



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN

TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROL DE
TEMPERATURA MEDIANTE UN CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMABLE, VISUALIZACIÓN EN UN PANEL DACTIL
PARA UN HORNO SECADOR, EN EL COMERCIAL ZHIONG
XING CIA. LTDA. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PUZOLANA
PUJILÍ”

AUTOR: JAIME TARQUINO CHILUISA GUATO

DIRECTOR: ING. FABRICIO PEREZ

CODIRECTOR: MSc. DAVID RIVAS

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICADO

Ing. Fabricio Pérez (DIRECTOR)
MSc. David Rivas (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROL DE TEMPERATURA MEDIANTE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE, VISUALIZACIÓN EN UN PANEL DACTIL PARA UN HORNO SECADOR, EN EL COMERCIAL ZHIONG XING CIA. LTDA. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PUZOLANA PUJILÍ”, realizado por el Señor Jaime Tarquino Chiluisa Guato, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico y aplicable para el desarrollo profesional, se recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autoriza el Señor Jaime Tarquino Chiluisa Guato, que lo entregue al Ing. Franklin Silva, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, Agosto del 2015

Ing. Fabricio Pérez
DIRECTOR

MSc. David Rivas
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, JAIME TARQUINO CHILUISA GUATO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROL DE TEMPERATURA MEDIANTE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE, VISUALIZACIÓN EN UN PANEL DACTIL PARA UN HORNO SECADOR, EN EL COMERCIAL ZHIONG XING CIA. LTDA. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PUZOLANA PUJILÍ”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en las referencias bibliográficas.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Agosto del 2015

Jaime Tarquino Chiluisa Guato

C.C.: 050331832-1

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo: Jaime Tarquino Chiluisa Guato

Autorizo a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del Trabajo “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROL DE TEMPERATURA MEDIANTE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE, VISUALIZACIÓN EN UN PANEL DACTIL PARA UN HORNO SECADOR, EN EL COMERCIAL ZHIONG XING CIA. LTDA. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PUZOLANA PUJILÍ”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Agosto 2015

Jaime Tarquino Chiluisa Guato
C.C.:050331832-1

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis principalmente a Dios y al Niño de Isinche, por darme la fortaleza necesaria para afrontar las adversidades.

A mis padres, Leonardo y Luz María por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional. A mis hermanos Martha, Andrés, Gloria, Carlos por su apoyo cuando sentía desmayar, a mis abuelos Andrés y Aurora por su amor y apoyo cuando más lo necesitaba.

A todas y cada una de las personas que ayudaron directa e indirectamente en la culminación de este proyecto.

Jaime.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y al Niño de Isinche, por permitirme estar junto a mi familia y por darme la fortaleza necesaria para afrontar las adversidades.

A mis Padres, Leonardo Chiluisa y Luz María Guato, mi eterno agradecimiento por el esfuerzo realizado en cada jornada de trabajo para darme la mejor educación ya que sin ellos este logro no hubiera sido posible.

A mis Hermanos Martha, Andrés, Gloria, Carlos, por su apoyo incondicional.

A mis abuelos Andrés, Aurora, quienes con cariño y esmero supieron motivarme para siempre seguir adelante y no rendirme por las adversidades.

De manera especial al MSc. David Rivas y al Ing. Fabricio Pérez quienes en calidad de tutores, aportaron con sus conocimientos y experiencia.

A mis amigos en especial a Rodolfo, Milton, Santiago, Vinicio por acompañarme en el desarrollo de la tesis y brindarme su amistad y confianza.

Y a todas las personas que de una u otro forma aportaron para que el presente proyecto haya llegado a su feliz término.

Jaime

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1 Desarrollos históricos de la teoría de control.....	1
1.2 Definiciones.....	2
1.2.1 Variable controlada y señal de control.....	2
1.2.2 Planta.....	3
1.2.3 Procesos.....	3
1.2.4 Sistemas.....	3
1.2.5 Perturbaciones.....	3
1.2.6 Control realimentado.....	3
1.3 Sistema de control	4
1.3.1 Sistemas de control de lazo abierto.....	4
1.3.2 Sistemas de control de lazo cerrado	4
1.3.3 Elemento de un sistema de control.....	5
1.4 Influencia de un sistema de control en la optimización del horno	5
1.5 Temperatura	6
1.5.1 Escalas de temperatura	6
1.6 Control de temperatura.....	7
1.7 Tipos de controles.....	8
1.7.1 Controladores todo-nada	8
1.7.2 Control Proporcional.....	10
1.7.3 Control Proporcional Integral (PI).....	12

1.7.4	Control Proporcional Integral Derivativo (PID).....	12
1.8	Reglas para la sintonización de controladores	14
1.8.1	Método de Cohen – Coon (Curva de Reacción).....	14
1.8.2	Método de Ziegler – Nichols (Oscilación Continua)	16
1.8.3	Método del tanteo:.....	19
1.9	Sensores de temperatura.	20
1.9.1	Termocupla	21
1.9.2	Termistores	22
1.9.3	Termómetros infrarrojos.....	23
1.9.4	Termoresistencias	23
1.10	Quemador BAITE BT180LRF.....	26
1.11	Controladores Lógicos Programables.	28
1.11.1	Componentes de los PLC.....	28
1.11.2	Ventajas e inconvenientes de los PLC´s.....	29
1.11.3	Marcas de controladores lógicos programables.	30
1.11.4	Paneles HMI Basic	33
1.12	Software para el desarrollo.....	33
CAPÍTULO II.....		36
2.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	36
2.1	Parámetros de Diseño.	36
2.2	Diseño del sistema.	38
2.2.1	Diagrama de bloques del proyecto a realizar.....	38
2.2.2	Diseño del Sistema Eléctrico.....	39
2.2.3	Conexión eléctrica	41
2.2.4	Medición de temperatura	41
2.2.5	Conexión de sensor al módulo SB 1231 RTD	42
2.3	Diseño del tablero de control.....	43
2.4	Implementación del armario eléctrico	44
2.4.1	Dimensiones del armario eléctrico.....	44
2.4.2	Requerimientos para el diseño del tablero de control.....	45
2.4.3	PLC Simatic S7- 1200 – Cpu 1212 Ac/Dc/Relé Siemens	45
2.4.4	Panel HMI KTP 400 basic mono PN monocromático.....	47
2.4.5	Módulo de señal para RTD SB 1231 RTD	48
2.4.6	Fuente “LOGO Power” entrada 100/240VAC 24VDC-1.3A.....	49
2.4.7	Sensor de temperatura RTD PT100	50

2.4.8	Sensor de fuego Siemens QRB1A-A050B40A.....	51
2.4.9	Relé de control Camsco MY2 24 VDC	52
2.4.10	Selector de tres posiciones.....	53
2.4.11	Pulsadores	54
2.4.12	Paro de emergencia.....	55
2.4.13	Luz piloto de 24VDC Camsco	56
2.4.14	Interruptores automáticos magneto térmico.....	57
2.4.15	Regleta de conexión.....	58
2.4.16	Riel DIN	58
2.5	Armado de tablero	58
2.5.1	Distribución del espacio en el tablero.....	58
2.5.2	Sujeción de Rieles y Canaletas.....	59
2.5.3	Ubicación de los equipos.....	60
2.5.4	Cableado de los elementos	61
2.5.5	Pruebas de continuidad del armado.	61
2.6	Diseño de las instalaciones	62
2.6.1	Dimensionamiento del cable	62
2.6.2	Dimensionamiento de la tubería.....	66
2.7	Montaje total del sistema.	66
2.8	Instalación de sensores	67
2.9	Software para la programación	68
2.10	Configuración del software STEP 7 V13.	69
2.10.1	Crear nuevo proyecto.....	69
2.10.2	Configuración de dispositivo.....	70
2.10.3	Asignación de dirección IP al PLC.....	73
2.11	Configuración del software para programar el HMI.....	74
2.11.1	Asignación de dirección IP al Panel Touch	78
2.12	Diseño del HMI	79
2.12.1	Control de acceso a usuarios.....	82
2.13	Programación del PLC.....	83
2.13.1	Lógica de programación	83
2.13.2	Flujograma de la programación del PLC S7 1200.....	85
CAPÍTULO III		86
3.	PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS	86
3.1	Funcionamiento del sistema eléctrico y electrónico	86

3.2	Funcionamiento del HMI	87
3.3	Verificación de datos de sensores	88
3.4	Análisis de datos obtenidos.....	89
3.5	Análisis del impacto de la implementación del sistema de control	99
CAPÍTULO IV		102
4.	ANÁLISIS ECONÓMICO	102
4.1	Análisis económico del proyecto implementado	102
4.2	Proyectos futuros.....	104
CAPÍTULO V		105
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
5.1	CONCLUSIONES.....	105
5.2	RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA.....		108
LINCOGRAFÍA.....		109
ANEXOS		111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Relación entre las unidades de temperatura.	7
Tabla 1.2.	Cuadro de resumen de los controladores básicos.....	13
Tabla 1.3.	Parámetros iniciales de los controladores	16
Tabla 1.4.	Parámetros del controlador, método de oscilación continua ... lazo abierto.....	17
Tabla 1.5.	Parámetros del controlador, método de oscilación continua ... lazo cerrado.....	19
Tabla 1.6.	Clasificación de sensores de temperatura.....	21
Tabla 1.7.	Características principales de termocuplas industriales	22
Tabla 1.8.	Rango de temperatura de termoresistencias.....	24
Tabla 1.9.	Cuadro de resumen de tipos de sensores de temperatura...	24
Tabla 2.1.	Datos Técnicos, SIMATIC S7-1200, CPU 1212C.....	46
Tabla 2.2.	Datos Técnicos, SIMATIC HMI KTP400 basic.....	47
Tabla 2.3.	Datos Técnicos, Módulo de señal SB 1231 RTD.....	48
Tabla 2.4.	Datos Técnicos, Fuente “LOGO power”	50
Tabla 2.5.	Datos Técnicos, RTD pt100 3 hilos.	51
Tabla 2.6.	Datos Técnicos, Sensor de fuego siemens QRB1A- A050B40A.	52
Tabla 2.7.	Datos Técnicos, Relé de control MY2 Camsco 24VDC.....	53
Tabla 2.8.	Datos Técnicos, Selector de tres posiciones Camsco.....	54
Tabla 2.9.	Datos Técnicos, Pulsador Camsco.....	55
Tabla 2.10.	Datos Técnicos, Pulsador paro de emergencia.	55
Tabla 2.11.	Datos Técnicos, Luz piloto 24 VDC Camsco.	56
Tabla 2.12.	Luces indicadoras en el sistema.	56
Tabla 2.13.	Datos Técnicos, Interruptores automáticos magneto térmico.	57
Tabla 2.14.	Datos Técnicos, Parámetros a controlar.....	62
Tabla 2.15.	Características de cables de cobre, tipos TF y TW.....	63
Tabla 2.16.	Distancia tablero de control a parámetros del quemador.....	64
Tabla 3.1.	Datos valor de temperatura sin control.....	90
Tabla 3.2.	Problemas comunes en proceso sin control automatizado de temperatura.....	93
Tabla 3.3.	Datos valor de temperatura con control.....	96
Tabla 4.1.	Costo total del tablero de control de temperatura.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Sistema de control en bucle abierto.	4
Figura 1.2.	Sistema de control de lazo cerrado	4
Figura 1.3.	Comportamiento de un control todo-nada básico.....	8
Figura 1.4.	Representación gráfica del comportamiento de un controlador todo-nada con histéresis.	9
Figura 1.5.	Representación gráfica del comportamiento del controlador todo-nada: a) Básico: b) Con histéresis.	10
Figura 1.6.	Señal control proporcional.....	12
Figura 1.7.	Respuesta del proceso ante el escalón unitario.....	14
Figura 1.8	Curva de reacción del método de Cohen	15
Figura 1.9	Curva de reacción método de Ziegler-Nichols lazo abierto... ..	17
Figura 1.10.	Esquema de Control	18
Figura 1.11.	Oscilación Continua	18
Figura 1.12.	Esquema de un termocupla.	21
Figura 1.13.	Diagrama de partes que compone quemador BT180LRF	27
Figura 1.14.	Esquemización de un PLC.....	29
Figura 1.15.	Panel SIMATIC HMI KTP400 BASIC MONOCROMÁTICO ..	33
Figura 1.16.	Vista de Proyecto del software STEP7 (TIA PORTAL) V11 ..	34
Figura 2.1.	Diagrama esquemático Planta de producción de Puzolana..	37
Figura 2.2.	Diagrama de bloques para la implementación de un control de temperatura.....	38
Figura 2.3.	Esquema de ubicación del quemador baite BT180LRF, y el horno secador.	40
Figura 2.4.	Conexión eléctrica del PLC con los diferentes dispositivos ..	41
Figura 2.5.	Conexión de sensor al módulo.....	42
Figura 2.6.	Diseño de tablero de control	43
Figura 2.7.	Dimensiones de armario eléctrico	45
Figura 2.8.	PLC Siemens S7-1200.....	45
Figura 2.9.	Panel SIMATIC HMI KTP400 BASIC MONOCROMÁTICO ..	47
Figura 2.10.	Módulo de señal para RTD	48
Figura 2.11.	fuelle “LOGO Power” entrada 100/240VAC 24VDC-1.3A....	49
Figura 2.12.	Sensor de temperatura RTD PT100 tres hilos	50
Figura 2.13.	Sensor de fuego siemens QRB1A-A050B40A	52
Figura 2.14.	Relé MY2 Camsco 24VDC.....	53

Figura 2.15.	Selector de tres posiciones Camsco	54
Figura 2.16.	Pulsador marca Camsco	54
Figura 2.17.	Pulsador Paro de emergencia con retención	55
Figura 2.18.	Luz piloto 24 VDC Camsco	56
Figura 2.19.	Interruptores automáticos magneto térmico.....	57
Figura 2.20.	Regleta de conexión	58
Figura 2.21.	Riel DIN.....	58
Figura 2.22.	Tablero de control con espacio distribuido	59
Figura 2.23.	Ubicación de Rieles y Canaletas.....	59
Figura 2.24.	Base del tablero con rieles y canaletas instaladas.....	60
Figura 2.25.	Ubicación de los elementos en el tablero.....	60
Figura 2.26.	Elementos fijos en la parte frontal del tablero.	61
Figura 2.27.	Tablero de control cableado.....	61
Figura 2.28.	Pruebas de continuidad en tablero.....	62
Figura 2.29.	Dimensiones de canaletas y tuberías.	66
Figura 2.30.	Montaje del sistema en cuarto de control.....	67
Figura 2.31.	Ubicación del sensor RTD pt100.....	67
Figura 2.32.	Ubicación sensor de fuego.....	68
Figura 2.33.	Entorno TIA portal V13.....	68
Figura 2.34.	Crear nuevo proyecto.....	69
Figura 2.35.	Cuadro de dialogo de espera para la creación del proyecto .	70
Figura 2.36.	Configuración de dispositivos.....	70
Figura 2.37.	Código de identificación del PLC	71
Figura 2.38.	Selección de la CPU	71
Figura 2.39.	Vista del PLC	72
Figura 2.40.	Selección de módulo de RTD.....	72
Figura 2.41.	Configuración de parámetros de módulo de RTD	73
Figura 2.42.	Configuración de la versión de módulo de RTD.....	73
Figura 2.43.	Asignación de dirección IP	74
Figura 2.44.	Insertar la HMI.....	74
Figura 2.45.	Configuración del HMI.....	75
Figura 2.46.	Comunicación con el PLC	75
Figura 2.47.	Configuración de propiedades de la pantalla	76
Figura 2.48.	Configuración número de ventanas de usuario.....	76
Figura 2.49.	Configuración de botoneras del Panel Touch	77

Figura 2.50.	Configuración de pantalla.....	77
Figura 2.51.	Asignación de dirección IP al panel touch.....	78
Figura 2.52.	Comunicación en red de dispositivos.....	78
Figura 2.53.	Diseño de la pantalla principal del HMI	79
Figura 2.54.	Pantalla de proceso	80
Figura 2.55.	Cuadro de dialogo para ingresar clave de ingreso.....	80
Figura 2.56.	Pantalla para ingresar parámetros de operación.	81
Figura 2.57.	Pantalla de visualización de la señal de temperatura	82
Figura 2.58.	Control de acceso a usuarios.....	83
Figura 2.59.	Bloques de programa del PLC	84
Figura 3.1.	Tendido de cable eléctrico	87
Figura 3.2.	Medición y control manual de temperatura.	89
Figura 3.3.	Señal de respuesta de temperatura sin control.....	92
Figura 3.4.	Proyecto implementado.	95
Figura 3.5.	Señal de respuesta de temperatura con control automático.	98
Figura 3.6	Comparación de señal de temperatura anterior y actual.....	99
Figura 3.7.	Método de medición de temperatura antes de la implementación del tablero de control.....	100
Figura 3.8.	Control de temperatura implementado.....	101

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto es el diseño e implementación de un control de temperatura para un horno secador, en el comercial Zhiong Xing Cia. Ltda. Planta de producción de puzolana Pujilí, esto ayudará a la fábrica mejorar la calidad del producto reducir costos de fabricación, mano de obra, mejora de proceso y reducción de tiempos de entrega del producto. Debido a que en la planta de producción no existe un control automatizado del horno secador se requiere la implementación del proyecto, para implementar este proyecto se utiliza tecnología de bajo coste y disponible en el mercado Ecuatoriano como es el PLC, RTD PT100 y un panel touch. Partiendo de los datos de los sensores, se obtendrán los parámetros relativos a la temperatura y su variabilidad, la adquisición de señales se realiza mediante un PLC Siemens S7-1200 para integrar el quemador BT180LRF y comunicarlo con el HMI desarrollado en un panel touch. Con el desarrollo de este sistema se reducirá la necesidad de la operación manual por parte de los trabajadores de la planta de producción, logrando con esto evitar fallas humanas, y reducir enfermedades causadas por exposición a altas temperaturas, garantizando así una mayor producción y su correcto funcionamiento.

PALABRAS CLAVE:

- **CONTROL INDUSTRIAL**
- **COMUNICACIÓN ETHERNET**
- **SENSORES DE TEMPERATURA**
- **SOFTWARE TIA PORTAL V13**

ABSTRACT

The objective of this project is the design and implementation of a temperature control for a drying oven in the commercial Zhiong Xing Cia. Ltda. Puzolana production plant Pujilí, this factory will help improve product quality to reduce manufacturing costs, labor, process improvement and reduction of time of delivery. Because there is not an automated dryer oven control in the production plant project implementation is required to implement this project low-cost technology used and available in the Ecuadorian market such as PLC, RTD PT100 and touch panel. Based on data from the sensors, the parameters relating to temperature are obtained and variability, signal acquisition is performed using a Siemens PLC S7-1200 BT180LRF burner to integrate and communicate with the HMI developed on a touch panel. With the development of this system the need for manual operation is reduced by the workers of the production plant, achieving this avoid human error, and reduce diseases caused by exposure to high temperatures, thus ensuring increased production and proper operation.

KEYWORDS:

- **INDUSTRIAL CONTROL**
- **ETHERNET COMMUNICATION**
- **TEMPERATURE SENSORS**
- **TIA PORTAL SOFTWARE V13**

CAPÍTULO I.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

En este capítulo, se describirá el comportamiento de la señal de la variable temperatura, las características, los conceptos básicos y las formas de control adecuado a ser estudiadas y desarrolladas del proyecto, el software utilizado y las técnicas a aplicar en el desarrollo del proyecto.

1.1. Antecedentes

1.1.1 Desarrollos históricos de la teoría de control.

En el siglo XVIII James Watt diseñó el primer trabajo significativo en control automático fue el regulador de velocidad centrífugo para el control de la velocidad de una máquina de vapor.

En 1922, Minorsky trabajó en controladores automáticos para el guiado de embarcaciones, y mostró que la estabilidad puede determinarse a partir de las ecuaciones diferenciales que describen el sistema.

En 1932, Nyquist diseñó un procedimiento relativamente simple para determinar la estabilidad de sistemas en lazo cerrado.

En 1934, Hazen, quien introdujo el término servomecanismos para los sistemas de control de posición, analizó el diseño de los servomecanismos con relé, capaces de seguir con precisión una entrada cambiante.

Durante la década de los cuarenta, los ingenieros diseñaron sistemas de control lineales en lazo cerrado que cumplieran los requisitos de comportamiento. En los años cuarenta y cincuenta muchos sistemas de control industrial utilizaban controladores PID para el control de la presión, de la temperatura, etc. A comienzos de la década de los cuarenta Ziegler y Nichols establecieron reglas para sintonizar controladores PID, las denominadas reglas de sintonía de Ziegler-Nichols. A finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, Evans desarrolló por completo el método del lugar de las raíces. Los métodos de respuesta en frecuencia y del lugar de las raíces.

Hacia 1960, debido a la disponibilidad de las computadoras digitales fue posible el análisis en el dominio del tiempo de sistemas complejos. La teoría de control moderna, basada en el análisis en el dominio del tiempo y la síntesis a partir de variables de estados, se ha desarrollado para manejar la creciente complejidad de las plantas modernas y los requisitos cada vez más exigentes sobre precisión, peso y coste en aplicaciones militares, espaciales e industriales.

Durante los años comprendidos entre 1960 y 1980, se investigó a fondo el control óptimo tanto de sistemas determinísticos como estocásticos, así como el control adaptativo y con aprendizaje de sistemas complejos. Desde la década de los ochenta hasta la de los noventa, los avances en la teoría de control moderna se centraron en el control robusto y temas relacionados.

La teoría de control moderna se basa en el análisis en el dominio temporal de los sistemas de ecuaciones diferenciales. La teoría de control moderna simplificó el diseño de los sistemas de control porque se basa en un modelo del sistema real que se quiere controlar. Sin embargo, la estabilidad del sistema depende del error entre el sistema real y su modelo. Información obtenida de (Ogata, 2010)

1.2 Definiciones.

Antes de analizar los sistemas de control, deben definirse ciertos términos básicos.

1.2.1 Variable controlada y señal de control.

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla, mientras que la señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

La variable controlada es la salida del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado. (Ogata, 2010)

1.2.2 Planta.

Una planta se puede definir como una parte de un equipo, o un conjunto de elementos de una máquina que funcionan juntos, cuyo objetivo es efectuar una operación particular. Se llama planta a cualquier objeto físico que se va a controlar como un horno secador, un reactor químico. (Ogata, 2010)

1.2.3 Procesos.

Se define un proceso como todo desarrollo sistemático que conlleva una serie de pasos ordenados u organizados, que se efectúan o suceden de forma alternativa o simultánea, es decir, desde la adquisición de la materia prima hasta lograr el producto final, también es el conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de las materias primas. Dichas características pueden ser de naturaleza muy variada tales como la forma, la densidad, la resistencia, el tamaño o la estética. (López, 2012)

1.2.4 Sistemas.

Un Sistema es la combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos. El concepto de sistema se puede aplicar a fenómenos abstractos y dinámicos. (Acebes, 2002)

1.2.5 Perturbaciones.

Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada. (Acebes, 2002)

1.2.6 Control realimentado.

El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles,

ya que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema. (Ogata, 2010)

1.3 Sistema de control

Se define como un sistema que compara el valor de una variable a controlar con un valor deseado y cuando existe una desviación, efectúa una acción de corrección sin que exista intervención humana, los sistemas de control industrial pueden ser operados como sistemas de lazo abierto o sistemas de lazo cerrado. (Enriquez Haper, 2012)

1.3.1 Sistemas de control de lazo abierto

En un sistema de control de lazo abierto la señal de salida no influye sobre la acción de control, el controlador no tiene en cuenta el valor de la señal de salida, tampoco la compara con el setpoint para decidir la actuación sobre el sistema.

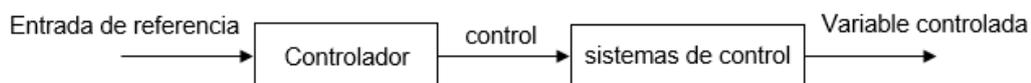


Figura 1.1. Sistema de control en bucle abierto.

Fuente: (García, 2003)

1.3.2 Sistemas de control de lazo cerrado

Los sistemas de control en lazo cerrado existe una retroalimentación de la señal de salida o variable a controlar, en este sistema se compara la variable a controlar con el setpoint de forma que en función de esta diferencia el controlador modifica la acción de control sobre los actuadores de la planta o sistema.

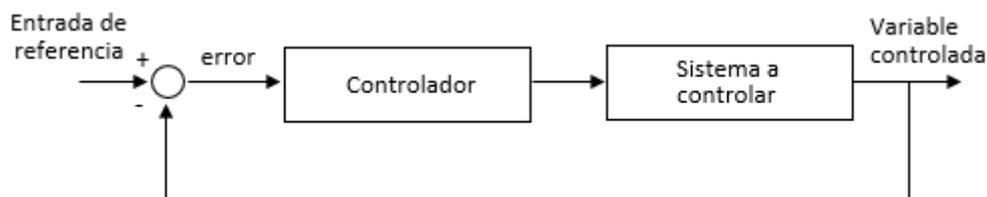


Figura 1.2. Sistema de control de lazo cerrado

Fuente: (García, 2003)

1.3.3 Elemento de un sistema de control

En todo sistema de control existe una serie de elementos característicos que es necesario clasificar.

- **Variable a controlar.** Se les conoce como señal de salida. Constituye la señal que deseamos que adquiera unos valores determinados.
- **Planta o Sistema.** Constituye el conjunto de elementos que realiza una determinada función. Por ejemplo la temperatura de un horno.
- **Sensor.** El sensor es el elemento primario que está en contacto directo con la variable que se desea medir, permite captar el valor de la variable a controlar en determinados instantes de tiempo. Equivale a la vista o el oído u otros sentidos, es un dispositivo que convierte la señal de entrada en una señal de salida de naturaleza diferente.
- **Señal de referencia.** También conocido como setpoint es la señal consigna o valor que deseamos que adquiera la señal de salida lo cual es el objetivo de control.
- **Actuador.** Constituye la parte final del dispositivo de control el actuador es el elemento que actúa sobre el sistema modificando de esta forma la señal de salida. Se lo puede equiparar a las “manos” o los “pies” del sistema.
- **Controlador.** El controlador o regulador es el elemento que comanda al actuador en función del objetivo de control el controlador recibe los datos del instrumento de medida, lo compara con el dato de setpoint programado, y si es necesario ordena al elemento de control que genere una acción correctiva. Se lo puede considerar el cerebro del sistema.

1.4 Influencia de un sistema de control en la optimización del horno

Un sistema de control es muy importante para la optimización de un horno, a fin de proporcionar un producto económico, útil para la sociedad. Los objetivos del sistema de control son complementarios, ya que para poderlo controlar más efectivamente, el sistema debe ser entendido y modelado.

El control de un proceso industrial como son fábrica, producción y otros por medios automáticos en vez de humanos se conoce como automatización. La aplicación de un sistema de control en nuestra sociedad industrial, se usa para aumentar la producción de un horno por trabajador, a fin de compensar los salarios crecientes y los costos inflacionarios.

El sistema de control se empleará para conseguir:

1. Un mejor rendimiento del horno.
2. Obtener producto de mejor calidad.
3. Disminuir los costos de producción.
4. Aumentar la producción. (Atariguana & Mosquera, 2002)

1.5 Temperatura

La temperatura viene dada por el nivel térmico que poseen los cuerpos. Los cuerpos que viene más temperatura ceden más calor a los que tienen menos, hasta que estos alcancen el equilibrio térmico, es decir, que tengan la misma temperatura.

1.5.1 Escalas de temperatura

Las escalas de temperatura son de dos tipos: absolutas o relativas. Los valores que da cualquier escala de medición de temperatura no tienen un nivel máximo, pero si parten de un nivel mínimo que es el cero absoluto, mientras las relativas se basan en otros referentes.

