

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE
CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO INDUSTRIAL UTILIZADO
EN EL PROCESO DE SECADO DEL BOBINADO DE MOTORES Y
GENERADORES ELÉCTRICOS EN LA EMPRESA AFLOMOTORS DE LA
CIUDAD DE QUITO**

**AUTORA:
MICHELLE STEFANIA FLORES MEDINA**

**TUTOR:
VÍCTOR HUGO NARVÁEZ VEGA**

Quito, marzo del 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Michelle Stefania Flores Medina, con documento de identificación N° 17209231-4, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO INDUSTRIAL UTILIZADO EN EL PROCESO DE SECADO DEL BOBINADO DE MOTORES Y GENERADORES ELÉCTRICOS EN LA EMPRESA AFLOMOTORS DE LA CIUDAD DE QUITO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Michelle Stefania Flores Medina

172092317-4

Quito, marzo del 2016

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO INDUSTRIAL UTILIZADO EN EL PROCESO DE SECADO DEL BOBINADO DE MOTORES Y GENERADORES ELÉCTRICOS EN LA EMPRESA AFLOMOTORS DE LA CIUDAD DE QUITO realizado por Michelle Stefania Flores Medina, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2016



Víctor Hugo Narváez Vega

171188687-7

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios por cuidar y guiar mi vida con muchas bendiciones.

A la memoria de mi abuelito que es mi ángel guardián, quién con sus enseñanzas y consejos siempre deseo lo mejor para mi vida, y ahora es mi fuerza para seguir adelante y cumplir muchas metas. Vivirás siempre en mi mente y mi corazón.

A mis queridos padres que gracias a su confianza, consejos, amor y apoyo incondicional han hecho de mí la persona que soy, siendo el pilar fundamental en mi vida, gracias al esfuerzo y sacrificio de ellos puedo cumplir mis metas culminando así esta etapa de formación académica. Los amo mucho.

A mis hermanas que han estado conmigo brindándome su cariño y palabras de aliento para seguir adelante y nunca abandonar mis sueños.

AGRADECIMIENTO

A mi Director de proyecto Ing. Víctor Hugo Narváez quien con su tiempo, paciencia y orientación me ayudó a finalizar con éxito el desarrollo del presente proyecto.

A la Universidad Politécnica Salesiana que a través de sus docentes supieron brindarme los conocimientos y valores para mi formación profesional desde el inicio hasta final de la carrera universitaria.

A la empresa Aflomoters Cia.Ltda. por brindarme la ayuda económica y logística para la realización de este proyecto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.	2
ANTECEDENTES.....	2
1.1 Tema	2
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
CAPÍTULO 2.	5
SITUACIÓN ACTUAL	5
2.1 Empresa Aflomotors.....	5
2.1.1 Planta de producción.....	5
2.2 Proceso de mantenimiento y reparación de motores y generadores.....	6
2.2.1 Descripción del proceso	6
2.3 Ingeniería concurrente	9
2.4 Hornos eléctricos de resistencias	10
2.4.1 Partes constitutivas del horno industrial	11
2.5 Controlador lógico programable (PLC).....	11
2.6 Interfaz Hombre-Máquina	12
2.7 Termocupla	12
2.8 Sistema de control	12
2.8.1 Sistema de control en lazo abierto.....	13
2.8.2 Sistema de control en lazo cerrado	13

2.9	Modo de control proporcional integral derivativo (PID).....	14
2.10	Sistema SCADA	14
2.10.1	Funciones principales de un Sistema SCADA	15
2.10.2	Funciones específicas de un Sistema SCADA	16
2.10.3	Módulos de un sistema SCADA	16
CAPÍTULO 3.....		17
DISEÑO Y DESARROLLO DEL HADWARE Y SOFTWARE DEL SISTEMA DE CONTROL.....		17
3.1	Selección de los elementos según la metodología de diseño concurrente.....	17
3.1.1	Generación de alternativas	18
3.1.2	Ventajas y desventajas de cada propuesta de solución.....	19
3.1.2.1	Controlador Lógico Programable (PLC)	19
3.1.2.2	Pantalla Táctil de visualización y control del proceso	20
3.1.2.3	Sensores de Temperatura.....	21
3.1.2.4	Software para interfaz de comunicación mediante PC.....	22
3.1.3	Selección de la alternativa más óptima	23
3.2	Características principales de los elementos que conforman la Alternativa 1 28	
3.2.1	Controlador lógico programable PLC S7-1200 CPU 1212C.....	28
3.2.2	Software de programación Totally Integrated Automation (TIA Portal) ..	29
3.2.3	Panel de control táctil KTP600 BASIC MONO PN.....	30
3.2.4	Sensor de temperatura Termocupla tipo j	31
3.2.5	Conmutador Switch Scalance X 108	32
3.3	Cálculo de los parámetros de aire forzado para dimensionamiento de blowers 32	
3.4	Cálculo de la potencia del horno.....	34

3.5	Cálculo de la cantidad de calor total suministrado por el sistema	36
3.5.1	Cálculo de las pérdidas de calor en las paredes debido a la conducción ...	37
3.5.2	Cálculo de las pérdidas de calor por convección.....	39
3.5.3	Cálculo de las pérdidas de calor por radiación.....	42
3.5.4	Cálculo de la cantidad de calor absorbida por la carga.....	43
3.5.5	Cálculo del calor total suministrado por el sistema	44
3.6	Sistema de control de temperatura	45
3.7	Diseño de la interfaz de la pantalla touch KTP–600 y lógica de programación del PLC S7-1200.....	47
3.7.1	Conexión y organigrama de la pantalla touch KTP-600TIA PORTAL	47
3.7.2	Programación del PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200 CPU 1212C	49
CAPÍTULO 4.		52
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		52
4.1	Pruebas de funcionamiento en vacío del proceso de secado	52
4.1.1	Pruebas de temperatura en la etapa de calentamiento	52
4.1.2	Pruebas de temperatura en la etapa de retención.....	54
4.1.3	Pruebas de temperatura en la etapa de enfriamiento	55
4.1.4	Cálculo del tiempo total del proceso de secado en vacío para los Set Points de temperatura de 100 °C y 130 °C	56
4.2	Pruebas de funcionamiento con carga del proceso de secado	57
4.2.1	Prueba de temperatura en la etapa de calentamiento	58
4.2.2	Prueba de temperatura en la etapa de retención	59
4.2.3	Prueba de temperatura en la etapa de enfriamiento	60
4.2.4	Cálculo del tiempo total del proceso de secado para un set point de 100 °C con una carga de 4 toneladas	61
4.3	Análisis de productividad del sistema de control de temperatura.....	62

44	Presupuesto	65
	CONCLUSIONES	66
	RECOMENDACIONES.....	68
	REFERENCIAS.....	69
	ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos del sistema de control de temperatura.....	18
Tabla 2. Posibles soluciones para cada componente del sistema de control.....	19
Tabla 3. Ventajas y desventajas de Controladores lógicos programables	20
Tabla 4. Ventajas y desventajas de Pantallas táctiles	21
Tabla 5. Ventajas y desventajas de Sensores de temperatura	22
Tabla 6. Ventajas y desventajas de Software para interfaz de comunicación mediante PC	23
Tabla 7. Alternativas de solución para el sistema de control	24
Tabla 8. Evaluación del peso específico de cada criterio	25
Tabla 9. Evaluación del peso específico del criterio Interfaz amigable	26
Tabla 10. Evaluación del peso específico del criterio Software de programación	26
Tabla 11. Evaluación del peso específico del criterio Precio.....	27
Tabla 12. Evaluación del peso específico del criterio Disponibilidad.....	27
Tabla 13. Evaluación del peso específico del criterio Comunicación entre dispositivos	27
Tabla 14. Tabla de conclusiones del sistema diseñado.....	28
Tabla 15. Características PLC S7-1200 CPU 1212C	29
Tabla 16. Características de la pantalla táctil KTP600 Basic mono PN	31
Tabla 17. Características de la termocupla tipo j.....	31
Tabla 18. Características del Switch ScalanceX108.....	32
Tabla 19. Factor de elevación de temperatura.....	33
Tabla 20. Tabla de datos de la etapa de calentamiento para los Set Points de 100 °C y 130 °C en vacío	53
Tabla 21. Tabla de datos en la etapa de retención para los Set Points de 100 °C y 130 °C en vacío	54
Tabla 22. Tabla de datos en la etapa de enfriamiento para los Set Points de 100 °C y 130	

°C en vacío.....	55
Tabla 23. Tabla de datos en la etapa de calentamiento para los Set Points de 100 °C y 130 °C con carga.....	58
Tabla 24. Tabla de datos en la etapa de retención para los Set Points de 100 °C y 130 °C con carga	59
Tabla 25. Tabla de datos en la etapa de enfriamiento para los Set Points de 100 °C y 130 °C con carga.....	60
Tabla 26. Tabla de datos del sistema anterior de control de temperatura del horno	63
Tabla 27. Tabla de datos del sistema actual de control de temperatura del horno	63
Tabla 28. Costo del proyecto del sistema de control de temperatura	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Puente grúa y montacargas	6
Figura 2. Proceso de mantenimiento y reparación de motores y generadores	7
Figura 3. Diagrama del proceso de secado del bobinado.....	9
Figura 4. Diagrama de bloques de un control PID	14
Figura 5. Esquema básico de un sistema SCADA.....	15
Figura 6. Dimensiones Horno Industrial.....	17
Figura 7. Diagrama de bloques del sistema de control de temperatura	47
Figura 8. Organigrama de la pantalla touch KTP-600.....	48
Figura 9 Diagrama de flujo del programa para el PLC.....	50
Figura 10. Gráfica del proceso de secado en vacío para las temperaturas de 100 °C y 130 °C	56
Figura 11. Gráfica del proceso de secado con carga para las temperaturas de 100 °C y 130 °C.....	61
Figura 12. Consumo de energía del sistema actual y anterior.....	64

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Transformación de °C a °F	32
Ecuación 2. Cálculo potencia del motor en Kilovatios	33
Ecuación 3. Cálculo calor suministrado por el sistema	36
Ecuación 4. Cálculo pérdidas de calor	36
Ecuación 5. Cálculo pérdidas de calor acumulado debido a la conducción (Qk)	37
Ecuación 6. Cálculo flujo calorífico (q).....	37
Ecuación 7. Cálculo número de Grashof (Gr).....	39
Ecuación 8. Cálculo número de nusselt (Nu).....	40
Ecuación 9. Cálculo constante de película convectivo (hc)	40
Ecuación 10. Cálculo pérdidas de calor por convección (Qc)	41
Ecuación 11. Cálculo pérdidas de calor por radiación (Qr).....	42
Ecuación 12. Cálculo cantidad de calor absorbida por la carga (Q'c).....	43
Ecuación 13. Cálculo potencia de grupo.....	44
Ecuación 14. Cálculo potencia de fase.....	44
Ecuación 15. Cálculo de resistencias	45
Ecuación 16. Cálculo corriente de grupo	45
Ecuación 17. Cálculo corriente total del horno	45
Ecuación 18. Cálculo del tiempo total del proceso de secado.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Manual de operación y mantenimiento.....	71
Anexo 2. Circuito de fuerza del horno industrial	85
Anexo 3. Implementación y montaje de los elementos en el horno industrial.....	86
Anexo 4. Diagrama unifilar.....	87
Anexo 5. Diagrama de conexiones del PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU 1212C	88
Anexo 6. Diagrama de comunicación PC/Pantalla touch KTP600/PLC S71200	89
Anexo 7. Diagrama de conexiones del PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU 1212C	90
Anexo 8. Código de programación de la PC-System (SIMATIC PC station) / HMI_RT (WinCC RT Advanced)	98
Anexo 9. Hoja técnica PLC S7-1200 CPU 1212C	103
Anexo 10. Hoja técnica módulo siemens SM 1223.....	105
Anexo 11. Hoja técnica módulo analógico siemens SM 1231.....	108
Anexo 12. Hoja técnica touch panel KTP600 Basic.....	110
Anexo 13. Hoja técnica Switch SCALANCE X108.....	112
Anexo 14. Hoja técnica contactor LS METASOL MC-32A	114
Anexo 15. Capacidad de conductores eléctricos	115
Anexo 16. Hoja técnica ventilador centrífugo.....	116
Anexo 17. Características principales de las termocuplas industriales	117
Anexo 18. Normas Internacionales aplicadas para pruebas de aislamiento.....	118

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza el diseño e implementación de un control de temperatura de un horno industrial para el proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos.

En la implementación de la estructura del horno se toma en cuenta las propiedades de los materiales que conforman las paredes, el aislamiento térmico y los elementos resistivos que calentaran el horno. La potencia total del horno resulta del cálculo de la cantidad de calor absorbido por la carga en un determinado tiempo y de las pérdidas de calor que se tienen por radiación, convección y conducción en las paredes.

Para controlar la temperatura interna del horno se realiza un control PID que permite mantener el valor de temperatura constante, mediante la utilización de un PLC (Controlador Lógico Programable) que controla el funcionamiento del sistema.

En la Interfaz Hombre-Máquina o HMI implementada en una pantalla táctil, se ingresa los valores de temperatura de secado y tiempo de funcionamiento. También se visualiza el estado de los elementos de control, el valor de temperatura real, el tiempo de funcionamiento transcurrido y un registro de alarmas de fallas producidas.

Mediante el software WinCC RT Advanced, se realiza un HMI en la PC para el control remoto del horno industrial y la visualización del estado de los elementos de control. Además se observa las gráficas del comportamiento del PID y se genera una base de datos en Excel para tener un registro de las alarmas, tiempo de encendido y apagado del horno.

ABSTRACT

In the present project is developed the design and implementation of a temperature control for an industrial oven. It is used for the dry process of engines' windings and electrical generators.

The implementation of the oven structure is considered by the properties of wall's materials, thermic isolation and resistive elements that warm up the oven. The total power of the oven is given by the result of the quantity of absorbed heat times of the charge in a determinate time and the loss of heat that are gotten by the radiation, convection and conduction in the walls.

To control the internal temperature of the oven a PID control is built, it allows keeping a constant temperature value, with the use of a PLC (Programmable Logic Control) that controls the function of the system.

The HMI (Human-Machine Interface) implemented in a touch screen is used to enter the temperature values of dry and its time of work. Also is showed the condition of the control elements, real temperature value, working time and the register of warnings of produced fails.

Using WinCC RT Advanced as software is developed an HMI in the PC for the remote control of the industrial oven and the visualization of the control elements. Besides is possible to watch the graphics of the PID performance and is generated a database on Excel with the warnings, and the on and off times of the oven.

INTRODUCCIÓN

En el capítulo 1, se describe el planteamiento para realizar el diseño e implementación de un sistema automático de control de temperatura de un horno industrial utilizado en el proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos en la empresa Aflomotors, lo que ayudará a realizar los trabajos de manera rápida y eficaz entregando así un servicio de calidad al cliente.

El capítulo 2, se detalla la situación actual de la empresa así como también los fundamentos teóricos tales como, procesos, características de los dispositivos utilizados en el sistema, etc., en los que se sustenta el sistema automático de control de temperatura.

En el capítulo 3, se describe el diseño y desarrollo del hardware del sistema automático de control de temperatura, realizando los cálculos de los parámetros que permiten conocer la potencia total del horno, y los valores correspondientes a los elementos que se necesitan tales como resistencias y blowers, además se detalla el diagrama de bloques del sistema de control de temperatura. También se describe la elaboración del software, el cual está conformado principalmente por el programa del control de proceso de temperatura implementado mediante TIA PORTAL, en el PLC S7-1200 CPU 1212C, y la programación de la pantalla touch KTP-600 con la cual se puede operar de manera manual y automática el horno industrial para el proceso de secado del bobinado de motores y generadores.

En el capítulo 4, se realiza la evaluación del comportamiento del control de temperatura en el proyecto en base a las pruebas de funcionamiento realizadas en las diferentes etapas (calentamiento, retención, y enfriamiento). También se analiza la productividad del sistema actual con el anterior y el presupuesto del sistema total del proyecto.

CAPÍTULO 1.

ANTECEDENTES

1.1 Tema

Diseño e implementación de un sistema automático de control de temperatura de un horno industrial utilizado en el proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos en la empresa Aflomotors de la ciudad de Quito.

1.2 Justificación del proyecto

En los procesos industriales es necesario ejercer un control sobre las diferentes variables que intervienen en cada proceso y así asegurar óptimas condiciones de calidad. El proyecto presenta el diseño e implementación de un sistema automático de control de temperatura de un horno eléctrico industrial, que permita mantener una temperatura de secado constante de los bobinados de motores y generadores eléctricos. Para esto mediante un Controlador lógico programable (PLC) se obtendrá en el interior del horno una temperatura constante en el valor seleccionado (Set - Point). El control de temperatura se lo realizará empleando un sistema Feedforward y PID.

Para la visualización del funcionamiento del horno industrial, el ingreso de datos y órdenes de operación se desarrolla un sistema debidamente estructurado, inteligente, eficaz y práctico que permita al operador ingresar y visualizar todos los parámetros requeridos, por medio de una Interfaz Hombre Máquina (HMI) mediante una pantalla táctil (Touch Panel). Además para complementar la correcta funcionalidad, el sistema de control cuenta con supervisión remota vía internet mediante una PC enlazada en una red local, la cual agrega el nivel de gestión, ya que el mismo permite tener acceso a las mismas funciones del HMI sin la necesidad de estar físicamente frente a la máquina, facilitando tener un control, registro de datos de todo el proceso mediante Excel y brindar soporte técnico por parte del personal de mantenimiento en caso de presentarse

alguna falla del sistema. Mediante un módulo Switch Industrial Ethernet se realiza una red de topología estrella entre el PLC, la pantalla touch y la PC, cada uno con una dirección IP.

1.3 Planteamiento del problema

La mayoría de empresas del sector industrial en la actualidad tienen como objeto la prestación de servicios, con exigentes y eficientes diseños organizacionales, brindando calidad de servicio en cada proceso que realizan. La Empresa AFLOMOTORS brinda servicios especializados en el área de reparación y mantenimiento de motores eléctricos y grupos electrógenos.

Uno de los principales procesos que se realiza es el de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos, para lo cual cuentan con un Horno eléctrico Industrial que utiliza resistencias para el calentamiento. El sistema con el que actualmente trabajan presenta los siguientes inconvenientes:

El encendido, apagado y tiempo de funcionamiento del horno se lo realiza de forma manual. Esto genera muchas dificultades para la empresa al tener que contar con el personal adecuado que realice este trabajo en el momento requerido.

Al trabajar con diferentes tipos y tamaños de bobinados se requiere de una temperatura correcta de secado, para lo cual actualmente tienen que energizar varias resistencias de calentamiento por bloques para poder obtener así mayor o menor grado de calor en el interior del horno. Además el operador realiza varias lecturas de temperatura en diferentes puntos y determina de una manera apreciativa la temperatura presente en el interior del horno.

La temperatura presente en el interior del horno no permanece constante y su rango de variación es muy amplio, lo que no permite tener un buen secado de cada bobinado.

Debido a problemas de corte de energía no planificados no se dispone de un registro de encendido y apagado del horno, lo que no permite saber con exactitud el tiempo de secado al que fue sometido cada bobinado.

14 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema automático de control de temperatura de un horno industrial utilizado en el proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos en la empresa Aflomotors.

1.4.2 Objetivos específicos

- Seleccionar por la metodología de diseño concurrente los elementos del proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos.
- Diseñar e implementar el hardware del sistema automático del proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos.
- Diseñar el software del sistema automático del proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos.
- Analizar la productividad del sistema implementado con el sistema actual.

CAPÍTULO 2.

SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Empresa Aflomotors

AFLOMOTORS CIA.LTDA con sede en el D.M. de Quito, tiene como actividad principal el mantenimiento preventivo y correctivo de motores y generadores eléctricos, contando con una experiencia de más de 10 años en estos servicios en el sector petrolero, principalmente en motores de tracción y perforación (traction & drilling motors), generadores tipo OILFIELD, y motores a prueba de explosión.

Dentro de las actividades más relevantes que realiza la empresa AFLOMOTORS, se mencionan las siguientes:

- Reparación y mantenimiento de Motores y Generadores eléctricos.
- Reparación y mantenimiento de Motores AC/DC de baja, media y alta tensión.
- Reparación y mantenimiento de Motores DC/AC de perforación (TRACTION MOTORS).
- Reparación y mantenimiento de Motores de torre de perforación (TOP DRIVE).

2.1.1 Planta de producción

La prestación de los servicios de mantenimiento y reparación de motores eléctricos se realiza en la planta de producción, la cual está conformada por un galpón industrial de 1000 m², que se encuentra dividida en varias áreas de trabajo.

Además la Planta presenta grandes facilidades entre las más importantes, un puente grúa de 6,3 toneladas y montacargas que facilitan el movimiento de todas las partes y piezas que componen los motores eléctricos como se observa en la Figura 1, a cada una de las diferentes áreas de trabajo según el proceso de mantenimiento o reparación a ser

realizado.

Puente grúa y montacargas



Figura 1. Puente grúa y montacargas que facilitan el movimiento de partes y piezas de los motores

Elaborado por: Michelle Flores

2.2 Proceso de mantenimiento y reparación de motores y generadores

2.2.1 Descripción del proceso

Las actividades que conforman el proceso de mantenimiento y reparación de motores y generadores eléctricos, se describe en la Figura 2.

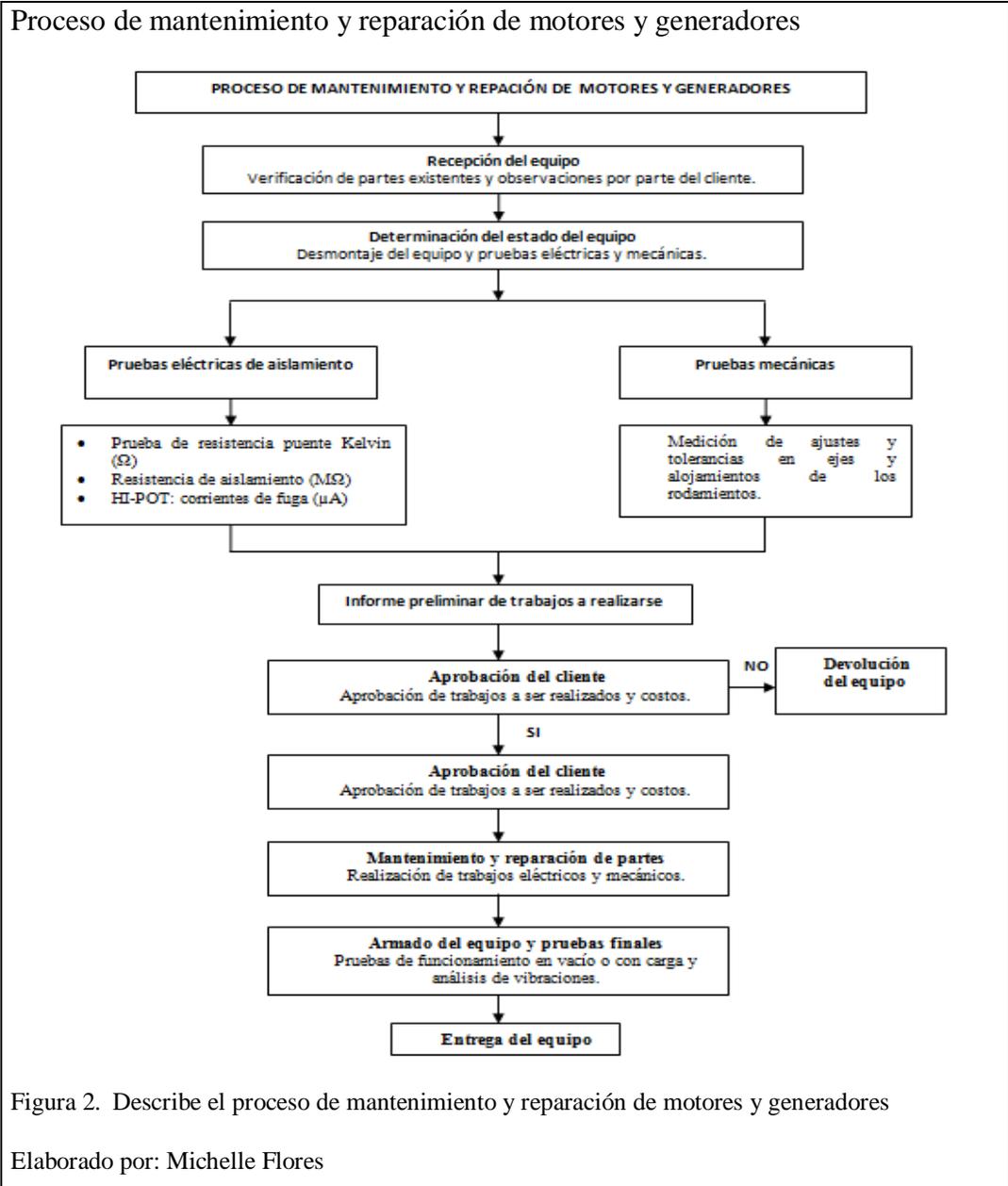


Figura 2. Describe el proceso de mantenimiento y reparación de motores y generadores

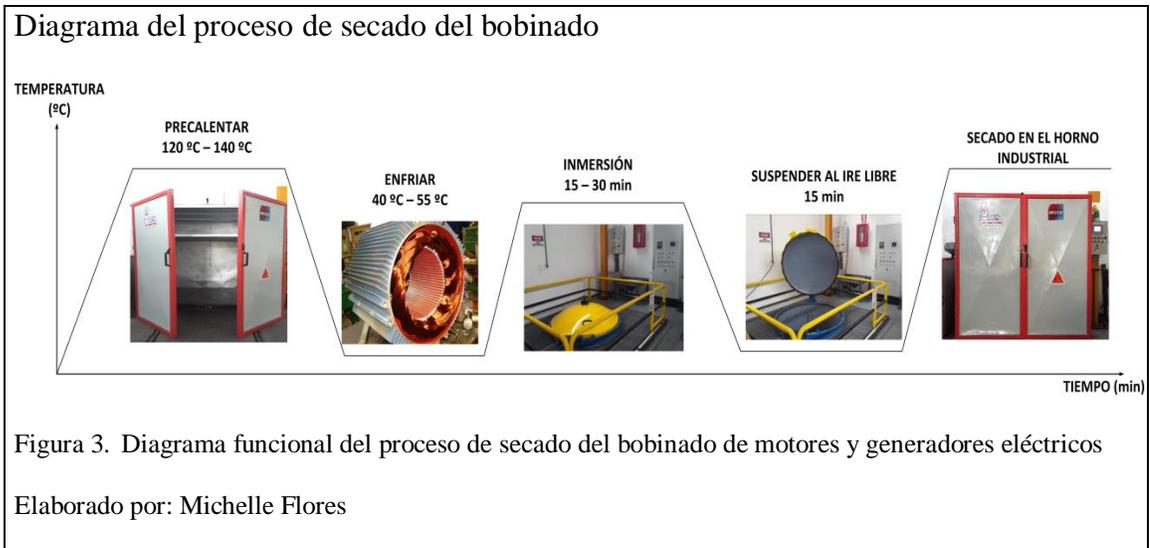
El estudio de este proyecto está enfocado en el control de temperatura de un horno industrial utilizado en el proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos. Los bobinados están conformados por distintos materiales conductores, aislantes y núcleos magnéticos de hierro, que forman un sistema con características propias.

El proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos se realiza cuando se presentan los siguientes casos que se describen a continuación:

- El primer caso es cuando el bobinado de un motor o generador eléctrico se encuentra en buen estado, determinado por las pruebas eléctricas de aislamiento realizadas. Se procede con la limpieza del bobinado con solvente dieléctrico que permite la eliminación de grasa y contaminación acumulada en el bobinado.
- El segundo caso es cuando se presentan problemas en el bobinado de un motor o generador eléctrico, se debe extraer las bobinas quemadas o dañadas tomando las debidas precauciones de no dañar las chapas del estator. Después se realiza la limpieza de las ranuras del estator con un cepillo de acero o una hoja de cierra, si hay suciedad acumulada se utiliza líquido dieléctrico, o solventes desengrasantes. Luego hay que aislar las ranuras estatóricas con papel aislante y elaborar las nuevas bobinas para armarlas y conectarlas en el estator.

Para los dos casos mencionados el proceso de secado del bobinado se indica en la Figura 3 y se lo realiza de la siguiente manera:

Se calienta el bobinado en el horno industrial a una temperatura de 120-140 °C para eliminar humedad y líquidos presentes, según el tamaño de la máquina el tiempo para alcanzar la temperatura indicada varía. Posteriormente el bobinado se deja enfriar hasta una temperatura de 40 °C a 55 °C para después realizar el recubrimiento de barniz al bobinado por inmersión durante un tiempo de 15 a 30 min, este proceso también es llamado aislamiento secundario lo que es una parte importante del sistema de aislamiento de la máquina porque permite el aumento de la rigidez mecánica de los alambres del bobinado, mejora las propiedades dieléctricas, mejora la capacidad de conducción térmica y protege al bobinado contra la humedad y el entorno corrosivo químico. Luego del barnizado el bobinado es suspendido al aire libre para eliminar el exceso de barniz durante un tiempo aproximado de 15 min y por último se realiza el secado del barniz en el horno industrial con un tiempo y temperatura según indique el fabricante del barniz para desarrollar sus propiedades en su totalidad.



