440V 3.7KW
Yaskawa (Parrilla Viajera)	Model: JVOP-140 GPD 315/V7 NPIT31297-404-2	3 PHASE 400V 0.4KW
ARRANCADOR SUAVE		
Danfoss (Bomba H2O)	Model: 440VAC – 7.5HP	V = 400 – 480VAC I = máx 25A
FUENTE		
EBCHQ (Fuente Circuitos Control)	Model: LPI300D-24M 43029 300W	INPUT: 100-120/200-240VAC Imáx: 4.0A OUTPUT: 24VDC
TRANSFORMADOR		
LASER "Sirio" (Circuitos Control)	Model: 2KVA	Primario: 440VAC Secundario: 220/110VAC
PLC		
Mitsubishi "MELSEC" (Power supply PLC)	Model: A1S61PN	INPUT: 100 – 240VAC OUTPUT: 5VDC – 5A 105VA – 50/60HZ
Mitsubishi "MELSEC" (Processor/Controller)(CPU)	Model: A2ASCPU	Módulo CPU; para máx. 14 K steps y 512 E/S 64Kbytes.
Mitsubishi "MELSEC" (Ethernet Interface Module)	Model: A1SJ71E71N-T	Network module 10BASE-T
Mitsubishi (Módulo de entrada)	Model: A1SX10	16 (0-F) in. Módulo 110VAC Cantidad: 2 Unidades
Mitsubishi (Módulo de salida)	Model: A1SY10	16 (0-F) out.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

		Módulo 24VDC Cantidad: 2 Unidades
Mitsubishi (Módulo de salida)	Model: A1SY80	16 (0-F) out. Módulo 24VDC Cantidad: 2 Unidades
Mitsubishi (Módulo análogo)	Model: A1S66ADA	Channel's: Input/Output. Power Supply: 24VDC
Mitsubishi "MELSEC-A" (Base unit)(Módulo de extensión – Tarjeta)	Model: 8 Extensions (0-7). A1S52B (S1), A1S55B (S1), A1S58B (S1), A1S65B (S1), A1S68B (S1).	Módulo de extensión conectado: A165B (S1) and A1S58B (S1). 8 Extensiones.
Mitsubishi "MELSEC" (Cable de comunicación)	Model: SC09 SC-09 Cable RS232 to RS422 adapter for Mitsubishi MELSEC FX & A series PLC Sell one like this SC09 SC-09 Cable RS232 to RS422 adapter for Mitsubishi MELSEC FX & A series PLC *RED*	Cable de comunicación para A2ASCPU AND HMI. Terminales y puertos de comunicación a RS232 to RS422 *red*
<p>NOTA: Para la automatización de la Caldera JCT se puede utilizar en su mayoría cualquier tipo de PLC (Programmable Logic Controller), Es decir, aquel que esté acorde a los requerimientos necesarios para efectuar el proceso deseado.</p> <p>También aplicada para la pantalla HMI (Human Machine Interface), ya que de forma habitual puede ser remplazada por modelos más avanzados o marcas diferentes.</p>		
HMI		
Mitsubishi (Pantalla HMI)	Model: GS2107-WTBD MAC ADD 104B4663A7D4	IN 24VDC Power máx: 6.5W Serial: 83015Z28ACG0033-A
BORNERAS		
Legrand (Conexión Circuitos)	Model: 22 – 12 AWG Vmáx: 600V Bornas Viking3 TM	Capacidad de corriente: 2A Cantidad: 120 Unidades Referencia: 037 161
Legrand (Conexión Circuitos)	Model: 22 – 8 AWG Vmáx: 600V Bornas Viking3 TM	Capacidad de corriente: 25A Cantidad: 24 Unidades
Legrand (Conexión Circuitos PE)	Model: 22 – 8AWG Vmáx: 600V	Cantidad no definida. Capacidad no definida.
RELÉS		
Iskra (Relay)	Model: TRP 6822 Relay 8-pin	250V – 10A 2000VA máx.
Finder (Relevo Electromagnético de Salida del PLC)	Model: 34.51.7.024.0010 Master plus.	Bobina: 24VDC. Imáx: 6A Vmáx: 250V
Finder (Base Relevo Electromagnético) (Zócalo relé)	Model: 93.01.7.024 – 93.01.0.024.	Carril DIN. Tornillo. Relé 5 Pines.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Finder (Relés Control Nivel)	Model: 72.01.8.125.0000 Level Relay... 17RZ Máx 250VAC, 15, ½ HP.	Un= 110...125V Contacto: 220V, 16A IN CON EQ.
REACTORES DE LINEA		
MTE (Line/Load Reactors)	Model: RL-02502	1.20mH – 25A – 3 phase.
MTE (Line/Load Reactors)	Model: RL-00802	3.0mH – 8A – 3 phase.
MTE (Line/Load Reactors)	Model: RL-00402	6.50mH – 4A – 3 phase.

Haciendo referencia a la Tabla 3, en el inventario se omiten los equipos periféricos al tablero de control como motores eléctricos, bomba de agua, etc.

Para realizar el cableado de los circuitos eléctricos de control y potencia se tuvo en cuenta que los circuitos de control utilizan cable vehicular calibre 18AWG, mientras que en los circuitos de potencia utilizan cable 10 AWG y 8AWG.

3.2 Cotización y compra de elementos eléctricos

Para la cotización y compra de recursos (materiales y servicios), Solla S.A. Dispone de SAP (Sistema de aplicaciones y productos) que es un Software ERP (Planificador de recursos de empresa), para la administración y planeación de recursos productivos. Por tal motivo el área encargada de realizar las cotizaciones y compras de elementos para este proyecto, es la Gerencia de Compras.

Para realizar la compra de los elementos eléctricos y mecánicos necesarios para la ejecución del trabajo, el primer paso fue crear en SAP desde el módulo de mantenimiento PM (Planificación de mantenimiento), una orden de mantenimiento preventivo, en esta se listan los materiales a comprar generando automáticamente una solicitud de pedido al área de compras, ellos cotizaron con los diferentes proveedores, y realizaron la compra de todos los materiales que aparecen en la orden. La Figura 16, muestra la orden 4083920 con el listado de elementos comprados y en la Figura 17, se muestra los costos de implementación de esta automatización con PLC y HMI.

Orden Tratar Pasara Detalles Entorno Sistema Ayuda

Modificar Orden de mantenimiento preventivo 4083920: Resumen de compon

Cierre comercial

Orden: ZPM1 4083920 Automatizar control caldera JCT con PLC

Stat.sist.: LIB. NOTI DMNV EDET FENA MOVN NLIQ PR. 0007

Datos cab. Oper. Componentes Costes Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control

si	Componente	Denomin.	TE	Ctd.neces.	UM	TP	St	Alm.	Ce.	Op.	Lote	Tpo.aprovision.
40	53226	Minibreaker de 2x15		2	UN	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
50	54141	Riel omega		1	UN	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
60	57869	Remache pop 3/16x1/2		100	UN	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
70	53844	Relevo tipo pcl Finder 34.51.7024.0010		20	UN	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
80	53223	Minibraker de 6 amperios		4	UN	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
90	51628	Bornera legrand		60	UN	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
00	61011	Terminal Tipo pin DZ5CA025		400	UN	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
10	58340	Cable AWG 18 color negro		100	M	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
20	55468	Ventilador de 4" a 110 rkl 15055-1f		2	UN	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
30	60073	Terminal U aislado 12-10 diametro 5/32		100	UN	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
40	59104	Minibreaker 3a 20ka/120v		7	UN	N			1405	0010		Sol.ped.p.orden
50	61235	Base Relev tipo pcl Finder 345170240010		20	UN	L			1405	0010		Reserva para orden
60	61372	Terminal preaislada tipo pin cable18AWG		400	UN	L			1405	0010		Reserva para orden
70	51628	Bornera legrand		60	UN	L			1405	0010		Reserva para orden
80	52785	Cable encauchetado 3x18		20	M	L			1405	0010		Reserva para orden
90	59109	Cartucho panduit T100X000VPVC-BK		2	UN	L			1405	0010		Reserva para orden
00												

Figura 16. Orden 4083920 de automatización control caldera, con listado de elementos.

Fuente: propia, imagen de solicitud de compra en SAP.

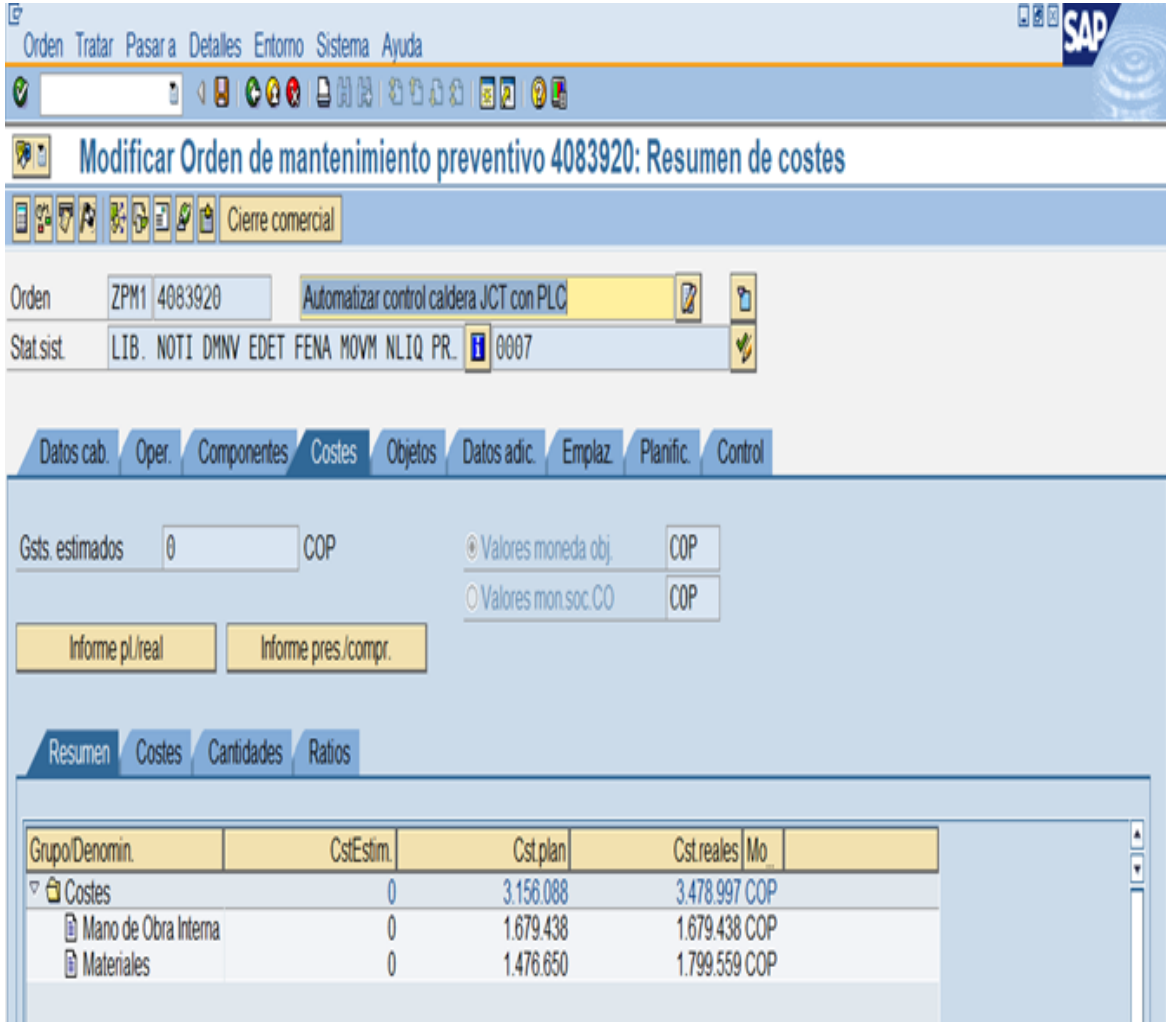


Figura 17.Costos principales en la de la automatización de la caldera con PLC y HMI.

Fuente: Propia, reporte de costo en SAP.

Es importante aclarar que para esta implementación aunque se tenía aprobada la compra de un PLC y una pantalla HMI de la marca Mitsubishi, esta no fue necesaria lo que disminuye considerablemente los costos de implementación, la razón por la cual no se compraron estos equipos fue porque el área de proyectos cambio el PLC y la pantalla de la sección de dosificado por cuestiones de mejoramiento del sistema, y por lo tanto los equipos que se bajaron se reutilizaron en este proyecto para la caldera, La Figura 18, muestra la orden de compra realizada por proyectos de los equipos y servicio de migración del programa mencionado.

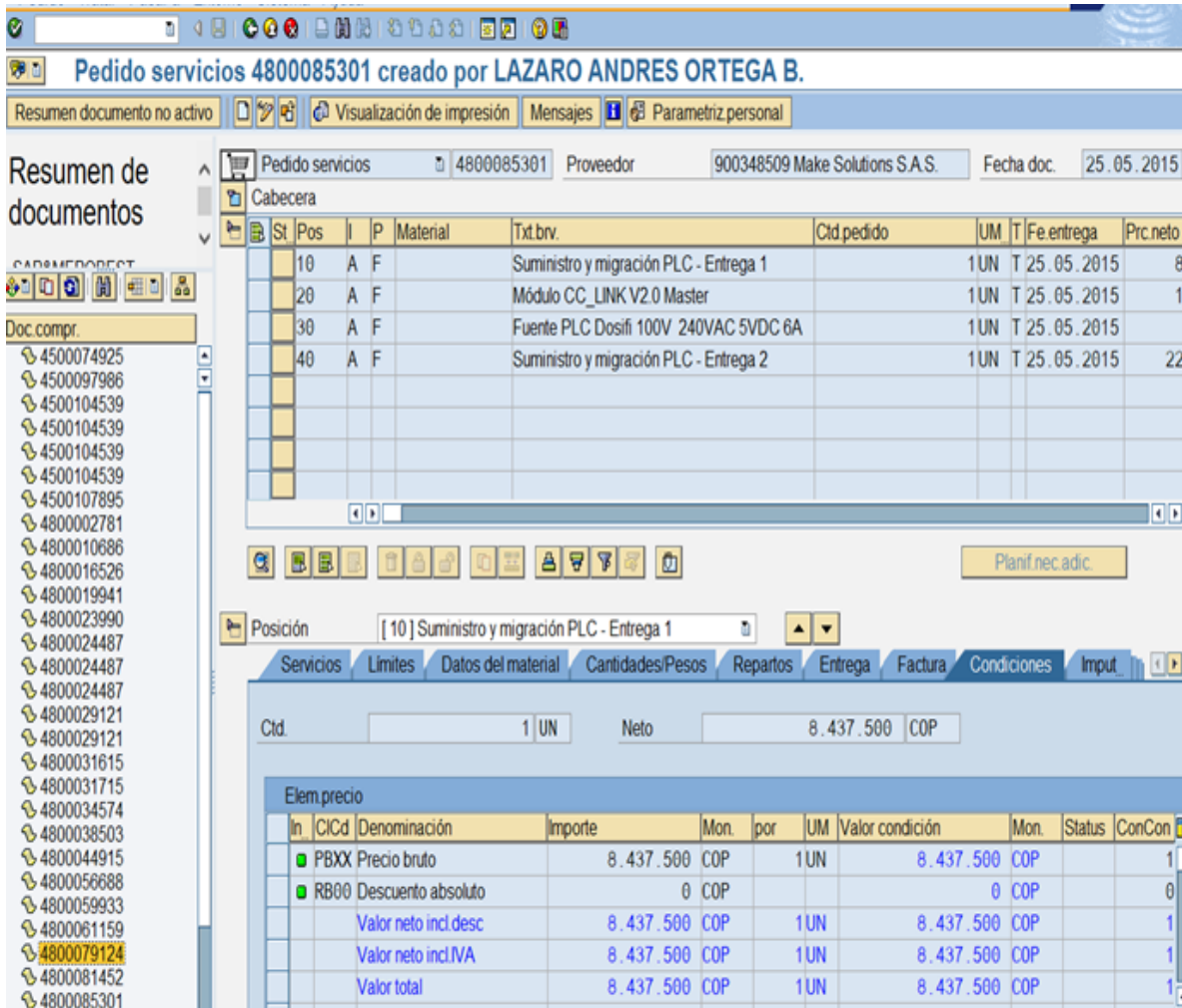


Figura 18. Orden de compra en SAP para cambio del PLC de Dosificado.
Fuente: Propia, pedido de servicio en SAP.