Los tipos de escala se detallan de la siguiente manera:

Escalas absolutas. La principal escala de temperatura absoluta es la de grados kelvin. Es la unidad de medida del Sistema Internacional.

Escalas relativas. Las escalas relativas son más numerosas y se basan en una propiedad de un material al que asignan el valor cero. Las escalas relativas más utilizadas son:

- **Escala de Celsius (°C).** Esta escala de temperatura se basan en los puntos de fusión y ebullición del agua. Esta escala se aplica en el sistema Técnico.

- **Escala Fahrenheit (°F).** Se basa en el punto de congelación de una disolución de cloruro amónico a la que se asigna un valor cero y a la temperatura normal corporal humana a la que se asigna el valor 100. Esta escala se utiliza comúnmente en Estados Unidos.
- **Escala Réaumur (°R).** Esta escala se utiliza para procesos industriales específicos como el del almidón. (Morales, 2012)

La unidad de temperatura varía según se mida en el Sistema Internacional, que sería el grado Kelvin (°K) (temperatura absoluta), o en el sistema técnico, que sería el grado Celsius o grado centígrado (°C). (Morales, 2012)

Tabla 1.1.

Relación entre las unidades de temperatura.

	°C	°F	°R	°K
°C	.....	$^{\circ}C = \frac{5(^{\circ}F - 32)}{9}$	$^{\circ}C = 1.25 * ^{\circ}R$	$^{\circ}C = ^{\circ}K - 273.15$
°F	$^{\circ}F = \frac{9^{\circ}C}{5} + 32$	.....	$^{\circ}F = ^{\circ}R - 459.67$	$^{\circ}F = \frac{9}{5}(^{\circ}K - 273) + 32$
°R	$^{\circ}R = 1.8^{\circ}C + 491.67$	$^{\circ}R = ^{\circ}F + 459.67$	.....	$^{\circ}R = \frac{9}{5} * ^{\circ}K$
°K	$^{\circ}K = ^{\circ}C + 273.15$	$^{\circ}K = (^{\circ}F + 459.67) / 1.8$	$^{\circ}K = 1.25 * ^{\circ}R + 273.15$	.....

1.6 Control de temperatura.

Los controladores de temperatura, es usada en una gran variedad de industrias, son herramientas importantes para el control de temperatura para obtener los resultados deseados en las industrias. Los controladores de temperatura Analógico/Digital, ofrecen un rápido ajuste y proporcionan una gestión de temperatura precisa y así también el control para una variedad de aplicaciones. Un sistema de control de temperatura, adquiere la señal de respuesta mediante un sensor, esta señal es tratada, ya sea digital o análogamente según el tipo de control a tratar, posteriormente se activa, desactiva, aumenta, o disminuye el elemento de control final, el cual será el encargado de mantener la temperatura. (Por ejemplo, para el caso de un

Horno, si la temperatura es mayor, disminuirá la potencia del horno, y si es demasiado bajo, aumentará esta).

1.7 Tipos de controles

Los controles típicos en sistemas de control son:

1. Control Proporcional (P).
2. Controladores todo-nada (On-Off)
3. Control Proporcional Integral (PI).
4. Control Proporcional Integral Derivativo (PID).

1.7.1 Controladores todo-nada

El mecanismo de realimentación más simple se puede describir mediante el algoritmo representado en la Figura 1.3 que se puede indicar algebraicamente mediante la expresión:

$$CV = \begin{cases} CV_{\max} & e > 0 \\ CV_{\min} & e < 0 \end{cases}$$

$$e = SP - PV \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Fuente: (Quiroga, 2009)

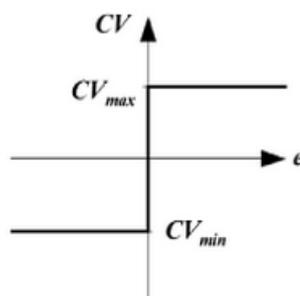


Figura 1.3. Comportamiento de un control todo-nada básico.

Fuente: (Quiroga, 2009)

En la que e es el error y representa en cada instante la diferencia entre el valor de consigna SP y el valor de la variable PV de salida del proceso de la expresión anterior se deduce que el controlador todo-nada compara los valores SP y PV y asigna el valor CV_{\max} o CV_{\min} a CV según el resultado de la misma.

Esta ley de control consiste en aplicar en cada instante la acción correctiva máxima, es decir la variable CV tiene su valor máximo cuando el error es positivo y su valor mínimo cuando el error es negativo. (Quiroga, 2009)

Controlador todo-nada con histéresis.

Para evitar la ambigüedad que representa el controlador todo-nada básico cuando el error es cero se le puede añadir una histéresis (H). Su comportamiento se describe gráficamente en la Figura 1.4, en la que se puede observar que existe una zona en la que el valor de la variable de control CV depende del sentido en el que el varía el error e. Si el error aumenta positivamente a partir de cero, CV no cambia de CV_{\min} a CV_{\max} hasta que el error supere un determinado valor positivo. De igual manera cuando el error disminuye negativamente a partir de cero, CV no cambia de CV_{\max} a CV_{\min} hasta que el error supere un determinado valor negativo, la anchura del ciclo de histéresis depende del nivel de error que puede admitir el proceso que se controla. (Quiroga, 2009)

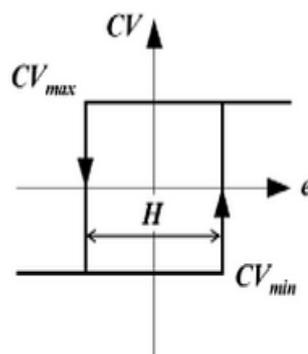


Figura 1.4. Representación gráfica del comportamiento de un controlador todo-nada con histéresis.

Fuente: (Quiroga, 2009)

En la Figura 1.5 se representa gráficamente la diferencia entre el comportamiento del controlador todo-nada básico y el controlador todo-nada con histéresis. En el controlador básico la variable CV cambia de nivel en cuanto el valor de PV supera positiva o negativamente el valor de SP. Debido a ello, el controlador no consigue que la variable PV se estabilice en

el valor de SP sino que oscila en torno a él. Además cualquier perturbación que modifique PV puede hacer que la variable de control CV cambie del valor máximo al valor mínimo y viceversa a frecuencia elevado. En ambos casos se puede producir el deterioro del actuador electromecánico, neumático o fluidoico sobre el que actúa CV.

Por el contrario en el controlador todo-nada con histéresis se observa que la variable CV no cambia de nivel mientras el valor de PV no supera positiva o negativamente la franja centrada en SP y delimitada por H. Se evita así que la variable CV conmute a frecuencia elevada pero se introduce un error en el valor de PV porque sus variaciones que no rebasan la franja no las detecta el controlador. Además las perturbaciones que modifiquen el valor de PV sin que rebase la histéresis H, no afectan al controlador. (Quiroga, 2009)

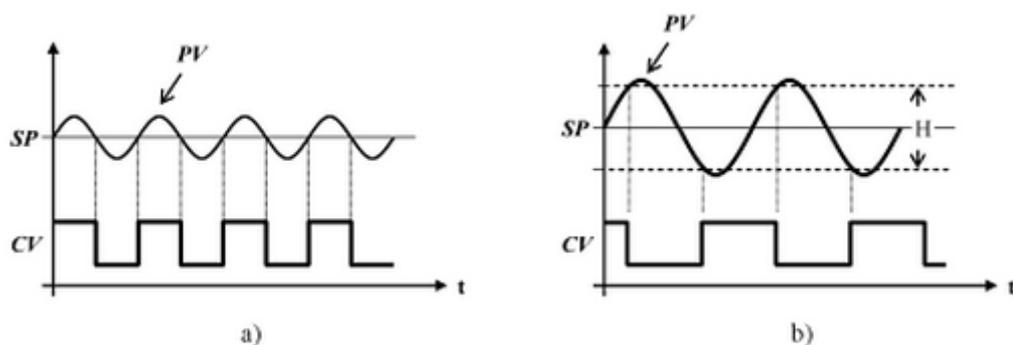


Figura 1.5. Representación gráfica del comportamiento del controlador todo-nada: a) Básico: b) Con histéresis.

Fuente: (Quiroga, 2009)

1.7.2 Control Proporcional

El control proporcional genera a la salida una señal de control que es proporcional a la señal de error respecto al punto de consigna.

El aumento de la ganancia del control proporcional permite reducir el error en estado estacionario.

$$p(t) = k_p \cdot e(t) \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Fuente: (Salgado, 2001)

Donde:

$e(t)$ = Señal de error.

k_p = Constante proporcional

$p(t)$ = Parámetro de control

Si K_p aumenta disminuye el error, mientras más pequeño es el error más pequeño es el parámetro de control.

Ventaja

1. Provoca mayor vida útil en el elemento de control final.

Desventaja

1. Aumenta la inestabilidad en el controlador.

Características

1. Es más estable de los controladores PD, PI.
2. El controlador es estable pero tiene error.
3. Si aumenta K se disminuye el error y se obtiene un controlador más rápido, pero si aumento demasiado el sistema se vuelve inestable y se convierte en un control ON/OFF.
4. Más lento que el control ON/OFF.
5. El control proporcional es más caro en el elemento de control final.
6. Se puede usar un control proporcional en procesos donde no cambie la carga del mismo (La carga de proceso son todas la variables menos la variable controlada).
7. El control proporcional se usa en procesos donde la carga y el Csp se mantengan constantes o varíen muy poco.

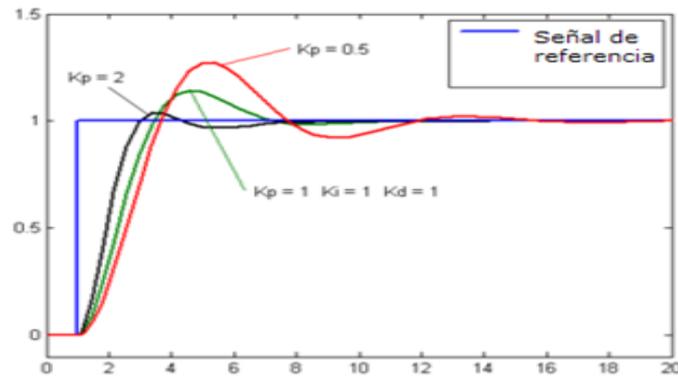


Figura 1.6. Señal control proporcional
(Rocatek, 2010)

1.7.3 Control Proporcional Integral (PI).

El control proporcional integral combina las ventajas de la acción proporcional y de la acción integral; la acción integral elimina el error estacionario, mientras que la acción proporcional reduce el riesgo de inestabilidad que conlleva la introducción de la propia acción integral. (Salgado, 2001)

$$a(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) dt \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Fuente: (Miranda, 2012)

Ante un escalón la salida del controlador PI genera un salto inicial debido a la acción del control proporcional y, y a continuación, una variación gradual proporcional al error. (Miranda, 2012)

Características

1. El control PI es más rápido que el control proporcional.
2. El control PI es más inestable que el control proporcional.

1.7.4 Control Proporcional Integral Derivativo (PID).

El control PID genera una salida que es proporcional a la magnitud, a la duración y a la variación de la señal de error. Este control combinado tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La relación entre la salida y la entrada del controlador es:

$$a(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Fuente: (Miranda, 2012)

Tabla 1.2.

Cuadro de resumen de los controladores básicos.

CONTROL	CUANDO USAR	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	INCOMVENIENTES
ON-OFF	<ul style="list-style-type: none"> Es adecuado para procesos lentos. 	<ul style="list-style-type: none"> Es barato el elemento de control final solo es una válvula ON-OFF. Es muy oscilatorio. 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor vida útil en el elemento de control final. Más rápido que todos los Controladores. 	<ul style="list-style-type: none"> Aumenta la inestabilidad. Para procesos rápidos el elemento de control final conmuta muy rápido y puede quemar.
P	<ul style="list-style-type: none"> Se usa un control proporcional en procesos donde la carga y el set point se mantenga constante o varíe muy poco. 	<ul style="list-style-type: none"> El control proporcional debe tener error Al aumentar K disminuyo el error con lo cual hago más rápido al controlador pero al aumentar demasiado se vuelve inestable lo cual se convierte en un control ON-OFF 	<ul style="list-style-type: none"> Es el más estable de los controladores. 	<ul style="list-style-type: none"> Más lento que el control ON- OFF Es más caro en el control de elemento final. Tiene error.
PI	<ul style="list-style-type: none"> El control PI se puede usar en procesos donde la error sea grande. 	<ul style="list-style-type: none"> El controlador PI es en esencia un Filtro Pasa Bajo, filtra los ruidos de alta frecuencia. El controlador PI reduce el sobrepaso máximo con la parte proporcional y reducir el error de estado estable con la parte integral. 	<ul style="list-style-type: none"> Es más rápido que control proporcional. 	<ul style="list-style-type: none"> Es más inestable que control proporcional
	<ul style="list-style-type: none"> Controladores PID son usados en la industria con mucha mayor frecuencia que el resto de los controladores principalmente porque es una combinación 	<ul style="list-style-type: none"> PID es un controlador de segundo orden con integración. 	<ul style="list-style-type: none"> En la actualidad, el control PID dispone de una serie de prestaciones. Los controladores PID son suficientes para resolver el 	<ul style="list-style-type: none"> Se necesitan controladores más sofisticados cuando nos encontramos con procesos de orden elevado

CONTINUÁ 

PID de ellos mismos, así que de cierta forma podemos decir que posee las capacidades de todos ellos.

- Son flexibles y por ello pueden aplicarse en muchas áreas de la industria.

problema de control de muchas aplicaciones en la industria

1.8 Reglas para la sintonización de controladores

El diseño de controladores se realiza en función del conocimiento del proceso, es decir, a partir del modelo del proceso del esquema de control y de las restricciones que se le imponen al mismo. Mientras que la sintonización de los controladores se realiza sin que se disponga de dicha información, Los métodos de sintonización están basados en estudios experimentales de la respuesta al escalón de diferentes tipos de sistemas, razón por la cual los parámetros del controlador que se determinan utilizando estas metodologías podrían dar como resultado una respuesta medianamente indeseable, es por ello que dichos parámetros se utilizan como punta de partida para la definitiva sintonización de los mismo, lo cual se realizara ajustándolos finalmente de forma tal que se logre tener la respuesta deseada.

1.8.1 Método de Cohen – Coon (Curva de Reacción)

Este método se utiliza en procesos de lazo cerrado, en este método se obtiene experimentalmente la respuesta de la planta al aplicar un escalón unitario debe tener el aspecto de una curva en forma de S, en el caso en que la curva no presente esta forma, no se puede aplicar el método.



Figura 1.7. Respuesta del proceso ante el escalón unitario.

Fuente: (Sanchez & Montbrun, 2010)

La curva en forma en S se puede caracterizar con dos parámetros, el tiempo del atraso L y la constante de tiempo τ . El tiempo de atraso y la constante de tiempo se determinan trazando una línea tangente a la curva en la forma de S en el punto de inflexión y se determinan las intersecciones de esta línea tangente con el eje del tiempo y con la línea $c(t) = K$, como se muestra en la Figura 1.8.

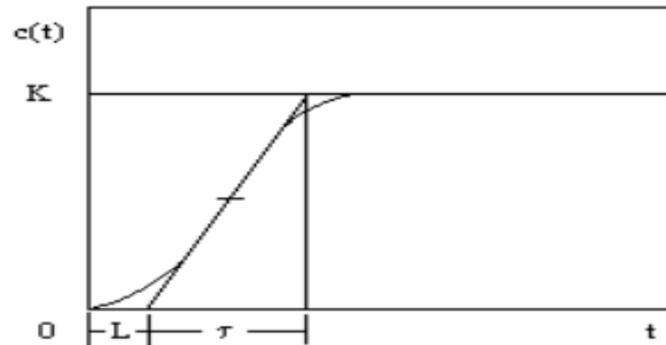


Figura 1.8 Curva de reacción del método de Cohen

Fuente: (Montbrun, 2010)

La respuesta al escalón se obtiene experimentalmente y a partir de allí el modelo del proceso puede ser aproximado a una función de transferencia, en la cual los parámetros K , τ y L corresponden con la ganancia, la constante de tiempo y el retardo de proceso deben ser identificados a partir de dicha respuesta. Entonces la función de transferencia se puede aproximar por un sistema de primer orden. (Montbrun, 2010)

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K \cdot e^{-Ls}}{\tau \cdot s + 1} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

Fuente: (Montbrun, 2010)

Una vez identificados los parámetros antes mencionados se fijaran los parámetros del controlador utilizando la tabla siguiente:

Tabla 1.3.
Parámetros iniciales de los controladores

Tipo de controlador	K_e	T_i	T_d
P	K_e	∞	0
PI	$0,9 \frac{\tau}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{\tau}{L}$	$2 L$	$0,5 L$

Fuente: (Montbrun, 2010)

1.8.2 Método de Ziegler – Nichols (Oscilación Continua)

Método lazo abierto

El método de oscilación de Ziegler-Nichols es válido sólo para plantas estables en lazo abierto. Hay que seguir los siguientes pasos.

- Aplicar a la planta sólo control proporcional con ganancia K_p pequeña.
- Aumentar el valor de K_p hasta que el lazo comience a oscilar. La oscilación debe ser lineal y debe detectarse en la salida del controlador $u(t)$.
- Registrar la ganancia crítica $K_p = K_c$ y el período de oscilación P_c de $u(t)$, a la salida del controlador.
- Ajustar los parámetros del controlador PID de acuerdo a la Tabla 1.4.

Este método se utiliza cuando la respuesta de la curva del escalón puede tener forma de "S", como se observa en la Figura 1.9, en caso contrario no es pertinente. Para realizar el ensayo se introduce una entrada en escalón unitario experimentalmente. La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: • El tiempo de retardo L • La constante de tiempo T Para obtener los dos parámetros citados anteriormente se dibuja la recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y la línea (K).

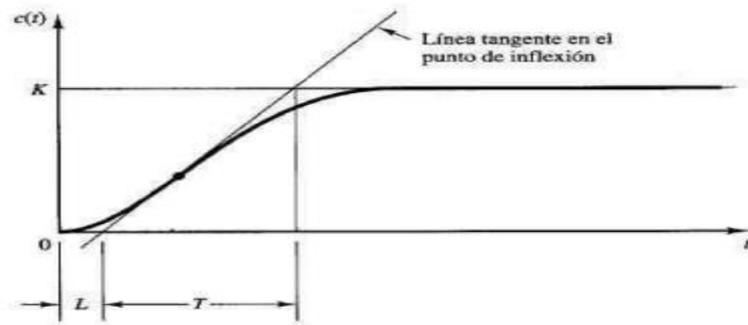


Figura 1.9 Curva de reacción método de Ziegler-Nichols lazo abierto.

Fuente: (UPC, 2015)

Por otra banda cuando se aplica un escalón a una entrada de un proceso industrial se obtiene una respuesta típica que se denomina curva reacción del sistema, que se puede aproximar a la respuesta de un modelo de primer orden más un cierto retardo como se muestra en la $Gp(s) = \frac{K}{1+T.s} . e^{-s.L}$

Ecuación 1.6.

$$Gp(s) = \frac{K}{1+T.s} . e^{-s.L} \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Dónde:

K es la constante estática.

T la constante de tiempo.

L un retardo puro.

Tabla 1.4.

Parámetros del controlador, método de oscilación continúa lazo abierto.

Tipo de controlador	K_e	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{\tau}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{\tau}{L}$	$2L$	$0,5L$

Fuente: (UPC, 2015)

Tabla 1.5.

Parámetros del controlador, método de oscilación continúa lazo cerrado.

Tipo de Controlador	K_C	T_i	T_d
P	$0,5K_{cr}$	∞	0
PI	$0,45K_{cr}$	$\frac{P_{cr}}{1.2}$	0
PID	$0,5K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

Fuente: (Montbrun, 2010)

1.8.3 Método del tanteo:

Este método requiere que el controlador y el proceso estén instalados completamente y trabajando en forma normal. El procedimiento se basa en poner en marcha el proceso con bandas anchas en todas las acciones (K_p , T_d y K_i pequeños), y estrecharlas (aumentar gradualmente K_p , K_i y T_d) individualmente, hasta obtener la estabilidad deseada. Para provocar cambios de carga al proceso, y observar las reacciones, se mueve el set point o punto de consigna arriba y abajo en ambas direcciones, lo suficiente para lograr una perturbación considerable, pero no demasiado grande que pueda perjudicar el funcionamiento de la planta o bien crear perturbaciones intolerables en los procesos asociados. Es necesario que pase un tiempo suficiente después de cada desplazamiento del punto de consigna, para observar el efecto total del último ajuste obteniendo algunos ciclos de la respuesta ante la perturbación creada. En procesos muy lentos puede requerir hasta 2 o 3 horas.

El procedimiento para ajustar el controlador PID es el siguiente: Con la banda derivada e integral a 0 ($T_d = 0$ y $T_i = \infty$), o al mínimo, se estrecha la banda proporcional (aumenta K_p) hasta obtener una relación de amortiguamiento de 0.25. Luego se disminuye T_i (se aumenta la banda integral) lentamente hasta acercarse al punto de inestabilidad. Se aumenta

la banda derivada (aumenta T_d) en pequeños incrementos, creando al mismo tiempo desplazamientos del punto de consigna hasta obtener en el proceso un comportamiento cíclico, reduciendo ligeramente la última banda derivada. Después de estos ajustes, puede estrecharse normalmente la banda proporcional con mejores resultados en el control.

En otra forma de ajuste, para obtener una óptima banda derivada se trabaja primero con una banda proporcional que da lugar a una ligera oscilación (varios ciclos) ante una perturbación, con la acción integral reducida al mínimo. Se aumenta a continuación la acción derivada hasta eliminar el ciclo de la proporcional. Se estrecha de nuevo la acción proporcional hasta que los ciclos se inician, y se aumenta todavía más la banda derivada hasta eliminarlos, continuando con éstos pasos hasta que el aumento de la acción derivada no mejore la eliminación de los ciclos producidos. Finalmente se ajusta la acción integral para eliminar el offset. (Duque, 2002)

1.9 Sensores de temperatura.

La temperatura tiene una importancia fundamental en procesos industriales. Por ello, es imprescindible disponer de una medición precisa. Las temperaturas inexactas pueden tener graves consecuencias, como la reducción de la vida útil del equipo si sufre un sobrecalentamiento de unos grados.

Cada proceso en la industria debe ser controlado de alguna manera, y esta necesidad muchas veces también incluye la medición de la temperatura. Se dispone de una gran variedad de sensores para realizar las mediciones de la temperatura. Se debe decidir cuál de los sensores debe seleccionar para cada situación en particular. A fin de seleccionar el mejor, para cada aplicación, se deben tener en cuenta varios factores:

- Temperatura Máxima.
- Rango de Temperatura a medir.
- Exactitud.
- Velocidad de respuesta.
- Costo Requerimiento de mantenimiento.

Cada uno de estos factores será analizado a continuación en relación con los sensores de uso más frecuente, en las industrias de procesos, termocuplas, Termo resistencias, Termistores, Sistemas de dilatación, a continuación se describen algunos sensores de temperatura con sus rangos.

Tabla 1.6.

Clasificación de sensores de temperatura

Sensor de Temperatura	Temp. Mínima	Temp. Máxima
Termocuplas	-200°C	2800°C
Sistemas de Dilatación	-195°C	750°C
Termoresistencias	-250°C	850°C
Termistores	-195°C	450°C
Pirómetros de radiación	-40°C	4000°C

Fuente: (Jesús, y otros, 2010)

1.9.1 Termocupla

Las termocuplas son los sensores de temperatura eléctricos más utilizados en la industria. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

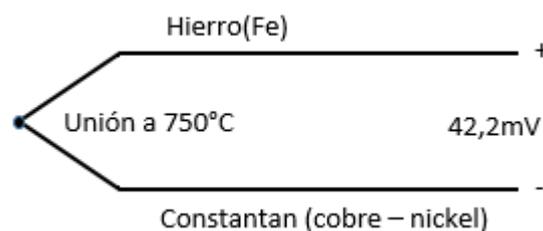


Figura 1.12. Esquema de un termocupla.

Fuente: (Jesús, y otros, 2010)

Estos dispositivos suelen ir encapsulados en vainas, para protegerlos de las condiciones extremas en ocasiones del proceso industrial que tratan de ayudar a controlar, las termocuplas podrían clasificarse atendiendo a varios

criterios como material del que están construidas, su tolerancia o desviación, etc.

Tabla 1.7.

Características principales de termocuplas industriales

ANSI Tipo	Materiales	Temperatura Rango (°F)	Rango Voltaje (mV)
T	Cobre/Constantan	-200 a 400	-5.60 a 17.82
J	Hierro/Constantan	0 a 870	0 a 42.28
E	Cromel/Constantan	-200 a 900	-8.82 a 68.78
K	Cromel/Aluminio	-200 a 1250	-5.97 a 50.63
R	Platino-13% Rodio/Platino	0 a 1450	0 a 16.74
S	Platino-10% Rodio/Platino	0 a 1450	0 a 14.97
C	Tugsteno-5% Renio/Tugsteno-26% Renio	0 a 2760	0 a 37.07

Fuente: (Jesús, y otros, 2010)

1.9.2 Termistores

Más económicos que las RTD son los termistores, aunque no son lineales son muchas más sensibles, compuestas de unas mezclas sintetizadas de óxidos metálicos, el termistor es esencialmente un semiconductor que se comporta como un "resistor térmico". Se pueden encontrar en el mercado con la denominación NTC (Negative Temperature Coeficient) habiendo casos especiales de coeficiente positivo cuando su resistencia aumenta con la temperatura y se los denomina PTC (Positive Temperature Coeficient). Esta elevada sensibilidad a variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150°C a 450°C. Los termistores sirven para la medición o detección de temperatura tanto en gases, como en líquidos o sólidos. A causa de su muy pequeño tamaño, se los encuentra normalmente montados en sondas o alojamientos especiales que pueden ser específicamente diseñados para posicionarlos y protegerlos adecuadamente cualquiera sea el medio donde tengan que trabajar.

1.9.3 Termómetros infrarrojos

Los termómetros Infrarrojos pueden medir la temperatura de un objeto sin tocarlo. Hay muchos casos en los que la medida de temperatura sin contacto es crítica: cuando el objeto medido es pequeño, movable o inaccesible; para procesos dinámicos que requieren respuesta rápida; o para temperaturas mayor a 1000°C, La mayoría de los termómetros más conocidos debe ponerse en contacto directo con la fuente de temperatura, y tiene un rango útil de -100 °C à 1500°C. En contraste, los termómetros infrarrojos determinan la temperatura de la superficie de un objeto interceptando y midiendo la radiación infrarroja emitida. El rango típico de temperatura para estos termómetros es -50°C a 3000°C de un sitio remoto. Las distancias de trabajo pueden variar desde una fracción de centímetro a varios kilómetros en aplicaciones aerotransportadas. La tecnología subyacente para los Pirómetros de Radiación Infrarroja está basada en el principio que dice que todos los objetos emiten radiación a longitudes de onda ubicadas en la región infrarroja del espectro de radiación electromagnética. Los termómetros infrarrojos miden esta radiación y proporcionan una señal de salida calibrada en una variedad de rangos según los requisitos del cliente.

1.9.4 Termoresistencias

La termoresistencias trabaja según el principio de medida que varía la temperatura, su resistencia se modifica, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura. Tienen elementos sensitivos basados en conductores metálicos, que cambian su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Este cambio en resistencia se puede medir con un circuito eléctrico, que consiste de un elemento sensitivo, una fuente de tensión auxiliar y un instrumento de medida. Los dispositivos RTD más comunes están construidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también PRTD, es el material más estable y exacto. La relación resistencia temperatura correspondiente al alambre de platino es tan reproducible que la termoresistencias de platino se utiliza como estándar internacional de temperatura desde - 260 °C hasta 630 °C. También se

utilizan otros materiales fundamentalmente níquel, níquel-hierro, cobre y tungsteno. Típicamente tienen una resistencia entre 20Ω y $20k\Omega$. La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre -200°C y 850°C .