2.3 Ingeniería concurrente

La ingeniería concurrente se basa en el diseño y desarrollo de productos y servicios de forma global e integrada donde concurren las siguientes perspectivas:

1. Desde el punto de vista del producto, se toman en consideración tanto la gama que se fabrica y que se ofrece a la empresa como los requerimientos de las distintas etapas del ciclo de vida y los costes o recursos asociados.
2. Desde el punto de vista de los recursos humanos, colaboran profesionales que actúan de forma colectiva en tareas de asesoramiento y de decisión tanto si pertenecen a la empresa como si son externos a ella como otras empresas, universidades o centros tecnológicos.
3. Y, desde el punto de vista de los recursos materiales, concurren nuevas herramientas basadas en tecnologías de la información y la comunicación sobre una base de datos y de conocimientos cada vez más integrada. (Romeva C. R., 2002, pág. 14)

A pesar de que las distintas perspectivas y metodologías de la ingeniería concurrente tienen por objeto concebir los productos y servicios de forma global en beneficio de los usuarios, lo cierto es que repercuten de distinta manera sobre los intereses de las empresas y de las colectividades. Existen dos orientaciones de la ingeniería concurrente:

- A) Ingeniería concurrente orientada al producto (fabricación, costes, inversión, calidad, comercialización, apariencia): se refiere a la integración de todos aquellos aspectos que pueden tener una incidencia positiva en el producto, especialmente en sus funciones y en la relación entre prestaciones y coste.
- B) Ingeniería concurrente orientada al entorno (ergonomía, seguridad, medioambiente, fin de vida): trata precisamente de aquellos aspectos relacionados con el entorno del producto que, a pesar de que con un diseño concurrente adecuado podrían mejorar o eliminarse, no hay incentivos suficientes para implementarlos pues, normalmente, sus efectos inciden fuera de la empresa y normalmente son soportados por los usuarios e indirectamente por la sociedad (consumos elevados, contaminaciones, fallos, falta de seguridad, problemática de fin de vida). (Romeva C. R., 2002, págs. 17-18)

Se aplica la ingeniería concurrente a este proyecto para seleccionar los elementos del proceso de secado del bobinado que permitan asegurar que el sistema implementado responda a las necesidades de los usuarios dando un buen servicio en el proceso de secado de motores y generadores eléctricos, además facilitar el mantenimiento del sistema para su correcto funcionamiento y reducir el impacto ambiental haciendo reducción en el consumo de energía eléctrica del horno industrial.

24 Hornos eléctricos de resistencias

Los hornos eléctricos de resistencias o también se les llama hornos industriales, son equipos utilizados en la industria, en las que se calientan piezas o elementos que son colocados en su interior, a una temperatura superior a la del ambiente.

En base a las diferentes aplicaciones que presentan los hornos eléctricos por resistencias dentro de la industria, ya sea en relación con el procedimiento o proceso a utilizar, los cuales pueden ser: sinterizado y calcinación, fusión de metales, tratamientos térmicos, recubrimiento de piezas metálicas, secado o reducción de humedad, procesos químicos, y otros procedimientos. Se puede decir que los tipos de hornos eléctricos presentan

grandes ventajas técnicas y económicas en su utilización, tanto por su versatilidad, costos, tamaño, resistencia y durabilidad. (Patricio Geovanny Aguirre Gonzaga, 2014)

2.4.1 Partes constitutivas del horno industrial

El horno eléctrico que se utilizará en el proyecto técnico consta de las siguientes partes:

- Estructura metálica: Es la distribución de las partes mecánicas unidas entre sí y elaboradas para soportar con seguridad las cargas aplicadas a la misma.
- Cámara de calefacción: Es un espacio cerrado, con una construcción típica de tres calderas; la exterior donde sostiene el material refractario, la intermedia donde se ubica los elementos de resistencia, y la interior que sirve de guía para una correcta circulación de aire.
- Circulación de aire forzado (Blowers): Son ventiladores que permiten una distribución homogénea de la temperatura alcanzada durante el proceso de secado.
- Resistencias de calentamiento (Niquelinas): Son las que emiten el calor necesario requerido, dependiendo de su potencia.
- Control de temperatura (Termocuplas): Permite mantener al horno en un valor de temperatura deseado mediante un controlador o sistema de control implementado.

2.5 Controlador lógico programable (PLC)

El PLC (Programmable Logic Controller en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial. Es un hardware industrial, que se utiliza para la obtención de datos. Una vez obtenidos, los pasa a través de bus (por ejemplo por Ethernet) en un servidor. Se tiene distintos lenguajes de programación, los más utilizados son el diagrama de escalera denominado Lenguaje Ladder, programación por estados y lista de instrucciones. Actualmente se han incorporado lenguajes que permiten implementar algoritmos complicados mediante diagramas más sencillos de flujo que son fáciles de entender y mantener.

26 Interfaz Hombre-Máquina

Una interfaz Hombre-Máquina o HMI, es un sistema que presenta datos a un operador por medio del cual controla un determinado proceso. Las HMI se pueden definir como una ventana de un proceso que puede estar en dispositivos como paneles de operador o en una computadora o pantalla táctil (Touch Panel).

La interacción Hombre-Máquina se centra en el estudio del diseño, la evaluación y la implementación de sistemas interactivos de computación para el usuario, la interacción es la creación de la interfaz de usuario y de los procesos, finalmente la arquitectura se refiere a la organización de la información que se tiene mediante el software.

27 Termocupla

Una termocupla es un sensor de temperatura que consiste en la unión distintos conductores metálicos, unidos en un extremo, denominado junta caliente suministrando una señal de tensión eléctrica que depende directamente de la temperatura; este sensor puede ser conectado a un milivoltímetro o potenciómetro. Una termocupla no mide temperaturas absolutas, sino la diferencia de temperatura entre el extremo caliente y el extremo frío, este efecto termoeléctrico hace posible la medición de temperatura. (Termokew, 2012)

Las características principales de las termocuplas industriales se visualizan en el Anexo 17.

28 Sistema de control

Un sistema de control está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales o datos de entrada. El aspecto más relevante de un sistema es determinar de qué manera se comporta la señal de salida frente a una variación de la señal de entrada. Un conocimiento preciso de la relación

entrada/salida, permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla. De esta manera, el diseñador, conociendo cuál es la dinámica deseada, ajustará la acción de control para conseguir el objetivo final. En visto de todo lo antes expuesto se define a un sistema de control como el conjunto de elementos que interactúan para conseguir que la salida de un proceso se comporte tal y como se desea, mediante una acción de control. (Spartacus Gomáriz, Teoría de control, 2000, pág. 15)

2.8.1 Sistema de control en lazo abierto

En un sistema en lazo abierto, la salida no es comparada con la referencia, por ello cada entrada corresponde a una operación sobre la señal de salida. Se puede asegurar entonces que la exactitud del sistema depende de la calibración del mismo, por lo que, la presencia de perturbaciones provocará que el sistema no cumpla la función asignada.

Para establecer una topología en lazo abierto, es indispensable conocer la relación entrada/salida y garantizar la inexistencia de perturbaciones externas o variaciones de los parámetros internos del sistema. Esto en general no se cumple en la práctica, y su implicación resulta en sistemas excesivamente caros. (Spartacus Gomáriz, Teoría de control, 2000, pág. 18)

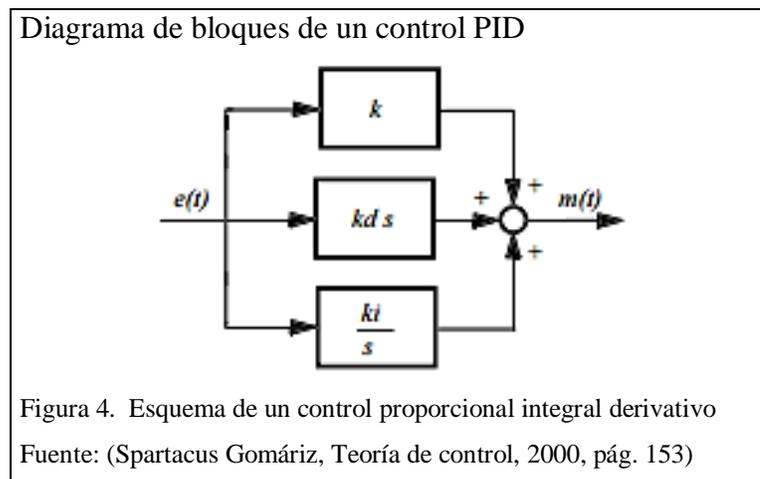
2.8.2 Sistema de control en lazo cerrado

La señal controlada debe realimentarse y compararse con la entrada de referencia, tras lo cual se envía a través del sistema una señal de control, que será proporcional a la diferencia encontrada entre la señal de entrada y la señal medida a la salida, con el objetivo de corregir el error o desviación que pudiera existir. La principal ventaja de los sistemas de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación hace al conjunto menos sensible a las perturbaciones externas y a las variaciones de los parámetros internos. (Spartacus Gomáriz, Teoría de control, 2000, pág. 18)

29 Modo de control proporcional integral derivativo (PID)

La acción de control proporcional integral derivativa (PID) genera una señal resultado de la combinación de la acción proporcional, la acción integral y la derivativa conjuntamente. La estructura en diagrama de bloques se muestra en la Figura 4.

La acción de control proporcional integral derivativa permite eliminar el error en estado estacionario, logrando una buena estabilidad relativa del sistema de control. La mejora de estabilidad relativa implica una respuesta transitoria con tiempos de adquisición y un valor de máximo sobreimpulso pequeños. (Spartacus Gomáriz, Teoría de control, 2000, pág. 152)

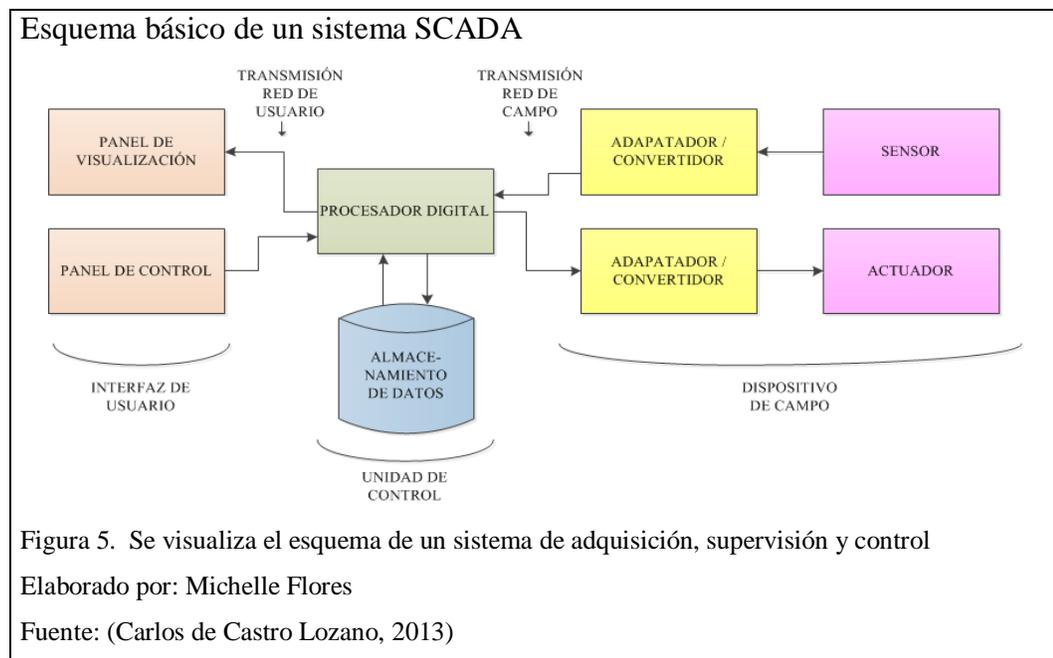


2.10 Sistema SCADA

SCADA proviene de las siglas de Supervisory Control And Data Acquisition (Adquisición de datos y supervisión de control). Es una aplicación software de control de producción, que se comunica con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Proporciona información del proceso a diversos usuarios (operadores, supervisores de control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc). (Carlos de Castro Lozano, 2013)

Los sistemas de interfaz entre usuario y planta basados en paneles de control repletos de indicadores luminosos, instrumentos de medida y pulsadores, están siendo sustituidos por sistemas digitales que implementan el panel sobre la pantalla de un ordenador. El control directo lo realizan los controladores autónomos digitales y/o autómatas programables y están conectados a un ordenador que realiza las funciones de diálogo con el operador, tratamiento de la información y control de la producción, utilizando el SCADA. (Carlos de Castro Lozano, 2013)

En la Figura 5 se visualiza el esquema básico de un sistema SCADA.



2.10.1 Funciones principales de un Sistema SCADA

- Adquisición de datos, para recoger, procesar y almacenar la información recibida.
- Supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- Control, para la modificación del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) bien directamente sobre el

proceso mediante las salidas conectadas. (Carlos de Castro Lozano, 2013)

2.10.2 Funciones específicas de un Sistema SCADA

- Transmisión de información con dispositivos de campo y otros PC.
- Base de datos: Gestión de datos con bajos tiempos de acceso.
- Presentación: Representación gráfica de los datos. Interfaz del Operador o HMI (Human Machine Interface).
- Explotación: De los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera. (Carlos de Castro Lozano, 2013)

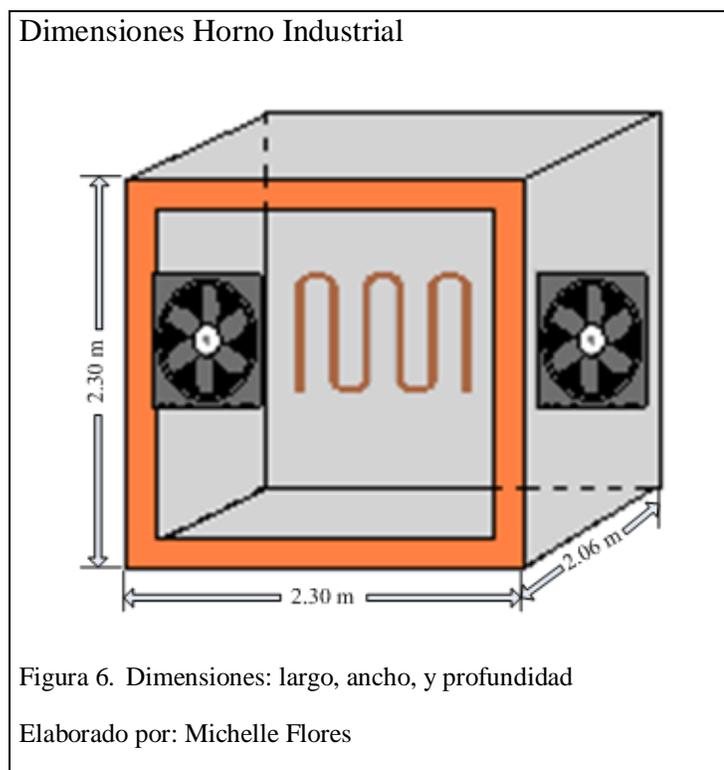
2.10.3 Módulos de un sistema SCADA

- Configuración: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- Interfaz Gráfico del Operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta.
- Módulo de Proceso: ejecuta las acciones de mando programadas a partir de los valores actuales de variables leídas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.).
- Gestión de Archivo de Datos: se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Comunicación: se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión. (Carlos de Castro Lozano, 2013)

CAPÍTULO 3.

DISEÑO Y DESARROLLO DEL HADWARE Y SOFTWARE DEL SISTEMA DE CONTROL

Este proyecto técnico se basa en el control de temperatura de un horno industrial utilizado en el proceso de secado de bobinados de motores y generadores eléctricos para lo cual se tiene un horno industrial con las siguientes dimensiones que se observa en la Figura 6:



3.1 Selección de los elementos según la metodología de diseño concurrente

De acuerdo a los requerimientos de la empresa que se visualiza en la Tabla 1, se realiza la selección de los elementos para el control de temperatura del proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos.

Tabla 1.

Requerimientos del sistema de control de temperatura

Requerimientos del sistema de control de temperatura para el horno de secado	
1	Dimensionamiento e Instalación de niquelinas en el horno de secado en base a la temperatura máxima (150°C).
2	Dimensionamiento e Instalación de Blowers para la recirculación de aire por el interior del horno.
3	Registrar valores de temperatura provistas por las termocuplas previamente instaladas.
4	Mantener un control de temperatura constante al valor seteado por el operador.
5	Sistema de control manual y automático de acuerdo a la necesidad del operador y de la planta.
6	Interfaz Hombre - Máquina para la visualización, control y adquisición de datos del proceso.
7	Interfaz de comunicación y supervisión mediante una PC.
8	Registro de alarmas que se presenten en el proceso.
9	Registro del funcionamiento del proceso por fecha y hora.
10	Manual de mantenimiento y operación de todo el sistema de control.

Nota: Requisitos que se necesitan para el sistema de control de temperatura. Elaborado por: Michelle Flores

3.1.1 Generación de alternativas

De acuerdo a los requerimientos del sistema de control de temperatura, se desglosan en la Tabla 2, los componentes para determinar las posibles soluciones.

Un requerimiento de la empresa Aflomoters, es trabajar con Siemens, debido a que sus demás equipos operan con esta marca.

Tabla 2.

Posibles soluciones para cada componente del sistema de control

Componentes	Solución 1	Solución 2	Solución 3
Controlador Lógico Programable (PLC)	S7-200 CPU 224XP	S7-1200 CPU 1212C	S7-300 CPU 315-2PN/DP
Pantalla Táctil visualización y control del proceso	TP 177micro	KTP 600 Basic Mono PN	KTP 600 Basic Color PN
Sensor de Temperatura	Termocupla tipo K	Termocupla tipo J	RTD (PT100)
Software para interfaz de comunicación mediante PC	InTouch	WinCC RT Advanced	WinCC RT Advanced

Nota: Soluciones que se pueden utilizar para el sistema de control. Elaborado por: Michelle Flores

3.1.2 Ventajas y desventajas de cada propuesta de solución

Para cada función se analizan las ventajas y desventajas de cada solución.

3.1.2.1 Controlador Lógico Programable (PLC)

A continuación en la Tabla 3, se visualizan las ventajas y desventajas de las soluciones planteadas para la utilización de un controlador lógico programable que permita controlar los diferentes dispositivos de control a implementarse en el horno industrial.

Tabla 3.

Ventajas y desventajas de Controladores lógicos programables

Ventajas	Desventajas
Solución 1: PLC S7200 CPU 224XP	
Modularidad optima	Baja disponibilidad en el mercado local
Pequeño y compacto	Baja disponibilidad de cable de comunicación
Fácil de programar con Step 7-Micro/Win	Baja disponibilidad de software de programación
Alta capacidad de memoria	Necesidad de modulo adicional para conexión a Industrial Ethernet
Dos puertos de comunicación RS 485	Tecnología discontinua
Entradas analógicas integradas	Entradas sin acondicionamiento para termocupla
Solución 2: PLC S7300 CPU 315-2PN/DP	
Modularidad optima	No dispone de IN/OUT digitales integradas
Dos puertos de comunicación Ethernet	No dispone de IN/OUT analógicas integradas
Fácil de programar con Tia – Portal	Necesidad de fuente de alimentación externa de 24V DC
Alta capacidad de memoria	Costo muy elevado
Alta disponibilidad en el mercado local	Necesidad de Master Memory Card para la CPU
Solución 3: PLC S71200 CPU 1212C	
Modularidad optima	Necesidad de módulo adicional IN/OUT digitales
Un puerto de comunicación Ethernet	Necesidad de conmutador (Switch) para comunicación con otros dispositivos de control
Fácil de programar con Tia – Portal	
Alta capacidad de memoria	
Alta disponibilidad en el mercado local	
Voltaje de alimentación a 220V AC	
Entradas analógicas integradas	

Nota: Ventajas y desventajas para cada solución. Elaborado por: Michelle Flores

3.1.2.2 Pantalla Táctil de visualización y control del proceso

En la Tabla 4, se observan las ventajas y desventajas de las soluciones planteadas para el

empleo de una pantalla táctil que permita la visualización y control del proceso.

Tabla 4.

Ventajas y desventajas de Pantallas táctiles

Ventajas	Desventajas
Solución 1: TP 177micro	
Posee un puerto de comunicación RS-485	No posea una interfaz Ethernet
Posee 4 tonos de color azul representables	Baja disponibilidad en el mercado local
Tiene una memoria de aplicación de 256 kbytes	No tiene teclas de función
Bajo costo de adquisición	Software de programación Simatic WinCC Flexible con baja disponibilidad y costo adicional en el mercado local.
Solución 2: KTP 600 BASIC COLOR PN	
Posee un puerto de comunicación Ethernet	Costo elevado de adquisición
Mantenimiento económico	
Posee una memoria de aplicación de 1 Mbytes	
Programación con el Software Tia Portal	
Tiene 256 colores representables	
Solución 3: KTP 600 BASIC MONO PN	
Mantenimiento económico	Costo elevado de adquisición
Posee una memoria de aplicación de 512 kbytes	
Posee un puerto de comunicación Ethernet	
Programación con el Software Tia Portal	
Tiene 4 tonos de color gris representables	

Nota: Ventajas y desventajas para cada solución. Elaborado por: Michelle Flores

3.1.2.3 Sensores de Temperatura

En la Tabla 5, se observan las ventajas y desventajas de las soluciones planteadas para la utilización de un sensor de temperatura.

Tabla 5.

Ventajas y desventajas de Sensores de temperatura

Ventajas	Desventajas
Solución 1: Termocupla tipo J	
Uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 750° C	A causa de la oxidación y fragilidad potencial , no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0° C.
Son Robustas	Menor precisión de lectura
Cubre amplios rangos de temperatura.	Mayor sensibilidad a interferencias eléctricas.
Alta disponibilidad en el mercado	Poca distancia de trabajo hasta los 20 mts.
Bajo costo	No se las recomienda para temperaturas inferiores a 0°C, debido a la oxidación y fragilidad que poseen.
Solución 2: Termocupla tipo K	
Uso constante en atmósferas oxidantes, reductoras, inertes y en vacío hasta 1200°C.	Menor precisión de lectura
Alta disponibilidad en el mercado	Mayor sensibilidad a interferencias eléctricas
Adecuadas para mediciones bajo 0 °C	Menor distancia de trabajo hasta los 20 mts
Buena resistencia a la oxidación.	No presenta linealidad
Resistente a vibraciones y golpes	
Solución 3: RTD (PT100)	
Alta precisión hasta $\pm 0,3$ °C	Rango de temperatura limitado hasta 600 °C
Mayor distancia de trabajo hasta 30 mts.	Tienen un alto costo
Mejor linealidad que el termopar	Frágil a golpes y sensible a lugares con vibraciones.
Mayor precisión de lectura	

Nota: Ventajas y desventajas para cada solución. Elaborado por: Michelle Flores

3.1.2.4 Software para interfaz de comunicación mediante PC

Se indican las ventajas y desventajas en la Tabla 6 de las soluciones planteadas para escoger el software para la interfaz de comunicación con la PC, que permita la implementación del programa y la visualización del proceso de secado en el computador.

Tabla 6.

Ventajas y desventajas de Software para interfaz de comunicación mediante PC

Ventajas	Desventajas
Solución 1: InTouch	
Interfaz de usuario es mucho más intuitiva y fácil de comprender.	Paquete SCADA funciona bajo entorno Windows XP
Fácil instalación y configuración	Presenta problemas en Runtime cuando se le cargan Scripts con muchas instrucciones
Visores de curvas para la presentación y evaluación de valores del proceso archivados	El uso de varios punteros no es muy bien soportado.
Alta disponibilidad en el mercado local	Alto costo
	Uso de IO Servers para establecer comunicación
Solución 2: WinCC RT Advanced - Tia Portal	
Manejo del proceso desde una interfaz de usuario personalizable.	Software inestable bajo Windows Vista y XP
Señalización y confirmación de eventos.	
Permite tener un registro de alarmas y eventos del sistema.	
Visualización de las secuencias y el estado de los procesos con gráficos dinamizables.	
Permite la administración de usuarios y protección de acceso	
Visores de curvas para la presentación y evaluación de valores del proceso archivados	
Alta disponibilidad en el mercado local	
Solución 3: WinCC RT Advanced - Tia Portal	
Posee las mismas ventajas y desventajas de la Solución 2	

Nota: Ventajas y desventajas para cada solución. Elaborado por: Michelle Flores

3.1.3 Selección de la alternativa más óptima

Se selecciona dos posibles alternativas para el sistema de control de temperatura del horno de secado de bobinados de motores y generadores eléctricos las cuales se detallan

en la Tabla 7.

Tabla 7.

Alternativas de solución para el sistema de control

Componentes	Alternativa 1	Alternativa 2
Controlador Lógico Programable (PLC)	S7-1200 CPU 1212C	S7-300 CPU 315-2PN/DP
Pantalla Táctil visualización y control del proceso	KTP 600 Basic Mono PN	KTP 600 Basic Color PN
Sensor de Temperatura	Termocupla tipo J	RTD (PT100)
Software para interfaz de comunicación mediante PC	WinCC RT Advanced	WinCC RT Advanced

Nota: Se visualiza las posibles alternativas para cada solución. Elaborado por: Michelle Flores

Para determinar la alternativa más óptima se utiliza el método de criterios ponderados que se basa en los siguientes parámetros:

- 1: Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; $>$) que el de las columnas.
- 0,5: Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas.
- 0: Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; $<$) que el de las columnas.

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución). Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio. (Romeva C. R., 2002, pág. 60)

Para el presente proyecto, se tomaron en cuenta los cinco criterios más importantes que resultaron del análisis de cada solución.

- 1) Interfaz amigable
- 2) Software de programación
- 3) Precio
- 4) Disponibilidad
- 5) Comunicación entre dispositivos

A continuación se realiza la evaluación del peso específico de cada criterio, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.

Evaluación del peso específico de cada criterio

CRITERIO	Interfaz amigable	Software de programación	Precio	Disponibilidad	Comunicación entre dispositivos	$\Sigma+1$	Pondera.
Interfaz amigable		0,5	1	1	1	4,5	0,310
Software de programación	0,5		1	0,5	0,5	3	0,207
Precio	0	0		1	1	3	0,207
Disponibilidad	0	0,5	0		1	2,5	0,172
Comunicación entre dispositivos	0	0,5	0			1,5	0,103
					SUMA	14,5	1

Nota: Valoración de cada criterio. Elaborado por: Michelle Flores

La relación de los criterios se define de la siguiente manera:

Interfaz amigable > Software de programación = Precio > Disponibilidad > Comunicación entre dispositivos

A continuación, se realiza la evaluación de los pesos específicos de las alternativas de solución para cada criterio. Como se visualiza en las Tablas 9, 10, 11, 12, 13 respectivamente de acuerdo a cada criterio.

Tabla 9.

Evaluación del peso específico del criterio Interfaz amigable

INTERFAZ AMIGABLE	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Pondera.
Alternativa 1		1	2	0,667
Alternativa 2	0		1	0,333
		SUMA	3	1

Nota: Valoración del criterio Interfaz amigable para cada alternativa. Elaborado por: Michelle Flores

Tabla 10.

Evaluación del peso específico del criterio Software de programación

SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Pondera.
Alternativa 1		0,5	1,5	0,500
Alternativa 2	0,5		1,5	0,500
		SUMA	3	1

Nota: Valoración del criterio Software de programación para cada alternativa. Elaborado por: Michelle Flores

Tabla 11.

Evaluación del peso específico del criterio Precio

PRECIO	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Pondera.
Alternativa 1		1	2	0,667
Alternativa	0		1	0,333
		SUMA	3	1

Nota: Valoración del criterio Precio para cada alternativa. Elaborado por: Michelle Flores

Tabla 12.

Evaluación del peso específico del criterio Disponibilidad

DISPONIBILIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Pondera.
Alternativa 1		0,5	1,5	0,500
Alternativa 2	0,5		1,5	0,500
		SUM	3	1

Nota: Valoración del criterio Disponibilidad para cada alternativa. Elaborado por: Michelle Flores

Tabla 13.

Evaluación del peso específico del criterio Comunicación entre dispositivos

COMUNICACIÓN ENTRE DISPOSITIVOS	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Pondera.
Alternativa 1		0,5	1,5	0,500
Alternativa 2	,5		1,5	0,500
		SUMA	3	1

Nota: Valoración del criterio Comunicación entre dispositivos. Elaborado por: Michelle Flores

Finalmente para conocer la mejor alternativa se realiza el cálculo de la tabla de conclusiones del sistema diseñado, que se indica en la Tabla 14.

Tabla 14.

Tabla de conclusiones del sistema diseñado

CONCLUSIÓN	Interfaz amigable	Software de progra.	Precio	Disponibilidad	Comunicación entre dispo.	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,21	0,10	0,14	0,09	0,05	0,59	1
Alternativa 2	0,10	0,10	0,07	0,09	0,05	0,41	2

Nota: Cálculo para escoger la mejor alternativa según la valoración. Elaborado por: Michelle Flores

Una vez aplicado el método de criterios ponderados se tiene como conclusión que la “Alternativa 1” es la mejor opción para aplicar en la implementación del sistema de control de temperatura para el proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos.

3.2 Características principales de los elementos que conforman la Alternativa 1

3.2.1 Controlador lógico programable PLC S7-1200 CPU 1212C

El controlador lógico programable que se utiliza para este proyecto es el S7-1200 CPU 1212C que ofrece la capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización que se quieran ejecutar. En la Tabla 15, se observa las características relevantes del controlador lógico programable S7-1200 CPU 1212C y su hoja técnica en el Anexo 9. Además se utilizó un módulo de entradas y salidas digitales SM1223 para complementar el mando y control de los elementos utilizados, su hoja técnica se visualiza en el Anexo 10.

Tabla 15.

Características PLC S7-1200 CPU 1212C

Características	S7-1200 CPU 1212C
Marca	Siemens
Dimensiones	90 x 100 x 75 mm
Software de programación	TIA Portal
Voltaje de alimentación	110/220 V AC
Alimentación de sensores	24 V DC
Memoria de datos	50 kbytes
E/S digitales integradas	8 E/6 S
E/S analógicas integradas	2 E/0 S
Puerto de comunicación	1
Tipo de comunicación	Ethernet
Capacidad módulos de ampliación	8
Disponibilidad local	Alta demanda

Nota: Datos técnicos del controlador lógico programable. Elaborado por: Michelle Flores

3.2.2 Software de programación Totally Integrated Automation (TIA Portal)

TIA Portal es la herramienta de ingeniería más moderna para la configuración y programación de todos los controladores SIMATIC. Para las tareas sencillas de visualización con los SIMATIC Basic Panels también se incluye SIMATIC WinCC Basic. Este software permite:

- Reduce el tiempo invertido en ingeniería, debido a que permite innovaciones del habla, funciones integradas y configuración gráfica.
- Su inicio es rápido, permitiendo la detención de errores eficientemente a través del análisis del sistema integrado en tiempo real y las funciones en línea.
- Menor tiempo de retardo, gracias al mantenimiento sencillo que se realiza a distancia con el servidor web que posee.
- Permite la seguridad de los componentes y sus librerías.