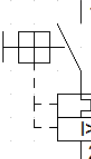
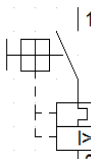
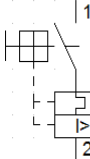
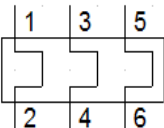

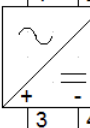
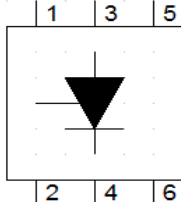
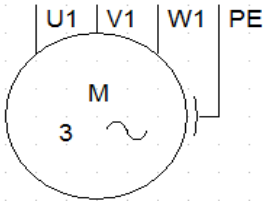
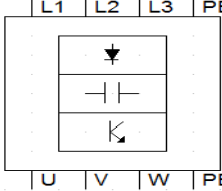
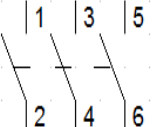
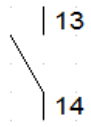
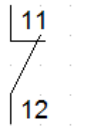
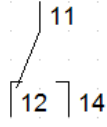
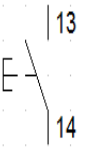
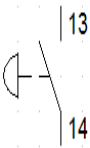
3.3 Diseño de planos eléctricos y neumáticos

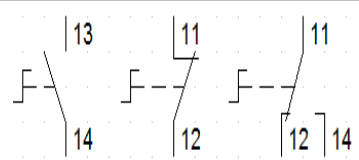
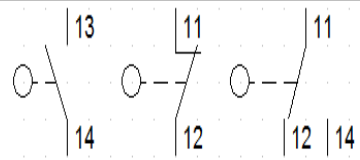
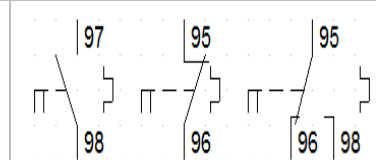
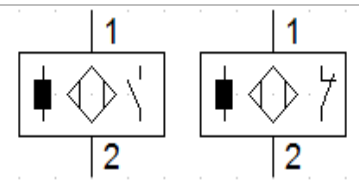
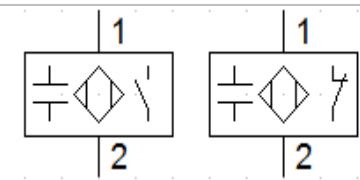
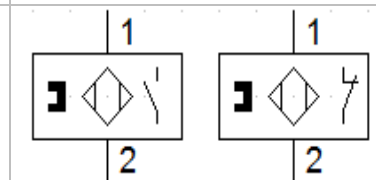
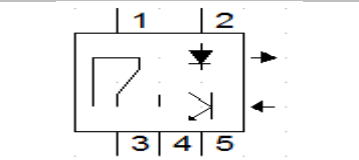
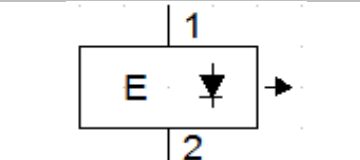
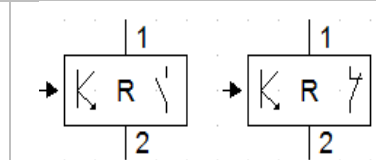
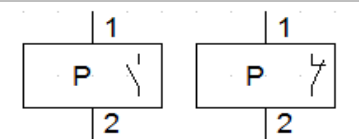
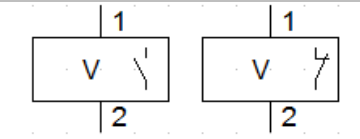
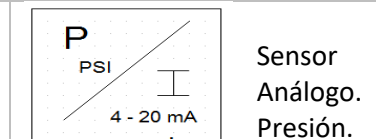
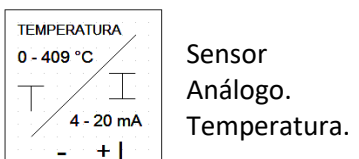
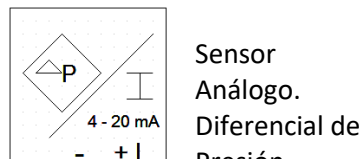
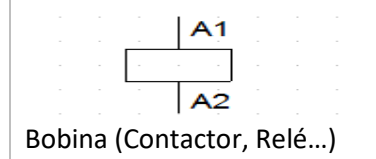
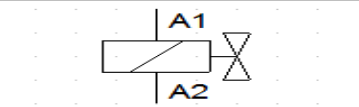
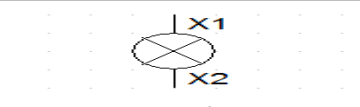

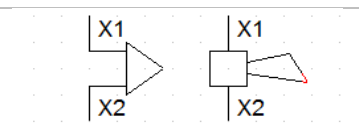
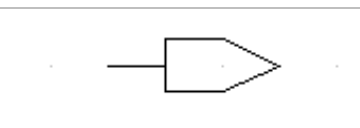
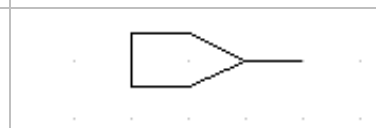
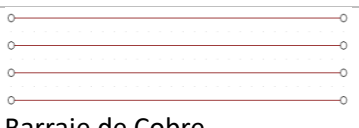
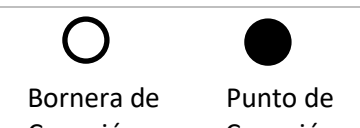
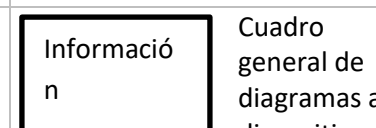
El diseño de los planos es una de las actividades más importantes para llevar a cabo en cualquier proyecto de automatización, estos son los que dan una idea muy sólida del sistema que se tiene a cargo y las posibilidades de control, ya que puede haber señales digitales y analógicas, un error en el diseño de los planos puede hacer que un programa deba ser reestructurado totalmente, o que se presenten retrasos en la puesta en marcha del equipo.

La elaboración de estos planos se realizó con el programa de diseño CadeSimu, aprovechando las herramientas y librerías de desarrollo, con los estándares de diagramas eléctricos y neumáticos. La Tabla 4, relaciona las convenciones usadas en los planos.

Tabla 4. Tabla de convenciones para planos eléctricos en CadeSimu.

Fuente: propia realizada con Cadesimu.

CONVENCIONES		
 <p>Breaker Monopolar.</p>	 <p>Breaker Bipolar.</p>	 <p>Breaker Tripolar.</p>
 <p>Disyuntor Monopolar.</p>	 <p>Disyuntor Bipolar.</p>	 <p>Disyuntor Tripolar. Guarda Motor.</p>
 <p>Relé Térmico.</p>	 <p>Transformador Monofásico.</p>	 <p>Fuente Monofásica.</p>
 <p>Arrancador Suave.</p>	 <p>Motor Trifásico.</p>	 <p>Variador de Velocidad.</p>
 <p>Contactos Potencia Contactor.</p>	 <p>Contacto Normalmente Abierto.</p>	 <p>Contacto Normalmente Cerrado.</p>
 <p>Contactos Conmutables. Común, Normalmente abierto y cerrado.</p>	 <p>Pulsador.</p>	 <p>Pulsador Zeta.</p>

CONVENCIONES		
 <p>Selector.</p>	 <p>Final de Carrera.</p>	 <p>Contactos Relé Térmico.</p>
 <p>Sensor Inductivo.</p>	 <p>Sensor Capacitivo.</p>	 <p>Sensor Magnético.</p>
 <p>Sensor Fotoeléctrico (Reflex - Auto Reflex).</p>	 <p>Sensor Fotoeléctrico (Barrera - Emisor).</p>	 <p>Sensor Fotoeléctrico (Barrera - Receptor).</p>
 <p>Presóstato.</p>	 <p>Vacuóstato.</p>	 <p>Sensor Análogo. Presión.</p>
 <p>Sensor Análogo. Temperatura.</p>	 <p>Sensor Análogo. Diferencial de Presión.</p>	 <p>Bobina (Contactor, Relé...)</p>
 <p>Bobina Electroválvula.</p>	 <p>Piloto Señalización.</p>	 <p>Timbre Zumbador.</p>
 <p>Sirena Bocina.</p>	 <p>Conexión de Salida.</p>	 <p>Conexión de Entrada.</p>
 <p>Barraje de Cobre.</p>	 <p>Bornera de Conexión Punto de Conexión.</p>	 <p>Cuadro general de diagramas a dispositivos.</p>

Las convenciones mostradas en la Tabla 4 se generalizan en un ámbito de conocimiento básico de planos eléctricos. Igualmente, se hace una gráfica de las convenciones utilizadas en el plano y, se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

omiten ciertos elementos considerados en las convenciones de planos eléctricos, es decir, sólo se limita a lo necesario en la instalación física. De igual manera, los temas considerados en los elementos de mando como pulsadores y más, se remplazan por un mando de comunicación humana a través de una pantalla táctil “HMI” (Human Machine Interface).

Siendo asertivos con el tema planteado, la automatización de “La Caldera JCT” se enfoca a un campo tecnológico de los PLC – HMI, lenguajes de programación, así mismo, reemplazan elementos convencionales como temporizadores, relés auxiliares, controles PID, Lectores analógicos, entre otros.

Nota: En los planos eléctricos las marcas de las líneas y/o cables están sujetas a leerlas según el siguiente ejemplo:

15K1= 15 (#pág) – K1 (1° Bobina de izquierda a derecha). 20.2B= 20 (#pág) – 2 (fila) – B (Columna), Por último, aquellas con nombres (esclusa) son porque se encuentran así en el tablero eléctrico.

Los planos eléctricos realizados contienen los siguientes ítems:

- Portada.
- Guía de símbolos.
- Alimentación.
- Potencia.
- Control.
- Diagrama del rack del PLC.
- Conexión de dispositivos (Variadores, PLC, módulos, HMI)
- Diagrama de entradas y salidas digitales.
- Diagrama de entradas y salidas analógicas.

El diseño en esta etapa fue orientado a la nomenclatura y distribución de los equipos, en los planos se hace una organización lógica y estándar de los dispositivos, en donde se tratan de agrupar los equipos por potencia y funciones, dándoles un direccionamiento adecuado para que los técnicos electricistas puedan entender claramente las conexiones y elementos del sistema a la hora de realizar una revisión con plano en mano. El anexo 1, contiene los planos eléctricos de control y potencia en formato pdf.

Los planos neumáticos que también se realizaron con la ayuda del Software Cadesimu como lo mencione anteriormente se pueden consultar en el anexo 2, contiene los planos neumáticos en formato pdf.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.4 Diseño del programa para el PLC en GX IEC Developer

GX IEC Developer es la herramienta ofrecida por MELSOFT (Mitsubishi Electric Software) para la programación de sus PLC que van desde los FX, que son una gama media - media-alta, hasta la serie Q que son las CPU más potentes con las que cuenta Mitsubishi en el campo de la automatización industrial.

3.5 Diseño del programa para la pantalla HMI en GT Designer

GT Designer es la herramienta ofrecida por MELSOFT (Mitsubishi Electric Software) para la programación de sus pantallas HMI (Human machine interface - por sus siglas en inglés), y con este se programa desde las pantallas de referencia Got 930 monocromáticas de gama baja, hasta las pantallas de referencia Got 2000 de gama alta y a color. Para este proyecto se utilizó una pantalla Got Simple (GS) que es de gama media a color, y ofrece características muy amigables para el control, comunicación (Ethernet, RS485, USB, y RS232) y almacenamiento de información (puerto para memoria SD y USB), a un precio competitivo con relación a las pantallas de otras marcas con características similares.

3.6 Montaje de equipos eléctricos y mecánicos

El montaje de los equipos eléctricos y mecánicos fue realizado con el personal de mantenimiento de la compañía Solla. Este proceso se realizó por partes debido a que algunas actividades se llevaron a cabo con el equipo fuera de funcionamiento, por lo cual debía ser los días sábado y domingo que la planta se encontraba en mantenimiento general.

Esta etapa del proyecto se realizó de la siguiente manera:

Se inicia con la reubicación y reconexión de equipos existentes en el tablero eléctrico de la caldera para abrir espacio a los nuevos equipos (PLC, y relés de interface). En la Figura 19, se muestra el tablero de la caldera con espacio disponible para el PLC y equipos nuevos y en la Figura 20, se muestra la pantalla HMI instalada en tablero.



Figura 19. Tablero de la caldera JCT.
Fuente propia tomada en Solla S.A.

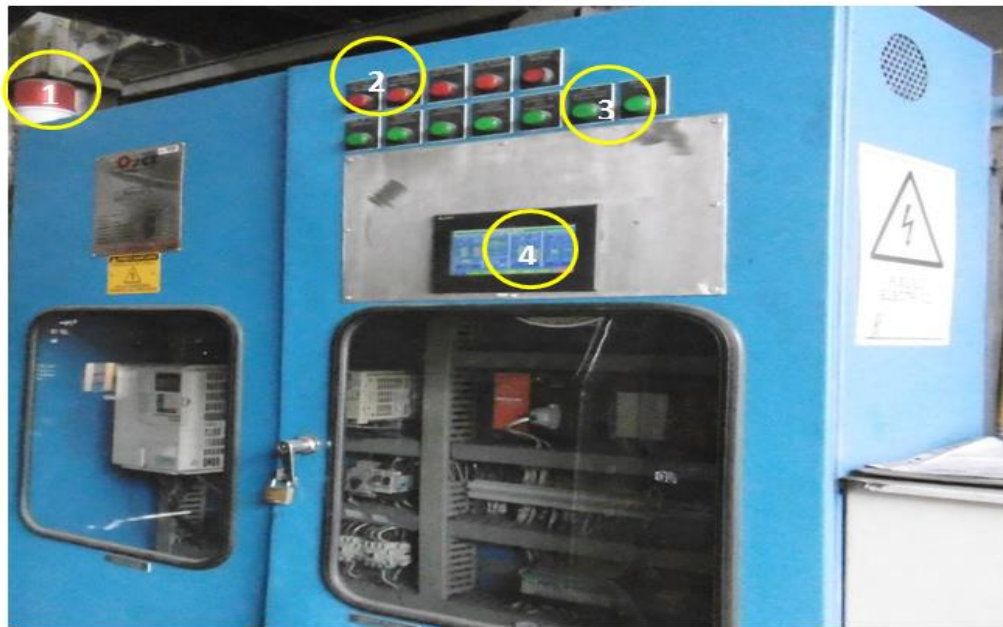


Figura 20. Pantalla HMI instalada en tablero de la caldera.
Fuente: propia tomada en Solla S.A.

Los equipos montados en la Figura 20 son: 1. baliza de alarma, 2. Pilotos de indicación de alarmas específicas, 3. pilotos de indicación de equipos en funcionamiento y 4 pantalla de operación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Luego se continúa con el montaje del PLC, montaje de la pantalla HMI, cableado del nuevo control, e identificación y marcación de cableado en bornes de conexión, se realizaron todas las conexiones de campo, es decir se conectan las entradas y salidas del PLC a los equipos periféricos de control como sensores de temperatura, presión, nivel, variadores de velocidad etc.

Con todo el conexionado terminado se descargan programas en la pantalla y el PLC, se inician pruebas del control eléctrico, se realizan ajustes de señales y se enciende la caldera para generar vapor con el fin de verificar el funcionamiento del control de presión (interruptor de presión de seguridad, señal del transmisor de presión, etc.), se verifica el funcionamiento de su sistema monitoreo (control de nivel de agua, alarmas, etc.) Al igual que el funcionamiento de los ventiladores tiro forzado, tiro inducido, parrilla de alimentación carbón y bomba de suministro de agua.

Comprobando el correcto funcionamiento, se deja el equipo en operación y en supervisión por parte del personal de mantenimiento. En la Figura 21, se muestra equipos eléctricos instalados y conectados en el tablero eléctrico de la caldera. Los equipos instalados fueron: 1 disyuntores a 440V, 2, transformador de control 440/110Vac, 3 barras de cobre, 4 variador de velocidad ventilador inducido, 5 reactancias a 44Vac, 6 disyuntores de control, 7 fuente de 24Vdc, 8 variador de velocidad ventilador forzado, 9 variador de velocidad parrilla, 10 variador de velocidad transportadores sin fin, 11 arrancador suave bomba de agua, 13 borneras de conexión, 14 relevos de control, 15 borneras de potencia, 16 Contactor de alarma, 17 relevos control nivel.