Tabla 1.8.

Rango de temperatura de termoresistencias.

Material	Rango de temperatura $^{\circ}\text{C}$	Variación coef ($\%/^{\circ}\text{C}$ a 25°C)
Platino	-200 a +850	0.39
Níquel	-80 a 320	0.67
Cobre	-200 a 260	0.38
Níquel-acero	-200 a 260	0.46

Fuente: (Jesús, y otros, 2010)

Tabla 1.9.

Cuadro de resumen de tipos de sensores de temperatura.

Sensor	Temp. Mín.	Temp. Máx.	Características	Ventajas	Desventajas
Termocuplas	-200°C	2800°C	<ul style="list-style-type: none"> Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje de $42,2\text{mV}$. 	<ul style="list-style-type: none"> Económicas y muy robustas. Muy fáciles de encontrar en el mercado. Cubren amplios rangos de temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> No tienen una alta precisión ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) No pueden extenderse a más de 10 ó 20 mts del indicador por las interferencias de corriente y por el costo del cable. Su vida útil se reduce considerable al ser expuestas a altas temperatura o a atmósferas oxidantes y reductoras.

CONTINÚA 

Sistemas de dilatación	-195°C 750°C	<ul style="list-style-type: none"> • Estos tipos de medidores tienen partes móviles y partes fijas. • Actuados por líquidos, vapor, gas, mercurio, etc. • No hay necesidad de compensar la temperatura ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los actuados por líquidos para capilares cortos hasta 5 m, sólo hay que compensar el elemento de medición para evitar errores debidos a variaciones de la temperatura ambiente para capilares más largos hay que compensar también el volumen del tubo.
-------------------------------	-----------------	---	---

Termoresistencia	-250°C 850°C	<ul style="list-style-type: none"> • El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica. • Genera una señal eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene un alto coeficiente de resistencia • Alta resistividad. • Relación lineal resistencia-temperatura • Rigidez y ductilidad. • Estabilidad de las características durante la vida útil del material. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se podrán medir temperaturas próximas ni superiores a la de fusión del conductor. • Para poder medir una temperatura determinada con este método es necesario que el sensor esté precisamente a dicha temperatura que evitar, pues, auto calentamientos provocados por el circuito de medida. • Otra limitación a considerar es la posible presencia de deformaciones mecánicas.
-------------------------	-----------------	---	---	---

Termistores	<ul style="list-style-type: none"> • Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de 	<ul style="list-style-type: none"> • La salida de los Termistores se conectan a un circuito puente de Wheatone convencional o a otros circuitos de medida de resistencia. • En intervalos 	<ul style="list-style-type: none"> • La distancia del termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia
--------------------	---	---	---

		valor elevado.	amplios de temperatura,	comparada con la de los cables de unión.
		• Genera una señal eléctrica	los termistores tienen características no lineales.	• Son muy pequeños y el tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor.
	-195°C	450°C	• Al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad	• La corriente que circula a través del circuito debe de ser baja para garantizar que la variación de la resistencia del elemento sea exclusivamente a los cambios de temperaturas del proceso.

			• Miden la temperatura de un cuerpo en función de la radiación luminosa que éste emite.	• Mide la temperatura sin estar en contacto con el cuerpo al cual se le quiere determinar la temperatura.	• El pirómetro dirigido sobre una superficie incandescente no nos dará su temperatura verdadera.
Pirómetros de radiación	-40°C	4000°C	• Genera una Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo		• Hay que tener en cuenta el valor de absorción de la superficie.

1.10 Quemador BAITE BT180LRF

Los quemadores Baite a diésel son apropiados para una variedad de aplicaciones, los quemadores se utilizan principalmente en calderas, hornos de calentamiento de paso, incineradores, máquinas de recubrimiento, maquinaria de fundición a presión, equipos de secado y estufas industriales.

Expedida la certificación ISO9001 sistema de gestión de calidad en 2004, tiene aprobaciones europeas CE para muchas piezas de los quemadores. Mientras tanto, con el principio corporativo de "servir a la industria de la tecnología de la energía térmica global", están mejorando

continuamente todos los modelos de acuerdo a la retroalimentación y la demanda del mercado de los clientes.

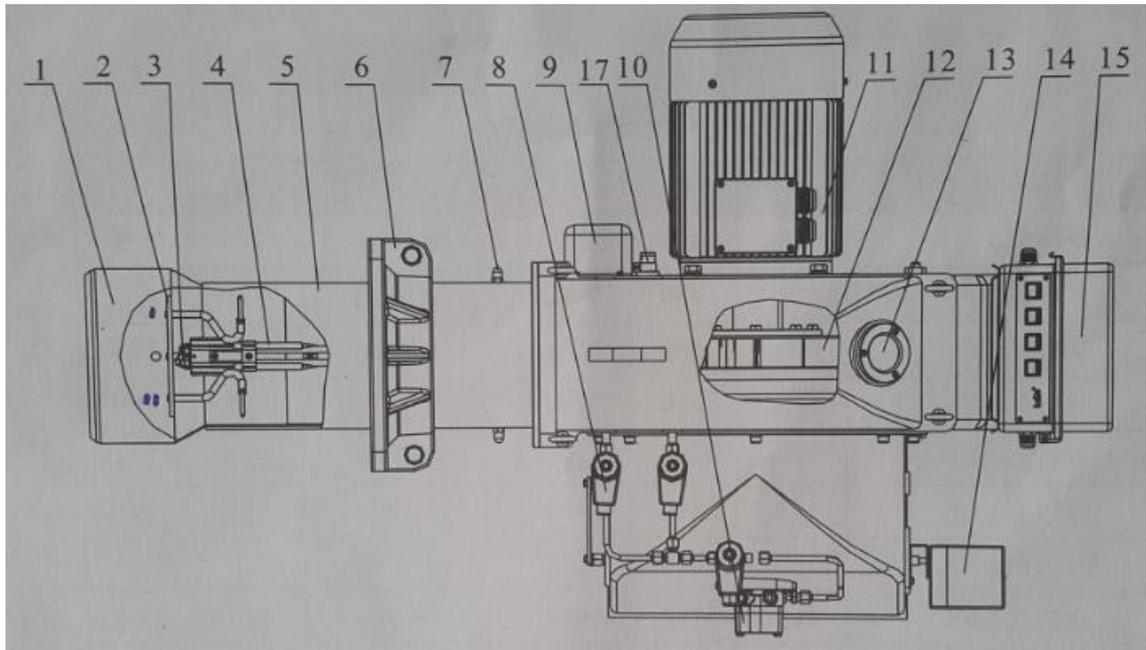


Figura 1.13. Diagrama de partes que compone quemador BT180LRF

Fuente: (Baite, 2012)

1. Cabeza de combustión
2. Swirler
3. Boquilla
4. Electrodo
5. Tubo de fuego
6. Brida de montaje
7. Tornillo de ajuste
8. Válvula de solenoide
9. Transformador de encendido
10. bomba de combustible
11. Motor
12. Ventilador
13. Zona de visualización
14. Servo motor
15. Caja de control.
16. Cilindro hidráulico de la puerta del aire

17. Sensor resistor sensible a la luz

1.11 Controladores Lógicos Programables.

A partir de 1968 se introdujeron los controladores lógicos programables (PLC, de programmable logic controller), o controladores de lógica programable.

La NEMA (National Electrical Manufacturers Association, Asociación nacional de fabricantes eléctricos) Definió al controlador lógico programable como “un aparato electrónico digital que usa una memoria programable para almacenar internamente instrucciones para implementar funciones específicas, como lógicas, secuencias, sincronización, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos digitales o analógicas de entrada y salida, diversas clases de máquinas o procesos”. (Kalpakjian Serope, 2002)

1.11.1 Componentes de los PLC.

Los PLC están formados por cuatro unidades principales como se muestra en la Figura 1.14, memoria de datos, memoria programable, módulos de entradas y módulo de salidas.

- 1. Memoria Programable.** Aquí es donde se guarda la secuencia de programación.
- 2. Memoria de Datos.** Aquí se almacena los datos obtenidos por el PLC como cambios de estado, valores anteriores de variables, etc.
- 3. Módulo de Entradas.** Estos son los controladores para los sensores de los procesos.
- 4. Módulo de salidas.** Sirven para conectar los actuadores de los controladores, como válvulas, motores, etc.

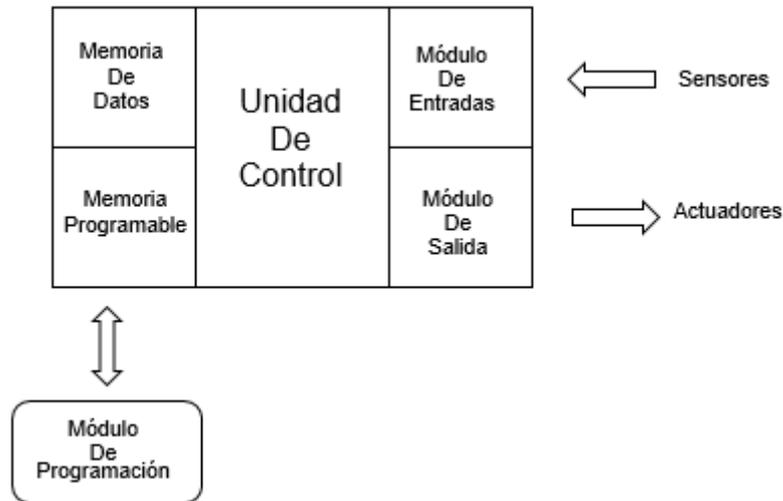


Figura 1.14. Esquematización de un PLC.

Fuente: (Marco Pérez, 2005)

1.11.2 Ventajas e inconvenientes de los PLC's.

1. Ventajas

Fundamentalmente, las ventajas que un PLC ofrece se basan en los siguientes puntos:

- a) Menor tiempo empleado en la realización de proyectos debido a que:
 - No es preciso dibujar esquemas de una forma detallada
 - Al disponer de memoria suficiente para almacenar ecuaciones no simplificadas, no se requiere la simplificación de las ecuaciones lógicas.
 - Se utilizan menos materiales y componentes, con lo que el coste de la instalación es sumamente inferior.
- b) Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir elementos.
- c) Fácil reutilización. En caso de que el proceso controlado por el PLC quede obsoleto, el PLC es útil para incorporarlo a otro proceso.
- d) Ocupación mínima.
- e) Menor coste de mano de obra en la instalación.
- f) Economía en el mantenimiento, ya que es sencillo programar en el propio PLC las causas de malfuncionamiento que eventualmente pueda presentarse.

- g) Incorpora un mínimo de elementos móviles.
- h) Posibilidad de gobierno de varias máquinas e instalación con un mismo autómata.
- i) Menor tiempo de puesta en servicio de la instalación al reducirse el tiempo de ejecución del cableado.
- j) Su constitución y funcionalidad son adaptables al número de elementos necesarios para cada caso de automatización.
- k) Los programas se pueden parametrizar en tiempo de ejecución, por lo que el proceso no debe quedar necesariamente fuera de servicio.

2. Inconvenientes

Debemos señalar que el PLC también posee ciertos inconvenientes tales como:

- a) Se necesita personal especializado en programación de una familia de autómatas o de un fabricante concreto.
- b) Falta de un lenguaje estándar y “universal” de programación.
- c) Alta incompatibilidad entre software y hardware para autómatas de diferentes fabricantes.
- d) Incompatibilidad relativa en comunicaciones entre autómatas, aunque esta desventaja está siendo subsanada en los últimos años mediante la utilización de buses de campo industriales normalizados.
- e) Alto coste inicial (sobre todo si es necesario el uso de autómatas de gama media y alta).
- f) Su utilización no es posible en procesos con constantes de tiempo pequeñas o con señales con transiciones entre niveles lógicos producidas a alta frecuencia. (Domingo, Gámiz, Grau, & Martínez, 2003)

1.11.3 Marcas de controladores lógicos programables.

a) PLC Siemens.

Dentro de los PLC Siemens existe una serie de gama de controladores Lógicos Programables conocida como SIMATIC S7, estos PLC son del tipo modular y su ampliación es flexible ya que solo requiere la conexión con el CPU, dentro de las características que poseen tenemos:

- Permiten ampliaciones.
- Resistencia a la vibración.
- Libre de mantenimiento.
- Escalables.

Dentro de la gama SIMATIC S7 existen varios tipos de controladores que sirven para desarrollar aplicaciones sencillas de control y otros más sofisticados que permiten solucionar problemas complejos en la automatización de procesos, entre los tipos de controladores tenemos: (Siemens, Controladores SIMATIC S7, 2014)

- SIMATIC S7 – 200
- SIMATIC S7 – 1200
- SIMATIC S7 – 300
- SIMATIC S7 – 400
- SIMATIC S7 – 1500

b) PLC Koyo.

Los controladores lógicos programables de la marca Koyo han desarrollado un tipo de etapa de controlador programable llamado KOSTAC PLC, esto permite la programación fácil para los clientes, ya que utiliza un método de programación SFC (Sequential Function Charts) en donde el programador no debe preocuparse por el control de la programación ya que este está automatizado, una ventaja del SFC es que el scan se realiza solo para los estados activos. Dentro de la gama de controladores lógicos programables se tiene los PLC:

- DirectLOGIC 05
- DirectLOGIC 06
- DirectLOGIC 205
- DirectLOGIC 305
- DirectLOGIC 405

De acuerdo al PLC que se utilice se tiene funciones como control PID, I/O digitales y analógicas, entradas para temperatura mediante RTD,

soportan comunicaciones del tipo Profibus, Ethernet y como esclavo DeviceNet. (Koyo, 2013)

c) PLC Allen Bradley

Los controladores lógicos programables ofrecen altas prestaciones al igual que PLC's de otra marca, fueron diseñados para cumplir cualquier tarea de automatización, el primer PLC diseñado por esta marca fue creado en la década de los 70, además poseen certificados de seguridad. Los sistemas de control de altas prestaciones de Allen Bradley ofrecen arquitecturas modulares, un rango de I/O y red, diseñados para control distribuido o supervisión, dentro de estos tenemos:

- GuardLogix 1756.
- ControlLogix 1756.
- SoftLogix.
- GuardPLC.
- PLC – 5.

También existen sistemas de control pequeños los cuales ofrecen características y la flexibilidad que se necesita en aplicaciones medias sin demorarse mucho tiempo en el procesamiento interno. Entre esta gama tenemos dispositivos como:

- CompactLogix.
- GuardLogix 1768.
- SmartGuard 600.
- SLC 500.

Para aplicaciones sencillas existen sistemas de control Micro y Nano que proporcionan soluciones económicas tales como: (Automation, 2014)

- Micro800.
- MicroLogix.

1.11.4 Paneles HMI Basic

Los paneles HMI son pantallas táctiles que permiten monitorear y controlar más de un proceso, ya que en una misma pantalla se puede tener varias ventanas, cada una con las alarmas y botoneras de control respectivo (Ver Figura 1.15)

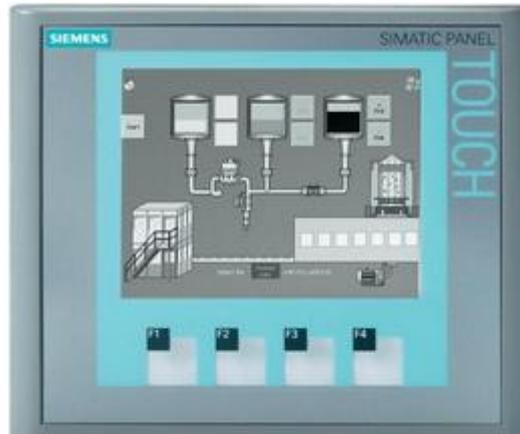


Figura 1.15. Panel SIMATIC HMI KTP400 BASIC MONOCROMÁTICO

Fuente: (Granda & Laines, 2013)

Los SIMATIC HMI Basic Panels se pueden utilizar en cualquier lugar donde se va realizar la operación y el seguimiento de las máquinas y equipos, se utilizan en los más diversos sectores y aplicaciones, tales como en la automatización de fábricas, proceso y la construcción.

1.12 Software para el desarrollo.

STEP7 (TIA PORTAL).

Es un software que permite realizar la programación de los controladores PLC's y la visualización en los paneles HMI's, así como la comunicación entre ellos. El TIA PORTAL ofrece un entorno amigable para la realización de proyectos de control industrial, contando con una vista de proyecto conformada por varias áreas de proyecto, desde las cuales se pueden acceder a los dispositivos necesarios para la realización del proyecto, y a su respectiva configuración.

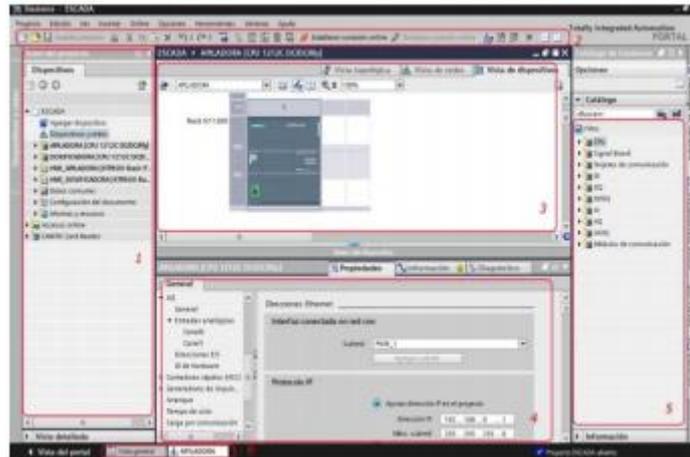


Figura 1.16. Vista de Proyecto del software STEP7 (TIA PORTAL) V11

Fuente: (Granda & Laines, 2013)

- **Árbol del proyecto:** Desde aquí se observan los diferentes dispositivos, se tiene acceso a sus diferentes bloques de programación, y a las variables de cada dispositivo.
- **Barra de herramientas:** En esta barra se encuentran los medios para crear nuevos documentos, guardar archivo, compilar programa, cargar programa, establecer conexión online con los dispositivos conectados a la PC, y emplear el modo de “RUN TIME” para simular el panel operador HMI.
- **Área de trabajo o programación:** Área para la realización de la lógica de programación del controlador PLC, o los paneles HMI's.
- **Ventana de inspección:** En esta ventana se visualiza principalmente las propiedades de los dispositivos y elementos de la programación, desde aquí se asignan direcciones IP a los PLC's y HMI's, así como su conexión a una red determinada. Para las imágenes empleadas en los HMI's se asignan propiedades de movimiento, visibilidad, cambio de colores, etc.
- **Cartas de trabajo (task cards):** Desde aquí se puede incorporar dispositivos controladores como PLC's S7-300, S7-400, módulos de expansión, elementos básicos para la programación desde contactos normalmente abiertos y bobinas hasta contadores y operaciones matemáticas, para la programación de las pantallas se tienen librerías de imágenes básicas, o librerías de imágenes diseñadas por el usuario.

- **Barra editor:** En esta barra se tienen de una manera minimizada las diferentes ventanas con las tareas que se van realizando, como programación de determinados bloques de los diferente PLC's, o bloques de programación de los HMI's, ventanas de: variables, vista de red, etc. **(Granda & Laines, 2013)**

CAPÍTULO II

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se detalla los pasos a seguir para el diseño e implementación del control de temperatura y la correcta utilización del sensor para captar las señales físicas de temperatura del horno secador.

2.1 Parámetros de Diseño.

El proceso a controlar y monitorear es la temperatura del horno secador de la planta de producción de puzolana, para realizarlo se requiere primero identificar los equipos con los que cuenta el horno, realizar también el levantamiento de la información de la maquinaria mediante el uso de planos, el diseño del sistema eléctrico mediante la identificación de la instrumentación, el diseño del HMI atendiendo los requerimientos de los operadores y el diseño del sistema de comunicación entre los sensores y el controlador, la fábrica trabaja actualmente con un quemador a diésel de la marca BAITE BT180LRF, este quemador cuenta con un servo motor con engranajes el cual controla la apertura o cierre de la compuerta de aire, un transformador el cual genera un arco eléctrico entre los electrodos para el encendido del quemador, y un controlador LAL 1.25 el cual actúa sobre las electroválvulas para su activación.

Para enlazar las variables del PLC con el HMI se utilizará Profinet que son protocolos de comunicación posibles con SIMATIC S7-1200.

Al momento de seleccionar el tipo de cable se debe tomar en cuenta el campo magnético generado por muchos equipos, la forma de la planta y la ubicación de la canaleta ya existente con el fin de seleccionar el mejor cable para el correcto funcionamiento de control de temperatura del secador de producto.

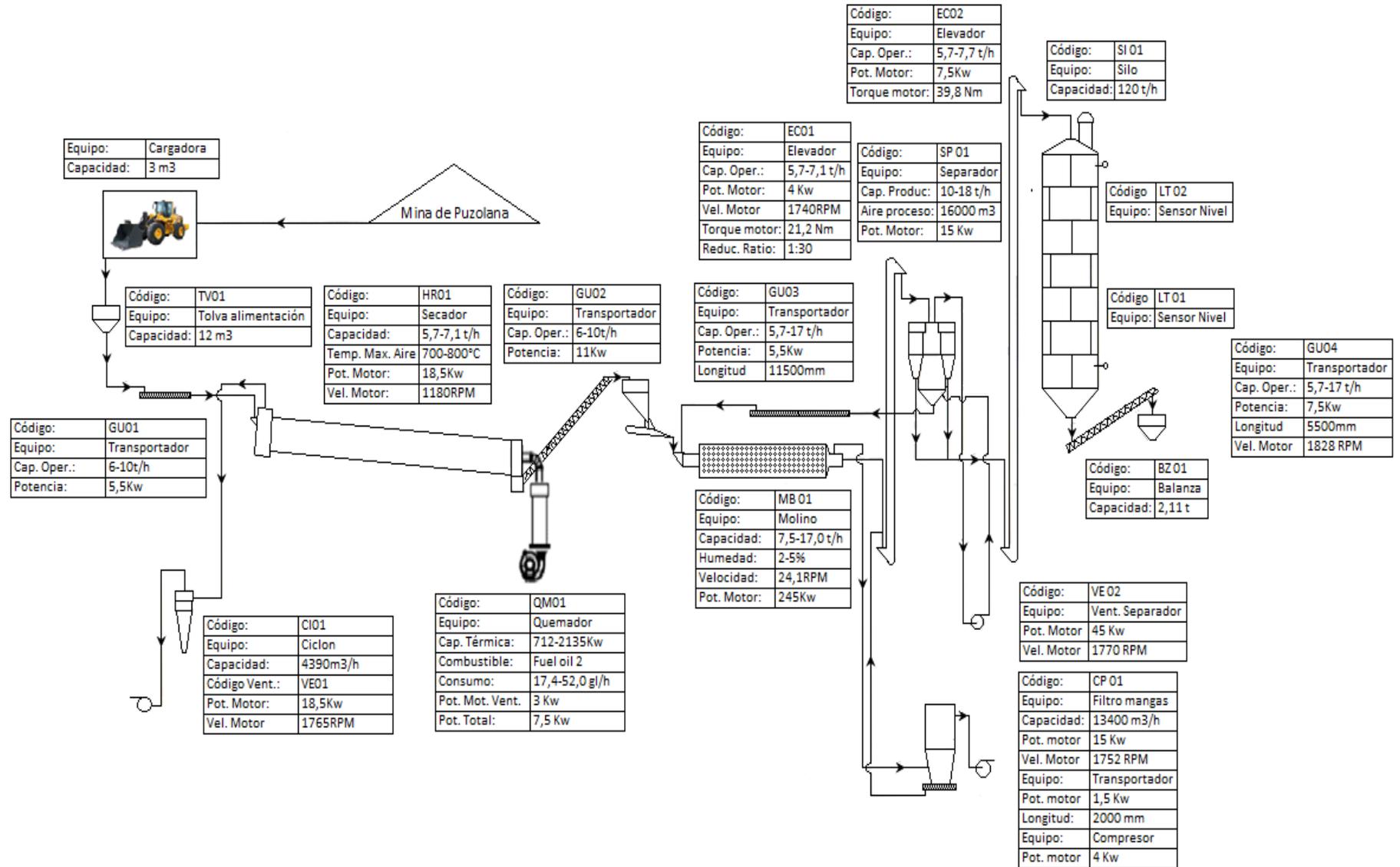


Figura 2.1. Diagrama esquemático Planta de producción de Pozzolana.

2.2 Diseño del sistema.

2.2.1 Diagrama de bloques del proyecto a realizar

En la Figura 2.2 se puede apreciar el esquema del sistema SCADA a ser implementado en la fábrica, que integra el quemador BAITE BT180LRF a un PLC Siemens S7-1200 el mismo que se conecta mediante Profibus DP al panel Touch en donde se encuentra el HMI del controlador.

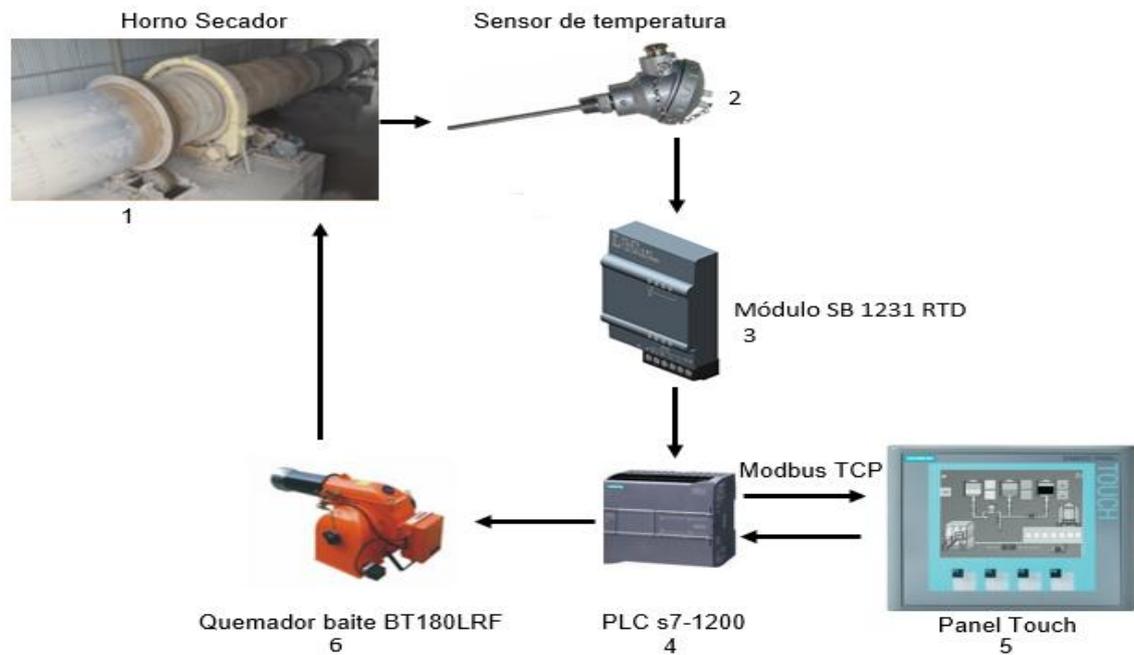


Figura 2.2. Diagrama de bloques para la implementación de un control de temperatura.

En el primer y segundo bloque se encuentra el horno secador a quien se le colocan el sensor en posiciones adecuadas para lograr registrar las señales equivalentes a la temperatura. A continuación la etapa de adquisición de la señal mediante el módulo SB 1231 RTD AI1 x RTD x 16 Bits 6ES7 231-5PA30-0XB0, en la siguiente etapa tenemos el PLC donde se realiza la codificación adecuada para realizar el control necesario, mediante comunicación Ethernet se comunica el PLC con el panel Touch donde se visualizará las señales correspondientes a la temperatura, la comunicación entre el controlador y el Panel es bidireccional puesto que desde el panel Touch también se envía datos al PLC por ejemplo para cambiar el SP, el PLC envía datos de control al quemador baite BT180LRF para activar la

primera o segunda llama dependiendo de la temperatura del secador y los parámetros establecidos en el controlador.