Totally Integrated Automation Portal convence en todos los pasos de trabajo y programación gracias a su claridad, a la guía inteligente del usuario y a los procesos cómodos. Las funciones como "arrastrar y soltar", "copiar y pegar" agilizan y facilitan el trabajo de forma decisiva. (Siemens, 2012)

Lenguajes de programación que ofrece TIA Portal son los siguientes:

- Texto estructurado (SCL)
- Esquema de contactos (KOP)
- Diagrama de funciones (FUP)
- Lista de instrucciones (AWL)
- Programación secuencia (GRAPH) (Siemens, 2012)

3.2.3 Panel de control táctil KTP600 BASIC MONO PN

Los paneles KTP600 Basic Mono PN poseen una funcionalidad básica para ambientes de redes Profibus o Profinet, además de ser una alternativa a los paneles de la serie 170 por su bajo precio, y pueden ser configurados hasta en 32 idiomas (de los cuales, 5 pueden ser seleccionados en operación on-line). (Siemens, 2010)

A continuación en la Tabla 16, se describen las características relevantes de la pantalla touch KTP600 Basic Mono PN que se utiliza en este proyecto y su hoja técnica en el Anexo 12.

Tabla 16.

Características de la pantalla táctil KTP600 Basic mono PN

Características	KTP 600 BASIC MONO PN
Software de programación	TIA Portal
Tipo	Pantalla táctil analógica resistiva
Tamaño	5.7"
Resolución, píxeles	320 x 240
Colores representables	4 niveles de gris
Teclas de función	6
Memoria de aplicación	512 kbytes
Tipo de comunicación	1 x Ethernet
Tensión nominal	24 V DC
Corriente típica	Aprox. 240 mA

Nota: Datos técnicos de la pantalla táctil. Elaborado por: Michelle Flores

3.2.4 Sensor de temperatura Termocupla tipo j

Las características de la termocupla tipo j que se usa para este proyecto, se visualizan en la Tabla 17. Las conexiones de cada termocupla se las realiza mediante un módulo analógico siemens SM 1231 y sus características se visualizan en el Anexo 11.

Tabla 17.

Características de la termocupla tipo j

Características	Termocupla tipo j
Combinación de materiales	Hierro/Constantan
Rango de temperatura (°C)	De 0 °C a 750 °C
Error Máximo (Clase 1)	± 1,5 °C
Precisión	± 1.0 °C + 0.75%
Tipo de señal de salida	mV
Sensibilidad	5,6 mV/ 100 ° C

Nota: Datos técnicos del sensor de temperatura. Elaborado por: Michelle Flores

3.2.5 Conmutador Switch Scalance X 108

Los dispositivos de la serie SCALANCE X-108 permiten la instalación rentable de un bus Industrial Ethernet, estrella, o estructuras de anillo con funcionalidad de conmutación y son gestionados con hasta ocho puertos. A continuación en la Tabla 18, se presenta las características del Switch Scalance Industrial Ethernet X-108 y su hoja técnica se observa en el Anexo 13.

Tabla 18.

Características del Switch ScalanceX108

Características	Switch Scalance X108
Tipo de comunicación	Ethernet
Puertos de comunicación	8
Velocidad transferencia	100 Mbit/s
Tensión nominal	24 V DC
Corriente típica	0,14 A

Nota: Datos técnicos del conmutador-Switch. Elaborado por: Michelle Flores

33 Cálculo de los parámetros de aire forzado para dimensionamiento de blowers

Para el cálculo de los parámetros de aire forzado se toma en cuenta los siguientes datos:

Temperatura del horno: 150 °C

Esta temperatura se transforma en grados Fahrenheit aplicando la siguiente Ecuación 1:

$$^{\circ}F = \frac{9}{5} * 150^{\circ}C + 32 = 302^{\circ}F \quad \text{Ecuación 1.}$$

Con esta temperatura vamos a la Tabla 19 que nos indica el factor de elevación de temperatura y los pies cúbicos por minuto:

Tabla 19.

Factor de elevación de temperatura

Amt. de Aire	Temperatura (°F)											
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	
CFM												
100	1,7	,3	5	6,7	8,3	10	11,7	13,3	15	16,7	20	
200	3,3	6,7	10	13,3	16,7	20	23,3	26,7	30	33,3	40	
300	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	
400	6,7	13,3	20	26,7	33,3	40	46,7	53,3	60	66,7	80	

Nota: Datos para el cálculo del factor de elevación de temperatura. Elaborado por: Michelle Flores

De la Tabla 19, se tiene que para una temperatura de 350 °F le corresponde un factor de elevación de temperatura de 23,3 (valor adimensional), y 200 CFM (pies cúbicos por minuto).

Se toma ese valor ya que se requiere que exista recirculación de aire dentro de la cámara y se necesita mayor presión de empuje.

Con los datos obtenidos se calcula la potencia del motor que se requiere para mover tal cantidad de aire, mediante la siguiente Ecuación 2.

$$Kw = \frac{CFM * elevación\ de\ temperatura}{3000} \quad Ecuación\ 2.$$

Donde:

Kw: Potencia del motor en Kilovatios.

CFM: Cantidad de aire que se necesita mover en pies cúbicos por minuto.

Elevación de temperatura = 23.3 (valor obtenido de la Tabla 19)

$$Kw = \frac{200 * 23.3}{3000} = 1.5533 \text{ kW} * \frac{1000 \text{ W}}{1 \text{ kW}} = 1553.3 \text{ W}$$

$$1553.3 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{746 \text{ W}} = 2.08 \text{ HP} \cong 2 \text{ HP}$$

La potencia del motor calculada es 2 HP con este valor obtenemos las especificaciones técnicas de los ventiladores centrífugos que se utilizan para horno industrial.

De acuerdo a la hoja técnica de los ventiladores centrífugos que se muestra en el Anexo 16, y a la potencia del motor se registran los siguientes datos para el motor blower: Volaje = 220 VAC, Potencia = 2 HP, Velocidad = 1725 RPM, Corriente = 7.4 A.

34 Cálculo de la potencia del horno

La potencia del horno se obtiene a través de la suma de cantidad de calor requerido para el calentamiento de la carga determinada por unidad de tiempo más las pérdidas por acumulación de calor en las paredes, mas las pérdidas debido a la convección y la radiación desde la parte exterior del horno. Además se toma en cuenta la temperatura, las dimensiones interiores de la cámara, propiedades y peso de la carga, y las propiedades del aislamiento térmico.

Temperatura máxima horno = 150 °C

Dimensiones de la cámara interna del horno

Altura= 2.20 m

Ancho= 1.96 m

Profundidad= 1.72 m

Volúmen interior= 7.42 m³

Propiedades del aislamiento térmico

Se utiliza como aislamiento térmico la lana mineral.

Temperatura máxima de servicio= 700 °C

Conductividad térmica (k)= 0.040 kcal/hr*m*°C

Densidad= 40 kg/m³

Calor específico (Cp)= 0.201 kcal/kg*°C

Propiedades y peso de la carga

El material utilizado como carga es el cobre cuyas características son:

Calor específico a 150 °C= 0.092 kcal/kg*°C

Conductividad térmica a 150 °C= 321.79 kcal/hr*m*°C

Densidad= 8.954 kg/m³

Emisividad= 0.015

Peso de la carga= 550 kg

35 Cálculo de la cantidad de calor total suministrado por el sistema

La cantidad de calor total suministrado por el sistema en un horno, es igual a la cantidad de calor requerido para el calentamiento de la carga, más las pérdidas producidas durante un determinado tiempo de operación del horno. Se calcula mediante la siguiente Ecuación 3.

$$Q_s = Q_p + Q'_c \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

Q_s : Calor suministrado por el sistema.

Q_p : Pérdidas de calor.

Q'_c : Calor absorbido por la carga.

Las pérdidas de calor se producen debido a la acumulación de calor en las paredes del horno teniendo pérdidas de calor por conducción, por convección y radiación desde la parte exterior del horno. Se calcula las pérdidas de calor mediante la siguiente Ecuación 4.

$$Q_p = Q_k + Q_{cv} + Q_r \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

Q_p : Pérdidas de calor.

Q_k : Pérdidas por acumulación de calor en las paredes (por conducción).

Q_{cv} : Pérdidas por convección desde la parte exterior del horno.

Q_r : Pérdidas por radiación desde la parte exterior del horno.

3.5.1 Cálculo de las pérdidas de calor en las paredes debido a la conducción

El calor que se produce dentro del horno, se transmite a sus paredes, cuya diferencia de temperatura entre la cara interna y la exterior mide el calor acumulado por la cámara. Cuando se tiene un correcto aislamiento, las pérdidas de calor estarán dentro de un margen muy pequeño y por lo tanto se tendrá un consumo menor de energía. Estas pérdidas se calculan con la siguiente Ecuación 5.

$$Qk = m * Cp * \Delta T \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

Qk: Pérdidas de calor acumulado debido a la conducción (kcal).

m: Masa del cuerpo que almacena el calor (173,2 kg material aislante).

Cp: Calor específico del cuerpo (0,201 kcal/kg*°C material aislante).

ΔT : Variación de la temperatura del cuerpo (Temperatura máxima interna – Temperatura de las paredes externas)

Para realizar el cálculo de las pérdidas de calor en las paredes es necesario calcular el flujo calorífico el cual es inversamente proporcional al espesor de la pared y además será constante e igual para todas las capas. Se calcula mediante la siguiente Ecuación 6.

$$q = \frac{T1 - T3}{\frac{x1}{k1} + \frac{x2}{k1}} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

q: Flujo calorífico

T1: Temperatura en el interior del horno (150 °C).

T3: Temperatura en la pared exterior del horno (30 °C).

x1: Espesor de la pared (se asume 0,025 m).

x2: Espesor de la pared (se asume 0,025 m).

k1: Conductividad térmica del material usado como aislante térmico (0,040 kcal/hr*m*°C).

Entonces al reemplazar valores en la Ecuación 6 se tiene:

$$q = \frac{150 \text{ }^{\circ}\text{C} - 30 \text{ }^{\circ}\text{C}}{\frac{0,025 \text{ m}}{0,040 \frac{\text{kcal}}{\text{hr} * \text{m} * \text{ }^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,025 \text{ m}}{0,040 \frac{\text{kcal}}{\text{hr} * \text{m} * \text{ }^{\circ}\text{C}}}} = \frac{120 \text{ }^{\circ}\text{C}}{1,25 \frac{\text{hr} * \text{m}^2 * \text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{kcal}}} = 96 \frac{\text{kcal}}{\text{hr} * \text{m}^2}$$

$$T1 - T2 = q * \frac{x1}{k1}$$

$$T1 - T2 = 96 * \frac{0,025}{0,040}$$

$$T2 = T1 - 60 \text{ }^{\circ}\text{C} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C} - 60 \text{ }^{\circ}\text{C} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T2 - T3 = q * \frac{x2}{k1}$$

$$T2 - T3 = 96 * \frac{0,025}{0,040}$$

$$T2 - T3 = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T3 = T2 - 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T3 = 90 \text{ }^{\circ}\text{C} - 60 \text{ }^{\circ}\text{C} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Con los valores de temperatura calculados se procede a calcular las pérdidas por acumulación de calor debido a la conducción, reemplazando valores en la Ecuación 5 se tiene:

$$Q_k = (173,2 \text{ kg}) \left(0,201 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * \text{ }^{\circ}\text{C}} \right) (150 \text{ }^{\circ}\text{C} - 30 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 4177,584 \text{ kcal}$$

Para un tiempo de acumulación de calor en las paredes del horno se toma un $t=4$ h y se sabe que: $1 \text{ kcal/h} = 1,163 \text{ W}$

Entonces tenemos que:

$$Q_k = \frac{4177,584 \text{ kcal}}{4 \text{ h}} * \frac{1,163 \text{ W}}{1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}} = 1214,63 \text{ W}$$

3.5.2 Cálculo de las pérdidas de calor por convección

Cuando se produce pérdidas por convección la velocidad de fluido en los puntos alejados de la superficie del cuerpo es nula, pero alrededor del cuerpo se tiene un movimiento de aire, cuando la temperatura del cuerpo es distinta a la del aire. Las pérdidas de calor por convección está en función de tres parámetros adimensionales Nu, Pr, Gr, los cuales permiten calcular el coeficiente de película convectivo (h_c). Como se muestra en la Ecuación 7.

$$Gr = (\Delta T * \beta) * \frac{L^3 * \rho^2 * g}{\mu^2} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

Gr: Número de Grashof (adimensional).

ΔT : Diferencia de temperatura (temperatura superficie exterior del horno – temperatura ambiente del aire).

B: coeficiente de dilatación del aire ($\beta = \frac{1}{288^\circ\text{K}}$).

L: Longitud característica (3,2 m).

ρ : densidad del aire ($1,093 \text{ kg/m}^3$).

g: gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$).

μ : viscosidad del aire (0,1 kg/h*m).

Procedemos a calcular la diferencia de temperatura (ΔT):

$$\Delta T = 30^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = 15^\circ\text{C}$$

Transformamos a $^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273,15$

$$\Delta T = 288,15^\circ\text{K}$$

Entonces reemplazando valores en la Ecuación 7 se tiene:

$$\text{Gr} = \left(288,15^\circ\text{K} * \frac{1}{288^\circ\text{K}} \right) * \frac{(3,2 \text{ m})^3 * (1,093 \text{ kg/m})^2 * (9,8 \text{ m/s}^2)}{\mu^2} * \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right)^2$$
$$\text{Gr} = \frac{32,768 * 1,195 * 9,8 * 12960000}{0,01} = 497,33 \times 10^9$$

Debido al que régimen es turbulento se aplica la siguiente Ecuación 8:

$$Nu = 0,14 * (Gr * Pr)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde:

Nu: Número de nusselt (adimensional).

Gr: Número de grashof (adimensional).

Pr: Número de grashof (adimensional).

$$Nu = 0,14 * ((497,33 \times 10^9) * (0,72))^{\frac{1}{3}} = 994,15$$

Por lo tanto el coeficiente de película convectivo se obtiene con la siguiente Ecuación 9:

$$hc = Nu * \frac{k}{L} \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

Nu: Número de nusselt (adimensional).

k: Conductividad del aire (0,0243 kcal/h*m*°C).

L: Longitud característica (3,2 m).

$$hc = 994,15 * \frac{0,0243 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * \text{m} * ^\circ\text{C}}{3,2 \text{ m}} = 7,55 \text{ kcal/h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C}$$

Entonces las pérdidas de calor por convección se calculan mediante la siguiente Ecuación 10:

$$Q = hc * A * \Delta T \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right) \quad \text{Ecuación 10.}$$

Donde:

hc: Constante de película convectivo (7,55 kcal/h*m²*°C).

A: Superficie exterior horizontal (10,24 m²).

ΔT: Diferencia de temperatura (temperatura superficie exterior del horno – temperatura ambiente del aire) 15 °C.

Por lo tanto:

- Para superficie horizontal superior:

$$Q_{c_s} = hc * A * \Delta T = 7,55 * 10,24 * 15 ^\circ\text{C} = 1159,68 \text{ (kcal/h)}$$

- Para superficie horizontal inferior, se considera el 50% menos que la superior.

$$Q_{c_i} = 0,50 * Q_{c_s} = 0,50 * 1159,68 = 579,84 \text{ (kcal/h)}$$

- Para superficie verticales, se considera el coeficiente convectivo hc un 35% inferior que para superficies horizontales, por lo tanto.

$$Q_{c_v} = 0,65hc * A * \Delta T \text{ (kcal/h) Por 4 \u00e1reas verticales}$$

$$Q_{c_v} = 0,65(7,55) * 61,44 * 15 = 4522,752 \text{ (kcal/h)}$$

Las p\u00e9rdidas por convecci\u00f3n son: $Q_c = Q_{c_s} + Q_{c_i} + Q_{c_v}$

$$Q_c = 1159,68 + 579,84 + 4522,752 = 6262,272 \text{ (kcal/h)}$$

3.5.3 C\u00e1lculo de las p\u00e9rdidas de calor por radiaci\u00f3n

Las superficies atraen y emiten energ\u00eda radiante con distinta intensidad, y la cantidad de calor transmitida por radiaci\u00f3n por los cuerpos s\u00f3lidos que son generalmente opacos viene dado por la siguiente Ecuaci\u00f3n 11:

$$Q_r = \varepsilon * \sigma * A * (T_s^4 - T_a^4) \frac{\text{kcal}}{h} \quad \text{Ecuaci\u00f3n 11.}$$

Donde:

Q_r: Calor transmitido por radiaci\u00f3n (kcal/h).

\u03b5: Emisividad de la superficie emisora (0,9).

\u03c3: Constante universal (4,965x10⁻⁸ kcal/h*m²*k).

A: \u00c1rea de superficie emisora (20,48 m²).

T_s: Temperatura de superficie emisora (30 \u00b0C=303,15 \u00b0K).

T_a: Temperatura ambiente (15 \u00b0C=288 \u00b0K).

Reemplazando valores en la Ecuaci\u00f3n 11 tenemos:

$$Q_r = 0,9 * 4,965 \times 10^{-8} * 20,48 * (303,15^4 - 288^4) \text{ kcal/h} = 1433 \text{ kcal/h}$$

Por lo tanto las pérdidas totales de calor:

$$Q_p = Q_k + Q_c + Q_r$$

$$Q_p = 1044,396 + 6262,272 + 1433 = 8739,668 \text{ kcal/h}$$

3.5.4 Cálculo de la cantidad de calor absorbida por la carga

La energía radiante de las paredes internas de la cámara que llega a la carga, provoca un cambio de energía interna, la que se ve reflejada en el aumento de la temperatura. El calor absorbido por la carga se obtiene con la siguiente Ecuación 12.

$$Q'c = mc * Cpc * \Delta T \quad \text{Ecuación 12.}$$

Donde:

$Q'c$: Calor absorbido por la carga.

mc : Masa de la carga (550 kg).

Cpc : Calor específico de la carga (0,092 kcal/kg*°C).

T_o : Temperatura inicial de la carga (15 °C).

T_f : Temperatura final de la carga (150 °C).

Reemplazando valores en la Ecuación 12 se tiene:

$$Q'c = 550 \text{ kg} * \left(0,092 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} * ^\circ\text{C} \right) * (150 ^\circ\text{C} - 15 ^\circ\text{C}) = 6831 \text{ kcal/h}$$

3.5.5 Cálculo del calor total suministrado por el sistema

Al conocer el valor de las pérdidas de calor en un ciclo de funcionamiento del horno, y la cantidad de calor absorbido por la carga durante el periodo de calentamiento, se aplica la Ecuación 3, para obtener el calor suministrado por el sistema.

$$Q_s = Q_p + Q'c \quad \text{Ecuación 3.}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$Q_s = (8739,668 + 6831) \text{ kcal/h} = 15570,668 \text{ kcal/h}$$

Se sabe que: $1 \text{ kcal/h} = 1,163 \text{ W}$

Por lo tanto: $15570,668 \text{ kcal/h} = 18108,67 \text{ W}$

Potencia del horno es igual a $18,107 \text{ kW}$.

Una vez que se conoce el valor de la potencia total del horno se procede a calcular el valor de la potencia y corriente para cada grupo de resistencia mediante la siguiente Ecuación 13.

$$P_{\text{Grupo}} = \frac{P_{\text{THorno}}}{2} \quad \text{Ecuación 13.}$$

$$P_{\text{Grupo}} = \frac{18,107 \text{ kW}}{2} = 9,0535 \text{ kW} = 9053,5 \text{ W}$$

Se obtiene la potencia de fase mediante la siguiente Ecuación 14.

$$P_{\text{Fase}} = \frac{P_{\text{Grupo}}}{3} \quad \text{Ecuación 14.}$$

$$P_{\text{Fase}} = \frac{18,107 \text{ kW}}{3} = 6,036 \text{ kW} = 6035,66 \text{ W}$$

Se calcula el valor de las resistencias a utilizarse mediante la siguiente Ecuación 15.

$$R = \frac{V^2}{PFase} \quad \text{Ecuación 15.}$$

$$R = \frac{(220 \text{ V})^2}{6035,66 \text{ W}} = 8,02 \Omega \approx 10 \Omega$$

Como es un sistema resistivo se aplica la siguiente Ecuación 16:

$$ILgrupo = \frac{PGrupo}{\sqrt{3} * 220} \quad \text{Ecuación 16.}$$

Reemplazando valores en la Ecuación 16, se obtiene la corriente de grupo:

$$ILgrupo = \frac{9053,5 \text{ W}}{\sqrt{3} * 220} = 23,76 \text{ A}$$

Entonces la corriente total del horno industrial para todo el sistema se obtiene aplicando la siguiente Ecuación 17.

$$ITHorno = 2 * ILgrupo \quad \text{Ecuación 17.}$$

$$ITHorno = 2 * 23,76 \text{ A} = 47,52 \text{ A}$$

Conociendo el valor de corriente total del horno que es 47,52A calculado mediante la Ecuación 17, se utiliza cable calibre número 8 AWG que se indica en el Anexo 15.

En base a la corriente de cada grupo de resistencias conectadas en triángulo como se visualiza en el Anexo 2, se emplean dos contactores para cada grupo, como elementos de control. Sus especificaciones se visualizan en el Anexo 14.

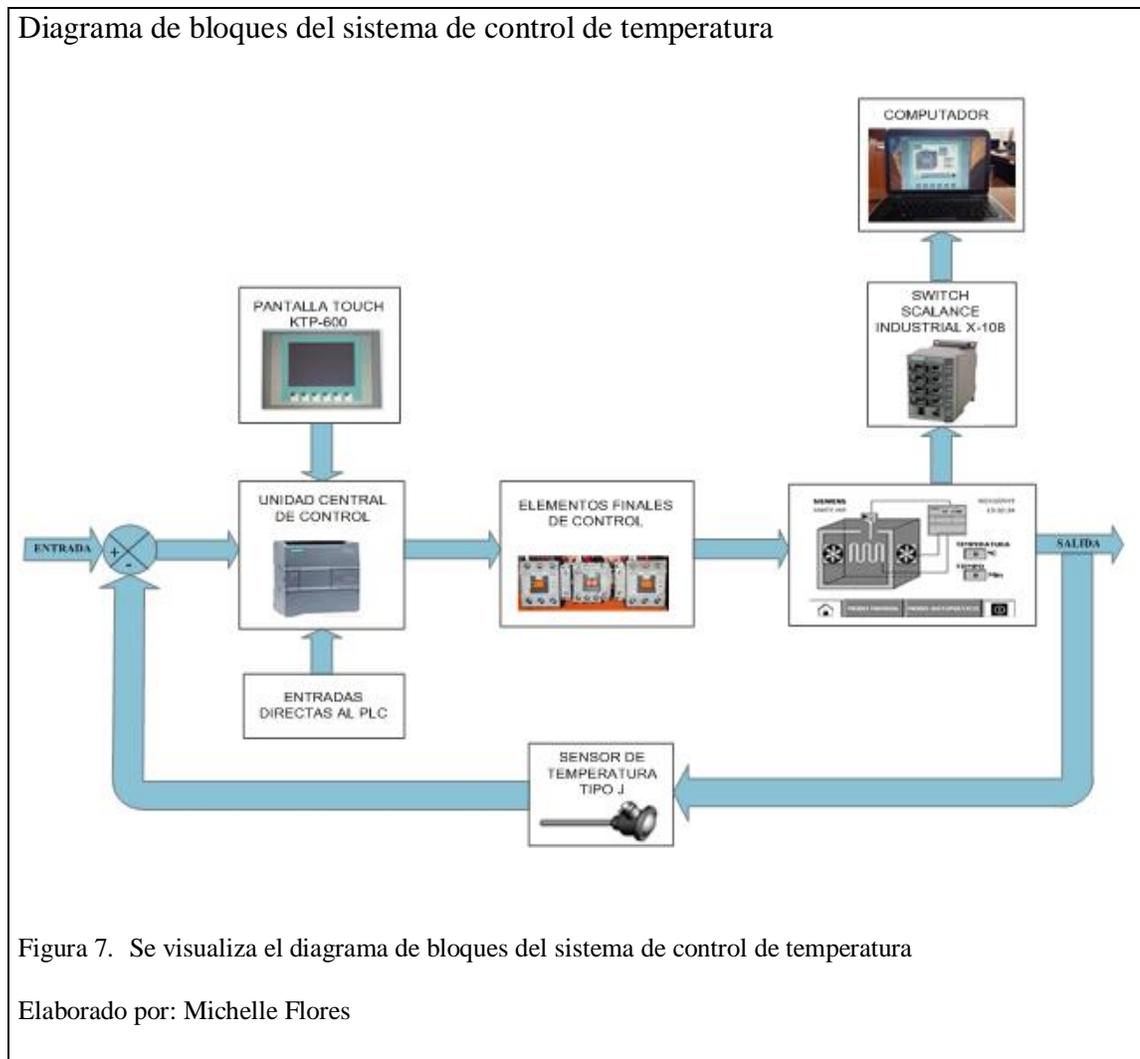
3.6 Sistema de control de temperatura

Mediante el diagrama de bloques que se visualiza en la Figura 7, se determina el tipo de control que se realiza, siendo este un control en lazo cerrado. Además se observan los diferentes elementos que intervienen en el proceso y las funciones que cumplen cada uno. Mediante la utilización de un controlador lógico programable Siemens S7-1200

que es la unidad central de control de todo el proceso, se conectan pulsadores del tablero principal (inicio, stop, paro de emergencia), selector (modo manual, automático) que son las entradas directas al PLC. El diagrama de conexiones de entradas y salidas se visualiza en el Anexo 5 y el diagrama unifilar de los elementos de control en el Anexo 4.

También se puede ingresar las variables de temperatura requerida y tiempo mediante la utilización de una pantalla Touch KTP-600, además se visualiza el comportamiento de las variables mediante gráficas y se tiene un registro de datos y alarmas presentes en el proceso. Los elementos finales de control son accionados directamente desde el PLC, y permiten el control del encendido y apagado de las resistencias internas del horno, blowers y alarmas. La implementación y montaje de los elementos en el horno industrial se encuentra en el Anexo 3.

El proceso del control de temperatura se comporta en base a los valores de Set Point ingresados en el sistema y mediante un control PID desarrollado en el mismo. Este proceso es monitoreado desde una PC enlazado mediante una interfaz Ethernet industrial conectada por medio de un Switch Scalance Industrial X-108 que permite visualizar en tiempo real el comportamiento de las variables del proceso mediante gráficas y llevar un registro de datos y alarmas. Mediante la utilización de una Termocupla tipo J se determina la temperatura presente en el horno que permite monitorear y controlar la variable (set point) en lazo cerrado.



3.7 Diseño de la interfaz de la pantalla touch KTP-600 y lógica de programación del PLC S7-1200

3.7.1 Conexión y organigrama de la pantalla touch KTP-600TIA PORTAL

La pantalla touch KTP600 se encuentra conectada al PLC S7-1200 y a la PC mediante un Switch Scalance X-108, como se muestra en el Anexo 6.

El organigrama de la pantalla touch KTP-600 que se muestra en la Figura 8, indica la secuencia de pantallas que se siguen para el proceso de control de temperatura.

Organigrama de la pantalla touch KTP-600

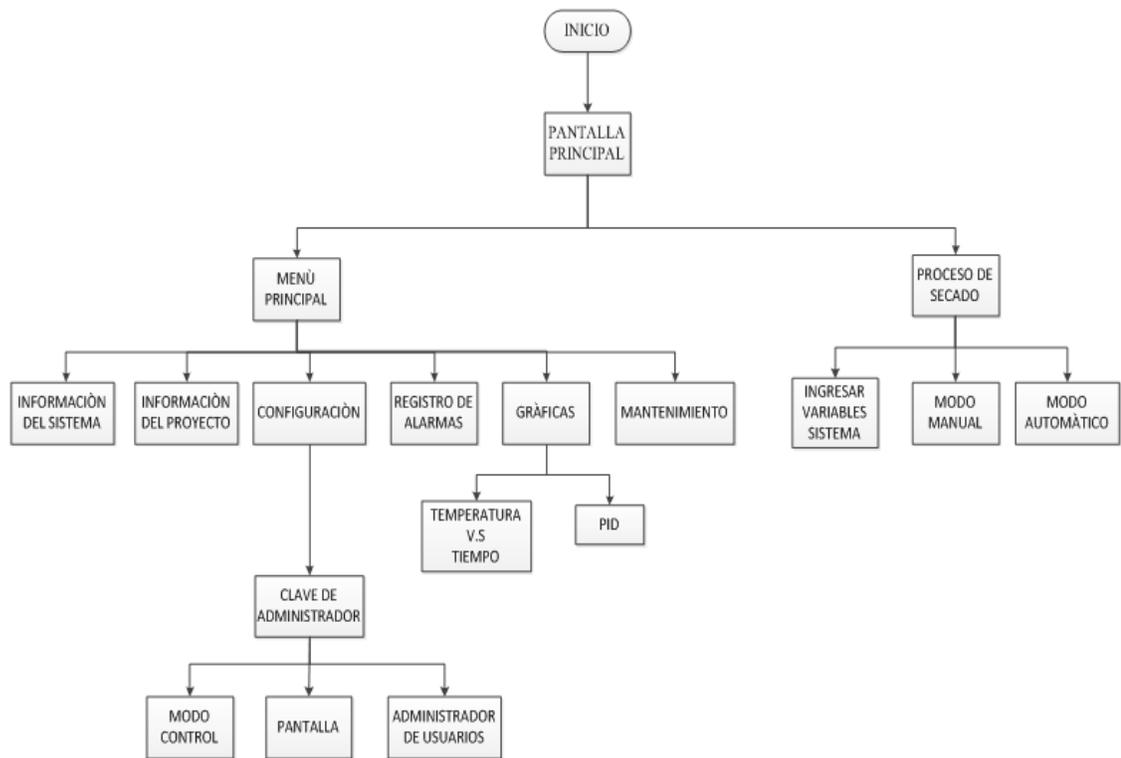


Figura 8. Se visualiza el diseño de la interfaz realizada en la pantalla touch KTP-600

Elaborado por: Michelle Flores

En la pantalla principal se observa el logotipo de la empresa y permite ingresar al menú principal y al proceso de secado. Dentro de la pantalla de menú principal se ingresa a las diferentes opciones como son: información del sistema, información del proyecto, configuración, registro de alarmas, gráficas y mantenimiento. En información del sistema se visualiza el tipo de pantalla, la conexión, y el controlador que se está utilizando. La opción de información del proyecto indica el nombre del proyecto, la fecha de creación, el autor y una breve descripción. En registro de alarmas se observa el historial de alertas del sistema, cuando ocurre un paro de emergencia o cuando es seguro retirar el bobinado del horno. La pantalla gráfica indica las representaciones del comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo y de las variaciones del PID del proceso de secado. En la pantalla de mantenimiento se verifica que todos los elementos del tablero de control del horno industrial estén funcionando correctamente.