Figura 21. Tablero de caldera con PLC.
Fuente: propia tomada en Solla S.A.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Teniendo los equipos eléctricos montados se procede con el montaje de los equipos mecánicos; dos transportadores sin fin (TSF) para la evacuación de escoria² y una compuerta (Racera) con cilindro neumático, se instalan dos válvulas con actuadores neumáticos para las purgas de lodos y se realiza conexiones eléctricas de control y potencia. En la Figura 22, se muestra una de las 2 válvulas conectada a las tuberías de purgas de fondo, y la Figura 23, muestra el transportador sin fin de evacuación de escoria.



Figura 22: Válvula de purga con actuador electro neumático.
Fuente: propia tomada en Solla S.A.

² Escoria; Son los residuos de cristal, minerales que quedan después de quemar el carbón.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

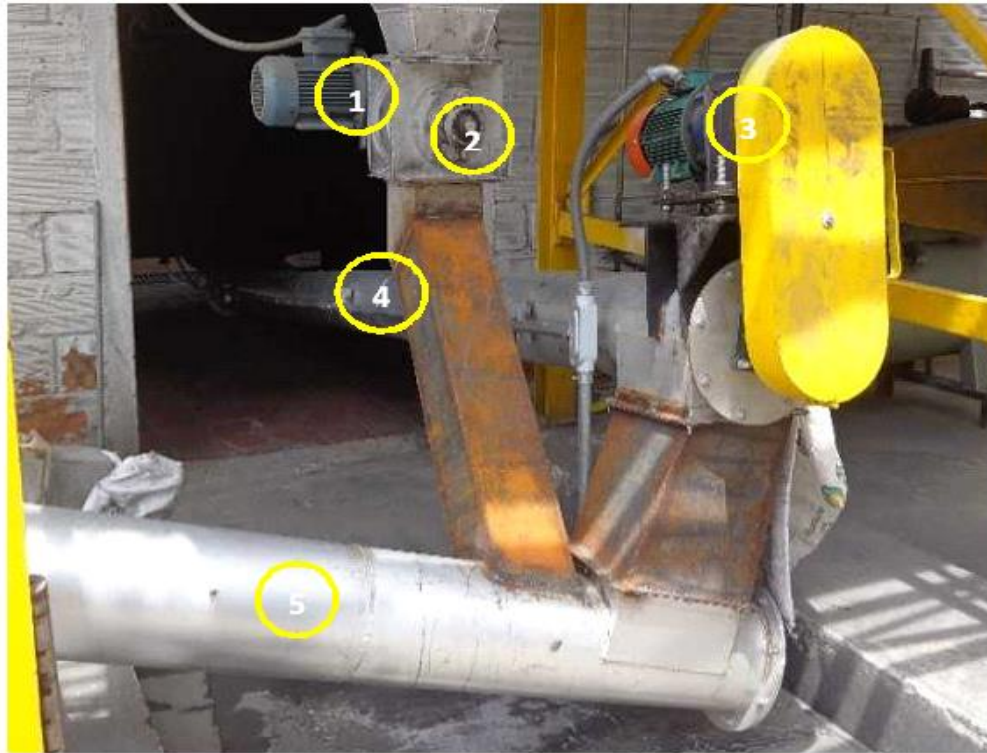


Figura 23. Transportadores sin fin para evacuar escoria de la caldera.
Fuente: propia tomada en Solla S.A.

En La Figura 23 se muestran: 1 motor esclusa filtro, 2 válvula rotativa esclusa, 3 motor transportador TSF1, 4 cuerpo TSF1.5 cuerpo TSF2.

3.7 Elaboración del manual de operación de la pantalla HMI para el nuevo sistema de control automático con PLC.

Este manual fue elaborado con el objetivo de facilitar la operación de la caldera y sus equipos de control y maniobra. Así con la información plasmada en este manual se hace más fácil la capacitación del personal técnico y operativo, suministrando los conceptos básicos de operación y funcionamiento del sistema de control de la caldera.

El manual de operaciones contiene la descripción de cada una de las pantallas programas con GT Designer y la explicación del funcionamiento de cada una de las teclas, gráficos y textos, que se encuentran en cada ventana, también explica como navegar entre pantallas o ventanas y tiene algunos conceptos básicos del funcionamiento de equipos como; el filtro de calderas y el ajuste del control de presión de vapor PID.

En [el Anexo 3](#), se puede consultar el manual de operación del control con PLC y HMI de la caldera a carbón JCT.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.8 Capacitación

Posterior al montaje, puesta en marcha de la caldera y ajustes en funcionamiento, se programa una capacitación para el personal técnico, donde se les explica los conceptos básicos de operación, listado de alarmas y visualización de datos como presión, temperatura, y diferencial de presión. Esperando lograr con esto que todo el equipo actual de mantenimiento logre las competencias necesarias que les ayuden en las intervenciones que deban realizarle al equipo. [El Anexo 4](#), es el registro de asistencia de dicha capacitación.

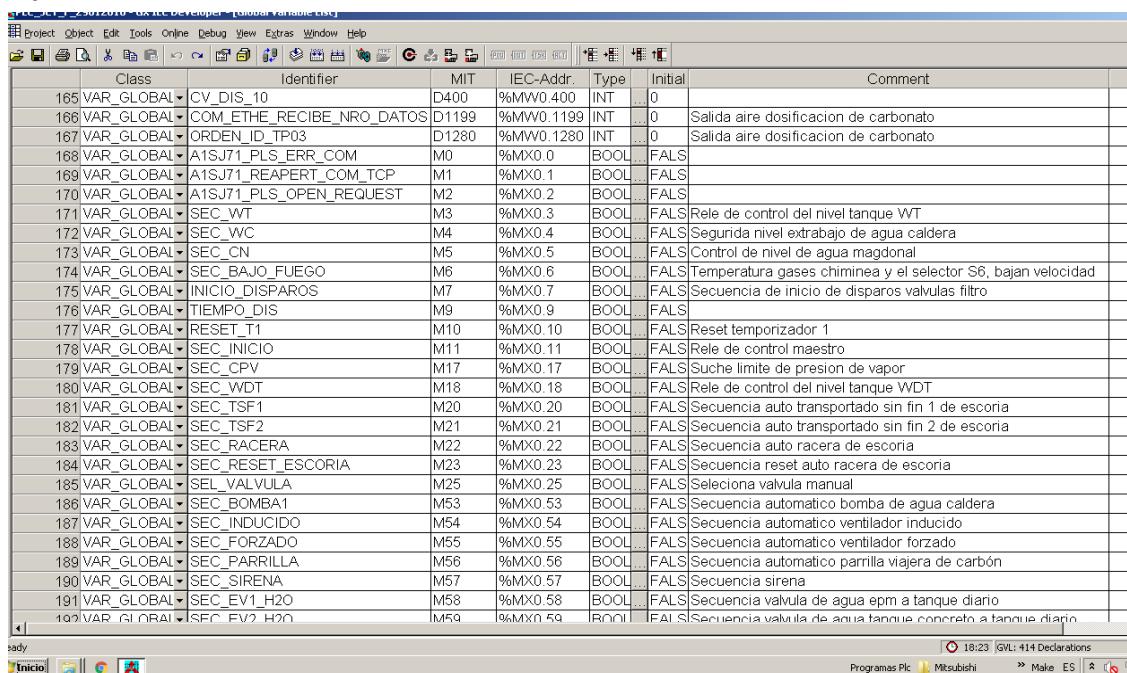
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Programación del PLC

El programa para el PLC de la caldera fue desarrollado en lenguaje Structured Ladder, que permitió programar todas las rutinas en grupos determinados, buscando un orden lógico con un método coherente de trabajo, que sea fácil de entender por cualquier ingeniero al momento de tener que realizar modificaciones futuras o monitoreo del funcionamiento del equipo.

A continuación, se describen las rutinas programadas en este diseño, pero para ver más detalladamente todo el código programado consultar [el anexo 5](#), programa caldera JCT.

- Variables globales:** En este folder del programa se hace la declaración de las variables a usar en el código, es decir es el mapeo de todas las señales de entrada, que se relacionaran con una variable interna del sistema o marca, que en este lenguaje de programación se identifica con la letra M los bits, es decir la periferia relacionada con las entradas digitales, y una letra D para las variables de tipo INT o Word que se relacionan con la lectura de las entradas analógicas del PLC. Estas señales análogas (mV, mA, etc.) llegan al código del PLC en forma de conteos, es decir, un número del 0 a 32760 aproximadamente o desde -32760 a 32760 dependiendo de la configuración del canal de lectura análogo. En la Figura 24, se puede observar cómo se listan las variables globales en GX_IE Developer.



Class	Identifier	MIT	IEC-Addr.	Type	Initial	Comment
VAR_GLOBAL	CV_DIS_10	D400	%MW0.400	INT	0	
VAR_GLOBAL	COM_ETHE_RECIBE_NRO_DATOS	D1199	%MW0.1199	INT	0	Salida aire dosificacion de carbonato
VAR_GLOBAL	ORDEN_ID_TP03	D1280	%MW0.1280	INT	0	Salida aire dosificacion de carbonato
VAR_GLOBAL	A1SJ71_PLS_ERR_COM	M0	%MX0.0	BOOL	FALS	
VAR_GLOBAL	A1SJ71_REAPERT_COM_TCP	M1	%MX0.1	BOOL	FALS	
VAR_GLOBAL	A1SJ71_PLS_OPEN_REQUEST	M2	%MX0.2	BOOL	FALS	
VAR_GLOBAL	SEC_WT	M3	%MX0.3	BOOL	FALS	Rele de control del nivel tanque WT
VAR_GLOBAL	SEC_WC	M4	%MX0.4	BOOL	FALS	Seguridad nivel extrabajo de agua caldera
VAR_GLOBAL	SEC_CN	M5	%MX0.5	BOOL	FALS	Control de nivel de agua magdonal
VAR_GLOBAL	SEC_BAJO_FUEGO	M6	%MX0.6	BOOL	FALS	Temperatura gases chimenea y el selector S6, bajan velocidad
VAR_GLOBAL	INICIO_DISPAROS	M7	%MX0.7	BOOL	FALS	Secuencia de inicio de disparos valvulas filtro
VAR_GLOBAL	TIEMPO_DIS	M9	%MX0.9	BOOL	FALS	
VAR_GLOBAL	RESET_T1	M10	%MX0.10	BOOL	FALS	Reset temporizador 1
VAR_GLOBAL	SEC_INICIO	M11	%MX0.11	BOOL	FALS	Rele de control maestro
VAR_GLOBAL	SEC_CPV	M17	%MX0.17	BOOL	FALS	Suche limite de presion de vapor
VAR_GLOBAL	SEC_WDT	M18	%MX0.18	BOOL	FALS	Rele de control del nivel tanque WDT
VAR_GLOBAL	SEC_TSF1	M20	%MX0.20	BOOL	FALS	Secuencia auto transportado sin fin 1 de escoria
VAR_GLOBAL	SEC_TSF2	M21	%MX0.21	BOOL	FALS	Secuencia auto transportado sin fin 2 de escoria
VAR_GLOBAL	SEC_RACERA	M22	%MX0.22	BOOL	FALS	Secuencia auto racera de escoria
VAR_GLOBAL	SEC_RESET_ESCORIA	M23	%MX0.23	BOOL	FALS	Secuencia reset auto racera de escoria
VAR_GLOBAL	SEL_VALVULA	M25	%MX0.25	BOOL	FALS	Selecciona valvula manual
VAR_GLOBAL	SEC_BOMBA1	M53	%MX0.53	BOOL	FALS	Secuencia automatico bomba de agua caldera
VAR_GLOBAL	SEC_INDUCIDO	M54	%MX0.54	BOOL	FALS	Secuencia automatico ventilador inducido
VAR_GLOBAL	SEC_FORZADO	M55	%MX0.55	BOOL	FALS	Secuencia automatico ventilador forzado
VAR_GLOBAL	SEC_PARRILLA	M56	%MX0.56	BOOL	FALS	Secuencia automatico parrilla viajera de carbón
VAR_GLOBAL	SEC_SIRENA	M57	%MX0.57	BOOL	FALS	Secuencia sirena
VAR_GLOBAL	SEC_EV1_H2O	M58	%MX0.58	BOOL	FALS	Secuencia valvula de agua epm a tanque diario
VAR_GLOBAL	SEC_EV2_H2O	M59	%MX0.59	BOOL	FALS	Secuencia valvula de agua tanque concreto a tanque diario

Figura 24. Listado de variables en GX_IE Developer.

Fuente: Propia, tomada del programa del PLC.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- L1_SEC_PPAL:** En este POU: como son llamados los folder en este software, se encuentra el algoritmo con la secuencia principal de control automático de la caldera, se da el inicio del programa y se establecen líneas de control que actúan de acuerdo a las condiciones de las entradas digitales y/o análogas dando respuesta por medio de las salidas digitales y/o análogas a los diferentes equipos que serán controlados por el PLC, entre estas líneas de programación tenemos las condiciones iniciales para el encendido de los ventiladores inducido y forzado, de la parrilla viajera que alimenta el carbón, de los motores de los transportadores que retiran ceniza o escoria residual del carbón, el control de nivel de suministro de agua que es alimentada por la bomba centrífuga a la caldera, Etc. La Figura 25, muestra parte de la secuencia de control programada en esta rutina.

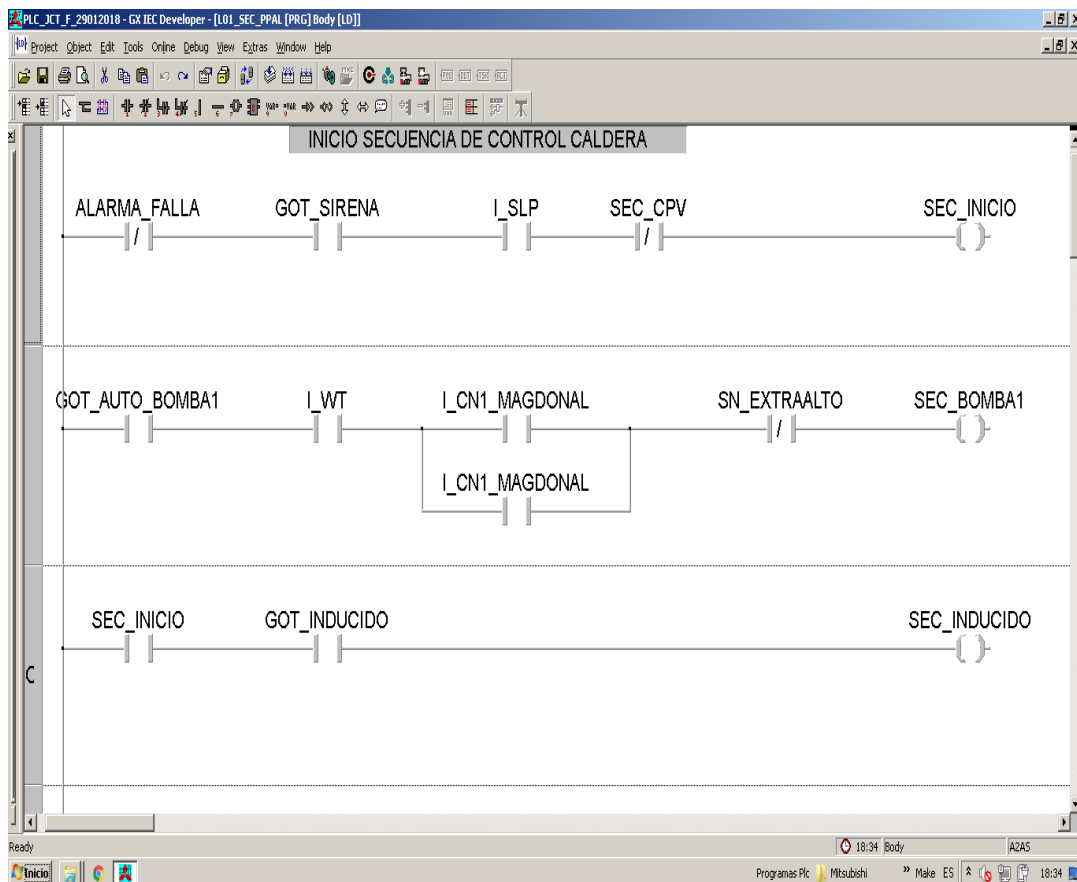


Figura 25. Rutina de control secuencia principal.
Fuente: Propia, tomada del programa del PLC.