2.2.2 Diseño del Sistema Eléctrico.

En la Figura 2.3 se muestra el diagrama esquemático de la ubicación del horno secador como también del quemador baite BT180LRF y sus respectivas medidas, el cableado del quemador y del sensor se lleva hasta el cuarto de control en donde estará el armario de control, la cantidad de cable a utilizar para las diferentes conexiones del quemador con el armario es de 200 metros de cable calibre # 16 flexible y 30 metros de cable de instrumentación para las conexiones de la RTD y del sensor de llama.

Consideraciones de diseño

- **Aislamiento:** Debido al voltaje de 24 V de corriente continua, el aislamiento del cable es suficiente para este voltaje, pero no elimina los ruidos existentes en el ambiente al cual está sometido.
- **Color:** El color del cable es de acuerdo al diseño ya que con un solo color es probable que se confunda las conexiones, pero con diferentes colores es más fácil la implementación del tendido eléctrico.
- **Puesta a tierra:** Cumplen con estándares de norma de seguridad y entre ellas se encuentra la puesta a tierra.
- **Canaletas:** Se implementa la tubería y canaletas para un mejor tendido de cable. Ya que existe lugares por donde el cable no tenía acceso a una canaleta o un tubo.
- **Distribución del cable:** La distribución de cable se realiza de acuerdo a la ubicación del quemador con respecto al cuarto de control en donde se ubica el tablero, la medidas y la ubicación del quemador como del horno secador dentro de la planta de producción se visualiza en los planos realizados en la Figura 2.3

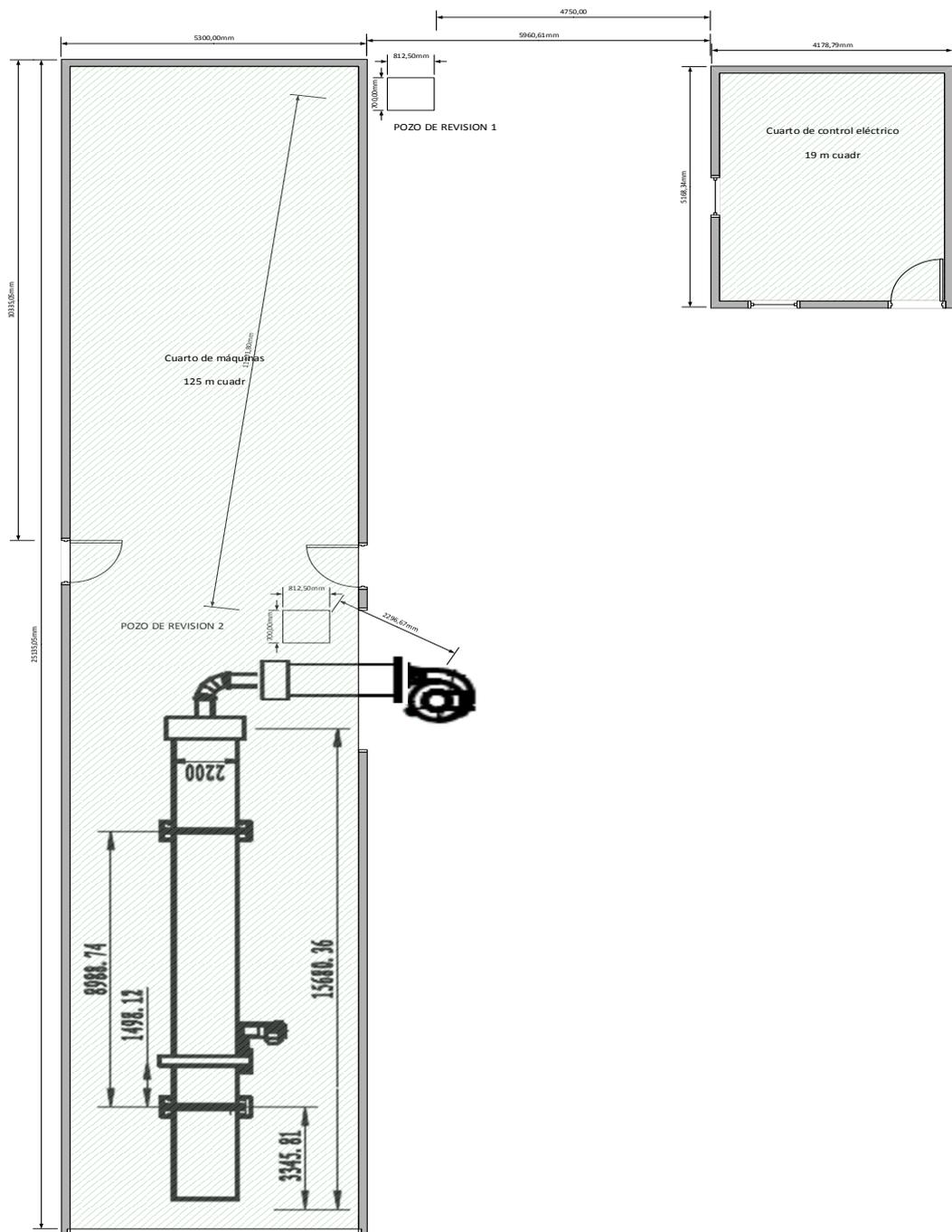


Figura 2.3. Esquema de ubicación del quemador baite BT180LRF, y el horno secador.

2.2.3 Conexión eléctrica

El sistema eléctrico constituye las señales eléctricas que ingresan y salen del PLC, en la Figura 2.4 se muestra la conexión del sensor de temperatura a la entrada del módulo SB1231 RTD, mientras que el sensor de fuego debido a su variación de resistencia se implementa un divisor de tensión para obtener a su salida variación de voltaje, la cual lo acondicionamos a una señal estándar para de esta manera ingresar al PLC por la entrada analógica que posee el controlador.

Las salidas del PLC se conectan a la bobina de 24 VDC de los Relés de control, los cuales nos ayudara a controlar el funcionamiento del quemador según los requerimientos del sistema. Esta conexión se realiza mediante cable que es el encargado de llevar las señales discretas de los diferentes dispositivos.

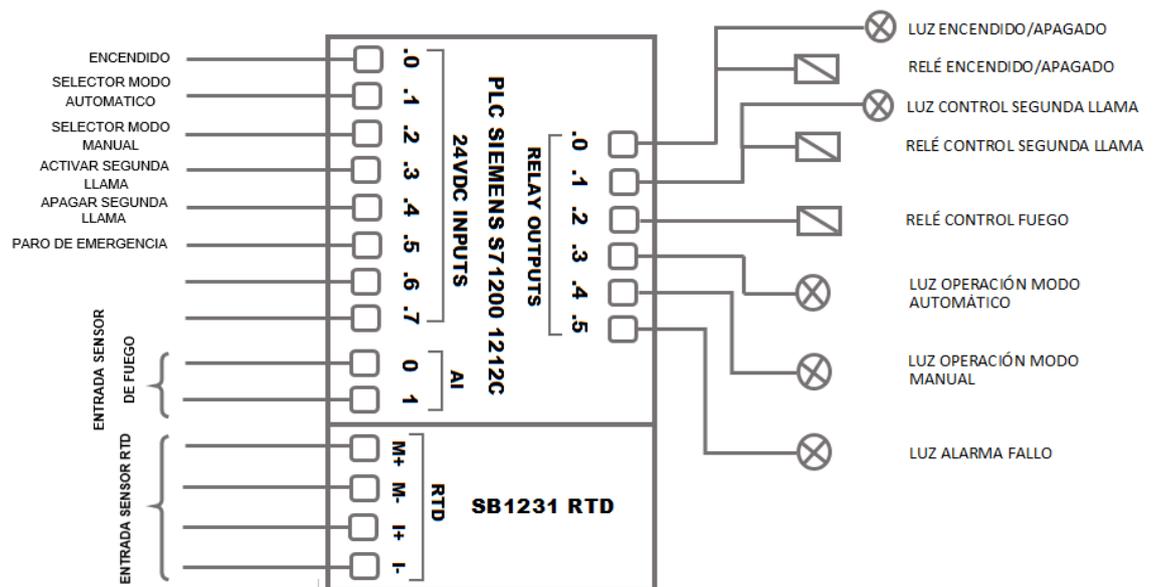


Figura 2.4. Conexión eléctrica del PLC con los diferentes dispositivos

2.2.4 Medición de temperatura

El sistema a utilizar para la medición y control de temperatura en el horno secador de la fábrica será un lazo de control cerrado on/off con histéresis, debido a que la variación de temperatura en el sistema es lenta y según los requerimientos técnicos de laboratorio de pruebas, la temperatura debe mantenerse en un rango de 60 a 80° C, dadas estas condiciones de rango este tipo de control brinda una operación óptima.

Además el tablero dispondrá de selectores, con la cual podemos seleccionar el modo de operación, ya sea modo manual o modo automático como vea conveniente el técnico.

La medición de temperatura se realizara mediante un sensor RTD pt100 debido a su robustez y las condiciones a la que estará sometido, considerando además que el sensor presenta ventajas al operar con PLC siemens s71200 y la tarjeta de adquisición SB 1231 RTD.

Debido a la distancia de la ubicación del sensor y el tablero de control la ventaja que la RTD brinda con respecto a la termocupla es que la RTD nos da una salida resistiva por lo cual podemos emplear en una mayor distancia además, se evita en los puntos de conexión se generen termocuplas parásitas, mientras que la termocupla nos da una señal en el orden de los milivoltios, lo cual la medición estará propensa a errores y distorsiones debido a grandes ruidos y campo magnéticos generados por maquinas instaladas

Para la medición de temperatura se colocará el sensor en el horno secador, en la parte inferior izquierda de caída del material hacia el tornillo sin fin el cual transportará el material hacia el molino.

2.2.5 Conexión de sensor al módulo SB 1231 RTD

De acuerdo al manual del módulo SB 1231 RTD, la conexión del sensor al módulo se realiza de la siguiente manera.

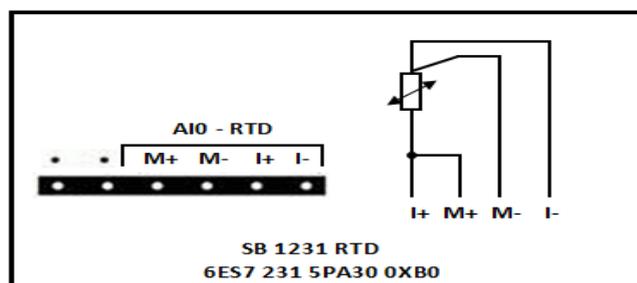


Figura 2.5. Conexión de sensor al módulo

Fuente: (Bizorg, 2015)

2.3 Diseño del tablero de control

El tablero de control estará ubicado en un sitio adecuado de manera que:

- Brinde el espacio suficiente para la conexión de diferentes dispositivos.
- Acceso hacia el tablero del personal de operaciones para comandar mandos manuales o ajustar parámetros en modo automático.
- Espacio adecuado para el monitoreo del proceso.
- Mantener la estética del cuarto de control.

La estructura del tablero vista desde la parte frontal es la siguiente:

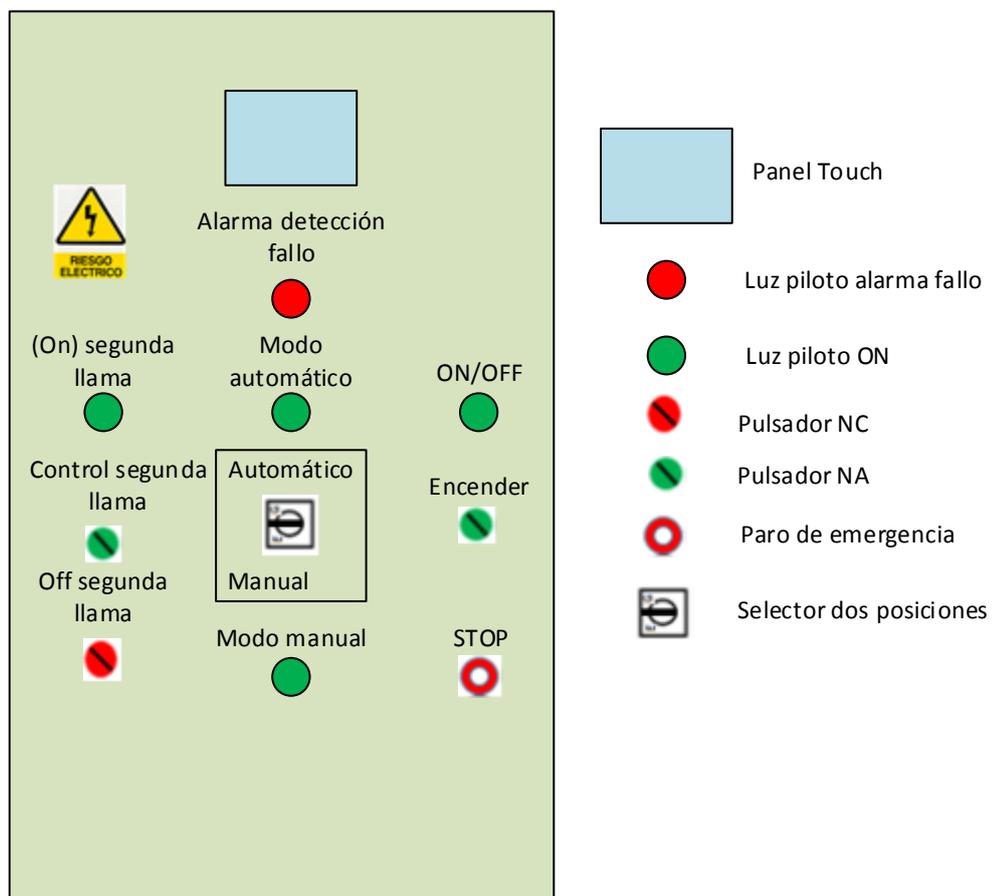


Figura 2.6. Diseño de tablero de control

En el tablero tenemos un selector el cual permite elegir el tipo de operación ya sea automático o manual, según los requerimientos del operador de la fábrica.

También disponemos de un indicador de fallo, esta luz piloto se activa cuando el quemador después de activar el transformador para la generación de un arco eléctrico no ha llegado a encender, en este caso se apagado todo el sistema hasta revisar la avería o la falla que ocasionó que el quemador no se encienda.

En el tablero tenemos las luces piloto de color rojo y verde para indicar la función que está realizando el quemador.

También se tiene un pulsador para el encendido del sistema, pulsadores para la activación y desactivación de la segunda llama en el caso de estar operando en modo manual, y el panel touch que nos permite ingresar, modificar parámetros y lo más importante supervisar el proceso.

2.4 Implementación del armario eléctrico

A continuación se detalla las partes necesarias para la construcción del armario eléctrico para el proceso de control de temperatura, para lo cual se utilizara los siguientes equipos y materiales: PLC Siemens S7-1200 AC/DC/RELÉ , HMI KTP 400 Basic mono PN, Módulo para RTD SB 1231 RTD, fuente de voltaje de corriente continua de 24VCD, breaker de protección, luz piloto a 24 VCD, selectores, pulsadores, botonera de paro de emergencia, así como también las dimensiones y capacidades de los elementos, a continuación se describe la selección de materiales y la construcción de las partes correspondientes, para cumplir con los requerimientos de facilidad en su operación y su correcto funcionamiento.

2.4.1 Dimensiones del armario eléctrico.

La base del armario eléctrico está construida con Angulo de 1 pulg x 3/16 pulg, las mediadas del armario metálico es de 60 x 40cm.

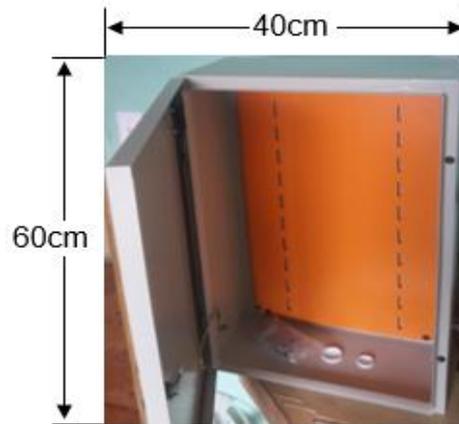


Figura 2.7. Dimensiones de armario eléctrico

2.4.2 Requerimientos para el diseño del tablero de control.

Se ha seleccionado los siguientes elementos con la finalidad de que el manejo sea lo más amigable posible con los operadores. A continuación se detalla cada uno de ellos.

2.4.3 PLC Simatic S7- 1200 – Cpu 1212 Ac/Dc/Relé Siemens

El controlador compacto Simatic S7-1200 Siemens es un modelo modular y compacto ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización que requieren funciones simples o avanzadas para lógica, HMI o redes que se quieran ejecutar. Posee ocho entradas digitales, 2 entradas analógicas y seis salidas.

Gracias a su diseño compacto, bajo coste, disponibilidad en el mercado y sus potentes funciones los sistemas de automatización S7-1200 son idóneos para controlar distintas tareas.



Figura 2.8. PLC Siemens S7-1200

Fuente: (Siemens, Controladores SIMATIC S7, 2014)

Tabla 2.1.

Datos Técnicos, SIMATIC S7-1200, CPU 1212C

SIMATIC S7-1200, CPU 1212C	
Alimentación	
Voltaje de alimentación	85 VAC - 264 VAC
Paquete de programación	STEP 7 V13
Voltaje de carga L+	
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	5V
Rango admisible, límite superior (DC)	250V
Corriente de Entrada	20A; a 264 VAC
Consumo de corriente nominal	80mA a 120VAC; 40mA a 240VAC
Potencia	11W
Memoria	
Memoria útil para datos de usuario	75 Kbyte
Memoria de trabajo integrada	50Kbyte
Memoria de carga integrada	1Mbyte
Entrada (SIMATIC Memory Card), máx.	2 Gbyte; con tarjeta de memoria SIMATIC
Configuración de Hardware	
Número de módulos por sistema, máx.	3 comm módulo, 1 signal board, 2 signal módulos
Entradas Digitales	
Número de entradas digitales	8; integradas
Entrada de voltaje	
Valor nominal, DC	24 V
Salidas Digitales	
Número de salidas digitales	6; Relé; integradas
Capacidad de cierre para las salidas	
Con carga resistiva, máx.	2A
Entradas Análogas	
Canales integradas (AI)	2; 0 a 10 V
Comunicación:	Profinet

Fuente: (Siemens, datasheet 6ES7212-1BE40-0XB0, 2014)

2.4.4 Panel HMI KTP 400 basic mono PN monocromático

El panel HMI KTP 400 basic mono PN monocromático ubicada en el panel de control permite al operador o supervisor controlar y monitorear el proceso de forma sencilla.

El panel además del manejo táctil dispone de teclas de funciones a las que se puede signar funciones de manejo individual.



Figura 2.9. Panel SIMATIC HMI KTP400 BASIC MONOCROMÁTICO

Tabla 2.2.

Datos Técnicos, SIMATIC HMI KTP400 basic.

Características	SIMATIC HMI KTP 400 basic monocromático
Voltaje de alimentación	25V
Consumo de corriente	0,35A
Disipación de potencia	9W
Display	4.3" TFT, 64K colores
Resolución	480 x 272 pixeles
Control de elementos	Touch screen / 4 teclas de control libremente configurables.
Memoria usuario	10 MB
Interfaces	1 x RJ 45 Ethernet para PROFINET / 1 x USB host
Grado de protección	IP 65, NEMA 4x (frontal) / IP 20 atrás
Panel frontal	141 x 116 mm (W x H)
Profundidad	43 mm
Software de configuración	WinCC Basic (TIA Portal) V13 o superior

Fuente: (Siemens, KTP400_20Basic, 2015)

2.4.5 Módulo de señal para RTD SB 1231 RTD

Debido a que se instalaron sensores de temperatura PT100 de tres hilos fue conveniente utilizar módulo de señal SB 1231 RTD AI1 x RTD x 16 Bits 6ES7 231-5PA30-0XB0 disponible en Siemens evitando de esta manera utilizar cualquier tipo de acondicionamiento para tomar lectura del sensor es decir, los hilos del sensor se conectaron directamente al respectivo módulo.



Figura 2.10. Módulo de señal para RTD

Fuente: (Siemens, katalog_6ES7231_5QA30_0XB0, 2015)

Tabla 2.3.

Datos Técnicos, Módulo de señal SB 1231 RTD.

SB 1231 RTD AI1 x RTD x 16 Bits	
Modelo	SB 1231 RTD AI1 x RTD x 16 Bits
Referencia MLFB	6ES7 231-5PA30-0XB0
Pérdidas	0,5 W
Consumo (bus SM)	5Ma
Consumo 24 VDC	20mA
Número de entradas	1
Tipo	RTD
Resolución	
Resistencia	15 bits más signo
Tensión máxima de ensayo	± 35 V
Supresión de perturbaciones	85 dB para el filtro seleccionado 10 / 50 / 60 / 400 Hz

CONTINÚA 

Impedancia	$\geq 1 \text{ M ohm}$
Disipación máxima del sensor	0,5 mW
Principio de medición	Integrador
Longitud del cable	100 metros hasta el sensor máximo.
Resistencia del cable	20 Ω , 2.7 Ω para 10 Ω RTD máx.
Diagnóstico	
Alarma de rebase por exceso	Sí
Alarma de rotura de hilo	Sí
Alarma de baja tensión 24 VDC	Sí

Fuente: (Siemens, katalog_6ES7231_5QA30_0XB0, 2015)

2.4.6 Fuente “LOGO Power” entrada 100/240VAC 24VDC-1.3A

Como fuente de alimentación de corriente directo necesario para el PLC y panel touch utilizaremos la fuente LOGO power que suministra energía de 24VDC a 1.3A el cual ofrecen un mayor rendimiento en el menor espacio, el rango de temperatura de funcionamiento es de $+70^\circ \text{C}$. Las fuentes de alimentación pueden utilizarse en una serie de aplicaciones por ejemplo, en tableros de distribución, alimentación de dispositivos entre otros.



Figura 2.11. Fuente “LOGO Power” entrada 100/240VAC 24VDC-1.3A

Fuente: (Siemens, Controladores SIMATIC S7, 2014)

Tabla 2.4.

Datos Técnicos, Fuente “LOGO power”

Fuente “LOGO power” entrada 100/240VAC 24VDC	
Voltaje de alimentación	100/240 VAC
Voltaje de entrada mín.	264 VAC
Rango de frecuencia	50/60 Hz
Consumo de corriente	0,35 - 0,7 A
Tensión nominal de salida	24 VDC
Ajuste de la tensión de salida	22,2 - 26,4 A
Corriente nominal de salida	1,3 A
Temperatura ambiente mínima	-20°C
Temperatura ambiente máxima	70° C
Protección	IP20

Fuente: (Siemens, logo_power, 2010)

2.4.7 Sensor de temperatura RTD PT100

El sensor a emplear para la medición de temperatura será una RTD PT100 de tres hilos lo cual brindará una variación de resistencia dada por la variación de temperatura, este sensor permite manejar temperaturas comprendidas entre -70°C a 400°C Valores que se encuentran en el rango al cual se pretende controlar la temperatura de horno secador.



Figura 2.12. Sensor de temperatura RTD PT100 tres hilos

Fuente: (INGECO, 2013)

Tabla 2.5.
Datos Técnicos, RTD pt100 3 hilos.

RTD pt100 de 3 hilos	
Tipo de sensor	Resistencia de platino 100Ω a 0°C
Rango de t° operativo	-70°C - 400°C
Material de cuerpo	Incomel 600
Exactitud	0,5°C
Aplicación	Diseñado para aplicaciones con altas vibraciones
Conexión	3 cables
Coeficiente	0,00385
Tolerancia	+/- .12% a 0°C

Fuente: (INGECO, 2013)

2.4.8 Sensor de fuego Siemens QRB1A-A050B40A

El sensor de fuego siemens QRB1A-A050B40A es un detector Foto resistivo para uso con controles de los quemadores de Siemens, para la supervisión de llamas de combustión en el espectro de luz visible.

El QRB1A-A050B40A se utiliza principalmente en relación con los controles de quemador de Diésel en funcionamiento intermitente. Este sensor se utilizará para supervisar la llama en el horno secador una vez encendida el quemador.

El elemento sensible a la luz es una resistencia eléctrica cuya foto oscura de resistencia se encuentra en la gama MΩ. Como la intensidad de la luz aumenta, la resistencia eléctrica se reduce a la gama y es kΩ, Lo cual es evaluado por el controlador del quemador para la generación de la señal de llama.



Figura 2.13. Sensor de fuego siemens QRB1A-A050B40A

Fuente: (Siemens, flame detector QRB1, 2015)

Tabla 2.6.

Datos Técnicos, Sensor de fuego siemens QRB1A-A050B40A.

Sensor de fuego siemens QRB1A-A050B40A	
Grado de protección	PI40
clase de seguridad	II
QRB1	Alambre de cobre trenzado 2 x 0,75 mm ² Chaqueta de 5,2 mm de diámetro., PVC
Peso	Aprox. 20...35 g
Rango de temperatura	-20...+60°C
Humedad	<95 % r.h.
Rango de resistencia con Llama	MΩ
Rango de resistencia sin Llama	KΩ

Fuente: (Siemens, flame detector QRB1, 2015)

2.4.9 Relé de control Camsco MY2 24 VDC

La salida de control del PLC se conectará al Relé MY2 a 24VDC de dos contactos marca Camsco para activar o desactivar sus contactos con la cual controlaremos el encendido del quemador, activar la segunda llama, activar contacto de detector de llama. Tomando en cuenta estas consideraciones comercialmente se tiene.



Figura 2.14. Relé MY2 Camsco 24VDC

Fuente: (Camsco, 2015)

Tabla 2.7.

Datos Técnicos, Relé de control MY2 Camsco 24VDC.

Relé de control MY2 Camsco 24VDC	
Marca	Camsco
Tipo	Electromagnético
Voltaje de bobina nominal	24VDC
Voltaje AC de contacto	10A / 220 VAC
Voltaje DC de contacto	10A / 24 VDC
Corriente máx.	10 ^a
Tensión conmutada	máx 125 VDC, máx 250 VAC
Voltaje min. De bobina	19,2VDC
Temperatura de operación	-55.....70°C
Tiempo de operación	20ms
Corriente de bobina	37,7mA
Consumo de energía de la bobina	0,9W

Fuente: (component, 2015)

2.4.10 Selector de tres posiciones

El selector de tres posiciones utilizaremos para seleccionar el modo de operación ya sea modo automático o manual dependiendo de su necesidad. En su lado superior se destina la activación para trabajar en modo automático, mientras que el lado inferior se usa para activar el modo manual, esto permite cambiar de operación en caso de que alguna de ella falle.



Figura 2.15. Selector de tres posiciones Camsco

Fuente: (Camsco, 2015)

Tabla 2.8.

Datos Técnicos, Selector de tres posiciones Camsco.

Selector tres posiciones	
Marca	Camsco
Voltaje	110 - 240V
Corriente	14 A
Color	Negro
Contactos	1NA+1NA

Fuente: (Camsco, 2015)

2.4.11 Pulsadores

Los pulsadores verdes utilizaremos para el encendido del quemador y activar la segunda llama en caso de trabajar en modo manual, mientras que el rojo, para apagar la segunda llama en caso de trabajar en modo manual.



Figura 2.16. Pulsador marca Camsco

Fuente: (Camsco, 2015)

Tabla 2.9.

Datos Técnicos, Pulsador Camsco.