Para configurar la pantalla, el modo de control del proceso y administrador de usuarios, se requiere ingresar en la opción configuración del menú principal mediante una clave de administrador. Dentro de la opción configuración de pantalla se puede realizar cambios en el contraste, calibración y dirección ip de la pantalla. En el modo de control se visualizan las constantes del PID. La opción administrador de usuarios permite modificar la clave de ingreso como administrador, así como también definir las prioridades a las que se tiene acceso para las configuraciones del sistema.

Dentro de la pantalla proceso de secado se ingresa las variables del sistema tiempo y temperatura, se puede elegir modo de control manual o automático, y se visualiza el proceso de control de temperatura.

3.7.2 Programación del PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200 CPU 1212C

El PLC es la unidad central de control que permite regular el nivel de temperatura seteada, utilizando un compensador proporcional, integral y derivativo PID, el cual se programa tomando en cuenta el diagrama de flujo que se observa en la Figura 9, y el código de programación que se visualiza en el Anexo 7.

El sistema inicia cuando el operador mediante un selector que se encuentra en el tablero de control escoge el modo de operación manual o automático.

Diagrama de flujo del programa para el PLC

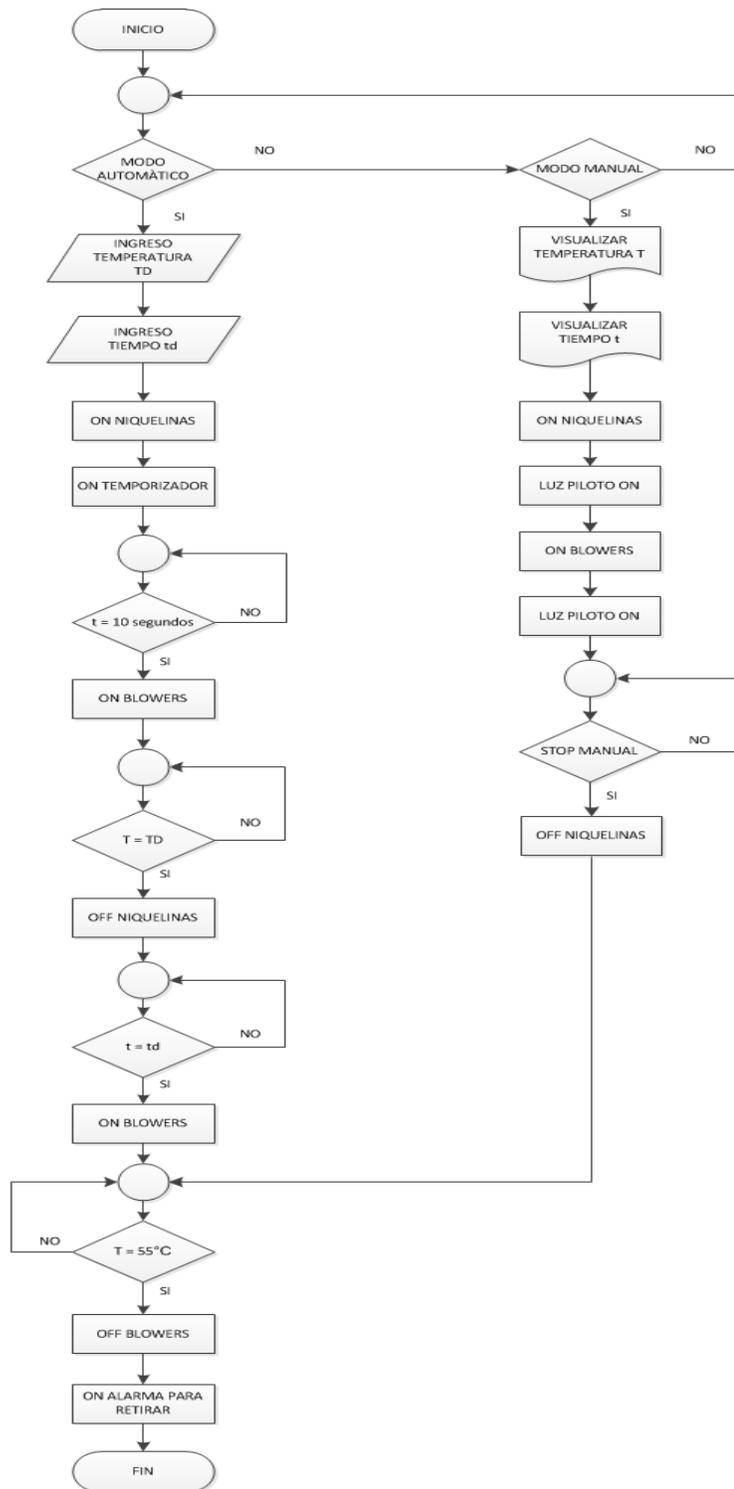


Figura 9. Flujograma para la programación en el PLC S7-1200

Elaborado por: Michelle Flores

Cuando el modo de operación seleccionado en el tablero de control es automático, se trabaja directamente desde la pantalla touch KTP-600. Se ingresa la temperatura deseada TD y el tiempo deseado td al cuál el bobinado estará sometido en la etapa de retención, luego se encienden las niquelinas automáticamente que sirven para elevar la temperatura interna del horno, también se inicializa un temporizador indicando que al transcurrir 10 segundos se encienden los blowers los cuales hacen circular el aire por toda el área interna del horno para que la temperatura se distribuya uniformemente. La temperatura interna del horno es regulada a través de un compensador PID y las niquelinas se apagan cuando el tiempo deseado td se cumple. Los blowers permanecen encendidos para que el aire se siga distribuyendo por la superficie interna del horno, y de esta manera la temperatura llegue a ser de 55 °C luego de lo cual los blowers se apagan y se activa una alarma para retirar el bobinado del horno de forma segura. Finalizando así el modo de operación automático.

Si el modo de operación seleccionado en el tablero de control es manual, se visualiza la temperatura T y el tiempo t al cuál el bobinado estará sometido en la etapa de retención, en la pantalla touch KTP 600. Mediante los pulsadores del tablero de control, se procede a encender las niquelinas que sirven para elevar la temperatura interna del horno y también los blowers que hacen circular el aire por toda el área interna del horno para que la temperatura se distribuya uniformemente, a continuación se encienden las luces piloto que indican que las niquelinas y los blowers están encendidos respectivamente. A través del pulsador STOP del tablero principal se apagan las niquelinas en cualquier momento que el operador lo requiera. Los blowers permanecen encendidos para que el aire se siga distribuyendo por la superficie interna del horno, hasta que la temperatura llegue a ser de 55 °C luego de lo cual los blowers se apagan y se activa una alarma para retirar el bobinado del horno de forma segura. Terminando así el modo de operación manual.

Adicionalmente se cuenta con un HMI realizado en la PC mediante la programación de la PC-System (SIMATIC PC station) / HMI_RT (WinCC RT Advanced), que permite la visualización del estado del proceso y el control básica de ciertas funciones del sistema. La programación se visualiza en el Anexo 8.

CAPÍTULO 4.

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan las pruebas y resultados para comprobar el correcto funcionamiento del control de temperatura en el proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos en la empresa Aflomotors, las pruebas se realizan en cada una de las etapas de calentamiento, retención y enfriamiento.

4.1 Pruebas de funcionamiento en vacío del proceso de secado

Para validar el correcto funcionamiento en vacío del sistema de control de temperatura se realizaron las pruebas en la etapa de calentamiento, retención y enfriamiento para los Set Points de temperatura de 100 °C y 130 °C.

4.1.1 Pruebas de temperatura en la etapa de calentamiento

Para verificar el funcionamiento del sistema de control de temperatura en esta etapa se utilizan los Set Points de 100 °C y 130 °C. Los datos se muestran en la Tabla 20.

De los resultados obtenidos en la etapa de calentamiento se puede concluir que el tiempo necesario para que el horno industrial llegue a la temperatura de 100 °C es de aproximadamente 40 minutos, mientras que para una temperatura de 130 °C el tiempo que se demora el horno industrial en calentarse es de 150 minutos.

Tabla 20.

Tabla de datos de la etapa de calentamiento para los Set Points de 100 °C y 130 °C en vacío

ETAPA DE CALENTAMIENTO		
Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C
0	21,61	21,61
5	34,83	38,83
10	52,64	55,72
15	66,83	68,8
20	77,77	78,77
25	85,85	86,9
30	92,61	94,61
35	97,63	98,63
40	102,03	100,03
45	104,87	
50	106,80	
55	109,34	
60	111,15	
65	112,48	
70	114,41	
75	115,92	
80	117,55	
85	118,77	
90	120,03	
95	121,17	
100	122,02	
105	122,74	
110	123,77	
115	124,80	
120	125,70	
125	126,67	
130	127,33	
135	128,83	
140	128,98	
145	129,44	
150	130,00	

Nota: Valores en la etapa de calentamiento en vacío. Elaborado por: Michelle Flores

4.1.2 Pruebas de temperatura en la etapa de retención

La etapa de retención se la realiza durante un tiempo de 60 minutos para los Set Points de temperatura de 100 °C y 130 °C, se obtienen los siguientes datos que se observan en la Tabla 21.

Tabla 21.

Tabla de datos en la etapa de retención para los Set Points de 100 °C y 130 °C en vacío

ETAPA DE RETENCIÓN								
Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C	Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C	Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C
0	130,00	100,03	20	129,97	99,97	40	130,15	100,16
1	130,09	100,1	21	129,89	99,89	41	130,20	100,2
2	130,43	100,4	22	129,83	99,84	42	130,23	100,23
3	130,66	100,7	23	129,78	99,78	43	130,19	100,19
4	130,33	100,31	24	129,75	99,75	44	130,16	100,16
5	130,19	100,15	25	129,71	99,7	45	130,08	100,09
6	129,96	99,98	26	129,67	99,67	46	130,02	100,03
7	129,78	99,8	27	129,70	99,69	47	129,97	99,97
8	129,74	99,74	28	129,72	99,72	48	129,90	99,9
9	129,65	99,67	29	129,74	99,75	49	129,86	99,85
10	129,71	99,71	30	129,77	99,77	50	129,81	99,81
11	129,74	99,76	31	129,80	99,81	51	129,75	99,75
12	129,80	99,81	32	129,83	99,83	52	129,62	99,64
13	129,86	99,86	33	129,85	99,85	53	129,54	99,55
14	129,90	99,92	34	129,90	99,89	54	129,59	99,59
15	129,97	99,97	35	129,94	99,94	55	129,65	99,65
16	130,01	100,02	36	129,98	99,98	56	129,80	99,8
17	130,06	100,06	37	130,00	100	57	129,87	99,86
18	130,03	100,03	38	130,05	100,05	58	129,92	99,93
19	130,01	100,01	39	130,11	100,12	59	129,97	99,96
						60	130,02	100

Nota: Valores en la etapa de retención en vacío. Elaborado por: Michelle Flores

De los datos registrados en la etapa de retención se puede comprobar que los Set Points de temperatura de 100 °C y 130 °C se mantienen dentro de los límites de control superior e inferior, teniendo un error de ± 1 °C, que equivale a una banda de tolerancia desde

LIC= 99,55 °C (Límite inferior de control) hasta LSC= 100,70 °C (Límite superior de control) para una temperatura de 100 °C, y LIC= 129,54 °C hasta LSC= 130,66 °C para una temperatura de 130 °C.

4.1.3 Pruebas de temperatura en la etapa de enfriamiento

En esta etapa la temperatura empieza a descender hasta llegar a una temperatura establecida de 55 °C para abrir el horno industrial de manera segura. En la Tabla 22, se visualizan los valores de temperatura registrados para los Set Points de 100 °C y 130 °C respectivamente. De los resultados registrados en la etapa de enfriamiento se determina que el tiempo necesario para que el horno industrial llegue a la temperatura de 55 °C es de aproximadamente 115 minutos con un Set Point de 100 °C y 130 minutos con un Set Point de 130 °C.

Tabla 22.

Tabla de datos en la etapa de enfriamiento para los Set Points de 100 °C y 130 °C en vacío

ETAPA DE ENFRIAMIENTO								
Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C	Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C	Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C
0	130,01	100,00	45	71,36	65,78	90	60,92	58,58
5	121,28	90,78	50	68,95	64,84	95	60,13	57,80
10	110,36	86,15	55	67,13	64,06	100	59,41	56,89
15	98,85	81,32	60	65,81	63,21	105	58,62	56,39
20	91,47	77,40	65	64,84	62,44	110	57,84	55,60
25	86,15	73,90	70	64,06	61,65	115	57,11	55,00
30	81,32	71,36	75	63,21	60,92	120	56,39	
35	77,40	68,95	80	62,43	60,13	125	55,60	
40	73,90	67,13	85	61,64	59,40	130	55,00	

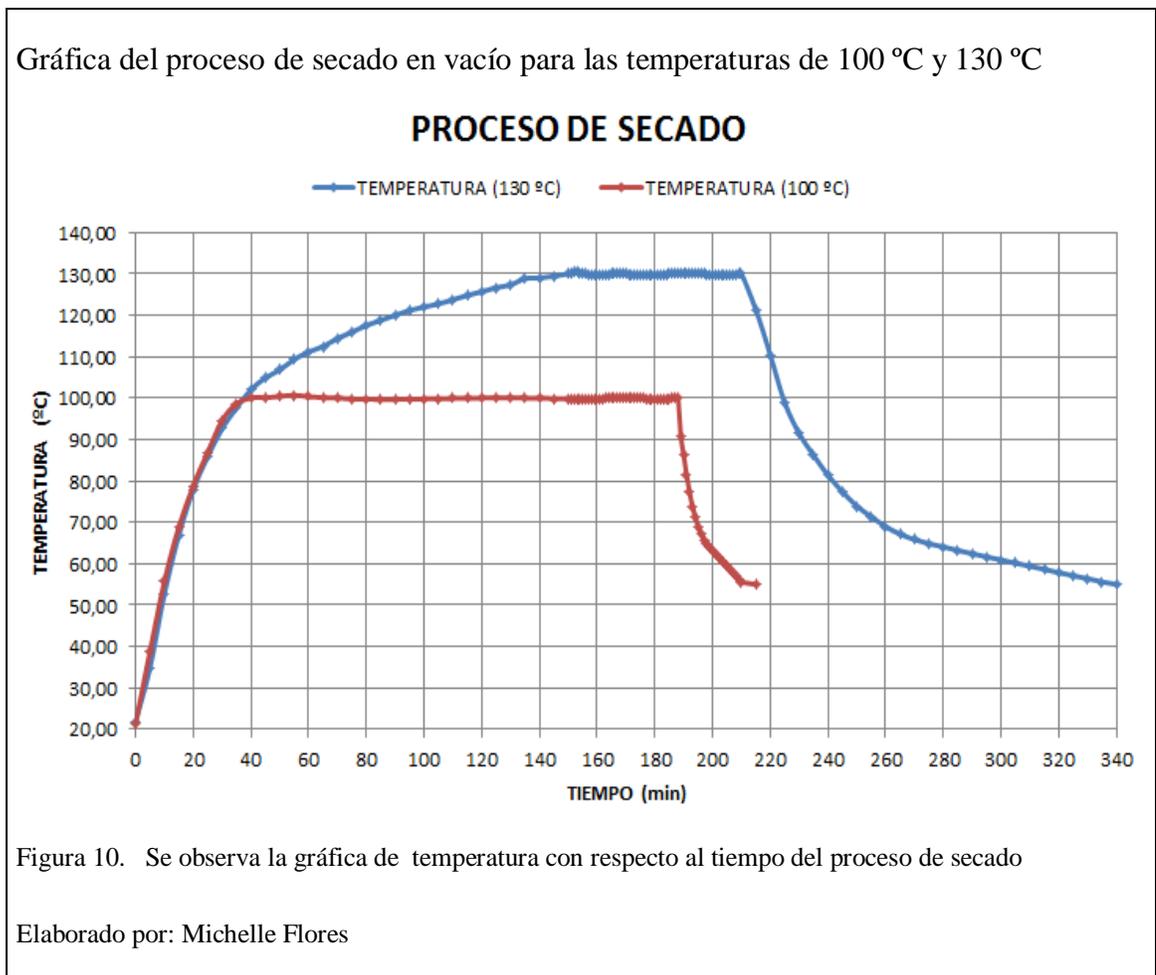
Nota: Valores en la etapa de enfriamiento en vacío. Elaborado por: Michelle Flores

4.1.4 Cálculo del tiempo total del proceso de secado en vacío para los Set Points de temperatura de 100 °C y 130 °C

El tiempo total del proceso de secado (tps) se obtiene mediante la suma del tiempo en la etapa de calentamiento (tc), tiempo en la etapa de retención (tr) y el tiempo en la etapa de enfriamiento (te). Es decir mediante la Ecuación 18.

$$tps = tc + tr + te \quad \text{Ecuación 18.}$$

Se realiza la gráfica de la temperatura en función del tiempo de los datos registrados en la Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22 para los Set Points de temperatura de 100 °C y 130 °C respectivamente. La gráfica se visualiza en la Figura 10.



De la gráfica se observa que el tiempo total del proceso de secado para una temperatura de 100 °C es igual a: $tps = 40 \text{ min} + 60 \text{ min} + 115 \text{ min} = 215 \text{ min}$

Y para una temperatura de 130 °C el tiempo total de proceso de secado es igual a:
 $tps = 150 \text{ min} + 60 \text{ min} + 130 \text{ min} = 340 \text{ min}$

Para conocer el número de procesos que se realizan al día para una temperatura de 100 °C y 130 °C , se realiza el siguiente cálculo; conociendo el tiempo total del proceso de secado para cada Set Point de temperatura (100 °C, 130 °C) respectivamente.

Si una jornada de trabajo es de 8 horas = 480 min

- Set Point de temperatura de 100 °C

$$480 \text{ min} / 215 \text{ min} = 2,23 \approx 2 \text{ procesos}$$

Por lo tanto se determina que para un set point de temperatura de 100 °C en vacío se pueden realizar aproximadamente 2 procesos de secado al día.

- Set Point de temperatura de 130 °C

$$480 \text{ min} / 340 \text{ min} = 1,41 \approx 1 \text{ proceso}$$

Por lo tanto se concluye que para un set point de temperatura de 130 °C en vacío se puede realizar 1 proceso de secado al día aproximadamente.

4.2 Pruebas de funcionamiento con carga del proceso de secado

Para verificar el funcionamiento del sistema de control de temperatura se realizaron las pruebas para los set points de temperatura de 100 °C y 130 °C en la etapa de calentamiento, retención y enfriamiento con una carga de 4 toneladas.

4.2.1 Prueba de temperatura en la etapa de calentamiento

Para esta etapa las pruebas se realizan con los Set Points de 100 °C y 130 °C, utilizando una carga de 4 toneladas, los datos se registran en la Tabla 23.

Tabla 23.

Tabla de datos en la etapa de calentamiento para los Set Points de 100 °C y 130 °C con carga

ETAPA DE CALENTAMIENTO						
Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C	Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Tiempo (min)	Set Point 130 °C
0	21,6	21,60	80	104,93	160	119,18
5	38,46	38,46	85	105,85	165	120
10	53,37	53,37	90	106,92	170	121,13
15	65,38	65,38	95	107,64	175	122,49
20	75,04	75,04	100	108,53	180	123,31
25	82,59	82,59	105	109,37	185	124,14
30	87,25	87,25	110	110,1	190	124,97
35	90,92	90,92	115	111,32	195	125,8
40	93,4	93,40	120	112,51	200	126,62
45	96	96,00	125	113,03	205	127,45
50	97,75	97,75	130	114	210	128,76
55	99,32	98,32	135	114,95	215	129,11
60	100,76	99,15	140	115,78	220	129,93
65	102,03	99,70	145	116,81	225	130,23
70	102,94	100,03	150	117,08	230	130,48
75	103,86		155	118,35		

Nota: Valores en la etapa de calentamiento con carga. Elaborado por: Michelle Flores

De los resultados obtenidos para esta etapa de calentamiento se determina que el horno industrial aproximadamente en 70 minutos, alcanza la temperatura de 100 °C con una carga de 4 toneladas, y en un tiempo de 230 minutos adquiere la temperatura de 130 °C, iniciando el proceso de calentamiento con una temperatura inicial de 21,60 °C.

4.2.2 Prueba de temperatura en la etapa de retención

Esta etapa se la realiza en un tiempo de 60 minutos con una carga de 4 toneladas y utilizando los valores de Set Points de 100 °C y 130 °C. Se obtienen los siguientes datos que se observan en la Tabla 24.

Tabla 24.

Tabla de datos en la etapa de retención para los Set Points de 100 °C y 130 °C con carga

ETAPA DE RETENCIÓN								
Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C	Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C	Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C
0	130,02	100,00	20	129,97	99,97	40	129,35	100,16
1	130,12	100,15	21	129,89	99,89	41	129,21	100,20
2	130,00	100,50	22	129,83	99,84	42	129,09	100,25
3	129,80	100,70	23	129,78	99,78	43	129,18	100,16
4	129,23	100,25	24	129,75	99,72	44	129,55	100,13
5	129,09	100,10	25	129,71	99,67	45	129,83	100,09
6	128,89	99,95	26	129,67	99,63	46	129,94	100,03
7	129,25	99,78	27	129,70	99,66	47	130,06	99,97
8	129,94	99,73	28	129,72	99,72	48	130,29	99,93
9	130,31	99,68	29	129,74	99,75	49	130,38	99,87
10	130,66	99,71	30	129,77	99,77	50	130,52	99,83
11	130,87	99,74	31	129,80	99,81	51	130,85	99,76
12	130,28	99,80	32	129,83	99,86	52	130,66	99,66
13	130,06	99,86	33	129,85	99,89	53	130,47	99,55
14	129,90	99,98	34	129,90	99,92	54	130,18	99,60
15	129,83	100,04	35	129,94	99,95	55	129,98	99,66
16	129,78	100,10	36	129,98	99,98	56	129,78	99,81
17	129,66	100,12	37	130,00	100,00	57	129,65	99,86
18	129,52	100,06	38	130,05	100,05	58	129,47	99,90
19	129,38	100,01	39	130,11	100,10	59	129,24	99,96
						60	129,06	100,03

Nota: Valores en la etapa de retención con carga. Elaborado por: Michelle Flores

Con los datos registrados en la Tabla 24 se puede comprobar que los Set Points de temperatura de 100 °C y 130 °C con una carga de 4 toneladas permanecen constantes

dentro de los límites de control LIC= 99,55 °C (Límite inferior de control) y LSC= 100,70 °C (Límite superior de control) para la temperatura de 100 °C, y LIC= 128,89 °C hasta LSC= 130,96 °C para la temperatura de 130 °C, dándose un error de ± 1 °C.

4.2.3 Prueba de temperatura en la etapa de enfriamiento

En esta etapa de enfriamiento la temperatura del horno empieza a disminuir llegando a una temperatura establecida de 55 °C por seguridad para retirar el bobinado del horno. Los valores de temperatura registrados para la etapa de enfriamiento se observan en la Tabla 25, para los Set Points de temperatura de 100 °C y 130 °C respectivamente.

Tabla 25.

Tabla de datos en la etapa de enfriamiento para los Set Points de 100 °C y 130 °C con carga

ETAPA DE EFRIAMIENTO								
Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C	Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C	Tiempo (min)	Set Point 130 °C	Set Point 100 °C
0	130,66	100,00	60	81,65	64,81	120	63,55	55,60
5	122,17	95,80	65	79,16	64,06	125	62,36	55,00
10	116,09	91,48	70	76,14	63,21	130	61,72	
15	111,73	87,80	75	74,02	62,44	135	60,83	
20	107,35	84,32	80	72,31	61,65	140	59,42	
25	104,08	81,15	85	71,15	60,92	145	58,47	
30	100,65	77,56	90	70,12	60,13	150	57,76	
35	96,81	73,90	95	69,07	59,40	155	57,29	
40	93,14	71,30	100	68,15	58,58	160	56,18	
45	90,19	68,97	105	67,17	57,80	165	55,54	
50	87,19	67,13	110	65,82	56,89	170	55,06	
55	84,12	65,80	115	64,38	56,39			

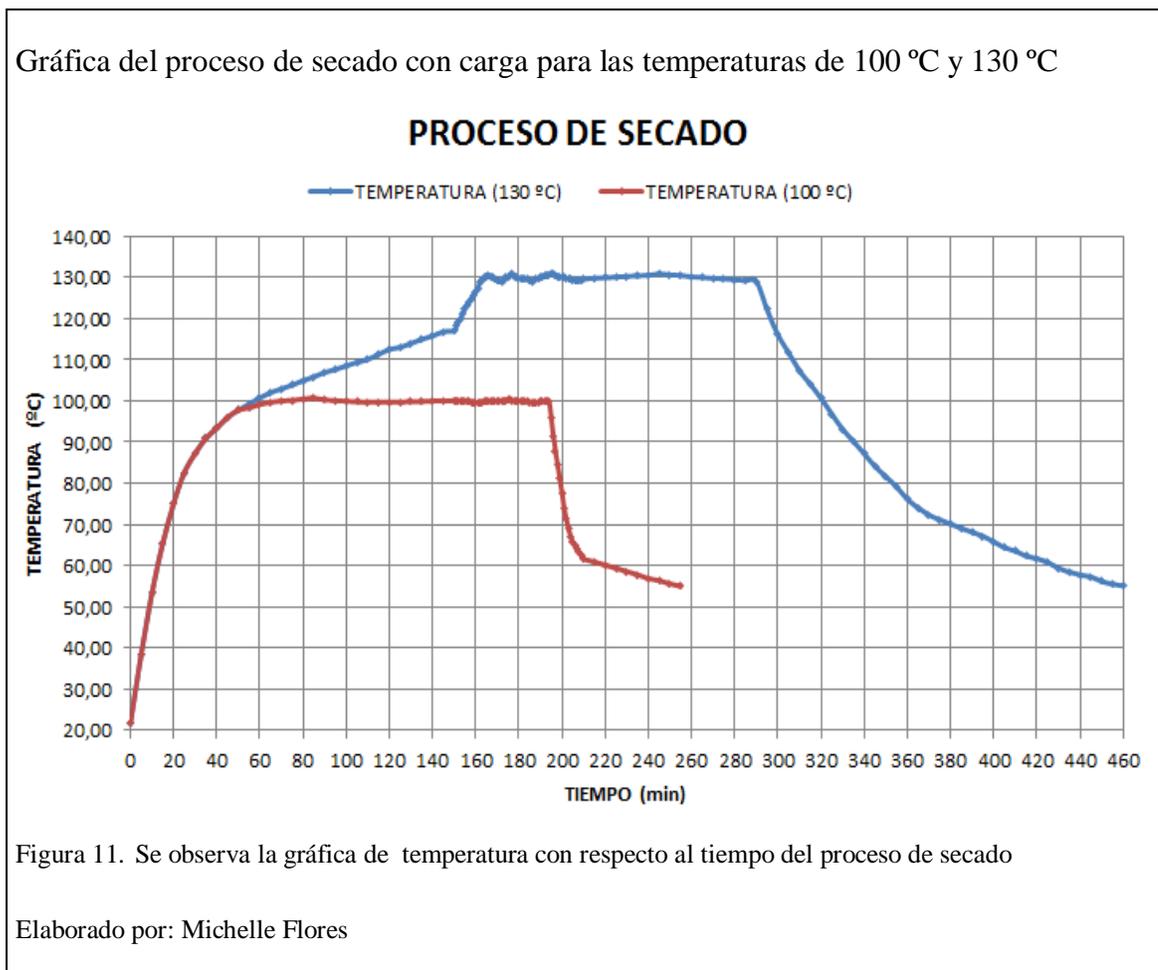
Nota: Valores en la etapa de enfriamiento con carga. Elaborado por: Michelle Flores

Con los resultados obtenidos en esta etapa se determina que el horno industrial alcanza una temperatura de 55 °C con una carga de 4 toneladas en aproximadamente 125

minutos con una temperatura de 100 °C y cuando el horno está operando con una temperatura de 130 °C el tiempo de enfriamiento es de 170 minutos.

4.2.4 Cálculo del tiempo total del proceso de secado para un set point de 100 °C con una carga de 4 toneladas

Se realiza la gráfica de la temperatura en función del tiempo de los datos registrados en la Tabla 23, Tabla 24 y Tabla 25, para conocer el tiempo total del proceso de secado para los Set Points de temperatura de 100 °C y 130 °C con carga. La gráfica se muestra en la Figura 11.



De la gráfica se observa que el tiempo total del proceso de secado para un set point de 100 °C con una carga de 4 toneladas, es igual a:

$$\text{tps} = 70 \text{ min} + 60 \text{ min} + 125 \text{ min} = 255 \text{ min}$$

Mientras que el tiempo de secado para un Set Point de temperatura de 130 °C es igual a:

$$\text{tps} = 230 \text{ min} + 60 \text{ min} + 170 \text{ min} = 460 \text{ min}$$

A continuación se realiza el siguiente cálculo, para conocer el número de procesos que se pueden realizar al día con cada uno de los Set Points de temperatura, conociendo respectivamente los tiempos del proceso de secado.

Si una jornada de trabajo es de 8 horas = 480 min

- Set Point de temperatura de 100 °C

$$480 \text{ min} / 255 \text{ min} = 1,88 \approx 2 \text{ procesos}$$

De manera que se concluye que para un set point de temperatura de 100 °C con carga se pueden realizar aproximadamente 2 procesos de secado al día.

- Set Point de temperatura de 130 °C

- $480 \text{ min} / 460 \text{ min} = 1,04 \approx 1 \text{ proceso}$

Entonces se puede concluir que para un set point de temperatura de 130 °C aproximadamente se realiza 1 proceso de secado al día.

43 Análisis de productividad del sistema de control de temperatura

En base a datos proporcionados por la empresa Aflomotors, se muestra en la Tabla 26 los valores de la potencia consumida anteriormente por el horno.

Tabla 26.

Tabla de datos del sistema anterior de control de temperatura del horno

Peso del bobinado (Ton)	SISTEMA ANTERIOR						
	Tiempo de proceso (H)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kW/H)	Precio kW/H electricidad (ctvs.)	Costo energía (USD.)
1	10	220	54,37	20,217	217,17	0.08	17.37
1,5	10	220	54,37	20,217	217,17	0.08	17.37
2	12	220	54,37	20,217	248,604	0.08	19.89
3	14	220	54,37	20,217	290,038	0.08	23.20
4	14	220	54,37	20,217	290,038	0.08	23.20
Promedio Potencia				20,217	252,604	Promedio	20.21

Nota: Se observan los datos del sistema anterior proporcionados por la empresa Aflomotors. Elaborado por: Michelle Flores

Mediante las pruebas realizadas en base al consumo de energía del horno con el nuevo sistema de control de temperatura implementado, se obtienen los kilovatios consumidos para los diferentes tipos de carga utilizados; en base al tiempo de funcionamiento requerido se obtiene el consumo en kilovatios/hora del horno para los diferentes pesos del bobinado. Los datos se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27.