- L02_Control_Vapor:** En esta rutina es para controlar de la presión de vapor que alcanzara la caldera, entre 110 y 120 PSI para el caso de las calderas de Solla S.A. o según sea el valor de presión deseado el cual es digitado a través de la pantalla HMI, para esto se realizó la escalización de la señal que mide el Transductor de presión a corriente instalado en la línea de vapor, este envía un estímulo eléctrico (4mA – 20mA) a la entrada del módulo analógico y la CPU lo lleva a una variable INT en forma de conteos de 0 a 4000, en donde 4 mA corresponde

a 0 conteos y 20 mA corresponden a 4000 conteos o la máxima intensidad de señal, luego estos conteos son llevados en términos de presión de 0 a 300 PSI al control PID como variable controlada y este se encarga de filtrar la señal, calcular el error, y enviar un valor de respuesta a la variable manipulada (Velocidad) a través de la salida analógica conectada al variador de velocidad del ventilador inducido, forzado y de la parrilla viajera de alimentación de carbón, y así se controla la combustión en el quemador de la caldera. La Figura 26, muestra parte de la secuencia de control programada en esta rutina.

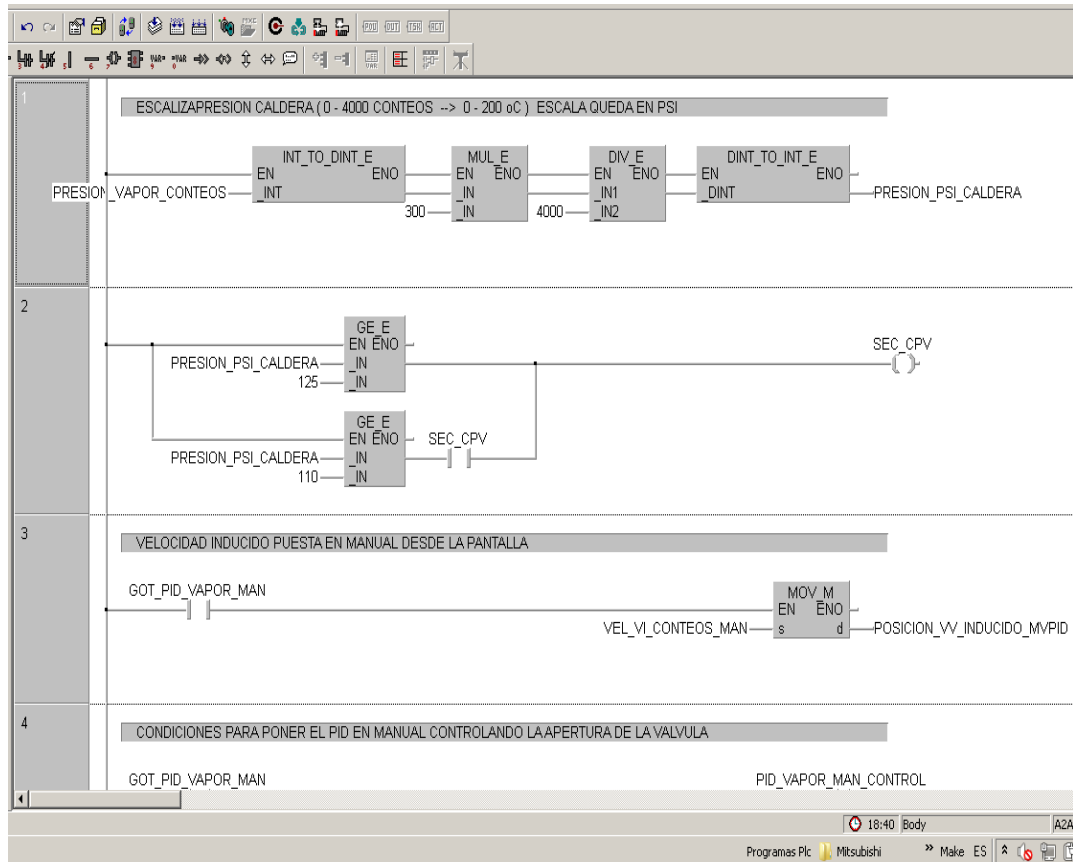


Figura 26. Rutina de control de la presión de vapor.

Fuente: Propia, tomada del programa del PLC.

- L03_Alarmas:** Es una secuencia de control programada con el fin de avisar, informar y advertir una situación pasiva o urgente, muchas de las alarmas están conectadas a una señal lumínica, sonora y de información que se da por medio de un texto a través del panel de control (HMI). Las alarmas tienen cada una, una criticidad de orden en el sistema, dependiendo de dicho grado de urgencia se informa lo sucedido con los diferentes dispositivos que transmiten la señal de alarma. Esta secuencia cuenta con un sistema de alarmas que puede ir desde una criticidad baja hasta una criticidad alta, que requiera atención inmediata. Cada una de las alarmas está compuesta por una confirmación (entrada del PLC), que al activarse o no activarse accionan un Bit el cual está enlazado con la pantalla HMI, y esta genera un aviso de texto en el panel de control, dependiendo de la alarma se apaga el equipo y se activa la sirena o señal sonora. La Figura 27, muestra cómo se programó la rutina de alarmas.

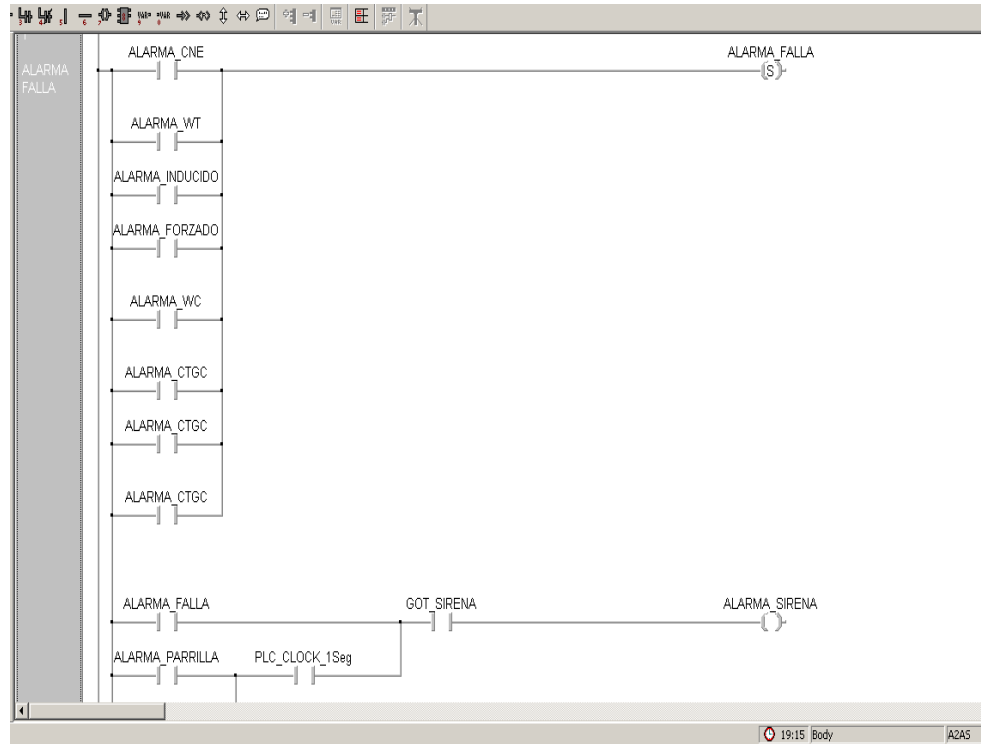


Figura 27. Rutina de alarmas.

Fuente: Propia, tomada del programa del PLC

- L04_Control_PID:** La acción de un controlador PID es calcular el error que hay entre la variable controlada y el punto de control, este hace un cálculo de tiempos, ingresándole unas constantes que lo componen para su funcionamiento; el valor al que la variable controlada se desea tener es configurado en su sistema de control, a este valor se le conoce como punto de control (set point). En resumen, el controlador PID es el encargado de mantener la señal (presión, temperatura, entre otras) en un punto determinado según la necesidad del proceso. En la Figura 28, muestra un esquema básico del funcionamiento de un control PID (Proporcional – Integral – Derivativo). (Mazzone, 2002).

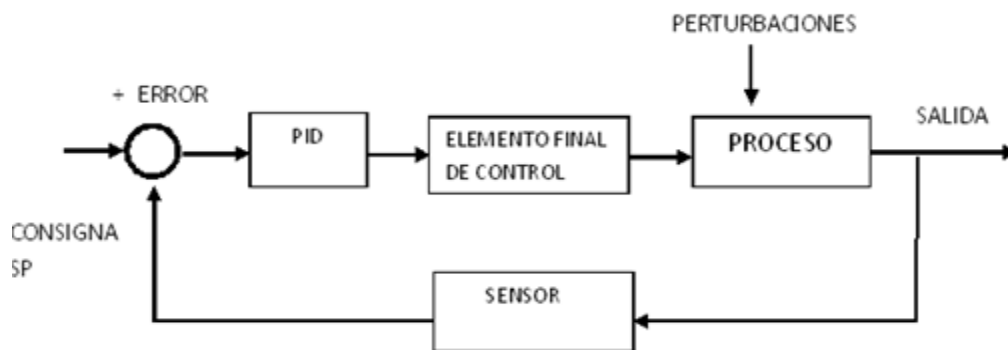


Figura 28. Esquema de control PID.

Fuente: (Mazzone, 2002).

Los controladores PID (Proporcional – Integral – Derivativo) son una extensión del controlador ON – OFF con característica de estabilidad en la variable controlada sin demasiada sobre oscilación y esfuerzo en el elemento final de control. El controlador está dado matemáticamente por (ecuación 1):

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt + K_p T_D \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

- U= acción de control
- Kp = constante proporcional
- Ti = tiempo integral
- Td = tiempo derivativo
- e = error

En la Figura 29, se muestra la rutina de programación en GX IEC Developer que se debe realizar al PLC para asignar el control PID a una variable leída por el modulo análogo.

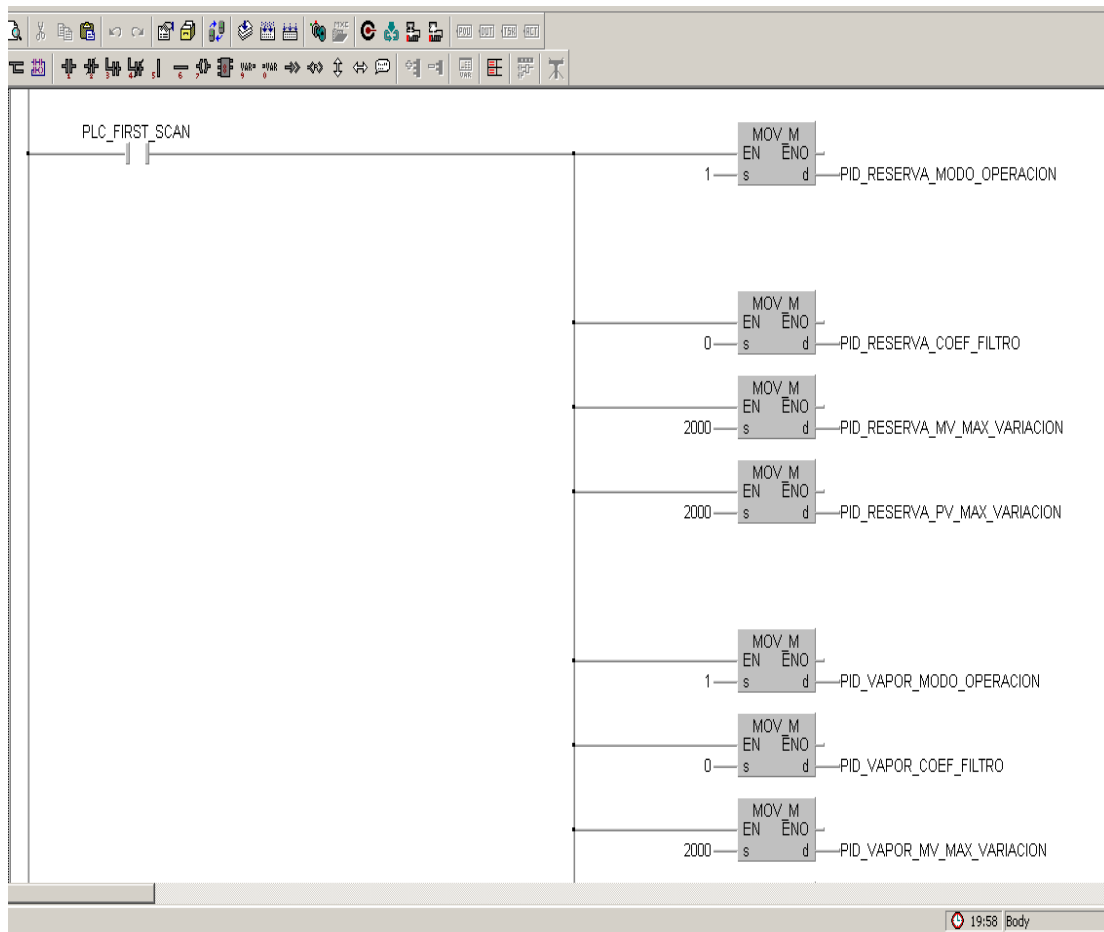


Figura 29. Configuración del control PID.
Fuente: Propia, tomada del programa del PLC.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- L05_Animacion:** Esta rutina tiene como finalidad dar movimiento a algunos elementos de la pantalla HMI, esto se logra activando y desactivando cíclicamente bits, por medio de una marca de ciclo de un segundo, a su vez cada bit esta direccionados a un gráfico en pantalla, el cual cambia de acuerdo al estado del bit, con esto el operario puede ver en el mímico de la pantalla algunos gráficos moverse, simulando el funcionamiento del equipo. La Figura 30, muestra cómo se programó el algoritmo de esta rutina.

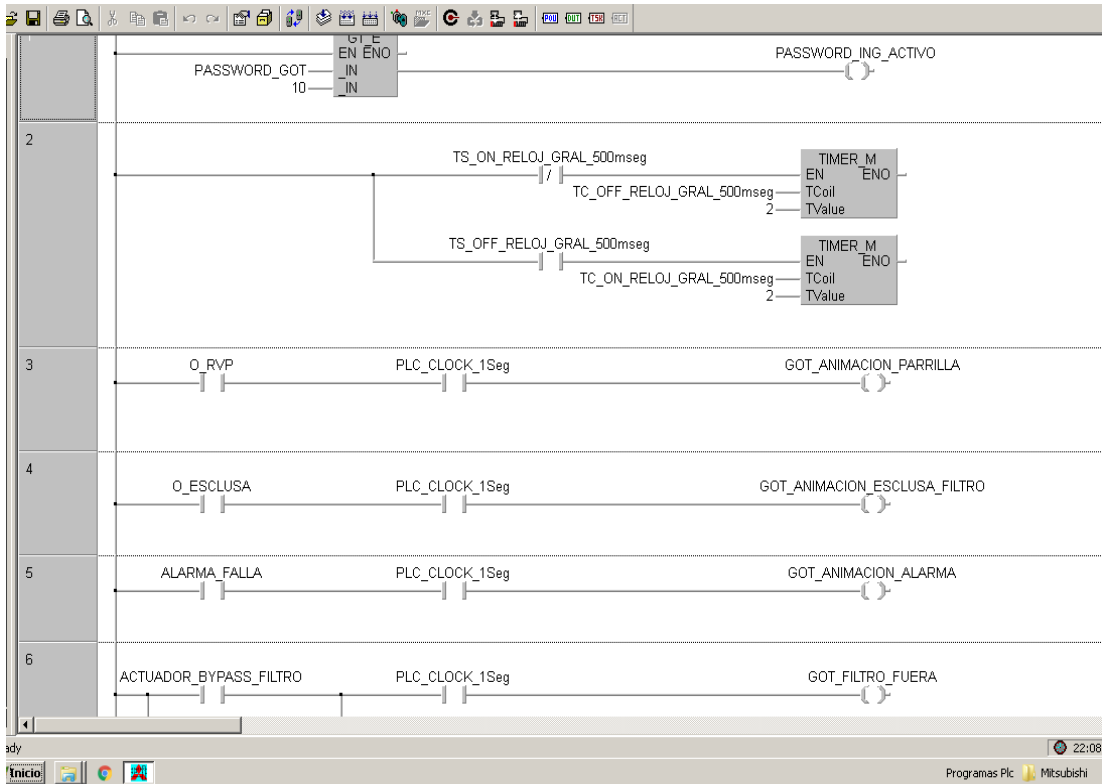


Figura 30. Rutina para animación de pantalla HMI.
Fuente: Propia, tomada del programa del PLC.