Pulsador marca Camsco		
Marca	Camsco	Camsco
Modelo	FPB-BA1	FPB-BA1
Color	Verde	Rojo
Contactos	1 NA	1NC

Fuente: (Camsco, 2015)

2.4.12 Paro de emergencia

Consta de un contacto normalmente cerrado, este interruptor de emergencia permite apagar el quemador y bloquear el sistema de control permitiendo actuar directamente sobre el control en caso de emergencia, para accionarlo únicamente hay que pulsarlo, en cambio para reiniciarlo hay que rotarlo en el sentido de las flechas.



Figura 2.17. Pulsador Paro de emergencia con retención

Fuente: (Camsco, 2015)

Tabla 2.10.

Datos Técnicos, Pulsador paro de emergencia.

Pulsador paro de emergencia con retención.	
Marca	Camsco
Modelo	LMB-ES5
Color	Rojo
Contacto	1NC
Voltaje	400V
Corriente	10A

Fuente: (Camsco, 2015)

2.4.13 Luz piloto de 24VDC Camsco

Los focos de 24VDC de color verde y rojo representan las salidas el cual permite una mejor visualización de acuerdo a la programación ejecutada en el PLC S7-1200.



Figura 2.18. Luz piloto 24 VDC Camsco

Fuente: (Camsco, 2015)

Tabla 2.11.

Datos Técnicos, Luz piloto 24 VDC Camsco.

Luz piloto 24 VDC Camsco		
Marca	Camsco	Camsco
Modelo	AD16-16D/S	AD16-16D/S
Color	Verde	Rojo
Voltaje de operación	AC/DC 24V	AC/DC 24V

Fuente: (Camsco, 2015)

Tabla 2.12.

Luces indicadoras en el sistema.

Luz	Función
Verde	<ul style="list-style-type: none"> - Quemador y sistema de control encendido - Indicación modo automático - Indicación modo manual - Encendido segunda llama
Roja	Alarma sensor de llama (Cuando la llama se apaga)

2.4.14 Interruptores automáticos magneto térmico

El interruptor automático modular en carril DIN utilizamos para proteger las instalaciones en el tablero de sobrecargas y cortocircuitos, garantizando fiabilidad y seguridad para las operaciones de control.



Figura 2.19. Interruptores automáticos magneto térmico.

Fuente: (ABB, 2013)

Tabla 2.13.

Datos Técnicos, Interruptores automáticos magneto térmico.

Interruptores automáticos magneto térmico	
Tipo de voltaje	AC
Grado de protección	IP20
Número de polos	2
Capacidad de carga nominal de cortocircuito EN 60898	4,5kA
Corriente nominal	6A
Frecuencia	50/60Hz
Voltaje nominal	230V

Fuente: (ABB, 2013)

2.4.15 Regleta de conexión

Las regletas utilizadas en el cableado del panel de control facilitan la unión eléctrica entre los conductores 18AWG flexible, de las entradas y salidas del PLC Siemens S7-1200 y demás dispositivos.



Figura 2.20. Regleta de conexión

2.4.16 Riel DIN

El carril DIN es una barra de metal normalizada. Se utilizará en el tablero para el montaje de elementos que se utilizará para realizar el control de temperatura como son los elementos electrónicos de control, protección y mando.



Figura 2.21. Riel DIN

2.5 Armado de tablero

2.5.1 Distribución del espacio en el tablero.

Una vez adquirido todos los materiales se inicia con el ensamblaje del tablero de control tomando en cuenta el espacio físico, de manera que exista una simetría y el espacio necesario para manipular cada uno de los elementos.



Figura 2.22. Tablero de control con espacio distribuido

2.5.2 Sujeción de Rieles y Canaletas

Una vez realizada la distribución del tablero para la colocación de los elementos se procede a colocar los rieles y canaletas de modo que encajen de manera adecuada dentro de la distribución realizada anteriormente.



Figura 2.23. Ubicación de Rieles y Canaletas

Una vez realizada las perforaciones necesarias se procede a sujetar los rieles y canaletas con pernos y tuercas, esto brindara una mejor estética y firmeza a la base del tablero lo cual evitara que los cables y dispositivos a utilizar se muevan o se caigan.

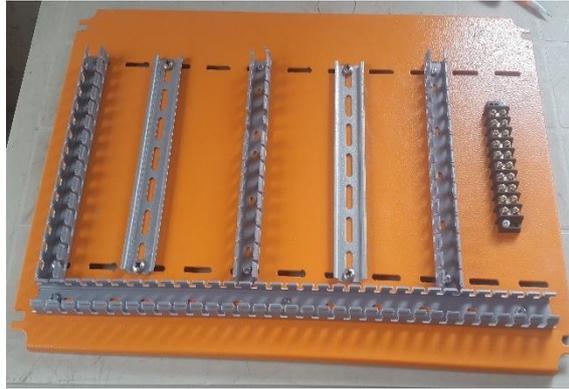


Figura 2.24. Base del tablero con rieles y canaletas instaladas

2.5.3 Ubicación de los equipos

Una vez realizada la sujeción de rieles y canaletas se ubica los elementos de acuerdo a las necesidades requeridas, con la ayuda del riel din, los elementos que se van a ubicar contienen un anclaje específica para el riel, lo cual colocando su extremo superior y aplicando una presión leve en la parte inferior se logra la correcta ubicación y la sujeción de cada elemento.



Figura 2.25. Ubicación de los elementos en el tablero.

En la parte frontal del tablero de control también se ubica los elementos de mando y señalización, como son el panel touch, selectores y luz piloto, esta sujeción se realiza a cada elemento de acuerdo al diseño del mismo.



Figura 2.26. Elementos fijos en la parte frontal del tablero.

2.5.4 Cableado de los elementos

Se procede al cableado del tablero de control, para ello se utiliza los planos de control diseñada anteriormente con las numeraciones establecidas en el diseño. En el proceso de cableado los terminales de cada cable se poncha con terminales tipo puntera para mayor seguridad y facilidad de conexión según sea conveniente.

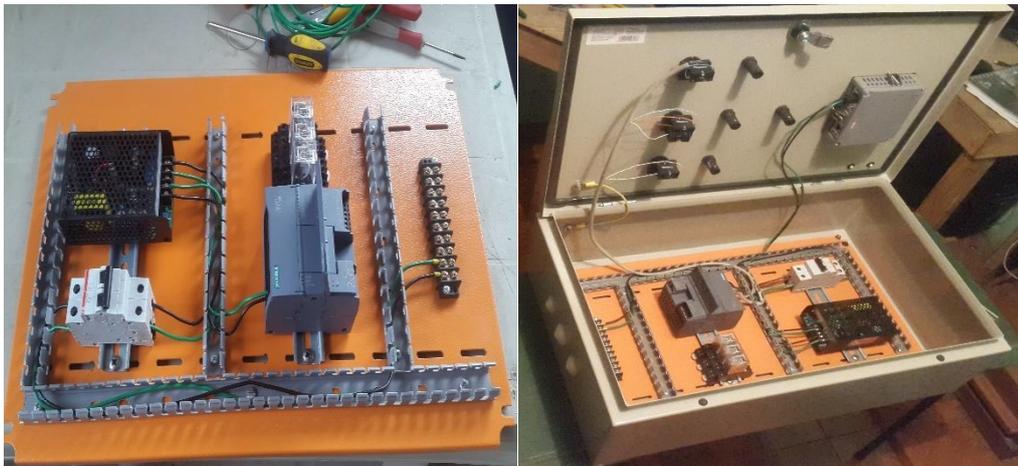


Figura 2.27. Tablero de control cableado

2.5.5 Pruebas de continuidad del armado.

Una vez realizado el cableado de todos los equipos se procede a realizar las respectivas pruebas, Primero se verifica continuidad entre las líneas de alimentación para evitar que se quemen los equipos por causa de un corto circuito, luego se verifica continuidad de cada dispositivo instalado para cerciorar que las conexiones se han hecho de una manera correcta.

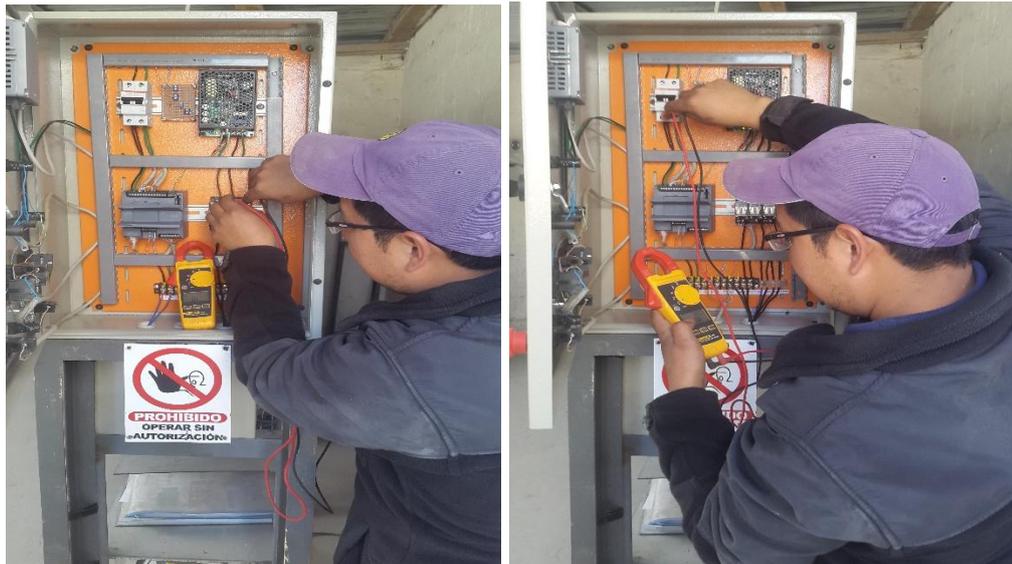


Figura 2.28 Pruebas de continuidad en tablero.

2.6 Diseño de las instalaciones

A continuación se especifica las principales consideraciones técnicas de diseño para la implementación del tendido eléctrico.

2.6.1 Dimensionamiento del cable

Los parámetros técnicos de relé que se van energizar son:

Tabla 2.14.

Datos Técnicos, Parámetros a controlar.

Parámetros	Voltaje de activación del Relé	Voltaje de trabajo	Consumo de corriente
Encendido quemador	24VDC	220VAC	0,36
Activación segunda llama	24VDC	220VAC	0,06
Activación sensor	24VAC	220VAC	0,05

A continuación se utiliza la siguiente tabla de características de conductores, para buscar el más adecuado.

Tabla 2.15.

Características de cables de cobre, tipos TF y TW

Calibre AWG o MCM	Conductor			Espesor de Aislam. mm	Diámetro exterior aprox. mm	Peso total aprox. Kg/km	Capacidad		Denominaci ón CABLEC	TIPO
	Sección Aprox. mm ²	Diámetro Aprox. mm	Peso Aprox. Kg/Km				*	**		
							Amp	Amp		
18 Sol	0,8	1,02	7,32	0,76	2,54	13,7	6		Quito	TF
16"	1,3	1,29	11,62	0,76	2,81	19	8		Quito	TF
14"	2,1	1,36	18,55	0,76	3,15	27,1	15	20	Quito	TW
12"	3,3	2,05	29,34	0,76	3,57	39,3	20	25	Quito	TW
10"	5,3	2,59	46,84	0,76	4,11	58,7	30	40	Quito	TW
8"	8,4	3,26	74,2	1,14	5,54	97,5	40	60	Quito	TW
6"	13,3	4,11	118,2	1,52	7,15	158,1	55	80	Quito	TW
8 7 h	8,4	3,69	75,85	1,14	5,97	104,4	40	60	Ambato	TW
6"	13,3	4,65	120,6	1,52	7,69	169,5	55	80	Ambato	TW
4"	21,1	5,88	190,58	1,52	8,92	250,2	70	105	Ambato	TW
2"	33,6	7,41	302,66	1,52	10,45	377,5	95	140	Ambato	TW
1/0"	53,5	9,36	485,01	2,03	13,42	603	125	195	Ambato	TW
2/0"	67,4	10,5	611,4	2,03	14,56	744	145	225	Ambato	TW
3/0"	85	11,79	771	2,03	15,85	920,9	165	260	Ambato	TW
4/0"	107,2	13,26	972,3	2,03	17,32	1143	195	300	Ambato	TW

* Capacidad de conducción para no más de 3 conductores en Conduit, bandeja, cable o directamente enterrado a temperatura ambiente 30°C
** Capacidad de conducción para un conductor en aire a temperatura ambiente de 30°C

Fuente: (Disensa, 2015)

Entonces, tomando en cuenta el ambiente de la fábrica a la cual se trabaja y evitando en lo mayor posible las caídas de tensión se ha estimado utilizar el conductor N° 16 AWG.

Para calcular la caída de tensión en el conductor se emplea la siguiente formula:

$$\Delta V = 2 * \frac{\rho * l}{s} * I \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Dónde:

ρ = Resistividad del conductor.

l = longitud del conductor (m)

s = sección del conductor (mm^2)

I = corriente que circula en el conductor.

A continuación se detalla las distancias de conductores que se utilizó para conectar los contactos de relé del cuarto de control con el quemar Baite.

Tabla 2.16.

Distancia tablero de control a parámetros del quemador.

Destino	Distancia
Encendido Quemador	30 m
Control segunda llama	30 m
Control sensor llama	30 m

Cálculo de caída de tensión hacia el encendido/apagado del Quemador.

$$L=30 \text{ metros} \quad \rho = \frac{1}{50} \Omega * mm^2 / m$$

Aplicamos la $\Delta V = 2 * \frac{\rho * l}{s} * I$ Ecuación 2.1

$$\Delta V = 2 * \frac{1}{50} * \frac{\Omega * mm^2}{m} * \frac{l}{s} * I$$

$$\Delta V = \frac{1}{25} * \frac{\Omega * mm^2}{m} * \frac{30m}{1.3mm^2} * 0.28A$$

$$\Delta V = 0,25V$$

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_{ff}} * 100$$

$$\Delta V\% = \frac{0,25V}{220V} * 100$$

$$\Delta V\% = 0,11\%$$

Cálculo de caída de tensión hacia el control segunda llama.

$$L=30 \text{ metros} \quad \rho = \frac{1}{50} \Omega * mm^2 / m$$

$$\Delta V = 2 * \frac{1}{50} * \frac{\Omega * mm^2}{m} * \frac{l}{s} * I$$

$$\Delta V = \frac{1}{25} * \frac{\Omega * mm^2}{m} * \frac{30m}{1.3mm^2} * 0.06A$$

$$\Delta V = 0,055V$$

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_{ff}} * 100$$

$$\Delta V\% = \frac{0,055V}{220V} * 100$$

$$\Delta V\% = 0,025\%$$

Cálculo de caída de tensión hacia el control sensor llama.

$$L=30 \text{ metros} \quad \rho = \frac{1}{50} \Omega * mm^2 / m$$

$$\Delta V = 2 * \frac{1}{50} * \frac{\Omega * mm^2}{m} * \frac{l}{s} * I$$

$$\Delta V = \frac{1}{25} * \frac{\Omega * mm^2}{m} * \frac{30m}{1.3mm^2} * 0.05A$$

$$\Delta V = 0,046V$$

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_{ff}} * 100$$

$$\Delta V\% = \frac{0,046V}{220V} * 100$$

$$\Delta V\% = 0,020\%$$

De acuerdo a los cálculos realizados en el tramo de control de encendido y apagado del quemador existe una caída de tensión de 0,11% lo cual no representa ningún problema, en los otros dos controles la caída de tensión no llega ni al 1% lo cual nos asegura que no existirá ningún problema.

Cabe mencionar que los conductores utilizados para controlar los parámetros del quemador son 16 AWG flexible, mientras que para la adquisición de datos del sensor de temperatura y de llama se utilizó cable

para control debido a las interferencias propias de la planta y por el ruido generado por el molino de bolas y demás equipos instalados.

2.6.2 Dimensionamiento de la tubería

El tendido eléctrico en el interior de cuarto de control es a través de canaletas debidamente distribuidas, en la parte exterior el tendido eléctrico es subterráneo, la tubería a emplearse para para la conexión de los elementos de control es la tubería PVC de 3 pulgadas.

En la parte exterior la tubería está enterrada a una profundidad de 60cm con cajas de revisión en ciertos puntos, estas cajas de revisión ya existen, mediante la cual conectan ciertos puntos para la operación de las máquinas de producción, la cual facilitara el tendido de los conductores y revisión del mismo.

Para la conexión de sensores de temperatura y llama el cableado será aéreo debido a la facilidad y menos distancia hasta el cuarto de control.



Figura 2.29. Dimensiones de canaletas y tuberías.

2.7 Montaje total del sistema.

El montaje del sistema se realiza de acuerdo a la distribución requerida por la fábrica, tomando en cuenta el espacio físico disponible en el cuarto de control para su mejor operación y mantenimiento.



Figura 2.30. Montaje del sistema en cuarto de control

2.8 Instalación de sensores

A continuación se instala el sensor de temperatura RTD pt100, y sensor de fuego siemens QRB1A-A050B40A los cuales el sensor de temperatura estará ubicado en el horno secador, en la parte inferior izquierda de caída del material hacia el tornillo sin fin el cual transportará el material hacia el molino.

Para fijar la RTD se realiza una perforación a la tolva por donde cae el material desde el horno hacia el tornillo sin fin y se suelda una tuerca de 3/4 pulg para sujetar el sensor de esta manera mantener fijo al dispositivo.



Figura 2.31. Ubicación del sensor RTD pt100

El sensor de fuego estará ubicado en la parte superior derecha de la carcasa del quemador de modo que pueda sentir la presencia o ausencia de fuego y en función de esta se active o desactive el relé de control de fallo del quemador.



Figura 2.32. Ubicación sensor de fuego

2.9 Software para la programación

Para la programación del PLC S71200 y del panel touch KTP400 Basic se emplea el software TIA PORTAL V13.

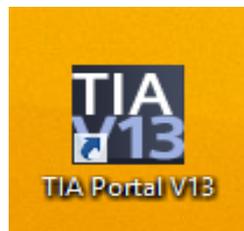


Figura 2.33. Entorno TIA portal V13

El software permite programar tanto el PLC como el Panel touch en un mismo proyecto, ofreciendo la facilidad de enlazar variables de proceso y realizar la comunicación entre los dos dispositivos, también en modo Online se puede observar desde la ventana principal de programación el comportamiento de las variables de proceso en tiempo real.

En el proyecto a desarrollar en TIA portal se puede incluir fácilmente el módulo de RTD, todo esto en un mismo proyecto y bajo el mismo interfaz de comunicación, la configuración de estos elementos es sencilla y práctica.

2.10 Configuración del software STEP 7 V13.

Step7 Basic V13 es la herramienta en donde se va a configurar, administrar y programar el PLC S7 1200 y la panel Touch, todo esto bajo un mismo entorno de programación.

2.10.1 Crear nuevo proyecto

Crear un nuevo proyecto empleando el programa TIA Portal V13, Poner un nombre para el proyecto y la ubicación donde se desee guardar, una vez llenada toda la información dar clic en crear, como se muestra en la Figura 2.34.

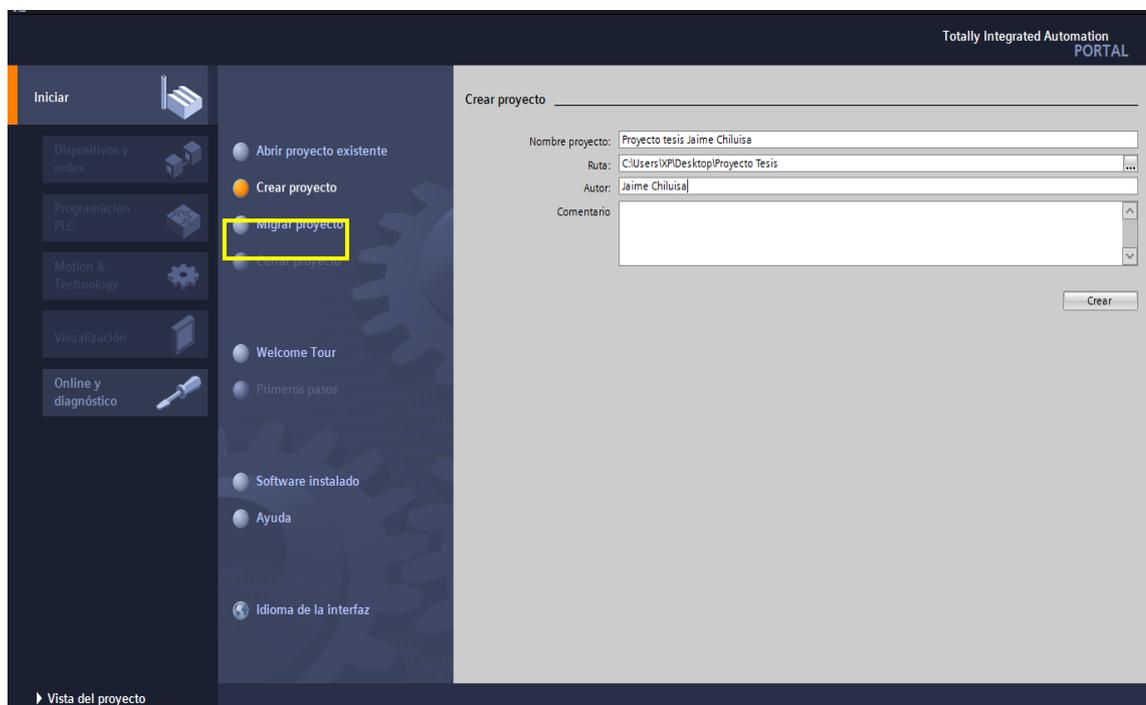


Figura 2.34. Crear nuevo proyecto

Luego de dar clic en el botón crear, hay que esperar un momento hasta que el programa cree nuestro proyecto, en la pantalla se mostrará el cuadro de dialogo durante su ejecución como se indica en la Figura 2.35.

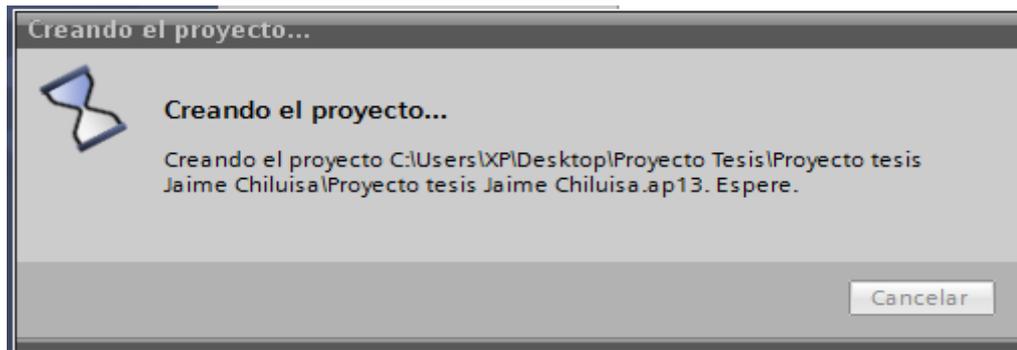


Figura 2.35. Cuadro de dialogo de espera para la creación del proyecto

2.10.2 Configuración de dispositivo

Al crear el proyecto el siguiente paso es configurar los dispositivos que vamos a utilizar, dar clic en primeros pasos y luego configurar un dispositivo como se indica en la Figura 2.36.

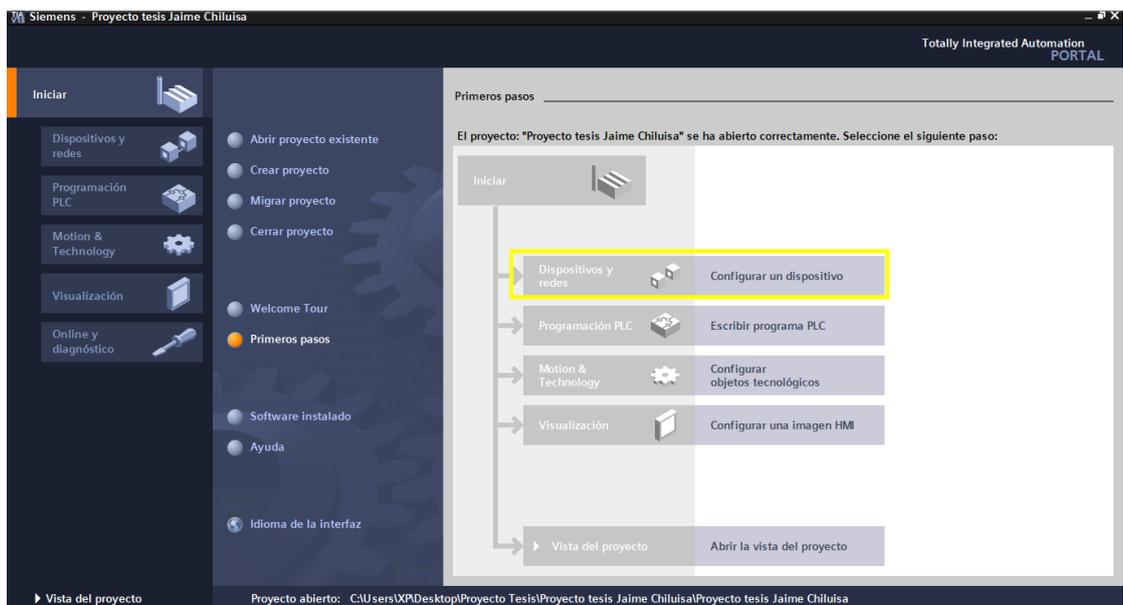


Figura 2.36. Configuración de dispositivos

Luego dar clic en agregar dispositivo para seleccionar el tipo de PLC, para elegir correctamente el PLC que se dispone ver el código de identificación que posee el dispositivo en su parte frontal tal como se ve en la Figura 2.37.



Figura 2.37. Código de identificación del PLC

A continuación se escoge el tipo de CPU 1212C AC/DC/RLY basándose en el código 6ES7 212-1BE40-0XB0 que posee el dispositivo en su parte frontal, también hay que especificar la versión del PLC.

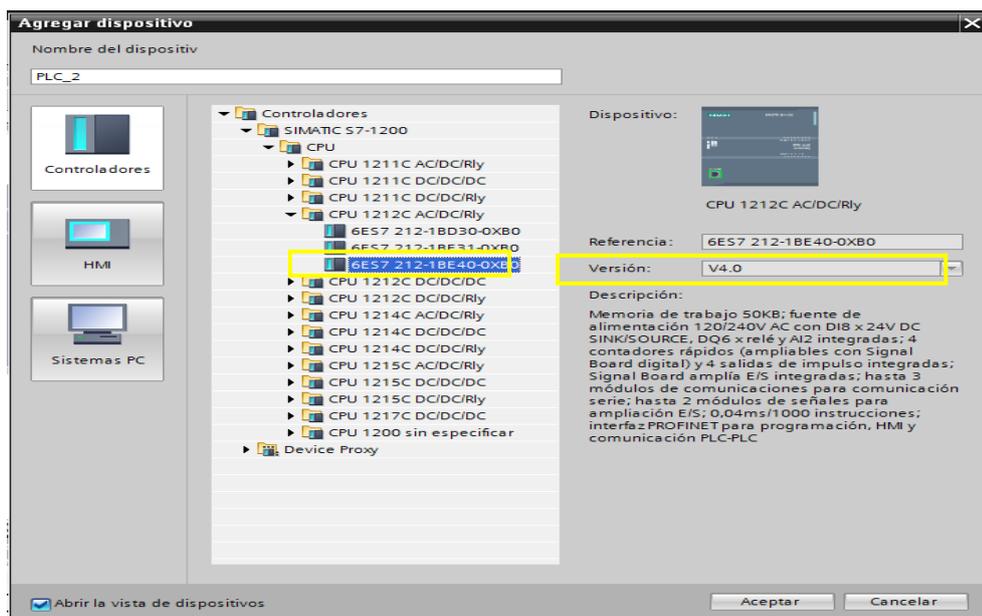


Figura 2.38. Selección de la CPU

Luego de escoger los parámetros de acuerdo al PLC dar clic en aceptar para que se carguen todas las características que posee el PLC como entradas, salidas, etc.