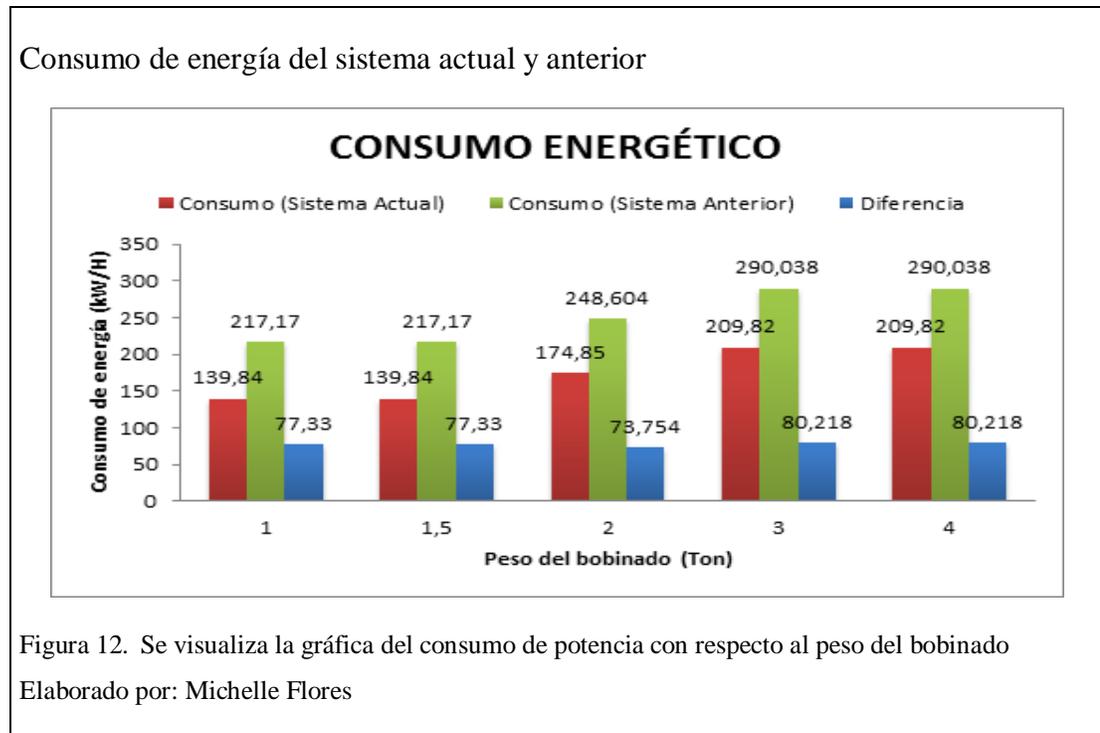
Tabla de datos del sistema actual de control de temperatura del horno

Peso del bobinado (Ton)	SISTEMA ACTUAL						
	Tiempo de proceso (H)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kW/H)	Precio kW/H electricidad (ctvs.)	Costo de energía (USD.)
1	8	220	45,67	17,402	139,84	0.08	11.19
1,5	8	220	45,67	17,402	139,84	0.08	11.19
2	10	220	45,68	17,406	174,85	0.08	13.99
3	12	220	45,68	17,406	209,82	0.08	16.79
4	12	220	45,68	17,406	209,82	0.08	16.79
Promedio Potencia				17,404	174,834	Promedio	13.99

Nota: Se observan los datos del sistema actual implementado. Elaborado por: Michelle Flores

Con los resultados obtenidos en la Tabla 26 y Tabla 27, se observa que el promedio de la potencia consumida por el horno en el sistema actual es de 17,404 kW siendo menor con respecto al sistema anterior que su promedio de potencia era de 20,217 kW.

A continuación se realiza la comparación de cada uno de los valores obtenidos en cada sistema como se visualiza en la Figura 12.



Se puede observar de la gráfica anterior que el consumo de energía actual con respecto al sistema anterior presenta una diferencia máxima de consumo energético de 80,218 kW/H. Con esto se puede ver notablemente que al tener un sistema automatizado se disminuye el consumo de energía, aportando así a una reducción del impacto ambiental que genera la empresa, al reducir el uso de recursos.

De la Tabla 26 y Tabla 27, se determina el costo de energía en dólares, obteniendo un promedio de 20.21 USD con el sistema anterior y 13.99 USD con el sistema implementado actualmente, con lo que se logra un ahorro notable para la empresa del 30,77%. Este ahorro sirve para poder realizar el mantenimiento de otro tipo de máquinas que posee la empresa y que no contaban con un plan de mantenimiento planificado.

44 Presupuesto

Para la implementación de este proyecto se generan los siguientes costos que se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28.

Costo del proyecto del sistema de control de temperatura

Detalle	Cantidad	V. Unit. USD.	Sub. Total USD.
Cable de Red UTP (30mtrs)	1	19,50	19,50
Cable Flexible #16 (Sistema Control)	22	0,27	5,87
Cable Flexible #8 (Sistema Fuerza)	22	0,27	5,87
Canaleta Lisa 13x7	13	1,25	16,25
CSC Breaker Riel 3P 63A Hyundai	1	17,68	17,68
Fuente Voltaje 24V DC	1	25,00	25,00
Gabinete 60x40x20 S. Pesado I-0317	1	52,60	52,60
LG Contactor GMC 22	1	30,24	30,24
LG Contactor GMC 32	2	22,67	45,34
LG Contactor GMC 75	1	74,39	74,39
Luz Piloto 220V	4	1,38	5,50
Pantalla Siemens KTP600	1	975,00	975,00
PLC Siemens S7 1200 CPU1212C	1	480,00	480,00
Sirena 110V/220V AC C/Sonido	1	17,77	17,77
Switch X108 6GK51080B100 2AA3 Scalance	1	620,00	620,00
Termocupla Tipo J con termopozo	2	85,00	170,00
Elementos Varios		41,22	41,22
		Sub. Total \$	2.602,24
		IVA.12% \$	312,27
		V. TOTAL \$	2.914,51

Nota: Presupuesto total del proyecto realizado. Elaborado por: Michelle Flores

El costo total del sistema de control de temperatura implementado es de 2,914.51 USD, este valor es financiado por la Empresa Aflomotors brindando el auspicio y todas las facilidades requeridas, así como apoyo logístico, equipos para las pruebas, asesoramiento de un técnico, mano de obra, para que el proyecto se cumpla exitosamente.

CONCLUSIONES

- El sistema automático de control de temperatura del horno industrial utilizado en el proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos en la empresa Aflomotors sirve para mejorar notablemente los trabajos realizados, debido a que un buen secado del bobinado mejora el nivel de aislamiento del motor, eliminando toda la humedad que existe en su interior. De acuerdo a las pruebas de aislamiento realizadas según las normas internacionales que se visualizan en el Anexo 18.
- Por medio de la metodología de diseño concurrente se seleccionan los elementos para este proyecto los cuáles cubren las necesidades de los usuarios, y facilitan la operación del proceso de secado de motores y generadores eléctricos; además el sistema entrega un registro de pruebas de temperatura y tiempo al cliente. A través de un menú en la pantalla táctil o panel de control se puede verificar el correcto funcionamiento del sistema y realizar la lista de verificación del mantenimiento.
- El hardware del sistema automático del proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos se lo realizó en un PLC S7-1200 y la interfaz gráfica mediante la utilización de la pantalla táctil KTP600 la cual incluye funciones de software integradas, permitiendo tener un control y registro de datos de todo el proceso, logrando mejorar los tiempos de entrega, cumpliendo los parámetros de temperatura y tiempo para el secado del bobinado, y además entregar un registro de pruebas consiguiendo la satisfacción del cliente.
- El sistema automático del proceso de secado del bobinado de motores y generadores eléctricos se programa en el software TIA PORTAL, empleando un bloque de instrucción PID_Compact, el mismo que genera valores de ganancia proporcional (Kp), constante de tiempo integral (Ti) y constante de tiempo derivativa (Td), para mantener una temperatura de secado constante en el interior del horno, y además se utilizó el software SIMATIC WinCC Runtime Advanced para el acceso remoto al

sistema de control de temperatura mediante una PC, debido a que este permite la visualización con una interfaz de usuario compatible con Windows facilitando tener control sobre el proceso de secado del bobinado y poder registrar alarmas, avisos, generando así un archivo en formato .CSV para posteriormente visualizarlo en una hoja de cálculo de Excel.

- De las pruebas de funcionamiento del sistema de control con una carga de 4 toneladas en el horno industrial a una temperatura de 100 °C se tiene un tiempo total de proceso de secado de 255 minutos lo que permite tener una capacidad máxima de producción de 2 procesos al día. Para una temperatura de 130 °C el tiempo total de proceso de secado es 460 minutos con lo cual se puede realizar 1 proceso por día, y de esta manera organizar mejor los trabajos y tiempos de entrega.
- El ahorro de energía que se logra con el sistema implementado es de 30,77%, lo que reduce el costo del proceso reflejado en el aumento de la liquidez, y dicho ahorro será encaminado a cubrir costos de mantenimiento preventivo de otros equipos que cuenta la empresa, a fin de mejorar su utilización.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar en cuenta el manual de operación del sistema implementado que se visualiza en el Anexo 1, siguiendo cada uno de los pasos para el correcto funcionamiento de los elementos y dispositivos de control en base a las especificaciones de uso del software y de los diagramas de control anexados.
- Es muy importante realizar los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo desde la pantalla táctil y registrarlos en el check list de verificación que se encuentra en el manual de operación y mantenimiento.
- Se recomienda que para realizar el mantenimiento planificado del sistema sea realizado por una persona calificada, con conocimientos previos del funcionamiento del sistema y de los elementos de fuerza y control que lo conforman. Además que se utilice los elementos de protección personal que se requiera, para evitar algún tipo de accidente.
- Al extraer el bobinado del horno de una manera segura se debe esperar la activación de la alarma sonora instalada en el sistema, así se evitará que el operador sufra quemaduras o accidentes.
- Para lograr disminuir la temperatura interna del horno en la etapa de enfriamiento se puede diseñar un sistema de extracción de aire caliente a través de una compuerta acoplada a una chimenea, este aire puede ser reutilizado para precalentar otro horno de menor capacidad.
- Para reducir el tiempo de calentamiento en el horno de secado se puede incrementar el grupo de resistencias en conexión delta a dos níquelinas de 9 kilovatios.

REFERENCIAS

- Angúlo, P. (2010). *Control Industrial*. Quito: EPN Facultad de ingeniería eléctrica.
- Carlos de Castro Lozano, C. R. (Diciembre de 2013). *SlideShare*. Recuperado el Marzo de 2016, de SlideShare: <http://www.slideshare.net/isaihml/introduccion-a-scada>
- Conatec. (25 de Marzo de 2013). *Conatec*. Recuperado el 20 de Junio de 2015, de Conatec: <http://www.conatec.com/conatec/de/termopar-j.asp?nombre=2483&cod=2483&sesion=1>
- Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. España: Marcombo.
- IEEE. (2000). *IEEE Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery*. New York, Estados Unidos: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Patricio Geovanny Aguirre Gonzaga, B. A. (2014). *ESPE*. Recuperado el Marzo de 2016, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8301/1/AC-ESPEL-EMI-0255.pdf>
- Romeva, C. R. (2002). *Diseño Concurrente*. Recuperado el Febrero de 2016, de Diseño Concurrente: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Siemens. (2010). *Siemens*. Recuperado el 26 de Junio de 2015, de Siemens: <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/HMI%20KTPs.pdf>
- Siemens. (2012). *Paratrasnet*. Recuperado el 18 de Junio de 2015, de Paratrasnet: <http://www.paratrasnet.ro/pdf/automatizari-industriale/S7-1200.pdf>
- Siemens. (2012). *Siemens*. Recuperado el 09 de Marzo de 2016, de Totally Integrated Automation Portal: http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/es/brochure_simatic-step7_tia-portal_es.pdf
- Siemens. (Julio de 2014). *Siemens*. Recuperado el 29 de Junio de 2015, de Siemens: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/420/98267420/att_88742/v1/BA_SCALANCE_X-100_76_en-US.pdf
- Spartacus Gomáriz, D. B. (2000). Teoría de control. En *Diseño Electrónico* (págs. 15, 18, 152, 153). Barcelona: UPC.
- System, A. F. (14 de Marzo de 2012). *Atmospheric Fan System*. Recuperado el 01 de

Octubre de 2015, de <http://www.ventilacion.us/productos-centrifugos-cel.html>
Termokew. (03 de Febrero de 2012). *Termokew*. Recuperado el 19 de Diciembre de
2015, de Termokew: <http://www.termokew.mx/index.php>
Urquiza, J. A. (1998). *Hornos Industriales de Resistencias*. España: S.A. MCGRAW-
HILL.

ANEXOS

Anexo 1. Manual de operación y mantenimiento

1. INFORMACION GENERAL DEL SISTEMA

El sistema implementado permite el control de temperatura de un horno eléctrico industrial, para el tratamiento de secado en los bobinados de motores y generadores eléctricos. La operación del horno se la realiza mediante una pantalla táctil xxx comunicada con un controlador lógico programable (PLC) s7 1200, donde se fija el valor de temperatura y el tiempo de secado.

2. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD



2.1 Reglas básicas para la operación segura de la máquina

El sistema de control de temperatura ha sido diseñado tomando en cuenta la seguridad, pero la falta de cuidado o de atención a las pautas de seguridad puede resultar en lesiones accidentales al operador y/o daños a las máquinas.

A continuación se indica una lista de las precauciones importantes de seguridad que deben ser observadas para la correcta operación y mantenimiento del sistema de control de temperatura:

- Desconectar todas las fuentes de energía eléctrica antes de reparar o limpiar los componentes del sistema.
- No abrir el horno de secado cuando este se encuentre en funcionamiento, ya que las elevadas temperaturas de trabajo pueden causar quemaduras graves al operador. Esperar la activación de la alarma que indica que las puertas del horno pueden abrirse.



- Conocer la ubicación de los botones de parada de emergencia del sistema.
- Asegurarse de que la máquina esté libre de obstrucciones y advertir a todas las personas en el área antes de ponerla en marcha.
- Retirar todas las herramientas u objetos extraños de la máquina.

2.2 Seguridad durante el mantenimiento

Se deben seguir las reglas específicas de seguridad.

La máquina debe ser desconectada para el mantenimiento de rutina, reparaciones, reemplazo de partes o limpieza.

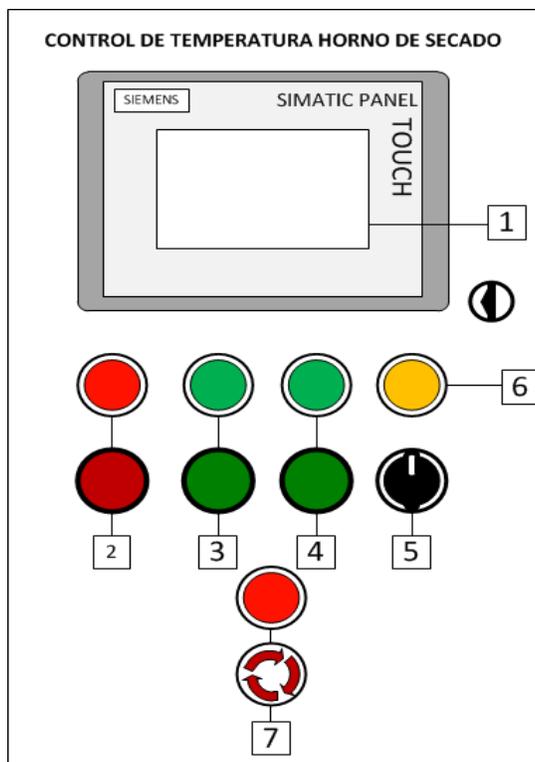


Antes de restablecer la energía al sistema, el operador debe comprobar que todos los trabajos de servicio y limpieza han sido terminados.

Cuando la máquina esta lista para el arranque, el operador de la misma debe siempre observar que las áreas de trabajo de la máquina estén libres de obstrucciones y advertir a los trabajadores en el área que la máquina va ser puesta en operación.

3. PANEL DEL OPERADOR DEL SISTEMA DE CONTROL

El tablero de control está fijado en la parte lateral del horno de secado y contiene los siguientes componentes: selectores, pulsadores, luces piloto, parada de emergencia, pantalla táctil.



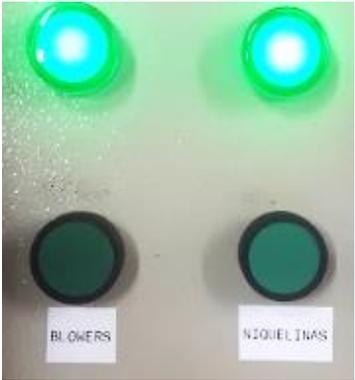
1. PANTALLA TACTIL KTP 600
2. PULSADOR Y LUZ PILOTO PARA STOP
3. PULSADOR Y LUZ PILOTO PARA ENCENDER BLOWERS
4. PULSADOR Y LUZ PILOTO PARA ENCENDER NIQUELINAS
5. SELECTOR DE DOS POSICIONES PARA MODO MANUAL/AUTOMÀTICO
6. LUZ PILOTO DE MODO AUTOMÀTICO
7. PULSADOR Y LUZ PILOTO DE PARO DE EMERGENCIA

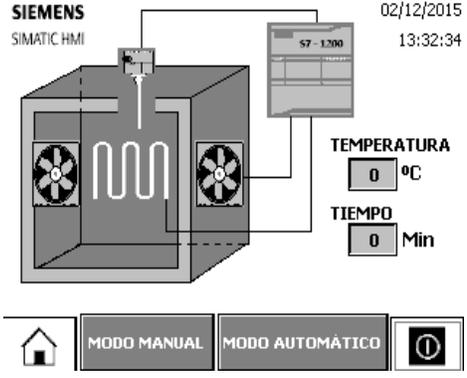
4. PROCEDIMIENTO GENERAL DE OPERACIÓN

El sistema está diseñado para el secado o reducción de humedad del bobinado de motores y generadores, por tal razón se tienen que seguir los siguientes pasos para el correcto funcionamiento:

<p>1.</p>	<p>Energizar el tablero de control, para que cada uno de los elementos del sistema entren en operación, una vez que se haya ingresado el bobinado al horno y la puerta se encuentre totalmente cerrada.</p>	 A photograph of a grey control panel for a drying system. At the top, it has a digital display screen showing a blue light. Below the screen are several indicator lights in red, green, and blue. There are also several push buttons and a rotary selector switch on the right side. A red emergency stop button is located at the bottom center. The panel is labeled 'CONTROL DE TEMPERATURA HORNO DE SECADO' at the top.
<p>2.</p>	<p>Seleccionar el modo de operación MANUAL o AUTOMÁTICO mediante el selector del tablero de control. Luego de esto una luz indicadora de color rojo del tablero se encenderá indicando que el sistema no entra aún en operación.</p>	 A close-up photograph of the mode selector on the control panel. It features a black rotary knob with a white vertical slot. Above the knob is a label 'OFF'. To the left of the knob is a label 'MANUAL' and to the right is a label 'AUTOMATICO'.

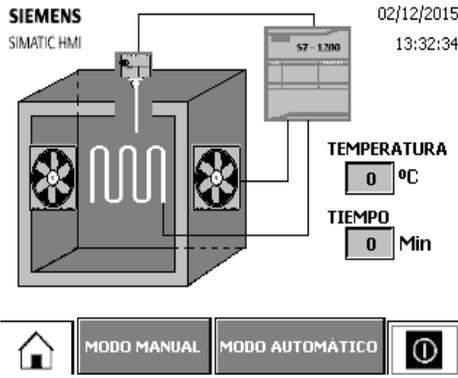
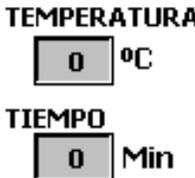
4.1 Modo Manual

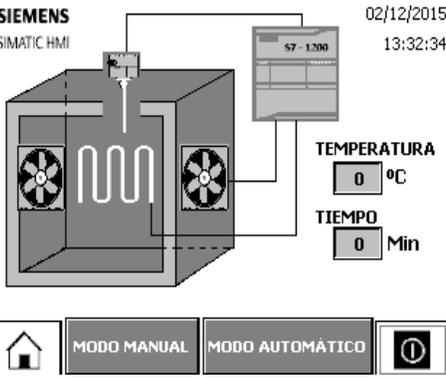
<p>3.</p>	<p>Una vez seleccionado el modo de operación manual en el tablero de control, se debe ingresar el valor del Set Point en la pantalla touch KTP600 correspondiente a la temperatura de operación del Horno de secado. Para esto se debe seleccionar la opción PROCESO DE SECADO de la pantalla principal.</p>	
<p>4.</p>	<p>Posteriormente se procede a encender las niquelinas y los blowers instalados en el horno mediante los pulsadores del tablero de control respectivamente. Para visualizar estas acciones se encenderán las luces piloto de color verde del tablero principal.</p>	
<p>5.</p>	<p>Para el apagado de las niquelinas se lo realiza con el pulsador STOP del tablero principal en cualquier momento que el operador lo requiera.</p>	

<p>6.</p>	<p>El operador podrá visualizar el valor de temperatura en tiempo real a la que se encuentra el horno, en la pantalla touch seleccionando MODO MANUAL que se encuentra dentro de la pantalla de PROCESO DE SECADO y el tiempo transcurrido desde que entra en operación el horno. Adicionalmente también se puede visualizar el estado en el que se encuentran los blowers y las niquelinas en las luces indicadoras de esta pantalla.</p>	
<p>7.</p>	<p>Mediante la flecha  que se encuentra en la pantalla de MODO MANUAL se regresa a la pantalla de PROCESO DE SECADO.</p>	

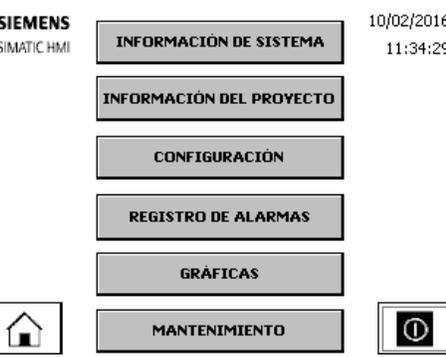
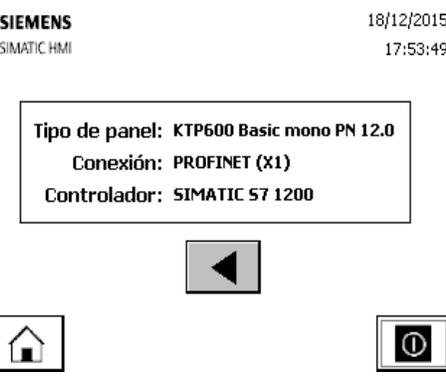
4.2 Modo Automático

<p>8.</p>	<p>Si el modo de control seleccionado en el tablero es automático, se trabaja directamente desde la pantalla touch.</p>	
-----------	---	--

<p>9.</p>	<p>En la pantalla principal seleccionamos PROCESO DE SECADO y dentro de esta pantalla la opción MODO AUTOMÁTICO.</p>	
<p>10.</p>	<p>Se ingresa el valor de la temperatura en °C, y el valor de tiempo en minutos, que es el tiempo durante el cual estará el bobinado a la temperatura ingresada.</p>	
<p>11.</p>	<p>Dentro de la pantalla de MODO AUTOMATICO pulsar el botón START de la pantalla, para dar inicio a la operación del horno en lo referente al encendido de los blowers y niquelinas. El sistema trabajará a la temperatura seteada y durante el tiempo programado, luego de esto se apagará automáticamente. Si se requiere parar el sistema en cualquier momento el operador debe seleccionar la opción STOP de la misma pantalla. Esta acción apagará las niquelinas y los blowers.</p>	

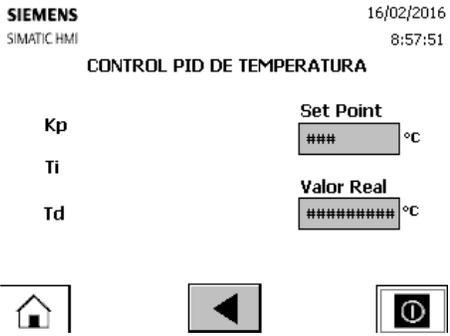
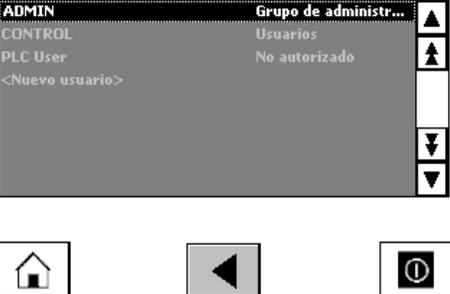
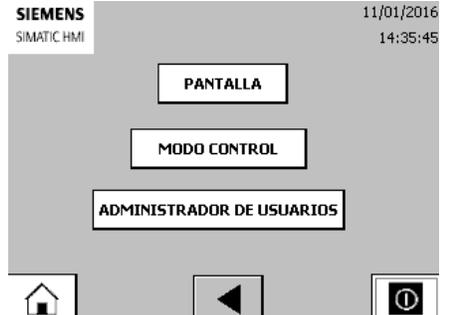
<p>12.</p>	<p>Mediante la flecha  que se encuentra en la pantalla de MODO AUTOMÀTICO se regresa a la pantalla de PROCESO DE SECADO.</p>	
------------	---	--

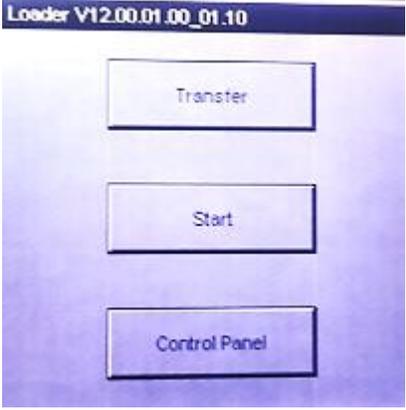
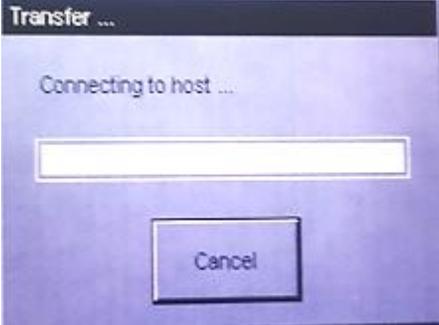
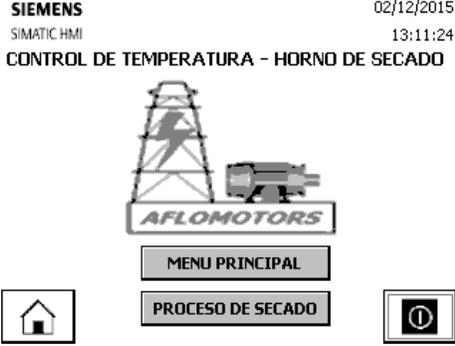
4.2.1 Menú Principal

<p>13.</p>	<p>En la pantalla principal seleccionamos la opción MENU PRINCIPAL para ingresar a varias opciones como Información de sistema, Información del proyecto, Configuración, Registro de alarmas, Gráficas y Mantenimiento.</p>	
<p>14.</p>	<p>Al seleccionar la opción INFORMACIÓN DEL SISTEMA se visualiza el tipo de pantalla, la conexión, y el controlador que se está utilizando.</p>	

<p>15.</p>	<p>En la opción de INFORMACIÓN DEL PROYECTO se indica el nombre del proyecto, la fecha de creación, el autor y una breve descripción.</p>																									
<p>16.</p>	<p>En la opción REGISTRO DE ALARMAS se observa el historial de alertas del sistema, cuando ocurre un paro de emergencia o cuando es seguro retirar el bobinado del horno.</p>																									
<p>17.</p>	<p>En la opción GRÁFICAS se presentan las representaciones del comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo y de las variaciones del PID del proceso de secado.</p>	<table border="1" data-bbox="966 1249 1404 1312"> <thead> <tr> <th>Curva</th> <th>Conexión de variable</th> <th>Valor</th> <th>Fecha/h...</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Curv...</td> <td>SALIDA_ANALOGICAS</td> <td>####</td> <td>11/01/20...</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="966 1564 1404 1669"> <thead> <tr> <th>Curva</th> <th>Conexión de variable</th> <th>Valor</th> <th>Fecha/h...</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TEM...</td> <td>SALIDA_ANALOGICAS</td> <td>####</td> <td>11/01/20...</td> </tr> <tr> <td>SE...</td> <td>BLOQUE_ALARMAS_...</td> <td>####</td> <td>11/01/20...</td> </tr> <tr> <td>OU...</td> <td>PID_Compact_1_Output</td> <td>####</td> <td>11/01/20...</td> </tr> </tbody> </table>	Curva	Conexión de variable	Valor	Fecha/h...	Curv...	SALIDA_ANALOGICAS	####	11/01/20...	Curva	Conexión de variable	Valor	Fecha/h...	TEM...	SALIDA_ANALOGICAS	####	11/01/20...	SE...	BLOQUE_ALARMAS_...	####	11/01/20...	OU...	PID_Compact_1_Output	####	11/01/20...
Curva	Conexión de variable	Valor	Fecha/h...																							
Curv...	SALIDA_ANALOGICAS	####	11/01/20...																							
Curva	Conexión de variable	Valor	Fecha/h...																							
TEM...	SALIDA_ANALOGICAS	####	11/01/20...																							
SE...	BLOQUE_ALARMAS_...	####	11/01/20...																							
OU...	PID_Compact_1_Output	####	11/01/20...																							