- L06_Purgas:** Esta rutina es una de las principales mejoras que ofrece este proyecto, con esta se logra una secuencia automática que abre periódicamente las válvulas de purgas de los lodos de fondo, garantizando que estos lodos sean drenados durante la operación del equipo, evitando que las paredes de los tubos que están rodeadas de agua y la camisa húmeda de la caldera se incrusten con los minerales disueltos en el agua, lo que ocasiona daños prematuros en la caldera y disminuye su eficiencia. La cantidad de aperturas que realizaran las dos válvulas de purgas de lodos en un periodo de 24 horas se ingresa desde la pantalla HMI, con un máximo de 9 disparos o aperturas por válvula los cuales son programados de acuerdo a las recomendaciones de Novaquímica, empresa encargada del análisis y tratamiento con químicos del agua de suministro a la caldera.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- El objetivo de esta rutina es escalizar en milímetros de columna de agua (mmwc) la señal análoga del transmisor de presión conectado al hogar de la caldera, para indicarla en pantalla. Este valor solo es indicación y no controla, la Figura 32, muestra la rutina de escalización de la presión de hogar.

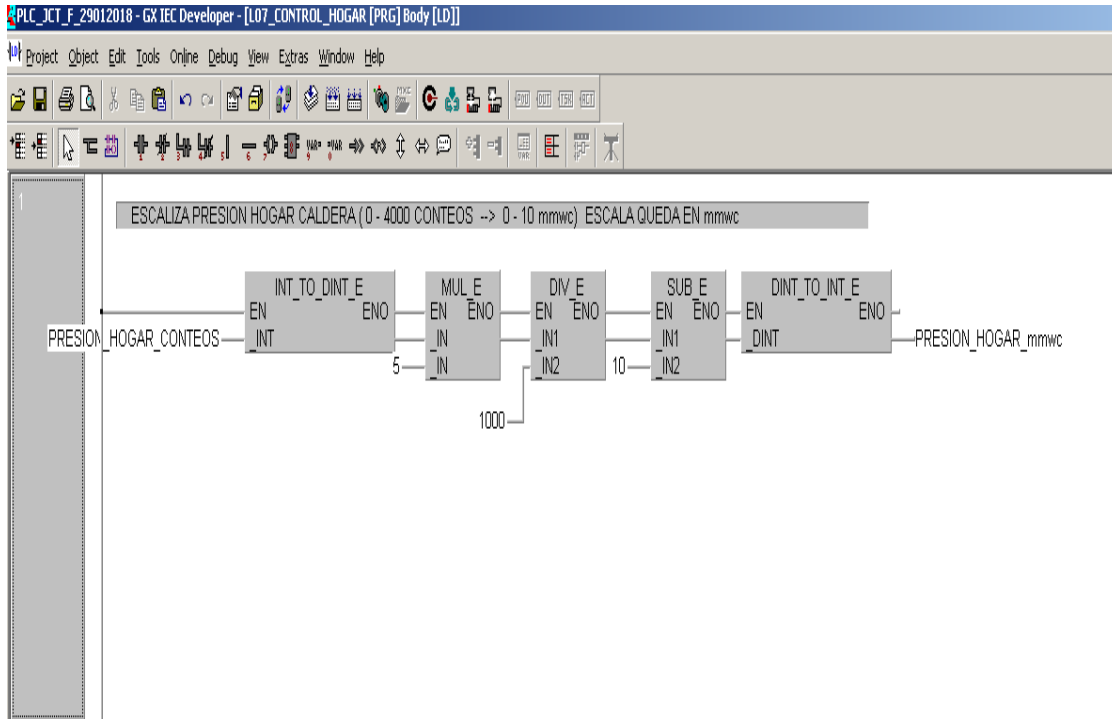


Figura 32. Rutina de presión de hogar.
Fuente: Propia, tomada del programa del PLC.

- L08_Control_Temperatura:** Esta es la rutina de escalización de la señal análoga transmitida por el sensor de temperatura (termocupla) ubicado a la entrada de la chimenea, la cual indica la temperatura de los gases que salen de la caldera después de haber recorrido los tubos y transmitido gran parte de la energía térmica de la combustión al agua, que en caso de la caldera a carbón de Solla S.A. en condiciones óptimas de funcionamiento alcanzan una temperatura de 180 °C a 220 °C. Este valor se puede visualizar en la pantalla HMI, y es usado para realizar control en la rutina de alarmas si la temperatura supera los 260 °C (temperatura alta de gases en la chimenea). La Figura 33, muestra cómo se realizó esta escalización en el programa.

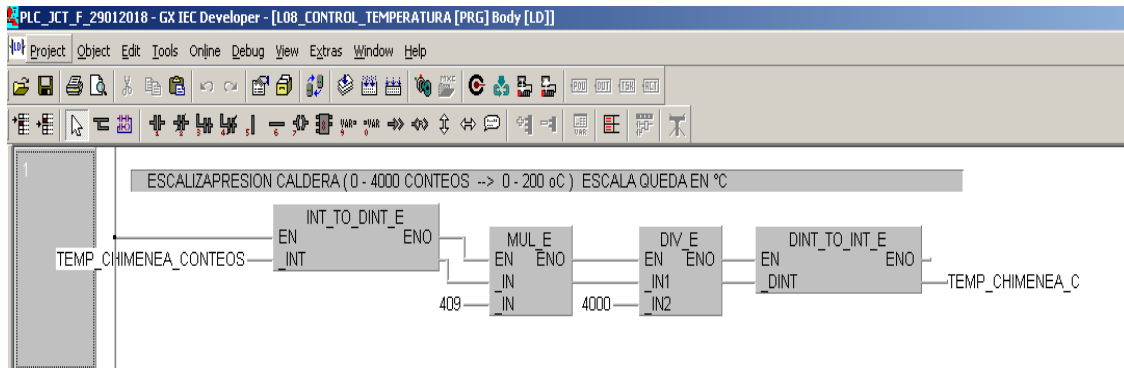


Figura 33. Rutina de escalización de temperatura gases de la chimenea.
Fuente: Propia, tomada del programa del PLC.

- L09_Salidas:** Esta rutina tiene como objetivo enlazar todo el código programado con los elementos de control periféricos, aquí es donde se activan los bits que harán acción en los elementos finales de control. Esta metodología de programación lo que busca es hacer más fácil el entendimiento del algoritmo de control, y ayudar a que el ingeniero pueda identificar rápidamente como está funcionando el equipo, es decir, qué condiciones se dan o no para que la caldera trabaje correctamente. Esto cuando se conecta y realiza monitoreo en línea del programa. La Figura 34, muestra cómo se realizó esta secuencia.

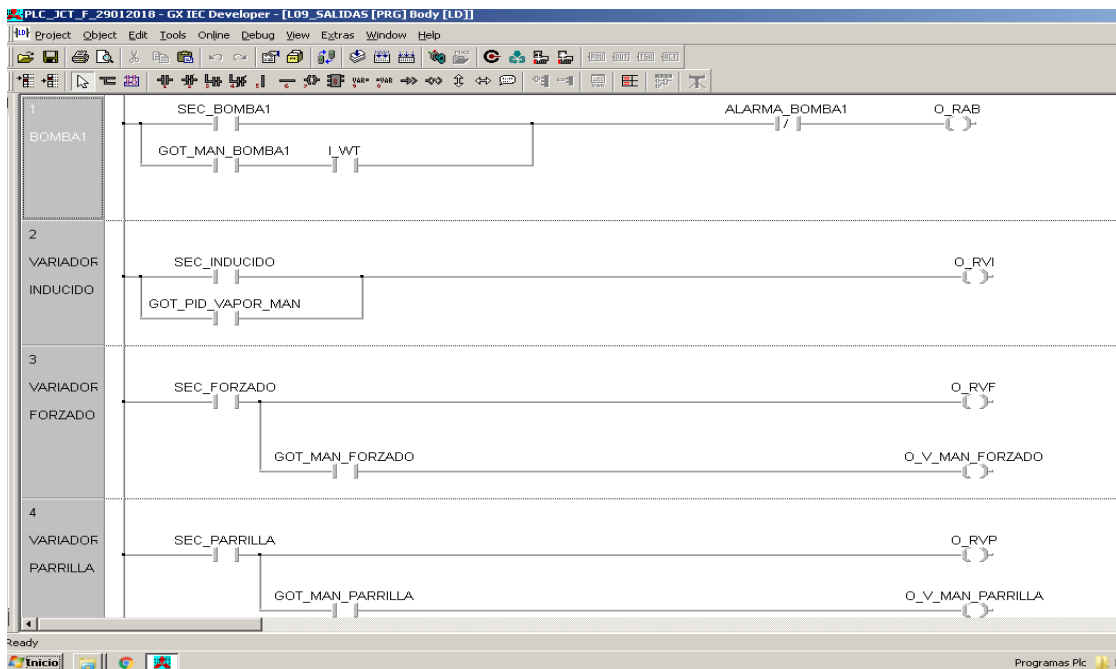


Figura 34. Rutina de programación de salidas.
Fuente: Propia, tomada del programa del PLC.

- L10_Filtro:** El sistema de control de los filtros para las calderas, está diseñado para proteger las talegas, realizar una apropiada rutina de limpieza y brindar una amigable interacción entre el operario y el sistema de control.

Por medio del sensor de temperatura ubicado en los ductos que transportan los gases que salen del ciclón, el control supervisa que la temperatura no esté por fuera del rango de operación, 150°C – 250°C, si la temperatura se encuentra por fuera de este rango, el sistema genera una alarma y acciona las válvulas mariposas ubicadas en los ductos, de manera que no se permita el paso de aire a través del filtro. Así mismo, a través de un transductor de presión, el sistema supervisa la presión diferencial entre la cámara de aire limpio y la cámara de aire sucio del filtro, de manera que se genere una alarma si esta se encuentra fuera del rango de operación de 0 mmwc a 120 mmwc o que se inicie la secuencia de limpieza si la presión se encuentra por encima del punto de ajuste de presión 120 mmwc, ajustado previamente en el panel de control.

La secuencia de limpieza consiste en un pulso de aire a presión que realiza una fuerte sacudida en cada talega, permitiendo que cada capa de material particulado acumulado en las paredes de la talega se desprenda y caiga en la tolva donde se acumula.

Este pulso es ajustable por conexión online al PLC Mitsubishi, posee dos tiempos de ajustes:

TC_TIEMPO_DISPARO (TV_T2): Tiempo el cual la talega es sometida a la “sacudida” de aire. Se recomienda un tiempo de disparo de 300ms. Este tiempo debe estar entre un rango de 300ms – 600ms.

TC_ESPERA_SOPLADO (TV_T1): Tiempo de pausa antes de realizar el siguiente pulso. Este tiempo debe ser ajustado en 30 s de acuerdo a la presión diferencial de operación del filtro (máximo 120 mmwc), de manera que se mantenga por debajo de esta presión. En [el anexo 3](#), manual de operación, se explica más a fondo como funciona este equipo y la Figura 35, muestra la secuencia programada del filtro.

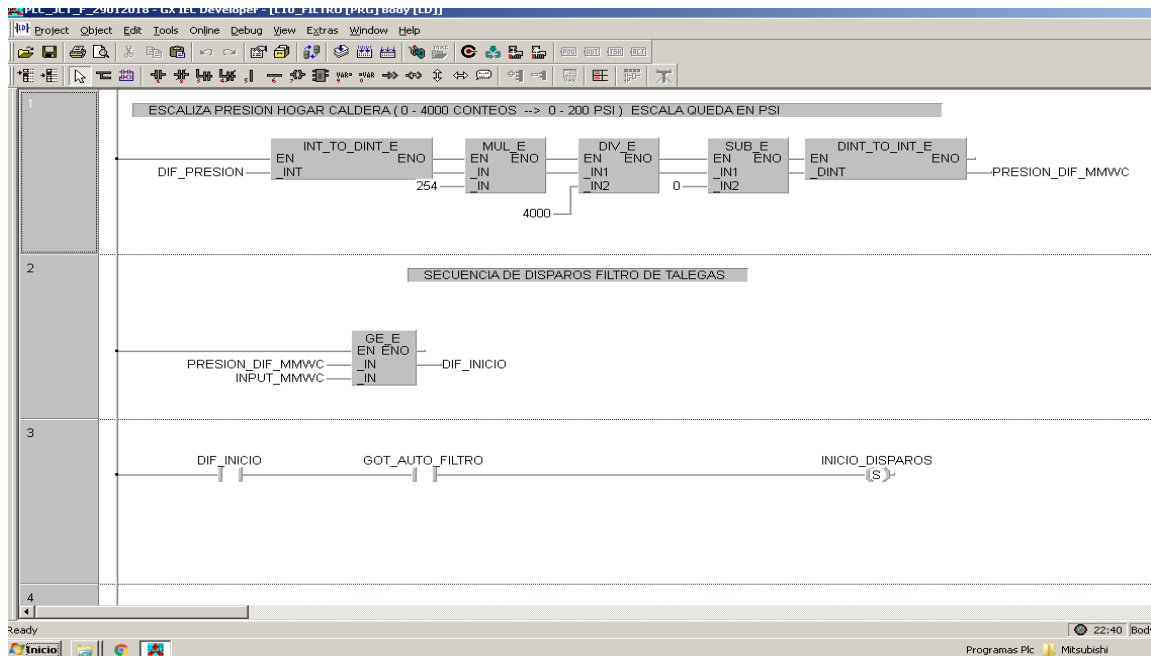


Figura 35. Rutina de control para el filtro de talegas.

Fuente: Propia, tomada del programa del PLC.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 Programación de la pantalla HMI.

Con esta herramienta (GT Designer) se programó las pantallas requeridas para la operación, visualización y control de las variables de funcionamiento de la caldera. En la Figura 36, se muestra la pantalla con programa descargado.



Figura 36. Pantalla HMI con programa para la caldera JCT a carbón.

Fuente: Propia, tomada en Solla S.A.

A continuación, se describen brevemente las pantallas programadas, ya que la información más detallada del manejo y navegación de estas pantallas está en [el Anexo 3](#), manual de operación del sistema de control de la caldera JCT a carbón.

- **Pantalla de inicio:** como su nombre lo indica es la pantalla con la que se inicia la operación de la caldera, en esta pantalla se tiene las siguientes funciones:
 - Logo de la empresa.
 - Nombre de la máquina.
 - Fecha
 - Hora.
 - Iniciar sesión.
 - Cerrar sesión.
 - Información de la última alarma generada.
 - Tiempo regresivo para purga de fondo.
 - Botones de navegación para ingresar a las pantalla y funciones:
 - Atrás.
 - PID vapor.
 - Mímica caldera.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 37, se muestra cómo se diseñó la pantalla y las herramientas del software GT Designer.



Figura 37. Pantalla de inicio.

Fuente: Propia, toma del programa GT Designer.

- **Control escoria:** La pantalla de control de escoria está conformada por diferentes botones de control de mando de los equipos que controlan la salida de escoria y las purgas. Al igual que la pantalla de control de motores, en ella se encuentra un panel de control del encendido y apagado de los equipos.
 - En la pantalla se administran las siguientes funciones de mando:
 - Automático escoria.
 - Automático.
 - Un ciclo.
 - Racera³ escoria.
 - Manual.
 - Transportadores de tornillo sin fin (TSF) escoria uno (1) y dos (2).
 - Manual.
 - Válvula H₂O escoria.
 - Manual.
 - Adición de carbonato.
 - Automático.
 - Apagado.

³ Racera, compuerta mecánica accionada por un cilindro neumático para la apertura y cierre de la descarga de la escoria a los transportadores sinfín.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Test carbonato (función manual).
 - o Racera carbonato.
 - o Aire carbonato.
- Purga 1.
 - o Automático.
 - o Manual.
- Purga 2.
 - o Automático.
 - o Manual.

En la pantalla de control de salida de escoria y purgas, se puede tener el sistema en función automática o manual, eso depende de la necesidad y la prioridad en el sistema. Por ejemplo, si se necesita abrir la racera en manual, solo es pulsar la tecla “man” en la racera escoria. La Figura 38, muestra como distribuyo los botones de operación y navegación.