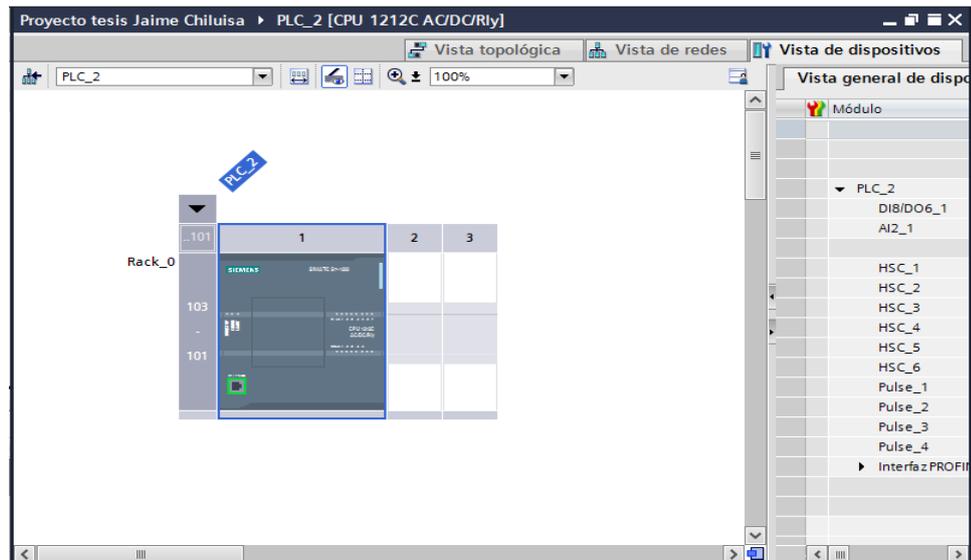


Figura 2.39. Vista del PLC

Una vez configurado el PLC se añade el módulo de señal SB1231 RTD basándose en el código 6ES7 231-5PA30-0XB0 y su respectiva versión, para añadir el dispositivo arrastramos el módulo de RTD hacia la parte frontal del CPU o dar doble clic en el código como se indica en la Figura 2.40.

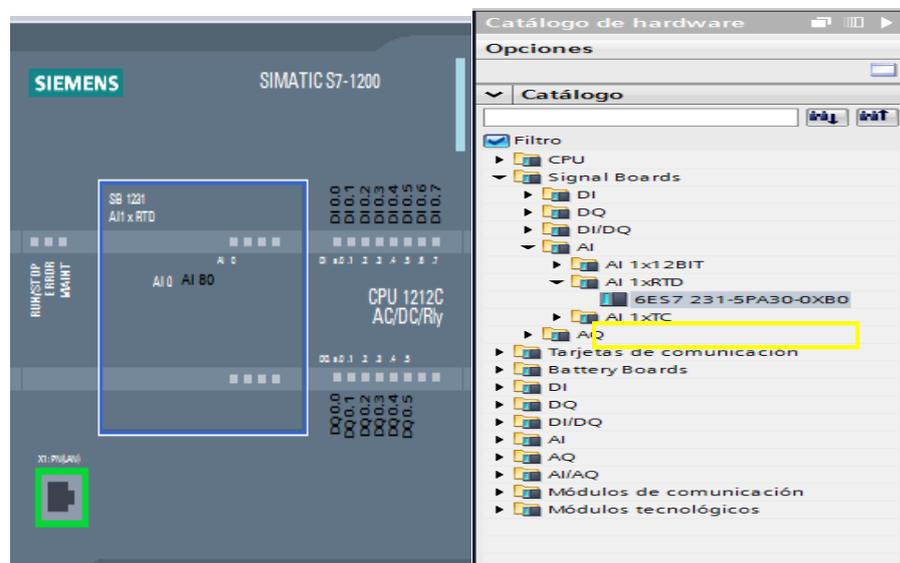


Figura 2.40. Selección de módulo de RTD

A continuación en propiedades configuramos los parámetros del módulo RTD, en entradas analógicas seleccionamos el tipo de medición en nuestro caso termorresistencia 3 hilos Pt100 y en escala de temperatura seleccionamos Celsius.

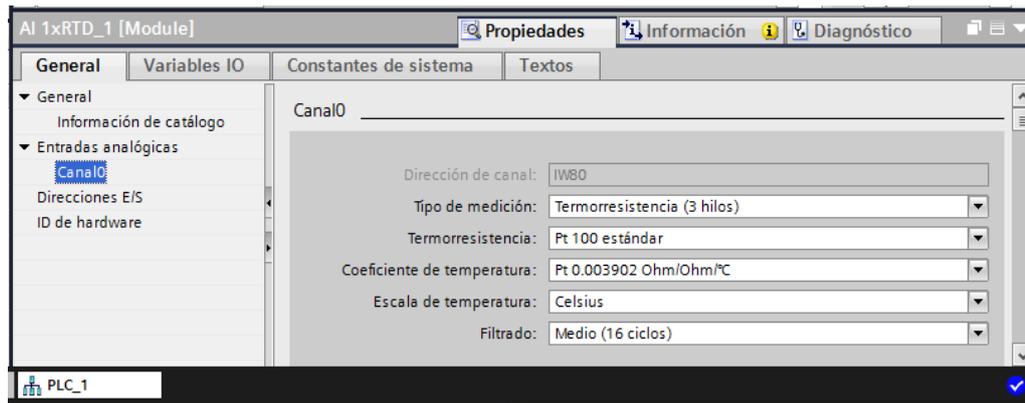


Figura 2.41. Configuración de parámetros de módulo de RTD

En propiedades tenemos la versión 2.0 del firmware pero nuestro módulo es la versión 1.0, para actualizar la versión dar clic derecho en el módulo que está ubicado en la parte frontal del CPU, luego dar clic en sustituir dispositivo y nos indicara la pantalla de la Figura 2.42 en la cual seleccionamos el tipo de módulo de acuerdo a la serie 6ES7 231-5PA30-0XB0 donde automáticamente nos da la versión correcta del módulo.

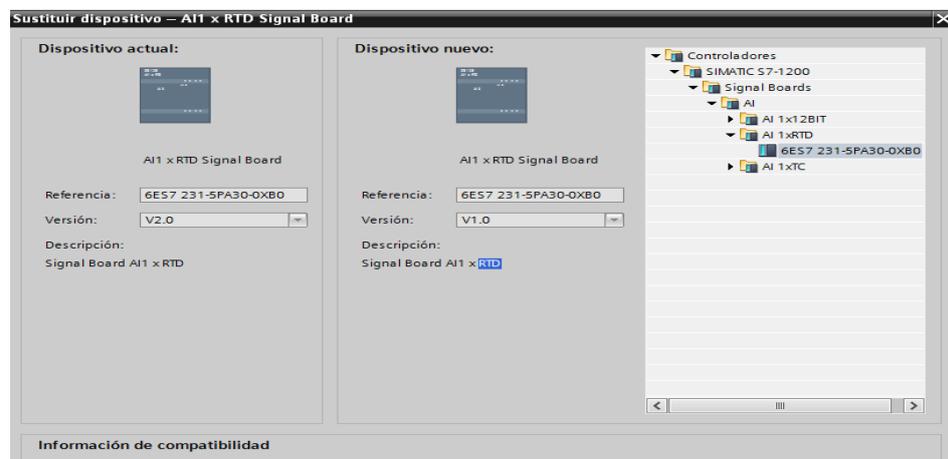


Figura 2.42. Configuración de la versión de módulo de RTD.

2.10.3 Asignación de dirección IP al PLC.

A continuación asignar la dirección IP, para lo cual se da doble clic en el PLC, luego se selecciona la pestaña de propiedades, seguido elegir interfaz Profinet y dirección Ethernet en la cual ubicamos la dirección IP en este caso 192.168.10.3

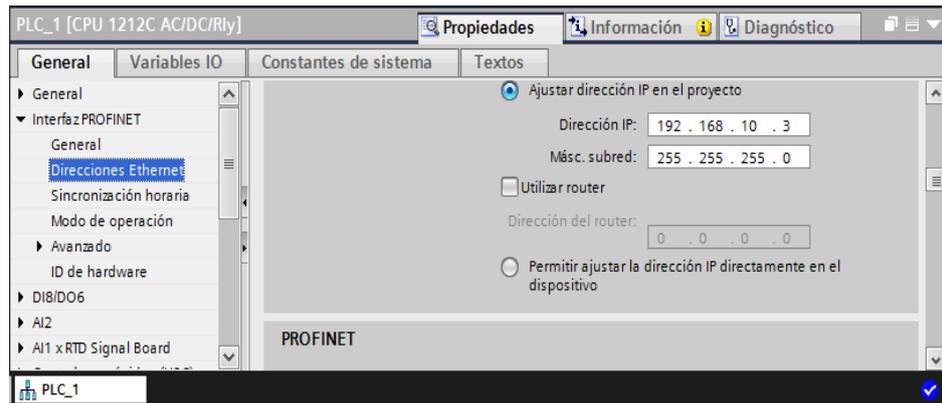


Figura 2.43. Asignación de dirección IP

2.11 Configuración del software para programar el HMI.

Para configurar el software HMI touch dar clic en agregar dispositivo, luego dar clic en HMI en la cual seleccionamos el modelo del dispositivo, en este caso KTP400 BASIC 6AV6 647-0AA11-3AX0, también es importante especificar la versión del equipo como se indica en la Figura 2.44.

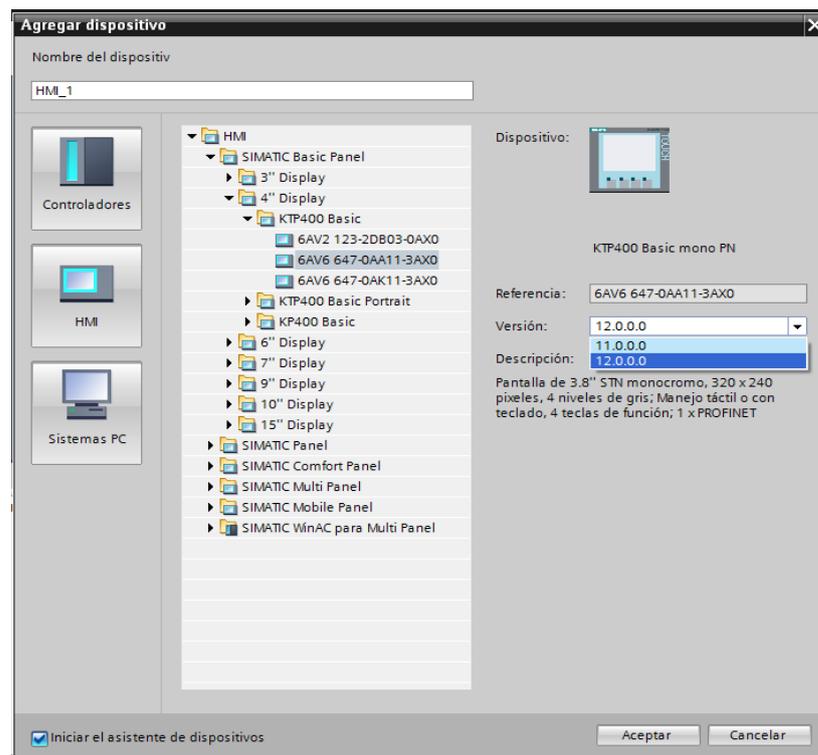


Figura 2.44. Insertar la HMI

En el caso de disponer de un equipo de una versión inferior a la que nos indica el programa al guardar la configuración automáticamente cambiara a la versión del equipo.

Luego, configurar el modelo del Panel Touch y especificar el PLC a la cual se conectará como se indica la Figura 2.45.

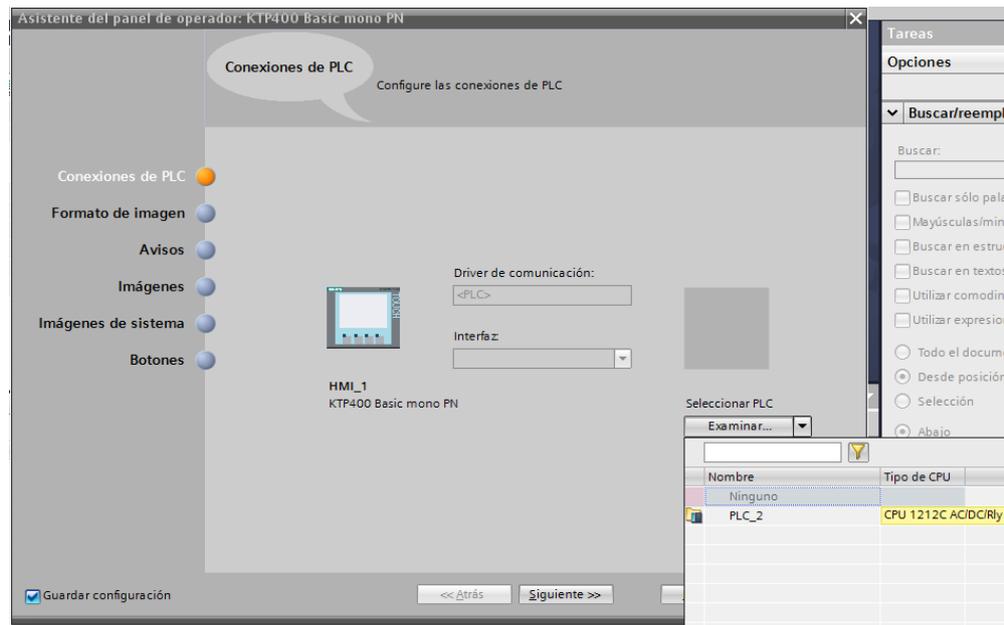


Figura 2.45. Configuración del HMI

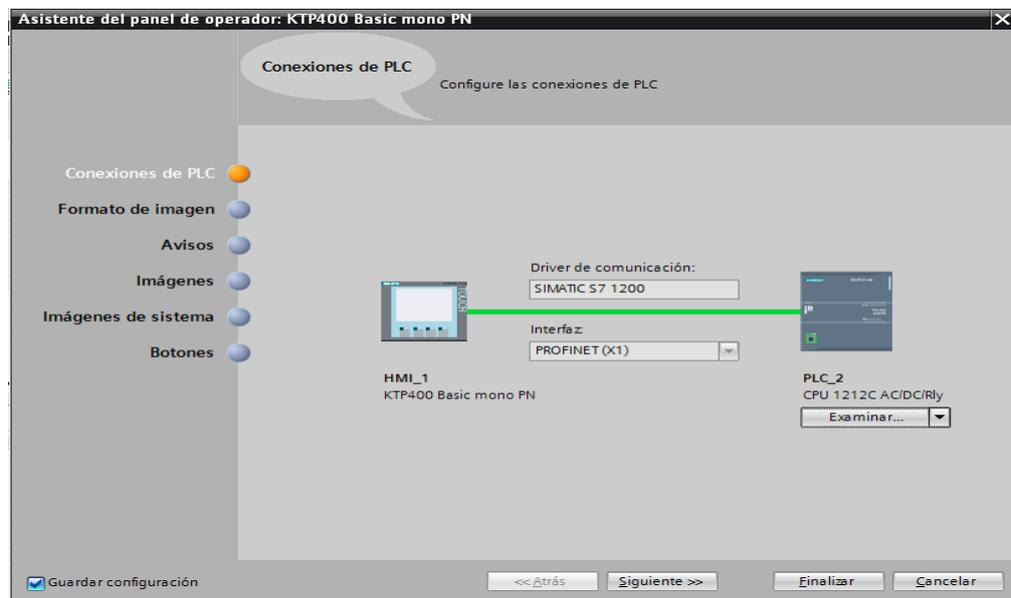


Figura 2.46. Comunicación con el PLC

Dar clic en configuración de formato de imagen donde podemos seleccionar las propiedades de la pantalla como color, fecha, etc.

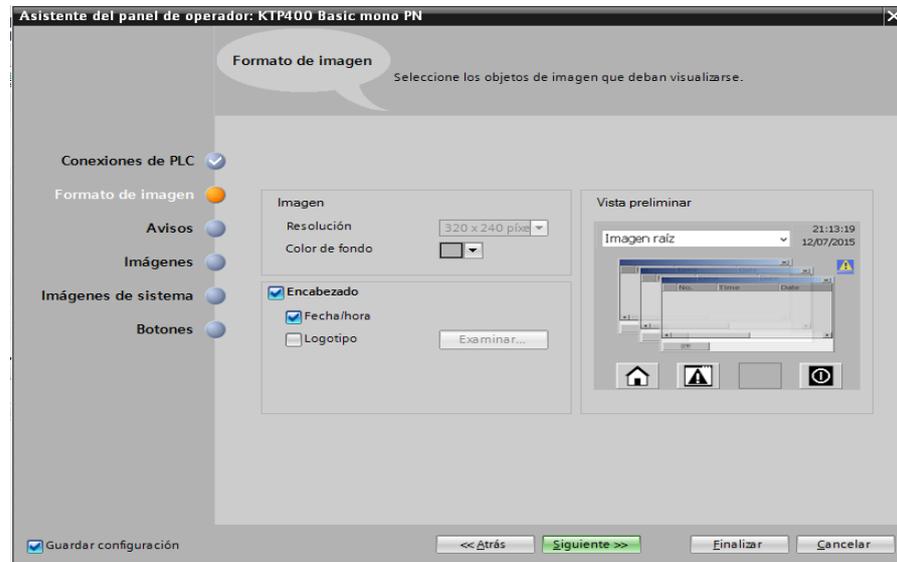


Figura 2.47. Configuración de propiedades de la pantalla

Luego dar clic en siguiente, el cual presenta una pantalla de configuración, donde dando clic en agregar imagen se puede seleccionar el número de ventanas de usuario que va crear automáticamente.

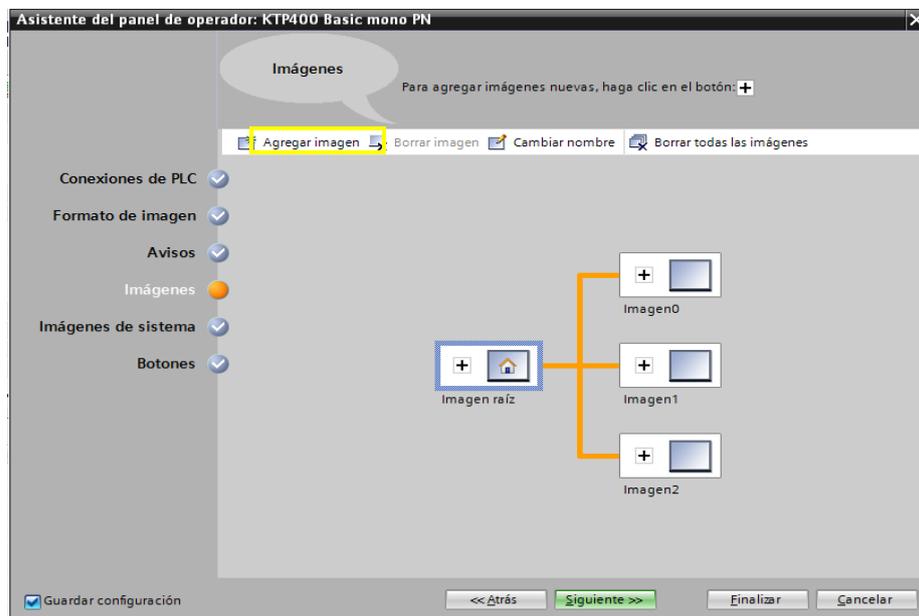


Figura 2.48. Configuración número de ventanas de usuario

Luego dar clic en botones, donde se puede agregar la función a las botoneras físicas que dispone el Panel Touch.

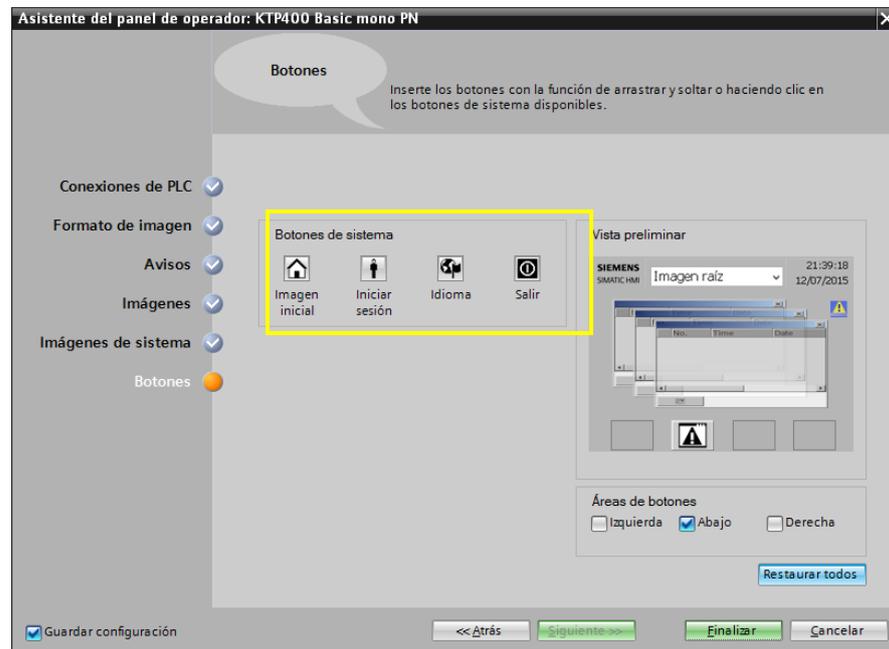


Figura 2.49. Configuración de botoneras del Panel Touch

Luego dar clic en finalizar en la cual se abre un entorno que permite configurar cada una de las pantallas de acuerdo a la necesidad de la fábrica.

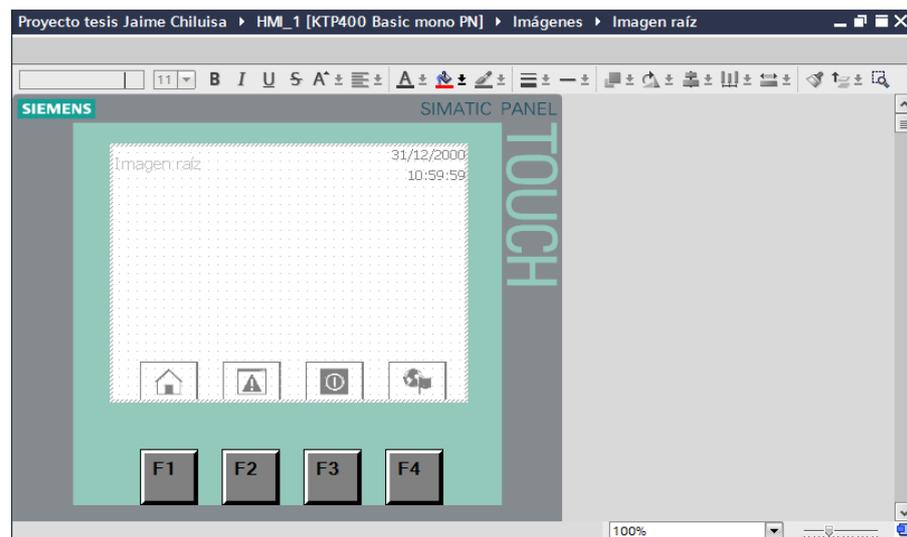


Figura 2.50. Configuración de pantalla

2.11.1 Asignación de dirección IP al Panel Touch

Una vez realizada la configuración del panel touch dar clic en configuración de dispositivo seguido dar clic en el panel touch en la cual se abre una pantalla como se observa en la Figura 2.51 luego dar clic en dirección Ethernet en donde asignamos la dirección IP del panel.

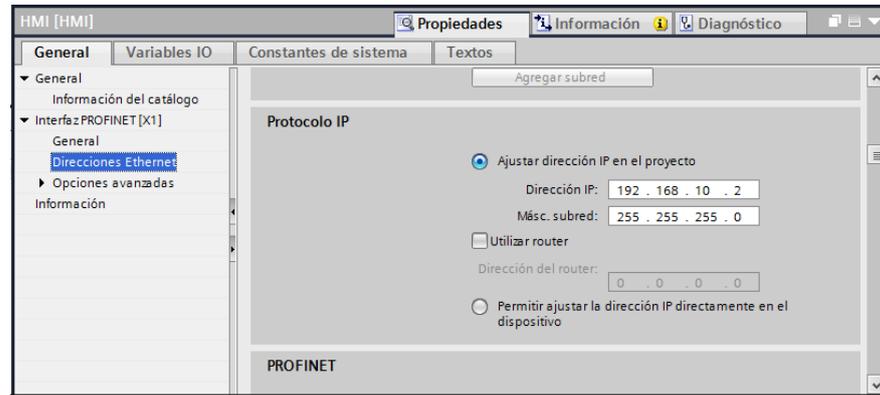


Figura 2.51. Asignación de dirección IP al panel touch

En la parte de árbol de proyectos se elige la opción de dispositivos y redes en donde, se tiene que configurar en vista de redes realizando un arrastre entre los gráficos de conectores de red del panel touch a los conectores de red del PLC para obtener la comunicación en red necesaria entre los dispositivos al cargar o compilar el programa, esto se comprueba cuando se resalta con color verde.

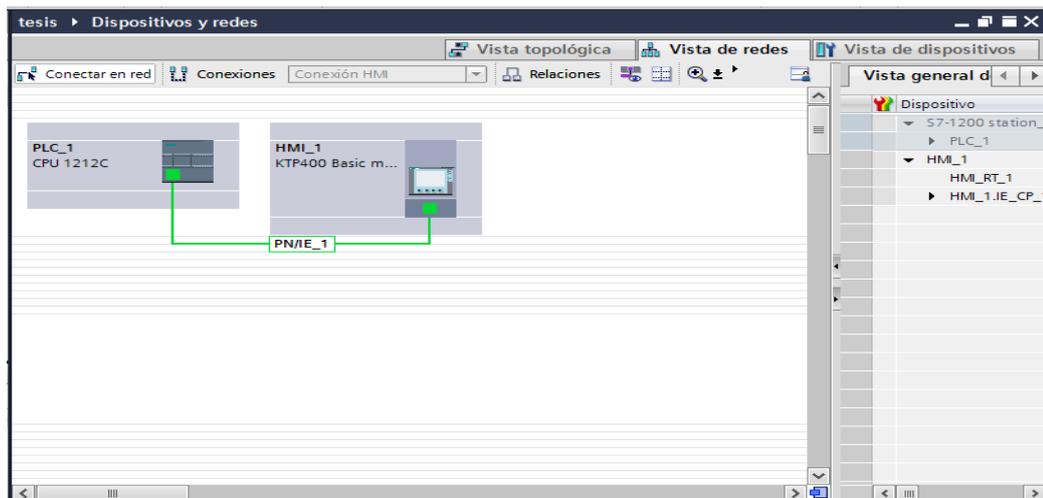


Figura 2.52. Comunicación en red de dispositivos

2.12 Diseño del HMI

El diseño del HMI se realiza de acuerdo a los requerimientos de la fábrica tomando en cuenta que el diseño debe ser lo más amigable posible con el operador.

El diseño principal del HMI se muestra en la Figura 2.53 que consta de la pantalla de inicio, en la ventana se configuró el fondo de imagen en este caso se colocó el logo que representa a la fábrica, adicional se colocó dos botones. El botón ubicado en la parte inferior izquierda del panel touch nos lleva a la pantalla de presentación del proyecto, donde tenemos gráficamente todos los elementos incluidos en el horno secador.

El botón ubicado en la parte inferior derecha del panel touch sirve para cerrar sesión dependiendo de la necesidad del operador.