<p>18.</p>	<p>En la opción MANTENIMIENTO se verifica que todos los elementos del tablero de control del horno industrial estén funcionando correctamente.</p>	
<p>19.</p>	<p>En la opción CONFIGURACIÓN se puede configurar la pantalla, el modo de control del proceso y administrador de usuarios; para ingresar en esta opción se requiere de una clave de acceso de administrador.</p>	
<p>20.</p>	<p>Dentro de la opción CONFIGURACION DE PANTALLA se puede realizar cambios en el contraste, calibración y dirección IP de la pantalla.</p>	

<p>21.</p>	<p>En el MODO DE CONTROL se configura el PID y sus respectivas constantes.</p>	
<p>22.</p>	<p>La opción ADMINISTRADOR DE USUARIOS permite modificar la clave de ingreso como administrador, así como también definir las prioridades a las que se tiene acceso para las configuraciones del sistema.</p>	
<p>23.</p>	<p>Al presionar la flecha  presente en la pantalla de CONFIGURACIÓN, se regresa a la pantalla del MENÚ PRINCIPAL.</p>	
<p>24.</p>	<p>Al presionar el icono  en cualquiera de las pantallas se regresa a la pantalla principal del programa.</p>	

<p>25.</p>	<p>Al presionar el icono  en cualquiera de las pantallas, la pantalla touch vuelve a su estado inicial donde se visualiza las siguientes opciones de transferir, iniciar y control de panel en caso que se requiera realizar configuraciones en el equipo.</p>	
<p>26.</p>	<p>Al presionar la opción TRANSFER se conecta con el host de la computadora para obtener comunicaciòn entre el dispositivo de control y la PC.</p>	
<p>27.</p>	<p>Al escoger la opción START se regresa a la pantalla principal del programa.</p>	

<p>28.</p>	<p>Al seleccionar la opción CONTROL PANEL se visualiza las diferentes configuraciones que la pantalla touch Ktp600 permite realizar.</p>	
<p>29.</p>	<p>Por seguridad ante cualquier problema se tiene el botón de paro de emergencia que al pulsarlo apagará todo el sistema excepto la pantalla ya que se visualizará un mensaje de alerta para saber que dicho botón está activado.</p>	

5. CHECK LIST DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO HORNO DE SECADO

Departamento: _____

Fecha de inspección: _____

Revisado por: _____

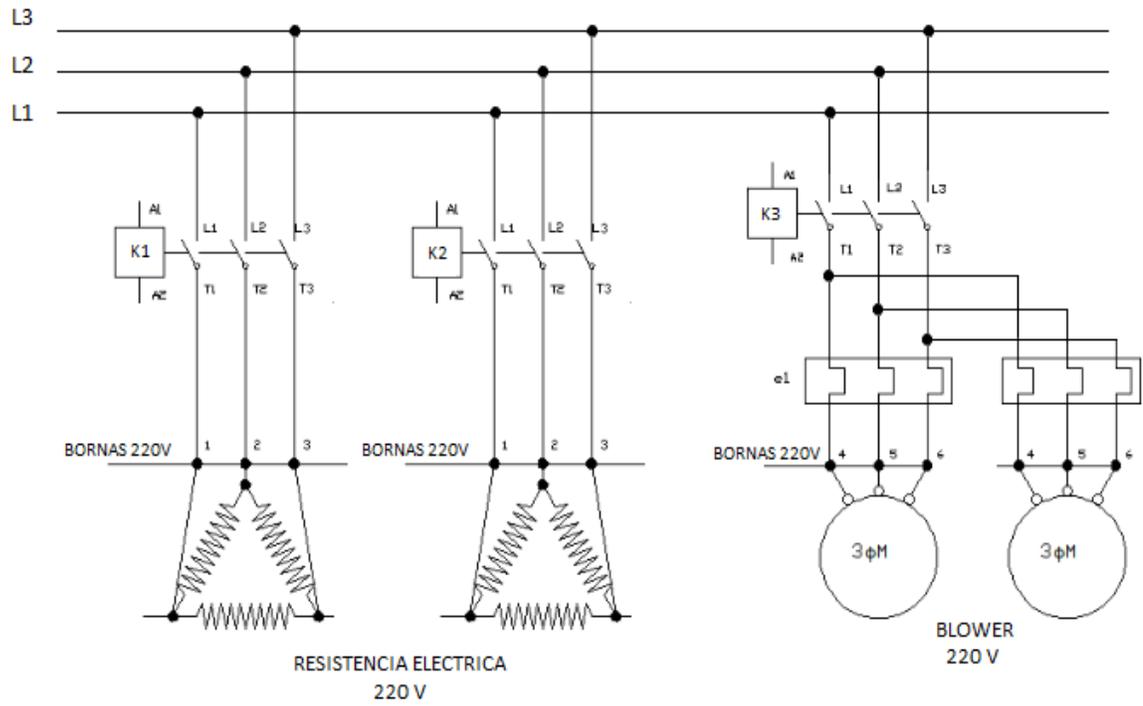
Aprobado por: _____

Inspección No: _____

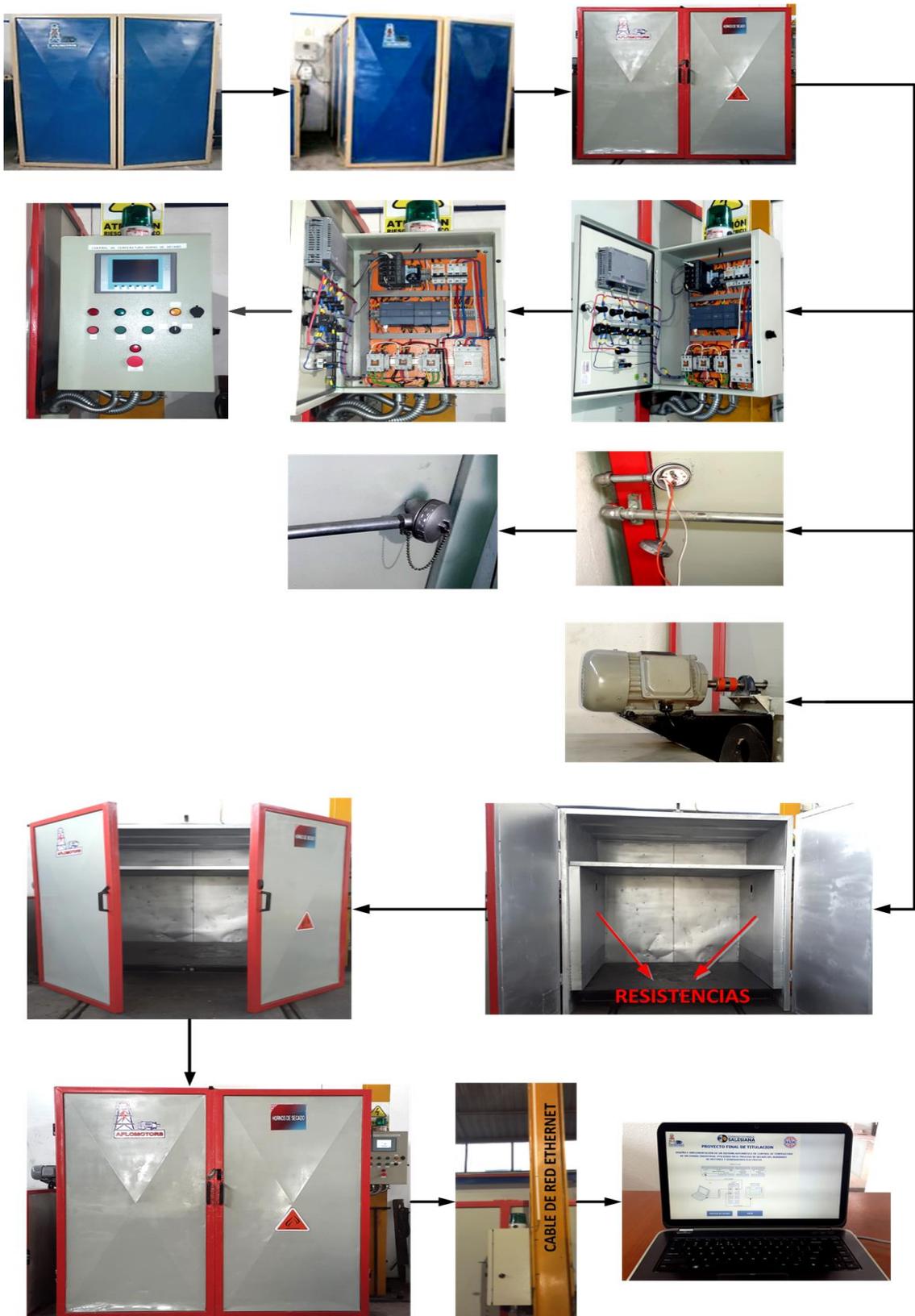
ITEM	ACTIVIDADES A REALIZARSE	SI	NO	NA	OBSERVACIONES
1	¿Se desconecta la energía eléctrica o fuente de alimentación principal de todo el sistema?				
2	¿Se encuentran en buen estado las conexiones de los terminales de las niquelinas?				
3	¿Se reajustan los terminales de las niquelinas?				
4	¿Existen fisuras en las niquelinas?				
5	¿Se remueve el polvo acumulado en la superficie exterior de los blowers?				
6	¿Las conexiones eléctricas en la bornera principal del motor de los blowers se encuentran en buen estado?				
7	¿Se realiza pruebas de aislamiento en el bobinado de los blowers?				
8	¿Los dispositivos de visualización del tablero principal se encuentran funcionando correctamente?				
9	¿Los elementos de mando y control en el tablero principal se				

	encuentran en buen estado y operando adecuadamente? Basarse en la pantalla de mantenimiento del sistema (literal #18 del procedimiento general de operación).				
10	¿Existe fisuras en los cables del sistema de control del tablero principal?				
11	¿Los cables de comunicación de todo el sistema de control no presentan desgaste en su aislamiento?				
12	¿Los contactores no tienen cortocircuitado sus contactos o con desgaste?				
13	¿Presentan sobrecarga las protecciones del sistema de control y de fuerza?				
14	¿Las termocuplas se encuentran en buen estado?				
15	¿Se usa solvente dieléctrico para la limpieza de las termocuplas?				

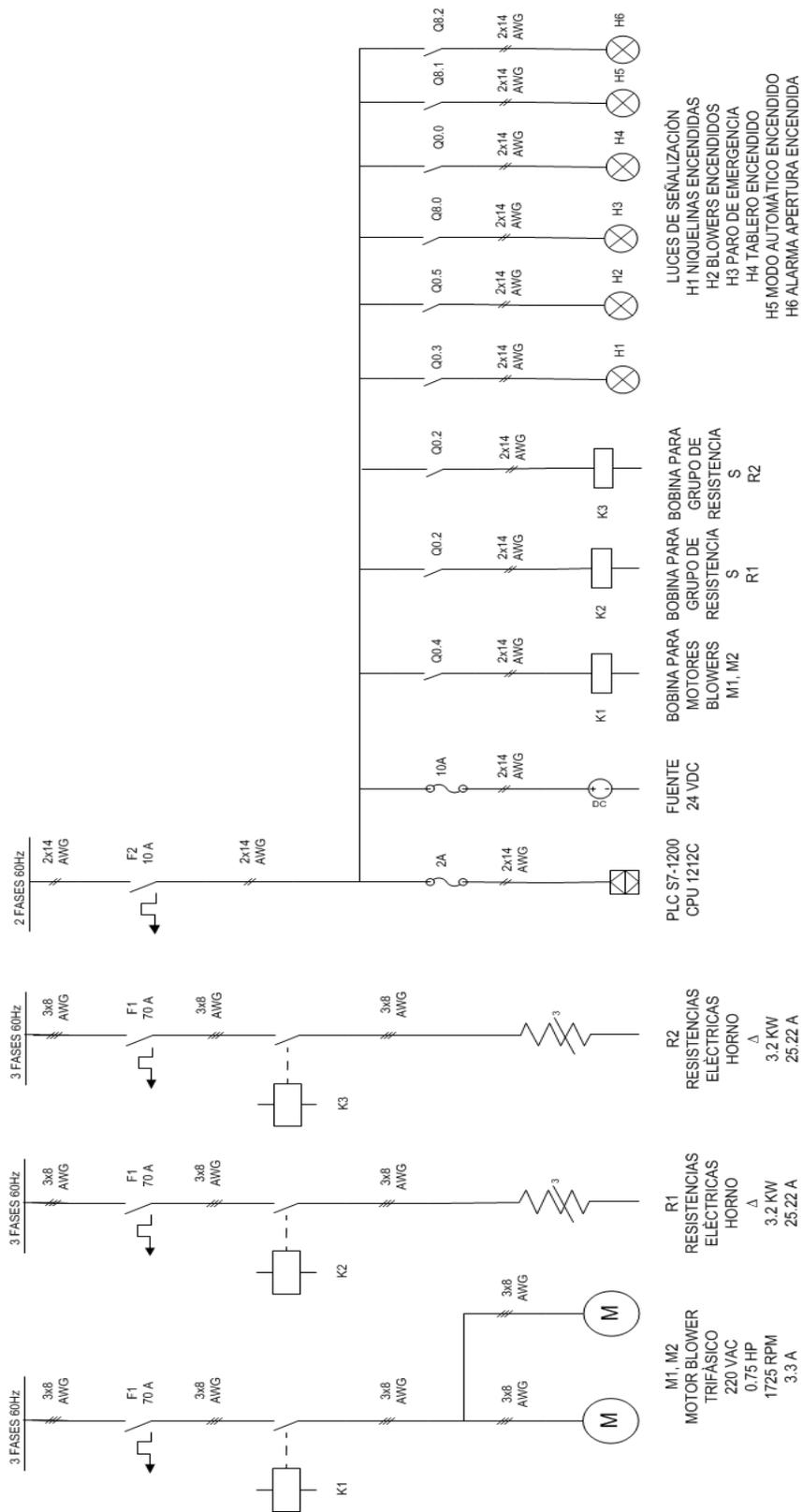
Anexo 2. Circuito de fuerza del horno industrial



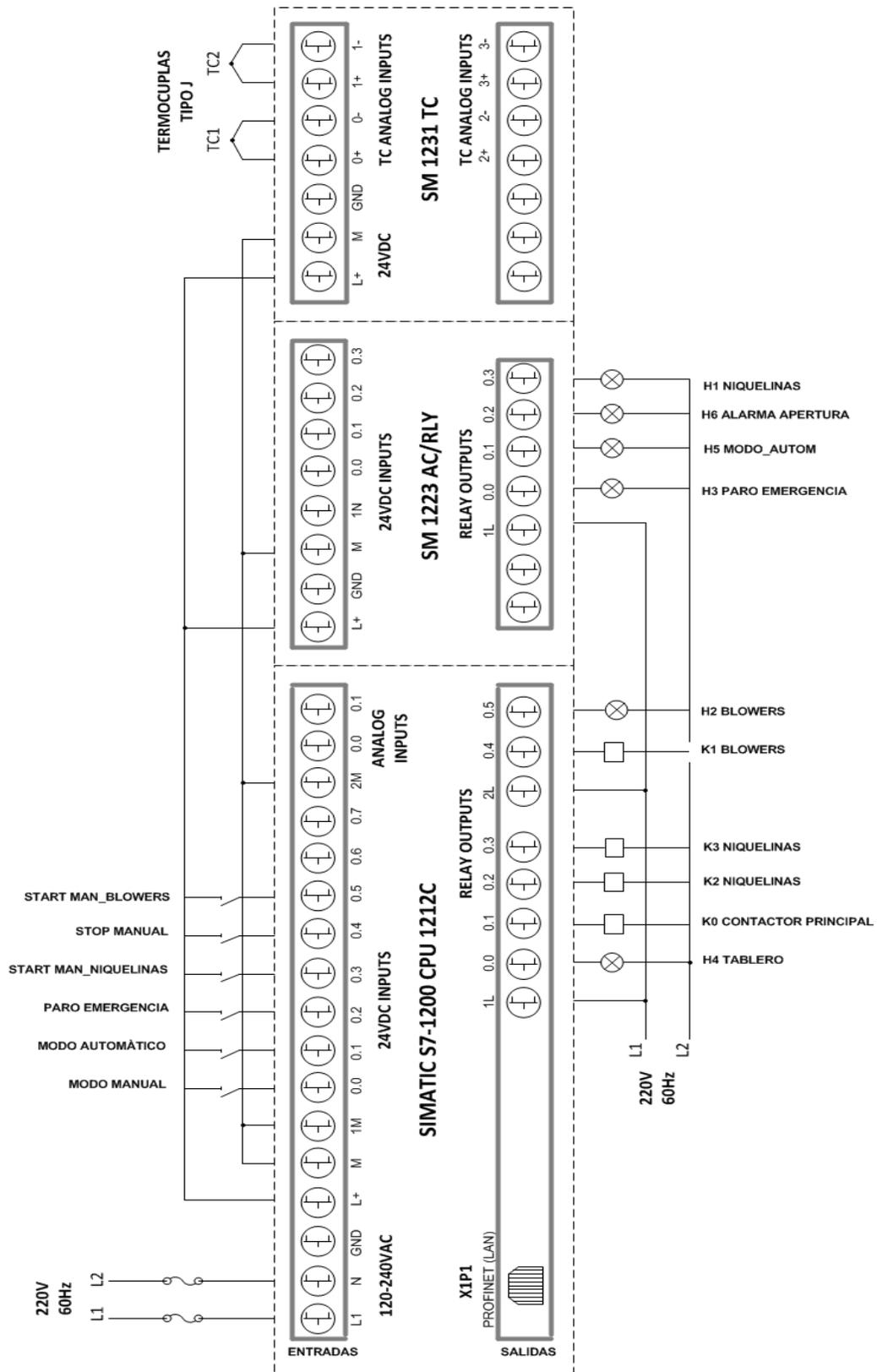
Anexo 3. Implementación y montaje de los elementos en el horno industrial



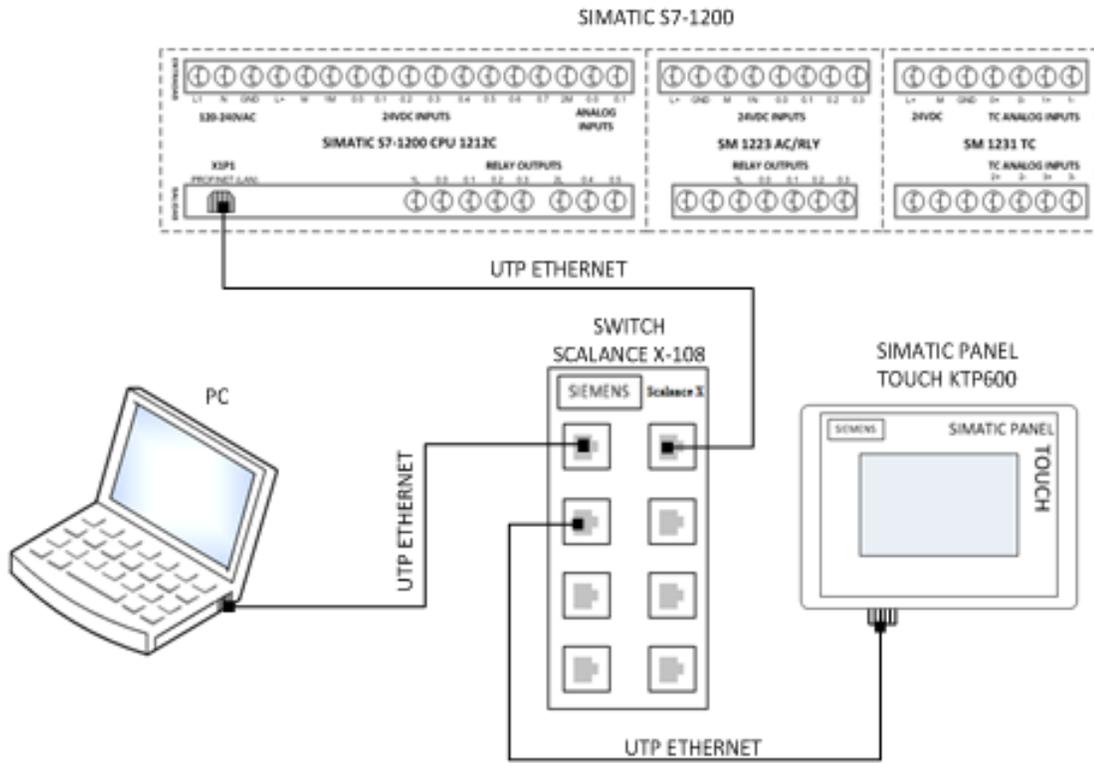
Anexo 4. Diagrama unifilar



Anexo 5. Diagrama de conexiones del PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU 1212C



Anexo 6. Diagrama de comunicación PC/Pantalla touch KTP600/PLC S71200



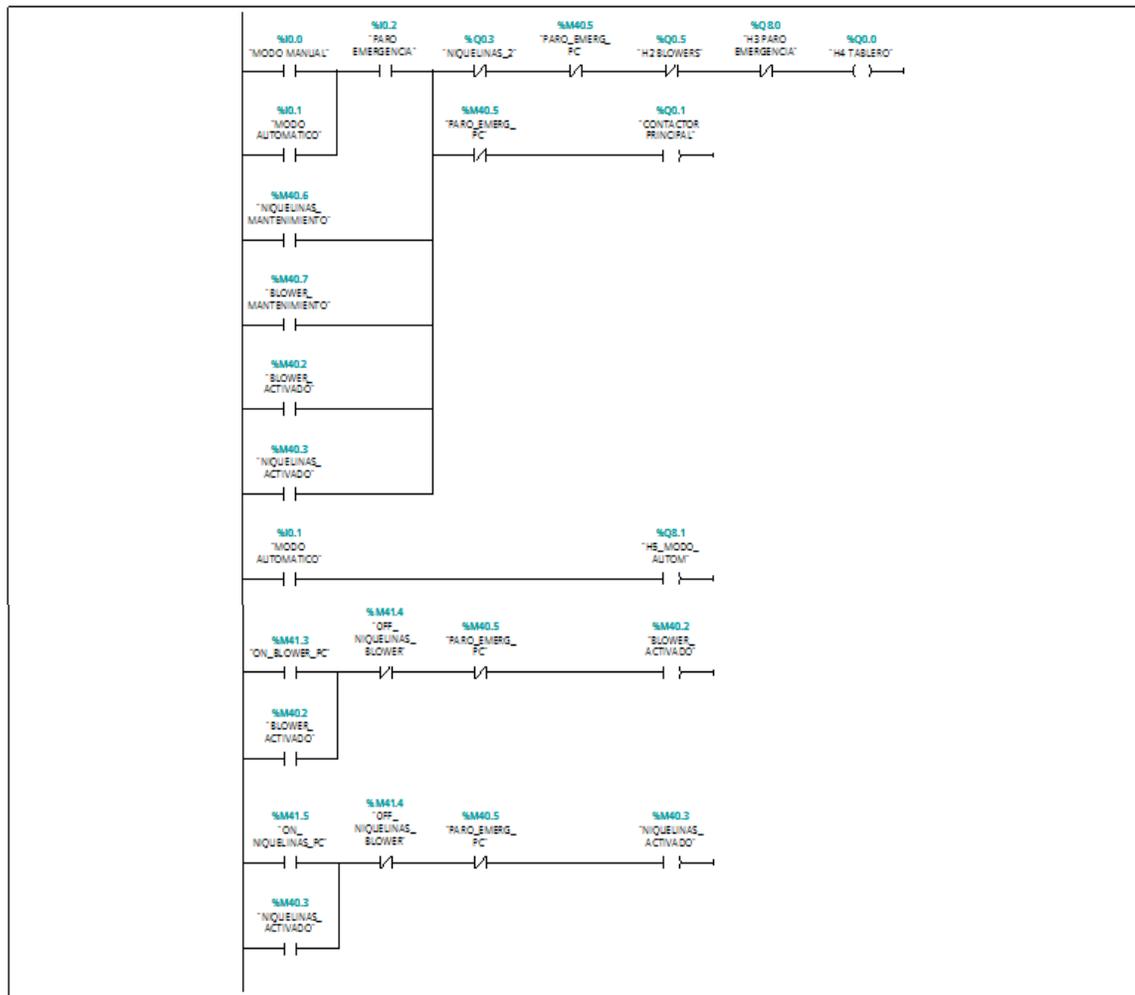
Anexo 7. Código de programación del PLC S7-1200 CPU 1212C

Main [OB1]

Main Propiedades							
General							
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB	Idioma	KOP
Numeración	Automática						
Información							
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor	MICHELLE	Comentario	CONTROL DE TEMPERATURA HORNO INDUSTRIAL DE SECADO	Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

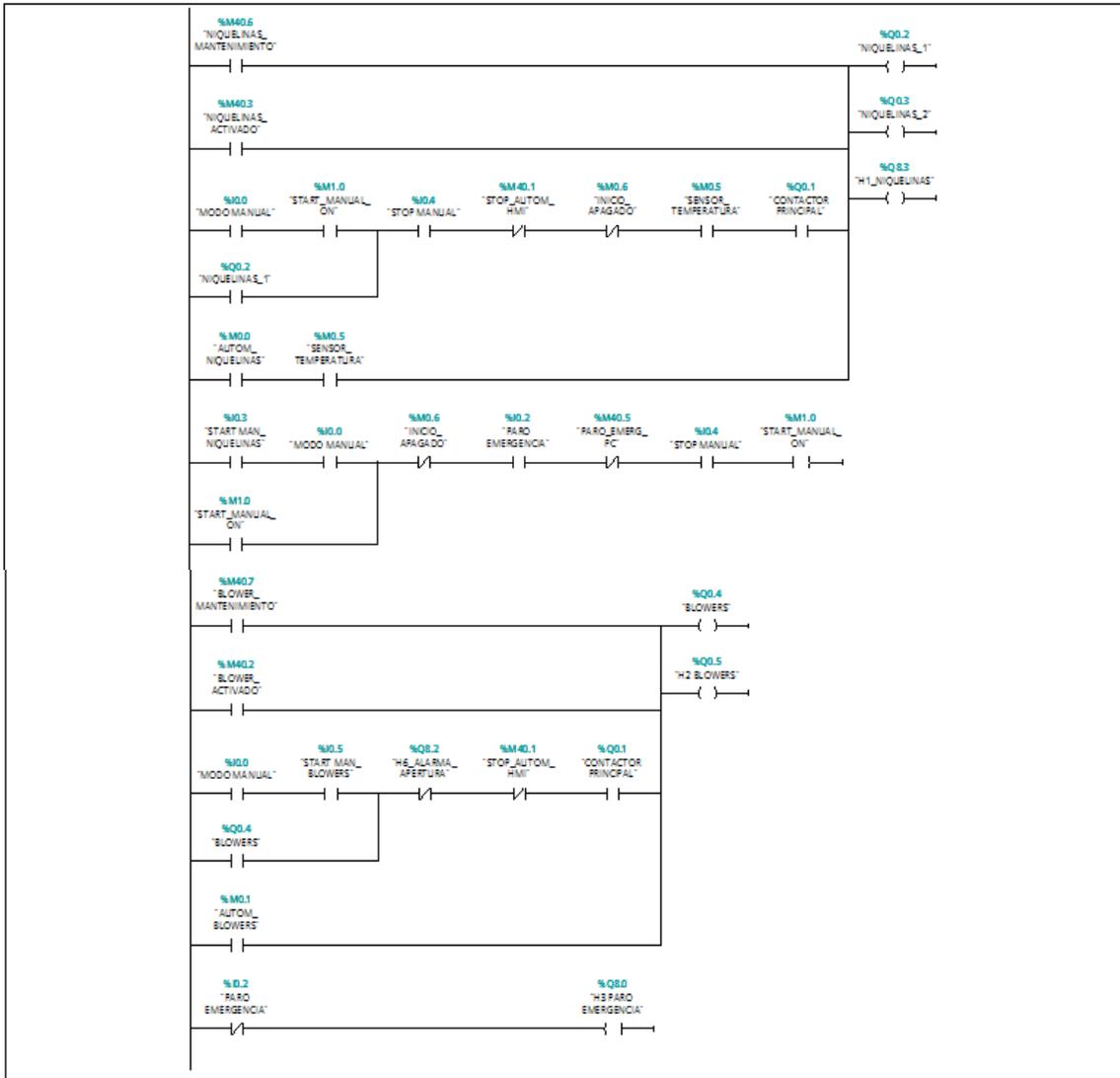
Segmento 1:

CONTROL MODO MANUAL



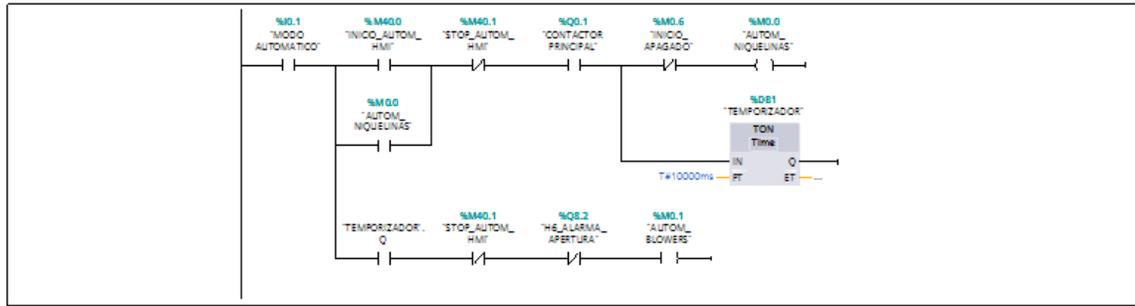
Segmento 2:

CIRCUITO DE CONTROL PRINCIPAL



Segmento 3:

CONTROL MODO AUTOMATICO - HMI



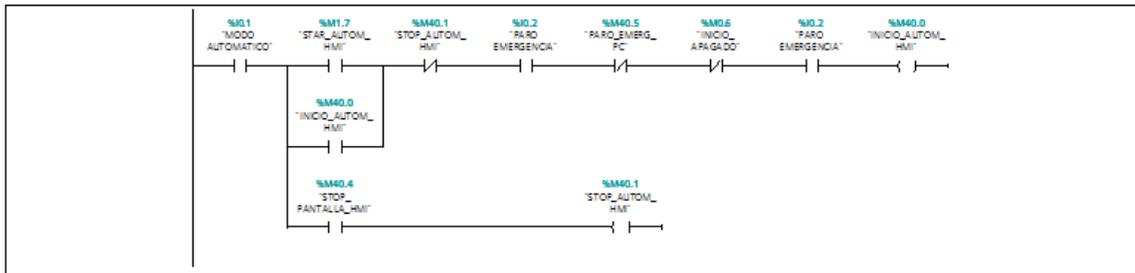
Segmento 4:

MÓDULO ENTRADAS ANALÓGICAS



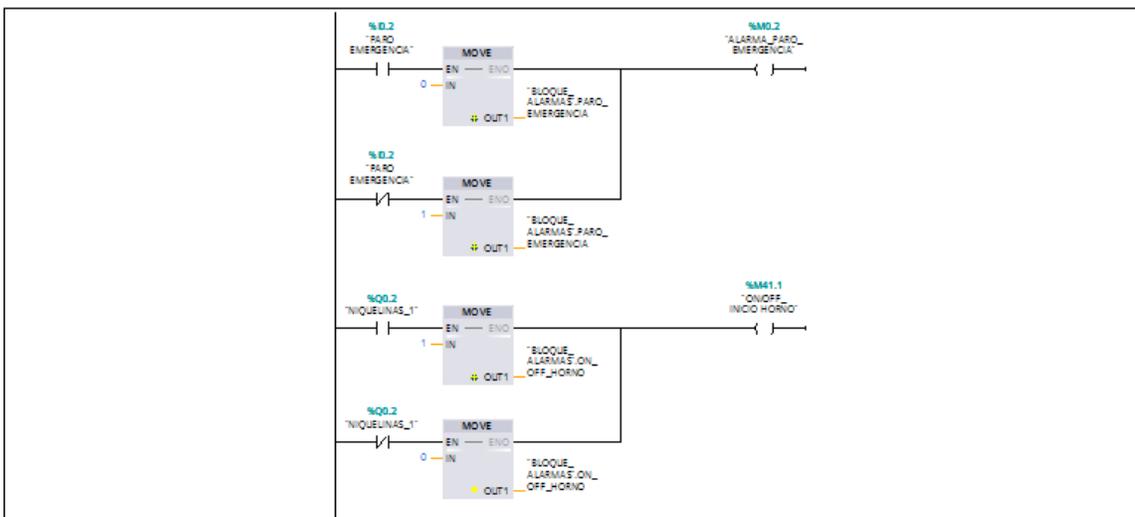
Segmento 5:

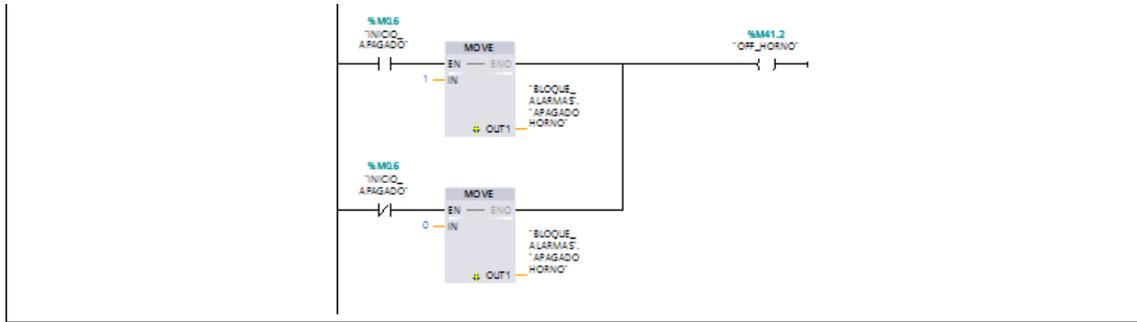
CONTROL PANTALLA HMI



Segmento 6:

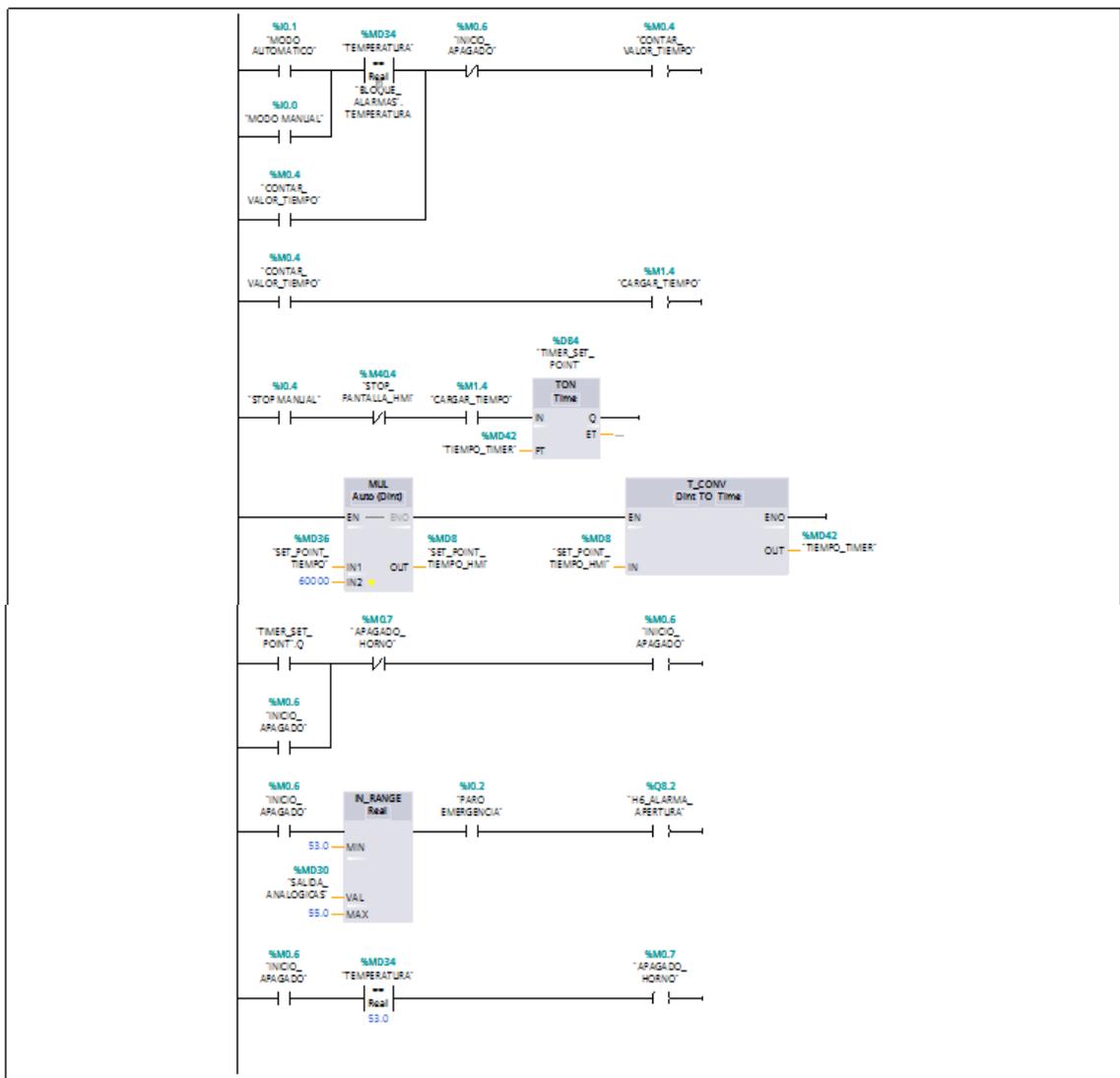
ALARMA PARO DE EMERGENCIA





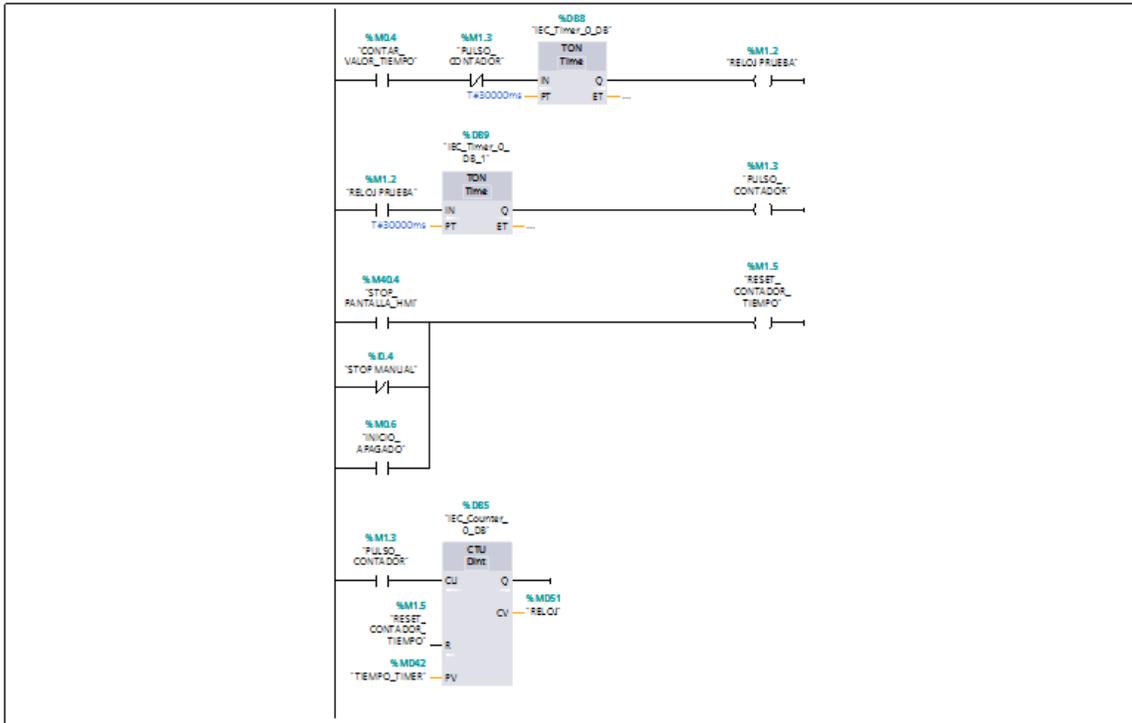
Segmento 7:

SET POINT TIEMPO_HMI



Segmento 8:

VER TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE HMI

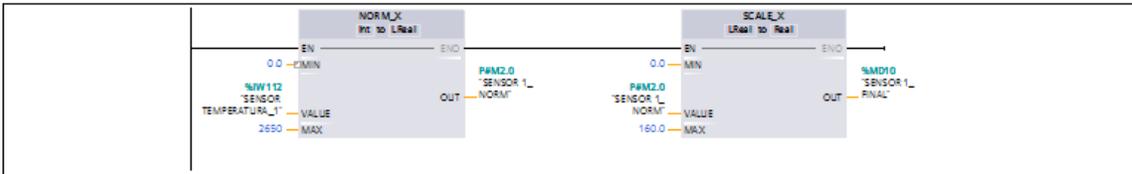


ANALOGICAS [FC1]

ANALOGICAS Propiedades							
General							
Nombre	ANALOGICAS	Número	1	Tipo	FC	Idioma	KOP
Numeración	automática						
Información							
Título		Autor		Comentario	ENTRADAS ANALOGICAS	Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

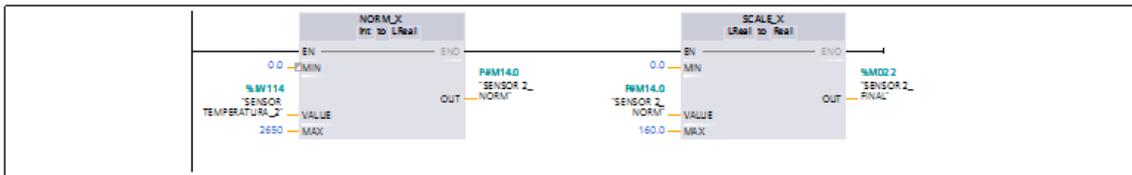
Segmento 1:

ESCALADO DEL VALOR ANALÓGICO DEL PRIMER SENSOR DE TEMPERATURA



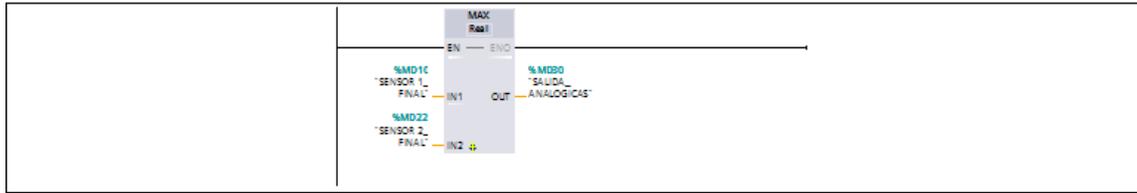
Segmento 2:

ESCALADO DEL VALOR ANALÓGICO DEL SEGUNDO SENSOR DE TEMPERATURA



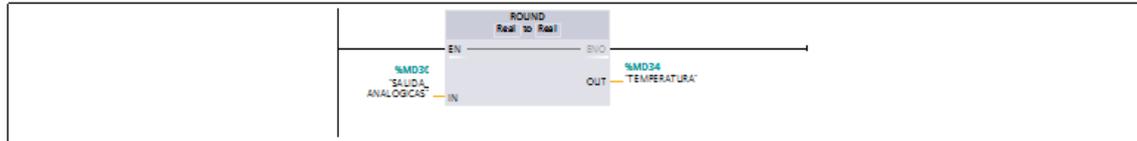
Segmento 3:

COMPARACIÓN ENTRADAS DE SENSORES DE TEMPERATURA



Segmento 4:

REDONDEAR EL VALOR DE LA SALIDA ANALÓGIA

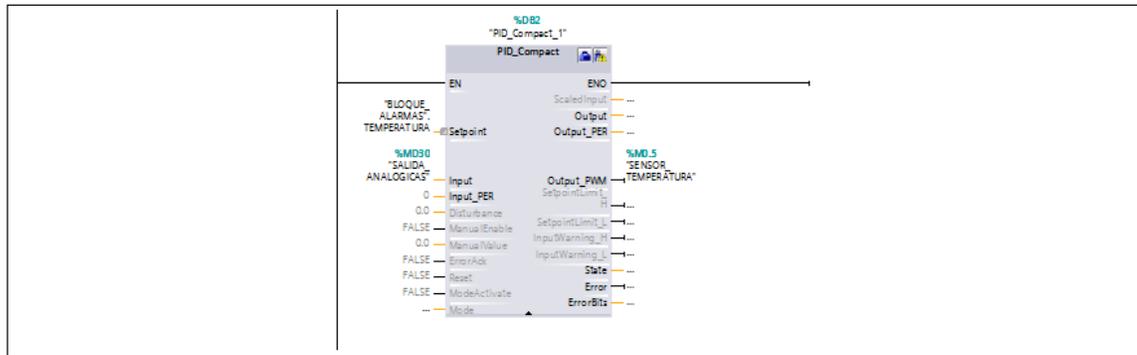


Cyclic interrupt [OB30]

Cyclic interrupt Propiedades							
General							
Nombre	Cyclic interrupt	Número	30	Tipo	OB	Idioma	KOP
Numeración	automática						
Información							
Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Segmento 1:

CONTROL PID



BLOQUE_ALARMAS [DB3]

BLOQUE_ALARMAS Propiedades							
General							
Nombre	BLOQUE_ALARMAS	Número	3	Tipo	DB	Idioma	DB
Numeración	automática						
Información							
Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Remanencia	Accesible desde HMI	Visible en HMI	Valor de ajuste	Comentario
▼ Static							
PARO_EMERGENCIA	int	0	False	True	True	False	
TEMPERATURA	int	0	False	True	True	False	
APAGADO_HORNO	int	0	False	True	True	False	
ON_OFF_HORNO	int	0	False	True	True	False	

Variables PLC / Tabla de variables estándar [87]

Variables PLC

Variables PLC						
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI
☐	MODO MANUAL	Bool	%I0.0	False	True	True
☐	MODO AUTOMATICO	Bool	%I0.1	False	True	True
☐	PARO EMERGENCIA	Bool	%I0.2	False	True	True
☐	START MAN_NIQUELINAS	Bool	%I0.3	False	True	True
☐	STOP MANUAL	Bool	%I0.4	False	True	True
☐	START MAN_BLOWERS	Bool	%I0.5	False	True	True
☐	H4 TABLERO	Bool	%Q0.0	False	True	True
☐	CONTACTOR PRINCIPAL	Bool	%Q0.1	False	True	True
☐	NIQUELINAS_1	Bool	%Q0.2	False	True	True
☐	NIQUELINAS_2	Bool	%Q0.3	False	True	True
☐	BLOWERS	Bool	%Q0.4	False	True	True
☐	H2 BLOWERS	Bool	%Q0.5	False	True	True
☐	H3 PARO EMERGENCIA	Bool	%Q8.0	False	True	True
☐	SENSOR TEMPERATURA_1	Int	%IW112	False	True	True
☐	SENSOR TEMPERATURA_2	Int	%IW114	False	True	True
☐	AUTOM_NIQUELINAS	Bool	%M0.0	False	True	True
☐	AUTOM_BLOWERS	Bool	%M0.1	False	True	True
☐	SENSOR 1_NORM	LReal	%M2.0	False	True	True

☐	SENSOR 2_NORM	LReal	%M14.0	False	True	True
☐	SENSOR 1_FINAL	Real	%MD10	False	True	True
☐	SENSOR 2_FINAL	Real	%MD22	False	True	True
☐	PROMEDIO_ANALOGICAS	Real	%MD26	False	True	True
☐	SALIDA_ANALOGICAS	Real	%MD30	False	True	True
☐	SENSOR_TEMPERATURA	Bool	%M0.5	False	True	True
☐	SET_POINT_TIEMPO	DInt	%MD36	False	True	True
☐	STAR_AUTOM_HMI	Bool	%M1.7	False	True	True
☐	INICIO_AUTOM_HMI	Bool	%M40.0	False	True	True
☐	STOP_AUTOM_HMI	Bool	%M40.1	False	True	True
☐	STOP_PANTALLA_HMI	Bool	%M40.4	False	True	True
☐	H5_MODO_AUTOM	Bool	%Q8.1	False	True	True
☐	ALARMA_PARO_EMERGENCIA	Bool	%M0.2	False	True	True
☐	H1_NIQUELINAS	Bool	%Q8.3	False	True	True
☐	SET_POINT_TIEMPO_HMI	DInt	%MD8	False	True	True
☐	TIEMPO_TIMER	Time	%MD42	False	True	True
☐	CONTAR_VALOR_TIEMPO	Bool	%M0.4	False	True	True
☐	INICIO_APAGADO	Bool	%M0.6	False	True	True
☐	H6_ALARMA_APERTURA	Bool	%Q8.2	False	True	True
☐	APAGADO_HORNO	Bool	%M0.7	False	True	True
☐	START_MANUAL_ON	Bool	%M1.0	False	True	True
☐	RELOJ PRUEBA	Bool	%M1.2	False	True	True

RELOJ	DInt	%MD51	False	True	True
PULSO_CONTADOR	Bool	%M1.3	False	True	True
CARGAR_TIEMPO	Bool	%M1.4	False	True	True
RESET_CONTADOR_TIEMPO	Bool	%M1.5	False	True	True
TIEMPO_TOTAL	Bool	%M1.6	False	True	True
NIQUELINAS_MANTENIMIENTO	Bool	%M40.6	False	True	True
BLOWER_MANTENIMIENTO	Bool	%M40.7	False	True	True
TEMPERATURA	Real	%MD34	False	True	True
ON_NIQUELINAS_PC	Bool	%M41.5	False	True	True
OFF_NIQUELINAS_BLOWER	Bool	%M41.4	False	True	True
ON_BLOWER_PC	Bool	%M41.3	False	True	True
ON_NIQUELINAS_BLOWER	Bool	%M10.4	False	True	True
BLOWER_ACTIVADO	Bool	%M40.2	False	True	True
NIQUELINAS_ACTIVADO	Bool	%M40.3	False	True	True
PARO_EMERG_PC	Bool	%M40.5	False	True	True
EMERG_PC_ON	Bool	%M41.0	False	True	True
ON/OFF_INICIO HORNO	Bool	%M41.1	False	True	True
OFF_HORNO	Bool	%M41.2	False	True	True

Anexo 8. Código de programación de la PC-System (SIMATIC PC station) / HMI_RT (WinCC RT Advanced)

HMI_RT_2 [WinCC RT Advanced]

HMI_RT_2					
General					
Nombre	HMI_RT_2	Tipo de equipo/aplicación	SIMATIC PC station - WinCC RT Advanced	Autor	MICHELLE
Comentario					
GeneralInformación del catálogo					
nombre abreviado	WinCC RT Advanced	designación	Software runtime para visualización basada en PC (requiere WinCC Runtime Advanced)	referencia	6AV2 104-0xxxx-xxxx
Versión	13.0.0.0				
Información					
Número de Power-Tags utilizados	14	Requerimiento de memoria en runtime	670248	Número de versión	126
Fecha de la última compilación	12/02/2016 14:34:36	Fecha de la última carga	01/01/0001 0:00:00		

HMI_RT_2 [WinCC RT Advanced] / Imágenes

PANTALLA INICIO

Copia impresa de PANTALLA INICIO



PROCESO DE SECADO

Copia impresa de PROCESO DE SECADO

AFLOMOTORS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

EASA ELECTRICAL APPLIANCE SERVICE ASSOCIATION

HMI CONTROL DE TEMPERATURA - HORNO DE SECADO

Diagram: A schematic of a drying oven with a central heater coil and two fans. A control panel is connected to the oven.

Temperature Gauge: A vertical scale from 0 to 150°C. The current temperature is 75°C.

Control Parameters:

- SET POINT TEMP. °C
- TEMPERATURA ACTUAL °C
- SET POINT TIEMPO Min
- TIEMPO TRANSCURRIDO Min

Control Elements:

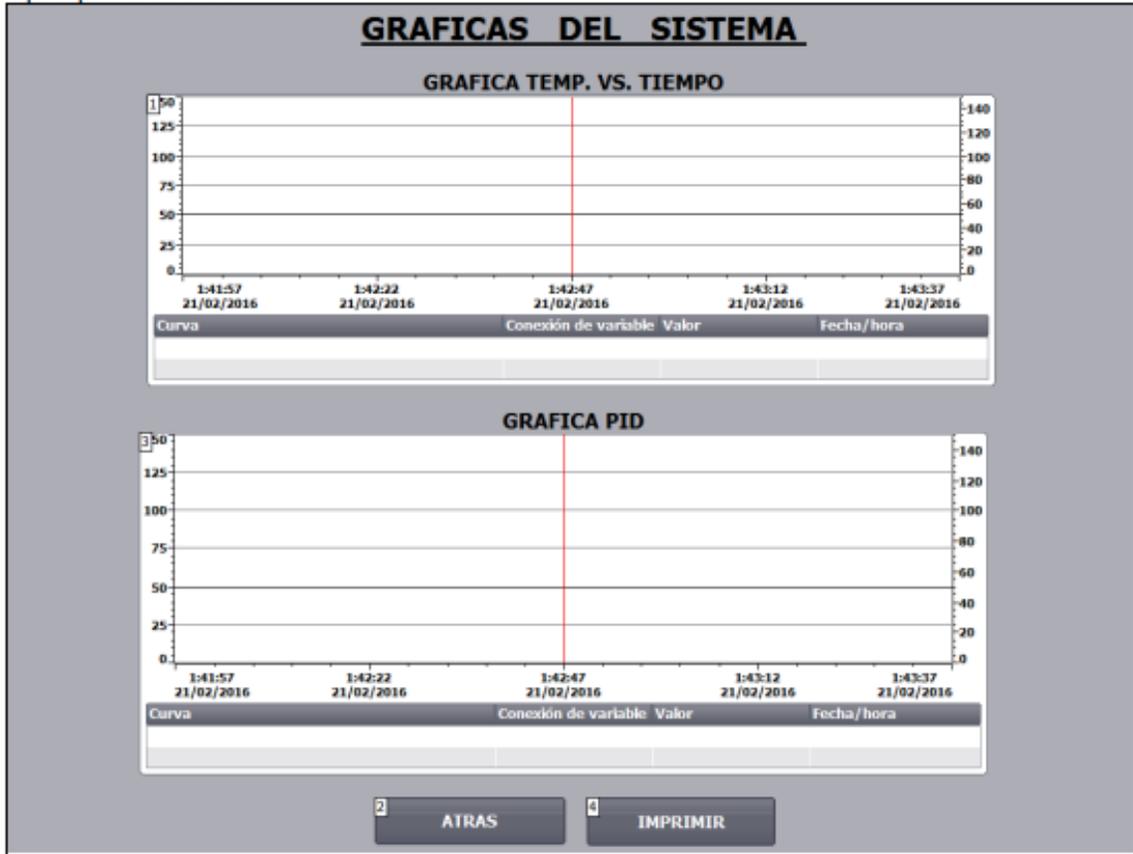
- BLOWERS: ON/OFF
- NIQUELINAS: ON/OFF
- STOP: PARO
- MODO AUTOMATICO:
- MODO MANUAL:
- PARO EMERGENCIA: EMERGENCIA

Navigation Buttons:

- 1 ATRAS
- 2 GRAFICAS
- 3 ALARMAS
- 4 IMPRIMIR INFORME

GRAFICAS

Copia impresa de GRAFICAS



HMI_RT_2 [WinCC RT Advanced] / Imágenes

REGISTRO DE ALARMAS

Copia impresa de REGISTRO DE ALARMAS

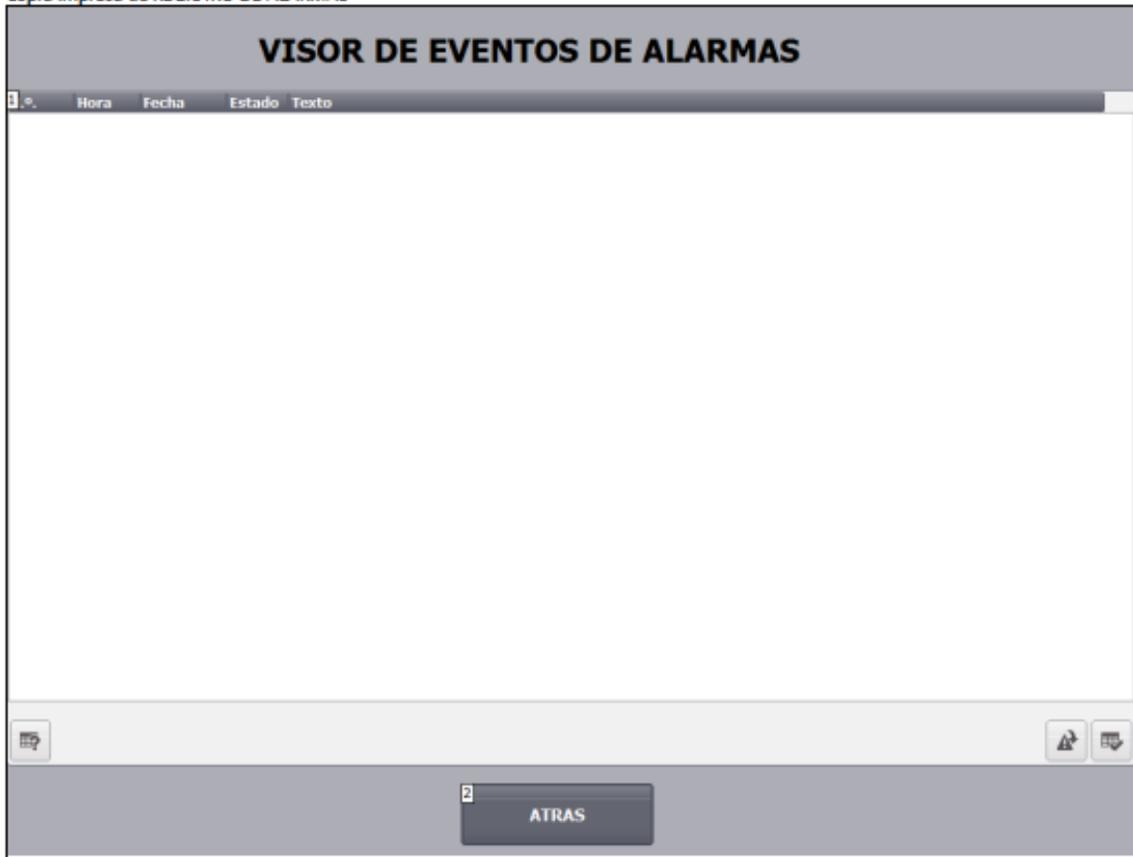
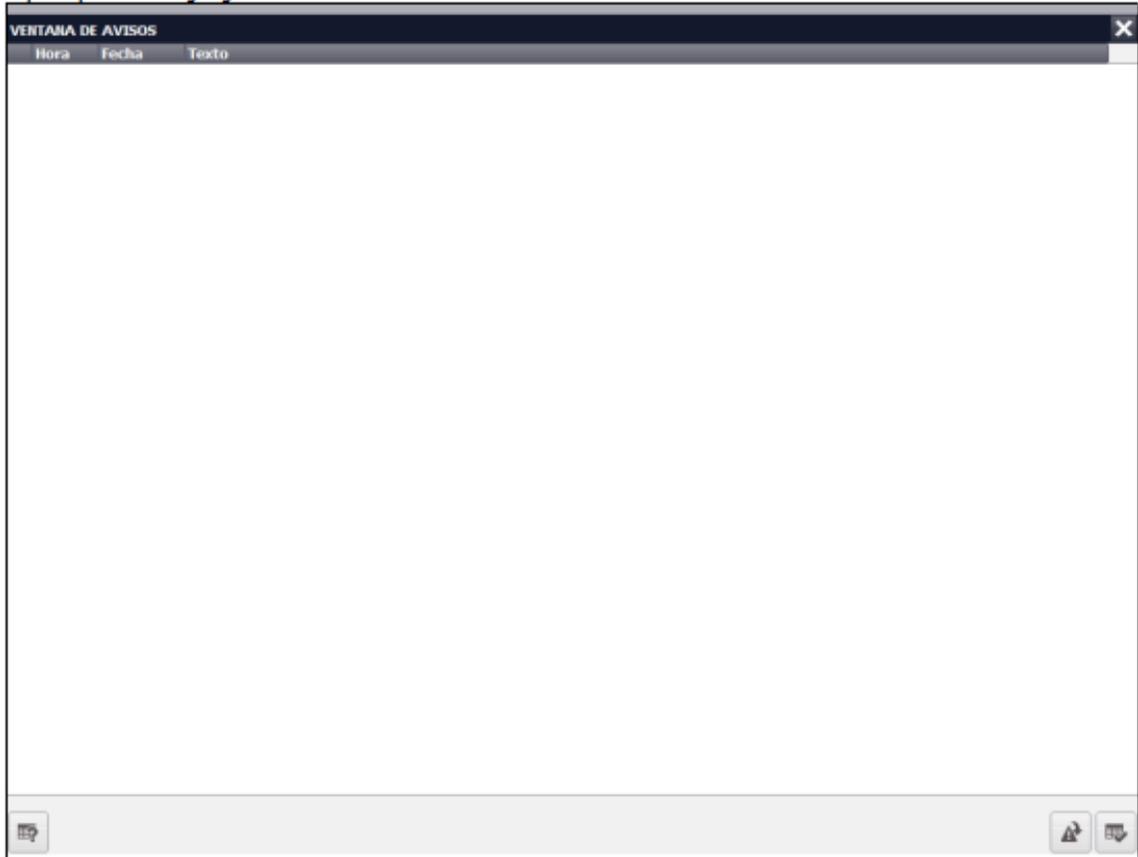