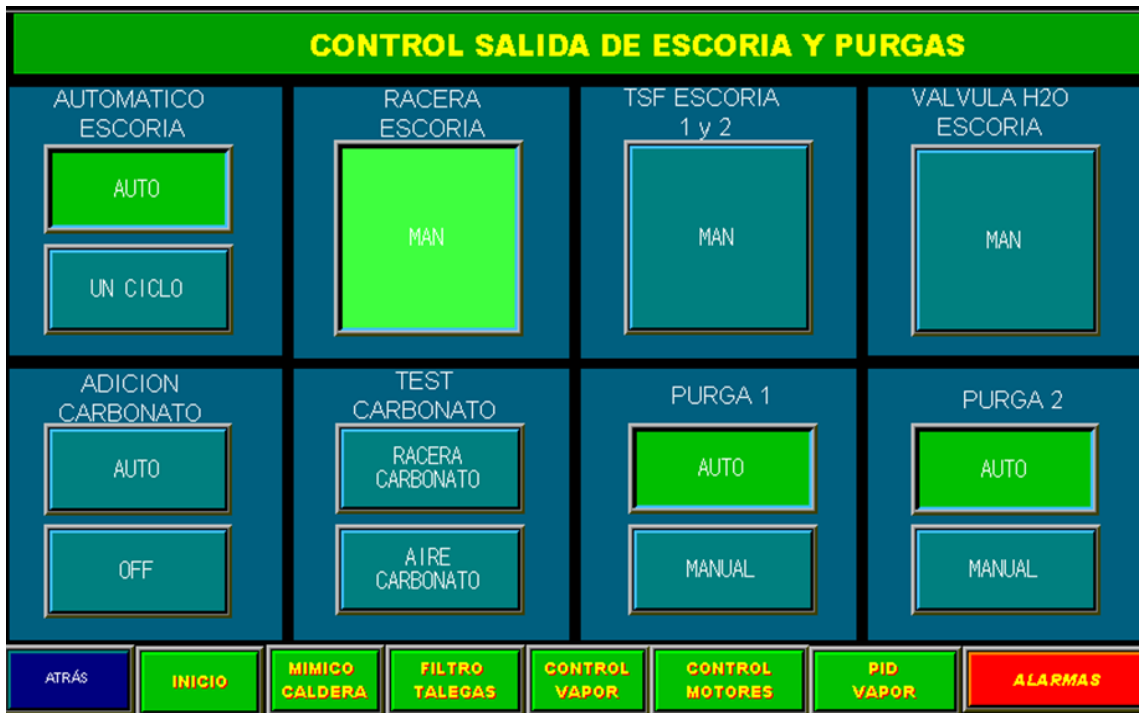


Figura 38. Pantalla de operación de purgas y sistema de evacuación de escoria.
Fuente: Propia, toma del programa GT Designer.

- **Control Motores:** La pantalla de control de motores, está conformada por diferentes botones de navegación y teclas de mando que me permiten controlar las máquinas eléctricas de la caldera.
El control de los motores y las válvulas son comandados a través de un pulsador táctil puesto en la pantalla base “control motores”. Cada equipo cuenta con la función de encendido (automático o manual) y apagado, como ya se había dicho, la pantalla está conformada por diferentes teclas que permiten el control de los equipos.
La pantalla tiene las siguientes funciones de mando:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Bomba de agua.
- Ventilador inducido.
- Ventilador forzado.
- Parrilla viajera.
- Electroválvula agua tanque inox.
- Bomba de químicos.
- Sirena.
- Alto fuego/Bajo fuego.

La Figura39, muestra la configuración de esta pantalla.

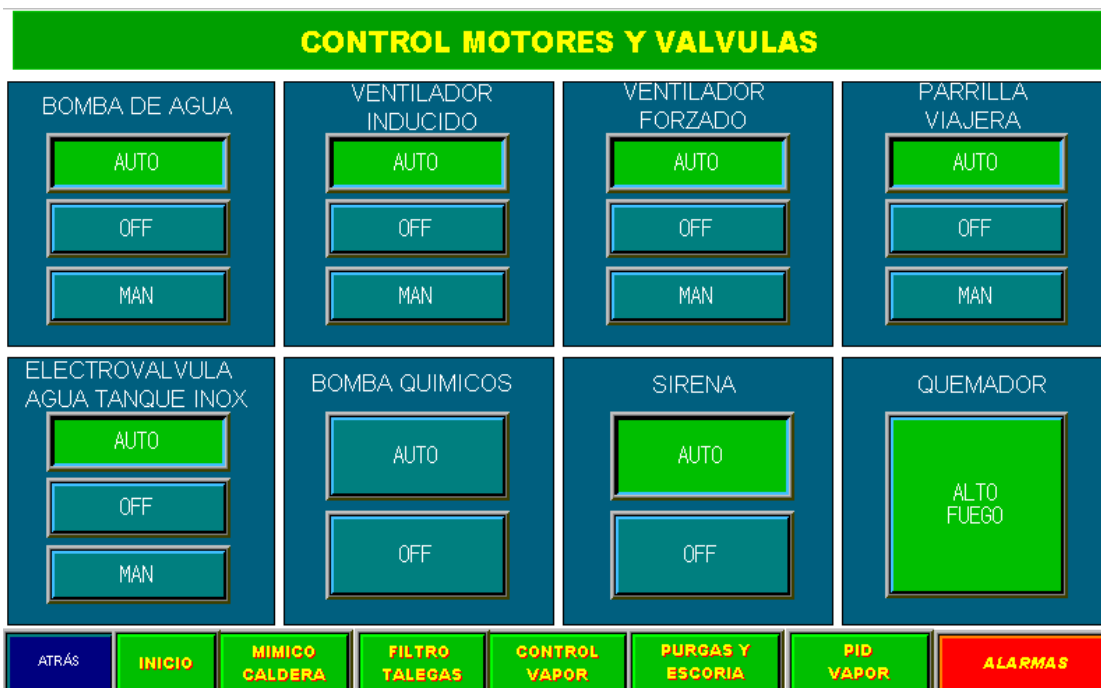


Figura 39. Pantalla de operación control motores.

Fuente: Propia, toma del programa GT Designer.

- **Control Vapor:** El control de vapor está compuesto por un controlador de señal PID que nos permite y garantiza tener el sistema de generación en un punto fijo, según la necesidad en la planta de producción. La pantalla base de “control vapor” cuenta con unos mandos y configuraciones generales en el sistema de control de la máquina térmica, permitiéndonos una interacción apropiada con la estructura principal del punto de control (set point) de presión de vapor generado y las funciones de control en distintos elementos de la máquina.

En la descripción de la pantalla base de “control vapor” se encuentran funciones como:

- Punto fijo de presión vapor.
- Valor actual de la variable de presión de vapor.
- Porcentaje de la señal entrega por el controlador PID.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Control de mando del ventilador inducido.
- Velocidad manual del ventilador inducido en hercios (Hz).
- Temperatura límite (valor máximo del a temperatura).
- Valor actual de la variable de temperatura en del flujo de aire (gases de combustión).
- Presión de hogar.
- Punto fijo deseado de la presión de hogar.
- Valor actual de la variable de presión de hogar.
- Botones de navegación entre pantallas.
- Tecla de ingreso: Configuraciones y datos PID; tendencia de presión vapor.
- Tecla de ingreso: Tendencia de la temperatura de los gases chimenea.
- Tecla de ingreso: Tendencia de la presión hogar.

La Figura40, muestra la pantalla de control vapor.

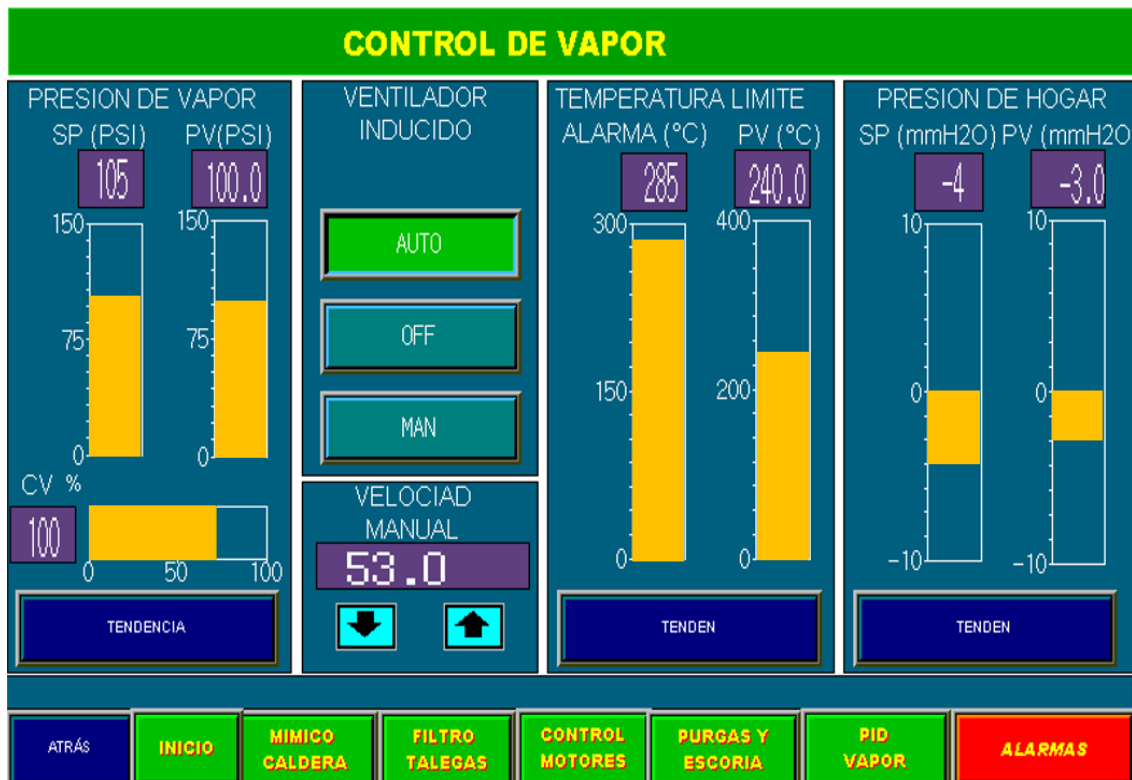


Figura 40. Pantalla de control de vapor.

Fuente: Propia, toma del programa GT Designer.

- **PID Vapor:** En el sistema de control de la máquina térmica, el controlador PID es el encargado de mantener la presión de vapor generada en un valor estable y muy cercano al punto deseado (set point). El controlador recibe la lectura de la presión del vapor de la caldera por medio de un transmisor, procesa la información, calcular el error, y envía una señal de respuesta la cual modifica la frecuencia del variador de velocidad del ventilador tiro forzado, con lo que se consigue aumentar o disminuir la combustión en el hogar de la caldera.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El controlador PID, está compuesto por varias constantes que permiten su funcionamiento ideal, considerando que las más importante para el sistema son la constante proporcional (K_p), el tiempo de establecimiento (T_s), el tiempo integral (T_i) y el tiempo derivativo (T_d).

Para sintonizar el controlador PID del PLC, se tuvo como base los ajustes que tenía el controlador anterior en sus constantes, y partiendo de estos datos iniciales, se proceder con el método prueba y error, hasta lograr un comportamiento estable de la presión de vapor.

La sintonización del PID fue relativamente sencilla, y esto se debe a que la respuesta de la variable controlada “Presión Vapor” es muy lenta a un estímulo de la variable manipulada “combustión en el Hogar”.

Estas variables se encuentran en la pantalla base (PID vapor), con la opción de ser ajustadas. La Figura 41, muestra la configuración de esta pantalla. Y la Figura 42 muestra el ajuste dado a los parámetros del PID, la línea azul es la presión real de vapor, y la línea verde es valor deseado,

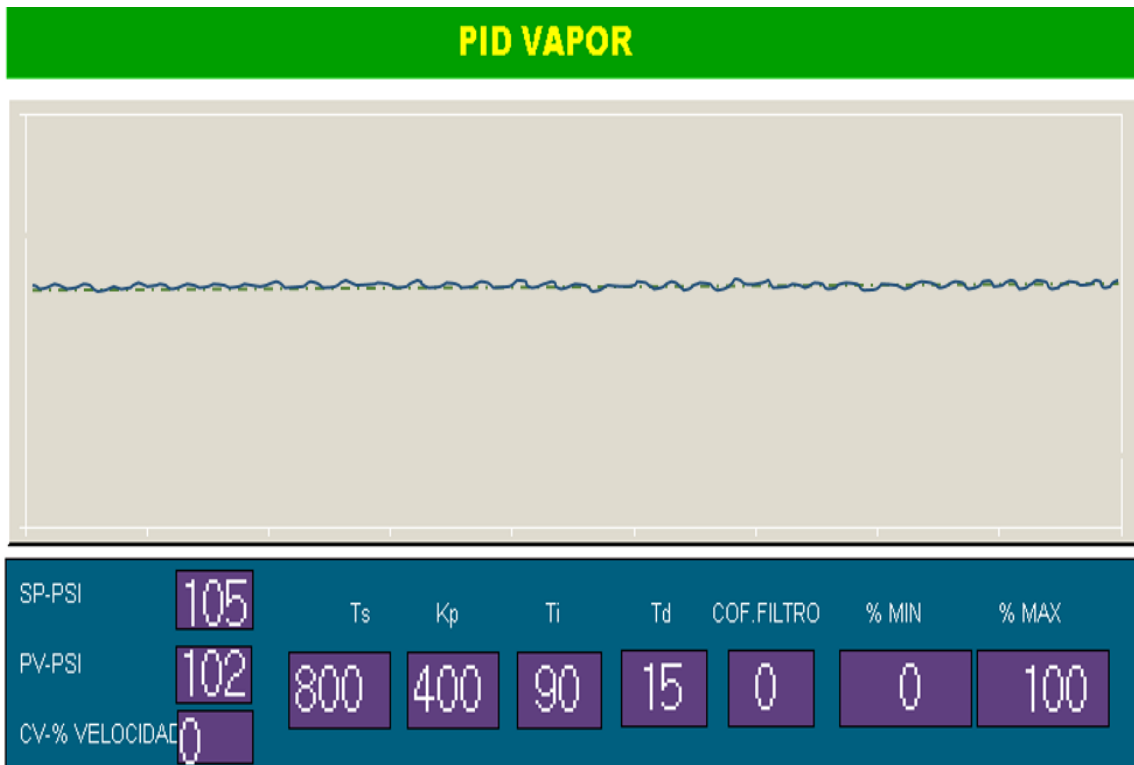


Figura 41. Pantalla de parametrización control PID de vapor.