La configuración de botones para realizar la navegación de imágenes se lo realizo en la parte de eventos, en donde mediante la función activar imagen es posible realizar esta acción, en esta sección el usuario deberá pulsar un botón para el llamado de imágenes.

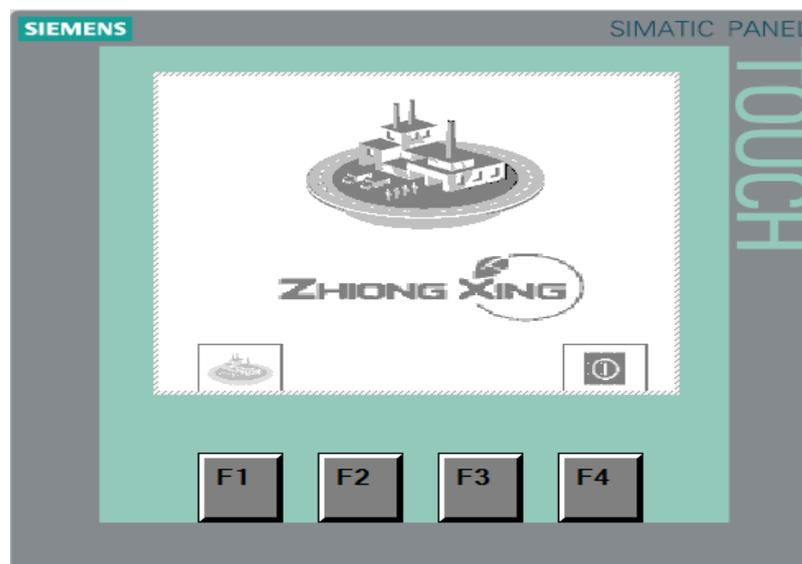


Figura 2.53. Diseño de la pantalla principal del HMI

En la ventana principal presionando el botón ubicado en la parte inferior izquierda del dispositivo ingresamos a una subpantalla donde tenemos el HMI del proceso, como se observa en la Figura 2.54, en la cual tenemos 5 botones en la parte inferior cada una con su respectiva función.

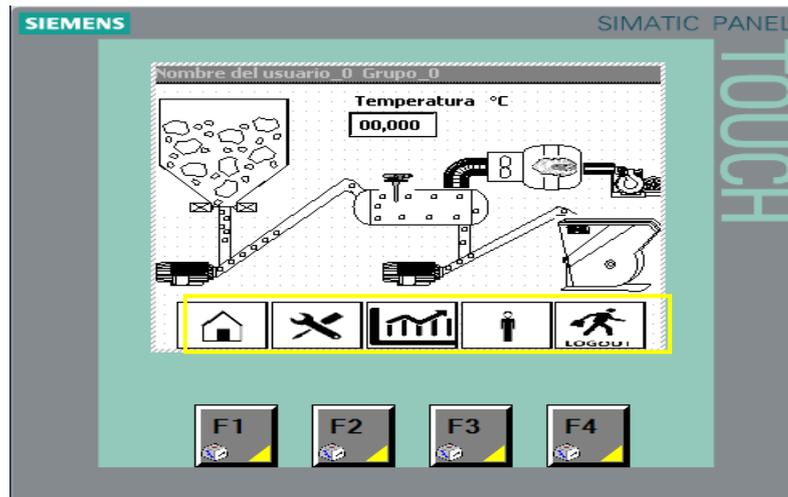


Figura 2.54. Pantalla de proceso

La opción  permite al usuario regresar a la pantalla de inicio.

Con la opción  se despliega un cuadro de dialogo solicitando ingresar el nombre y contraseña de usuario para iniciar la sesión, en el caso de que la clave este correcto nos despliega una pantalla en la cual dependiendo del usuario con que ingreso podemos tener privilegios para modificar o simplemente visualizar parámetros, caso contrario si la clave esta incorrecta nos pedirá ingresar de nuevo los datos.

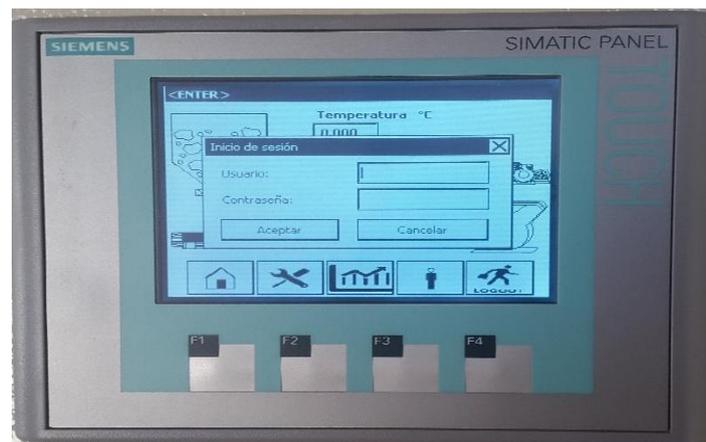


Figura 2.55. Cuadro de dialogo para ingresar clave de ingreso

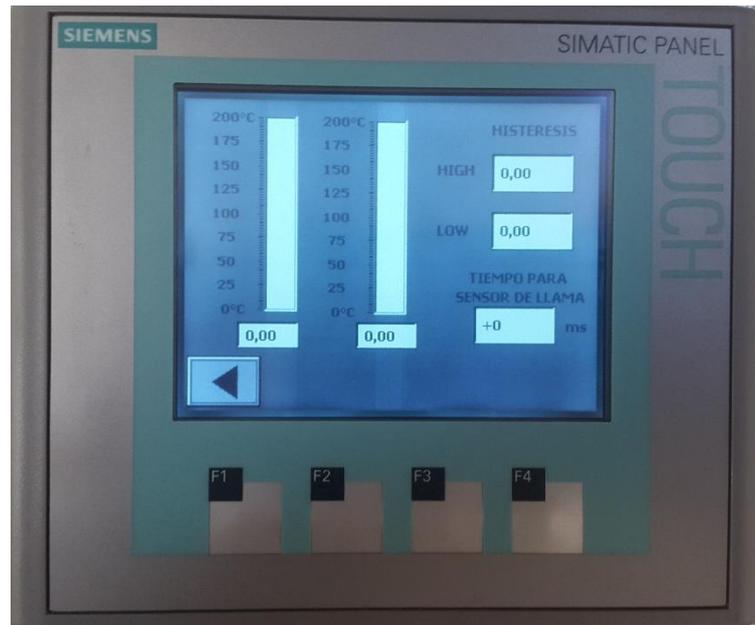


Figura 2.56. Pantalla para ingresar parámetros de operación.

En la parte inferior izquierda tenemos un botón que permite regresar a la ventana anterior según vea conveniente el operador.

En la ventana que se indica en la Figura 2.56 podemos configurar el set point con que va a trabajar el proceso, el valor de histéresis superior e inferior y el tiempo para el bloqueo del sistema en el caso de que el quemador no llegue a encender, una vez ingresado estos parámetros

pulsamos el botón  para regresar a la ventana anterior en la cual quedara grabado todos los parámetros que ingresamos anteriormente.

Con la opción  nos despliega una pantalla en la cual ponemos observar la respuesta de temperatura vs tiempo del material puzolánico, la escala de la izquierda representa la temperatura.

En la parte inferior izquierda se tiene un botón para retornar a la pantalla anterior en caso que vea conveniente el operador.

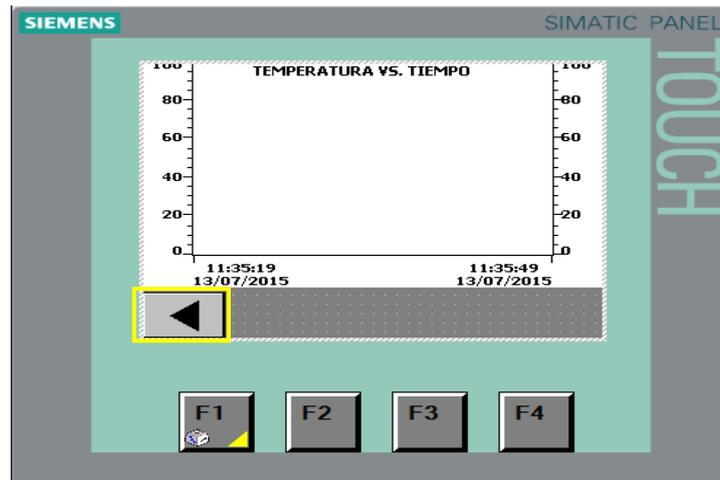


Figura 2.57. Pantalla de visualización de la señal de temperatura



Con la opción  nos despliega un cuadro de dialogo solicitando ingresar el nombre contraseña de usuario mediante la cual se tendrá privilegios en la operación.

2.12.1 Control de acceso a usuarios

El HMI cuenta con un control de acceso a usuario para que de esta manera se restrinja la operación del sistema del personal que no esté autorizado para hacerlo, esto brinda seguridad en su manipulación, limitando así la configuración únicamente a personal autorizado. Para esto durante la programación se ingresan los usuarios requeridos por la fábrica con su respectiva clave, dando privilegios a cada uno de ellos según los permisos de manipulación que tengan, se puede habilitar el cierre de sesión de forma automática con un tiempo determinado en caso de dejar abierta la cuenta.

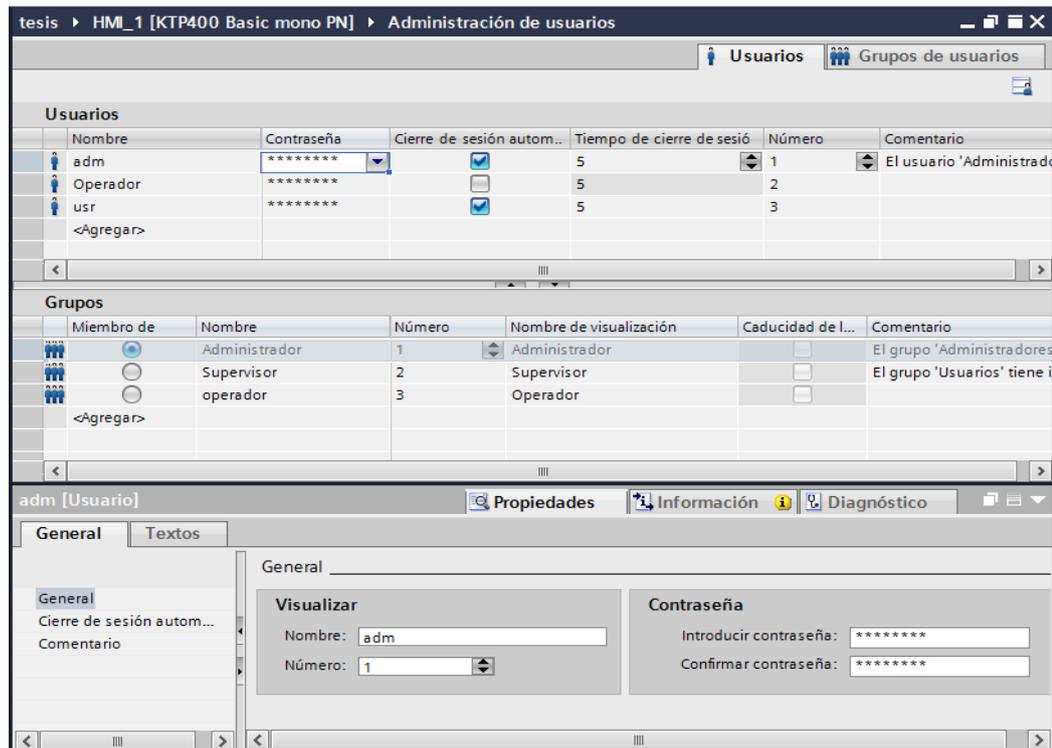


Figura 2.58. Control de acceso a usuarios

El acceso de control de usuario se puede hacer de la siguiente manera, en la ventana de proceso, pulsando el botón de configurar, aquí le pide el nombre y la contraseña de usuario para tener acceso.

2.13 Programación del PLC

2.13.1 Lógica de programación

La lógica de programación está realizada de acuerdo a las condiciones indicadas anteriormente, que son las necesarias para el desarrollo del diagrama de flujo de programación para cada opción de funcionamiento del sistema, el programa de control de temperatura ésta formada de manera general por los siguientes bloques de programación.



Figura 2.59. Bloques de programa del PLC

2.13.2 Flujograma de la programación del PLC S7 1200

Primero se selecciona el modo de operación sea automático o manual según el usuario de la planta lo requiera, luego ingresamos a establecer parámetros de operación, como son set point, histéresis superior e inferior, tiempo de bloque de no detección de llama. Para ingresar a modificar estos parámetros ingresamos como administrador y su respectiva clave, caso contrario será denegado su acceso.

Una vez ingresado todos los parámetros de operación, se procede a encender el quemador con la ayuda de la botonera de encendido, el quemador inicialmente se encenderá con primera llama, si la selecciono del modo de operación fue automático el controlador empezará a actuar sobre el quemador a diésel, mientras que si la selección anterior del modo de operación fue manual el operador encenderá la segunda llama manualmente accionando una botonera de encendido, y apagará la segunda llama accionando una botonera de apagado.

Una vez que accionamos la botonera de encendido, el controlador esperará 30 segundos para que el quemador este encendido, caso contrario todo el sistema se bloqueara hasta determinar y solucionar la falla que ocasiono que el quemador no se encienda, todo esto se logra gracias a la ayuda del sensor de fuego que detecta la presencia o ausencia de llama.

Una vez que el quemador se enciende empezará el control de temperatura ya sea manual o automático de acuerdo a la selección del modo de operación.

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se desarrolla el análisis de funcionamiento del controlador de temperatura implementado, las pruebas realizadas ayudaron a conocer los mínimos errores que produjeron en el funcionamiento para mejorar el sistema y realizar las respectivas correcciones dando como resultado un controlador de alta precisión.

Entre los principales aspectos están:

- Funcionamiento del sistema eléctrico y electrónico.
- Funcionamiento del HMI
- Verificación de datos de sensores.
- Análisis de datos obtenidos.
- Análisis del impacto de la implementación del controlador de temperatura

También se incluyen el análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados de operación antes y después de la implementación del controlador de temperatura, principalmente los datos analizados son el nivel de producción, consumo de combustible, tiempo de paro del proceso.

3.1 Funcionamiento del sistema eléctrico y electrónico

Para el tendido eléctrico se colocó tuberías PVC de tres pulgadas conectadas a pozos de revisión construidas, en el último tramo para llegar al quemador se colocó tubería negra de 1 pulg, esto nos dio problema debido a que la tubería negra no brinda suficiente protección a los conductores, esto obligó a construir un pozo de revisión adicional junto a la posición del quemador y ubicar tubería PVC de 3 pulg.

Para el tendido de cables de señales de sensor de temperatura y fuego se colocó tubería adicional con el objetivo de independizar estos conductores y por ende evitar interferencias.

La implementación del cableado del tablero hacia el quemador después de probar continuidad en cada uno de ellas se comprobó que fue satisfactorio.

El cableado de los sensores de temperatura y fuego en un principio se realizó con cable de red CAT 5 4X2X0 5mm, esto nos dio problemas debido a que en las terminales o uniones el cable estaban rotos, además presentaba mucho ruido en la señal, debido a estos problemas fue necesario sustituir estos conductores por cable flexible de instrumentación y control, el cual está formado por pares apantallados en conjunto con trenza de cobre que están diseñados para aplicaciones que requieren protección extra contra ruidos eléctricos.

Una vez realizado todos los cambios necesarios se comprobó continuidad en todos los cables dando como resultado un tendido eléctrico satisfactorio.

El tablero de control se ubicó en el cuarto eléctrico, con la finalidad de proteger a los equipos de ambientes agresivos como son el polvo y lluvia, su sitio fue la adecuada ya que brinda espacio suficiente para su manipulación o mantenimiento.

Cabe indicar que los colores de los conductores para el tendido eléctrico y el cableado del tablero se rigió en los colores utilizados en la fábrica, el cual fue necesario para evitar confusión al momento de su manipulación.



Figura 3.1. Tendido de cable eléctrico

3.2 Funcionamiento del HMI

La implementación del HMI se rigió en la norma ISO 9241 y EN29241 las mismas que incluyen especificaciones como, diseño amigable al usuario,

fácil manejo, seguridades y colores estándar, el cual nos ayudó a un diseño adecuado.

La implementación del HMI se realiza de acuerdo a la necesidad del personal que gestiona y toma decisiones directamente sobre el proceso como son gerente de campo, supervisores y personal de control de calidad.

La principal necesidad satisfecha por la fábrica es la implementación de control de temperatura adecuado con valores de set point variables que permite al usuario modificar su valor dependiendo de la necesidad del personal de control de calidad.

Otras de las necesidades que se validaron como satisfechas fueron la implementación de alarmas de fallo para evitar el derrame de combustible en el caso de que el quemador no llegue a encender, este problema se dio anteriormente el cual causo un pequeño incendio que fue controlado por el personal de la planta.

También fue importante colocar la información del estado de temperatura del material para la visualización del personal de turno.

Como parte de validación del sistema implementado se realizó una presentación del proyecto a Gerente de campo, supervisores, personal de control de calidad, supervisor eléctrico, con la finalidad de dar a conocer los beneficios del sistema implementado, además instruir al personal a cargo para la correcta manipulación del tablero.

3.3 Verificación de datos de sensores

En esta etapa se analiza y detalla los datos arrojados por los sensores de temperatura y fuego.

Los datos presentados en la pantalla touch en el caso del sensor de temperatura sirven para el análisis del estado de material puzolánico que realizan diariamente el personal de control de calidad, mientras que los datos del sensor de fuego sirven para que el personal revise el quemador en el caso de que el equipo no prenda o en funcionamiento apague la llama.

3.4 Análisis de datos obtenidos.

Para realizar el análisis de datos obtenidos se tomó como muestra los datos alcanzados en una semana de trabajo antes de colocar el control de temperatura, y los datos obtenidos después de colocar el tablero, para esto se solicitó al supervisor de la planta una copia del reporte diario que ellos realizan.

El análisis se realiza con las gráficas obtenidas del proceso sin control automático respecto a la gráfica obtenida con control automatizado.

La validación del análisis de datos obtenidos es aceptada por parte de gerente de planta de la fábrica y de los tutores del proyecto.

Control de temperatura antes de la colocación del tablero automatizado.

Antes de automatizar el proceso de secado del material, los operadores tomaban datos de temperatura de forma manual, de acuerdo a esa información realizaba una acción correctiva para mantener la temperatura en el rango establecido por el área de control de calidad, en este caso activar manualmente la electroválvula para encender la segunda llama del quemador .



Figura 3.2. Medición y control manual de temperatura.

Los datos adquiridos antes de la colocación del tablero de control durante una semana es la siguiente.

Tabla 3.1.

Datos valor de temperatura sin control.

Datos de temperatura					
Día	Mes	Fecha	Año	Hora	Temperatura °C
Lunes	06	15	2015	08H00	62°C
	06	15	2015	09H00	80°C
	06	15	2015	10H00	78°C
	06	15	2015	11H00	90°C
	06	15	2015	12H00	68°C
	06	15	2015	13H00	62°C
	06	15	2015	14H00	65°C
	06	15	2015	15H00	50°C
	06	15	2015	16H00	70°C
	06	15	2015	17H00	82°C
	06	15	2015	18H00	68°C
	06	15	2015	19H00	65°C
	06	15	2015	20H00	59°C
	06	15	2015	21H00	65°C
	06	15	2015	22H00	78°C
	06	15	2015	23H00	64°C
Martes	06	16	2015	08H00	60°C
	06	16	2015	09H00	72°C
	06	16	2015	10H00	80°C
	06	16	2015	11H00	100°C
	06	16	2015	12H00	60°C
	06	16	2015	13H00	65°C
	06	16	2015	14H00	59°C
	06	16	2015	15H00	35°C
	06	16	2015	16H00	70°C
	06	16	2015	17H00	75°C
	06	16	2015	18H00	65°C
	06	16	2015	19H00	60°C
	06	16	2015	20H00	62°C
	06	16	2015	21H00	70°C
	06	16	2015	22H00	50°C
	06	16	2015	23H00	60°C
06	16	2015	24H00	62°C	
06	17	2015	08H00	55°C	
06	17	2015	09H00	60°C	
06	17	2015	10H00	83°C	

CONTINÚA 

Miércoles	06	17	2015	11H00	95°C
	06	17	2015	12H00	62°C
	06	17	2015	13H00	58°C
	06	17	2015	14H00	60°C
	06	17	2015	15H00	70°C
	06	17	2015	16H00	75°C
	06	17	2015	17H00	60°C
	06	17	2015	18H00	65°C
	06	17	2015	19H00	70°C
	06	17	2015	20H00	75°C
	06	17	2015	21H00	78°C
	06	17	2015	22H00	96°C
	06	17	2015	23H00	85°C
	06	17	2015	24H00	65°C
Jueves	06	18	2015	08H00	62°C
	06	18	2015	09H00	65°C
	06	18	2015	10H00	70°C
	06	18	2015	11H00	73°C
	06	18	2015	12H00	80°C
	06	18	2015	13H00	89°C
	06	18	2015	14H00	70°
	06	18	2015	15H00	65°C
	06	18	2015	16H00	60°C
	06	18	2015	17H00	80°C
	06	18	2015	18H00	95°C
	06	18	2015	19H00	105°C
	06	18	2015	20H00	80°C
	06	18	2015	21H00	70°C
06	18	2015	22H00	62°C	
06	18	2015	23H00	55°C	
06	18	2015	24H00	61°C	
Viernes	06	19	2015	08H00	55°C
	06	19	2015	09H00	62°C
	06	19	2015	10H00	65°C
	06	19	2015	11H00	73°C
	06	19	2015	12H00	89°C
	06	19	2015	13H00	95°C
	06	19	2015	14H00	75°C
	06	19	2015	15H00	69°C
	06	19	2015	16H00	62°C
	06	19	2015	17H00	65°C
	06	19	2015	18H00	69°C
	06	19	2015	19H00	75°C
	06	19	2015	20H00	68°C
	06	19	2015	21H00	55°C
06	19	2015	22H00	65°C	

CONTINÚA 

06	19	2015	23H00	70°C
06	19	2015	24H00	68°C

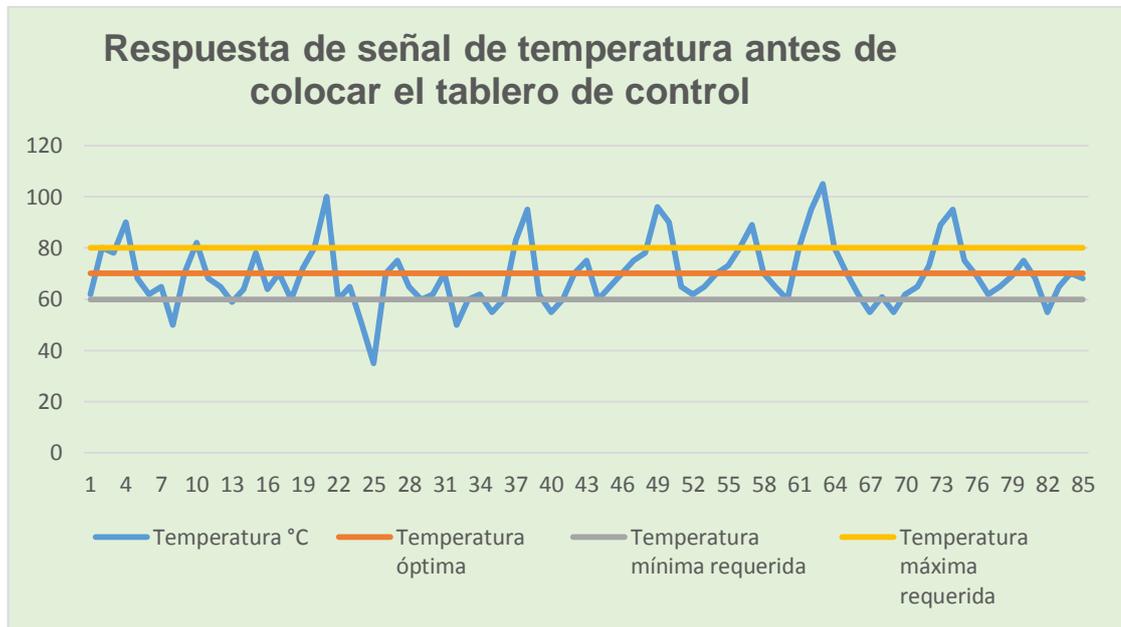


Figura 3.3. Señal de respuesta de temperatura sin control.

En la Figura 3.3 podemos observar que la temperatura excede del valor superior requerida, lo cual genera muchos problemas para el proceso, como es, colapso de los elevadores, colapso del tornillo sin fin transportado de material hacia el molino, consumo excesivo de combustible, los cuales genera pérdidas para la fábrica.

También podemos visualizar que la temperatura desciende por debajo de la temperatura mínima requerida por control de calidad, el cual genera problemas en el análisis de material para su distribución, otro de los problemas es la pérdida en el factor económico, debido a que cuando el material pasa húmedo hacia el molino este se tapa, y para destapararlo o solucionar dicho problema se necesita alrededor de 1 hora.

El tiempo requerido para solucionar el problema en el molino, genera pérdidas para la fábrica, debido a que en dicho tiempo no se ingresa material prima hacia el proceso, el cual representa una pérdida en producción de alrededor de 15 toneladas de material puzolánico.

A continuación en la Tabla 3.2 se detalla los problemas comunes en proceso, tomados de una semana de producción antes de automatizar el quemador.

Tabla 3.2

Problemas comunes en proceso sin control automatizado de temperatura.

Fecha	Día	Hora	Área	Problema	Tiempo de parada
06/15/2015	Lunes	11:10	Tornillo sin fin secador	Tornillo sin fin del secador no arrastra material, exceso de temperatura, el material rebosa por la tapa de revisión del secador.	0:15 Min.
		15:15	Molino de bolas	Se tapa el molino, material húmedo	0:30 Min.
06/16/2015	Martes	11:00	Tornillo sin fin secador	Tornillo sin fin del secador no arrastra material, exceso de temperatura, el material rebosa por la tapa de revisión del secador.	0:10 Min.
		11:45	Elevador # 1	Se descarrila la cadena del elevador N#1	1H30 Min.
		15:15	Molino de bolas	Se tapa el molino, material húmedo	0:45 Min.
06/17/2015	Miércoles	22:30	Molino de bolas	Se tapa el molino, material húmedo	0:30 Min.
		8:15	Molino de bolas	Se tapa el molino, material húmedo	1H00
		9:20	Elevador #1	Se destapa el molina, el mismo libere excesivo material, elevador # 1 colapsa	0:5 Min

CONTINÚA 

06/18/2015	Jueves	11:10	Tornillo sin fin secador	Tornillo sin fin del secador no arrastra material, exceso de temperatura, el material rebosa por la tapa de revisión del secador.	0:10 Min.
		22:00	Tornillo sin fin secador	Tornillo sin fin del secador no arrastra material, exceso de temperatura, el material rebosa por la tapa de revisión del secador.	0:10 Min.
		18:15	Tornillo sin fin secador	Tornillo sin fin del secador no arrastra material, exceso de temperatura, el material rebosa por la tapa de revisión del secador.	0:5 Min.
		19:00	Tornillo sin fin secador	Tornillo sin fin del secador no arrastra material, exceso de temperatura, el material rebosa por la tapa de revisión del secador.	0:10 Min.
		8:10	Molino de bolas	Se tapa el molino, material húmedo	0:45 Min.
06/19/2015	Viernes	9:00	Elevador #1	Se destapa el molina, el mismo libere excesivo material, elevador # 1 colapsa.	0:15 Min
		13:00	Tornillo sin fin secador	Tornillo sin fin del secador no arrastra material, exceso de temperatura, el material rebosa por la tapa de revisión del secador.	0:10 Min.

Control de temperatura después de la colocación del tablero automatizado.