Imagen general

Copia impresa de Imagen general



Encabezado

Copia impresa de Encabezado



Copia impresa de Página de detalles 1

Nº	Hora	Fecha		Autómata
0	12:00:00	01/01/1999	* normal <i>kursiv</i> normal	Device
1	12:00:00	01/01/1999	* normal blinken normal	Device
2	12:00:00	01/01/1999	* Message Text	Device
3	12:00:00	01/01/1999	* normal bold normal	Device
4	12:00:00	01/01/1999	* normal <u>underline</u> normal	Device

Anexo 9. Hoja técnica PLC S7-1200 CPU 1212C

SIMATIC S7-1200 Central processing units

CPU 1212C

Overview



- The superior compact solution
- With 14 integral input/outputs
- Expandable by:
 - 1 signal board (SB) or communication board (CB)
 - 2 signal modules (SM)
 - Max. 3 communication modules (CM)

Technical specifications

	6ES7 212-1BD30-0XB0	6ES7 212-1AD30-0XB0	6ES7 212-1HD30-0XB0
Product type designation	CPU 1212C AC/DC/Relay	CPU 1212C DC/DC/DC	CPU 1212C DC/DC/Relay
Product version			
associated programming package	STEP 7 V10.5 or higher	STEP 7 V10.5 or higher	STEP 7 V10.5 or higher
Supply voltages			
Rated value			
• 24 V DC		Yes	Yes
• Permissible range, lower limit (DC)		20.4 V	20.4 V
• Permissible range, upper limit (DC)		28.8 V	28.8 V
• 120 V AC	Yes		
• 230 V AC	Yes		
• Permissible range, lower limit (AC)	85 V		
• Permissible range, upper limit (AC)	264 V		
• Permissible frequency range, lower limit	47 Hz		
• Permissible frequency range, upper limit	63 Hz		
Load voltage L+			
• Rated value (DC)	24 V	24 V	24 V
• Permissible range, lower limit (DC)	5 V	20.4 V	5 V
• Permissible range, upper limit (DC)	250 V	28.8 V	250 V
Current consumption			
Current consumption (rated value)	80 mA at 120 V AC; 40 mA at 240 V AC		175 mA; typical
Current consumption, max.	240 mA at 120 V AC; 120 mA at 240 V AC	1.2 A; 24 V DC	1.2 A; 24 V DC
Inrush current, max.	20 A; at 264 V	12 A; at 28.8 V DC	12 A; at 28.8 V DC
Current output to backplane bus (DC 5 V), max.	1 000 mA; max. 5 V DC for SM and CM	1 000 mA; max. 5 V DC for SM and CM	1 000 mA; max. 5 V DC for SM and CM
Power losses			
Power loss, typ.	11 W	9 W	9 W

SIMATIC S7-1200

Central processing units

CPU 1212C

Technical specifications (continued)

	6ES7 212-1BD30-0XB0	6ES7 212-1AD30-0XB0	6ES7 212-1HD30-0XB0
Memory			
Usable memory for user data	25 kbyte	25 kbyte	25 kbyte
Work memory			
• integrated	25 kbyte	25 kbyte	25 kbyte
• expandable	No	No	No
Load memory			
• integrated	1 Mbyte	1 Mbyte	1 Mbyte
• expandable, max.	24 Mbyte; with SIMATIC memory card	24 Mbyte; with SIMATIC memory card	24 Mbyte; with SIMATIC memory card
Backup			
• present	Yes; entire project maintenance-free in the integral EEPROM	Yes; entire project maintenance-free in the integral EEPROM	Yes; entire project maintenance-free in the integral EEPROM
• without battery	Yes	Yes	Yes
CPU-blocks			
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used
OB			
• Number, max.	Limited only by RAM for code	Limited only by RAM for code	Limited only by RAM for code
CPU processing times			
for bit operations, min.	0.1 µs; / Operation	0.1 µs; / Operation	0.1 µs; / Operation
for word operations, min.	12 µs; / Operation	12 µs; / Operation	12 µs; / Operation
for floating point arithmetic, min.	18 µs; / Operation	18 µs; / Operation	18 µs; / Operation
Data areas and their retentivity			
retentive data area in total (incl. times, counters, flags), max.	2 048 byte	2 048 byte	2 048 byte
Flag			
• Number, max.	4 kbyte; Size of bit memory address area	4 kbyte; Size of bit memory address area	4 kbyte; Size of bit memory address area
Address area			
I/O address area			
• I/O address area, overall	1024 byte for inputs / 1024 byte for outputs	1024 byte for inputs / 1024 byte for outputs	1024 byte for inputs / 1024 byte for outputs
• Overall	1 024 byte	1 024 byte	1 024 byte
• Outputs	1 024 byte	1 024 byte	1 024 byte
Process image			
• Inputs, adjustable	1 kbyte	1 kbyte	1 kbyte
• Outputs, adjustable	1 kbyte	1 kbyte	1 kbyte
Digital channels			
• Integrated channels (DI)	8	8	8
• Integrated channels (DO)	6	6	6
Analog channels			
• Integrated channels (AI)	2	2	2
• Integrated channels (AO)	0	0	0

Anexo 10. Hoja técnica módulo siemens SM 1223

Hoja de datos

6ES7223-1QH32-0XB0

SIMATIC S7-1200, E/S DIGITAL SM 1223, 8 DI AC / 8 DO RLY, 8 DI
120/230 V AC, 8 DO RELE 2A



Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
• 24 V DC	Si
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
de bus de fondo 5 V DC, máx.	120 mA
Tensión de salida	
Alimentación de transmisores	
• existente	Si
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	7,5 W
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	8
• En grupos de	4
Característica de entrada según IEC 61131, tipo 1	Si
Número de entradas atacables simultáneamente	

Todas las posiciones de montaje	
— hasta 40 °C, máx.	8
Posición de montaje horizontal	
— hasta 40 °C, máx.	8
— hasta 50 °C, máx.	8
Posición de montaje vertical	
— hasta 40 °C, máx.	8
Tensión de entrada	
• Tipo de tensión de entrada	AC
• Valor nominal (AC)	120/230 V AC
• para señal "0"	20 V AC con 1 mA
• para señal "1"	79 V AC con 2,5 mA
Intensidad de entrada	
• para señal "0", máx. (intensidad de reposo admisible)	1 mA
• para señal "1", min.	2,5 mA
• para señal "1", tip.	9 mA
Retardo a la entrada (a tensión nominal de entrada)	
para entradas estándar	
— parametrizable	Si; 0,2 ms, 0,4 ms, 0,8 ms, 1,6 ms, 3,2 ms, 6,4 ms y 12,8 ms, elegible en grupos de 4
para entradas de alarmas	
— parametrizable	Si
Longitud del cable	
• apantallado, máx.	500 m
• no apantallado, máx.	300 m
Salidas digitales	
Número de salidas	
• En grupos de	4
Protección contra cortocircuitos	
	No; a prever externamente
Poder de corte de las salidas	
• con carga resistiva, máx.	2 A
• con carga tipo lámpara, máx.	30 W con DC, 200 W con AC
Tensión de salida	
• Valor nominal (DC)	5 V DC a 30 V DC
• Valor nominal (AC)	5 a 250 V AC
Intensidad de salida	
• para señal "1" rango admisible, máx.	2 A
Retardo a la salida con carga resistiva	
• "0" a "1", máx.	10 ms
• "1" a "0", máx.	10 ms

Salidas de relé	
• Nº de salidas relé	8
• Tensión nominal de alimentación de bobina de relé L+ (DC)	24 V
• Número de ciclos de maniobra, máx.	mecánicos: 10 millones, con tensión nominal de carga: 100 000
Poder de corte de los contactos	
— con carga inductiva, máx.	2 A
— con carga tipo lámpara, máx.	30 W con DC, 200 W con AC
— con carga resistiva, máx.	2 A
Longitud del cable	
• apantallado, máx.	500 m
• no apantallado, máx.	150 m
Alarmas/diagnósticos/información de estado	
Alarmas	Si
Funciones de diagnóstico	Si
Alarmas	
• Alarma de diagnóstico	Si
LED señalizador de diagnóstico	
• para el estado de las entradas	Si
• para el estado de las salidas	Si
• para mantenimiento	Si
• Señalizador de estado salida digital (verde)	Si
• Señalizador de estado entrada digital (verde)	Si
Aislamiento galvánico	
Aislamiento galvánico módulos de E digitales	
• entre los canales, en grupos de	2
Aislamiento galvánico módulos de S digitales	
• entre los canales	Relé
• entre los canales, en grupos de	2
• entre los canales y bus de fondo	1500 V AC durante 1 minuto
Diferencia de potencial admisible	
entre diferentes circuitos	750 V AC durante 1 minuto

Anexo 11. Hoja técnica módulo analógico siemens SM 1231

Hoja de datos

6ES7231-5QD32-0XB0

SIMATIC S7-1200, ENTRADA ANAL., SM 1231 TC, 4 TERMOPAR
AI



Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
• 24 V DC	Si
Intensidad de entrada	
Consumo, tip.	40 mA
de bus de fondo 5 V DC, tip.	80 mA
Pérdidas	
Pérdidas, tip.	1,5 W
Entradas analógicas	
Nº de entradas analógicas	4; Termopares
Tensión de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), máx.	± 35 V
Unidad técnica ajustable para medición de temperatura	Grados Celsius/grados Fahrenheit
Rangos de entrada	
• Tensión	Si
• Intensidad	No
• Termopar	Si; J, K, T, E, R, S, N, C, TXX/XX(L); rango de tensión: +/-80mV

Funciones de diagnóstico	Si; legibles
Alarmas	
• Alarma de diagnóstico	Si
Avisos de diagnósticos	
• Vigilancia de la tensión de alimentación	Si
• Rotura de hilo	Si
LED señalizador de diagnóstico	
• para el estado de las entradas	Si
• para mantenimiento	Si
Grado de protección y clase de protección	
Grado de protección según EN 60529	
• IP20	Si
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Si
Homologación CSA	Si
Homologación FM	Si
RCM (anterior C-TICK)	Si
Clase de seguridad máx. alcanzable operando en modo de seguridad	
• SIL según IEC 61508	sin
Condiciones ambientales	
Caida libre	
• Altura de caída, máx.	0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío
Temperatura ambiente en servicio	
• Rango de temperatura permitido	-20 °C a +60 °C con montaje horizontal; -20 °C a 50 °C con montaje vertical; 95 % de humedad del aire, sin condensación
• mín.	-20 °C
• máx.	60 °C
Temperatura ambiente en almacenaje/transporte	
• mín.	-40 °C
• máx.	70 °C
Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
• En servicio mín.	795 hPa
• En servicio máx.	1 080 hPa
• Almacenamiento/transporte, mín.	660 hPa
• Almacenamiento/transporte, máx.	1 080 hPa
Humedad relativa del aire	
• Rango admisible (sin condensación) a 25 °C	95 %
Condiciones ambientales aumentadas	
Concentraciones de sustancias contaminantes	
— SO2 con HR < 60% sin condensación	SO2: < 0,5 ppm; H2S: < 0,1 ppm; HR < 60% sin condensación

Anexo 12. Hoja técnica touch panel KTP600 Basic

Datos técnicos del KTP400 Basic y KTP600 Basic

Peso

	KTP400 Basic Mono PN	KTP600 Basic Mono PN	KTP600 Basic Color DP	KTP600 Basic Color PN
Peso sin embalaje	aprox. 320 g	aprox. 1070 g		

Pantalla

	KTP400 Basic Mono PN	KTP600 Basic Mono PN	KTP600 Basic Color DP	KTP600 Basic Color PN
Tipo	LCD mono FSTN		LCD-TFT	
Área activa del display	76,79 mm x 57,59 mm (3,8")	115,2 mm x 86,4 mm (5,7")		
Resolución, píxeles	320 x 240			
Colores representables	4 niveles de gris		256	
Regulación de contraste	Sí		No	
Categoría de error de píxel según DIN EN ISO 13406-2	-		II	
Retroiluminación	LED	CCFL		
Half Brightness Life Time, típico	30.000 h	50.000 h		

Unidad de entrada

	KTP400 Basic Mono PN	KTP600 Basic Mono PN	KTP600 Basic Color DP	KTP600 Basic Color PN
Tipo	Pantalla táctil analógica resistiva			
Teclas de función	4	6		
Tiras rotulables	Sí			

Memoria

	KTP400 Basic Mono PN	KTP600 Basic Mono PN	KTP600 Basic Color DP	KTP600 Basic Color PN
Memoria de aplicación	512 kBytes			

Interfaces

	KTP400 Basic Mono PN	KTP600 Basic Mono PN	KTP600 Basic Color DP	KTP600 Basic Color PN
1 x RS 422/RS 485	-	-	Máx. 12 Mbit/s	-
1 x Ethernet	RJ45 10/100 Mbit/s	RJ45 10/100 Mbit/s	-	RJ45 10/100 Mbit/s

Tensión de alimentación

	KTP400 Basic Mono PN	KTP600 Basic Mono PN	KTP600 Basic Color DP	KTP600 Basic Color PN
Tensión nominal	+24 V DC			
Rango admisible	de 19,2 V a 28,8 V (-20 %, +20 %)			
Transitorios, máximo admisible	35 V (500 ms)			
Tiempo entre dos transitorios, mínimo	50 s			
Consumo <ul style="list-style-type: none"> • Típico • Corriente continua máx. • Corriente transitoria de conexión I²t 	aprox. 70 mA aprox. 150 mA aprox. 0,5 A ² s	aprox. 240 mA aprox. 350 mA aprox. 0,5 A ² s	aprox. 350 mA aprox. 550 mA aprox. 0,5 A ² s	
Fusible interno	electrónico			

Otros componentes

	KTP400 Basic Mono PN	KTP600 Basic Mono PN	KTP600 Basic Color DP	KTP600 Basic Color PN
Reloj de tiempo real	Sí, no respaldado			

Anexo 13. Hoja técnica Switch SCALANCE X108



SCALANCE X108

Table 7-3 Technical specifications of the SCALANCE X108

Technical specifications		
Order number		
SCALANCE X108	6GK5108-0BA00-2AA3	
Connection to Industrial Ethernet		
Number	8	
Design	RJ-45 jacks with MDI-X pinning	
Properties	Half / full duplex	
Transmission speed	10/100 Mbps	
Permitted cable lengths (Industrial Ethernet)	Alternative combinations per length range	
0 to 55 m	<ul style="list-style-type: none"> Max. 55 m IE TP Torsion Cable with IE FC RJ45 Plug 180 Max. 45 m IE TP Torsion Cable with IE FC RJ45 + 10 m TP Cord via IE FC RJ45 Outlet 	
0 ... 85 m	<ul style="list-style-type: none"> Max. 85 m IE FC TP Marine/Trailing Cable with IE FC RJ45 Plug 180 Max. 75 m IE FC TP Marine/Trailing Cable + 10 m TP Cord via IE FC RJ45 Outlet 	
0 ... 100 m	<ul style="list-style-type: none"> Max. 100 m IE FC TP Standard Cable with IE FC RJ45 Plug 180 Max. 90 m IE FC TP Standard Cable + 10 m TP Cord via IE FC RJ45 Outlet 	
Electrical data		
Power supply	Voltage range	18 to 32 VDC Safe Extra Low Voltage (SELV)
	Rated voltage	24 VDC
	Design	4-terminal plug-in block
Signaling contact	Current	max. 100 mA
	Rated voltage	24 VDC
	Design	2-pin plug-in terminal block
Current consumption	Typical	140 mA
Power loss at 24 VDC	Typical	3.36 W
Overvoltage protection at input	PTC resettable fuse (0.6 A / 60 V)	

Technical specifications		
Permitted ambient conditions		
Ambient temperature	During operation	-20 °C to +70 °C
	During storage	-40 °C to +80 °C
	During transportation	-40 °C to +80 °C
Relative humidity	During operation	≤ 95 % no condensation
Operating altitude	During operation	≤ 2,000 m above sea level at max. 56 °C ambient temperature
		≤ 3,000 m above sea level at max. 50 °C ambient temperature
Design, dimensions and weight		
Immunity to interference	EN 61000-6-2	
Emission	EN 61000-6-4	
Degree of protection	IP 30	
MTBF (EN/IEC 61709, 40 °C)	139.83 years	
Housing material	Basic housing	Die cast aluminum, powder coated
	Front cover	Polyphenylene ether + polystyrene (PPE+PS plastic)
Weight	780 g	
Dimensions (W x H x D)	60 x 125 x 124 mm	
Installation options	<ul style="list-style-type: none"> • Installation on a DIN rail • Installation on an S7-300 standard rail • Wall mounting 	
Switching properties		
Aging time	30 seconds	
Max. number of learnable MAC addresses	2048	
Response to LLDP frames	Blocking	
Response to spanning tree BPDU frames	Forwarding	
QoS priority queues	4	

Note

The number of SCALANCE X Industrial Ethernet switches connected in a line influences the frame delay time.

When a frame passes through devices of the SCALANCE X-100 product line, it is delayed by the store and forward function of the switch

- with a 64 byte frame length by approx. 10 microseconds (at 100 Mbps)
- with a 1500 byte frame length by approx. 130 microseconds (at 100 Mbps)

This means that the more devices of the SCALANCE X-100 product line, the frame passes through, the longer the frame delay.

Anexo 14. Hoja técnica contactor LS METASOL MC-32A

Description

- 3-pole(NO) main contact
- Finger proof design
- DIN rail or screw mountable
- AC or DC control in different physical size
- Front/side mountable accessories available
- Direct mountable overload relay available Rating



MC-40a

Rating

Contactor type			MC-32a		MC-40a	
			kW	A	kW	A
AC duty	AC3	200/240V	7.5	32	11	40
		380/440V	15	32	18.5	40
		500/550V	18.5	28	22	32
		690V	18.5	20	22	23
	AC4	200/240V	4.5	20	5.5	25
		380/440V	7.5	17	11	24
AC1		-	50	-	60	
DC1 (L/R$1ms$)	2-pole	24V	-	32	-	55
		in series	48V	-	30	-
		110V	-	25	-	40
	3-pole	24V	-	32	-	55
		in series	48V	-	32	-
		110V	-	27	-	45
DC2,4 (L/R$15ms$)	2-pole	24V	-	25	-	30
		in series	48V	-	20	-
		110V	-	15	-	20
	3-pole	24V	-	30	-	45
		in series	48V	-	30	-
		110V	-	20	-	30
Directly mountable Overload relay			MT-32			
Conductor size (solid, stranded)		AWG	12-8		10-6	
(the max. number of conductors: 2)		mm ²	2.5-10		4-16	
Conductor type			65/75°C; Cu-wire only			



Coil voltage



2-pole in series



3-pole in series

AC	50Hz	24, 32, 42, 48, 80, 100, 110, 220, 230, 240, 380, 400, 500, 550V
	60Hz	24, 48, 110, 110, 12, 200, 208, 220, 230, 240, 277, 380, 480, 600V
	50/60Hz	24, 48, 100, 110, 120, 200, 220, 230, 240, 380, 415, 440, 500, 550V
DC	DC	12, 20, 24, 48, 60, 80, 100, 110, 125, 200, 220, 250V

Certification

- CE(IEC)
- UL508

Anexo 15. Capacidad de conductores eléctricos

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

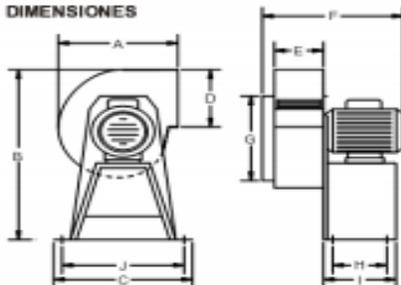
Anexo 16. Hoja técnica ventilador centrífugo

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad R.P.M.	Potencia H.P.	Intensidad máxima (A)			Caudal descarga libre m ³ /hr	Nivel Sonoro dB(A)*	Peso aprox. Kg
			440 V	220 V	127 V			
CEL-800	1550	1/20	-	-	0.9	800	53	5.5
CEL-1200	1625	1/10	-	-	1.35	1200	56	6.0
CEL-B 2000	1725	1/2	1.0	2.0 / 5.0	11.0	1900	60	10.5
CEL-B 2600	1725	3/4	1.6	3.3 / 6.3	13.1	2600	63	25.0
CEL-4000	1725	1 1/2	2.9	5.8	-	3950	72	28.0
CEL-5000	1725	2	3.7	7.4	-	5200	75	32.0
CEL-6000	1725	3	5.1	10.2	-	6500	80	33.5

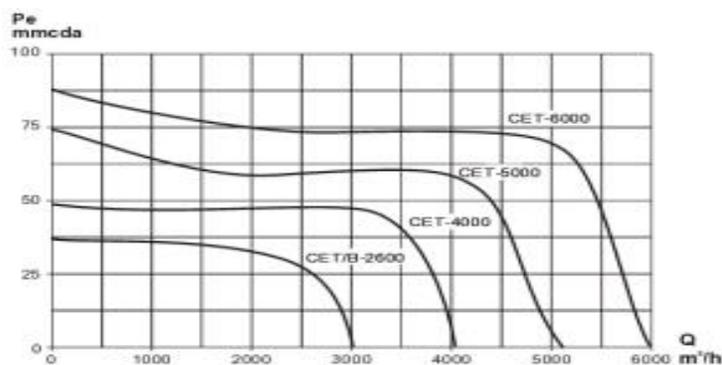
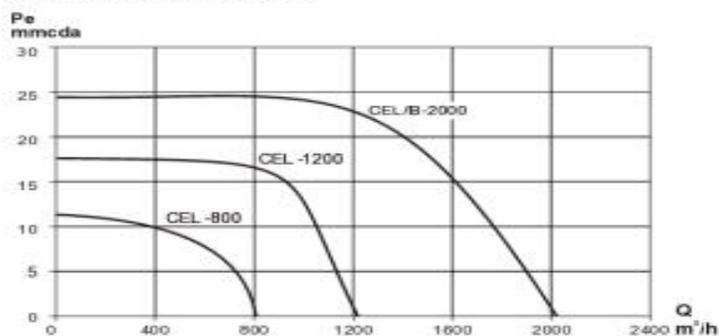
*Nivel sonoro medido de acuerdo a norma 30096 AMCA y 30196

DIMENSIONES

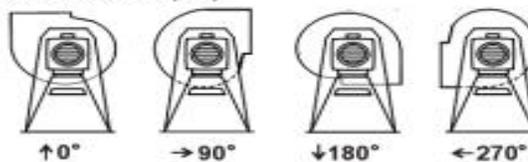


Modelo	DIMENSIONES mm									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
CEL-800	274	490	295	148	87	220	150	50	100	274
CEL-1200	290	420	330	170	105	240	180	72	100	292
CEL-B 2000	320	450	290	180	125	380	180	110	165	260
CEL-B 2600	360	490	330	218	148	410	216	135	210	300
CEL-4000	454	570	368	143	173	470	258	132	235	338
CEL-5000	490	624	396	268	180	500	252	130	240	360
CEL-6000	590	770	513	350	208	582	333	185	275	485

CURVAS CARACTERÍSTICAS

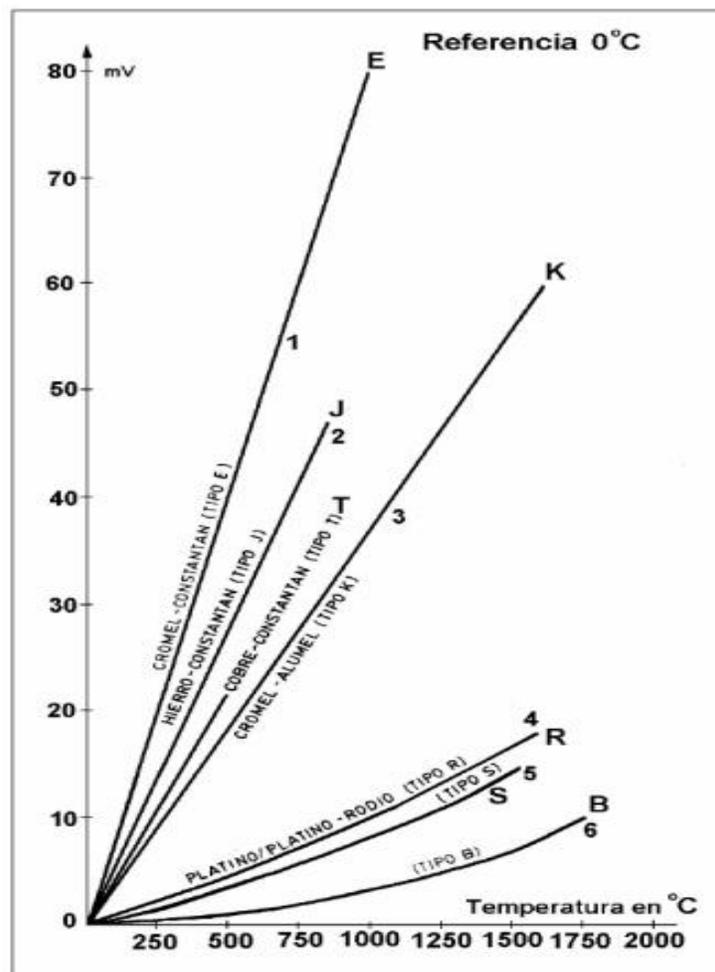


ORIENTACIÓN BOCADE DESCARGA (CW)



Anexo 17. Características principales de las termocuplas industriales

Termocuplas metálicas				
Tipo ANSI-ISA	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura
J	Hierro/ constantan	5,6 mV/ 100 ° C	Fe 44 Ni:55 Cu	-40 a + 750
K	Cromel/ Alumel	3,6 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 94 Ni:Al:Mn:Fe	-40 a +1200
T	Cobre/ constantan	4,5 mV/ 100 ° C	Cu 44 Ni:55 Cu	-50 a + 400
E	Cromel/ constantan	7,9 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 44 Ni:55 Cu	-40 a +900



Anexo 18. Normas Internacionales aplicadas para pruebas de aislamiento

NORMAS APLICADAS PARA PRUEBAS DE AISLAMIENTO				RESULTADOS
PRUEBA REALIZADA	NORMA ESTANDAR	QUE SE MIDE	PROCEDIMIENTO APLICADO	
Resistencia de aislamiento (Megger)	IEEE 43-2000 EASA AR-100	Contaminación del aislamiento	500 VDC para MOTORES<1000VAC durante 1 min.	$M\Omega = 1 + KV$
Índice polarización (Megger)	IEEE 43-2000 EASA AR-100	Deterioro y humedad	500 VDC para MOTORES<1000VAC $PI = R(10min)/R(1min)$	PI (índice de polaridad) > 2
HI POT	IEEE 95-1977 EASA AR-100 NEMA MG-1	Rigidez dieléctrica entre bobinas y masa	$2(V_{NOMINAL}) + 1000$	Pasa / No pasa (Resultado automático del equipo de pruebas)
Impulso (Surge)	IEEE 522-1992 EASA AR-100 NEMA MG-1 IEC 34-15	Rigidez dieléctrica entre fases (grupos de bobinas)	$2(V_{NOMINAL}) + 1000$	Desfase entre ondas (por cortocircuito o deterioro de aislamiento)



AFLOMOTORS

Rev. 22072014

FORMATO P1. Pruebas Eléctricas Iniciales



CLIENTE HELENRICH & PAYNE			OT 1241	
MARCA KATO	POTENCIA 1200 KW	RPM 1200	Encargado Tec. Juan Cunuhay	Fecha 19 de Diciembre del 2015

Análisis visual y estado físico

Devanados se encuentran con exceso de contaminación adherida.
No presentan daños físicos aparentes

Pruebas eléctricas de devanados

Conexión: N/A

Resistencia Equipo: Megger 1607 fute

Aislación Equipo: Aval+4

HI-POT Equipo: Aval+4

Elemento	Resistencia	Megger		HI-POT	
Estator	121.01/121.01/121.01	15 MΩ	500 V	54.5 μA	1800 V
Rotor	43.4	12 MΩ	500 V	75.0 μA	1800 V
Campo	25.2	15 MΩ	500 V	70.0 μA	1200 V
Excitatriz	12.001/12.002/12.001	7 MΩ	500 V	122.03 μA	1000 V

Medición de Impedancias Equipo: _____

Surge Equipo: Aval+4

Elemento	Impedancias	Surge		Estado
Estator		Ok	1800 V	No presenta daños
Rotor		Ok	1800 V	No presenta daños
Campo		Ok	1200 V	No presenta daños
Excitatriz		Ok	1000 V	No presenta daños

Niquelinas

Tipo de niquelinas	Cantidad	Estado
Ovalado	2	Se encuentran en perfecto estado eléctrico, sin problema.

Solicitud de Materiales

Solicita: _____

OT: _____

Cantidad	Descripción	Cantidad	Descripción



AFLOMOTORS

Rev. 22072014

FORMATO P1. Pruebas Eléctricas Finales



CLIENTE HELMRICH & PAYNE			O/T 1241	
MARCA KATO	POTENCIA 1200 KW	RRM 1200	Encargado Tec. Juan Cunuhay	Fecha 15 de Diciembre del 2015

Analisis visual y estado físico
No presentan daños fisicos aparentes

Pruebas eléctricas de devanados

Conexión: N/A

Resistencia Equipo: Megger 1607 fute

Aislación Equipo: Awali-4

HI-POT Equipo: Awali-4

Elemento	Resistencia	Megger		HI-POT	
Estator	121.01/121.01/121.01	>550 MD	500 V	0.15 µA	1800 V
Rotor	43.4	>550 MD	500 V	0.11 µA	1800 V
Campo	25.2	>550 MD	500 V	0.26 µA	1200 V
Excitanz	12.001/12.002/12.001	>550 MD	500 V	0.33 µA	1000 V

Medición de Impedancias Equipo: _____

Surge Equipo: Awali-4

Elemento	Impedancias	Surge		Estado
Estator		Ok	1800 V	No presenta daños
Rotor		Ok	1800 V	No presenta daños
Campo		Ok	1200 V	No presenta daños
Excitanz		Ok	1000 V	No presenta daños

Niquelinas

Tipo de niquelinas	Cantidad	Estado
Ovalado	2	Se encuentran en perfecto estado electrico, sin problema.

Solicitud de Materiales Solicita: _____ O/T

Cantidad	Descripción	Cantidad	Descripción