Fuente: Propia, toma del programa GT Designer.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

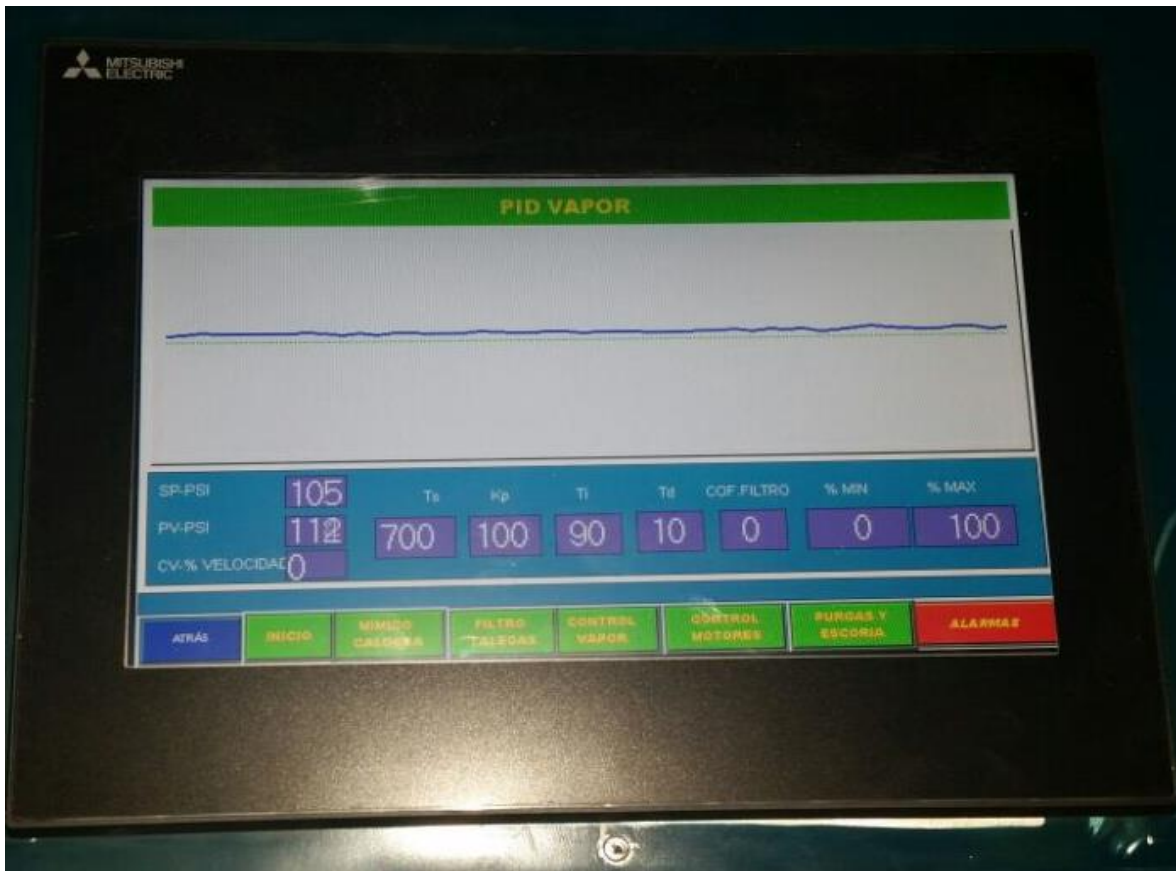


Figura 42. Pantalla de parametrización control PID de vapor.
Fuente: Propia, toma en Solla S.A.

- **Temperatura de gases de la chimenea:** Es una pantalla base del panel de control donde se puede visualizar el estado actual y el comportamiento de la temperatura de los gases de combustión o flujo de aire caliente generado por la quema de carbón.

La pantalla base está conformada por funciones como:

- Temperatura °C.
- Display numérico del valor de la temperatura.
- Bajo fuego °C.
- Display numérico del valor del bajo fuego.
- Estado de la señal de temperatura.
- Punto fijo de la temperatura límite.
- Valor actual de la temperatura.

En la Figura 43, se ve la configuración de esta pantalla, La línea punteada azul es el límite máximo de temperatura, y la línea punteada verde es la lectura de la temperatura.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

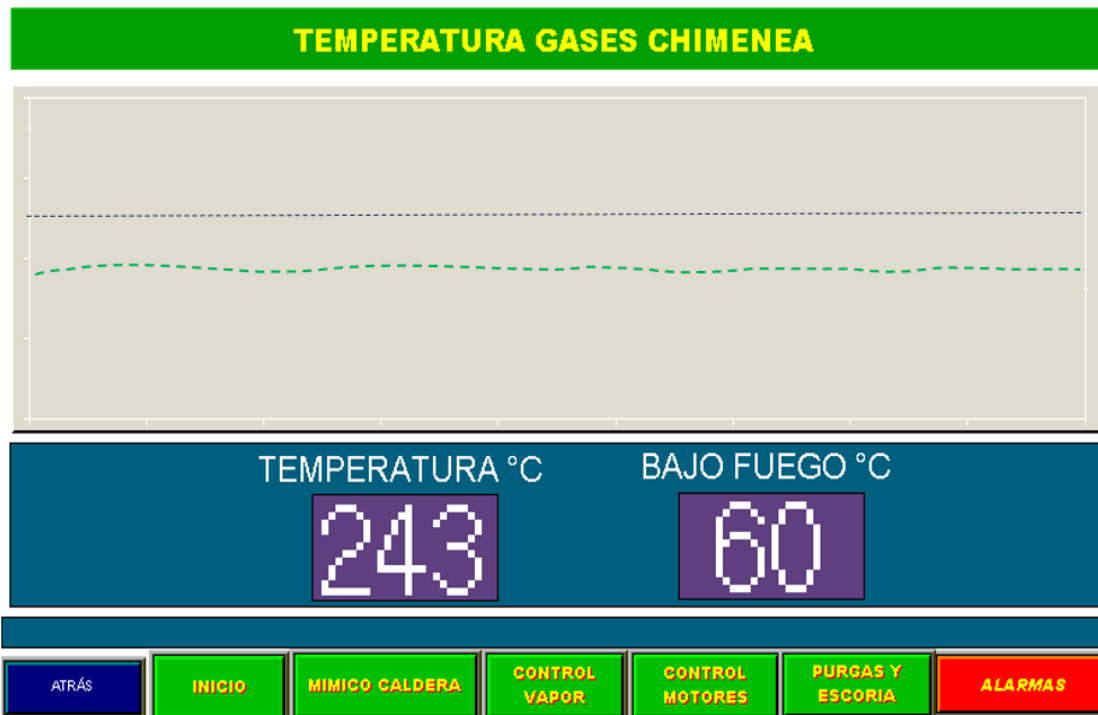


Figura 43. Pantalla de visualización de la gráfica de tendencia de la temperatura.
Fuente: Propia, toma del programa GT Designer.

- **Presión de Hogar:** La pantalla base de presión de hogar está compuesta por:
 - Presión hogar (mmH₂O)
 - Valor de la Presión de hogar.
 - Estado de la señal.
 - Gráfica del valor deseado
 - Gráfica del valor actual.

La única opción que hay para poder ingresar a la pantalla “presión hogar” se encuentra ubicada en la pantalla “control vapor” con la opción de pulso sobre la tecla “tenden” situada en la parte inferior de las funciones de presión de hogar.

La pantalla cuenta como todas las demás con una barra principal de botones de navegación, con la opción de regresar a la pantalla de control de vapor con la tecla “atrás” o ingresar a otras pantallas por medio de las teclas de navegación entre pantallas. En la Figura 44, se visualiza la pantalla de presión de hogar. La línea continua indica la presión medida, y la línea punteada indica el punto de ajuste.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

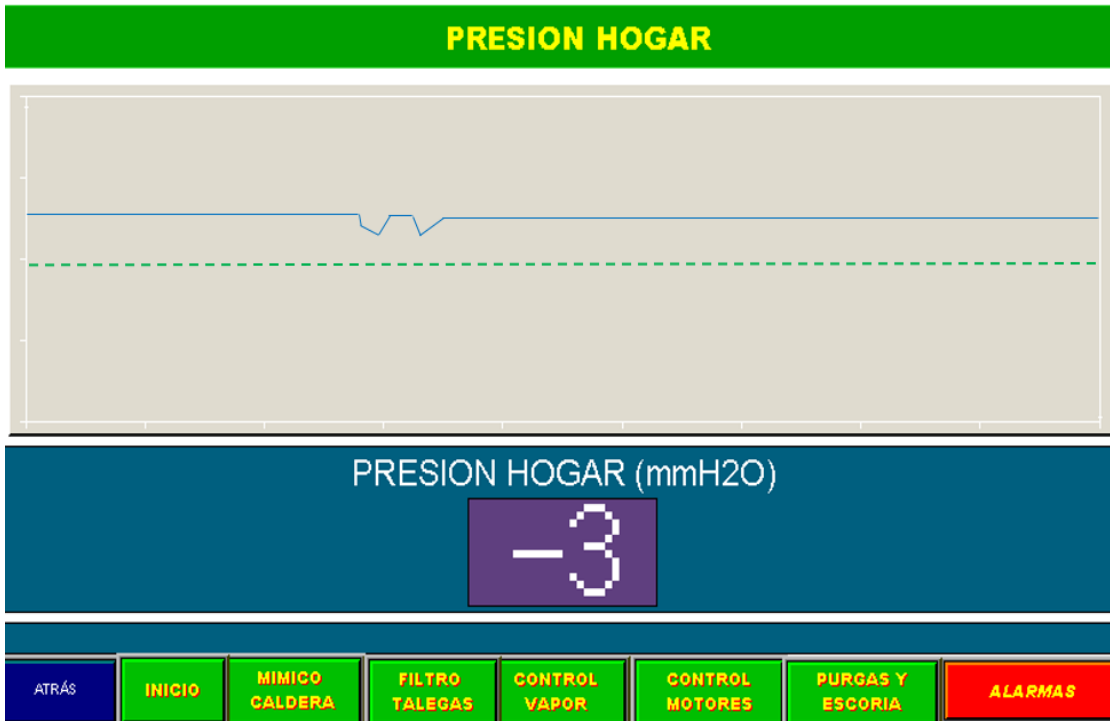


Figura 44. Pantalla de visualización de la gráfica de tendencia de la presión de hogar.

Fuente: Propia, toma del programa GT Designer.

- **Diagrama Caldera:** Todas las pantallas bases de control se encuentran resumidas en una simulación del proceso, a través de un mímico que representa de forma gráfica y con movimiento el estado de los equipos. También, se muestra por medio de un display numérico y de texto el nombre de las imágenes representadas y el valor de las variables que se controlan o se obtienen en la generación de vapor.

En la Figura 45, se puede ver el diagrama del proceso que hace referencia a la caldera y las diferentes partes que la conforman, junto con el nombre de cada uno de los equipos. Los cuales son:

- Ventilador inducido.
- Ventilador forzado.
- Parrilla viajera.
- Bomba H₂O
- Válvula de entrada de agua.
- Tanque de almacenamiento de agua.
- Tolla de carbón
- Temperatura de los gases chimenea.
- Presión de vapor generado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

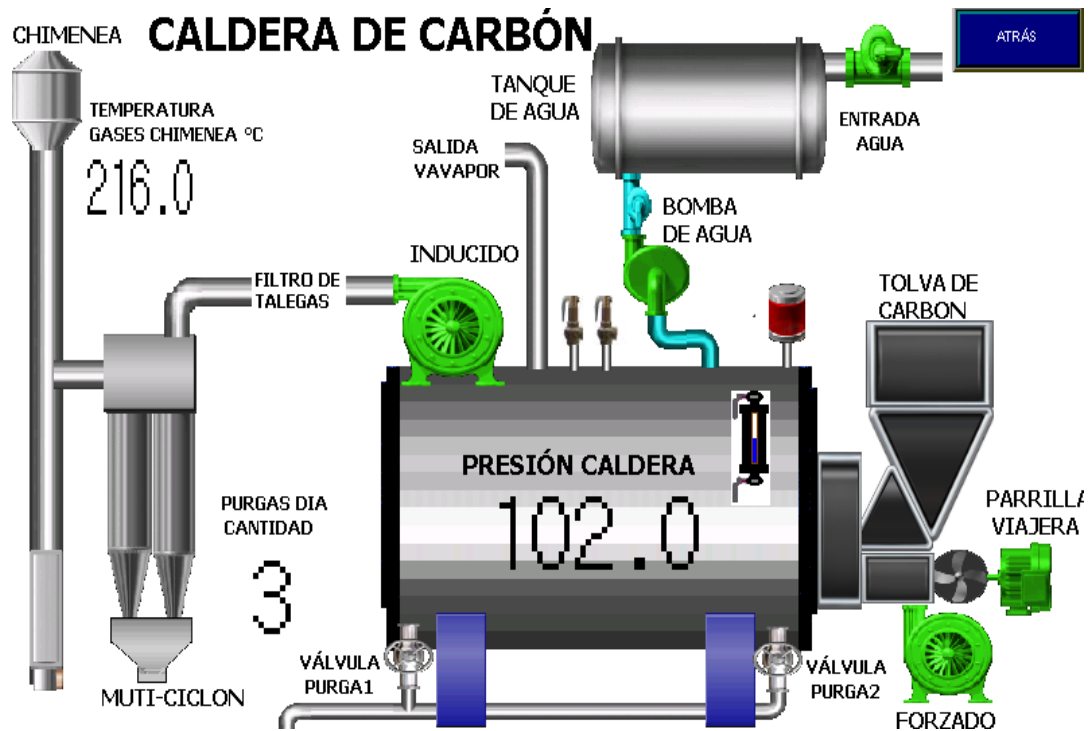


Figura 45. Pantalla de visualización del mímico de la caldera.

Fuente: Propia, toma del programa GT Designer

- **Alarmas:** La pantalla de alarmas está conformada por varias funciones que, permite observar un historial de alarmas y apagar (reset) las alarmas generadas. La pantalla está estructurada de la siguiente manera:
 - Pantalla de información de alarmas.
 - Fecha de la alarma.
 - Hora de la alarma.
 - Descripción de la alarma.
 - Teclas especiales: desplazamiento en la pantalla de información de alarmas.
 - Tecla: desplazamiento superior (hacia arriba)
 - Tecla: desplazamiento inferior (hacia abajo).
 - Tecla: Limpiar historial de alarmas.
 - Tecla: Reset (borrar) alarmas.
 - Prueba de alarmas.

En la Figura 46, se visualiza la configuración de la pantalla de alarmas.

ALARMAS

FECHA	HORA	DESCRIPCIÓN DE LA ALARMA
29/01/18	09:48:42	BOMBA DE AGUA ENCIENDE
29/01/18	09:48:42	NIVEL BAJO DE AGUA EN CALDERA
29/01/18	09:48:42	NIVEL BAJO TANQUE AGUA WT
29/01/18	09:48:42	NIVEL EXTRABAJO AGUA CALDERA WC
29/01/18	09:48:42	TEMPERATURA ALTA GASES CHIMENEA
29/01/18	09:48:42	VENTILADOR INDUCIDO NO ENCIENDE
29/01/18	09:48:42	VENTILADOR FORZADO NO ENCIENDE
29/01/18	09:48:42	PARRILLA VIAJERA NO ENCIENDE
29/01/18	09:48:42	TSF1 SALIDA ESCORIA NO ENCIENDE
29/01/18	09:48:42	TSF2 SALIDA ESCORIA NO ENCIENDE
29/01/18	09:48:42	VALVULA DE PURGA 1 NO CIERRA
29/01/18	09:48:42	VALVULA DE PURGA 2 NO CIERRA
29/01/18	09:48:42	SE HIZO PURGA 1 AUTOMÁTICA
29/01/18	09:48:42	SE HIZO PURGA 2 AUTOMÁTICA

LIMPIAR HISTORIAL

RESET

PRUEBA DE ALARMAS

ATRÁS

INICIO

MIMICO CALDERA

FILTRO TALEGAS

CONTROL MOTORES

CONTROL VAPOR

PID VAPOR

PURGAS Y ESCORIA

ALARMAS

Figura 46. Pantalla de visualización de las alarmas.
Fuente: Propia, toma del programa GT Designer.

- Control filtro: Encontramos en esta pantalla los botones de operación del filtro, la visualización de la presión diferencial digital y en Grafico de barras, además la operación de disparo manual y automático de las válvulas de soplado de las talegas del filtro.
- En esta pantalla también se observa las barras de ajustes del punto de control de la presión diferencial (en milímetros de columnas de aguas), la tecla de activación de filtro, (Para activar el filtro se necesita tener una temperatura en la chimenea de la caldera por debajo de 230°C y mayor a 150°C), la tecla para desactivar el filtro, así mismo, en esta pantalla se encuentran las teclas de automático, manual y apagado, de la válvula rotatoria de la tolva (esclusa filtro), las teclas de la activación automática, manual y apagado de los soplados con aire comprimido del filtro y, las teclas para seleccionar y activar manualmente la válvula de soplado con aire comprimido. Igualmente, desde el panel de control se visualiza el número de la válvula seleccionada para realizar el soplado de las talegas y un piloto con indicador verde de confirmación de los disparos manuales o automáticos que se realicen en el sistema. La Figura 47, muestra la configuración de la pantalla de control del filtro de talegas.



Figura 47. Pantalla de control del filtro.
Fuente: Propia, toma del programa GT Designer.

- Diagrama filtro:** La pantalla del filtro de talegas cuenta con un diagrama en el que se muestra el funcionamiento del equipo, conectado a la salida de gases de la caldera a carbón de 200BHP⁴, es decir, el panel de control del filtro simula gráficamente en qué condiciones de funcionamiento están los equipos del filtro (encendido, apagado, etc.). en este se ven como se conectan las tuberías de gases al filtro y la activación de las compuertas, que permiten que los gases pasen o no por el sistema de filtrado.