Debido a que el controlador requiere de un set point, histéresis inferior, e histéresis superior, se realizó diferentes pruebas en proceso colocando distintos valores de set point, debido a que la variación de temperatura en el sistema es lenta y según los requerimientos técnicos de laboratorio de pruebas, la temperatura debe mantenerse en un rango de 60 a 80° C, dadas estas condiciones de rango se llegó a un acuerdo en conjunto con los supervisores de planta la ubicación de set point de 70°C con valores de histéresis superior e inferior de 1°C dando como resultado un control óptimo de temperatura que es aceptado por el gerente de campo de la fábrica.

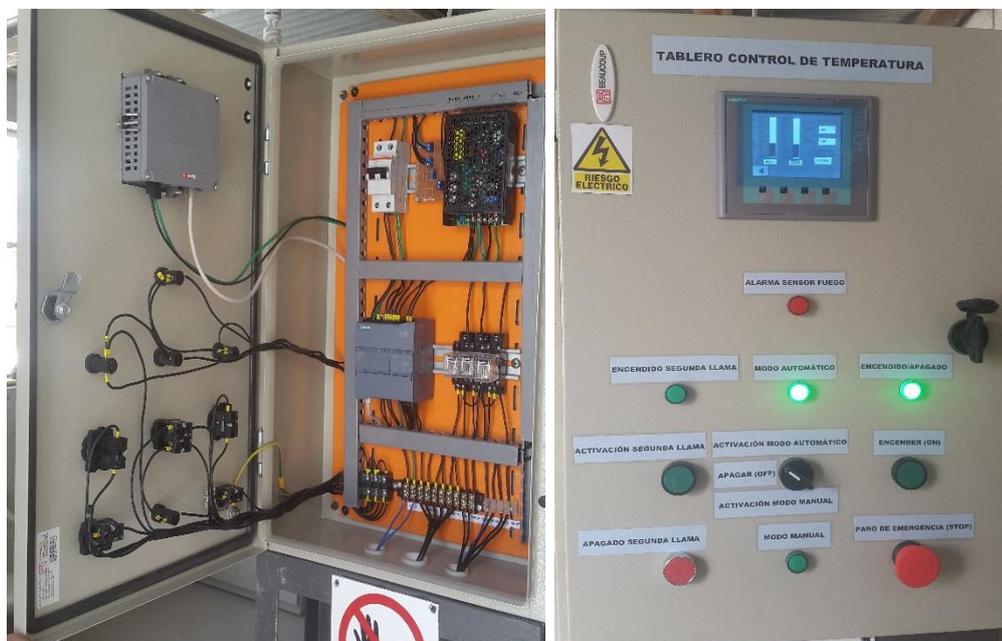


Figura 3.4 Proyecto implementado.

A continuación tenemos los datos adquiridos después de la colocación del tablero de control durante una semana de trabajo.

Tabla 3.3.

Datos valor de temperatura con control.

Datos de temperatura					
Día	Mes	Fecha	Año	Hora	Temperatura °C
Lunes	07	06	2015	08H00	65°C
	07	06	2015	09H00	70°C
	07	06	2015	10H00	70°C
	07	06	2015	11H00	69°C
	07	06	2015	12H00	68°C
	07	06	2015	13H00	70°C
	07	06	2015	14H00	69°C
	07	06	2015	15H00	71°C
	07	06	2015	16H00	73°C
	07	06	2015	17H00	69°C
	07	06	2015	18H00	70°C
	07	06	2015	19H00	71°C
	07	06	2015	20H00	68°C
	07	06	2015	21H00	70°C
	07	06	2015	22H00	69°C
	07	06	2015	23H00	71°C
07	06	2015	24H00	73°C	
Martes	07	07	2015	08H00	70°C
	07	07	2015	09H00	69°C
	07	07	2015	10H00	70 °C
	07	07	2015	11H00	71°C
	07	07	2015	12H00	69°C
	07	07	2015	13H00	69°C
	07	07	2015	14H00	71°C
	07	07	2015	15H00	72°C
	07	07	2015	16H00	73°C
	07	07	2015	17H00	69°C
	07	07	2015	18H00	67°C
	07	07	2015	19H00	68°C
	07	07	2015	20H00	71°C
	07	07	2015	21H00	70°C
	07	07	2015	22H00	70°C
	07	07	2015	23H00	72°C
07	07	2015	24H00	71°C	
Miércoles	07	08	2015	08H00	71°C
	07	08	2015	09H00	69°C
	07	08	2015	10H00	68°C
	07	08	2015	11H00	70°C
	07	08	2015	12H00	71°C
07	08	2015	13H00	73°C	

CONTINÚA 

	07	08	2015	14H00	69°C	
	07	08	2015	15H00	68°C	
	07	08	2015	16H00	69°C	
	07	08	2015	17H00	70°C	
	07	08	2015	18H00	70°C	
	07	08	2015	19H00	71°C	
	07	08	2015	20H00	69°C	
	07	08	2015	21H00	71°C	
	07	08	2015	22H00	70°C	
	07	08	2015	23H00	71°C	
	07	08	2015	24H00	69°C	
Jueves	07	09	2015	08H00	70°C	
	07	09	2015	09H00	72°C	
	07	09	2015	10H00	69°C	
	07	09	2015	11H00	70°C	
	07	09	2015	12H00	71°C	
	07	09	2015	13H00	68°C	
	07	09	2015	14H00	69°C	
	07	09	2015	15H00	70°C	
	07	09	2015	16H00	71°C	
	07	09	2015	17H00	70°C	
	07	09	2015	18H00	69°C	
	07	09	2015	19H00	69°C	
	07	09	2015	20H00	69°C	
	07	09	2015	21H00	73°C	
	07	09	2015	22H00	70°C	
	07	09	2015	23H00	69°C	
	07	09	2015	24H00	69°C	
	Viernes	07	10	2015	08H00	69°C
		07	10	2015	09H00	70°C
		07	10	2015	10H00	73°C
07		10	2015	11H00	67°C	
07		10	2015	12H00	69°C	
07		10	2015	13H00	68°C	
07		10	2015	14H00	70°C	
07		10	2015	15H00	70°C	
07		10	2015	16H00	72°C	
07		10	2015	17H00	70°C	
07		10	2015	18H00	71°C	
07		10	2015	19H00	69°C	
07		10	2015	20H00	67°C	
07		10	2015	21H00	70°C	
07		10	2015	22H00	73°C	
07		10	2015	23H00	69°C	
07	10	2015	24H00	68°C		

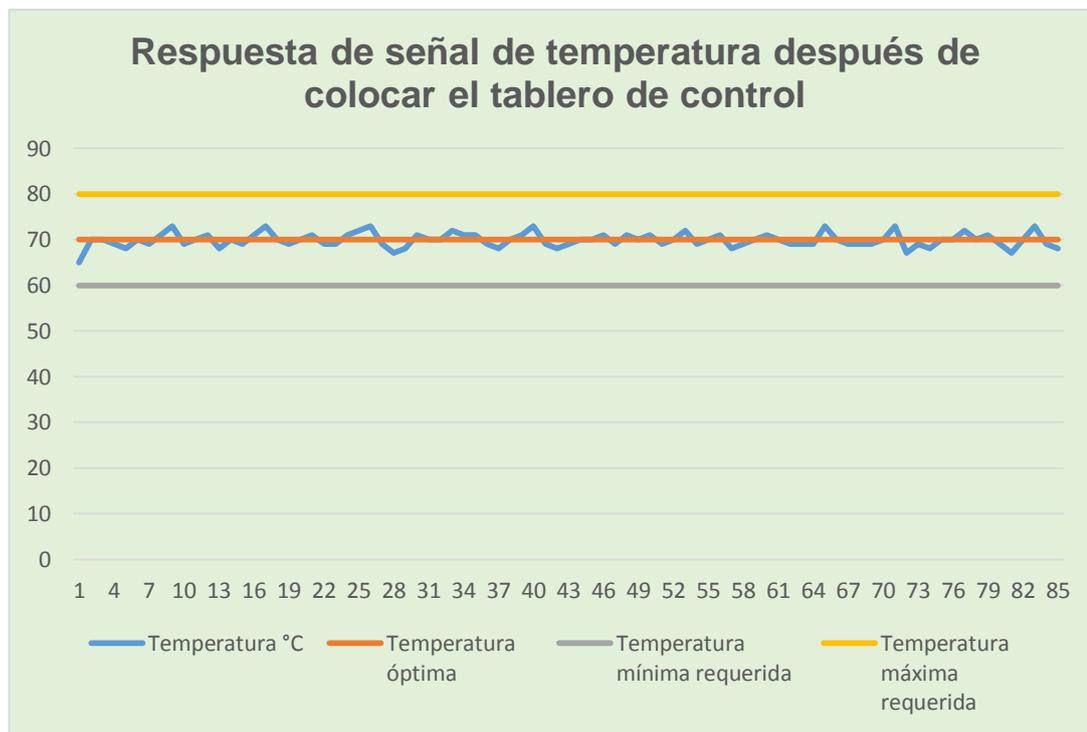


Figura 3.5. Señal de respuesta de temperatura con control automático.

En la Figura 3.5 se puede visualizar el comportamiento de la señal con respecto a los valores de parámetros de control ingresados por el supervisor de planta. Con el control implementado se logró reducir costos de fabricación debido a que la temperatura del material puzolánico está dentro de rango deseada, debido a esto se evita que se colapsen los elevadores, se colapse el tornillo sin fin transportador de material, se tape el molino.

Uno de los objetivos de la implementación de control automatizado de temperatura, fue disminuir el consumo de combustible, ya que la temperatura del material puzolánico antes de colocar el tablero de control en muchas ocasiones era alto, generando un consumo de combustible no deseado, mediante la implementación de este proyecto se logra este objetivo, como podemos observar en la Figura 3.5 la temperatura del material se encuentra dentro del rango determinado y se evita el consumo de combustible no deseado por el quemador Baite.

3.5 Análisis del impacto de la implementación del sistema de control

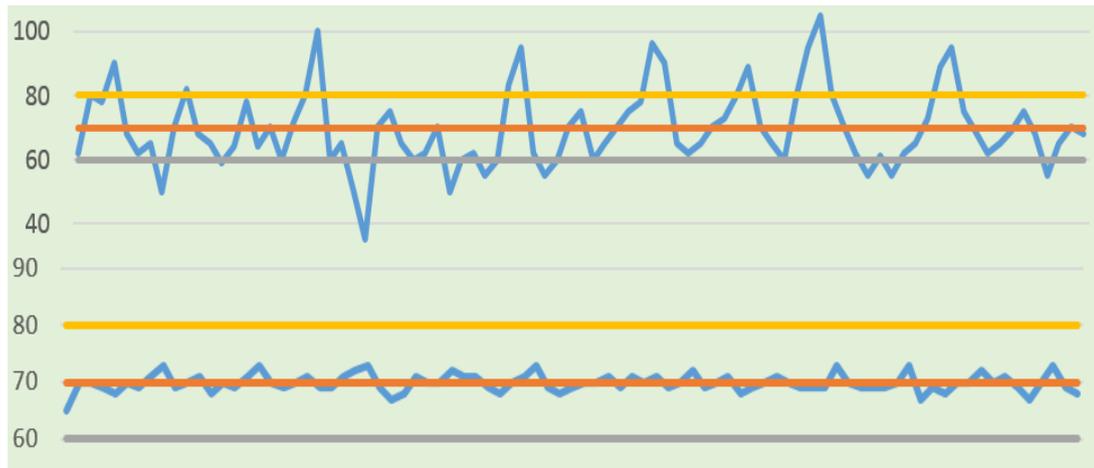


Figura 3.6 Comparación de señal de temperatura anterior y actual.

En la Figura 3.6 podemos observar la diferencia de un control de temperatura manual y automatizada, en el control manual se tiene picos de temperatura las cuales generan pérdidas para la fábrica, cuando los picos es superior al valor de set point existe un consumo innecesariamente de combustible ya que la temperatura excede del límite superior deseado, la cual también genera pérdida de material en el tornillo sin fin transportador de material, ya que el mismo no arrastra el material por el exceso de temperatura, mientras cuando la temperatura desciende del set point mínimo de igual manera genera pérdidas, en este caso existe el riesgo que se tape el molino de esta manera exista pérdida de producción ya que con este problema no hay el ingreso de material prima hacia el horno secador, de las misma forma cuando se destapa el molino existe un desfogue excesivo de material la cual genera que se colapsen los elevadores produciendo perdidas de material procesada.

En la señal de respuesta de un control automatizado podemos observar que la temperatura se encuentra dentro del rango de deseada esto genera ganancias para la fábrica y evita enfermedades por la exposición a altas temperaturas y polvo.

Mediante la implementación del tablero de control de temperatura, se logra reducir en un 20% los gastos de fabricación del material puzolánico, en

la cual incluyen reducción de consumo de combustible y minimizar los daños mecánicos del proceso.

Luego de la ejecución del proyecto se aumentó la producción en un 30%, ya que se evita la pérdida de tiempo por causa de problema en el molino, edemas se evita perdida de material puzolánico por excesiva temperatura.

Anteriormente el personal de operación estaba expuesto a polvo y altas temperaturas del horno secador, ya que constantemente media manualmente la temperatura.



Figura 3.7. Método de medición de temperatura antes de la implementación del tablero de control.

El proyecto implementado cumple con el decreto 2393, reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente, mediante la cual el personal evita estar expuestos a polvo y altas temperaturas del horno secador, la cual representa un riesgo para la salud .



Figura 3.8. Control de temperatura implementado.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 Análisis económico del proyecto implementado

El objetivo que impulso al desarrollo del tablero de control de temperatura fue el de construir uno económico, que pueda satisfacer las necesidades de la fábrica, mediante la cual se pueda disminuir gastos y aumentar la producción, de la misma manera facilitar el trabajo al personal de operación y cuidar su salud.

Las características del tablero de control son las siguientes:

- Control ON/OFF con histéresis.
- Seguridad de ingreso.
- Pantalla de visualización de proceso.
- Pantalla de visualización de comportamiento de la señal de temperatura. vs tiempo.
- Control de fallo.
- operación modo manual o automático.

A continuación se coloca el detalle económico del tablero de control de temperatura.

Tabla 4.1.

Costo total del tablero de control de temperatura.

CANTIDAD	REFERENCIA	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, CPU COMPACTA	455	455
1	PANEL HMI BASIC PANEL KTP400 PN MONOCROMÁTICO PANTALLA 3.8" TACTIL	600	600
1	SIGNAL BOARD 1 AI RTD PT100/PT1000	187	187
1	FUENTE 24VDC	92	92
1	GABINETE METAL CSP-64X20 I-0317	68,95	68,95

CONTINÚA 

1	BREAKER SOBREPUESTO TERMOMAGNÉTICO PARA MONTAJE EN RIEL DIN CORRIENTE 2 AMP. 2 POLOS	26,86	26,86
1	LUZ PILOTO ROJO CON LED 24VAC / VDC	12,48	12,48
4	LUZ PILOTO VERDE CON LED 24VAC / VDC	12,48	49,92
2	PULSADOR VERDE + 1NA	10,97	21,94
1	PULSADOR ROJO + 1NC	10,97	10,97
1	PULSADOR ROJO DE TIPO HONGO 40 MM. 1NC, CON RETENCIÓN Y HALAR PARA SOLTAR	26,8	26,8
1	SELECTORES DE POSICIÓN METÁLICOS TRES POSICIONES I-O-II	20,46	20,46
3	RELÉ ELECTROMAGNÉTICO BOBINA 24VDC; 10A/220VAC; 10A/24VDC	5,46	16,38
2	REGLETA DE CONECCION	5,5	11
1	PLACA DIVISOR DE TENSION ACONDICIONADO 1 A 10 VDC	12	12
100	TERMINAL TIPO PUNTERA HUECA AMARILLO PRE-AISLADO SECCION 2.50mm	0,1	10
2	ROLLO DE CABLE COLOR NEGRO CALIBRE 16 FLEXIBLE	22,5	45
	SUBTOTAL	0,00%	1666,76
	IVA	IVA 12%	200,012

SUBTOTAL 1: 1866,7712

1	APLICACIÓN TIA PORTAL STEP 7 V13	100	100
30	HORAS DE INGENIERÍA	5	150
	SUBTOTAL	0,00%	250
	IVA	IVA12%	30

SUBTOTAL 2: 280

1	TOTAL 1	1866,7712	1866,7712
1	TOTAL 2	280	280

TOTAL: 2146,7712

El costo de implementación es reducido en comparación a los beneficios que brinda el controlador a la fábrica.

Anteriormente el consumo de diésel en un mes de producción era de 6000 galones de combustible, actualmente tiene un consumo de 5000 galones, se ha reducido aproximadamente 1000 galones de diésel mensualmente que representa un ahorro de 16.66%.

A partir de la automatización del horno secador, se incrementó la producción de material puzolánico, anteriormente se producía alrededor de 90 toneladas de material en 24 horas de trabajo, actualmente se tiene una producción de alrededor de 120 toneladas que representa un aumento de 25% de producción en 24 horas.

4.2 Proyectos futuros

A un futuro se puede realizar mejoras en este control automático de temperatura del horno secador, como la automatización del ingreso de material prima hacia el horno, mediante la implementación de una banda transportadora y con la ayuda de sensores y equipos que actualmente existe en el mercado.

Con estas mejoras se puede tener un control de temperatura mucho más eficiente el cual el control estaría en relación directa con la cantidad de material que ingresa.

También se puede implementar una base de datos para almacenar la información de temperatura y evitar que el operario registre datos de forma manual.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El proyecto de tesis desarrollado cumple con el principal objetivo planteado , diseñar e implementar un control de temperatura para el horno secador que ayudara mejorar la calidad del producto, reducir costos de fabricación, mano de obra, mejorar el proceso y reducción de tiempos de entrega del producto.
- Se implementó un tablero de control la cual es una aplicación amigable al usuario que satisface las necesidades de la fábrica.
- El panel touch permite que cualquier operario de la fábrica ingresando su clave de acceso, fácilmente pueda tener control y monitoreo del proceso, gracias a la interfaz amigable.
- Debido a la transferencia térmica interna del horno hacia el material puzolánico una vez activado o desactivado la segunda llama, los valores de temperatura difieren en un pequeño porcentaje del valor de histéresis superior e inferior esto debido a que necesita un cierto tiempo para la transferencia de temperatura.
- De acuerdo al estudio realizado con el personal de planta y según los requerimientos técnicos de laboratorio de pruebas, la temperatura debe mantenerse en un rango de 60 a 80° C, dadas estas condiciones de rango, el control on/off con histéresis brinda una operación óptima.
- La implementación de los sistemas de automatización a los procesos de temperatura, genera un sistema organizado y estable, en donde el error humano es casi es nulo, con la cual se genera mayores ganancias para la fábrica.
- Económicamente la implementación de control de temperatura del horno secador contribuye notablemente a la fábrica con el aumento de producción y reducción de gastos, garantizando la confianza por parte del área de ventas y distribución, y a la vez su buena aceptación

en el mercado, garantizando un óptimo estado de material a los clientes.

- Mediante la implementación del sistema de control se redujo la necesidad de la operación manual por parte de los operadores de la planta, logrando con esto evitar fallas humanas, y reducir enfermedades causadas por exposición a altas temperaturas, garantizando así su correcto funcionamiento, cumpliendo condiciones de operación establecidas, y rigiendo a las normas de seguridad laboral.
- La implementación del sistema de control, permite pasar materia prima constante hacia el horno secador, sin la necesidad de cortes de ingreso de material puzolánico por problemas de saturación en los sistemas del proceso, esto por causa de temperaturas no deseadas del material.
- El sistema implementado contribuye en la optimización de los recursos empleados en el secado de material puzolánico, ya que una vez que se ha alcanzado la temperatura deseada simplemente la electroválvula de la segunda llama se desactiva, y se encienden únicamente cuando sea necesario.
- De acuerdo al estudio previo realizado con el personal de planta, y gracias a su conocimiento en el mismo, se ubicó el sensor en un punto específico obteniendo una medición óptima de la temperatura.

5.2 RECOMENDACIONES

- Antes de activar el modo de operación automática, se debe asegurar que el valor de set point y la histéresis superior e inferior de la temperatura sea la deseada.
- Para implementar proyectos de este tipo, primero se debe conocer la planta y el proceso que se va a manejar, con la finalidad de determinar los puntos críticos y la necesidad de un control específico, para evitar futuras sorpresas y problemas en el funcionamiento.

- Se debe realizar mantenimiento preventivo periódicos al sensor y a los actuadores del quemador para precautelar la vida útil de estos equipos.
- Para implementar el diseño del HMI se debe concurrir a normativas, para tener una guía de diseño y con esto asegurar que el proyecto cumple con normativas internacionales.
- Para el diseño de HMI se debe tomar en cuenta las necesidades, el diseño y los requerimientos de la fábrica, con el fin de crear un HMI amigable con el operador.

BIBLIOGRAFÍA

- Baite. (2012). Instruction for burner. *Instruction for burner model BT180LRF*. China.
- Domingo, P. J., Gámiz, C. J., Grau, S. A., & Martínez, G. H. (2003). *Introducción a los autómatas programables*. UOC.
- Enriquez Haper, G. (2012). *El ABC de la instrumentación en el control de procesos industriales*. México, D.F. : LIMUSA, S.A. DE C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.
- García, R. P. (2003). *Apuntes de sistemas de control*. CLUB UNIVERSITARIO.
- Kalpakjian Serope, S. S. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México, D. F.: PEARSON EDUCACIÓN.
- Marco Pérez, J. V. (2005). *Control Lógico Programable*. México, D. F.
- Miranda, C. V. (2012). *Sistemas de control continuos y discretos*. Madrid: Paraninfo. 2005
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: PEARSON. 4ta Edición. 2003
- Quiroga, E. M.-J.-C.-J. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- Morales, F. J. (2012). *Instalación y puesta en marcha de aparatos de calefacción y climatización de uso doméstico*. Málaga: INNOVACIÓN Y CUALIFICACIÓN, S.L.
- Salgado, J. G. (2001). *Teoría de control Diseño Electrónico*. Catalunya: Grupo Artiplan-Artympres S.A.

LINCOGRAFÍA

- Duque, J. E. (08 de 01 de 2002). *Controladores y acciones de control*. Obtenido de Geocities Controladores y acciones de control: <http://www.geocities.ws/joeldupar/control2/pid>
- ABB. (2013). KVC. Obtenido de KVC wedshop: <https://ez.kvc.com.my/products/SH202L-C06A-4.5KA-2POLE-MCB/1222>
- Bizorg. (25 de 06 de 2015). *Simatic SB 1231 RTD*. Obtenido de Bizorg: <http://bizorg.su/programmruemye-kontrollery-r/p3194322-simatic-sb-1231-rtd-6es72315pa300xb0-6es7-2315pa300xb0-6es72315pa300xb0>
- Camsco. (2015). *Selectores*. Obtenido de Camsco: <http://www.camscointernational.com/productos/selectores.html>
- component, T. e. (2015). *MY2 24VDC*. Obtenido de TME electronic component: <http://www.tme.eu/en/details/my2-24dc/industrial-electromagnetic-relays/omron/my2-24vdc-s/>
- Disensa. (03 de 07 de 2015). *electro_cables*. Obtenido de Disensa Ecuador: http://disensa.com/main/images/pdf/electro_cables.pdf
- Acebes, L. F. (2002). *tema1_trasp Introducción a los sistemas de control*. Recuperado el 26 de 04 de 2015, de Universidad de Valladolid Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática: http://www.isa.cie.uva.es/~felipe/docencia/ra12itielec/tema1_trasp.pdf
- AG, S. (2012). *Basic Panels*. (Siemens) Recuperado el 05 de 03 de 2015, de https://cache.automation.siemens.com/dnl_iis/DM/DM1NjU1NQAA_31032678_HB/hmi_basic_panels_operating_instructions_es-ES_es-ES.pdf.
- Atariguana, C., & Mosquera, W. (2002). *Diseño de un sistema de control para las variables de proceso de cocción*. Recuperado el 22 de 02 de 2015, de Repositorio Digital Universidad politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/219/6/Capitulo%205.pdf>
- Automation, R. (2014). *Allen-Bradley*. Recuperado el 04 de 03 de 2015, de Rockwell Automation: <http://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers>
- Granda, M., & Laines, C. (01 de Abril de 2013). *Programación en STEP7*. Recuperado el 08 de 03 de 2015, de Repositorio Digital de la Universidad de Cuenca: dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/670/1/te344.pdf
- INGECO. (13 de 8 de 2013). *Sensor de temperatura por resistencia PT100*. Obtenido de INGENCO Z.S.: <http://www.ingecozs.com/pt100.pdf>
- Jesús, L., Carlos, G., Benito, Z., Alex, M., Daniel, M., & Antonio, G. (04 de 02 de 2010). *Sensores de temperatura*. (S. Die, Productor) Recuperado el 02 de 03 de 2015, de Universidad Politecnica de Valencia: http://server-die.alc.upv.es/assignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf

- Koyo. (2013). *Koyo Electronics Industries*. Recuperado el 04 de 03 de 2015, de Koyo:
<http://www.koyoele.co.jp/english/product/plc/>
- López, B. S. (2012). *procesos-industriales*. Recuperado el 26 de 04 de 2015, de INGENIEROS INDUSTRIALES: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/>
- Montbrun, J. (11 de 03 de 2010). *Sintonización de controladores*. Recuperado el 01 de 03 de 2015, de Universidad Simón Bolívar:
<http://prof.usb.ve/montbrun/sintonizacion%20controladores%20sep07.pdf>
- Rocatek. (05 de 10 de 2010). *Proporcional Integral Derivativo*. Recuperado el 26 de 02 de 2015, de http://es.wikipedia.org/wiki/Proporcional_integral_derivativo
- Sanchez, Y., & Montbrun, J. (11 de 03 de 2010). *REGLAS PARA LA SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID*. Recuperado el 01 de 03 de 2015, de Universidad Simón Bolívar: <http://prof.usb.ve/montbrun/Sintonizacion%20de%20Controladores.pdf>
- Siemens. (2010). *logo_power*. Obtenido de Siemens Osakeyhtiö:
http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teholaheteet/logo_power.pdf
- Siemens. (2014). *Controladores SIMATIC S7*. Recuperado el 04 de 03 de 2015, de <http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logiccontroller/en/simatic-s7-controller/Pages/Default.aspx>
- Siemens. (03 de 06 de 2014). *datasheet 6ES7212-1BE40-0XB0*. Obtenido de ENCON KOSTER: <http://encon-koester.com/wp-content/uploads/2014/07/6es7212-1be40-0xb0.pdf>
- Siemens. (2014). *Lista de precios Ecuador Siemens*. Recuperado el 04 de 03 de 2015, de <http://www.siemens.com.co/sitrainecuador>
- Siemens. (02 de 03 de 2015). *flame detector QRB1*. Obtenido de SCC Inc.:
http://www.scccombustion.com/ce_approvals/QRB%20n7714en%2002-03-2015.pdf
- Siemens. (24 de 06 de 2015). *katalog_6ES7231_5QA30_0XB0*. Obtenido de NES Nová Dubnica s.r.o.:
http://www.nes.sk/documents/product/original/727/katalog_6ES7231_5QA30_0XB0.pdf
- Siemens. (06 de 03 de 2015). *KTP400_20Basic*. Obtenido de Siemens:
http://w3.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/operator-interfaces/basic-panel/devices-second-generation/pages/default.aspx#KTP400_20Basic
- UPC. (AGOSTO de 2015). *COMPARATIVOS DE ESTRATEGIAS DE CONTROL*. Recuperado el 19 de AGOSTO de 2015, de COMPARATIVOS DE ESTRATEGIAS DE CONTROL:
http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9772/01_Mem%20ria.pdf;jsessionid=1B55E2EFF5FC0F3160CF88CD5523C253?sequence=2

ANEXOS