Igualmente, se observa en la pantalla base del “filtro talegas” (ver Figura 48) el número de la válvula de soplado activada para la limpieza de las talegas del filtro, estas deben ser limpiadas por el material particulado que se adhieren a las mismas, soplandolas automáticamente con aire comprimido, (D&F; Diseño y fabricacion de maquinaria S.A., 2010).

⁴ Un BHP es la unidad de medida de potencia en las calderas (generador de vapor), siendo equivalente 1BHP en unidades de Joule por segundos a 9809.5. un (1) joule por segundo es equivalente a la unidad en vatios de la potencia eléctrica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 48. Pantalla de visualización del mímico del filtro de talega.
Fuente: (D&F; Diseño y fabricación de maquinaria S.A., 2010).

4.3 Simulación del funcionamiento del programa:

Para la simulación del algoritmo o código de control se utiliza herramienta GX Simulator de Mitsubishi, con esta simulación se logra analizar que las condiciones de funcionamiento programadas en código del PLC, actúen correctamente según lo esperado, y de no ser así identificar las causas que ocasionan el mal funcionamiento para posteriormente hacer la corrección en el código.

Además de simular una a una las rutinas de funcionamiento ya descritas en el capítulo 4,1 programación del PLC, se hace énfasis en la verificación previa que garantice la activación del bit de "Alarma Falla" pues este es uno de los elementos de seguridad más importantes para la protección del equipo en caso de alguna avería.

La simulación previa del código, es una ayuda muy valiosa para el ingeniero, pues con esta se pueden ejecutar rutinas de control y adelantarse a los resultados que se obtendrán en la puesta en marcha del equipo. En la Figura 49, se puede observar en color naranja relleno las señales de campo forzadas en la simulación, y la activación del bit "Alarma_Falla".

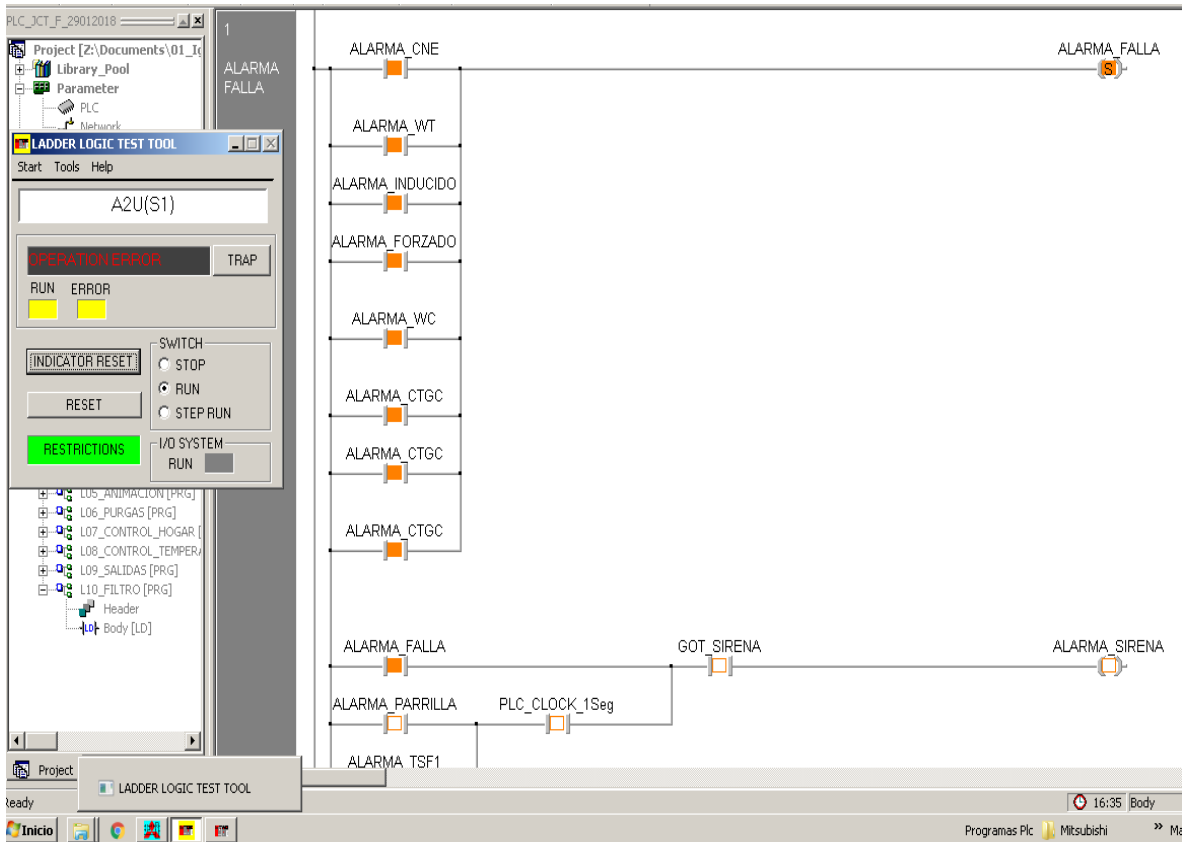


Figura 49: simulación del código programado en el PLC.
Fuente: Propia tomada del programa GX Simulator.

4.4 Validación de montaje y esquema de automatización:

Después de descargar programas al PLC y a la pantalla, realizar el montaje de los equipos eléctricos, y de los equipos mecánicos, es indispensable validar que estos hayan sido conectados de acuerdo al esquema automatización, es decir que las conexiones realizadas se hicieran de acuerdo a los planos eléctricos, y también que las entradas y salidas de los planos eléctricos coincidan con el código del PLC, con esto se garantiza que las condiciones periféricas al plc estén bien enlazadas para poder realizar un control optimo del equipo.

El método de validación consiste en monitorear el programa en línea, verificar que las señales de entrada al PLC respondan bien en el programa, forzar las salidas del PLC y verificar que los elementos finales de control reaccionen correctamente a este estímulo. En la Figura 50, se puede observar en verde relleno “SEC_BOMBA” bit de control de la bomba de agua, forzado en línea para verificar que esta respondiera correctamente.

De esta forma se fueron verificando cada uno de los equipos montados.

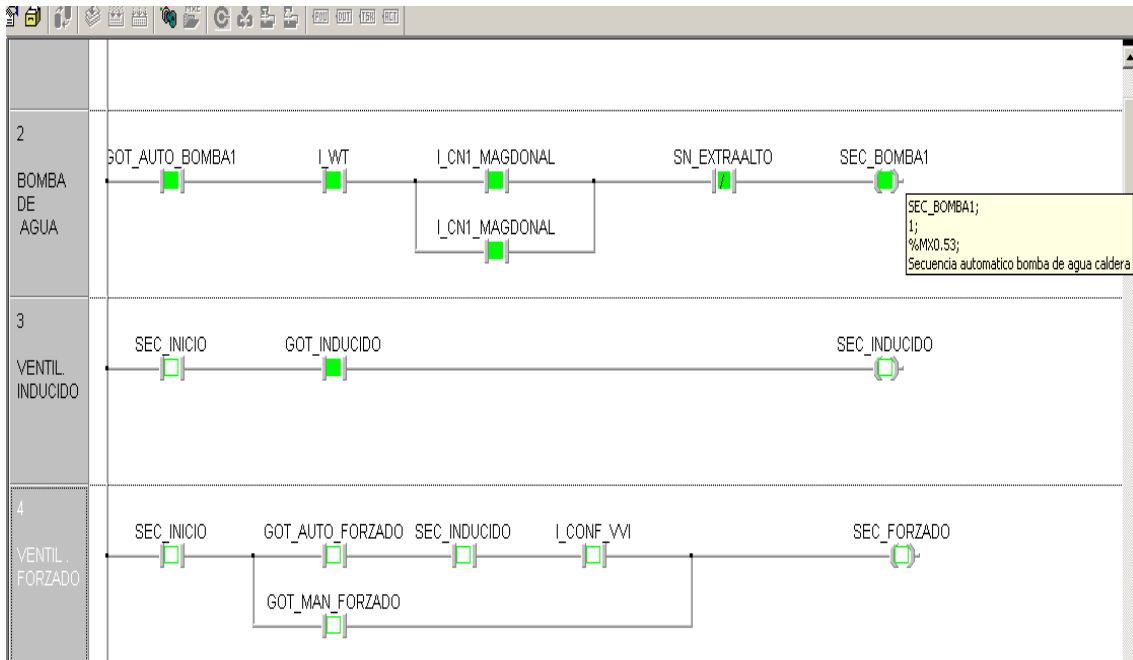


Figura 50: Monitoreo del programa de PLC con conexión en línea.

Fuente: Propia tomada del programa GX IEC Developer.

Las pruebas de campo, ajuste y puesta en marcha de la caldera, se realizaron con la ayuda del personal técnico de mantenimiento (mecánicos y electricistas), estas fueron exitosas y finalmente se consiguió un funcionamiento óptimo del equipo, generando el vapor con la presión requerida 110 PSI, y sostenida en el tiempo dentro de los rangos admisibles por el proceso productivo, es decir, que mantuviera abastecido el consumo de vapor de la planta.

No se dejaron pendientes, ya que todo se ejecutó de acuerdo al cronograma establecido previamente en la metodología, por lo cual no hubo contratiempos.

Al realizar este Diseño, un sistema de control automático por medio de un autómata programable (PLC) y sistema de supervisión de datos (HMI), el equipo se vuelve autónomo en su funcionamiento, lo que significa que, se vuelve libre de la intervención del operario, aportando de esta forma mayor confiabilidad, disminución de fallas por errores u omisiones humanas, y mayor confort para el personal que está pendiente del equipo.

Con esta implementación se tiene la ventaja de poder actualizar o mejorar el código de acuerdo a las necesidades futuras que se puedan ir presentando en la planta, algunas ya identificadas, pero por fuera del alcance de este proyecto ya que se requieren equipos con costos altos, sin embargo, el PLC tiene capacidad en la memoria suficiente para aumentar y mejorar las funciones de control.

Como desventaja podemos tener que al equipo volverse casi libre de intervención del operario, se puede presentar otras fallas en los equipos ajenos a este control y no detectarse a tiempo. Para lo cual es importante una buena planificación en rutinas de inspección.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Con la experiencia adquirida en el desarrollo y ejecución de este trabajo podemos dejar las siguientes consideraciones y recomendaciones:

- Al Diseñar un sistema de control automático por medio de un autómata programable (PLC) y sistema de supervisión de datos (HMI) se aumentó la confiabilidad operativa del equipo, ya que esta aportó un control autónomo casi libre de intervención humana lo que disminuyó los riesgos de averías en el equipo por errores u omisiones humanas, también hizo más simple la intervención técnica del equipo con su listado en texto de alarmas y advertencias facilitando la revisión y supervisión técnica.
- El levantamiento de la información para la implementación de este control, fue fundamental para identificar las variables que se intervinieron en el diseño del código del PLC y del programa de pantalla HMI, al igual que ayudo a identificar con cuales recursos se debe contar para poder lograr la ejecución exitosa del proyecto, recursos como: mano de obra, equipos eléctricos, electrónicos, hardware⁵, licencias de programación para las herramientas de software etc.
- La lógica de programación realizada tanto en el PLC como en la pantalla, hizo del control de la caldera un sistema versátil, con una navegación en pantalla intuitiva para el operario, de fácil manejo, y que mejora el control automático del equipo.
- La elaboración de los planos eléctricos y neumáticos, fue una herramienta clave para la instalación y conexión de equipos, estos fueron la guía para el personal técnico (electricistas y mecánicos) que ayudaron en el montaje.
- El uso de la herramienta de simulación GX Simulator de Mitsubishi, para verificar el código programado en el PLC, ayuda a detectar errores en la lógica de programación, corregirlos previamente, y así evitar retrasos en la puesta en marcha del equipo, como también este simulador ayuda, a validar que la lógica programada fuera correcta.
- El esquema de automatización está basado en: las señales eléctricas de campo y pantalla, son las entradas del PLC, el PLC las procesa de acuerdo al código programado, luego envía señales de salida o respuesta a los elementos finales de control. Por esto es muy importante, hacer la verificación de las conexiones eléctricas entre el PLC y sus equipos periféricos (sensores, electroválvulas, variadores de velocidad, etc.), así cuando se dé el arranque del equipo, no habrá mal funcionamiento por conexiones erradas.

⁵ Hardware: es el conjunto de elementos físicos que componen el PLC, como módulos de entradas y salidas digitales o análogas, cables de comunicación, Fuentes de voltaje etc.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Como trabajo a futuro para complementar este proyecto, se pueden realizar la siguiente implementación: Incluir un sistema de medición del consumo de vapor para controlar la presión de la caldera, de tal forma que se anticipe a la demanda de la planta de producción, también incluir una rutina para la medición del flujo de carbón y así obtener su consumo y con estas dos mediciones realiza análisis del consumo de carbón vs vapor generado, comparar datos y tomar acciones que lleven a un mejoramiento en gestión energética.
- Otra implementación futura aplicable a este control, es la comunicación Ethernet, que lleve las principales variables que se deben controlar, a una base de datos en un servidor, y con estas hacer análisis de tendencias que apunten a un uso eficiente de la energía.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Abarca Bahamondes, P. (2013). Descripción de Calderas y Generadores de Vapor. *ACHS*, www.achs.cl.
- Ávila Reina, A. &. (2010). Modelado y simulación de una caldera para la implementación de lazos de control con PLC (tesis de pregrado).
- Bausà, J., García, C., Zaragozaí, B., Gil, A., Moreno, d., & Galiana, A. (2011). Sensores de temperatura. <http://server-die.alc.upv.es>.
- Calderas JCT. (2012). *Material Elaborado por Calderas JCT S.A. para fines Academicos Versión Septiembre 2012*.
- Cartie, S. (2014). Como funciona un presostato electromecanico. <http://blog.wika.es/instrumentacion/cmo-funciona-presostato-electromagntico/>.
- D&F; Diseño y fabricacion de maquinaria S.A. (2010).
- Exemys. (2006). Sensores de temperatura. <http://www.exemys.com/beta/espanol/productos/adquisidores/sensores/>.
- Mazzone, V. (2002). *Controladores PID*. Buenos Aires; Argentina: Universidad nacional de Quilmes.
- Ojeda Córtez, A. (2014). Controles e instrumentacion para un generador de vapor para la industria petroquimica. *Universidad Naciona Autonoma de Mexico*.
- Piñero Rueda, J. M. (2015). Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla*.
- Robles, J. (2014). Principios de medida - Transmisores. *Departamento de Instrumentación, Huertas Junior College*, <https://instrumentacionhuertas.files.wordpress.com/2012/10/principios-de-medida-transmisores.pdf>.
- Schneider Eletric. (2002). Iniciación a la variación de velocidad. *Centro de formacion*.
- Soto Ramierez, H., & Nava Rodriguez , O. (2010). Modelado y simulacion de una caldera para la implementación de lazos de control con PLC. *Instituto Politecnico Nacional, Mexico D.F.*
- Suarez, O. J. (2012). Realización de guía de mantenimiento predictivo para calderas. *Universidad tecnológica de Bolívar*.
- www.colmaquinas.com. (26/01/2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

www.metron.com.mx. (26/01/2018). Selección de manómetros de presión.

<http://www.metron.com.mx/metron/descargas/cursos/CURSO%20Selecci%C3%B3n%20de%20man%C3%B3metros.pdf>.

ANEXOS

[ANEXO 1: Planos eléctricos caldera JCT \(contiene los planos de control y potencia, impreso en PDF\)](#)

[ANEXO 2: Planos neumáticos de la caldera JCT \(contiene el diagrama del sistema neumático instalado en la caldera, impreso en PDF\)](#)

[ANEXO 3: Manual de operación \(contiene la explicación de la operación de la caldera JCT, impreso en PDF\)](#)

[ANEXO 4: Registro de asistencia \(contiene el registro de asistencia a la capacitación de operación caldera con nuevo sistema de control\)](#)

[ANEXO 5: Programa de la caldera \(contiene el diagrama en Ladder del código programado en el PLC de la caldera\)](#)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

Se Envía Informe final de TGG
 para 1ra evaluación

FIRMA ASESOR Manuel A. Ospina A.

Por parte del jurado. Hora 3:30 pm

FECHA ENTREGA: 03-05-2018

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____ _____ FIRMA ASESOR _____ FECHA ENTREGA: _____
--

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____ RECHAZADO____ ACEPTADO____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES____ ACTA NO. _____ FECHA ENTREGA: _____
--

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____ ACTA NO. _____ FECHA ENTREGA: _____
